ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

น.ส.พัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON AEROBIC FITNESS, FATIGUE TOLERANCE AND CYCLING PERFORMANCE IN MASTER ROAD CYCLISTS

Miss Patcharin Tangchaisuriya

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Sports Science
Common Course
FACULTY OF SPORTS SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬา ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์
โดย	น.ส.พัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ อาจารย์ ดร.นภัสกร ชื่นศิริ

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.นภัสกร ชื่นศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวันท์ มนิมนากร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา : ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬา ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์. (EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON AEROBIC FITNESS, FATIGUE TOLERANCE AND CYCLING PERFORMANCE IN MASTER ROAD CYCLISTS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.ดรุณวรรณ สุขสม, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ,อ. ดร.นภัสกร ชื่นศิริ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์อายุระหว่าง 35 ถึง 49 ปี จำนวน 50 คน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มฝึกแบบปกติ (UST) จำนวน 16 คน ฝึกปั่นจักรยานแบบต่อเนื่อง 75 นาทีที่ความหนัก 65-70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2) กลุ่มฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) จำนวน 17 คน ฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 4 นาทีที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดสลับกับการฝึกที่ความหนักเบา 2 นาทีที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด จำนวน 4 รอบ 3) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) จำนวน 17 คน ฝึกเหมือนกลุ่ม HIIT ยกเว้น รอบที่ 2 และ 4 ลดความหนักเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก ทุกกลุ่มได้รับการฝึกปั่นจักรยาน 6 วันต่อสัปดาห์ แบ่งเป็นฝึกรูปแบบเฉพาะกลุ่ม 2 วันต่อวันสัปดาห์ ฝึกแบบต่อเนื่อง 120 นาทีที่ความหนัก ~55-60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 วันต่อวันสัปดาห์ และ 75 นาทีที่ความหนัก ~65-70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 วันต่อวันสัปดาห์ รวมเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ก่อนและหลังการฝึก ทำการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยา สมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ สารชีวเคมีในเลือด และความสามารถทางกีฬาจักรยาน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ 2x3 (กลุ่มxเวลา) และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี

ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระดับกั้นการระบายอากาศ อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด การไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังบริเวณเท้า แรงสูงสุดของกล้ามเนื้องอเข่า และความสามารถในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรเพิ่มขึ้น (all $p<0.05$) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความหนาผนังหลอดเลือด ความแข็งตัวของหลอดเลือด ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส และไนตริกออกไซด์ในทุกกลุ่ม กลุ่ม HIIT และกลุ่ม HIIT+BFR มีกำลังสูงสุด การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดเบลเคียลและพอพลิเตียล เวลาที่ทนต่อความเมื่อยล้า และกำลังเฉลี่ยของการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรเพิ่มขึ้น (all $p<0.05$) เฉพาะกลุ่ม HIIT+BFR มีมวลกล้ามเนื้อร่างกายและรยางค์ขา ความหนาและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสและวาสตัสแลทเทอรัลลิส แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า งานของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่า ระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน อินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์-1 วาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ และอัตราการลดลงของความเข้มข้นแลคเตทในเลือดภายหลัง 5 นาทีของการทดสอบปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรเพิ่มขึ้น (all $p<0.05$)

สรุปได้ว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นโปรแกรมที่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ การทำงานของหลอดเลือด และความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5978604239 : MAJOR SPORTS SCIENCE
KEYWORD: VETERAN ATHLETES, PEAK POWER OUTPUT, VASCULAR FUCTION, FLOW-MEDIATED DILATION, MUSCULAR FATIGUE, MUSCLE OXYGENATION, CYCLING PERFORMANCE

Patcharin Tangchaisuriya : EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON AEROBIC FITNESS, FATIGUE TOLERANCE AND CYCLING PERFORMANCE IN MASTER ROAD CYCLISTS. Advisor: Prof. DAROONWAN SUKSOM, Ph.D. Co-advisor: Prof. Hirofumi Tanaka, Ph.D., Napasakorn Chuensiri, Ph.D.

The purpose of this study was to investigate and compare the effects of usual training (UST), high-intensity interval training (HIIT), high-intensity interval training combined with blood flow restriction (HIIT+BFR) for 12 weeks on aerobic fitness, fatigue tolerance and cycling performance in master road cyclists.

Fifty male master road cyclists (aged 35 to 49 years) were randomly assigned into three groups : 1) UST (continuous cycling training at 75 min at 65 to 70% PPO; n=16), 2) HIIT (4x4 min interval at 80% PPO alternated with 2 min at 30% PPO on a modified cycle ergometer; n=17), and 3) HIIT+BFR (similar to HIIT, except the 2nd and 4th bout the intensities were reduced to 60% PPO and BFR cuff at 30% AOP; n=17). All groups performed cycling training 6 days/weeks including group specific training 2 days/week as well as continuous cycling training for 120 min at ~55-60% PPO for 2 days/week and for 75 min at ~65-70% PPO, 2 days/week for 12 weeks. Physiological data, aerobic fitness, muscular fitness, vascular structure and function, muscular structure and function, blood chemistry, and cycling performance were measured. The 2x3 (Group x times) ANOVA with repeated measures followed by Fisher's Least Significant Difference multiple comparisons were used to determine the significant difference in all variables before and after training and among groups.

After 12 weeks, maximal oxygen consumption, ventilator threshold, maximal cardiac output, maximal stroke volume, cutaneous blood flow (foot), peak torque of knee flexion, and 40 km time trial performance increased in all groups (all $p<0.05$). There were no significant changes in carotid artery intima-media thickness, arterial stiffness, creatine phosphokinase, and nitric oxide in all three groups. Peak power output, brachial and popliteal FMD, time to fatigue and average power of time trial 40 km increased in both HIIT and HIIT+BFR groups (all $p<0.05$). Total and leg lean mass, muscle cross-sectional area and thickness in rectus femoris and vastus lateralis, peak torque of knee extension, work of knee extension and flexion, tissue oxygenation index, deoxyhemoglobin, Insulin-like growth factor-1 (IGF-1), vascular endothelial growth factor (VEGF) and blood lactate removal rate after time trial 40 km increased only in the HIIT+BFR group (all $p<0.05$).

In conclusion, high-intensity interval training combined with blood flow restriction has found to be safe and effective to improve aerobic fitness, muscular fitness, vascular functions and cycling performance in master road cyclists.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Sports Science	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาและเมตตาอย่างสูงจาก ศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้มีอุดมการณ์แห่งความเป็นครู ท่านได้กรุณาเสียสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิด และแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความรัก ความเข้าใจ ท่านคอยให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้ชีวิตระหว่างการศึกษาและการวิจัยของผู้วิจัยดำเนินไปอย่างราบรื่น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมทั้ง 2 ท่าน คือ Prof. Dr. Hirofumi Tanaka และอาจารย์ ดร.นภัสกร ชื่นศิริ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนการเขียนวิทยานิพนธ์และบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร อาจารย์ดร.สุทธิกร อาภานุกูล และรองศาสตราจารย์ ดร.อภิวันท์ มนิมนากร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ข้อเสนอแนะและให้ความรู้เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือและให้ข้อเสนอแนะอย่างดียิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรม ชี้แนะ ให้ผู้วิจัยเกิดการเรียนรู้และพัฒนาระบบคิดได้มากยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยพะเยาต้นสังกัดของผู้วิจัยที่ให้การอนุญาตและสนับสนุนการมาศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ช่วยปฏิบัติงานทดแทนตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณพี่ ๆ นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ที่เข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ ที่ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าและให้ความร่วมมือในการทดสอบและฝึกฝนซึ่งใช้ระยะเวลาที่ยาวนานและใช้แรงกายอย่างเหน็ดเหนื่อย แต่ทุกท่านก็ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีจนการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกคนและเพื่อนคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจกันมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่เพ็ญพิส ตั้งชัยสุริยา นพ.อุดมศักดิ์ ตั้งชัยสุริยา และญาติพี่น้องทุกคนสำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือที่มีให้มาโดยตลอด ขอขอบคุณเป็นพิเศษแก่ด.ญ.ภิญญาพัชญ์ ตั้งชัยสุริยา ที่คอยสร้างความสดใส และความสุขระหว่างการศึกษาวิจัย คุณความดีของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ขออุทิศแด่คุณพ่อศิระ ตั้งชัยสุริยา ผู้ล่วงลับในระหว่างผู้วิจัยกำลังทำการศึกษาวิจัยนี้ ที่เป็นแรงบันดาลใจ และสนับสนุนทุกอย่างจนการศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

การศึกษาวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” และทุนสนับสนุนโครงการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

พัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 9

คำถามของการวิจัย 9

สมมติฐานของการวิจัย 10

ขอบเขตของการวิจัย 10

ข้อตกลงเบื้องต้น 13

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 13

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 16

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 17

1. กีฬาจักรยานประเภทถนน (Road cycling) 19

2. นักกีฬารุ่นมาสเตอร์หรือรุ่นอาวุโส (Master Athletes) 23

3. สมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) 29

4. โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด (Vascular function and structure) 38

5. โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscular structure and function) 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. การฝึกออกกำลังกายในนักกีฬาจักรยาน (Cycling Training)..... 59
7. การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training)..... 62
8. การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction training) 70
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 81
กรอบแนวคิดการวิจัย 87
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 89
ประชากร..... 89
กลุ่มตัวอย่าง 89
การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง..... 91
การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง 91
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 92
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 95
การวิเคราะห์ข้อมูล..... 126
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 127
ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสรีรวิทยาทั่วไประหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR). 129
ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกและการไหลเวียนโลหิตระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 142
ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับ

ช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)....156

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)....170

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).188

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านความสามารถทางกีฬาจักรยานระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 202

ตอนที่ 7 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความสามารถทางกีฬาจักรยานกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์....217

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ....219

สรุปผลการวิจัย....220

อภิปรายผลการวิจัย....225

สรุปผลการวิจัยในภาพรวม....241

ข้อจำกัดของงานวิจัย....244

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย....244

บรรณานุกรม....245

ภาคผนวก....278

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก 279
ภาคผนวก ข 293
ภาคผนวก ค 294
ภาคผนวก ง 300
ภาคผนวก จ 303
ภาคผนวก ฉ 314
ภาคผนวก ช 315
ภาคผนวก ซ 316
ภาคผนวก ฌ 319
ภาคผนวก ญ 320
ภาคผนวก ฎ 321
ภาคผนวก ฏ 322
ภาคผนวก ฐ 324
ภาคผนวก ฑ 325
ภาคผนวก ฒ 326
ภาคผนวก ณ 328
ภาคผนวก ด 330
ภาคผนวก ต 333
ภาคผนวก ถ 335
ภาคผนวก ท 337
ภาคผนวก ธ 340
ภาคผนวก น 342
ภาคผนวก บ 344
ภาคผนวก ป 345

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ผ 346
ภาคผนวก ฝ 347
ภาคผนวก พ 349
ประวัติผู้เขียน 357

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ระดับความหนักของงานตามอัตราการรับรู้ (RPE Scale) 37

ตารางที่ 2 รูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อหลักระหว่างการปั่นจักรยาน 53

ตารางที่ 3 โซนความหนักการฝึกออกกำลังกาย (Intensity zone) 60

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบสรีรวิทยาทั่วไปของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 129

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความดันโลหิตของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 132

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบองค์ประกอบร่างกายของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 136

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบสมรรถภาพทางแอโรบิกในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 142

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบการไหลเวียนโลหิตขณะพักของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 148

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 152

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 156

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังนิ้วมือของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 160

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังเท้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 165

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบโครงสร้างกล้ามเนื้อของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 170

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบความแข็งแรงกล้ามเนื้อของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 175

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบความอดทนของกล้ามเนื้อในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 179

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 184

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 188

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบไขมันและน้ำตาลในเลือดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 192

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบสารชีวเคมีในเลือดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 197

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบความทนต่อการเมื่อยล้าโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 202

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบความสามารถในการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตร (TT40) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 206

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของแลคเตทขณะทดสอบปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 212

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อความตรงของเนื้อหา.....300

ตารางที่ 24 ข้อมูลทั่วไปและความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ (การศึกษานำร่องที่ 1).....304

ตารางที่ 25 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความหนักของการออกกำลังกาย (การศึกษานำร่องที่ 1).....305

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT)...307

ตารางที่ 27 รายละเอียดการทดสอบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (%PPO).....308

ตารางที่ 28 ผลการทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....311

ตารางที่ 29 รายละเอียดการทดสอบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....312

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ปัจจัยและกลไกทางสรีรวิทยาที่ส่งผลต่อการลดลงของความสามารถด้านความอดทน 28

รูปที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) 31

รูปที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมตรเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (Stroke volume)..... 32

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของการสะสมของปริมาณแลคเตทในเลือดและความหนักในการออกกำลังกาย 33

รูปที่ 5 ระดับกั้นการะบายอากาศที่ 1 (VT_1) และระดับกั้นการะบายอากาศที่ 2 (VT_2) 34

รูปที่ 6 โครงสร้างและประเภทของหลอดเลือดในร่างกาย 40

รูปที่ 7 ความหนาผนังหลอดเลือดแดงที่คอ 42

รูปที่ 8 การประเมินการทำงานของเลือดของหลอดเลือดระดับจุลภาค 46

รูปที่ 9 ลักษณะโครงสร้างของกล้ามเนื้อ 47

รูปที่ 10 ลักษณะโครงสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อ 48

รูปที่ 11 กล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างของร่างกาย 51

รูปที่ 12 การแบ่งระยะการทำงานของการเคลื่อนไหวขณะปั่นจักรยาน 52

รูปที่ 13 องค์ประกอบของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วง 63

รูปที่ 14 รูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 65

รูปที่ 15 กระบวนการภายในเซลล์ของการฝึกออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 78

รูปที่ 16 กลไกการทำงานจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 80

รูปที่ 17 กรอบแนวคิดการวิจัย 88

รูปที่ 18 แผนผังแสดงกลุ่มตัวอย่าง 90

รูปที่ 19 การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง 92

รูปที่ 20 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 114

รูปที่ 21 โปรแกรมการฝึกปั่นจักรยานแบบต่อเนื่อง 116

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 22 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบปกติ 116

รูปที่ 23 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 118

รูปที่ 24 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 118

รูปที่ 25 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 120

รูปที่ 26 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 121

รูปที่ 27 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล 123

รูปที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 131

รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของดัชนีมวลกายระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 131

รูปที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 134

รูปที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 134

รูปที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 135

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันหลอดโลหิตแดงเฉลี่ยระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....135

รูปที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไขมันร่างกายระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....138

รูปที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมวลไขมันร่างกายระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....138

รูปที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมวลกล้ามเนื้อร่างกายระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....139

รูปที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไขมันที่รยางค์ส่วนขาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....139

รูปที่ 38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมวลไขมันรยางค์ส่วนขาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....140

รูปที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมวลกล้ามเนื้อขาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....140

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนังระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 141

รูปที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการใช้ออกซิเจนขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 144

รูปที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 144

รูปที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกำลังสุดสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 145

รูปที่ 44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 145

รูปที่ 45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (เปอร์เซ็นต์ของความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 146

รูปที่ 46 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 146

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 47 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (เปอร์เซ็นต์ของความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 147

รูปที่ 48 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 150

รูปที่ 49 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที ขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 150

รูปที่ 50 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR). 151

รูปที่ 51 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 154

รูปที่ 52 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุดสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 154

รูปที่ 53 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 155

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 54 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 155

รูปที่ 55 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาของผนังหลอดเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....158

รูปที่ 56 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....158

รูปที่ 57 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตของหลอดเลือดเบรเคียลระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 159

รูปที่ 58 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตของหลอดเลือดพอพลิเตียลระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....159

รูปที่ 59 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการไหลของเลือดชั้นผิวหนังบริเวณหลังนิ้วมือขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....162

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 60 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดบริเวณหลังนิ้วมือหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 162

รูปที่ 61 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดบริเวณหลังนิ้วมือระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 163

รูปที่ 62 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติบริเวณหลังนิ้วมือระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....163

รูปที่ 63 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดบริเวณหลังนิ้วมือระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....164

รูปที่ 64 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการไหลของเลือดชั้นผิวหนังบริเวณหลังเท้าขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....167

รูปที่ 65 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดบริเวณหลังเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 167

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 66 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดบริเวณหลังเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 168

รูปที่ 67 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติบริเวณหลังเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 168

รูปที่ 68 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดบริเวณหลังเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....169

รูปที่ 69 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงของขาตำแหน่งกึ่งกลางขาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 172

รูปที่ 70 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 172

รูปที่ 71 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิสระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....173

รูปที่ 72 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 173

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 73 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิสระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....174

รูปที่ 74 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อขาในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....177

รูปที่ 75 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวของกล้ามเนื้อขาในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).177

รูปที่ 76 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดในท่างอเข่า (Knee flexion) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....178

รูปที่ 77 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวในท่างอเข่าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....178

รูปที่ 78 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....181

รูปที่ 79 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานต่อน้ำหนักตัวในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....181

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 80 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความล้าในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 182

รูปที่ 81 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานในท่างอเข่า (Knee flexion) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 182

รูปที่ 82 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานต่อน้ำหนักตัวในท่างอเข่า (Knee flexion) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 183

รูปที่ 83 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความล้าของกล้ามเนื้อขาในท่างอเข่า (Knee flexion) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 183

รูปที่ 84 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)..... 186

รูปที่ 85 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนระดับฮีโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 187

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 86 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (ΔHHb) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR). 187

รูปที่ 87 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนเม็ดเลือดแดงระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 190

รูปที่ 88 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฮีโมโกลบิน (Hb) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 190

รูปที่ 89 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฮีมาโตคริต (Hct) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 191

รูปที่ 90 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคลอเลสเตอรอลระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 194

รูปที่ 91 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีนระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 194

รูปที่ 92 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 195

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 93 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไตรกลีเซอไรด์ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 195

รูปที่ 94 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 196

รูปที่ 95 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (CPK) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 199

รูปที่ 96 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนตริกออกไซด์ (NO) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 199

รูปที่ 97 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 200

รูปที่ 98 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์–วัน (IGF–1) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 200

รูปที่ 99 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ (VEGF) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 201

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 100 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาทนต่อความเมื่อยล้าของการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....204

รูปที่ 101 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานของการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....204

รูปที่ 102 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานต่อน้ำหนักตัวของการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 205

รูปที่ 103 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....205

รูปที่ 104 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....206

รูปที่ 105 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะทางของการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 206

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 106 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....209

รูปที่ 107 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกำลังเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....209

รูปที่ 108 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยาน 40กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).210

รูปที่ 109 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการปั่นเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....210

รูปที่ 110 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....211

รูปที่ 111 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแลคเตทที่จุดเริ่มต้น 0 กิโลเมตรระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....214

รูปที่ 112 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแลคเตทที่ระยะ 20 กิโลเมตรระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....214

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 113 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแลคเตทที่ระยะ 40 กิโลเมตรระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....215

รูปที่ 114 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการลดลงของความเข้มข้นของแลคเตทภายหลัง 5 นาที ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....215

รูปที่ 115 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการลดลงของความเข้มข้นของแลคเตทภายหลัง 10 นาที ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....216

รูปที่ 116 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (Δ40 km time trial) กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ΔVO_2max) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ 217

รูปที่ 117 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (Δ40 km time trial) กับแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Peak torque of quadriceps) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์.....218

รูปที่ 118 สรุปผลการวิจัยในภาพรวม.....243

รูปที่ 119 การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G*Power.....293

รูปที่ 120 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training; HIIT) ในการศึกษานำร่องที่ 2.....306

รูปที่ 121 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานำร่องที่ 2.....306

รูปที่ 122 ภาพประกอบการศึกษานำร่องที่ 2 ของการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT).....309

รูปที่ 123 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BBFR) ในการศึกษานำร่องที่ 3.....310

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 124 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานำร่องที่ 3 310

รูปที่ 125 ภาพประกอบการศึกษานำร่องที่ 3 ของการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) 313

รูปที่ 126 การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) 316

รูปที่ 127 ใบรับรองผ่านการอบรมและสอบผ่านการช่วยชีวิตขั้นพื้นฐาน และเครื่องกระตุกไฟฟ้าหัวใจอัตโนมัติ 319

รูปที่ 128 การทดสอบองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (DEXA) .. 320

รูปที่ 129 การทดสอบการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics) 322

รูปที่ 130 ความหนาของผนังหลอดเลือด (IMT) 324

รูปที่ 131 การทดสอบความหนาของผนังหลอดเลือด 324

รูปที่ 132 การทดสอบความแข็งของหลอดเลือดแดง 325

รูปที่ 133 การทดสอบการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ของหลอดเลือดบริเวณแขน (Brachial artery) 326

รูปที่ 134 การทดสอบการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ของหลอดเลือดบริเวณขา (Popliteal artery) 326

รูปที่ 135 การทดสอบอัตราการไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง 328

รูปที่ 136 การทดสอบเส้นรอบวงของต้นขา 330

รูปที่ 137 การทดสอบขนาดความหนาและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ 331

รูปที่ 138 การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา 333

รูปที่ 139 การทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ 335

รูปที่ 140 การทดสอบระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ 337

รูปที่ 141 กราฟข้อมูลของการทดสอบระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) 339

รูปที่ 142 การทดสอบเวลาของความทนต่อการเมื่อยล้า (TF150) 340

รูปที่ 143 การทดสอบความสามารถทางกีฬาจักรยาน (TT40) 342

รูปที่ 144 ภาพประกอบการฝึกซ้อมของกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) 344

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 145 ภาพประกอบการฝึกซ้อมรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT).....345

รูปที่ 146 ภาพประกอบการฝึกซ้อมรูปแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR).....346

รูปที่ 147 การทดสอบค่าความดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 347

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬาจักรยานเป็นกีฬาสากลเพื่อการแข่งขันที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันที่มีการแข่งขันทั้งในระดับสากลนานาชาติ ภายใต้การควบคุมดูแลโดยสหพันธ์จักรยานนานาชาติ (Union Cycliste Internationale; U.C.I) เช่น กีฬาโอลิมปิก กีฬาพาราลิมปิก กีฬาโอลิมปิกเยาวชน ยูซีไอชิงแชมป์โลก และยูซีไอเวิลด์คัพ เป็นต้น (Union Cycliste Internationale, 2017) รวมถึงการแข่งขันกีฬาสำหรับรุ่นมาสเตอร์หรือรุ่นอาวุโส (Master athletes) ควบคุมโดยสมาคมกีฬาผู้สูงอายุนานาชาติ (The International Masters Games Association; IMGA) เช่น เวิลด์มาสเตอร์เกมส์ (International Masters Games Association, 2016) และการแข่งขันภายในประเทศไทยควบคุมโดยสมาคมกีฬาจักรยานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมป์ เช่น การแข่งขันจักรยานชิงแชมป์ประเทศไทย และกีฬาแห่งชาติ เป็นต้น (สมาคมจักรยานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2561) การแข่งขันกีฬาจักรยานแบ่งออกเป็น 8 ประเภท ได้แก่ ประเภทถนน (Road cycling) ประเภทลู่ (Track cycling) ประเภทเสือภูเขา (Mountain Bike) ประเภทวิบากหรือบีเอ็มเอ็กซ์ (Bicross or BMX) ประเภทไซโคลครอส (Cyclo-cross) ประเภทไต่เขาหรือไทรอัล (Trials) ประเภทลีลาหรือในร่ม (Indoor cycling) และจักรยานสำหรับผู้พิการ (Para-cycling) ด้วยกระแสสังคมและประโยชน์ของกีฬาจักรยานที่ช่วยสร้างความสนุกสนาน ความสามัคคีในหมู่คณะ และเสริมสร้างสมรรถภาพร่างกายให้แข็งแรง ทำให้กีฬาจักรยานประเภทถนนเป็นประเภทการแข่งขันที่ได้รับความนิยมมากสุดเมื่อเทียบกับประเภทอื่น ๆ มีกลุ่มคนทุกเพศทุกวัยหันมาปั่นจักรยานเพื่อการออกกำลังกายและแข่งขันเป็นจำนวนมาก

การแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนน (Road cycling) เป็นการแข่งขันขี่จักรยานบนพื้นถนนทางเรียบตามสภาพภูมิประเทศที่มีทางลาดชันสลับกับพื้นที่ราบ แบ่งการแข่งขันออกเป็น 3 ประเภทย่อย ได้แก่ 1) อินไลน์หรือการแข่งขันจักรยานทางไกล 2) ไทม์ไทล์อัลหรือการแข่งขันจับเวลา และ 3) ไครทีเรียมหรือการแข่งขันแบบวงจร (สมาคมจักรยานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2561) โดยนักกีฬาต้องขี่จักรยานด้วยความเร็วเป็นเวลานานภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ตามกติกาการแข่งขันโดยใช้เวลาให้น้อยที่สุดตามระยะทางที่ได้กำหนดไว้ (ราวีวัฒน์ รัตนโกเศศ, 2551) การแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนนระยะทางประมาณ 70 กิโลเมตร โดยการปล่อยตัวพร้อมกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(Mass start) โดยปกตินักกีฬาจะปั่นเป็นกลุ่มใหญ่ ซึ่งระหว่างเกมการแข่งขันจะมีการช่วงชิงจังหวะเพื่อขึ้นเป็นกลุ่มนำ และเมื่อใกล้ถึงเส้นชัยนักกีฬาจะเร่งความเร็วโดยการสปริ้นซ์เพื่อเป็นผู้ชนะในการแข่งขัน (Del Vecchio et al., 2019) นักกีฬาระดับอาชีพจะมีการใช้ความหนักของการแข่งขันที่อัตราการเต้นหัวใจมีการทำงานมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และมีช่วงการทำงานที่ทำให้เกิดกรดแลคติกตลอดระยะเวลาการแข่งขันเป็นประมาณครึ่งหนึ่งของระยะเวลาการแข่งขันทั้งหมด และจะมีการใช้ความหนักที่อัตราการเต้นหัวใจทำงานเหนือกว่าโซนที่มีการสะสมของแลคเตทในเลือดมากกว่า 4 มิลลิโมลต่อลิตร (Onset of blood lactate; OBLA) ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะในช่วงท้ายเกมการแข่งขัน (Padilla et al., 2000) จากลักษณะการแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนนจัดได้ว่าเป็นกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทนทั้งด้านแอโรบิกและแอนแอโรบิก (Lucía et al., 2001) โดยระหว่างการแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนนที่ใช้ระยะเวลาเกิน 1 ชั่วโมง นักกีฬาจะใช้สมรรถภาพร่างกายที่ระดับ 70 - 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) (Del Vecchio et al., 2019) ดังนั้น นักกีฬาจึงจำเป็นต้องมีสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) และสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular fitness) ที่ดี (Coyle et al., 1991) เพื่อให้สามารถขับขี่จักรยานด้วยความเร็วสูง สามารถเร่งความเร็ว และรักษากำลังตลอดระยะเวลาการแข่งขันที่ยาวนาน อีกทั้งสามารถทำเวลาในการแข่งขันได้ดีที่สุด (Time trialing) ซึ่งเป็นการแสดงออกถึงความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance)

ในสภาวะการแข่งขันที่ต้องใช้กำลังสูงสุดในระยะเวลายาวนานนั้น นักกีฬาจะมีอาการความเมื่อยล้าเกิดขึ้นเห็นได้จากการสูญเสียความสามารถในการออกแรง หรือแรงขณะที่พยายามออกแรงสูงสุดอย่างตั้งใจลดลง จากการออกแรงหนักซ้ำ ๆ ต่อเนื่อง ๆ ทำให้เกิดการสะสมของเสียที่เกิดจากเผาผลาญพลังงาน ได้แก่ ฟอสเฟตไอออน (Pi) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ไปยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อ หรืออาจเป็นผลร่วมกันของระดับแคลเซียมลดลง จากการที่ซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ใช้สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ จึงไม่สามารถปล่อยแคลเซียมได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้ความสามารถในการออกแรงลดลง (Baker et al., 1993; Edwards, 1981) และหากร่างกายมีความสามารถในการขจัดกรดแลคติกน้อยกว่ากระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น จะเกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมาก ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความเมื่อยล้าขึ้น ดังนั้น ความสามารถในการรักษาเวลาเพื่อคงสภาพการออกแรงสูงสุดนี้ได้อย่างยาวนาน จึงเป็นตัวบ่งชี้ของความทนต่อการเมื่อยล้า (Fatigue tolerance) (Keramidas et al., 2012; Laursen et al., 2003; Weston et al., 1997) จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า นักกีฬาจักรยานมีปัญหาความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อบริเวณขาซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้งานมากกว่าบริเวณอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อเกิดขึ้นระหว่างการแข่งขัน นักกีฬาจะมีอาการของความรู้สึกอ่อนล้า ความสามารถในการหดตัว-คลายตัวของกล้ามเนื้อลดลง ไม่สามารถคงสภาพความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อไว้ได้ (Lepers et al., 2002) อีกทั้ง เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายโดยรวมลดน้อยไปด้วย (Thomas et al., 2015) ดังนั้น ปัญหาความเมื่อยล้าถือได้ว่าเป็นปัญหาสำคัญ และถูกบ่งชี้ว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ความสามารถทางกีฬาจักรยานลดลง (C. Abbiss & P. Laursen, 2005; Burnley et al., 2006; Weston et al., 1997) นอกจากนี้ยังมีหลักฐานการวิจัยที่บ่งบอกถึงความสามารถทางกีฬาที่ลดลงเป็นผลมาจากอายุที่เพิ่มขึ้นของนักกีฬาอีกด้วย

นักกีฬาที่มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไปที่ยังคงมีการฝึกฝนและเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาซึ่งออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับนักกีฬารุ่นอายุ จะเรียกว่านักกีฬารุ่นมาสเตอร์ (Master athletes) (Tayrose et al., 2015) เนื่องจาก ภายหลังจากอายุประมาณ 35 ปี สมรรถภาพทางแอโรบิกจะลดลงอย่างต่อเนื่อง และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 50 ปีขึ้นไป (Tanaka & Seals, 2008) ถึงแม้ว่านักกีฬากลุ่มนี้จะมีการฝึกหนักอยู่อย่างต่อเนื่อง ความสามารถทางกีฬา (Sport performance) จะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น (Advancing age) ซึ่งเป็นปัญหาที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ในนักกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทน อาทิเช่น วิ่ง ว่ายน้ำ เรือพาย และจักรยาน จะมีอัตราการลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อ 10 ปี (Peiffer et al., 2008) เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางระบบสรีรวิทยาของร่างกายทั้งด้านโครงสร้างและการทำงานของหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งการเสื่อมสมรรถภาพการทำงานของหัวใจและหลอดเลือด ความสามารถในการสูบฉีดเลือดของหัวใจลดลง ส่งผลให้ร่างกายมีความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนไปใช้ไม่มีประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ (Maharam et al., 1999; Peiffer et al., 2008; Tanaka & Seals, 2008) อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ (Faulkner et al., 2008; Reaburn et al., 2008) อันได้แก่ ความแข็งแรง ความอดทน และกำลังของกล้ามเนื้อ (Aoyagi & Shephard, 1992; Chamari et al., 1995; Grassi et al., 1991; Reaburn et al., 2008)

กีฬาจักรยานประเภทถนนเป็นกีฬาประเภทความอดทนที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในหมู่นักกีฬารุ่นมาสเตอร์ (Del Vecchio et al., 2019) ซึ่งความสำเร็จของการแข่งขันกีฬาจักรยานไม่ได้ขึ้นอยู่กับเฉพาะการมีสมรรถภาพทางแอโรบิกที่ดีเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับการมีสมรรถภาพกล้ามเนื้อที่ดีด้วย (Faria et al., 2005; Lucía et al., 2001; Padilla et al., 2000) อย่างไรก็ตาม ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ยังมีการลดลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ระดับกั้นแลคเตท อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และกำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peiffer et al., 2008) เมื่ออายุเพิ่มขึ้นนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์เพศชายมีการลดลงของสมรรถภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทางแอโรบิกไม่แตกต่างจากเพศหญิง แต่จะมีอัตราการลดลงของความสามารถด้านการใช้กำลังสูงสุดมากกว่าเพศหญิง (Brown et al., 2007) อีกทั้ง อายุที่เพิ่มขึ้นยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการลดลงของมวลกล้ามเนื้อ (Sugawara et al., 2002) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการลดลงของความแข็งแรงกล้ามเนื้อ (Brisswalter & Nosaka, 2013) และความทนต่อการเมื่อยล้ากล้ามเนื้อลดลง (Gent & Norton, 2013; Mattern et al., 2003; Peiffer et al., 2008; Reaburn et al., 2008; Wylleman & Reints, 2010) ด้วยปัญหาที่เกิดขึ้นกับนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์นี้จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ความสามารถทางกีฬาจักรยานลดลงเป็นอย่างมาก (Abbiss & Laursen, 2005) ทั้งนี้ ความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักทั้งทางด้านระบบพลังงาน เช่น ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_2max) หรือระดับกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic threshold) รวมถึงปัจจัยด้านระบบกล้ามเนื้อ เช่น จำนวน ขนาด และประเภทของเส้นใยกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงหรือประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหว (Brisswalter & Nosaka, 2013) นอกจากนี้การลดลงของความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) ในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์มีความสัมพันธ์อย่างมากกับการลดลงของความหนัก และปริมาณการฝึกออกกำลังกาย อาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางร่างกายและพฤติกรรมหลายประการ เช่น ความชุกของการบาดเจ็บที่เพิ่มขึ้น การลดลงของพลังงาน การปฏิบัติงาน เวลา และแรงจูงใจในการฝึก (Tanaka & Seals, 2008) ดังนั้น จึงควรหารูปแบบการฝึกที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงความสามารถทางด้านแอโรบิกควบคู่ไปกับสมรรถภาพของกล้ามเนื้อสำหรับนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์

การฝึกซ้อมยังคงเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาความสามารถทางกีฬา จากการพัฒนาสมรรถภาพร่างกายเพื่อนำไปสู่การตอบสนองของระบบสรีรวิทยาที่ดี ซึ่งการฝึกซ้อมที่ดีและเหมาะสมจะเป็นช่องทางที่ทำให้ร่างกายของนักกีฬาเกิดความสมบูรณ์และประสบความสำเร็จในการแข่งขันกีฬาได้ (ราวีวัฒน์ รัตนโกเศศ, 2551) จากลักษณะของการแข่งขันและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถทางกีฬาจักรยานประเภทถนนที่ได้กล่าวไปในข้างต้น นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ควรได้รับโปรแกรมการฝึกซ้อมที่ช่วยปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของร่างกาย ทั้งด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกที่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และสมรรถภาพของกล้ามเนื้อที่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการออกแรง และช่วยชะลอเวลาที่ทำให้เกิดการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อให้มากขึ้น หรือทนต่อการเมื่อยล้ามากขึ้น ที่ผ่านมามีงานวิจัยต่างประเทศแสดงถึงผลดีของการฝึกพัฒนาความสามารถทางกีฬาจักรยานด้วยรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity interval training; HIIT) มีประสิทธิภาพสูงสุดช่วยเพิ่มความสามารถสูงสุดในการใช้

ออกซิเจนหรือสมรรถภาพทางแอโรบิก และสามารถพัฒนาความสามารถทางกีฬาได้ (Buchheit & Laursen, 2013; Laursen & Jenkins, 2002)

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง หรือนิยมเรียกกันสั้น ๆ ว่า “ฮิต (HIIT)” ย่อมาจาก High-intensity interval training หมายถึง การฝึกโดยการใช้ความหนักสูงในช่วงการออกกำลังกายหนัก (High intensity) สลับกับการฝึกโดยการใช้ความหนักต่ำในช่วงที่มีการออกกำลังกายเบา (Low intensity) และใช้เวลาในการฝึกสั้น ๆ มักจัดรูปแบบการฝึกซ้อมออกเป็นโซน (Buchheit & Laursen, 2013) จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยอัตราส่วนของช่วงออกกำลังกายหนักต่อช่วงการออกกำลังกายเบาแบบอัตราส่วน 2 ต่อ 1 เป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพดี (Paquette et al., 2017) และช่วงการออกกำลังกายเบาที่ระยะเวลา 2 นาที ภายหลังจากช่วงออกกำลังกายหนักระยะเวลา 4 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการชดเชยพลังงานภายในเซลล์และการรักษาสภาพของระดับความสามารถในการใช้ออกซิเจนไว้ได้ตลอดช่วงของการฝึก ทำให้ร่างกายพร้อมที่จะฝึกหนักในเซตต่อไป (Seiler & Hetlelid, 2005) เมื่อศึกษาถึงรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ในนักกีฬาจักรยาน พบว่าโปรแกรมที่เหมาะสมกับนักกีฬาจักรยานประกอบด้วยการฝึกที่ระดับความหนักสูง 80 - 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด หรือประมาณ 90 - 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) ด้วยเวลา 4 - 5 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบาระยะเวลา 1 - 3 นาที (Faria et al., 2005; Seiler et al., 2013; Stöggl & Björklund, 2017; Westgarth-Taylor et al., 1997) ส่งผลดีก่อให้เกิดความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) และความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ในนักกีฬาจักรยานระดับสูงได้ (Coyle et al., 1991; Lindsay et al., 1996; Seiler et al., 2013; Stepto et al., 1999; Westgarth-Taylor et al., 1997) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยรายงานว่า การฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 - 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 4 นาที สลับกับช่วงที่ความหนักเบา ระยะเวลา 2 นาที จำนวน 4 รอบ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนทำให้ความสามารถทางกีฬาจักรยานดีขึ้น (Seiler et al., 2013; Stöggl & Sperlich, 2014; Stöggl & Björklund, 2017) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มาใช้ฝึกเพื่อแก้ปัญหาความเสื่อมของประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดจะเป็นประโยชน์ต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก และความสามารถทางกีฬาของนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์ดีขึ้นได้

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า การฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง จะใช้เวลาในการฝึกน้อยเน้นการทำงานของหัวใจและหลอดเลือด และได้ประสิทธิผลในการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกเป็นอย่างดี (Støren et al., 2017; Wang et al., 2014) และมีประโยชน์ที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จะช่วยเพิ่มความสามารถทางกีฬาได้ โดยรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบหัวใจและหลอดเลือด ส่งผลให้เกิดการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเป็นรูปแบบการฝึกที่ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาความเสื่อมของประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดจากอายุที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความสามารถทางด้านแอโรบิกทำให้ความสามารถทางกีฬาของนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์ดีขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามกลุ่มนักกีฬารุ่นมาสเตอร์เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มวลกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ รวมไปถึงความทนต่อการเมื่อยล้าลดลงด้วยนั้น นักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์ยังจำเป็นต้องมีรูปแบบการฝึกเพื่อโครงสร้างและสมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ ที่ผ่านมามีงานวิจัย พบว่า การฝึกความแข็งแรง (Strength training) กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่าเสริมกับการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติ 3 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 4 สัปดาห์ ในกลุ่มนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ทำให้กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจึงช่วยเพิ่มความสามารถทางกีฬาจักรยานได้ (Louis et al., 2020) นอกจากนี้ การฝึกความแข็งแรงด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกสปริ้นซ์ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ พบว่า ช่วยเพิ่มมวลกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่าง และความสามารถทางแอนแอโรบิก จึงทำให้ความสามารถในการสปริ้นซ์และการปั่นจักรยานดีขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามในกลุ่มนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์มีความจำเป็นต้องมีการฝึกพัฒนาความสามารถทางด้านแอโรบิกควบคู่ไปด้วย (Del Vecchio et al., 2019) ที่ผ่านมามีงานวิจัยพบว่า การฝึกความอดทนด้วยการฝึกปั่นจักรยานร่วมกับการฝึกความแข็งแรง (Concurrent endurance and strength training) แบบใช้แรงต้านในท่าที่ใช้กล้ามเนื้อหลักเดียวกับการปั่นจักรยาน ซึ่งเป็นลักษณะการฝึกในรูปแบบควบคู่กัน (Dual mode) 6 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ สามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2max) เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดฝอยภายในกล้ามเนื้อ และเพิ่มการทำงานของเอมไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลังงาน (Oxidative enzyme) แต่ก็ไม่สามารถช่วยพัฒนาขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ อาจเป็นเพราะมีการฝึกหนักจนเกินไป (Overtrained state) ร่างกายเกิดภาวะการใช้ไกลโคเจนหรือคาร์โบไฮเดรตที่สะสมในร่างกายจนหมดทำให้ต้องย่อยสลายกล้ามเนื้อมาใช้เป็นพลังงาน (Catabolic state) (Bell et al., 2000) อีกทั้งยังพบว่า การฝึกความแข็งแรงด้วยรูปแบบการฝึกแรงต้าน (Resistance training) ในนักกีฬาจักรยานที่มีปริมาณการฝึกมากอย่างน้อย 7 – 9 ชั่วโมงต่อสัปดาห์นั้น ส่งผลให้นักกีฬาเกิดความล้าสะสมจากการฝึกมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการฝึกซ้อมจักรยานแบบปกติลดลง นอกจากนี้ นักกีฬาจักรยานมีความต้องการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจากการฝึกด้วยรูปแบบการปั่นจักรยานมากกว่าการฝึกในรูปแบบควบคู่กัน (Dual mode) (Jackson et al., 2007) และการฝึกในรูปแบบควบคู่กันจะสิ้นเปลืองเวลาการฝึกมากและส่งผลกระทบให้นักกีฬาเกิดความล้าสะสมมาก ในระยะยาวอาจส่งผลเสียต่อนักกีฬารุ่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มาสเตอร์ที่ต้องการระยะการฟักฟื้นร่างกายมากกว่านักกีฬารุ่นทั่วไป อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาวิจัยที่กล่าวถึงการฝึกเพื่อพัฒนาโครงสร้างและสมรรถภาพของกล้ามเนื้อให้เกิดผลร่วมกับสมรรถภาพทางแอโรบิกต่อความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ยังมีอยู่น้อยมาก ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาโปรแกรมการฝึกดังกล่าวโดยศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม พบว่า การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มประสิทธิผลของการออกกำลังกายได้ โดยส่งผลดีในการช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความอดทนของกล้ามเนื้อ รวมถึงความทนต่อการเมื่อยล้าได้ (Pope et al., 2013) ซึ่งอาจมีประโยชน์ที่จะช่วยพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อควบคู่ไปกับสมรรถภาพทางแอโรบิกและความสามารถทางกีฬาของนักกีฬาจักรยานได้

การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction training; BFR) เป็นนวัตกรรมการฝึกรูปแบบใหม่โดยการใช้อุปกรณ์รัดที่รยางค์ของร่างกาย เพื่อจำกัดการไหลเวียนโลหิตดำกลับสู่หัวใจแต่ในขณะเดียวกันยังมีการไหลเวียนของโลหิตแดงไปยังกล้ามเนื้อได้บางส่วน เกิดการคั่งของปริมาณโลหิตดำที่อวัยวะส่วนปลาย (Blood pooling) จึงมีการสะสมของกรดแลคติกในบริเวณกล้ามเนื้อนั้นเป็นจำนวนมาก เกิดกลไกสำคัญในการสร้างสภาวะการขาดออกซิเจนเฉพาะที่บริเวณกล้ามเนื้อ (Localized hypoxia) ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ การเผาผลาญพลังงาน ระบบต่อมไร้ท่อ หรือระบบอื่น ๆ ที่ยังไม่ทราบกลไกแน่ชัด (Pope et al., 2013; Scott et al., 2014) การฝึกด้วยรูปแบบนี้มีความปลอดภัยไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อและหลอดเลือด รวมถึงอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ซึ่งสามารถนำมาฝึกร่วมกับการออกกำลังกายในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การฝึกด้วยแรงต้าน การเดิน และการปั่นจักรยาน (Loenneke et al., 2014; Loenneke et al., 2011; Patterson & Brandner, 2018) การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าการฝึกด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ในการฝึกคราวเดียวกัน (Abe et al., 2012)

ที่ผ่านมามีการศึกษาวิจัยถึงผลฉับพลันของรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเปรียบเทียบกับรูปแบบการฝึกแบบแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอยู่จำนวนน้อยมาก โดยพบว่า รูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่บริเวณขาทั้งสองข้าง เป็นระยะเวลา 2 นาที สลับกับช่วงปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำ (20 วัตต์) 1 นาที โดยคลายแรงดัน สามารถทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนต่ำที่บริเวณกล้ามเนื้อขา ส่งผลให้สารที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการสันดาปพลังงาน (Metabolics) สูงขึ้น จึงเกิดการกระตุ้นการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อได้มากขึ้น (Corvino et al., 2017)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต พบว่า มีการตอบสนองของร่างกายเช่นเดียวกับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงแต่มีระดับการตอบสนองต่อการกระตุ้นที่เกิดขึ้นต่ำกว่ารูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงเพราะความหนักของการออกกำลังกายยังคงอยู่ในระดับต่ำกว่า จึงมีการวิจัยถึงรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักเพิ่มขึ้นเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ด้วยการปั่นจักรยาน 2 นาที ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่บริเวณขาทั้งสองข้าง สามารถกระตุ้นการตอบสนองทางสรีรวิทยามากกว่าการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักเบาโดยไม่มีการจำกัดการไหลเวียนโลหิต แต่น้อยกว่ารูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Thomas et al., 2018)

อย่างไรก็ตามได้มีผู้ศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต พบว่า สามารถพัฒนาความสามารถด้านแอนแอโรบิกและกำลังสูงสุดได้เช่นเดียวกันการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง แต่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในเฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเท่านั้น (Oliveira et al., 2016) นอกจากนี้ Keramidas และคณะ (Keramidas et al., 2012) ศึกษาการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 2 นาที สลับกับช่วงปั่นเบาที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 2 นาที พบว่ามีผลดีเฉพาะการพัฒนาที่กล้ามเนื้อส่วนที่มีการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต การวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในกลุ่มคนทั่วไป ช่วยเพิ่มความสามารถทางด้านแอโรบิกร่วมกับการพัฒนากล้ามเนื้อไปพร้อมกันได้ แต่ยังมิอาจเทียบเท่าได้กับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงตามประเพณีนิยม

อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมายังคงมีข้อโต้เถียงในรูปแบบการฝึกที่เหมาะสมกับแต่ละกลุ่มบุคคลแตกต่างกันออกไป อีกทั้งยังไม่ทราบถึงกลไกการพัฒนาที่แน่ชัด และยังไม่มีผู้ใดทำการศึกษาการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ ว่าส่งผลต่อการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ และความสามารถทางกีฬาจักรยานหรือไม่และอย่างไร ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนารูปแบบการฝึกเดี่ยว (Single mode) โดยการนำรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงซึ่งเป็นรูปแบบการฝึกที่ได้รับการยอมรับว่าประหยัดเวลาการฝึกและทำให้เกิดสมรรถภาพทางแอโรบิกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มาผสมผสานร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีความโดดเด่นสามารถพัฒนาโครงสร้างและหน้าที่ของกล้ามเนื้อทั้งด้านความแข็งแรงและความอดทน ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดค้นรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ซึ่งเป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โปรแกรมการฝึกรูปแบบเดี่ยวในรูปแบบการฝึกด้วยการปั่นจักรยานโดยตรงที่จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำให้เกิดผลของการฝึกในรูปแบบผสม (Concurrent effects) ของสมรรถภาพทางแอโรบิกและสมรรถภาพของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นพร้อมกันได้ อีกทั้งยังใช้ความหนักในการฝึกที่น้อยกว่าและประหยัดเวลาการฝึกมากกว่าการฝึกแบบปกติทั่วไป นอกจากนี้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้จะมีความเหมาะสมกับความต้องการของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ ที่ช่วยยับยั้งปัญหาจากภาวะความเสื่อมของอายุ และเพิ่มความสามารถทางกีฬาจักรยานได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้ จึงได้ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่เป็นรูปแบบการฝึกที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ โดยคาดว่าการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตจะช่วยพัฒนาความสามารถทางกีฬาจักรยานดีกว่าการฝึกอีกสองรูปแบบ และผลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นองค์ความรู้ที่ใช้เป็นแนวทางในการฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถทางกีฬาของนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ให้มีประสิทธิภาพในการแข่งขันมากยิ่งขึ้นได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัตถุประสงค์รองของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกาย โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ และสารชีวเคมีในเลือดในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

คำถามของการวิจัย

1) การฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ส่งผลดีต่อสมรรถภาพทาง

แอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ หรือไม่ อย่างไร

2) การฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ส่งผลดีต่อองค์ประกอบของร่างกาย โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ และสารชีวเคมีในเลือดในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ หรือไม่ อย่างไร

สมมติฐานของการวิจัย

1) การฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีผลดีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ แตกต่างกัน

2) การฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ มีผลต่อองค์ประกอบของร่างกาย โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ และสารชีวเคมีในเลือดในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ แตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยทางสรีรวิทยาและความสามารถทางกีฬาของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ อีกทั้งยังมุ่งเน้นการเปรียบเทียบรูปแบบการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต โดยมีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

1. ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ได้แก่

1.1. การฝึกแบบปกติ (Usual training; UST)

1.2. การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity interval training; HIIT)

1.3. การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High-intensity interval training combined with blood flow restriction training; HIIT+BFR)

2. ตัวแปรตาม (Dependent variables) ประกอบด้วย

2.1. ตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป (General physiological data) ได้แก่

1) อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (Heart rate at rest) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) และความดันหลอดเลือดแดงเฉลี่ย (Mean blood pressure)

2) องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ได้แก่ น้ำหนัก (Weight) ส่วนสูง (Height) ดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI) เปอร์เซ็นต์ไขมัน (Percent of body fat) ของร่างกายและรยางค์ขา มวลไขมันร่างกายและรยางค์ขา (Fat mass) มวลกล้ามเนื้อร่างกายและมวลกล้ามเนื้อขา (Lean mass) และความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนัง (Adipose tissue thickness)

2.2. ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) และการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics) ได้แก่

1) สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ได้แก่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO_2max) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) กำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak power output; PPO) ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (Ventilatory threshold; VT_1) และระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (Ventilatory threshold; VT_2)

2) การไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics) ขณะพักและขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด ได้แก่ อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output; CO) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (Stroke volume; SV) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference; a-v O_2 diff)

2.3. ตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด (Vascular structure and function) ได้แก่

1) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-Media thickness; IMT)

2) คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity; baPWV)

3) การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediate dilatation; FMD) ของหลอดเลือดแดงเบรเคียล (Brachial artery)

4) การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediate dilatation; FMD) ของหลอดเลือดพอพลิเตียล (Popliteal artery)

5) การไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง (Cutaneous blood flow) ที่บริเวณหลังนิ้วมือ ได้แก่ การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก การไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด

หลังการปิดกั้นการไหลของเลือด อัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (Post occlusive reactive hyperemia; PORH) เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ และเวลาของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด

6) การไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง (Cutaneous blood flow) ที่บริเวณหลังเท้า ได้แก่ การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก การไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด อัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (PORH) เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ และเวลาของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด

2.4. ตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscular structure and function) ได้แก่

1) เส้นรอบวงของต้นขา (Thigh circumference) ตำแหน่งกึ่งกลางของขา

2) ขนาดความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) เรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris) และวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis)

3) ขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ (Muscle cross-sectional area) เรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris) และวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis)

4) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) ในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และงอเข่า (Knee flexion) ได้แก่ แรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว

5) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) ในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และงอเข่า (Knee flexion) ได้แก่ งาน งานต่อน้ำหนักตัว และระดับความล้า

6) ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) ได้แก่ ระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ (Tissue oxygenation index; ΔTSI) ระดับฮีโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน (Oxygenated hemoglobin; ΔO_2Hb) และระดับฮีโมโกลบินที่ไม่ถูกจับตัวกับออกซิเจน (Deoxygenated hemoglobin; ΔHHb)

2.5. ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ได้แก่

1) องค์ประกอบของเลือด (Compete blood count; CBC) เช่น จำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต

2) ปริมาณไขมันในเลือด (Lipid Profiles) ได้แก่ คอลเลสเตอรอล ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน และไตรกลีเซอไรด์

3) ระดับน้ำตาลในเลือด (Fasting blood glucose)

4) ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO)

5) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK)

6) มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA)

7) อินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์-วัน (Insulin-like growth factor-1; IGF-1)

8) วาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor; VEGF)

2.6. ตัวแปรด้านความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ได้แก่

1) ความทนต่อการเมื่อยล้า (Fatigue tolerance) ได้แก่ เวลาที่ทนต่อความเมื่อยล้า (Time to fatigue) งาน งานต่อน้ำหนักตัว อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ย และระยะทาง

2) ความสามารถทางกีฬาจักรยานโดยการปั่นจักรยานแบบจับเวลาที่ระยะทาง 40 กิโลเมตร (40 km time trial; TT40) ได้แก่ เวลา กำลังเฉลี่ย อัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ย รอบการปั่นเฉลี่ย และความเร็วเฉลี่ย

3) ความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ขณะทดสอบปั่นจักรยานแบบจับเวลาที่ระยะทาง 40 กิโลเมตร ที่จุดเริ่มต้น 0 กิโลเมตร 20 กิโลเมตร 40 กิโลเมตร และภายหลังการทดสอบในนาทีที่ 5 และ 10

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจและให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจในการฝึกอย่างเต็มความสามารถ
2. การเก็บข้อมูลทุกครั้งทำโดยผู้วิจัยชุดเดียวกันและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน
3. ผู้วิจัยไม่อาจควบคุมในเรื่องการบริโภคอาหาร การพักผ่อนและการทำกิจกรรมอื่นของผู้เข้าร่วมงานวิจัยในช่วงระยะเวลาของการเข้าร่วมการทดลองได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

จักรยานประเภทถนน (Road cycling) หมายถึง เป็นกีฬาชนิดหนึ่งที่ใช้จักรยานเสือหมอบเป็นอุปกรณ์กีฬาในการแข่งขัน ซึ่งเป็นการแข่งขันจักรยานทางเรียบบนถนน โดยนักกีฬาที่ปั่นจักรยานจนครบระยะทางที่กำหนดและใช้เวลาในการแข่งขันน้อยที่สุดตั้งแต่จุดปล่อยตัวจนถึงเส้นหยุดเวลาจะเป็นผู้ชนะ

นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ (Master road cyclists) หมายถึง นักกีฬาจักรยานประเภทถนนที่มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป ที่มีการฝึกซ้อมกีฬาเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการแข่งขันกีฬา (Araújo & Scharhag, 2016) ในการศึกษานี้ กำหนดเป็นเพศชาย อายุระหว่าง 35 ถึง 49 ปี

การฝึกแบบปกติ (Usual training; UST) หมายถึง การฝึกปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ความหนัก 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 75 นาที และการฝึกปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ความหนัก 55 – 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 120 นาที

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity Interval training; HIIT) หมายถึง การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 4 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบาด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ทั้งหมด 4 รอบ ควบคุมความเร็วในการปั่นจักรยานที่ 90 รอบต่อนาที ตลอดระยะเวลาการฝึก 24 นาที

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction training; BFR) หมายถึง การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการควบคุมการไหลเวียนของโลหิตโดยการใช้อุปกรณ์ชนิดปรับแรงดันได้หรือสายรัด พันรัดเข้ากับกล้ามเนื้อที่ทำงาน โดยมีเป้าหมายในการควบคุมหรือจำกัดการไหลเวียนโลหิตดำ (Venous circulation) และการไหลเวียนของโลหิตแดง (Arterial circulation) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การจำกัดการไหลเวียนโลหิตโดยการควบคุมจากอุปกรณ์สายรัดที่ตำแหน่งต้นขาทั้งสองข้างระหว่างการฝึกมีการควบคุมระดับความดันเป็นแบบเฉพาะบุคคล ขึ้นอยู่กับค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (Passive arterial occlusion pressure; AOP)

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High-intensity Interval training combined with blood flow restriction; HIIT+BFR) หมายถึง การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 4 นาที และการปั่นจักรยานระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 2 นาที จำนวน 2 รอบ (รอบที่ 1 และ 3) สลับกับช่วงการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักปานกลางด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก ระยะเวลา 4 นาที และการปั่นจักรยานระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 2 นาที จำนวน 2 รอบ (รอบที่ 2 และ 4) รวมทั้งหมด 4 รอบ ควบคุมความเร็วในการปั่นจักรยานที่ 90 รอบต่อนาที ตลอดระยะเวลาการฝึก 24 นาที

ค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (Passive arterial occlusion pressure; AOP) หมายถึง ค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (100% AOP) โดยการใช้แถบสายรัด (Cuff) ที่เป็นอุปกรณ์ในการฝึกพันบริเวณต้นขา และใช้เครื่องอัลตราซาวน์ (Ultrasound machine) พร้อมหัวตรวจ (Doppler probe transducers) ตรวจวัดการไหลเวียนโลหิตของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery)

สมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้พลังงานจากระบบออกซิเจนขณะปฏิบัติกิจกรรมทางกายอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเป็นความสามารถของร่างกายที่ทนทานต่อการออกกำลังกายที่ความหนักต่ำกว่าระดับสูงสุดได้เป็นระยะเวลายาวนาน ในการวิจัยครั้งนี้วัดสมรรถภาพทางแอโรบิกด้วยวิธีการทดสอบออกกำลังกายแบบขั้น (Graded incremental exercise test) โดยการประเมินค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen uptake; VO_2max) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold; VT) และกำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak power output at VO_2max)

สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ (Muscular fitness) หมายถึง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) และความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) ในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ซึ่งเป็นความแข็งแรงของกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าหรือควอทไดรเซป (Quadriceps) และท่างอเข่า (Knee flexion) ซึ่งเป็นความแข็งแรงของกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังหรือแฮมสตริง (Hamstrings)

โครงสร้างของกล้ามเนื้อ (Muscular structure) หมายถึง เส้นวงของต้นขา (Thigh circumference) ขนาดความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) และขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ (Muscle cross-sectional area) ของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris) และวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis)

ความทนต่อการเมื่อยล้า (Fatigue tolerance) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อที่ทนต่อการเมื่อยล้า หรือความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำงานที่ความหนักสูงในระยะเวลาที่ยาวนาน ซึ่งความเมื่อยล้าสามารถดูได้จากการสูญเสียแรงหรือแรงที่ลดลงในขณะที่มีความพยายามออกแรงสูงสุดอย่างตั้งใจ ในการศึกษานี้ใช้การทดสอบด้วยรูปแบบการทดสอบเวลาด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Time to fatigue at 150% of Peak power output) ปฏิบัติเต็มความสามารถจนไม่ไหว โดยประเมินจากระยะเวลาที่ทนต่อความเมื่อยล้า (Time to fatigue) ได้

ความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) หมายถึง ความสามารถในการปั่นจักรยานโดยใช้ความพยายามเต็มที่ เพื่อใช้เวลาในการปั่นจักรยานให้ได้น้อยที่สุด ผู้ที่ใช้เวลาปั่นจักรยานได้น้อยที่สุด จะบ่งบอกถึงความสามารถทางกีฬาจักรยานดีที่สุด ในการศึกษานี้ใช้การทดสอบแบบจำลองการปั่นจักรยานในห้องปฏิบัติการหรือการทดสอบปั่นจักรยานแบบไทม์ไทรอัล ระยะทาง 40 กิโลเมตร (40 km Time trial)

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1) ทำให้ทราบผลของการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

2) ทำให้ทราบผลของการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกาย สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด และสารชีวเคมีในเลือดในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

3) เกิดองค์ความรู้ใหม่ในประเด็นของผลการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

4) เกิดองค์ความรู้ใหม่ในประเด็นของผลการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตต่อองค์ประกอบของร่างกาย สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด และสารชีวเคมีในเลือดในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

5) ได้รูปแบบการฝึกใหม่ที่เป็นแนวทางในการฝึกพัฒนาความสามารถของนักกีฬาจักรยานและนักกีฬาประเภทความอดทนอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยเรื่องผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ โดยผู้จัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีเนื้อหาตามหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. กีฬาจักรยานประเภทถนน (Road cycling)
    1.1. ลักษณะกีฬาจักรยานประเภทถนน
    1.2. ความสามารถทางกีฬาจักรยาน
    1.3. ปัญหาที่พบในนักกีฬาจักรยาน
2. นักกีฬารุ่นมาสเตอร์
    2.1. การจำแนกช่วงอายุของนักกีฬา
    2.2. หลักการออกกำลังกายในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์
    2.3. ปัญหาของอายุที่เพิ่มสูงขึ้นในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์
3. สมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness)
    3.1. ตัวชี้วัดของสมรรถภาพทางแอโรบิก
    3.2. การประเมินสมรรถภาพทางแอโรบิก
    3.3. การฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิก
4. โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด (Vascular structure and function)
    4.1. โครงสร้างและการทำงานหลอดเลือด
    4.2. เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด
    4.3. สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานระบบหลอดเลือด
    4.4. การประเมินโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด
5. โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscular structure and function)
    5.1. การทำงานและสมรรถภาพทางกล้ามเนื้อในนักกีฬาจักรยาน
    5.2. สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานกล้ามเนื้อ
    5.3. การประเมินโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. การฝึกกีฬาจักรยาน (Cycling training)
   6.1. หลักการฝึกกีฬา
   6.2. รูปแบบการฝึกกีฬาจักรยาน
7. การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity interval training)
   7.1. หลักการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง
   7.2. รูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง
   7.3. การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในกีฬาจักรยาน
   7.4. ประโยชน์ของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในกีฬาจักรยาน
8. การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction training)
   8.1. หลักการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต
   8.2. การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต
   8.3. กลไกการตอบสนองของการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต
   8.4. การฝึกแบบสลับช่วงร่วมกับการฝึกด้วยจำกัดการไหลเวียนโลหิต
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   9.1. งานวิจัยในประเทศ
   9.2. งานวิจัยต่างประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. กีฬาจักรยานประเภทถนน (Road cycling)

กีฬาจักรยานประเภทถนน (Road cycling) เป็นชนิดกีฬาที่เป็นประวัติศาสตร์ทางการกีฬาของโลกชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2439 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน สหพันธ์จักรยานนานาชาติ (International Cycling Union) หรือชื่อภาษาฝรั่งเศส Union Cycliste Internationale อักษรย่อ U.C.I. ก่อตั้งเมื่อวันที่ 14 เมษายน พ.ศ.2443 (ค.ศ. 1900) ณ กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ทำหน้าที่บริหารกิจการกีฬาจักรยาน โดยเป็นผู้กำหนดระเบียบข้อบังคับ กำหนดกติกาการแข่งขันจักรยานและดูแลควบคุมกีฬาจักรยานให้ดำเนินไปอย่างมีระเบียบและถูกต้อง ส่วนการแข่งขันกีฬาจักรยานระดับชาตินั้น ทางสมาคมกีฬาจักรยานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมป์ ซึ่งเป็นสมาชิกของสหพันธ์จักรยานนานาชาติ ได้จัดการแข่งขันจักรยานประเภทถนนตามการแข่งขันสากลทั้งรูปแบบและรุ่นการแข่งขันที่สหพันธ์จักรยานนานาชาติกำหนด (สมาคมจักรยานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2561)

1.1. ลักษณะกีฬาจักรยานประเภทถนน (Road cycling characteristics)

การแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนน (Road cycling) เป็นกีฬาประเภทความอดทน (Endurance event) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) การแข่งขันจักรยานทางไกล (Distance) คือ การแข่งขันที่การปล่อยตัวแบบเป็นกลุ่มทั้งหมดพร้อมกัน ระยะทางการแข่งขันมากกว่า 100 กิโลเมตร ตัวอย่างการแข่งขันในระดับแกรนด์ทัวร์ (Grand tour) เช่น Tour de France, Tour of Italy, Tour of Spain เป็นต้น (Union Cycliste Internationale, 2017) ส่วนในการแข่งขันประเทศไทย คือ รายการ Tour of Thailand

2) การแข่งขันไทม์ไทรอัลหรือแบบจับเวลา แบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่

2.1) รายการไทม์ไทรอัลประเภทบุคคล (Individual time-trials) เป็นการแข่งขันจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เริ่มการแข่งขันโดยการปล่อยตัวเป็นรายบุคคล (Solo start) ในช่วงเวลาห่างกันสม่ำเสมอ (ประมาณ 1 - 2 นาที) ผู้แข่งขันที่ปั่นจนจบเวลาและเร็วที่สุดจะเป็นผู้ชนะการแข่งขัน การแข่งขันประเภทนี้มีในรายการแข่งขันโอลิมปิกเกมส์และการชิงแชมป์โลก (Union Cycliste Internationale, 2017)

2.2) รายการไทม์ไทรอัลประเภททีม (Team time-trials) หลักการพื้นฐานจะเหมือนกันกับไทม์ไทรอัลประเภทบุคคล แต่รายการนี้จะแข่งขันเป็นทีมที่มีนักกีฬาอย่างต่ำที่สุด 2 คน และมากที่สุด 10 คน ส่วนใหญ่จะมีประมาณ 5 - 6 คนต่อทีม (Union Cycliste Internationale, 2017)

3) การแข่งขันไครทีเรียมหรือแบบวงจร (Criterium) เป็นการแข่งขันจักรยานระยะสั้น ๆ จัดในสนามปิด และแข่งขันเป็นรอบ ๆ ละไม่เกิน 3 กิโลเมตร ระยะทางโดยรวม 30 - 40 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง

การแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนนเป็นกีฬาที่ตัดสินกันด้วยเวลา นักกีฬาที่สามารถทำเวลาในการแข่งขันได้ดีที่สุดจะเป็นผู้ชนะ ในระหว่างการแข่งขันนักกีฬาจะต้องรักษาระดับความเร็วตลอดระยะเวลาการแข่งขัน การแข่งขันกีฬาจักรยานระยะทางไกลโดยการปล่อยตัวพร้อมกัน (Mass start) ของนักกีฬาระดับอาชีพ (Professional cyclists) พบว่าตลอดระยะเวลาการแข่งขัน นักกีฬาใช้ความหนักของการออกกำลังกายมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) โดยประมาณครึ่งหนึ่งของการแข่งขันทั้งหมดใช้ความหนักในช่วงที่ทำให้เกิดกรดแลคติคในกล้ามเนื้อ และในช่วงท้ายเกมการแข่งขันจะมีความหนักสูงสุดโดยร่างกายจะทำงานเหนือกว่าโซนที่มีการสะสมของแลคเตทในเลือดมากกว่า 4 มิลลิโมลต่อลิตร (Onset of blood lactate; OBLA) ดังนั้น นักกีฬาจะมีการใช้พลังงานทั้งแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก และจะต้องมีความสามารถด้านความอดทนของกล้ามเนื้อ เพื่อช่วยในการรักษากำลังสูงสุดอย่างต่อเนื่องตลอดระยะการแข่งขัน (Mujika & Padilla, 2001)

1.2. ความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance)

กีฬาจักรยานเป็นกีฬาที่ตัดสินกันด้วยผลของเวลา ผู้ที่ปั่นได้เร็วที่สุดในระยะทางที่กำหนดจะถือว่าเป็นผู้ชนะ เมื่อกล่าวถึงความสามารถทางกีฬาจักรยาน จะประกอบด้วย

1) ความสามารถด้านการใช้เวลา (Time trial performance)

ความสามารถด้านการใช้เวลา คือ ความสามารถของนักกีฬาที่สามารถปั่นจักรยานในระยะทางที่กำหนดได้เวลาน้อยที่สุด หรือความสามารถในการทำเวลาการแข่งขันได้ดีที่สุด

การประเมินความสามารถด้านการใช้เวลาสามารถทำได้โดยการจำลองให้ปั่นจักรยานในห้องปฏิบัติการที่ระยะทาง 40 กิโลเมตร (40 km time trial) (Lucía et al., 2001; Mujika & Padilla, 2001; Weston et al., 1997) การทดสอบนี้สามารถบ่งบอกถึงความสามารถทางกีฬาจักรยานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Paton & Hopkins, 2001) การทดสอบในห้องปฏิบัติเป็นวิธีการทดสอบที่สามารถขจัดปัจจัยแทรกซ้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก และผู้เข้ารับการทดสอบสามารถควบคุมร่างกายให้มีการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้อย่างเต็มความสามารถ การทดสอบนี้สามารถประเมินตัวแปรต่าง ๆ เช่น เวลา (Time) อัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate) กำลัง (Power) ในการปั่น (Cadeance) และความเร็ว (Speed) รวมถึงการทดสอบความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) (Støren et al., 2013)

2) กำลังสูงสุด (Peak power output; PPO)

กำลังสูงสุด คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำให้เกิดแรงกระทำต่อแรงต้านได้อย่างรวดเร็ว กำลังสูงสุดถือว่าเป็นตัวชี้วัดที่ดีของการแสดงออกความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Coyle et al., 1991; Faria et al., 2005) หากนักกีฬามีกำลังขาที่สูงจะช่วยให้สามารถขับเคลื่อนจักรยานไปด้วยความเร็วที่ดี กำลังสูงสุดของนักกีฬาจักรยานสามารถประเมินได้จากกำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak power output; PPO) คือ ความสามารถสูงสุดหรือความสามารถของการสร้างกำลังงานแบบแอโรบิก (Maximum power output) นอกจากนี้ค่ากำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดมักจะถูกนำมาออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมที่จะมีความเหมาะสมกับแต่ละบุคคล โดยเฉพาะการกำหนดความหนักของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity interval training; HIIT) (Laursen & Jenkins, 2002) การศึกษาที่ผ่านมา พบว่า กำลังสูงสุดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ดังสมการ $VO_2max = 0.01141(PPO) + 0.435$ จากสมการทำให้ทราบว่า กำลังงานที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด จะมีการตอบสนองของความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่ระดับ 85 - 88 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) (Hawley & Stepto, 2001)

การประเมินกำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak power output; PPO) ค่ากำลังได้จากอุปกรณ์จักรยานวัดความสามารถ ในขณะทำการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ด้วยวิธีการทดสอบออกกำลังกายแบบขั้น (Graded incremental exercise test) ซึ่งผู้เข้ารับการทดสอบต้องปฏิบัติเต็มความสามารถจนกระทั่งไม่ไหว ซึ่งการคำนวณกำลังสูงสุด (PPO) สามารถคำนวณได้จากสมการ (Faria et al., 2005; Oliveira et al., 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$PPO = Power_{final} + \left(\frac{t\ (s)}{\text{Step duration}} \times \text{Step increment}\right)$$

เมื่อ PPO คือ กำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (วัตต์)

$Power_{final}$ คือ กำลังงานสูงสุดในขั้นสุดท้าย (วัตต์)

t (s) คือ เวลาของการควบคุมกำลังงานสุดท้าย (วินาที)

Step duration คือ เวลาของช่วงการเพิ่มกำลังงานในแต่ละช่วง (วินาที)

Step increment คือ กำลังงานที่เพิ่มขึ้นแต่ละช่วงการทดสอบ (วัตต์)

1.3. ปัญหาที่พบในนักกีฬาจักรยาน (Problem in cyclists)

จากลักษณะการแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนน แสดงให้เห็นว่า ในสภาวะการแข่งขันที่ต้องใช้กำลังระดับสูงในระยะเวลายาวนานนั้น หากร่างกายมีความสามารถในการขจัดกรดแลคติกน้อยกว่ากระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น จะเกิดการสะสมของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวได้อย่างปกติ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความเมื่อยล้าขึ้น (Baker et al., 1993)

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue) เป็นอาการของความรู้สึกอ่อนเพลียและการลดลงของสมรรถภาพกล้ามเนื้อและการทำงานของร่างกาย ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อความสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวขณะปั่นจักรยาน ซึ่งเมื่อเกิดอาการล้าจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสามารถทางกีฬาจักรยานและท่าทางการเคลื่อนไหวของนักกีฬา จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้นักกีฬาจักรยานเกิดการบาดเจ็บ (Dingwell et al., 2008) จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า นักกีฬาจักรยานมีปัญหาความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อบริเวณขาซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้งานมากกว่าบริเวณอื่น ๆ เมื่อเกิดขึ้นระหว่างการแข่งขัน นักกีฬาจะมีอาการของความรู้สึกอ่อนล้า ความสามารถในการหดตัว-คลายตัวของกล้ามเนื้อลดลง ไม่สามารถคงสภาพความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อไว้ได้ (Lepers et al., 2002) อีกทั้ง เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายโดยรวมลดน้อยไปด้วย (Thomas et al., 2015) ดังนั้น ปัญหาความเมื่อยล้า ถือได้ว่าเป็นปัญหาสำคัญ และถูกบ่งชี้ว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ความสามารถทางกีฬาจักรยานลดลง (C. Abbiss & P. Laursen, 2005; Burnley et al., 2006; Weston et al., 1997)

การเกิดความเมื่อยล้าในนักกีฬาจักรยานสันนิษฐานได้ว่าเกิดจากหลายปัจจัยร่วมกัน ได้แก่ การทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต แหล่งพลังงานและการเผาผลาญพลังงาน การสะสมของแลคเตทและการลดลงของค่าความเป็นกรดด่างภายในกล้ามเนื้อ (Dingwell et al., 2008) เมื่อเกิดกรดแลคติกเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อลดน้อยลง ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมีการล้าได้มากกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า เนื่องจากการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว จะมีผลผลิตที่เป็นของเสียหรือกรดแลคติกมากกว่า เมื่อมีกรดแลคติกคั่งมากจะทำให้ค่า pH ภายในเซลล์เป็นกรดมากขึ้น ซึ่งในสภาวะความเป็นกรดนี้ทำให้ความสามารถในการปล่อยแคลเซียมจากซาร์โคพลาสมิกเรคติกคูลั่ม (Sacroplasmic recticurum) ลดน้อยลง และยังรบกวนต่อความสามารถของการจับกันของแคลเซียมที่หัวของเส้นใยกล้ามเนื้อส่งผลให้ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง นอกจากนี้ อาการเมื่อยล้าอาจมีสาเหตุมาจากการหมดไปของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate; ATP) ที่เป็นสารชีวโมเลกุลทำหน้าที่ให้พลังงานในสิ่งมีชีวิตที่เก็บสะสมไว้ เนื่องจาก ATP เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ รวมถึงการหมดไปของไกลโคเจนที่สะสมไว้ การออกกำลังกายระยะเวลายาวจะทำให้ไกลโคเจนที่สะสมไว้ในกล้ามเนื้อถูกใช้ไป

ในปริมาณมาก เห็นได้ว่า หากการไหลเวียนโลหิตและการสำรองไกลโคเจนภายในกล้ามเนื้อบกพร่อง ร่างกายจะไม่สามารถสำรองพลังงานเอทีพี-พีซีได้อย่างพอเพียง ในขณะที่การปฏิบัติกิจกรรมทางกายยังคงดำเนินต่อไป ดังนั้นพลังงานเอทีพี-พีซีที่สำรองจะหมดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องใช้พลังงานจากระบบไกลโคไลติกแอนแอโรบิก (Anaerobic glycolytic system) ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับแลคเตทเกิดการสะสมนำไปสู่ความเมื่อยล้าในที่สุด

อย่างไรก็ตามปัญหาของความเมื่อยล้าสามารถลดลงได้โดยการฝึก จากการศึกษาพบว่าการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ช่วยพัฒนาระดับกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic threshold) ที่สูงมากขึ้น และช่วยพัฒนาความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Lucía et al., 2000) โดยในระหว่างการฝึกจะเกิดการสะสมของกรดแลคติกที่เกิดจากความไม่สมดุลกันของการผลิตและขจัดออก (Saltin et al., 1998) และการฝึกฝนที่ความหนักระดับกั้นแอนแอโรบิกของแต่ละบุคคล จะทำให้นักกีฬามีความสามารถในการใช้ออกซิเจนระดับสูง อีกทั้งเป็นการพัฒนาให้กล้ามเนื้อสามารถออกกำลังกายที่ระดับหนักได้เป็นระยะเวลานาน (Lucía et al., 2001) นอกจากนี้ การที่นักกีฬามีระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน หรือมีสมรรถภาพทางแอโรบิกดีขึ้น จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาผลาญไขมัน ลดการสะสมของแลคเตทเมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก ช่วยเพิ่มความอดทนต่อความเมื่อยล้า (Lindsay et al., 1996) เพิ่มความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ และทำให้ความสามารถทางการกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทนดีขึ้น (Shahidi, 2001)

นอกจากนี้ยังมีหลักฐานการวิจัยที่พบว่า อายุที่เพิ่มขึ้นของนักกีฬาเป็นอีกปัญหาที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์ ซึ่งผลของอายุที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมรรถภาพทางแอโรบิกลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อ 10 ปี (Peiffer et al., 2008) อีกทั้งยังส่งผลต่อสมรรถภาพกล้ามเนื้อ ทั้งความแข็งแรง ความอดทน และทนต่อการเมื่อยล้า (Aoyagi & Shephard, 1992; Chamari et al., 1995; Grassi et al., 1991; Reaburn et al., 2008) จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าในนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์เพศชายจะมีอัตราการลดลงของความสามารถด้านการใช้กำลังสูงสุดมากกว่าเพศหญิง (Brown et al., 2007)

2. นักกีฬารุ่นมาสเตอร์หรือรุ่นอาวุโส (Master Athletes)

ปัจจุบันกลุ่มประชากรวัยกลางคนมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในทิศทางเดียวกันนี้พบว่า อัตราของการเพิ่มขึ้นของกลุ่มนักกีฬาวัยกลางคนและวัยสูงอายุเช่นเดียวกัน นักกีฬาที่มีอายุมากขึ้นต่างให้ความสำคัญที่จะรักษาหรือพัฒนาผลงานให้ประสบความสำเร็จดั่งเช่นในช่วงวัยอายุที่น้อยกว่า จะเห็นได้ว่า มีนักกีฬาผู้สูงอายุจำนวนมากให้ความสนใจและตั้งใจเข้าร่วมแข่งขันกีฬาเพื่อความสำเร็จจากการแข่งขันกีฬา ทำให้ได้มาซึ่งความสมบูรณ์ของร่างกายและการยอมรับทางสังคม อย่างไรก็ตามจากการ

แข่งขันกีฬาผู้สูงอายุทั้งในระดับนานาชาติและระดับชาติ มักจะมีการทำลายสถิติอย่างต่อเนื่อง ซึ่งบ่งบอกถึงการพัฒนาความสามารถของนักกีฬาสูงอายุที่เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

การแข่งขันกีฬารุ่นมาสเตอร์มีการแข่งขันในระดับสากล ภายใต้การควบคุมดูแลของสมาคมกีฬาผู้สูงอายุนานาชาติ (International Masters Games Association; IMGA) ได้แก่ รายการแข่งขัน World Masters Games, Amaricas Masters Games, European Masters Games, Asia Pacific Masters Games และ World Winter Masters Game และถือได้ว่าเป็นเกมกีฬาต้นแบบของการแข่งขันกีฬารุ่นมาสเตอร์ทั่วโลก การแข่งขันกีฬารุ่นมาสเตอร์มีเป้าหมายเพื่อเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนให้นักกีฬาวัยผู้ใหญ่ (Mature athletes) จากทั่วทุกมุมโลก ได้ฝึกฝนกีฬาอย่างสม่ำเสมอและเข้าร่วมการแข่งขันมาสเตอร์เกมส์ (International Masters Games Association) ด้วยความตระหนักว่าการแข่งขันกีฬาสามารถดำเนินต่อไปได้ตลอดชีวิตและเป็นการพัฒนาระดับความสามารถทางกายของแต่ละบุคคลได้ (International Masters Games Association, 2016) จากสถิติเข้าร่วมการแข่งขันของเหล่านักกีฬารุ่นมาสเตอร์ในเกมการแข่งขัน World Masters Games พบว่า มีจำนวนนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ร่วมการแข่งขันเพิ่มขึ้นอย่างมาก จากการแข่งขันในครั้งล่าสุดเมื่อปี ค.ศ. 2017 ณ ประเทศนิวซีแลนด์ มีการชิงชัยใน 28 ชนิดกีฬา มีนักกีฬาผู้สูงอายุเข้าร่วมแข่งขันมากกว่า 25,000 คน จากกว่า 100 ประเทศทั่วโลก และมีผู้ชมมากกว่า 244,000 คน (International Masters Games Association, 2016) ประเทศไทยก็ได้ตระหนักถึงความสำคัญดังกล่าว จึงได้มีการจัดการแข่งขันกีฬารุ่นมาสเตอร์ระดับชาติขึ้น โดยการกีฬาแห่งประเทศไทยได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนากีฬาชาติ จึงได้จัดแข่งขันกีฬาผู้สูงอายุแห่งชาติขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2561 เพื่อเป็นการเติมเต็มให้กับนักกีฬาผู้อาวุโสหรือประชาชนทั่วไปที่อยากเล่นกีฬา การแข่งขันกีฬารุ่นมาสเตอร์จึงมีความสำคัญต่อวงการกีฬาประเทศไทยเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นการต่อยอดให้กับนักกีฬาที่เลิกเล่นไปแล้วกลับมาเล่นกีฬาอีกครั้ง (การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2561) การแข่งขันกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์ในประเทศไทย โดยสมาคมจักรยานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ จัดให้มีการแข่งขันกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์หรือรุ่นอาวุโส (อายุตั้งแต่ 30 ปีขึ้นไป) ในระดับชิงแชมป์ประเทศไทยจะมีการแข่งขัน 5 สนาม ในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายนเป็นประจำทุกปี (สมาคมจักรยานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2561) นอกจากนี้ ยังมีการแข่งขันในรายการทั่วไปโดยผ่านการรับรองจากสมาคมจักรยานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ที่แข่งขันตามรุ่นอายุอีกมากมาย

2.1. การจำแนกช่วงอายุของนักกีฬา (Age classification of athletes)

Araújo and Scharhag (2016) ได้รวบรวมผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับช่วงอายุนักกีฬาต่าง ๆ และสรุปถึงคำนิยาม “กลุ่มอายุของนักกีฬา” เพื่อประโยชน์ต่อการทำงานสำหรับการวิจัยทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ จึงมีการแบ่งกลุ่มช่วงอายุของนักกีฬาออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) นักกีฬาเยาวชน (Young athletes) คือ นักกีฬาที่มีช่วงอายุระหว่าง 12 – 17 ปี

2) นักกีฬารุ่นทั่วไป (Adult athletes) คือ นักกีฬาที่มีช่วงอายุระหว่าง 18 – 35 ปี

3) นักกีฬารุ่นมาสเตอร์ (Master athletes) คือ นักกีฬาที่มีช่วงอายุระหว่าง 35 – 60 ปี

กล่าวโดยสรุปคือ นักกีฬารุ่นมาสเตอร์ (Master athlete) คือ นักกีฬาที่มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป ที่มีการฝึกซ้อมกีฬาเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการแข่งขันกีฬาที่ออกแบบมาเพื่อกลุ่มนักกีฬารุ่นมาสเตอร์โดยเฉพาะ (Araújo & Scharhag, 2016) ในทางการแข่งขันกีฬาจักรยานจะกำหนดอายุของนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ โดยแบ่งการแข่งขันเป็นรุ่นตามช่วงอายุ 5 ปี ได้แก่ รุ่นอายุ 35 – 40 ปี รุ่นอายุ 41 – 45 ปี และรุ่นอายุ 46 – 50 ปีเป็นต้น (International Masters Games Association, 2016) สำหรับการแข่งขันกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์ในประเทศไทย จะแบ่งการแข่งขันในช่วงอายุ 10 ปี ได้แก่ 30 – 39 ปี 40 – 49 ปี และ 50 ปีขึ้นไป

2.2. หลักการออกกำลังกายในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์

การฝึกออกกำลังกายในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ เมื่อพิจารณาถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับบุคคลที่มีอายุ 35 ปีขึ้นไป แม้จะพบความเสี่ยงเล็กน้อยที่อาจเกิดขึ้นจากภาวะที่เกี่ยวข้องกับโรคหัวใจในขณะทำกิจกรรมทางกายหรือออกกำลังกาย ในทางปฏิบัติก็ควรจะมีการประเมินความเสี่ยงภาวะหัวใจขาดเลือดก่อนการฝึกกิจกรรมทางกาย ด้วยรูปแบบการประเมินตนเอง (Self–assessment) ด้านปัจจัยเสี่ยงของโรคหัวใจ (Cardiac risk factor) และระดับกิจกรรมทางกาย (Physical activity level) หากเป็นกิจกรรมทางกายที่ระดับความหนักสูง ทำการคัดกรองโดยบุคลากรทางการแพทย์ (Physician) เช่น แบบสอบถามประวัติสุขภาพ (Personal and family medical history) ประกอบด้วย ประวัติสุขภาพในอดีต ประวัติการเจ็บป่วยของคนในครอบครัว และข้อมูลสุขภาพในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีการทดสอบทางกาย (Physical exam) คะแนนความเสี่ยง (Risk SCORE) และคลื่นไฟฟ้าหัวใจขณะพัก (Rest ECG) หากไม่มีความผิดปกติก็สามารถทำการฝึกได้ แต่หากพบความผิดปกติในเบื้องต้นให้ทำการทดสอบการออกกำลังกายสูงสุด (Maximal exercise testing) หากไม่พบความผิดปกติก็สามารถทำการฝึกได้ แต่หากความผิดปกติต้องปรึกษาแพทย์เพื่อประเมินการรักษาต่อไป (Borjesson et al., 2011)

2.3. ปัญหาของอายุที่เพิ่มสูงขึ้นในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์

อายุที่เพิ่มมากขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถภาพและความสามารถของร่างกาย จากการศึกษาพบว่า ช่วงอายุ 20 – 35 ปี เป็นช่วงที่มีสมรรถภาพทางกายสูงสุด และช่วงวัยกลางคนหรือวัยผู้ใหญ่ตอนต้นสุขภาพดีทั่วไปอายุ 35 ปีขึ้นไป มักจะมีการออกกำลังกายลดลง มีภาวะการสะสมไขมันในร่างกายเพิ่มขึ้น (Shephard, 1997) และที่สำคัญพบว่า มีสมรรถภาพของ

ความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) ลดลง (Tanaka & Seals, 2008) สำหรับช่วงอายุที่เริ่มตั้งแต่ 45 – 50 ปีขึ้นไป สมรรถภาพและความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยอัตราเร่งของการลดลงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Tanaka & Seals, 2008) ผลของอายุที่เพิ่มขึ้นถือเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในนักกีฬาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ส่งผลเสียทำให้การแสดงออกความสามารถทางกีฬา (Performance) ของนักกีฬาลดลง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอายุมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular systems) และระบบการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle function) โดยตรง (Maharam et al., 1999) ดังนี้

1) ผลจากอายุที่เพิ่มขึ้นกับการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต

อายุที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อสมรรถภาพทางแอโรบิกหรือความสามารถด้านความอดทน โดยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum oxygen consumption) และระดับกั้นแลคเตท (Lactate threshold) ลดลง โดยทั่วไปนักกีฬาจะสามารถรักษาระดับความสามารถสูงสุดจนกระทั่งอายุประมาณ 35 ปี และจะมีอัตราการลดลงของความสามารถสูงสุดอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 50 – 60 ปีขึ้นไป ซึ่งนักกีฬาสูงอายุจะมีการตอบสนองต่อความสามารถทางกีฬาที่แตกต่างจากกลุ่มนักกีฬาทั่วไปที่อายุน้อยกว่า (Tanaka & Seals, 2008) ปัจจัยที่ส่งผลให้สมรรถภาพทางแอโรบิก หรือความสามารถของการออกกำลังกายแบบอดทนลดลง (Shephard, 1997; Tanaka & Seals, 2008) มี 2 ปัจจัยหลัก ดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 1)

1.1) ปัจจัยด้านระบบการทำงานส่วนกลาง (Central factors) ประกอบด้วย อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจต่อนาที (Cardiac output; CO) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Heart rate; HRmax) และปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจจากการบีบตัวหนึ่งครั้ง (Stroke volume; SV) (Reaburn et al., 2008; Tanaka & Seals, 2008) จากการศึกษาพบว่า อายุที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อการทำงานของหัวใจ ประสิทธิภาพการนำสัญญาณของ Sinoatrial node (SA node) ที่กระตุ้นการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจลดลง (Fleg et al., 1994) จึงทำให้อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) ลดลง และอาจเกิดจากสภาวะการแข็งตัวของหลอดเลือดแดง (Arteries stiffness) ทำให้ความต้านทานของหลอดเลือดแดงสูงขึ้น (Aortic input impedance) เกิดความดันที่ใช้ในการบีบตัวของหัวใจเพื่อสูบฉีดเลือดที่สูงขึ้น อีกทั้งอายุที่เพิ่มมากขึ้นยังส่งผลต่อแรงการบีบตัวของหัวใจลดลง ส่งผลให้ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจจากการบีบตัวหนึ่งครั้ง (Stroke volume) ลดลงไปด้วย (Tanaka & Seals, 2008) เมื่อประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจลดลง จึงส่งผลทำให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ลดลง ซึ่งจะเริ่มลดลงตั้งแต่อายุ 25 – 30 ปีขึ้นไป อัตราการลดลงประมาณ 10 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว/นาที ต่อทศวรรษ (Fitzgerald et al., 1997)

1.2) ปัจจัยด้านระบบการทำงานส่วนปลาย (Pheriperal factors) ประกอบด้วยระบบการทำงานของกล้ามเนื้อ การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า อายุที่เพิ่มสูงมากขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณกล้ามเนื้อ (Muscle mass) และขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type II muscle fiber size) ลดลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง นอกจากนี้ อายุที่เพิ่มขึ้นยังมีผลทำให้ร่างกายมีความสามารถในการนำออกซิเจนไปใช้ลดลง โดยพิจารณาจากความแตกต่างของค่าออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (Arterio–Venous Oxygen Difference; a–vO_2diff) (Reaburn et al., 2008) สามารถคำนวณ ดังสมการ

$$a\text{–}vO_2diff\ (mL.dL^{-1}) = \frac{VO_2max\ (mL.min^{-1})}{CO_{max}(L.min^{-1})}$$

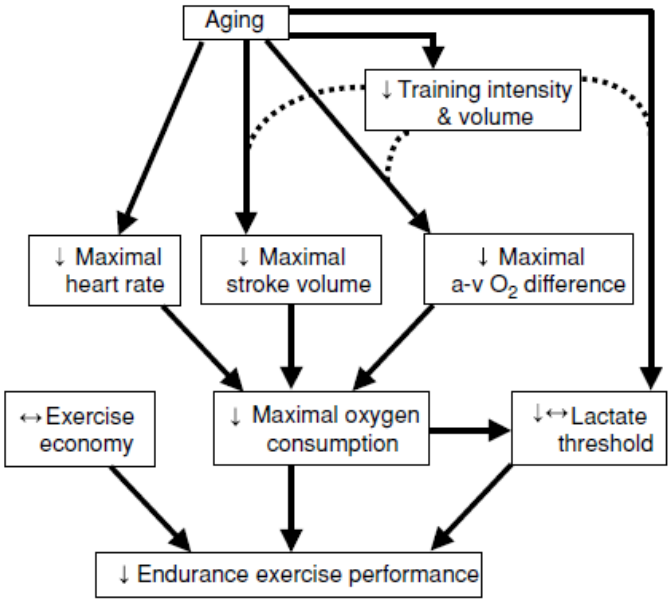
เมื่อ a–vO_2diff คือ ความแตกต่างของค่าออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ

VO_2max คือ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

CO_{max} คือ อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที

ความแตกต่างของค่าออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำมีความเกี่ยวข้องกับออกซิเจน (Oxygen; O_2) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์พลังงานระดับเซลล์ที่ต้องใช้ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ โดยร่างกายมีกลไกการดูดซับออกซิเจนจากอากาศที่หายใจผ่านทางระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ถุงลมปอด (Lung alveoli) อาศัยหลักการแพร่ตามความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของก๊าซ โดยเลือดดำที่มีระดับออกซิเจนในเลือดต่ำจะไหลกลับไปยังปอดเพื่อมารับการแลกเปลี่ยนออกซิเจนจากอากาศในถุงลมปอดที่มีออกซิเจนความเข้มข้นสูงกว่าไปสู่เม็ดเลือดแดงและน้ำเลือดในหลอดเลือดฝอยของถุงลมปอดที่มีออกซิเจนในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่า หลังจากนั้นออกซิเจนส่วนใหญ่จะถูกจับกับโปรตีนของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin; Hb) ฮีโมโกลบินมีความสามารถจับออกซิเจนได้มากที่สุดใน 1 โมเลกุลของฮีโมโกลบินสามารถจับออกซิเจนได้มากที่สุด 4 โมเลกุล หลังจากนั้นออกซิเจนจะเดินทางไปตามหลอดเลือดแดงฝอย ผ่านการบีบตัวของหัวใจไปสู่หลอดเลือดแดงที่มีขนาดใหญ่ไปจนถึงหลอดเลือดฝอย (Capillary vessels) ส่วนปลายของร่างกาย โดยทั้งออกซิเจนที่จับกับฮีโมโกลบิน และออกซิเจนที่ละลายในน้ำเลือดจะแพร่ไปสู่เซลล์ส่วนปลายด้วยหลักการแพร่ ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการแพร่ของออกซิเจนสู่เซลล์ คือ ระยะทางระหว่างหลอดเลือดฝอยกับเซลล์ และระดับความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของออกซิเจนในเนื้อเยื่อและในหลอดเลือดฝอย (กุสุมา ชินอรุณชัย, 2560)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1 ปัจจัยและกลไกทางสรีรวิทยาที่ส่งผลต่อการลดลงของความสามารถด้านความอดทน

ที่มา: Tanaka and Seals (2008)

2) ผลจากอายุที่เพิ่มขึ้นกับระบบการทำงานของกล้ามเนื้อ

อายุมีผลทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่ของกล้ามเนื้อ (Muscle function) ทั้งจากการลดลงของเส้นใยกล้ามเนื้อและขนาดของกล้ามเนื้อ สาเหตุเกิดจากการลดลงของความหนักในการทำกิจกรรมทำให้มีความหนักในการกระตุ้นหน่วยยนต์ (Motor units) ที่น้อยลง หรืออาจเกิดจากการลดลงของเส้นใยชนิดหดตัวเร็ว (Fast twitch fiber)

2.1) อายุมีผลทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) หรือความสามารถในการออกแรงสูงสุด (Maximal voluntary force; MVC) ลดลง สาเหตุเกิดจากการลดลงของมวลกล้ามเนื้อ (Lean muscle mass) ซึ่งอาจเป็นการลดลงของจำนวนหรือขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อหรือทั้งสองอย่างร่วมกัน ดังนั้น ขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ (Cross sectional area) จึงลดลง นอกจากนี้ยังเกิดจากการสูญเสียเส้นใยประสาท (Motor neuron) ร่วมด้วย (Aoyagi & Shephard, 1992) จากการศึกษาพบว่าความแข็งแรงสูงสุดจะอยู่ในช่วงอายุ 25 ปี หลังจากนั้นจะเริ่มมีอัตราการลดลง และในช่วงอายุ 65 ปี จะพบว่ามีการลดลงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของความแข็งแรงสูงสุด (Shephard, 1997)

2.2) อายุมีผลทำให้เวลาที่ทำให้เกิดการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อ (Contraction speed) ยาวนานมากขึ้น เนื่องจากผู้สูงอายุมีความสามารถในการกระตุ้นกระแสประสาทด้วยความถี่ที่ต่ำลง นอกจากนี้อายุยังมีผลทำให้คุณภาพของกล้ามเนื้อ (Quality) ลดลงจาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพการทำงานเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type IIb fibers) ซึ่งคุณภาพของกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของความเร็วสูงสุดในการหดตัวของกล้ามเนื้อ มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type IIb fibers) ดังนั้น คุณภาพของกล้ามเนื้อที่ลดลงส่งผลให้ความเร็วสูงสุด (Maximum Velocity) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง

2.3) อายุมีผลต่อความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) อายุที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความอดทนของกล้ามเนื้อลดลง เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการทำงานภายในเซลล์โดยปกติเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 ถูกกระตุ้นให้เกิดการทำงานด้วยเอมไซม์แอลดีเฮช (Enzyme lactate dehydrogenase; LDH) ดังนั้น ร่างกายเกิดอัตราการสร้างแลคเตทที่เพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้เกิดการเมื่อยล้าอย่างรวดเร็ว ตลอดจนอายุมีผลให้เกิดการลดลงของเส้นเลือดฝอยในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการไหลเวียนเวียนที่กล้ามเนื้อ (Local blood flow) ลดลง โดยการเพิ่มขึ้นของระยะทางการแพร่จากหลอดเลือดฝอยไปยังไมโตรคอนเดรียมากขึ้น ด้วยเหตุดังกล่าวจึงส่งผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพด้านความอดทนในผู้ที่มีอายุเพิ่มมากขึ้น เห็นได้จากเวลาของความอดทน (Endurance time) หรือความทนต่อการเมื่อยล้า (Fatigue tolerance) น้อยกว่าวัยหนุ่มสาว (Aoyagi & Shephard, 1992)

3. สมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness)

สมรรถภาพทางแอโรบิก หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิก หรือระบบการทำงานที่ใช้ออกซิเจนขณะปฏิบัติกิจกรรมทางกายอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ระบบพลังงานแบบแอโรบิก (Aerobic energy system) คือ ระบบพลังงานที่ต้องการใช้ออกซิเจนในกระบวนการเผาผลาญอาหารโดยมีคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลังงาน สารอาหารในส่วนของคาร์โบไฮเดรตเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเปลี่ยนเป็นกลูโคส หรือไกลโคเจนเก็บสะสมไว้ในตับและกล้ามเนื้อเป็นส่วนใหญ่ แต่สามารถใช้ในปริมาณอย่างจำกัด แตกต่างกับไขมันที่เก็บสะสมไว้จะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองได้อย่างไม่มีข้อจำกัด ดังนั้น สมรรถภาพทางแอโรบิกจึงเป็นความสามารถของร่างกายในการใช้พลังงานจากระบบออกซิเจน เพื่อนำส่งออกซิเจนไปยังเส้นใยกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานช่วยในการสำรองพลังงานขึ้นมาใหม่และลดการเกิดของเสียภายในกล้ามเนื้อจากระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic glycolytic system) ซึ่งความสามารถทางแอโรบิก (Aerobic capacity) จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของหัวใจ ปอดและหลอดเลือด โดยหัวใจทำหน้าที่สูบฉีดเลือดเพื่อนำเลือดไปเลี้ยงทั่วร่างกาย โดยส่งเลือดผ่านไปตามหลอดเลือดจากหัวใจไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่วนปอดเป็นอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบการหายใจซึ่งจะทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซ และ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การนำเอาออกซิเจนบรรจุฮีโมโกลบินเพื่อการขนส่งสารอาหารและออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อ นอกจากนี้ สมรรถภาพทางแอโรบิกยังเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ อันได้แก่ ความสามารถในการตอบสนองของกล้ามเนื้อต่อสัญญาณประสาท ลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อ และระดับพลังงานภายในกล้ามเนื้อ (Mcardle et al., 2016) ดังนั้น สมรรถภาพทางแอโรบิก จึงบ่งบอกถึงความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) ได้เป็นอย่างดี

3.1. ตัวชี้วัดของสมรรถภาพทางแอโรบิก

การแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนนเป็นกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทน มีลักษณะการใช้พลังงานโดยรวมที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal level) ในระยะเวลายาวนาน นักกีฬาจะต้องรักษาระดับความเร็วหรือกำลังสูงสุดในการปั่นจักรยานตลอดการแข่งขัน จำเป็นต้องมีสมรรถภาพแอโรบิกหรือความสามารถสูงสุดในการทำงานรูปแบบที่ต้องใช้พลังงานแบบแอโรบิก (Padilla et al., 2000) จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า สมรรถภาพทางแอโรบิกเป็นตัวชี้วัดความสามารถทางกีฬาจักรยาน ประกอบไปด้วย (Faria et al., 2005; Støren et al., 2013) ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบการทำงานในร่างกายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1) ระบบหายใจมีความสำคัญในการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Gas exchange)

2) ระบบหัวใจมีความสำคัญในการบีบเลือด (Pump generator) เพื่อนำสารอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

3) ระบบเลือด ได้แก่ ปริมาณเลือด จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell) และความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดง (Hemoglobin) มีความสำคัญในการรับออกซิเจน โดยการจับรวมตัวกันและนำไปสู่เซลล์

4) ระบบกล้ามเนื้อเป็นระบบปลายทางที่จะสกัดนำออกซิเจนไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน กล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่จะมีการใช้ออกซิเจนที่มากกว่ากล้ามเนื้อขนาดเล็ก

สมรรถภาพทางแอโรบิกหรืออัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ถูกกำหนดโดยความสามารถของระบบไหลเวียนโลหิตที่จะขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อที่ทำงาน ซึ่งความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ขึ้นอยู่กับปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที (Maximal cardiac output; CO) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous O_2 difference; a–v O_2 diff) (Scott et al., 2020) ดังสมการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$VO_2max = CO_{max} \times a\text{–}v\ O_2diff$$

$$= (HR_{max} \times SV_{max}) \times a\text{–}v\ O_2diff$$

เมื่อ VO_2max คือ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)

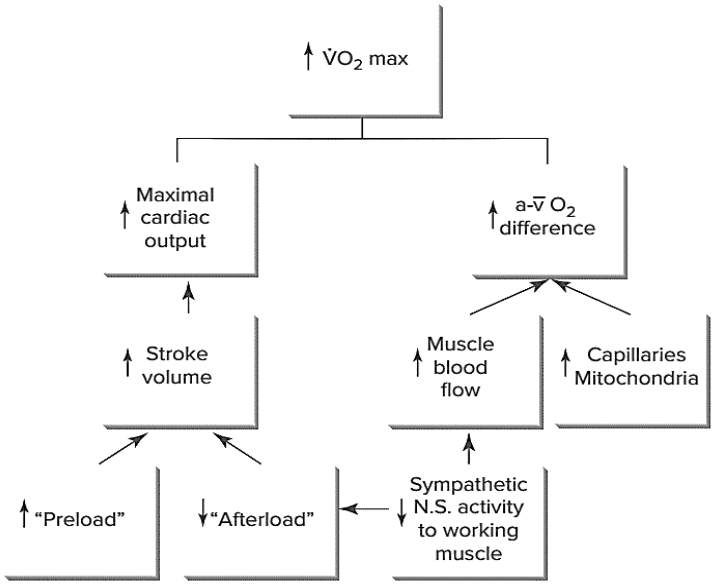
$a\text{–}v\ O_2diff$ คือ ความแตกต่างของค่าออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ

CO_{max} คือ อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (ลิตรต่อนาที)

HR_{max} คือ อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)

SV_{max} คือ ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (ลิตร)

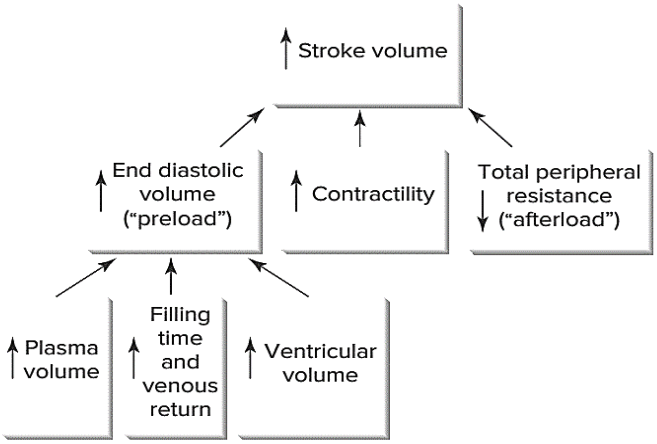
สมรรถภาพทางแอโรบิกหรือความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นตัวชี้วัดที่ดีของความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Di, 2003) ซึ่งนักกีฬาจักรยานอาชีพ (Professional cyclists) มีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ประมาณ 74 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (Pfeiffer et al., 1993) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาความหนักของการแข่งขันกีฬาจักรยานของนักกีฬาระดับอาชีพ (Elite cyclists) พบว่า ใช้ความหนักที่ 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดตลอดช่วงเวลาประมาณ 60 นาทีโดยประมาณ (Lucía et al., 2000)



รูปที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max)

ที่มา: Scott et al. (2020)

ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที (Maximal cardiac output; COmax) คำนวณได้จากผลคูณของปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (Maximal stroke volume; SVmax) และอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) โดยปกติค่าปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที จะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและปริมาณงานที่ทำ เนื่องจากกล้ามเนื้อที่ทำงานหนักเพิ่มขึ้นจะเพิ่มการใช้ออกซิเจนที่มากขึ้น การออกกำลังกายจะเพิ่มการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อ ช่วยเพิ่มขนาดหลอดเลือดในกล้ามเนื้อ ทำให้มีปริมาณเลือดที่ไหลกลับหัวใจเพิ่มมากขึ้น (Venous return) ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจในแต่ละครั้งก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้น ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจสูงสุดใน 1 นาที (COmax) จึงเพิ่มขึ้น (Scott et al., 2020)



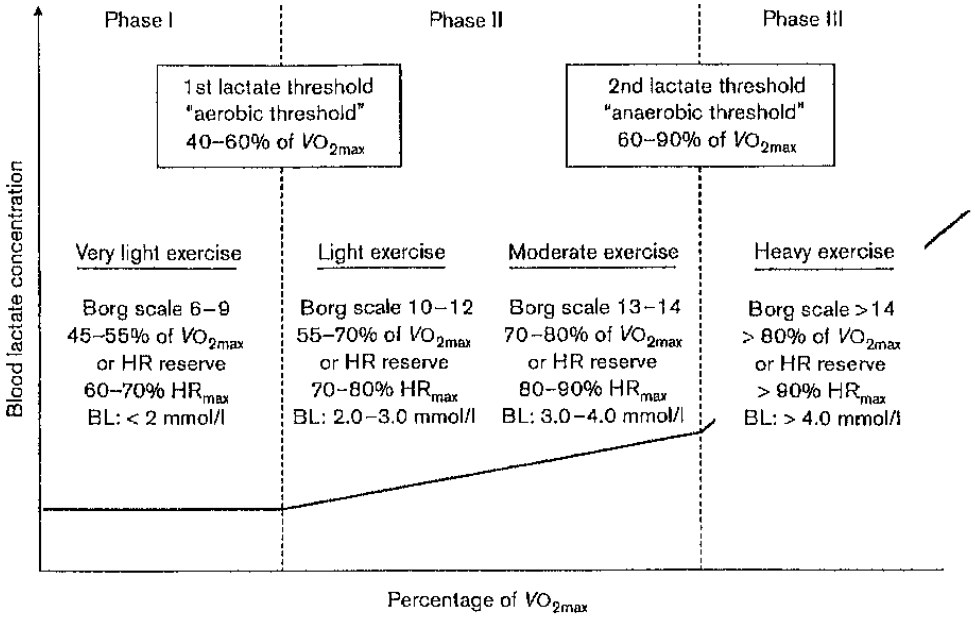
รูปที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมตรเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (Stroke volume)
ที่มา: Scott et al. (2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นอกจากนี้ ระดับกั้นแลคเตท (Lactate threshold) หรือจุดเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด ซึ่งเป็นจุดเริ่มของการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากระบบแอโรบิกเป็นระบบแอนแอโรบิก และจะเป็นจุดเริ่มมีการสะสมกรดแลคติก ซึ่งภายหลังภาวะนี้จะมีการสะสมกรดแลคติก อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเมื่อยล้าและมีผลกระทบต่อการทำงานของร่างกาย เป็นตัวแปรที่ใช้แสดงค่าจุดเริ่มล้า ประกอบด้วย 2 ระยะคือ

1. ระดับกั้นแลคเตทที่ 1 หรือแอนแอโรบิกเทรชโฮล (Anerobic Threshold) เป็นจุดที่เริ่มมีการสะสมของกรดแลคติกในร่างกายแต่ร่างกายยังสามารถขจัดทิ้งได้ อีกทั้ง บ่งบอกถึงความหนักของการออกกำลังกายที่สามารถทำให้แลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นมากเกินกว่าปกติ 1 มิลลิโมลต่อลิตร โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

2. ระดับกั้นแลคเตทที่ 2 เมื่อออกกำลังกายที่ความหนักสูงเพิ่มขึ้น กล้ามเนื้อจะทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น ทำให้แลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดการสะสมของปริมาณแลคเตทในเลือดที่มากกว่า 4 มิลลิโมลต่อลิตร หลังจากภาวะนี้ร่างกายจะมีระดับกรดแลคติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งความเป็นกรดนั้นมีผลต่อการทำงานของร่างกายทำให้เกิดอาการเมื่อยล้าและหยุดออกกำลังกายในที่สุด



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของการสะสมของปริมาณแลคเตทในเลือดและความหนักในการออกกำลังกาย

ที่มา: Binder et al. (2008)

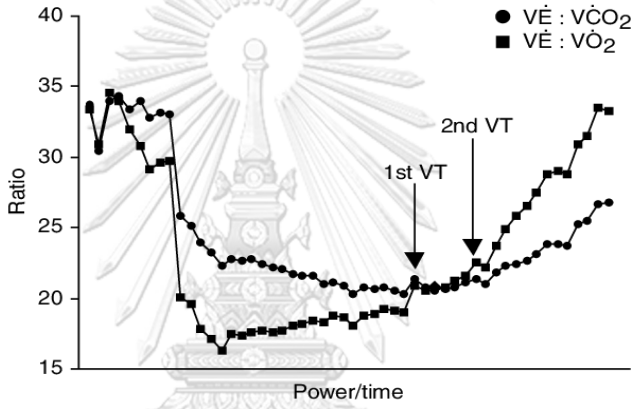
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ การประเมินจุดเริ่มล้ายังสามารถวัดโดยทางอ้อมจากการวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) การประเมินจากระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold; VT) คือ จุดที่ระดับความหนักในการออกกำลังกายทำให้ปริมาณความต้องการใช้ออกซิเจนสำหรับการสร้างพลังงานแอโรบิกมีมากกว่าปริมาณที่ร่างกายได้รับ ร่างกายจึงต้องใช้กลไกการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิกมาช่วยเสริมเป็นเหตุให้มีการสะสมกรดแลคติกภายในร่างกายและส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของระบบแลกเปลี่ยนก๊าซในระหว่างการออกกำลังกาย เมื่อร่างกายทำงานไปถึงจุดที่มีการขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อไม่สามารถทำได้เพียงพอต่อความต้องการในการสร้างพลังงาน กลไกการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic glycolysis) จะเข้ามามีส่วนช่วยในการสร้างพลังงานโดยการเปลี่ยนไพรูเวต (Pyruvate) เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) ก่อให้เกิดการสะสมกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นในกล้ามเนื้อ กรดแลคติกที่เพิ่มมากขึ้นจะทำการบัฟเฟอร์ (Buffering) หรือถูกทำให้เป็นกลางโดยไบคาร์บอเนต

(Bicarbonate; HCO_3) ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น และสามารถตรวจวัดได้ทันที (Wasserman et al., 1973) โดยการวิเคราะห์สมดุลการหายใจ (Respiratory equipvalents) ของความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake; VO_2) และการขับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide release; VCO_2) ประกอบด้วย 2 ระยะคือ (ดังรูปที่ 5)

1. ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) หรือแอนแอโรบิกเทรชโฮล (Anaerobic Threshold) ซึ่งสามารถบ่งบอกระดับความหนักของการออกกำลังกายได้เช่นเดียวกับระดับกั้นแลคเตทที่ 1

2. ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (VT_2) ซึ่งสามารถบ่งบอกระดับความหนักของการออกกำลังกายได้เช่นเดียวกับระดับกั้นแลคเตทที่ 2



รูปที่ 5 ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) และระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (VT_2)

ที่มา: Bentley et al. (2007)

นักวิจัยต่างให้ความสำคัญกับระดับกั้นแลคเตทหรือระดับกั้นการระบายอากาศ ซึ่งสามารถทดสอบโดยการออกกำลังกายที่ระดับความหนักต่ำกว่าระดับสูงสุด (Sub–maximal exercise) ว่าเป็นตัวบ่งชี้ได้ดีเหมือนความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) มีความเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของการเกิดแลคเตทจากการทำงานของระบบกล้ามเนื้อโดยตรง ซึ่งเป็นปัจจัยที่จำกัดการทำงานของกล้ามเนื้อ (Peripheral factor limitation) (Faria et al., 2005) จากการศึกษาพบว่า ระดับกั้นแลคเตทที่ 2 ในนักกีฬาจักรยานระดับอาชีพอยู่ที่ความหนักการออกกำลังกายประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (FernÁndez-garcía et al., 2000) นอกจากนี้กำลังสูงสุด (Peak power output) ขณะร่างกายมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด คือ ความสามารถของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular) ในการทำให้เกิดแรงกระทำต่อแรงต้านได้อย่างรวดเร็ว ถือว่าเป็นตัวชี้วัดที่ดีของการแสดงออกความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Coyle et al., 1991; Faria et al., 2005) ซึ่งนักกีฬาต้องรักษากำลัง (Power output) ให้ได้ในช่วงระยะเวลาของการแข่งขัน โดยโปรแกรมการฝึกจะสามารถช่วยพัฒนาความสามารถทางกีฬาในนักกีฬา

จักรยานประเภทถนนนำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงการปรับตัวหลายแบบที่ช่วยให้นักกีฬาสามารถเพิ่มการผลิตพลังงานจากทั้งระบบที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน และชะลอจุดเริ่มเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Hawley & Stepto, 2001) และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (Efficiency หรือ Cycling economy) คือ ประสิทธิภาพการทำงานของระบบพลังงาน เช่น ปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen cost) ต่อการสร้างกำลังงานของการรปั่นจักรยาน (Cycling power output) (Joyner & Coyle, 2008) อาจสรุปได้ว่า ความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) จะเกี่ยวข้องกับความอดทนของร่างกายโดยรวม (Whole body endurance) หรือความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ (Cardiorespiratory endurance) และความอดทนของกล้ามเนื้อ (Local muscular endurance) ระบบการทำงานดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กัน หากระบบใดระบบหนึ่งบกพร่องจะทำให้สูญเสียความสามารถโดยรวมของร่างกาย ดังนั้น ในการพัฒนาความสามารถทางสมรรถภาพแอโรบิกจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบการทำงานของร่างกายทุกระบบควบคู่กันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายอย่างสูงสุด (Whyte, 2006)

3.2. การประเมินสมรรถภาพทางแอโรบิก

1) การประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max Test)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen uptake; VO_2max) คือ ปริมาณสูงสุดของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ในช่วง 1 นาที มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ซึ่งความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาแต่ละคนจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับเพศ อายุ มวลกล้ามเนื้อและระดับสมรรถภาพร่างกาย การประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดหรือสมรรถภาพทางแอโรบิกด้วยวิธีการออกกำลังกายร่วมการวัดอัตราการหายใจด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจหรือเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) เป็นวิธีการวัดโดยตรง (Direct method) มีความแม่นยำสูง เพื่อบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจซึ่งจะแสดงถึงความสามารถในการขนส่งและใช้ออกซิเจนสูงสุดในการออกกำลังกายที่มีความหนักเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดแรง

การประเมินและทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแบบเป็นขั้น (Graded incremental test) ด้วยการปั่นจักรยานและใส่เครื่องวัดอัตราการหายใจ กระทำโดยการปั่นจักรยานเริ่มด้วยความหนัก 70 วัตต์ และจะเพิ่มความหนัก 35 วัตต์ทุก ๆ 1 นาที ในการทดสอบนี้จะคงความเร็วของการทดสอบที่ 70 รอบต่อนาที (Peiffer et al., 2008; Thomas et al., 2018) ปฏิบัติจนกว่าไม่ไหว (Exhaustion) แสดงอาการถึงจุดอ่อนล้าหรืออาการอื่น ๆ ที่แสดงว่าถึงขีดสุดของความสามารถในการออกกำลังกายแล้ว เช่น หอบเหนื่อยมาก หายใจแรงมาก เป็นต้น การประเมินและทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จะประเมินค่าเฉลี่ยในช่วง 15 วินาที ที่มีค่าสูงสุด

ประกอบด้วยตัวแปรความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที ปริมาณลมหายใจออกทั้งหมดใน 1 นาที (Maximal minute ventilation; VE) มีหน่วยเป็น ลิตรต่อนาที อัตราการแลกเปลี่ยนการหายใจสูงสุด (Maximal respiratory exchange ration; RER) วิเคราะห์ตัวแปรที่ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold; VT) และกำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak power output; PPO)

2) การวัดการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamic variables) เป็นการวัดปริมาตรเลือดสูบฉีดออกจากหัวใจต่อนาที (Cardiac output; CO) ปริมาตรเลือดที่ถูกสูบฉีดออกจากหัวใจในการบีบตัวหนึ่งครั้ง (Stroke volume; SV) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference; a–v O_2 diff)

การประเมินการไหลเวียนโลหิตโดยใช้เครื่องวัดการไหลเวียนโลหิต (Impedance cardiograph device) ด้วยเครื่องมือ Physioflow Endoro ประเทศฝรั่งเศส เป็นวิธีการวัดโดยทางอ้อมที่วัดจากภายนอกร่างกาย โดยวิธีการวิเคราะห์สัญญานความต้านทานทางไฟฟ้าของทรวงอก (Thoracic electrical bioimpedance) เพื่อประเมินสถานะของจลศาสตร์การไหลเวียนโลหิตและการทำงานของหัวใจห้องล่าง สามารถทดสอบได้ทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย

3) การประเมินอัตราการรับรู้ (Borg ratings of perceived exertion; RPE)

การประเมินอัตราการรับรู้เป็นวิธีการหาอัตราการรับรู้ความหนักของงาน สามารถบันทึกได้โดยการบอกถึงความรู้สึก หรือบอกถึงการรับรู้ของความหนักงาน หรือสามารถตอบสนองกับการรับรู้ความหนักของงานที่กระทำอยู่นั้นได้ ซึ่งบ่งบอกได้ด้วยอัตราการเต้นหัวใจ อัตราการหายใจ ปริมาณเหงื่อที่ออก รวมถึงอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อนั้น การประเมินอัตราการรับรู้โดยบอร์กสเกล (Borg scale) มีการกำหนดระดับความหนักของงานตามอัตราการรับรู้ไว้ 15 ระดับ และมีช่วงของคะแนนจาก 6 ถึง 20 หรือปรับเทียบอัตราการรับรู้เป็น 10 ระดับ โดยมีช่วงของคะแนนจาก 0 ถึง 10 (ดังตารางที่ 1) จากการศึกษา พบว่า ความสัมพันธ์ของอัตราการรับรู้ (RPE scale) มีความสัมพันธ์กับความเมื่อยล้า นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจ ระดับของกรดแลคติกในเลือด ความสามารถในการใช้ออกซิเจน และความสามารถในการระบายอากาศ เป็นต้น (Pollock, 1990)

3.3. การฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิก

การฝึกสมรรถภาพทางแอโรบิกมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับนักกีฬาจักรยานที่ต้องมีสมรรถภาพของระบบไหลเวียนและระบบหายใจรวมถึงระบบกล้ามเนื้อที่สูง เพื่อทำให้ร่างกายสามารถนำออกซิเจนมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มขบวนการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก

การฝึกซ้อมสมรรถภาพทางแอโรบิก คือ การฝึกความอดทนของร่างกายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic endurance training) หรือการฝึกที่ร่างกายได้รับออกซิเจนและสารอาหารอย่างเพียงพอ ไม่เกิดกรดแลคติกที่ของเสียจากการเผาผลาญพลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบหัวใจและหายใจ (Cardiorespiratory) ระบบกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle) และระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular) การฝึกความสมบูรณ์ทางด้านความอดทนแบบแอโรบิก ต้องพัฒนาทั้งระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตควบคู่กับการพัฒนาระบบกล้ามเนื้อ เนื่องจากการทำงานทั้งสองระบบมีความสัมพันธ์กันโดยระบบการหัวใจและไหลเวียนโลหิตทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนและลำเลียงของเสียไปกำจัดทิ้ง และระบบกล้ามเนื้อทำหน้าที่ในการหดตัวและคลายตัวทำให้เกิดการเคลื่อนไหวและเพิ่มการไหลเวียนโลหิตอย่างมีประสิทธิภาพต่อเนื่องและยาวนาน วิธีที่นิยมใช้ฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิก ได้แก่ การฝึกออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง (Continuous training) และการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval training) ที่ความหนักสูงสลับช่วงกับการออกกำลังกายเบา (สนธยา สีละมาด, 2555)

ตารางที่ 1 ระดับความหนักของงานตามอัตราการรับรู้ (RPE Scale)

The original RPE scale		**การรับรู้**	**New RPE scale**	
6	no exercise	ไม่มีการรับรู้อะไรเลย	0	Nothing at all
7	very, very light	เบามาก ๆ	0.5	very, very weak
8			1	very weak
9	very light	เบามาก	2	weak light
10			3	moderate
11	airly light	เบา	4	somewhat strong
12			5	strong (heavy)
13	somewhat hard	บางครั้งก็หนัก	6	
14			7	very strong
15	hard	หนัก	8	
16			9	
17	very hard	หนักมาก (เกือบจะสูงสุด)	10	very, very strong
18				(almost max)
19	very, very hard			maximal
20	maximal exercise			

ที่มา: Pollock (1990)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด (Vascular function and structure)

ระบบไหลเวียนโลหิตเกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลวในร่างกายอย่างต่อเนื่อง โดยมีหน้าที่หลักคือ ช่วยขนส่งก๊าซออกซิเจนและสารอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย มีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ฮอร์โมน และระบบภูมิคุ้มกัน ระบบไหลเวียนโลหิตจะประกอบไปด้วยหัวใจ (Heart) หลอดเลือดแดง (Arterial) และหลอดเลือดดำ (Venous)

ปัญหาของระบบหลอดเลือดในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ที่อายุเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากสภาวะการแข็งตัวของหลอดเลือดแดง (Arteries stiffness) ทำให้ความต้านทานของหลอดเลือดแดงสูงขึ้น (Aortic input impedance) (Tanaka & Seals, 2008) นักกีฬาจักรยานระดับอาชีพที่มีการฝึกฝนปริมาณมากในบางรายได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคหลอดเลือด (Vascular dysfunction) มีภาวะที่หลอดเลือดไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ (Vascular insufficiency) เกิดการแข็งตัวของหลอดเลือด (End fibrosis) ที่หลอดเลือดแดงใหญ่บริเวณอุ้งเชิงกราน (External iliac artery) ซึ่งพบได้บ่อยกว่าที่หลอดเลือดแดงใหญ่บริเวณต้นขา (Femoral artery) และบริเวณขาพับด้านหลัง (Popliteal artery) เป็นเหตุทำให้การไหลเวียนโลหิตลดลง ส่งผลต่อรยางค์ส่วนล่างของร่างกายมีความผิดปกติ และอาจเกิดอาการแสดงของการบาดเจ็บระบบกระดูกและกล้ามเนื้อได้ รวมถึงการด้อยประสิทธิภาพของหลอดเลือด (Vascular impairment) จะมีผลทำให้เกิดอาการเมื่อยล้า (Fatigue) และลดความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) (Alencar et al., 2013)

4.1. โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

หลอดเลือดมีอยู่ทุกส่วนของร่างกาย มีหน้าที่นำสารอาหาร และก๊าซออกซิเจนที่ลำเลียงไปกับเลือด เพื่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เมื่อไปถึงเซลล์จะมีการแลกเปลี่ยนอาหารและก๊าซต่าง ๆ หลอดเลือดทำหน้าที่ขนส่งเซลล์เม็ดเลือด สารอาหาร และออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อของร่างกาย และนำของเสียรวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเนื้อเยื่อ หลอดเลือดในร่างกายแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ (ดังรูปที่ 6)

1) หลอดเลือดแดง (Artery) หมายถึง หลอดเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจ ซึ่งจะเป็นเลือดที่มีปริมาณออกซิเจนสูง ไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ทั่วร่างกาย (ยกเว้นหลอดเลือดที่ไปสู่ปอด (Pulmonary artery) ซึ่งจะนำเลือดดำจากหัวใจที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงไปฟอกที่ปอด) ลักษณะของหลอดเลือดแดงประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ผนังหนาและสามารถยืดหยุ่นได้มี 3 ขนาด เรียงจากขนาดใหญ่ไปขนาดเล็ก คือ

1.1) เอออร์ตา (Aorta) หลอดเลือดแดงขนาดใหญ่สุด ทำหน้าที่ลำเลียงเลือดแดงที่ถูกสูบฉีดออกจากหัวใจห้องล่างซ้ายโค้งไปทางด้านหลัง ทอดผ่านช่องอกและช่องท้อง ขนาดใหญ่สุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 – 3 เซนติเมตร

1.2) อาร์เทอรี (Artery) หลอดเลือดแดงรอง ทำหน้าที่นำเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย หลอดเลือดมีผนังกล้ามเนื้อหนาเพื่อให้ทนต่อแรงดันเลือด

1.3) อาร์เทอริโอ (Arteriole) หลอดเลือดแดงเล็ก

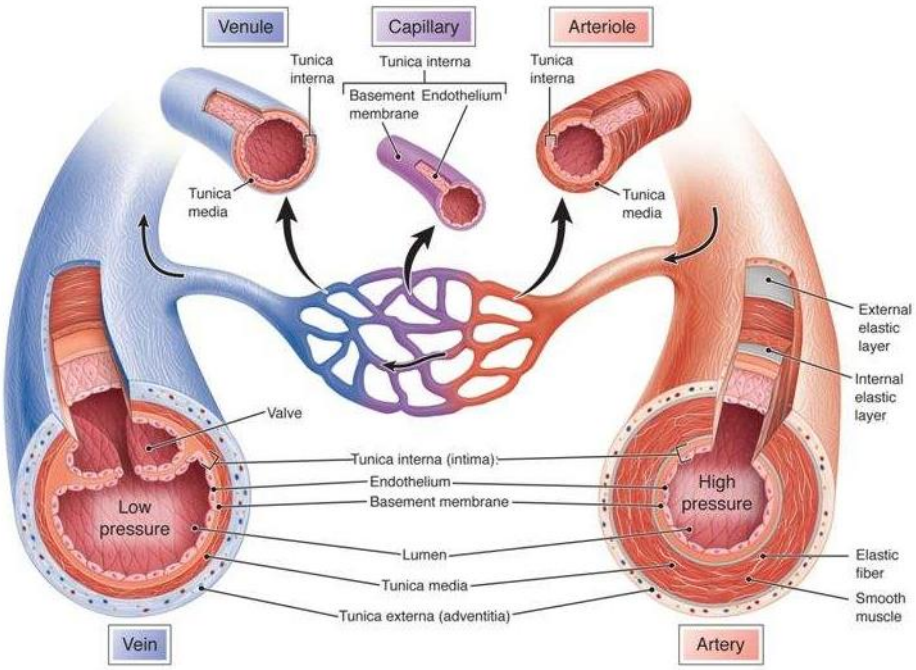
2) หลอดเลือดดำ (Vein) หมายถึง หลอดเลือดที่นำเลือดที่มีของเสียและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายใช้แล้วจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา (Right atrium) เพื่อนำกลับไปฟอกที่ปอด (ยกเว้นหลอดเลือดดำปอด (Pulmonary vein) ซึ่งจะนำเลือดแดงที่ผ่านการฟอกจากปอดแล้วนำกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนซ้าย) ภายในหลอดเลือดดำจะมีความดันต่ำ ถ้าหลอดเลือดดำ ฉีกขาด เลือดที่ไหลออกมาจะไหลคงที่และสม่ำเสมอ ห้ามเลือดหยุดได้ง่ายกว่าหลอดเลือดแดงฉีกขาด ลักษณะของเส้นเลือดดำ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น เช่นเดียวกับหลอดเลือดแดง แต่จะมีผนังบางกว่า และความยืดหยุ่นได้น้อย เพราะมีเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ และเนื้อเนื้อเยื่อเกี่ยวพันน้อยและมีลิ้นกั้นไม่ให้เลือดไหลย้อนกลับ

3) หลอดเลือดฝอย (Capillary) มักถูกเรียกเป็นหลอดเลือดแลกเปลี่ยนสาร (Exchange vessel) หมายถึง หลอดเลือดที่เชื่อมต่อระหว่างหลอดเลือดแดงขนาดเล็กไปยังหลอดเลือดดำขนาดเล็ก ลักษณะของเส้นเลือดฝอยจะมีขนาดเล็กที่สุดในร่างกายมีทั้งเส้นเลือดแดงฝอย และเส้นเลือดดำฝอยมีเนื้อเยื่อบางมากและมีจำนวนมาก เป็นส่วนที่ต้องแยกไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกายมีผนังบาง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7 ไมโครเมตร และผนังจะประกอบด้วยเซลล์ของร่างกายโดยวิธีการแพร่ ผนังหลอดเลือดประกอบด้วยผนัง 3 ชั้น ได้แก่

3.1) ทูนิกาอินทิมา (Tunica intima) เป็นผนังชั้นในสุดของหลอดเลือด

3.2) ทูนิกามีเดีย (Tunica media) เป็นผนังชั้นกลางของหลอดเลือด ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบและเนื้อเยื่ออิลาสติก (Elastic tissue) เรียงตัวกันเป็นวงของหลอดเลือด

3.3) ทูนิกา แอดเวนติเชีย (Tunica adventitia) เป็นผนังชั้นนอกสุดของหลอดเลือด ประกอบด้วยเส้นใยอิลาสติก (Elastic fiber) เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) และ กล้ามเนื้อเรียบ เรียงตัวไปตามความยาวของหลอดเลือด (Marieb et al., 2013)



รูปที่ 6 โครงสร้างและประเภทของหลอดเลือดในร่างกาย

ที่มา : McConnell (2013)

4.2. เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelium cell)

เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหรือเอนโดทีเลียมเซลล์ (Endothelium cell) เป็นเซลล์ชั้นเดียว คือ ผนังเนื้อเยื่อด้านในของหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลือง มีหน้าที่เป็นกำแพงกั้นระหว่างเลือดและเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย โดยที่น้ำเลือดจะไหลอยู่ภายใน ส่วนสารชีวเคมีต่าง ๆ รวมถึงออกซิเจนจะสามารถซึมผ่านเยื่อบุผนังหลอดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ ดังนั้น เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดจึงมีบทบาทสำคัญ ดังต่อไปนี้ (Michiels, 2003)

1) ทำหน้าที่ควบคุมการผ่านของสารต่าง ๆ หรือเป็นตัวกั้น (Barrier) ระหว่างเลือดกับเซลล์ ช่วยควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ระหว่างเซลล์และเลือด

2) ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการละลายเลือดที่แข็งตัวหรือลิ่มเลือด ทำให้เลือดคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือด

3) ทำหน้าที่ควบคุมการหดและขยายตัวของหลอดเลือด โดยเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดจะรักษาสมดุลด้วยการควบคุมการสร้างสารกระตุ้นการหดตัวและคลายตัวของหลอดเลือด เช่น ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO) เป็นสารต้านการแข็งตัวของหลอดเลือด จึงช่วยให้หลอดเลือดขยายตัวได้

4) ทำหน้าที่ในการสร้างหลอดเลือดขึ้นใหม่ (Neoangiogenesis) เช่น กระตุ้นการสร้างสารวาสคูลาร์เอนโดทีเลียลแฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor; VEGF) เป็นสารชีวเคมีที่บ่งชี้ถึงการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่

5) ทำหน้าที่เป็นเซลล์เป้าหมายสำหรับการตอบสนองของฮอร์โมนต่าง ๆ รวมถึงการควบคุมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และต้านการอักเสบภายในหลอดเลือด

4.3. สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหลอดเลือด

1) ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO) หรือเรียกว่า Endothelium–derived relaxing factor (EDRF) เป็นอนุมูลอิสระกลุ่มไนโตรเจนที่ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) และสารที่ขยายหลอดเลือด (Vasodilator) โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างไนตริกออกไซด์ คือ ไนตริกออกไซด์ซินเทส (Nitric oxide synthase) มีบทบาทสำคัญในการทำงานของหลอดเลือดช่วยควบคุมสมดุลการทำงานของหลอดเลือด และเป็นสารที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงตึงตัวของหลอดเลือดมีผลทำให้หลอดเลือดขยายตัวในปริมาณที่พอเหมาะ ลดการอุดตันของหลอดเลือด และป้องกันการแข็งตัวของหลอดเลือดแดง การหลั่งของไนตริกออกไซด์จะถูกปล่อยออกจากเซลล์บุผนังหลอดเลือดซึ่งมีปัจจัยหลักจากแรงเค้นในหลอดเลือด (Shear stress) จะกระตุ้นเซลล์บุผนังหลอดเลือดให้หลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้นจึงช่วยให้หลอดเลือดเกิดการขยายตัว

2) วาสคูลาร์เอนโดทรีเลียลโกรทแฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor; VEGF) สารนี้จะมีผลต่อการสร้างหลอดเลือดไปเลี้ยงเนื้อเยื่อ หรือการสร้างเส้นเลือดใหม่ (Angiogenesis) เป็นกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนโลหิต ในสภาวะที่เลือดมีออกซิเจนน้อย จะสามารถกระตุ้นการเพิ่มของจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว

3) มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้เซลล์ของร่างกายเกิดความไม่สมดุลของอิเล็กตรอน (Unpaired electron) อันเกิดมาจากการที่อนุมูลอิสระเหล่านั้นเข้าไปแย่งอิเล็กตรอนจากออกซิเจน (Reduced oxygen) ในร่างกาย เกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของไขมัน (Lipid peroxidation) โดยเริ่มต้นจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างอนุมูลไฮดรอกซี (Hydroxyl radical, –OH) เข้าทำปฏิกิริยากับไขมันไม่อิ่มตัวบนเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เกิดน้ำและอนุมูลอิสระไขมัน ซึ่งถูกดึงไฮโดรเจนออกและจัดเรียงพันธะใหม่ ทำให้ได้ไขมันสองพันธะคู่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ของไขมัน (Lipid peroxyl radical) จากนั้นก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของไขมัน (Lipid hydoperoxide) และเอนโดเปอร์ออกไซด์ (Endoperoxide) และเป็นมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4. การประเมินโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

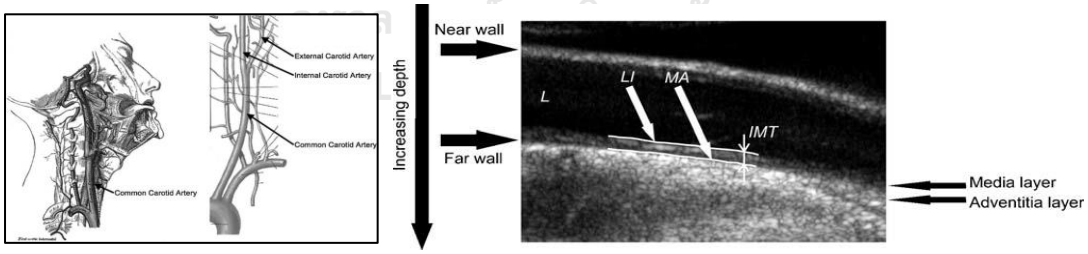
หลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาค (Micro–and Macro–vascular) มีหลักการประเมินการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและจุลภาคได้ทั้งแบบการตรวจภายนอกร่างกาย (Non–invasive) และภายในร่างกาย (Invasive) ซึ่งงานวิจัยได้ศึกษาการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคและระดับจุลภาคซึ่งเป็นการตรวจแบบภายนอกร่างกาย โดยมีการประเมินโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดได้ ดังนี้

4.4.1. การประเมินหลอดเลือดแดงระดับมหภาค

หลอดเลือดแดงระดับมหภาค (Macrovascular) คือ ส่วนหนึ่งของระบบไหลเวียนโลหิตที่เป็นหลอดเลือดขนาดใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในมากกว่า 100 ไมครอน เช่น หลอดเลือดแดงใหญ่ (Arteries) หน้าที่ของหลอดเลือดแดงใหญ่คือการกระจายการไหลของเลือดออกจากหัวใจไปยังอวัยวะต่าง ๆ ภายใต้ความดันสูง ภาวะแทรกซ้อนแทรกซ้อนต่อหลอดเลือดระดับมหภาค ได้แก่ โรคหลอดเลือดหัวใจ (Coronary artery disease) โรคหลอดเลือดแดงส่วนปลายตีบ (Peripheral arterial disease) และโรคหัวใจสมอง (Stroke) เป็นต้น

1) การวัดความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT)

การวัดความหนาของผนังหลอดเลือด ทำการทดสอบบริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common Carotid Artery) โดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์สแกนภาพเพื่อวัดขนาดของความหนาที่ผนังหลอดเลือดแดงที่คอชั้นในด้านไกล (Far wall) เพื่อใช้ประเมินความเสื่อมสภาพของหลอดเลือดแดง และบอกถึงความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ ปัจจุบันเริ่มนำมาใช้การตรวจโรคหัวใจในระยะแรก



รูปที่ 7 ความหนาผนังหลอดเลือดแดงที่คอ (Common Carotid Artery)

ที่มา : Molinari et al. (2010)

2) การวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness)

ความแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) เป็นการทำงานที่ผิดปกติและเสื่อมสภาพของหลอดเลือด ส่งผลให้หลอดเลือดแดงสูญเสียความยืดหยุ่นและมีสภาพแข็ง โดยเฉพาะเมื่อเกิดขึ้นกับหลอดเลือดแดงชนิดยืดหยุ่น (Elastic arteries) ที่ทำหน้าที่ในการขนส่ง

เลือด (Conduit arteries) ซึ่งนับเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด และเป็นสาเหตุการตายที่สำคัญของผู้ป่วยความดันเลือดสูง ผู้ป่วยโรคไต และผู้สูงอายุ (Asmar et al., 2001; Laursen & Jenkins, 2002; Safar et al., 2006) เนื่องจากสภาวะความยืดหยุ่นของหลอดเลือดแดงที่ลดลง จะมีผลทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันเลือดแดงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง (Pulse wave velocity; PWV) เคลื่อนได้เร็วขึ้น

การวัดอัตราเร็วของคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial–ankle pulse wave velocity; baPWV) ใช้ในการประเมินภาวการณ์แข็งตัวของหลอดเลือดแดง (Arterial stiffness) ซึ่งเป็นการวัดความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการสูบฉีดเลือด (Transit time หรือ Brachial–ankle time delay) ที่หลอดเลือดบริเวณต้นแขน (Brachial artery) และหลอดเลือดบริเวณข้อเท้า (Posterior tibial artery) เพื่อตรวจวัดความยืดหยุ่นของหลอดเลือดแดง โดยใช้เครื่องวัดความแข็งของหลอดเลือด (Non–invasive vascular screening device) และคำนวณอัตราเร็วของคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าจากสมการ ดังต่อไปนี้ (Sugawara et al., 2005)

$$\text{baPWV } (cm/sec) = \frac{L}{Ta - Tb}$$

เมื่อ L คือ ระยะทางระหว่างหลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งข้อพับแขน (Brachial artery) กับหลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งข้อเท้าใต้ตาตุ่ม (Posterior Tibial Artery) หน่วยเป็นเซนติเมตร

Ta คือ ค่าเฉลี่ยเวลาระหว่างคลื่นสัญญาณชีพจรของหลอดเลือดแดงตำแหน่งข้อพับแขน (Brachial artery) หน่วยเป็นวินาที

Tb คือ ค่าเฉลี่ยเวลาระหว่างคลื่นสัญญาณชีพจรของหลอดเลือดแดงตำแหน่งข้อเท้าใต้ตาตุ่ม (Posterior Tibial Artery) หน่วยเป็นวินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) การวัดการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediate dilatation; FMD)

การตรวจวัดสำหรับการประเมินหลอดเลือดระดับมหภาคที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ การประเมินการตอบสนองของหลอดเลือด (Vascular reactivity) ในระบบการไหลเวียนโลหิตโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasonography Imaging) ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ต้องใส่อุปกรณ์เข้าไปในร่างกาย โดยใช้เทคนิคการวัดบริเวณหลอดเลือดแดงเบรเคียลที่แขน (Brachial artery) เป็นวิธีการที่สะดวก เพราะการไหลของเลือดที่เกิดจากการขยายตัวของหลอดเลือด (Flow–mediate vasodilation; FMD) เกิดขึ้นได้ง่ายบริเวณดังกล่าว โดยมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อกระบวนการตอบสนองของหลอดเลือดในผู้ที่ถูกวัด เช่น อุณหภูมิ อาหาร ยา การกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก

และการมีประจำเดือน ดังนั้น ควรทำการทดสอบในห้องที่เงียบและมีการควบคุมอุณหภูมิ และผู้ถูกวัดให้อยู่ในท่านอน (Mitranun et al., 2014)

การทดสอบใช้แถบผ้าพันของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่างเพื่อป้องกันการปวดแขนขณะบีบแรงดัน ทำอัลตราซาวด์หลอดเลือดตรงตำแหน่งหลอดเลือดแดงที่ต้นแขนด้านใน (Brachial Artery) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพัก (Baseline) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตเท่ากับความดันซิสโตลิกเพิ่มอีก 50 มิลลิเมตรปรอทค้างไว้ 5 นาที (Corretti et al., 2002) หลังจากปล่อยการปิดกั้นออกจะทำให้เพิ่มการไหลของเลือดบริเวณหลอดเลือดแดงที่แขนเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลของเลือดที่มากขึ้น (Reactive hyperemia) เป็นผลให้เพิ่มการเกิดแรงเค้นเฉือน (Shear stress) ส่งผลให้หลอดเลือดขยายตัว สามารถคำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงการขยายตัว สามารถคำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) จากสูตรต่อไปนี้

$$\%FMD = \left(\frac{D2-D1}{D1}\right) \times 100$$

เมื่อ FMD คือ การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)

D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดขณะพัก (มิลลิเมตร)

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (มิลลิเมตร)

การวัดปริมาณการไหลของเลือดเป็นการวัดที่หลอดเลือดด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound machine) และหัวตรวจ (Transducers) ที่มีความถี่ 12–5 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการตรวจวินิฉัยวิธีการทำได้โดยการวางหัวตรวจไว้บริเวณที่ต้องการอาศัยหลักการของพัลส์เวฟ ดอปเลอร์ (Pulse–wave doppler) เพื่อศึกษาถึงลักษณะการไหลเวียนและความเร็วของการไหลของเลือดในหลอดเลือดแดงและดำ โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเร็วเฉลี่ยนของเลือดที่ไหลในหลอดเลือด (Time average mean velocity; TAMV) และคำนวณปริมาณการไหลของเลือดจากสูตรดังต่อไปนี้ (Hunt et al., 2016)

$$\text{Blood flow volume} = TAMV \times \pi \times (r)^2 \times 60$$

เมื่อ TAMV คือ ความเร็วเฉลี่ยของเลือด มีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อวินาที (cm/s)

r คือ รัศมีของหลอดเลือด (Vessel radius) หน่วยเป็นเซนติเมตร และ 60 ใช้สำหรับแปลงหน่วยจากมิลลิลิตรต่อวินาที เป็นมิลลิลิตรต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.2. การประเมินหลอดเลือดแดงระดับจุลภาค

หลอดเลือดระดับจุลภาค (Microvascular) คือส่วนหนึ่งของระบบไหลเวียนโลหิตที่ประกอบไปด้วยหลอดเลือดขนาดเล็ก ได้แก่ หลอดเลือดดำเล็ก (Venules) หลอดเลือดแดงเล็ก (Arterioles) และหลอดเลือดฝอย (Capillaries) มีขนาดเล็กผ่าศูนย์กลาง 30 ไมครอน หน้าที่ของหลอดเลือดขนาดเล็ก คือ การควบคุมการไหลเวียนของเลือดโดยการตอบสนองต่อความต้านทานของความต้องการเฉพาะที่

การตรวจวัดสำหรับการประเมินหลอดเลือดระดับจุลภาคที่ใช้กันโดยทั่วไปประเมินการไหลของเลือดในผิวหนัง ได้แก่ การประเมินการไหลของเลือดที่บริเวณผิวหนัง โดยใช้เครื่องเลเซอร์ดอปเลอร์ (Laser Doppler flowmeter) บริเวณหลังนิ้วมือและเท้า โดยการวัดผลของความเร็วและความเข้มข้นเฉลี่ยของเม็ดเลือดแดงในปริมาณเนื้อเยื่อตัวอย่าง (Flux) ขณะพัก ขณะถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะการไหลของเลือดสูงสุดหลังเปิดการปิดกั้น และขณะการไหลของเลือดกลับสู่สภาวะปกติหลังเปิดการปิดกั้น และทำการวัดเวลาของอัตราการไหลสูงสุดและเวลาที่ใช้กลับสู่สภาวะพัก การทดสอบการไหลเวียนของโลหิตชั้นผิวหนังด้วยวิธีโพสออกคลูชีฟ รีแอคทีฟ ไฮเปอรีเมีย (Post occlusive reactive hyperemia; PORH) โดยติดโพรบ (Probe) บริเวณหลังมือและเท้า ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพัก 5 นาที นำเครื่องวัดความดันพันรัดเหนือต้นแขนและน่อง ที่ความดันเหนือความดันโลหิตของผู้เข้าร่วมการทดลองประมาณ 50 มิลลิเมตรปรอทของความดันโลหิตของแต่ละบุคคล บีบค้างไว้ 3 นาที บันทึกค่าโดยตลอด ต่อมาปล่อยลมออกและบันทึกค่าต่อนาน 5 นาที (Yvonne-Tee et al., 2005)

การวัดการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (PORH) สามารถคำนวณได้จากสมการ

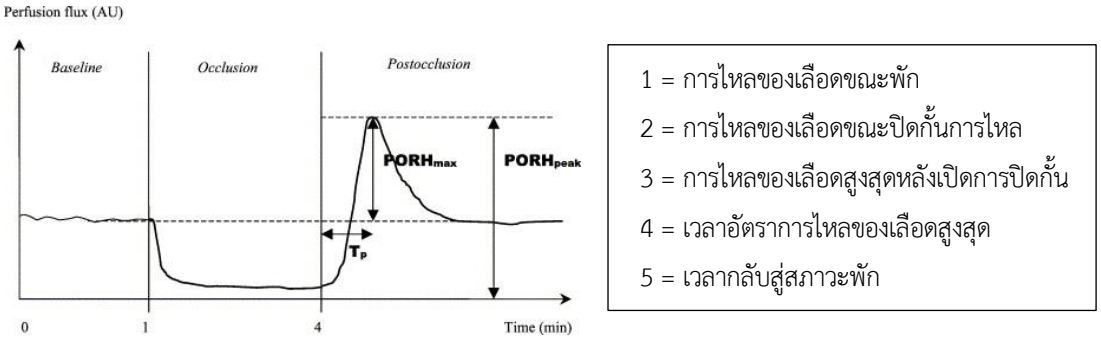
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$PORH = \left(\frac{Flow_{peak} - \text{Mean baseline perfusion flux}}{\text{Mean baseline perfusion flux}} \right) \times 100$$

เมื่อ PORH คือ อัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเหลือด (เปอร์เซ็นต์)

$Flow_{peak}$ คือ การไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (AU)

Mean baseline perfusion flux คือ ค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก (AU)



รูปที่ 8 การประเมินการทำงานของเลือดของหลอดเลือดระดับจุลภาค

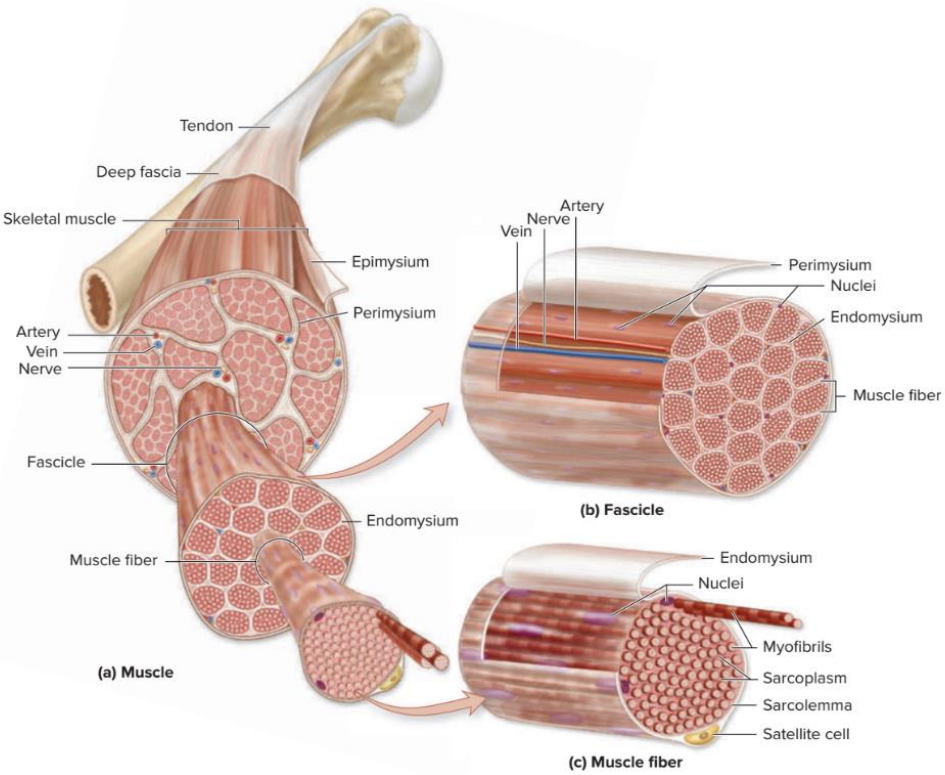
ที่มา: Yvonne-Tee et al. (2005)

5. โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscular structure and function)

ระบบกล้ามเนื้อเป็นอีกระบบของร่างกายที่มีบทบาทสำคัญต่อร่างกายนักกีฬา สรีรวิทยาของกล้ามเนื้อแบ่งตามโครงสร้างและหน้าที่การทำงานได้เป็น 3 ชนิด คือ กล้ามเนื้อลายหรือกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle) กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) และกล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) ซึ่งกล้ามเนื้อลายเป็นกล้ามเนื้อที่พบมากที่สุดในร่างกายโดยจะยึดเกาะอยู่กับกระดูกโดยเอ็นกล้ามเนื้อ (Tendon) ทั่วทุกส่วนของร่างกาย เช่น แขน ขา ลำตัว ใบหน้า ทำหน้าที่เคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ และการรักษาท่าทางของร่างกาย การหดตัวของกล้ามเนื้อลายจะอยู่ใต้อำนาจจิตใจ (Voluntary) ซึ่งสามารถควบคุมการหดตัวได้

โครงสร้างภายในของกล้ามเนื้อ (Muscle) มีมัดกล้ามเนื้อ (Bundles) ที่ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) ถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า เอนโดมัยเซียม (Endomysium) เส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมากรวมกันจะถูกเรียกว่า ฟาสซิเคิล (Fascicles) ซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า เพอริมัยเซียม (Perimysium) (รูปที่ 9)

เส้นใยกล้ามเนื้อเป็นเซลล์กล้ามเนื้อที่มีลักษณะทรงกระบอกยาว ซึ่งความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อจะเท่ากับมัดกล้ามเนื้อที่ใยกล้ามเนื้อนั้นเป็นองค์ประกอบอยู่ ใยกล้ามเนื้อมีลายตามขวางและมีเยื่อหุ้มเซลล์ เรียกว่า ซาร์โคเลมมา (Sarcolemma) ภายในจะมีซาร์โคพลาสึม (Sarcoplasm) ซึ่งมีนิวเคลียสจำนวนมาก มีไมโตคอนเดรีย และเส้นใยโปรตีนหรือเส้นใยฝอยที่เรียกว่า ไมโอไฟบริล (Myofibril) กระจายอยู่จำนวนมากมีการเรียงตัวขนานตามความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย ทั้งนี้ ไมโอไฟบริลก็ยังประกอบด้วยหน่วยย่อยลงไปอีก เรียกว่า ฟิลาเมนต์ (Filament) ฟิลาเมนต์ที่พบในกล้ามเนื้อลายนี้มีอยู่ 2 ชนิด คือ



รูปที่ 9 ลักษณะโครงสร้างของกล้ามเนื้อ

ที่มา : Powers and Howley (2018)

1) ฟิลาเมนต์หรือเส้นใยโปรตีนชนิดหนา (Thick filament) เรียกว่า ไมโอซิน ฟิลาเมนต์ (Myosin filament) เป็นแถบสีเข้ม

2) ฟิลาเมนต์หรือเส้นใยโปรตีนชนิดบาง (Thin filament)) เรียกว่า แอคติน ฟิลาเมนต์ (Actin filament) เป็นแถบสีจาง

การจัดเรียงตัวของฟิลาเมนต์ทั้งสองชนิดในกล้ามเนื้ออย่างเป็นระเบียบทำให้กล้ามเนื้อมีลักษณะเป็นลายมีสีเข้มและจางสลับกัน กล่าวคือ บริเวณที่เห็นเป็นแถบสีเข้มเป็นบริเวณที่มีฟิลาเมนต์ชนิดหนาอยู่ ซึ่งปลายทั้งสองข้างจะซ้อนกับฟิลาเมนต์บางด้วยทำให้ส่วนที่ซ้อนกันมีสีเข้มมากที่สุด เรียกแถบที่มีสีเข้มทั้งหมดว่า A–Band (Anisotropic Band) ส่วนบริเวณกลางฟิลาเมนต์ชนิดหนาซึ่งไม่ซ้อนกับฟิลาเมนต์ชนิดบางนั้นจะมีสีเข้มน้อยกว่า จึงเรียกว่า H–Zone ดังนั้น H–Zone จึงเป็นส่วนหนึ่งของ A–Band ส่วนบริเวณที่เห็นสีจางนั้น จะมีเฉพาะฟิลาเมนต์บางเพียงอย่างเดียว เรียกว่า I–Band (Isotropic Band) ตรงบริเวณกึ่งกลางของแต่ละ I–Band จะมีแนวสีเข้มเล็ก ๆ ซึ่งเป็นรอยต่อของฟิลาเมนต์ชนิดบางมาจรดกัน เรียกว่า Z–Line ระยะตั้งแต่ Z–Line หนึ่งถึงอีก Z–Line หนึ่ง จะเรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (Sarcomere) หรือ 1 หน่วยกล้ามเนื้อ (Muscle Unit) ซึ่งเป็นโครงสร้างขั้นพื้นฐานของเซลล์กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการหดตัว (รูปที่ 10) (Powers & Howley, 2018)

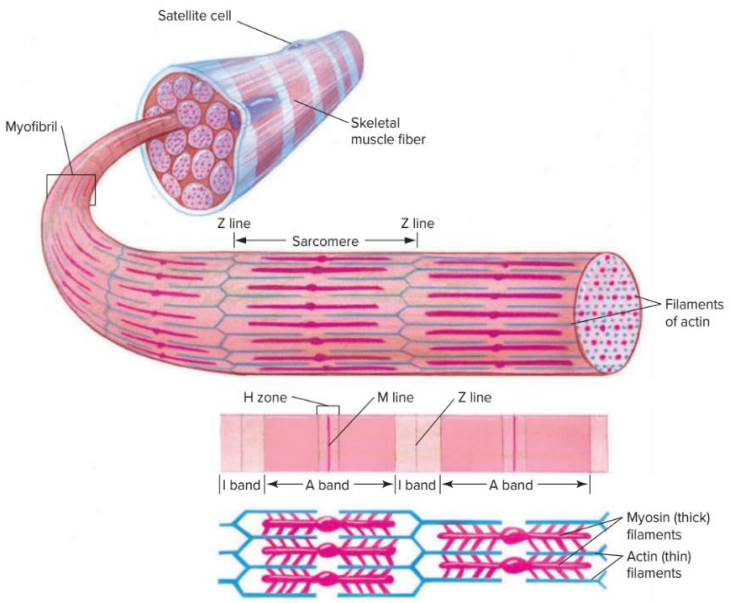
ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อมีคุณสมบัติความเข้มของสีและความสามารถในการหดตัว–คลายตัวแตกต่างกัน ดังนั้น สามารถจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อตามลักษณะการทำงานเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1) เส้นใยกล้ามเนื้อลายชนิดที่ 1 (Type I) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง เนื่องจากมี Myoglobin จำนวนมาก พลังงานที่กล้ามเนื้อใช้ในการหดตัวมาจากระบบการเผาผลาญแบบใช้ออกซิเจนเป็นหลัก ลักษณะของเส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดเล็ก หดตัวช้า ใช้ออกซิเจนช่วยในการหดตัว (Slow, Oxidative fiber) มีบทบาทสำคัญในนักกีฬาประเภทความอดทนหรือแบบใช้ออกซิเจน

2) เส้นใยกล้ามเนื้อลายชนิดที่ 2 เอ (Type II A) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีคุณลักษณะของกล้ามเนื้อสีแดงและสีขาวรวมกัน (Intermediate fibers) พลังงานที่กล้ามเนื้อใช้ในการหดตัวมาจากระบบการเผาผลาญแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ กล่าวคือ ใช้ออกซิเจนตลอดจนกลูโคสช่วยในการหดตัว (Fast, Oxidative, Glycolytic fiber) เส้นใยกล้ามเนื้อนี้มีความสามารถหดตัวเร็วและทนทานต่อการเมื่อยล้า

3) เส้นใยกล้ามเนื้อลายชนิดที่ 2 บี (Type II B) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อสีขาวมีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง มีความแข็งแรง สามารถหดตัวได้เร็ว พลังงานที่กล้ามเนื้อใช้ในการหดตัวมาจากระบบแอนแอโรบิก (Anaerobic metabolism) ต้องใช้กลูโคสช่วยในการหดตัวเพียงชนิดเดียว (Fast glycolytic fiber) ใช้ในการทำงานประเภทที่ต้องใช้กำลังหรือพลัง (Power) หรือแบบไม่ใช้ออกซิเจน



รูปที่ 10 ลักษณะโครงสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อ

ที่มา : Powers and Howley (2018)

การทำงานของกล้ามเนื้อ

การทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวนั้น เกิดจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งเกิดจากการทำงานของมอเตอร์ยูนิตที่สั่งการให้กล้ามเนื้อแต่ละมัดทำงานร่วมกันได้ สามารถแบ่งการทำงานของกล้ามเนื้อเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1) กลุ่มกล้ามเนื้อหลัก (Agonist) ทำหน้าที่ในการทำให้เกิดการเคลื่อนไหวหลัก

2) กลุ่มกล้ามเนื้อทำงานตรงข้าม (Antagonist) ทำหน้าที่เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อทำงานตรงข้าม โดยทั่วไปแล้วเมื่อกลุ่มกล้ามเนื้อหลักหดตัว กล้ามเนื้อกลุ่มตรงข้ามจะคลายตัว เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ต่อเนื่อง

3) กลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำงานช่วยเสริมการเคลื่อนไหวให้ดีขึ้น (Synergists) เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อซึ่งทำงานร่วมกับกลุ่มทำงานหลัก

4) กลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ยึดตรึงข้อต่อที่ทำการเคลื่อนไหว (Fixator)

กล้ามเนื้อจะทำงานในลักษณะการหดตัว–คลายตัวในรูปแบบที่แตกต่างกัน กล่าวคือ กล้ามเนื้อจะมีความสามารถในการทำงานทั้งหดตัวสั้นเข้า (Shorten) ยาวออก (Lengthen) หรือคงรักษาความยาวไว้ในขณะที่กำลังหดตัว ซึ่งแบ่งลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) การหดตัวแบบความยาวคงที่ (Isometric contraction หรือ Static) เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยที่ความยาวของกล้ามเนื้อไม่เปลี่ยนแปลง และไม่มีการเคลื่อนไหวของข้อต่อ หรือเป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยการเกร็งนิ่ง

2) การหดตัวแบบแรงตึงกล้ามเนื้อคงที่ (Isotonic contraction) เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยที่แรงในการหดตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลง การหดตัวของกล้ามเนื้อมีการเคลื่อนไหวโดยหดตัวสั้นเข้าและเหยียดออกได้ แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

2.1) การหดตัวแบบคอนเซนตริค (Concentric contraction) เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดที่ความยาวของกล้ามเนื้อหดสั้นเข้า จุดเกาะต้นและจุดเกาะปลายของกล้ามเนื้อเคลื่อนที่เข้าหากัน

2.2) การหดตัวแบบเอคเซนตริค (Eccentric contraction) เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อในขณะที่พยายามรักษาความตึงตัวของกล้ามเนื้อเพื่อต้านแรงต้านภายนอกหรือแรงดึงดูดของโลก อาจเรียกว่า การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออกหรือเพิ่มความยาว (Lengthening contraction) โดยที่จุดเกาะต้นและจุดเกาะปลายเคลื่อนห่างกัน กล้ามเนื้อที่ทำงานในลักษณะเอคเซนตริคจะเป็นกล้ามเนื้อกลุ่มตรงข้าม (Antagonists) ของการเคลื่อนไหวนั้น ๆ และการหดตัวเอคเซนตริคจะเป็นสาเหตุหลักของการฉีกขาดเล็ก ๆ น้อย ๆ ของใยกล้ามเนื้อ ซึ่งจะทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อได้ง่ายกว่าการหดตัวแบบคอนเซนตริค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) การหดตัวแบบไอโซไคเนติค (Isokinetic contraction) เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วคงที่ไม่ว่าจะมีแรงต้านแตกต่างกันระหว่างการเคลื่อนไหวนั้น การทำงานในลักษณะนี้จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือเฉพาะที่สามารถปรับแรงต้านทานเพื่อทำให้กล้ามเนื้อหดตัวด้วยความเร็วคงที่ได้ กล้ามเนื้อจะออกแรงได้สูงสุดตลอดมุมการเคลื่อนไหว รวมทั้งควบคุมความเร็วในการเคลื่อนไหว ในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวสั้นเข้าด้วยความเร็วที่กำหนด

5.1. การทำงานและสมรรถภาพทางกล้ามเนื้อในนักกีฬาจักรยาน

นักกีฬาจักรยานจะใช้กล้ามเนื้อรยางค์ส่วนขาเป็นหลักในการขับเคลื่อนจักรยาน ซึ่งโครงสร้างของกล้ามเนื้อขามัดหลัก ๆ ประกอบด้วย (ดังรูปที่ 11)

1) กล้ามเนื้อบริเวณสะโพก (Hips) กล้ามเนื้อที่สำคัญ คือ กลูเตียสแมกซิมัส (Gluteus Maximus) หรือกล้ามเนื้อก้นเป็นกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อมัดเล็กอีก 2 มัด คือ กลูเตียสมิเดียส (Gluteus medius) และกลูเตียสมินิมัส (Gluteus minimus)

2) กล้ามเนื้อบริเวณต้นขา (Thighs) ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่สำคัญ ดังนี้

2.1) กล้ามเนื้อควอทไดรเซป (Quadriceps) เป็นกล้ามเนื้อขนาดใหญ่อยู่บริเวณด้านหน้าของต้นขา ประกอบด้วย 4 มัดกล้ามเนื้อ ได้แก่ เรคตัสฟีเมอลิส (Rcetus femoris), วาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis), วาสตัสมีเดียลลิส (Vartus medialis) และวาสตัสอินเตอร์มีเดียส (Vastus intermedius) กล้ามเนื้อกลุ่มนี้ทำหน้าที่ในการงอและยืดเข่า

2.2) กล้ามเนื้อแฮมสตริง (Hamstrings) เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อขนาดใหญ่อยู่ด้านหลังต้นขา ประกอบด้วย 3 มัดกล้ามเนื้อ ได้แก่ ไบเซพส์ฟีเมอริส (Biceps femoris) เซมิเทนดิโนซัส (Semitendinosus) และเซมิเมมเบรโนซัส (Semimenbranous)

2.3) กล้ามเนื้อซาร์โทเรียส (Sartorius) เป็นกล้ามเนื้อที่ยาวที่สุดในร่างกาย ยึดเกาะตั้งแต่ด้านข้างของสะโพกผ่านตรงกลางหน้าไปสุดที่หัวเข่า

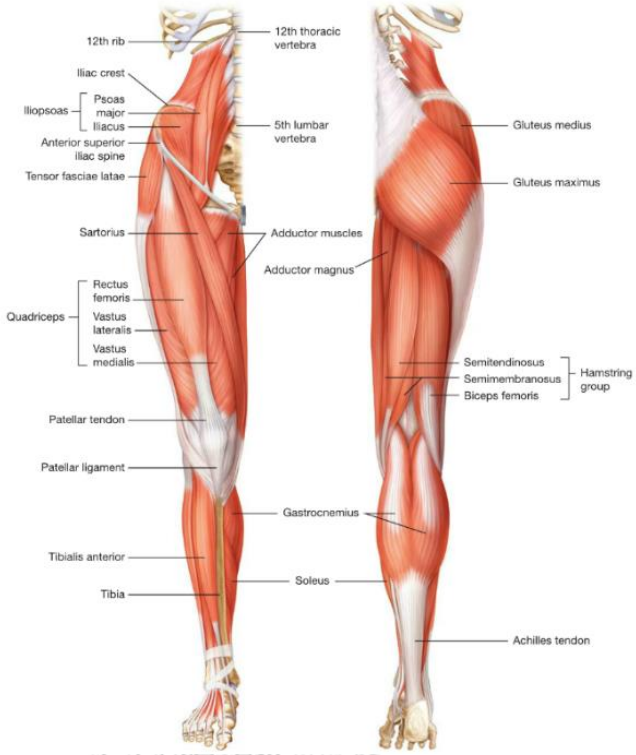
2.4) แอดดักเตอร์ลองกัส (Adductor Longus) อยู่ด้านข้างของต้นขา

3) กล้ามเนื้อน่อง (Cales) ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่สำคัญ 2 มัด คือ

3.1) กล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียส (Gastrocnemius) อยู่ด้านหลังด้านบนของขาท่อนล่าง หากเขย่งปลายเท้าจะเห็นชัดเป็นมัดขึ้นมา

3.2) กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) อยู่ในส่วนของขาท่อนล่างต่อจากกล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียส (Gastrocnemius)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 11 กล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างของร่างกาย

ที่มา: Hall et al. (2013)

ลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อขาขณะปั่นจักรยาน

การทำงานของกล้ามเนื้อในขณะปั่นจักรยานเมื่อวิเคราะห์จากรูปแบบการการทำงานของกล้ามเนื้อ (EMG) สามารถแบ่งระยะการทำงานของการเคลื่อนไหวของบันไดจักรยานขณะปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 85 รอบต่อนาทีที่ความหนักระดับปานกลาง ออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้ (รูปที่ 12) (So et al., 2005)

1) ระยะการสร้างแรงสูงสุด (Propulsive/Power/Down–stroke phase)

การขับเคลื่อนในระยะสร้างแรงสูงสุดเป็นการขับเคลื่อนบันไดจักรยานในช่วง 0˚ ถึง 180˚ หรือเป็นจังหวะการกดบันได ส่วนใหญ่จะใช้กล้ามเนื้อ 6 มัด ได้แก่ วาสตัสมีเดียลลิส (Vartus medialis) วาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) เรคตัสฟีเมอลิส (Rectus femoris) ทิเบียลลิสแอนทีเรียร์ (Tibialis anterior) ไบเซพส์ฟีเมอริส (Biceps femoris) และกลูเตียสมินิมัส (Gluteus minimus) เกิดการทำงานสูงสุดมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ในช่วงครึ่งแรกของการขับเคลื่อนที่ช่วง 0˚ หรือจุดศูนย์กลางด้านบน (Top dead center; TDC) ถึง 90˚ หลังจากนั้น กล้ามเนื้อควอทไดรเซป (Quadriceps) จะเริ่มทำงานน้อยลง ในขณะที่กล้ามเนื้อแฮมสตริง (Hamstrings) แกสตรอคนีเมียส

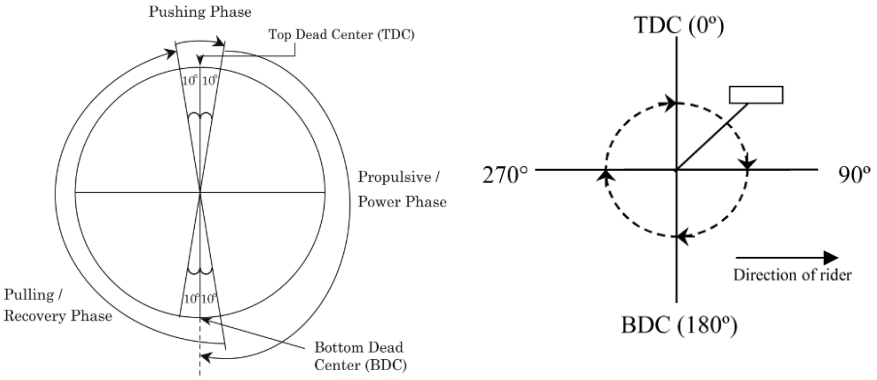
(Gastrocnemius) และกลูเตียสแมกซิมัส (Gluteus Maximus) ยังคงรักษาสภาพการทำงานไว้จนกว่าจะถึงจุดศูนย์กลางด้านล่าง (Below dead center; BDC) โดยกล้ามเนื้อเซมิเมมเบรโนซัส (Semimenbranous) และ เซมิเทนดิโนซัส (Semitendinosus) จะถูกใช้งานมากหลังจากจุด TDC และเกิดการทำงานสูงสุดในช่วง 90° หลังจากตำแหน่ง TDC ซึ่งการทำงานสูงสุดของกล้ามเนื้อเซมิเทนดิโนซัส (Semitendinosus) เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยหลังจากที่กล้ามเนื้อเซมิเมมเบรโนซัส (Semimenbranous) ทำงานเต็มที่ในขณะที่ไบเซพส์ฟีเมอริส (Biceps femoris) เป็นกล้ามเนื้อที่ทำงานมากที่สุดในส่วนของกล้ามเนื้อแฮมสตริง (Hamstrings)

2) ระยะการดึงกลับหรือระยะฟื้นตัว (Pulling/Recovery/Up–stroke phase) การขับเคลื่อนในระยะดึงกลับเป็นการขับเคลื่อนของบันไดจักรยานในช่วง 180° ถึง 360° รูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อขณะปั่นจักรยานในระยะนี้ กล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) และวาสตัสมีเดียลลิส (Vartus medialis) เป็นตัวช่วยในการเหยียดเข่า ซึ่งจะทำอย่างรวดเร็วและชะลอการทำงานลงโดยสัมพันธ์กับจังหวะกดบันได (Down–stroke) ในทางกลับกันขณะที่มีการงอสะโพกและการเหยียดเข่านั้น กล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris) จะค่อย ๆ ทำงานเพิ่มขึ้นก่อนแล้วจึงลดลง ส่วนกล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus) จะทำงานก่อนกล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียส (Gastrocnemius)

ในระยะการฟื้นตัวจากตำแหน่ง 180° ถึง 360° รยางค์ส่วนล่างทำงานแบบงอตัวเพื่อทำหน้าที่ช่วยลดแรงต้านทานของบันไดถีบจักรยานกลับไปยังระยะการสร้างแรงสูงสุด และช่วยทำให้สามารถหมุนบันไดถีบจักรยานให้เกิดแรงขับเคลื่อนไปด้านหน้าอย่างสมบูรณ์

3) ระยะส่ง (Pushing phase) จากจุดศูนย์กลางด้านบน (Top dead center; TDC) เป็นระยะสั้น ๆ ในช่วงก่อนและหลังตำแหน่ง TDC ในระยะ 10°

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 12 การแบ่งระยะการทำงานของการเคลื่อนไหวขณะปั่นจักรยาน

ที่มา: So et al. (2005)

การทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อรยางค์ขาในการปั่นจักรยานแสดงดังตาราง 2 อย่างไรก็ตามจากการศึกษาวิจัยพบว่า ในขณะที่มีการสปริ้นซ์ของกีฬาจักรยานกล้ามเนื้อหลักในการทำงาน (Prime mover) คือ กล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) และกลูเตียสแมกซิมัส (Gluteus maximus) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อในการสร้างกำลังในการออกแรงขับเคลื่อนจักรยานมากที่สุด หากกล้ามเนื้อหลักนี้เกิดการเมื่อยล้าขึ้นจะสูญเสียความสามารถในการผลิตแรงหรือกำลังของกล้ามเนื้อ แรงของการขับเคลื่อนบันไดจักรยานก็จะลดลงตามไปด้วย จึงทำให้ความสามารถทางกีฬาจักรยานลดลง และที่สำคัญคือร่างกายไม่สามารถชดเชยการออกแรงในขณะสปรินซ์ซ้ำ ๆ ด้วยกล้ามเนื้อมัดอื่น ดังนั้นจะเห็นได้ว่า กล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) และกลูเตียสแมกซิมัส (Gluteus maximus) เป็นกล้ามเนื้อที่สำคัญในการออกแรงแบบสปรินซ์ของนักกีฬาจักรยาน (Hautier et al., 2000)

ตารางที่ 2 รูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อหลักระหว่างการปั่นจักรยาน

กล้ามเนื้อ	หน้าที่	ช่วงมุมที่เกิดการทำงาน	มุมที่ทำงานสูงสุด
Gluteus maximus	Hip extension	340–130	80
Vastus lateralis	Knee extension	300–130	30
Vastus medialis	Knee extension	300–130	30
Rectus femoris	Knee extension/Hip flexion	200–110	20
Soleus	Ankle stabilizer	340–270	90
Gastrocnemius	Ankle stabilizer/Knee flexion	350–270	110
Tibialis anterior	Ankle stabilizer/Ankle flexion	All the range	280
Hamstrings (without biceps femoris)	Knee flexion	10–230	100
Biceps femoris	Knee flexion/Hip extension	350–230	110

ที่มา : So et al., 2005

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ

สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular fitness) ได้แก่ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) และความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance)

1) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ออกแรงกระทำต่อแรงต้านได้สูงสุด (Maximal force) ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะทำให้ร่างกายเคลื่อนไหวและออกแรงกระทำต่อแรงภายนอก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ จึงเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสมรรถภาพทางกายและความสามารถทางกีฬา ซึ่งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1.1) ความแข็งแรงสูงสุด (Muscle strength) คือ การหดตัวของกล้ามเนื้อที่สามารถออกแรงได้สูงสุด โดยไม่กำหนดเวลาหรือความเร็วในการเคลื่อนไหวออกแรง

1.2) ความแข็งแรงแบบยืดหยุ่น (Elastic strength) คือ การหดตัวของกล้ามเนื้อที่สามารถออกแรงได้อย่างรวดเร็ว เป็นการทำงานของกล้ามเนื้อโดยใช้ทั้งความเร็วในการหดตัวและความเร็วในการเคลื่อนไหว หรือที่เรียกว่า กำลัง (Power) ความแข็งแรงประเภทนี้มีความสำคัญในการออกแรงแบบระเบิด (Power explosive)

1.3) ความแข็งแรงแบบอดทน (Strength endurance) คือ การหดตัวของกล้ามเนื้อที่สามารถออกแรงได้อย่างต่อเนื่อง เป็นการทำงานของกล้ามเนื้อโดยใช้ทั้งความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ

2) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance)

ความอดทนของกล้ามเนื้อ คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ออกแรงกระทำต่อแรงต้านได้ซ้ำ ๆ อย่างต่อเนื่อง ความอดทนของกล้ามเนื้อเป็นความสามารถในการปฏิบัติกิจกรรมทางการกีฬาที่มีความหนักสูงตลอดช่วงระยะเวลายาวนาน หรือเป็นความสามารถในการทนต่อความเมื่อยล้า (Fatigue tolerance) ความสามารถหรือความอดทนในการทำงานของกล้ามเนื้อจะมีความแข็งแรงสูงสุดเป็นตัวกำหนดร่วมด้วย ซึ่งหากกล้ามเนื้อมีความแข็งแรงสูงสุดจะช่วยเพิ่มความสามารถในการออกแรงของกล้ามเนื้อ เกิดจากเส้นใยกล้ามเนื้อมีความสามารถในการสร้างแรงได้สูงขึ้น (Bompa & Calcina, 1993) เช่น ถ้านักกีฬามีความสามารถหรือปัจจัยต่าง ๆ เท่ากัน นักกีฬาที่มีความแข็งแรงสูงสุดมากกว่าจะมีความอดทนของกล้ามเนื้อที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับนักกีฬาที่มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ต่ำกว่า เพราะนักกีฬาที่มีความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่สูงกว่าจะใช้อัตราความแข็งแรงในการปฏิบัติกิจกรรมที่น้อยกว่า จึงช่วยเพิ่มระยะเวลาของการจะเกิดความเมื่อยล้าออกไปให้นานยิ่งขึ้น (Wilson et al., 1994) นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับพลังงานที่เก็บสะสมในกล้ามเนื้อและปริมาณหลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้ออีกด้วย ดังนั้น ความอดทนของกล้ามเนื้อจึงถือได้ว่าเป็นปัจจัย

สำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถทางกีฬา กล่าวคือ นักกีฬาจะต้องมีความสามารถในการรักษาระดับความแข็งแรงและกำลังของกล้ามเนื้อให้สามารถทำงานได้ตลอดช่วงเวลาของการปฏิบัติกิจกรรมนั้นได้อย่างยาวนานโดยไม่อ่อนล้า อย่างไรก็ตาม การฝึกซ้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อ ควรมีการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อมาก่อน แล้วจึงพัฒนาไปสู่ความอดทนของกล้ามเนื้อที่มีความจำเพาะต่อชนิดกีฬานั้น ๆ ดังนั้น ความอดทนของกล้ามเนื้อเป็นการทดสอบความสามารถของกล้ามเนื้อในการหดตัวซ้ำ ๆ หรือนาน ๆ

3) ความทนต่อการเมื่อยล้า (Fatigue tolerance)

ความทนต่อการเมื่อยล้า คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อที่ทนต่อการเมื่อยล้า หรือความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำงานที่ความหนักสูงในระยะเวลาที่ยาวนาน (Keramidas et al., 2012; Laursen et al., 2003; Weston et al., 1997) ซึ่งความเมื่อยล้าสามารถดูได้จากการสูญเสียแรงหรือแรงที่ลดลงในขณะที่มีความพยายามออกแรงสูงสุดอย่างตั้งใจ (Barry & Enoka, 2007) ดังนั้น เวลาที่สามารถทำได้จะบ่งบอกถึงสมรรถภาพของกล้ามเนื้อที่สามารถอดทนต่อความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นได้ นักกีฬาจักรยานต้องรักษากำลังให้อยู่ในระดับสูงตลอดระยะเวลาการแข่งขัน หากนักกีฬาเกิดความเมื่อยล้าขึ้น จะมีการแสดงออกของความสามารถด้านกำลังลดลงทำให้ความสามารถทางกีฬาจักรยานลดลงไปได้

5.2. สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อ

1) อินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (Insulin–like growth factor–1; IGF–1) คือ ตัวกระตุ้นการเจริญเติบโตที่มีโครงสร้างคล้ายอินซูลิน โดยโกรทฮอร์โมนจะกระตุ้นให้มีการสร้างอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดที่ตับ จากนั้น อินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วันจะไปออกฤทธิ์ที่อวัยวะเป้าหมาย นอกจากนี้อวัยวะอื่นที่สร้างอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน ได้แก่ กล้ามเนื้อ ปอด หัวใจ ไต สมอง และต่อมเพศ หน้าที่หลักของโกรทฮอร์โมน (Growth Hormone) คือ การกระตุ้นให้ตับและเนื้อเยื่อหลั่งอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน จะกระตุ้นการขนถ่ายกรดอะมิโนในการสร้างโปรตีนที่กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่ออื่น ๆ ทำให้มีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนเซลล์ (Hyperplasia) และขยายขนาด (Hypertrophy) เพิ่มขึ้น

2) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatinine Phosphokinase; CPK) เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญของการเร่งปฏิกิริยาชีวเคมีในการแลกเปลี่ยนสารพลังงานภายในเซลล์ โดยเอนไซม์ครีเอทีนไคเนสทำหน้าที่สลายครีเอทีนให้เป็นครีเอทีนฟอสเฟตทำให้ได้เอทีพี (ATP) ซึ่งเป็นสารพลังงานที่ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้ เอนไซม์ครีเอทีนไคเนสมีโครงสร้างประกอบขึ้นด้วย 2 หน่วยย่อย (Dimmer) คือ M และ B ด้วยลักษณะนี้จึงทำให้เกิดไอโซนไซม์ (Isoenzyme) ได้ 3 แบบ คือ CK–BB (Brain type) พบมากในสมอง CK–MB (Cardiac type) พบมากในกล้ามเนื้อหัวใจ และ

CK–MM (Muscle type) พบมากในกล้ามเนื้อลาย ในภาวะปกติค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนสในกระแสเลือดที่ตรวจมีสัดส่วนของ CK–MM มีค่าประมาณ 96 – 100 เปอร์เซ็นต์ CK–MB มีค่าประมาณ 0 – 6 เปอร์เซ็นต์ และCK–BB มีค่า 0 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนสในกระแสเลือดที่ตรวจพบในคนปกติจะเป็นค่า CK–MM ส่วนใหญ่ ดังนั้น หากค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนสสูง ก็จะสามารถบ่งบอกว่ามีค่า CK–MM สูง แสดงว่ามีอันตรายเกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อหรือมีการสลายของกล้ามเนื้อเกิดขึ้น

5.3. การประเมินโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ

1) การทดสอบโครงสร้างของกล้ามเนื้อ (Muscle structure)

1.1) การทดสอบเส้นรอบวงของต้นขา เพื่อประเมินโครงสร้างภายนอกของต้นขา โดยวิธีการวัดเส้นรอบวงของต้นขาโดยใช้สายวัด

1.2) การวัดขนาดความหนาและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ เพื่อประเมินโครงสร้างของกล้ามเนื้อ (Muscle structure) โดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวน์และชุดหัวตรวจในการประเมินความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) และพื้นที่หน้าตัด (Cross sectional area; CSA) (Lee et al., 2018)

2) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ออกแรงกระทำต่อแรงต้านได้สูงสุด (Maximal force) หน่วยวัดเป็นนิวตัน หรือนิวตันต่อกิโลกรัม การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะวัดจากแรงสูงสุด (Peak force) ของการทดสอบ

การทดสอบสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular fitness measurement) ด้วยเครื่องมือวัดแรงแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer) สามารถทำได้ทั้งรูปแบบอยู่นิ่ง (Static) และแบบเคลื่อนที่ (Dynamic) จะมีความเกี่ยวข้องกับกลุ่มกล้ามเนื้อเฉพาะและมุมของข้อต่อนั้น

2.1) การประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบอยู่นิ่ง (Static) ด้วยเครื่องมือวัดแรงแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer) โดยการทดสอบแบบไอโซเมทริก (Isometric test) ไม่มีการเคลื่อนไหวของข้อต่อแต่จะเป็นลักษณะการออกแรงต้านอย่างเต็มความสามารถ ซึ่งเป็นการประเมินแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่สามารถควบคุมได้ (Maximum voluntary contraction; MVC)

2.2) การประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ (Dynamic) โดยเครื่องมือวัดแรงแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer) ด้วยการทดสอบแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic test) เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกาย หรือมีแรงต้านจากภายนอกมาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการประเมินความตึงตัวของกล้ามเนื้อ (Muscular tension) ขณะทำการเคลื่อนไหวของข้อต่อตลอดการเคลื่อนไหวและมีอัตราความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) คงที่ การทดสอบจะมีอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วของการหมุนข้อต่อ มีหน่วยวัดเป็นองศาต่อวินาที (Degrees/sec)

จึงเป็นการวัดแรงหรือทอร์คสูงสุด (Torque) โดยให้ออกแรงสูงสุดในท่าเหยียดเข่าและงอเข่า (Knee extension and flexion) จำนวน 3 – 5 ครั้ง

3) การทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance)

การประเมินความอดทนของกล้ามเนื้อ เป็นการทดสอบความสามารถของกลุ่มกล้ามเนื้อในการที่จะหดตัวที่ระดับต่ำกว่าระดับสูงสุดของแรงกล้ามเนื้อ (Sub–maximum force) ภายในช่วงเวลาหนึ่ง การประเมินความอดทนของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ (Dynamic) โดยเครื่องมือวัดแรงแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer) ด้วยการทดสอบแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic test) เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกาย หรือมีแรงต้านจากภายนอกมาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการประเมินความตึงตัวของกล้ามเนื้อ (Muscular tension) ขณะทำการเคลื่อนไหวของข้อต่อตลอดการเคลื่อนไหว และมีอัตราความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) คงที่ การทดสอบจะมีอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วของการหมุนข้อต่อ มีหน่วยวัดเป็นองศาต่อวินาที (Degrees/sec) โดยให้ออกแรงสูงสุดในท่าเหยียดเข่าและงอเข่า (Knee extension and flexion) ต่อเนื่อง 30 – 50 ครั้ง

4) การทดสอบความทนต่อการเมื่อยล้า (Time to fatigue)

สามารถประเมินจากการทดสอบเวลาของการเกิดความเมื่อยล้า โดยวิธีการปั่นจักรยานเต็มความสามารถที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Time to fatigue at 150 % of peak power output; TF150) ซึ่งกำลังสูงสุดประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยทั่วไปจะทำการทดสอบภายหลังจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max test) ให้ทำการพัก 15 นาที ภายหลังการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และเริ่มการทดสอบปั่นจักรยานเต็มความสามารถที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เริ่มจากการอบอุ่นร่างกายโดยปั่นจักรยานที่ความหนัก 2 วัตต์ต่อน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ระยะเวลา 150 วินาที หลังจากนั้นให้ปั่นจักรยานที่ระดับความเร็วประมาณ 120 รอบต่อนาที และทำการเพิ่มระดับความหนักเป็น 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด การเกิดความเมื่อยล้าจะประเมินจากความสามารถในการควบคุมการปั่นที่ความเร็วน้อยกว่า 60 รอบต่อนาที จึงหยุดการทดสอบ (Laursen & Jenkins, 2002) ดังนั้น เวลาที่สามารถทำได้บ่งบอกถึงความทนต่อการเมื่อยล้า (Laursen & Jenkins, 2002; Weston et al., 1997)

5) ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation)

การประเมินออกซิเจนในกล้ามเนื้อโดยใช้เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Near–Infrared spectroscopy; NIRS) เป็นเทคนิควิธีการประเมินออกซิเจนในเนื้อเยื่อของมนุษย์แบบไม่สวมใส่อุปกรณ์ตรวจวัดเข้าไปในร่างกาย (Non–invasive) โดยอาศัยหลักการการดูดซับคลื่นแสงที่แตกต่างกันของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (Oxyhemoglobin; O_2Hb) และฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (Deoxyhemoglobin; HHb) หรือเป็นฮีโมโกลบินที่ถูกดึงออกซิเจน

ออกไปแล้ว โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า สเปเชียลลีรีโซลสเปกโตสโกปี (Spatially resolved spectroscopy; SRS) อุปกรณ์นี้มีส่วนในการปล่อยแสงจำนวน 3 จุดกำเนินแสงที่ระยะทางต่างกันและตัวรับสัญญาณ เครื่องจะปล่อยแสง 2 ช่วงคลื่นความยาว ได้แก่ 760 และ 850 นาโมเมตร เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านเนื้อเยื่อ ตัวรับสัญญาณจะแยกความแตกต่างของคลื่นแสงของเลือดในหลอดเลือดดำและแดงที่ไหลผ่านตามการบีบตัวของหัวใจซึ่งฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) จะดูดซับคลื่นแสงช่วงความยาวคลื่นใกล้ 760 นาโมเมตร ขณะที่ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) จะดูดซับคลื่นแสงช่วงความยาวคลื่นใกล้ 850 นาโมเมตร (Sanni et al., 2019) ส่วนใหญ่ของฮีโมโกลบินนั้นมาจากหลอดเหลือดเล็ก เพราะว่าหลอดเลือดใหญ่ทั้งหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำที่มีขนาดมากกว่า 1 มิลลิเมตร จะมีความเข้มข้นของฮีม (Heme concentration) ที่สูง ซึ่งจะสามารถดูดซับแสงของ NIRS ได้ทั้งหมด

ดังนั้น การประเมินระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Tissue saturation index; TSI หรือ Tissue oxygenation index; TOI) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ บ่งบอกถึงสัดส่วนการไหลเวียนโลหิตระหว่างการลำเลียงออกซิเจนไปส่ง (O_2 supply) และการนำไปใช้ (Consumption) (McManus et al., 2018) โดยคำนวนจากสมการ (Sanni et al., 2019)

$$TSI = \frac{O_2HB}{O_2HB + HHB} \times 100$$

เมื่อ TSI คือ ระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (Tissue saturation index)

O_2Hb คือ ระดับฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (Oxy–hemoglobin)

HHb คือ ระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (Deoxy–hemoglobin)

ผลรวมของออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Total–hemoglobin; tHb) คำนวณจากสมการ

$$tHb = O_2Hb + HHb$$

ประโยชน์ของการใช้ NIRS สามารถประเมินสัดส่วนของการแพร่และการใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อที่มีการทำงาน มากไปกว่านั้นสามารถประเมินการขนส่งออกซิเจนและประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย (Ferrari et al., 2011) ระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) และระดับฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของการเพิ่มการเผาผลาญของเนื้อเยื่อ พบว่า ในช่วงของการเริ่มสปริ๊นซ์ (Sprint) ที่กล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) มีระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Racinais et al., 2014) ระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของฮีโมโกลบินทั้งหมด (Total hemoglobin) กับระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน

(HHb) ของหลอดเลือดดำ เพราะว่าความแตกต่างของระดับฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) ได้รับอิทธิพลจากปริมาณเลือดที่เพิ่มขึ้น และการแพร่ที่เป็นสาเหตุมาจากแรงของกล้ามเนื้อที่หดตัว มีการศึกษาระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อในหลาย ๆ กลุ่มกล้ามเนื้อ ในขณะออกกำลังกายระดับฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการไหลเวียนโลหิตที่ผิวหนังเพื่อถ่ายเทความร้อนส่งผลให้มีการเพิ่มระดับฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) แต่อาจไม่ได้กระทบกับระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) เพราะว่าการเพิ่มขึ้นของการไหลเวียนโลหิตนั้นไม่ได้เกี่ยวข้องกับการเพิ่มการแลกเปลี่ยนก๊าซ ซึ่งสัมพันธ์กับการศึกษาของ Koga และคณะ (Koga et al., 2019) แสดงให้เห็นว่า ในช่วงของการที่ร่างกายมีความร้อนเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของระดับฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) แต่ไม่พบการเพิ่มขึ้นของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) นอกจากนี้ความร้อนของร่างกายที่เกิดขึ้น จะส่งผลกระตุ้นการเพิ่มของผลรวมของฮีโมโกลบินและไมโอโกลบิน (tHb) ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) และอาจจะเกี่ยวข้องกับการขยายตัวของหลอดเลือด (Vasodilation) หรือการเพิ่มขึ้นของเส้นเลือดฝอย (Capillary) ในเนื้อเยื่อ อีกทั้งไม่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle O_2 saturation) ของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) ขณะพยายามออกแรงสูงสุดอย่างตั้งใจ (Maximal voluntary contraction) เมื่ออุณหภูมิของผิวหนังเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (deoxy(Hb+Mb)) สามารถที่จะคาดการณ์การเพิ่มขึ้นของนำเอาออกซิเจนไปใช้ (Fractional O_2 extraction) ได้ เมื่อผลรวมของฮีโมโกลบินและไมโอโกลบิน (total(Hb+Mb)) คงที่ ซึ่งมักไม่ค่อยเกิดโดยทั่วไปของการออกกำลังกาย แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษามากมาย แนะนำว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) มีอิทธิพลน้อยมากที่จะทำให้ผลรวมของฮีโมโกลบินและไมโอโกลบิน (tHb)) เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับระดับฮีโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน (O_2Hb)

6. การฝึกออกกำลังกายในนักกีฬาจักรยาน (Cycling Training)

การฝึกออกกำลังกายจะช่วยพัฒนาการตอบสนองทางสรีรวิทยาแตกต่างกันออกไปตามแต่ละรูปแบบโปรแกรมการฝึก ในปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมการฝึกอย่างหลากหลาย มีทั้งการฝึกแบบรูปแบบเดี่ยวหรือแบบประเพณีนิยม และมีการฝึกแบบเชิงซ้อน (Multiple training components) เป็นการฝึกการทำงานของหน้าที่ที่แตกต่างกัน เช่น การฝึกความแข็งแรงกับความอดทนโดยจะแยกฝึกต่างวันกัน สามารถทำให้เกิดการพัฒนาตามที่ร่างกายต้องการได้ นอกจากนี้ยังมีวิธีการฝึกแบบผสมผสานในลักษณะการฝึกรูปแบบเดี่ยว (Single training mode) เช่น การกระตุ้นระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต และระบบประสาทและกล้ามเนื้อในเวลาเดียวกัน ซึ่งปัจจุบันรูปแบบ

การฝึกในลักษณะนี้ได้รับการยอมรับและนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งแนวทางในการออกแบบการฝึกต้องมีความหนัก ปริมาณหรือระยะเวลา และความถี่ของการออกกำลังกายที่เหมาะสม รวมทั้งการพักระหว่างช่วงการฝึกหรือระหว่างรอบที่เหมาะสม ทั้งนี้ ความแรงของการตอบสนองจากการกระตุ้นขึ้นอยู่กับประสบการณ์การฝึก และ/หรือระดับสมรรถภาพทางกายของแต่ละบุคคล (Garber et al., 2011) ซึ่งความหนักของการฝึกออกกำลังกายสามารถแบ่งออกเป็น 3 โซน (ดังแสดงตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 โซนความหนักการฝึกออกกำลังกาย (Intensity zone)

โซนความหนัก	ระดับความหนัก (Intensity level)	VO_2 (%VO_2max)	Heart rate (%HRmax)	Lactate (mM)	Power output (%PPO)
Zone 1	Low–intensity (< VT_1)	65 – 75%	70 – 80%	< 2 mM	< 65%
Zone 2	Moderate–intensity (VT_1 – VT_2)	75 – 90%	> 80 – 90%	~2–4 mM	~ 65–80%
Zone 3	High–intensity (>VT_2)	> 90%	> 90 – 100%	≥ 4 mM	> 80%

ที่มา: ประยุกต์จาก Kindermann และคณะ (Kindermann et al., 1979) Seiler และคณะ (Seiler et al., 2006, 2010)

6.1. หลักการฝึกกีฬา (Sports training)

ปัจจัยสำคัญในการฝึกกีฬาต้องคำนึงถึงปริมาณของการออกกำลังขึ้นอยู่กับ

1) ชนิดหรือวิธีการ (Mode/Type of exercise)

2) ความแรงหรือความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) มีการกำหนดด้วยพื้นฐานของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) ความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) (Seiler, 2010) หรือกำลังสูงสุด (PPO) (Lindsay et al., 1996; Seiler et al., 2013; Stepto et al., 1999) ความหนักของการออกกำลังกายสามารถแบ่งออกเป็น 3 โซน (ดังตารางที่ 3)

3) ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Duration) ควรใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Continuous) หรือแบบสลับช่วง (Intermittent) ระยะเวลา 20 – 60 นาที เพื่อให้เกิดผลจากการฝึก (Training effect)

4) ความถี่ในการออกกำลังกาย (Frequency)

5) การคงไว้และการเพิ่มความหนักในการฝึก (Progression) ของสภาพร่างกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2. รูปแบบการฝึกในกีฬาจักรยาน

1) การฝึกแบบฟาร์ทเลค (Fartlek training)

การฝึกแบบฟาร์ทเลค ประกอบด้วยการฝึกที่ใช้ความเร็วในการฝึกไม่สม่ำเสมอ โดยการฝึกต้องมีการเคลื่อนไหวตลอด อาจช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ เป็นการฝึกระยะไกล ๆ อาจเป็นการฝึกแบบเปลี่ยนแปลงความเร็ว (Speed–play training) การฝึกลักษณะนี้จะมีผลต่อการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกและสร้างความอดทนของกล้ามเนื้อ

2) การฝึกแบบต่อเนื่อง (Continuous training)

การฝึกแบบต่อเนื่อง เป็นการฝึกปั่นจักรยานอย่างต่อเนื่องจนครบระยะเวลาหรือระยะทางที่กำหนด การฝึกในลักษณะนี้ความหนักของงานจะสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาของการฝึก อัตราการเต้นหัวใจคงที่ (Steady state) คือ ความสามารถของร่างกายในการนำออกซิเจนไปใช้พอดีกับปริมาณงานที่กระทำ ความหนักของงานในการฝึกนั้นขึ้นอยู่กับพื้นฐานสมรรถภาพทางกายของผู้ฝึกที่อาจแตกต่างกันในแต่ละบุคคล รูปแบบการฝึกแบบต่อเนื่อง ได้แก่

2.1) การฝึกแบบปริมาณการฝึกสูงที่ความหนักต่ำ (High–volume and Low–intensity training) หรือการฝึกที่โซน 1 (zone 1) แบบเน้นปริมาณการฝึกมาก (High–volume) โดยใช้ความหนักของงานในระดับต่ำ (Low–intensity) หรือเป็นรูปแบบการฝึกด้วยความเร็วต่ำระยะทางไกล (Long slow distance; LSD) การฝึกแบบเกินระยะทาง (Overdistance training) เป็นแบบฝึกที่ใช้ระยะทางยาวกว่าระยะแข่งขันจริง การฝึกลักษณะนี้นักกีฬาจะได้รับการพัฒนาด้านประสิทธิภาพของการใช้ออกซิเจนและพัฒนาความอดทนเพิ่มขึ้น การฝึกที่ความหนักต่ำกว่าระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (1^{st} Ventilatory threshold) ในนักจักรยานประเภทถนนระดับอาชีพ (Professional cyclists) จะมีอัตราการเต้นหัวใจประมาณน้อยกว่า 150 ครั้งต่อนาที (Lucía et al., 2000) หรือ 65 – 75 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด หรือแลคเตทน้อยกว่า 2 ไมโครโมล (Seiler et al., 2006) หรือกำลังสูงสุดน้อยกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Kindermann et al., 1979) ผลของการฝึกแบบปริมาณการฝึกสูงที่ความหนักต่ำจะช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดที่บีบออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (Stroke volume) และปริมาณเลือด (Plasma volume) นอกจากนี้ยังเกิดการพัฒนาในระดับเซลล์ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดฝอยและไมโตคอนเดรียใหม่ ดังนั้น จึงเป็นการฝึกที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางแอโรบิกและการใช้พลังงานได้เป็นอย่างดี (Romijn et al., 1993) นอกจากนี้ยังพบว่า นักกีฬาที่ผ่านการฝึกมาเป็นอย่างดี การฝึกแบบความหนักต่ำด้วยความถี่บ่อยหรือระยะเวลานานจะให้ค่าเฉลี่ยความหนักของการฝึกรวมทั้งหมดลดลง จะช่วยฟื้นฟูสภาพร่างกายได้เร็วกว่าการฝึกที่ความหนักเหนือระดับกั้นแลคเตท (Seiler et al., 2006)

2.2) การฝึกที่ความหนักระดับกั้นแลคเตท (Lactate threshold training) หรือที่ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold) การฝึกแบบระดับความหนักของงานเกิดขึ้นระหว่างระดับกั้นแลคเตทที่ 1 และ 2 หรือการฝึกที่โซน 2 (zone 2) เป็นการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise) ที่ช่วยเพิ่มความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) (Faude & Meyer, 2009) การฝึกที่ความหนักปานกลาง ที่ระดับกั้นแลคเตทที่ 1 ถึง 2 หรือระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) ถึง 2 (VT_2) ในนักจักรยานประประเภทถนนระดับอาชีพ (Professional cyclists) โดยมีอัตราการเต้นหัวใจประมาณ 150 – 170 ครั้งต่อนาที (Lucía et al., 2000) หรือ 75 – 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือมากกว่า 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Seiler et al., 2006) หรือแลคเตทประมาณ 2 – 4 มิลลิโมล (Seiler et al., 2006) หรือกำลังสูงสุดประมาณ 65 – 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Kindermann et al., 1979) นอกจากนี้ ยังมีการกำหนดความหนักที่เป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ที่คำนวณจาก 50 เปอร์เซ็นต์ของระหว่างค่า VT_1 และ VT_2 (Neal et al., 2013) สามารถช่วยพัฒนาสมรรถภาพแอโรบิกได้เป็นอย่างดี

3) การฝึกแบบสลับช่วงพัก (Interval Training)

การฝึกแบบสลับช่วง (Interval training) คือ การฝึกที่มีช่วงสลับระหว่างช่วงที่ออกกำลังกายหนักสลับกับช่วงที่มีการออกกำลังกายเบาหรือหยุดพัก การฝึกลักษณะนี้จะมีผลต่อการพัฒนากล้ามเนื้อและระบบไหลเวียนโลหิต การฝึกแบบสลับช่วงถือได้ว่าเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับนักกีฬา ซึ่งไม่เน้นปริมาณการฝึกแต่เน้นความหนักในการฝึก และส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถสูงสุดได้ การฝึกด้วยโปรแกรมฝึกแบบสลับช่วงอาจให้ผลที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับรูปแบบการฝึก ชนิดการออกกำลังกาย ระดับความหนัก ช่วงเวลาการฝึกและการพัก จำนวนครั้ง จำนวนรอบ รวมถึงการพักระหว่างช่วงทั้งหมดและความหนักในช่วงพัก (Buchheit & Laursen, 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

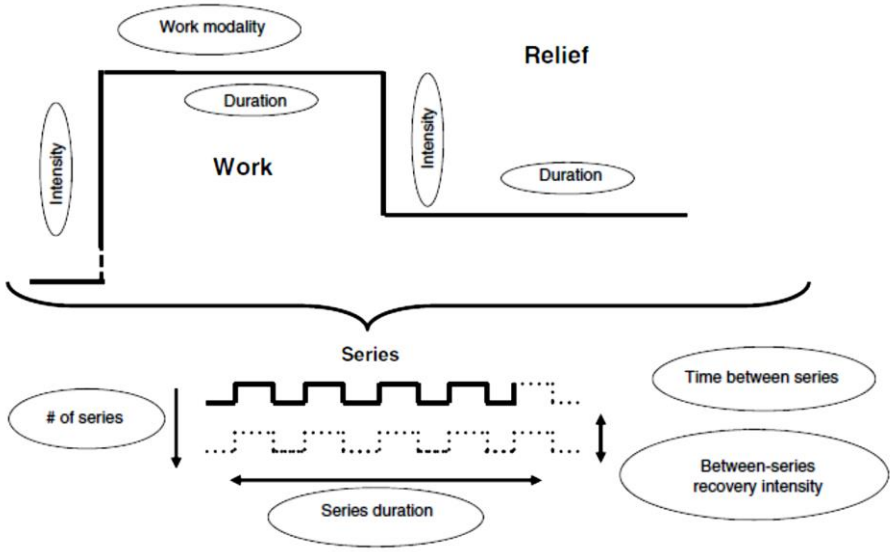
7. การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training)

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง หรือนิยมเรียกกันส้น ๆ ว่า “ฮิต (HIIT)” ย่อมาจาก High–intensity interval training เป็นการฝึกโดยการกำหนดความหนักของการฝึกในระดับสูง และใช้เวลาในการฝึกสั้น ๆ มักจัดรูปแบบการฝึกซ้อมออกเป็นรอบที่ประกอบด้วยช่วงของการฝึกหนัก (High intensity) สลับกับช่วงของการฝึกเบา (Low intensity)

7.1. หลักการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Principle of HIIT training)

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงเป็นโปรแกรมการฝึกที่มีประสิทธิภาพอย่างมากในด้านการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิก ช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการพัฒนาของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตให้ดีขึ้น อีกทั้งยังประหยัดเวลาการฝึกซ้อม ดังนั้น การกำหนดโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วง ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของการฝึก 9 ประการ ดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 13) (Buchheit & Laursen, 2013)

1) ชนิดของการออกกำลังกาย (Exercise modality)
2) ความหนักของช่วงออกกำลังกายหนัก (Work interval intensity)
3) ระยะเวลาของช่วงออกกำลังกายหนัก (Work interval duration)
4) ความหนักของช่วงออกกำลังกายเบา (Relief interval intensity)
5) ระยะเวลาของช่วงออกกำลังกายเบา (Relief interval duration)
6) จำนวนครั้งของการทำซ้ำ (Number of repetitions)
7) จำนวนชุดการฝึก (Number of series)
8) ความหนักของช่วงฟื้นฟูสภาพระหว่างชุดการฝึก (Between–series recovery intensity)
9) ระยะเวลาของช่วงฟื้นฟูสภาพระหว่างชุดการฝึก (Between–series recovery duration)



รูปที่ 13 องค์ประกอบของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วง

ที่มา : Buchheit and Laursen (2013)

7.2. รูปแบบการฝึกสลับช่วง (Interval training formats)

รูปแบบการฝึกสลับช่วงโดยใช้ความหนักสูงในการฝึก สามารถแบ่งรูปแบบออกตามการตอบสนองทางสรีรวิทยาแบบฉับพลันเป็น 6 รูปแบบ ดังนี้ (ดังรูปที่ 14) (Buchheit & Laursen, 2013)

1) การฝึกแบบสลับช่วงที่ใช้ระยะเวลาสั้น (Short interval) เวลาน้อยกว่า 60 วินาที เป็นการฝึกเพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) ในระบบที่ใช้ออกซิเจน (Oxygen system) เป็นการกระตุ้นให้เกิดระบบการขนส่งและการใช้ออกซิเจน ได้แก่ ระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary system) และระบบการทำงานของเอนไซม์ของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Oxidative muscle fibers)

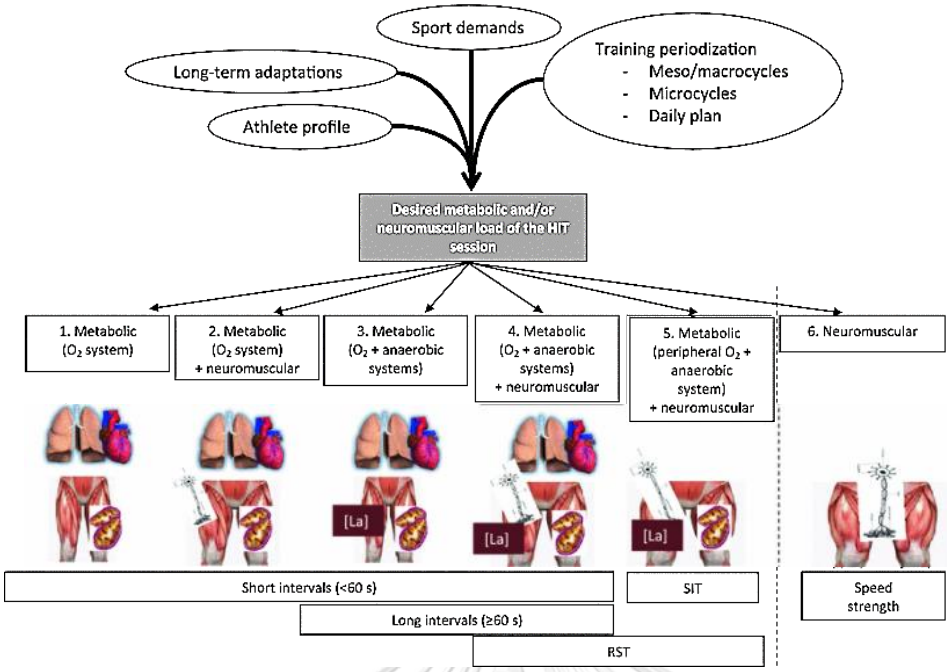
2) การฝึกแบบสลับช่วงที่ใช้ระยะเวลาสั้น (Short interval) เวลาน้อยกว่า 60 วินาที เช่นเดียวกับรูปแบบ 1 เป็นการฝึกเพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) และระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular) เป็นการการกระตุ้นการใช้พลังงาน แต่มีระดับของการเกิดความเค้นของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular strain) ร่วมด้วย

3) การฝึกแบบสลับช่วงที่ใช้ระยะเวลายาวนาน (Long interval) เวลามากกว่าหรือเท่ากับ 60 วินาที เป็นการฝึกเพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) เช่นเดียวกับรูปแบบ 1 แต่มีส่วนร่วมของการทำงานในระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic glycolytic energy) เป็นอย่างมาก

4) การฝึกแบบใช้ความเร็วสูงสุดซ้ำ (Repeated–sprint training; RST) เป็นการฝึกที่ให้นักกีฬาฝึกด้วยความหนักหรือความเร็วสูงสุดหรือเกือบสูงสุดในแต่ละเที่ยว และช่วงพักค่อนข้างนานจนนักกีฬาหายเหนื่อยแล้วจึงฝึกเที่ยวต่อไป เพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) เช่นเดียวกับรูปแบบ 3 ร่วมกับมีความหนักในการกระตุ้นของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

5) การฝึกแบบสลับช่วงด้วยความเร็วสูงสุด (Sprint interval training; SIT) เป็นแบบฝึกด้วยการเร่งความเร็ว เพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) ที่มีความสำคัญยิ่งในระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic glycolytic energy) และเกิดการกระตุ้นระบบประสาทกล้ามเนื้อเป็นอย่างมาก เป็นรูปแบบการฝึกเพื่อสร้างความเร็วสูงสุด

6) การฝึกความแข็งแรงแบบรวดเร็ว (Speed strength training) เป็นการฝึกเพื่อกระตุ้นความเค้นของเส้นใยระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular strain) โดยเฉพาะ



รูปที่ 14 รูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

ที่มา : Buchheit and Laursen (2013)

7.3. การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในนักกีฬาจักรยาน

กีฬาจักรยานประเภทถนนเป็นกีฬาประเภทความอดทนที่ต้องใช้ระบบพลังงานทั้งแบบที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic capacity) และไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic capacity) ซึ่งการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ส่วนใหญ่เป็นการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักสูงสลับกับช่วงออกกำลังกายเบา เป็นวิธีการฝึกที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการปรับตัวจากการฝึกในระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic training) และการฝึกในระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic training)

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) เป็นรูปแบบการฝึกที่ใช้ระดับความหนักต่ำกว่าระดับสูงสุด (Sub-maximal intensity) ส่งผลดีอย่างมากต่อการพัฒนาหน้าที่การทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต (Cardiorespiratory function) ระบบการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic function) และความสามารถทางกาย (Physical performance) ของนักกีฬา การฝึกที่ความหนักสูงเป็นการใช้ความหนักของงานที่เกิดขึ้นเหนือระดับกั้นแลคเตทที่ 2 หรือการฝึกที่โซน 3 เป็นการฝึกออกกำลังกายในขณะร่างกายมีการสะสมของกรดแลคติกเป็นจำนวนมาก การฝึกที่ความหนักสูงเหนือระดับกั้นแลคเตทที่ 2 หรือระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (>VT_2) ในนักจักรยานประเภทถนนระดับอาชีพ (Professional cyclists) โดยมีอัตราการเต้นหัวใจประมาณ 175 ครั้งต่อนาที (Lucía et al., 2000) หรือมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

หรือมากกว่า 90 – 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Seiler et al., 2006) หรือแลคเตทมากกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิโมล หรือกำลังสูงสุดมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Kindermann et al., 1979) นอกจากนี้ ยังมีการกำหนดความหนักที่เป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ที่คำนวณจากการเพิ่มความหนักจากระดับกั้นแลคเตทที่ 2 (VT_2) 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ (Neal et al., 2013)

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) เป็นโปรแกรมการฝึกที่ช่วยพัฒนาการตอบสนองทางสรีรวิทยาแตกต่างกันออกไปตามแต่ละรูปแบบ การฝึกในกลุ่มนักกีฬาที่ผ่านการฝึกและมีสมรรถภาพที่สูงอยู่แล้วนั้น จำเป็นต้องมีรูปแบบโปรแกรมการฝึกที่เหมาะสม (Laursen & Jenkins, 2002) ที่ผ่านมามีการศึกษาโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในนักกีฬาจักรยาน เป็นวิธีการฝึกซ้อมที่ส่งผลดีต่อการปรับตัวของระบบการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic adaptations) ช่วยเพิ่มความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_2max) และเพิ่มการตอบสนองด้านความสามารถ (Performance responses) ได้อย่างรวดเร็วในระยะ 3 – 6 สัปดาห์ (Hawley & Stepto, 2001) ตัวอย่างโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในนักกีฬาจักรยาน เช่น

1) โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อัตราส่วนช่วงออกกำลังกายหนักต่อช่วงออกกำลังกายเบา แบบ 5 ต่อ 1 นาที ด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Peak power output; PPO) เวลา 5 นาที สลับกับช่วงปั่นจักรยานที่ระดับเบาประมาณ 100 วัตต์ เวลา 60 วินาที จำนวน 6 – 9 รอบ (Repetitions) (6 – 9 x 4 min at 80% PPO, 60s active recovery) ระยะเวลาของการฝึก 4 – 6 สัปดาห์ จำนวนครั้งการฝึกทั้งหมด 6 – 12 ครั้ง (Session) มีผลทำให้เพิ่มกำลังสูงสุด เพิ่มความสามารถทางด้านเวลาในการปั่นจักรยานที่ 40 กิโลเมตร (40 km time trial) (Lindsay et al., 1996; Westgarth-Taylor et al., 1997; Weston et al., 1997) เพิ่มระยะเวลาการทำงานก่อนถึงจุดเมื่อยล้า (Time to fatigue) (Lindsay et al., 1996; Weston et al., 1997) และเพิ่มความสามารถการบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) (Weston et al., 1997) นอกจากนี้ โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงที่จุดต่ำกว่าระดับสูงสุด (Sub–maximum intensity) อัตราส่วนช่วงออกกำลังกายหนักต่อช่วงออกกำลังกายเบา แบบ 4 ต่อ 1.5 นาที ด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 4 นาที สลับกับช่วงปั่นจักรยานที่ระดับเบา 100 วัตต์ เวลา 90 วินาที จำนวน 8 รอบ (Repetitions) (8 x 4 min at 85% PPO, 90s active recovery) ระยะเวลาของการฝึก 3 – 4 สัปดาห์ จำนวนครั้งการฝึกทั้งหมด 6 – 8 ครั้ง (Session) มีผลทำให้เพิ่มกำลังสูงสุด เพิ่มความสามารถทางด้านเวลาในการปั่นจักรยานที่ 40 กิโลเมตร (40 km time trial) (Lamberts et al., 2009; Stepto et al., 1999) และเพิ่มประสิทธิภาพการฟื้นฟูอัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate recovery) (Lamberts et al., 2009)

2) โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อัตราส่วนช่วงออกกำลังกายหนักต่อช่วงออกกำลังกายเบา แบบ 4 ต่อ 3 นาที ด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 90 – 95

เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) เวลา 4 นาที สลับกับช่วงปั่นจักรยานที่ความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เวลา 3 นาที จำนวน 4 รอบ (Repetitions) (4 x 4 min at 90 – 95% HRmax, 3 min at 75% HRmax) ระยะเวลาของการฝึก 15 วัน 12 ครั้งการฝึก (Session) มีผลทำให้มวลร่างกายลดลง เพิ่มความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_2peak) เพิ่มความสามารถทางด้านเวลาในการปั่นจักรยาน (Time trial) (Stöggl & Björklund, 2017) เพิ่มความเร็วและกำลังงานที่ระดับกั้นแลคเตท 2 และ 4 มิลลิโมล (Stöggl & Sperlich, 2014; Stöggl & Björklund, 2017) และมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแลคเตทสูงสุดขณะทดสอบความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Maximum anaerobic test) (Stöggl & Björklund, 2017) นอกจากนี้ Kilian และคณะ (Kilian et al., 2016) ศึกษาการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ความเร็วในการปั่นมากกว่าหรือเท่ากับ 80 รอบต่อนาที เวลา 4 นาที สลับกับช่วงปั่นจักรยานที่ความหนัก 45 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ความเร็วในการปั่น 60 – 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที จำนวน 4 รอบ (Repetitions) (4 x 4 min at 90 – 95% PPO, 3 min at 45% PPO) พบว่า โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงนี้ ส่งผลให้เกิดความเครียดของระบบการเผาผลาญอาหาร (Metabolic stress) ระบบหัวใจและหายใจ (Cardiorespiratory stress) และการฟื้นฟูอัตราการเต้นหัวใจแบบฉับพลัน (Acute heart rate recovery) สูงกว่ารูปแบบการฝึกด้วยปริมาณการฝึกสูง (High–volume training)

ทั้งนี้ Coyle และคณะ (Coyle et al., 1991) พบความสัมพันธ์ของอัตราการใช้กำลังสูงสุดและความสามารถทางด้านเวลาในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (40 km time trial) ในนักกีฬาจักรยานระดับชาติและระดับอาชีพ (Elite–national class) ซึ่งมีความสามารถในการสร้างกำลังสูงสุดและรักษากำลังสูงสุดเฉลี่ยไว้ได้ใน 1 ชั่วโมง อาจเป็นผลมาจากเกิดการปรับตัวของกล้ามเนื้อ (Muscular adaptation) ที่ถูกกระตุ้นโดยการฝึกความอดทน (Endurance training) อย่างไรก็ตาม Stepto และคณะ (Stepto et al., 1999) เปรียบเทียบรูปแบบการฝึกที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบต่อความสามารถทางด้านเวลาในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร พบว่า การฝึกด้วยรูปแบบสลับช่วงที่ความหนัก 175 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 30 วินาที จำนวน 12 รอบ และรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 4 นาที จำนวน 8 รอบ ส่งผลดีทำให้ความสามารถทางด้านเวลาในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรดีขึ้น

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพอจะสรุปได้ว่า บทบาทสำคัญของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงที่เหมาะสมกับนักกีฬาจักรยาน ประกอบด้วยการฝึกที่ระดับความหนัก 80 – 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ด้วยเวลา 4 – 5 นาที สลับกับช่วงการฝึกเบาที่ความหนัก 100 วัตต์ หรือที่ความหนัก 45 – 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ด้วยเวลา 1 – 3 นาที ส่งผลดีก่อให้เกิดการพัฒนากำลัง

สูงสุดช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางแอโรบิก ความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) และความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ในนักกีฬาจักรยานกลุ่มที่มีการฝึกมาเป็นอย่างดีได้

ผู้วิจัยจึงศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม พบว่า โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อัตราส่วนช่วงออกกำลังกายหนักต่อช่วงออกกำลังกายเบา แบบ 2 ต่อ 1 โดยใช้เวลา 4 ต่อ 2 นาที ด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Peak heart rate; HRpeak) เวลา 4 นาที สลับกับช่วงปั่นจักรยานที่ระดับเบา 2 นาที จำนวน 4 รอบ (Repetitions) (4 x 4 min at 95% HRpeak, 1 min active recovery) มีผลทำให้เพิ่มกำลังงานที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพิ่มความสามารถทางด้านเวลาในการปั่นจักรยานที่ 40 กิโลเมตร (40 km time trial) และเพิ่มระยะเวลาการทำงานก่อนถึงจุดเมื่อยล้า (Time to exhaustion) ในนักกีฬาจักรยานที่มีระดับความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนที่ระดับประมาณ 52 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (Seiler et al., 2013) นอกจากนี้ Perry และคณะ (Perry et al., 2008) ศึกษาผลของการฝึกด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 4 นาที สลับกับช่วงพัก ระยะเวลา 2 นาที พบว่า สามารถช่วยเพิ่มองค์ประกอบและเอนไซม์การทำงานของไมโตรคอนเดรียในกล้ามเนื้อ เพิ่มการเก็บสะสมของไกลโคเจน เพิ่มความสามารถในการเผาผลาญไขมันเป็นแหล่งพลังงาน และลดการสะสมของแลคเตท อีกทั้ง Paquette และคณะ (Paquette et al., 2017) ศึกษารูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง โดยใช้การกำหนดอัตราส่วนช่วงออกกำลังกายหนักต่อช่วงออกกำลังกายเบา แบบ 2 ต่อ 1 ด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดจนกว่าจะเหนื่อยล้าและหยุดการทำงาน (Exhaustion) ซึ่งจะใช้เวลา 1 – 7 นาที ขึ้นอยู่กับความสามารถของแต่ละบุคคล (Individual) สลับกับช่วงปั่นจักรยานที่ระดับเบาที่ระดับความหนัก 150 วัตต์ หรือ 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เมื่อกำลังสูงสุดน้อยกว่า 300 วัตต์ ด้วยเวลาครึ่งหนึ่งของการฝึกในช่วงออกกำลังกายหนักในกลุ่มนักกีฬาประเภทความอดทนระดับกลาง (Moderately endurance trained) ระยะเวลาของการฝึก 6 สัปดาห์ จำนวนครั้งการฝึกทั้งหมด 18 ครั้ง (Session) มีผลทำให้ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มกำลังและความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ดังนั้น ในการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นระยะเวลา 4 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบาที่ระยะเวลา 2 นาที การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างเหมาะสม จะช่วยพัฒนาความสามารถสูงสุดของทั้งระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular system) และเกิดการปรับตัวของกล้ามเนื้อ (Peripheral adaptations) พร้อมกันได้ นอกจากนี้การฝึกฝนภายใต้สภาวะที่เกิดการสะสมของปริมาณแลคเตทเป็นจำนวนมาก

ทำให้เกิดการพัฒนาความสามารถด้านความอดทนของกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการใช้เวลาของนักกีฬาจักรยานให้ดีขึ้น (Seiler et al., 2013)

7.4. ประโยชน์ของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในกีฬาจักรยาน

จากที่ได้รวบรวมข้อมูลดังที่ได้กล่าวมา พอจะสรุปข้อดีของการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training; HIIT) พอสังเขป ได้ดังนี้

1) มีประสิทธิภาพการฝึก (Effective) ต่อความสามารถทางกีฬาจักรยาน

1.1) เพิ่มความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_2max) ส่งผลให้ร่างกายมีความอดทนเพิ่มสูงขึ้น สามารถทำกิจกรรมหรือเคลื่อนไหวร่างกายได้อย่างต่อเนื่องยาวนานขึ้น

1.2) เพิ่มระดับกั้นแลคเตท (Lactate threshold) ส่งผลให้ร่างกายสามารถทำงานในระดับสูงได้นานและต่อเนื่อง

1.3) เพิ่มความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic power) ส่งผลให้สามารถออกแรงเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วและรุนแรงมากขึ้น

1.4) เพิ่มความสามารถการปรับความสมดุลความเป็นกรด–ด่าง (Buffering capacity) รวมถึงการเพิ่มระยะเวลาการทำงานก่อนถึงจุดเมื่อยล้า (Time to exhaustion)

1.5) เพิ่มความสามารถทางกีฬา (Time trial performance)

2) ใช้เวลาการฝึกที่น้อยกว่าการฝึกความหนักปานกลางต่อเนื่อง (Lower time commitment) (Gibala et al., 2012) หรือใช้เวลาในการฝึกต่อสัปดาห์น้อย (Less time exercising per week) (Heinrich et al., 2014) ลดปริมาณการออกกำลังกายรวม (Reduced total exercise volume) (Gibala et al., 2012)

3) มีความสนุกสนานในการฝึกออกกำลังกาย (Exercise enjoyment) (Bartlett et al., 2011; Heinrich et al., 2014; Thum et al., 2017) การติดตามหรือการยึดมั่นในการออกกำลังกาย (Exercise adherence) (Bartlett et al., 2011)

การฝึกในรูปแบบของการใช้ความหนักระดับสูง (High–intensity training) ในนักกีฬาจักรยานระดับสูง สามารถพัฒนาความสามารถในการรักษากำลังในขณะปั่นจักรยานได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีกลไกการทำงานในการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อได้จาก 3 ประการ ดังนี้

1) กลไกด้านระดับความเป็นกรด (Acid–Base Status) ผลของการฝึกจะช่วยเพิ่มระดับกั้นแลคเตทหรือจุดเริ่มล้า (Lactate threshold) ส่งผลให้ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดและกล้ามเนื้อลดลง นอกจากนี้ การฝึกยังช่วยเพิ่มการสับเปลี่ยนการทำงานของระบบแลคเตทและการเผาผลาญพลังงาน (Lactate turnover and oxidative) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของระดับกั้นแลคเตทหรือจุดเริ่มล้า และช่วยลดการใช้ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle glycogen utilization)

2) กลไกด้านการใช้พลังงาน (Fuel supply) ผลของการฝึกจะช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันเป็นแหล่งพลังงาน (Fat oxidation) เพิ่มการสะสมของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle glycogen stores) และลดการใช้ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ

3) กลไกด้านลักษณะกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle morphology) ที่เกิดจากการกระตุ้นให้เพิ่มการทำงานของเส้นประสาทกล้ามเนื้อ (Neural recruitment) เพิ่มปริมาณกล้ามเนื้อในส่วนต้นขา (Lean thigh volume) เพิ่มความหนาแน่นเส้นเลือดฝอย (Capillary density) เพิ่มการทำงานของเอมไซม์ (Enzyme activity) เพิ่มจำนวนเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 (Type I fibers) จึงส่งผลให้เกิดการปรับตัวทางโครงสร้างของกล้ามเนื้อ (Hawley & Stepto, 2001)

8. การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction training)

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นรูปแบบการฝึกที่ได้รับการพัฒนาต่อยอดจนสามารถนำไปใช้ร่วมกับการออกกำลังกาย เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการออกกำลังกายที่อาจก่อให้เกิดประโยชน์ได้มากกว่ารูปแบบการฝึกแบบประเพณีนิยมทั่วไป การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นเทคนิคการจำกัดการไหลเวียนโลหิตโดยการรัดที่บริเวณรยางค์ของร่างกาย ด้วยอุปกรณ์ภายนอกร่างกายที่สามารถปรับเพิ่มความดันได้ (Takano et al., 2005) โดยทั่วไปจะนำอุปกรณ์รัดที่บริเวณต้นแขนหรือต้นขาทั้งสองข้าง เพื่อลดการไหลเวียนโลหิตไปยังกล้ามเนื้อ รวมทั้งการไหลเวียนโลหิตกลับจากบริเวณส่วนปลายที่ถูกจำกัด ซึ่งถือได้ว่าเป็นการจำลองสภาพการทำงานของกล้ามเนื้อในสภาวะออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) และส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดกรดแลคติกเพิ่มขึ้น (Sato, 2005; Manimmanakorn et al., 2013a; Manimmanakorn et al., 2013b) วิธีการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นวิธีที่ปลอดภัยต่อระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต และไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือขาดโลหิต มีผลช่วยเพิ่มขนาด ความแข็งแรง และความอดทนของกล้ามเนื้อโครงร่าง รวมไปถึงความอดทนของกล้ามเนื้อหัวใจ (Loenneke et al., 2011)

8.1. หลักการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

สิ่งสำคัญของการนำวิธีการฝึกจำกัดการไหลเวียนโลหิตไปใช้ฝึก อาจมีปัจจัยหลายด้านเป็นองค์ประกอบในการพิจารณาเพื่อให้เกิดการตอบสนองการฝึกที่เหมาะสม ประกอบด้วย (Mattocks et al., 2018; Pope et al., 2013)

1) อุปกรณ์การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นการฝึกที่ใช้อุปกรณ์ควบคุมการไหลเวียนโลหิตจากภายนอกร่างกาย ชนิดของอุปกรณ์ ได้แก่

1.1) สายรัด (Tourniquet) (Shinohara et al., 1998)

1.2) สายรัดแบบยางยืด (Elastic banding) (Takano et al., 2005)

1.3) สายรัดควบคุมด้วยความดัน (Pressurized cuff) (Abe, Sakamaki, et al., 2010) การใช้สายรัดแบบไนลอนกับสายรัดแบบยางยืดที่ขนาดเท่ากัน พบว่า มีความสามารถในการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตขณะพักไม่แตกต่างกัน (Scott et al., 2014) ขนาดของอุปกรณ์มีความกว้างระหว่าง 3 ถึง 18.5 เซนติเมตร โดยขนาดสายรัดที่ใช้กับต้นแขน คือ ระหว่าง 3 ถึง 12 เซนติเมตร และขนาดสายรัดที่ใช้กับต้นขา คือ ระหว่าง 3 ถึง 18.5 เซนติเมตร (Loenneke et al., 2012)

2) ความดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

ความดันในการในการบีบรัดมีความสัมพันธ์กับขนาดของสายรัด ซึ่งขนาดของสายรัดที่มีความกว้างมากกว่า (13.5 เซนติเมตร) จะใช้ระดับความดันในการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตที่ต่ำกว่าการใช้สายรัดขนาดเล็ก (5 เซนติเมตร) (Loenneke et al., 2012) ในการกำหนดความดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิต สามารถกำหนดได้ ดังนี้

2.1) การใช้ความดันตามแต่ละบุคคล (Based on individual's occlusion pressure) มีความเหมาะสมในการนำมาฝึก ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบใช้ค่ากำหนดเป็นรายบุคคลที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันที่ปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (Arterial occlusion pressure at rest; AOP) มีแนวโน้มที่จะเพิ่มการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างสูงสุด (Electromyography amplitude) และเกิดความสามารถในการออกแรงฉับพลันลดลง นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดการบวมของกล้ามเนื้อ (Muscle swelling) และมีการตอบสนองต่อปริมาณแลคเตทในเลือด เมื่อใช้การจำกัดการไหลเวียนโลหิตร่วมกับการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่ระดับต่ำ ในปัจจุบันมีข้อแนะนำในการใช้ความดันที่ระดับ 50 – 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันที่ปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตอย่างสมบูรณ์ในขณะพักร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักต่ำ (Loenneke et al., 2012)

2.2) การใช้ความดันตามขนาดของพื้นที่ (Based on individual's thigh circumference) เป็นการกำหนดความดันโดยการประมาณจากขนาดเส้นวงของต้นขาที่ตำแหน่ง 33 เปอร์เซ็นต์ของระยะทางรอยพับขาหนีบ (Inguinal crease) ถึงเหนือกระดูกสะบ้า (Patella) จากการศึกษา พบว่า เมื่อใช้สายรัดขนาด 5 เซนติเมตร ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นเลือดแดง (Arterial occulsion) สามารถกำหนดได้โดยขนาดเส้นวงของขาน้อยกว่า 45 – 50 เซนติเมตรใช้ความดัน 120 มิลลิเมตรปรอท, ขนาดเส้นวงของขาน้อยกว่า 51 – 55 เซนติเมตรใช้ความดัน 150 มิลลิเมตรปรอท, ขนาดเส้นวงของขาน้อยกว่า 56 – 59 เซนติเมตรใช้ความดัน 180 มิลลิเมตรปรอท และขนาดเส้นวงของขาน้อยกว่ามากกว่า 60 เซนติเมตรใช้ความดัน 210 มิลลิเมตรปรอท (Loenneke et al., 2012)

จากการเปรียบเทียบขนาดของสายรัดขนาด 5 เซนติเมตรและสายรัดขนาด 13.5 เซนติเมตร พบว่าขนาดสายรัดที่ขนาดกว้างกว่าจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนของอัตราการเต้นหัวใจ และความดันโลหิตมากกว่าการใช้สายรัดขนาดเล็ก จากการทดลองนำไปใช้ร่วมกับการออกกำลังกาย ทำให้เพิ่มการตอบสนองของการทำงานระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต และหากเพิ่มความดันในการบีบรัดทำให้การไหลเวียนโลหิตที่บริเวณนั้นลดลงยิ่งขึ้น ส่งผลให้เพิ่มการกระตุ้นของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตที่เพิ่มมากขึ้นอีก นอกจากนี้ ยังพบการศึกษาเปรียบเทียบขนาดของสายรัด 5 เซนติเมตร กับ 18 เซนติเมตรที่ใช้ร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านพบว่า ขนาดของสายรัดที่กว้างกว่าจะส่งผลให้กระตุ้นการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตที่เพิ่มมากขึ้น (Ellefsen et al., 2015; Rossow et al., 2012) นอกจากนี้ การใช้ขนาดสายรัด 18 เซนติเมตรที่บริเวณส่วนขาโดยใช้ความดันการบีบรัด 90 – 100 มิลลิเมตรปรอท เมื่อทำการฝึก 12 สัปดาห์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ (Muscular adaptation) โดยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อต้นขาในส่วนปลายที่ถูกรัดควบคุมการไหลเวียนโลหิตได้เช่นเดียวกับการฝึกแบบแรงต้านที่ความหนักสูง (Ellefsen et al., 2015)

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา มีการกำหนดความดัน (Cuff pressure) ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิต พิจารณาจาก 2 สถานะ คือ ความดันที่ใช้ฝึกในขณะเริ่มต้น (Initial training pressures) การศึกษาพบว่า มักจะใช้ที่ระดับ 140 – 160 มิลลิเมตรปรอท และความดันสุดท้ายที่ทำการฝึก (Final training pressures) อยู่ที่ 160 – 240 มิลลิเมตรปรอท การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระดับ 200 มิลลิเมตรปรอท ถือว่าเป็นการรัดที่ความดันระดับสูง เป็นที่ยอมรับว่าสามารถสามารถปิดกั้นการไหลเวียนกลับของเลือดดำจากกล้ามเนื้อได้อย่างสมบูรณ์ แต่ยังสามารถควบคุมการไหลเวียนโลหิตแดงไปยังกล้ามเนื้อได้เล็กน้อย (Loenneke et al., 2014) แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของ Suga และคณะ(Suga et al., 2010) แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้สายรัดขนาด 18.5 เซนติเมตร ที่ความดัน 200 มิลลิเมตรปรอท ไม่ช่วยเพิ่มสารเมตาบอไลด์ภายในเซลล์กล้ามเนื้อไปมากกว่าการรัดที่ความดันระดับปานกลาง หรือที่ประมาณ 150 มิลลิเมตรปรอท หรือประมาณ 130 เปอร์เซ็นต์ของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่า ขนาดของสายรัดและความดันในการบีบรัดมีความสัมพันธ์กับการตอบสนองต่อระบบการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamic response) (Rossow et al., 2012) ความกว้างของสายรัดที่มากจะมีความสามารถในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่บริเวณนั้นได้มากขึ้น ทำให้เกิดการตอบสนองของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตที่มากขึ้น และสามารถกระตุ้นให้มีการตอบสนองต่อการพัฒนาของกล้ามเนื้อเช่นเดียวกัน ดังนั้น การนำไปใช้จึงควรพิจารณาให้เหมาะสมตามแต่ละบุคคล (Mattocks et al., 2018) เนื่องจากการวิจัยที่ผ่านมาได้ชี้ให้เห็นว่า ขนาดสายรัดใหญ่และแรงดันสูงสามารถส่งผลต่อการตอบสนองของระบบกล้ามเนื้อ

รวมถึงระบบการทำงานของหัวใจและไหลเวียนโลหิตได้มากกว่าการใช้สายรัดขนาดเล็กที่ใช้ความดันในการบีบรัดสูงกว่า

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจใช้ขนาดของสายรัดในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตขนาดใหญ่ (ประมาณ 11 เซนติเมตร) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Park และคณะ (Park et al., 2010) ที่ใช้จำกัดการไหลเวียนที่ต้นขาขณะฝึกด้วยการเดิน นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษานำร่องโดยใช้ขนาดสายรัด 11 และ 13.5 เซนติเมตร ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตขณะทำการปั่นจักรยานที่ความหนักสูง พบว่า การใช้ความดันในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สายรัดขนาด 11 เซนติเมตร สามารถใช้งานได้แบบกระชับกับสัดส่วนของกล้ามเนื้อต้นขามากกว่าขนาด 13.5 เซนติเมตร และไม่ทำให้เกิดการเจ็บปวดมากจนเกินไป ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ขนาดของสายรัดที่ 11 เซนติเมตร ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับ 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันที่ปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก

3) ตำแหน่งของร่างกายที่ใช้ในการควบคุมการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

รยางค์ส่วนบนของร่างกาย (Upper Limb) ได้แก่ ต้นแขนทั้งสองข้าง และรยางค์ส่วนล่างของร่างกาย (Lower Limb) ได้แก่ บริเวณต้นขาทั้งสองข้าง งานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้สายรัดขนาดกว้างที่รยางค์ส่วนล่างของร่างกาย (Fahs et al., 2012)

4) ลักษณะด้านบุคคล (Individual characteristics)

กลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีการฝึก (Untrained) จะมีการพัฒนาความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มที่มีกิจกรรมทางกาย (Recreationally active) นอกจากนี้ เพศหญิงจะมีการตอบสนองน้อยกว่าเพศชาย สามารถใช้ได้ทั้งในกลุ่มคนสุขภาพดี ใช้ทางคลินิกในกลุ่มโรคทางออโธปิดิกส์ ผู้ป่วยโรคหัวใจและไหลเวียนโลหิต (Takarada et al., 2000) เยาวชน (Clark et al., 2011) และกลุ่มนักกีฬา (Manimmanakorn et al., 2013a; Manimmanakorn et al., 2013b; Cook et al., 2014; Scott et al., 2016) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การฝึกหรือการออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตอาจเป็นประโยชน์ทางคลินิกสำหรับกลุ่มประชากรที่ไม่สามารถทนต่อความหนักในการออกกำลังที่ระดับความหนักสูง และกลุ่มนักกีฬาที่ไม่สามารถควบคุมภาวะความเครียดจากการออกกำลังกายโดยรวมได้ (Total training stress) (Scott et al., 2014) การใช้รูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในกลุ่มนักกีฬาอาจขึ้นอยู่กับชนิดของนักกีฬา จากการศึกษาพบว่า นักวิ่งประเภทความอดทน (Endurance runners) จะเกิดการตอบสนองสภาวะความเครียดของระบบการเผาผลาญอาหาร (Metabolic stress) ที่มากกว่ากลุ่มนักวิ่งเร็ว (Sprinters) อาจเป็นไปได้ว่ากลุ่มนักวิ่งเร็วมีความเคยชินกับสภาวะแอนแอโรบิก ที่สามารถสร้างได้จากการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Takarada et al., 2000)

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงสนใจกลุ่มนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์ ผู้ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น มวลของกล้ามเนื้อลดลง และมีความแข็งแรงของกล้ามลดลง อาจจะทนต่อภาวะการฝึกหนักได้น้อยกว่ากลุ่มนักกีฬาทั่วไป ดังนั้น การฝึกการจำกัดการไหลเวียนโลหิตสามารถฝึกร่วมกับการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกส่งผลให้เกิดการพัฒนาของขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ รวมทั้งสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกได้โดยใช้ความหนัก ระยะเวลา และความถี่ในการฝึกน้อยกว่าการฝึกแบบดั้งเดิมโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของผู้ฝึก เหมาะสมที่จะนำไปใช้ฝึกให้กับกลุ่มคนที่มีข้อจำกัดในการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักสูง เช่น ผู้สูงอายุ ผู้พิการ หรือผู้ป่วยที่ต้องการการฟื้นฟูความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เป็นต้น รวมไปถึง กลุ่มนักกีฬาที่ต้องการเพิ่มสมรรถภาพทางกีฬา (นภัสกร ชื่นศิริ, 2564)

8.2. การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction exercise)

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีความปลอดภัยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่การทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle function) และการบวมของกล้ามเนื้อ (Muscle swelling) ในระยะยาว ไม่ทำให้เกิดการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ (Muscle soreness) และไม่พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของสารชีวเคมีในเลือดที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (Blood biomarkers of muscle damage) (Loenneke et al., 2014) หลักฐานการวิจัยที่ผ่านมาสนับสนุนว่า การฝึกหรือการออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีประโยชน์หลัก (Primary benafits) คือการพัฒนาของกล้ามเนื้อได้เช่นเดียวกับการฝึกหรือการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงแบบประเพณีนิยม (Scott et al., 2014)

Page และคณะ (Page et al., 2017) ทำการศึกษาผลของการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่รยางค์ส่วนล่างต่อการฟื้นตัวโดยการออกกำลังกายที่กระตุ้นให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (Exercise–induced muscle damage; EIMD) พบว่า กลุ่มที่มีการควบคุมการจำกัดการไหลเวียนโลหิตภายหลัง EIMD ที่ 24, 48, และ 72 ชั่วโมง มีการปวดกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกาย (Delayed onset muscle sourness; DOMS) ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่มีการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ดังนั้น มีความเป็นได้ว่าเทคนิคการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ทำให้เกิด DOMS ได้เหมือนกับการหนักอื่นทั่วไป แต่อาจมีผลดีทำให้อัตราการลดลงของ DOMS เร็วขึ้นหรือความสามารถในการฟื้นตัว (Recovery) มีประสิทธิภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้การจำกัดการไหลเวียนที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลข้างเคียง ได้แก่ ภาวะมีโลหิตออกภายใน (Haemorrhage) การเวียนศีรษะ (Dizziness) และการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Delayed onset muscle soreness; DOMS) ซึ่งเป็นการตอบสนองแบบฉับพลันที่ไม่พึงประสงค์ภายหลังการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Patterson et al., 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตควรใช้ร่วมกับการออกกำลังกายเพื่อช่วยพัฒนาระบบกล้ามเนื้อ (Muscular development) และสมรรถภาพของร่างกายมีองค์ประกอบของการฝึก ดังนี้

1) ชนิดของการฝึก (Training modality)

ชนิดการฝึกที่มีการนำมาใช้ฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ได้แก่ การฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ การเดิน และการปั่นจักรยาน (Pope et al., 2013) การฝึกด้วยการออกกำลังกายแบบไอโซโทนิก (Isotonic exercise) จะช่วยเพิ่มขนาดและความแข็งแรงมากกว่าการฝึกด้วยการเดิน โดยเกิดจากการสะสมของเมตาบอไลต์ (Metabolites accumulation) อย่างไรก็ตาม ผลของการฝึกเดินหรือการปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่น้อยกว่ารูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Ozaki et al., 2013) ชนิดของการฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ได้แก่

1.1) การฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักต่ำ 20 – 50 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการออกแรง (1–RM) ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Takarada et al., 2002; Yamanaka et al., 2012)

1.2) การฝึกด้วยการเดินร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Abe et al., 2006, 2010a; Ozaki et al., 2014) Park และคณะ (Park et al., 2010) ศึกษาผลของการฝึกเดินแบบสลับช่วงที่ความเร็ว 4 – 6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระดับความชัน 5 ระยะเวลา 3 นาที สลับกับช่วงพัก ระยะเวลา 1 นาทีร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ความดันการปิดกั้น 160 – 230 มิลลิเมตรปรอทแบบต่อเนื่องทั้งช่วงการออกกำลังกายและช่วงพัก รวมระยะเวลาการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 19 นาที

1.3) การฝึกด้วยการปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Abe, Fujita, et al., 2010; Christiansen et al., 2020; Conceição et al., 2019; Keramidas et al., 2012; Kim et al., 2016; Oliveira et al., 2016; Taylor et al., 2016) Abe และคณะ (Abe, Fujita, et al., 2010) ศึกษาผลของการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำ 40 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถทางแอโรบิก (Maximal aerobic capacity) ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ความดันการปิดกั้น 160 – 210 มิลลิเมตรปรอท ช่วยเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Christiansen และคณะ (Christiansen et al., 2020) ศึกษาผลของการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตใช้แรงดันเฉลี่ย 178±10 มิลลิเมตรปรอท โดยมีความดันในจังหวะที่ไม่ได้ออกแรง (Relaxed state) มีค่าเฉลี่ยแรงดัน 155±7 มิลลิเมตรปรอท และในช่วงออกแรง (Contracting state) มีค่าเฉลี่ยแรงดัน 200±12 มิลลิเมตรปรอท

2) ความหนักของการออกกำลังกาย (Exercise load or Intensity)

ค่าความหนักของการฝึกด้วยการปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับความหนัก 40 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) (Abe, Fujita, et al., 2010) Keramidas และคณะ (Keramidas et al., 2012) ใช้ความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด นอกจากนี้ยังการกำหนดความหนักตามอัตราการเต้นหัวใจ เช่น 30 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง การฝึกที่กำหนดความหนักโดยใช้ค่ากำลังสูงสุด เช่น 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Corvino et al., 2017; Oliveira et al., 2016) 40 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Thomas et al., 2015) และ 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Christiansen et al., 2020) ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงสนใจใช้ระดับความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด มาใช้ฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เนื่องจากมีการศึกษาผลฉับพลันของการฝึกด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เปรียบเทียบกับการฝึกด้วยรูปแบบของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง พบว่า ผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ยังไม่อาจกระตุ้นการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้เทียบเท่ากับการฝึกด้วยรูปแบบของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Corvino et al., 2017; Thomas et al., 2018) ดังนั้น การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตอาจสามารถกระตุ้นการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้ใกล้เคียงกับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงทั้งที่ใช้ปริมาณการฝึกที่น้อยกว่า

3) ความถี่ของการออกกำลังกาย (Frequency)

ความถี่หรือความบ่อยของการออกกำลังกายขึ้นอยู่กับความหนักของงานและระยะเวลาของการฝึก พบว่า ความถี่การฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 2 – 3 วันต่อสัปดาห์ จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการฝึก 4 – 5 วันต่อสัปดาห์ (Loenneke et al., 2012)

4) ระยะเวลาของการออกกำลังกาย (Duration)

ระยะเวลาของการฝึกโดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับว่า การฝึกร่วมกับแรงต้านจะใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่า 8 สัปดาห์ ที่สามารถเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและส่งผลให้เกิดความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นได้ (Takarada et al., 2002) การฝึกด้วยการปั่นจักรยาน เช่น ระยะเวลาการฝึก 4 สัปดาห์ (Oliveira et al., 2016; Taylor et al., 2016) ระยะเวลาการฝึก 6 สัปดาห์ (Christiansen et al., 2020; Conceição et al., 2019; Keramidas et al., 2012; Kim et al., 2016) และระยะเวลาการฝึก 8 สัปดาห์ (Abe, Fujita, et al., 2010) ในกลุ่มคนทั่วไป

5) ระยะเวลาของช่วงพักระหว่างการออกกำลังกาย (Inter–set rest periods)

งานวิจัยที่ผ่านมาจะใช้ระยะเวลาพักระหว่างเซตของการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระยะเวลา 30 – 60 วินาที (Abe et al., 2006; Scott et al., 2014) ในรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงอาจใช้อัตราส่วนของช่วงออกกำลังกายหนักต่อการออกกำลังกายเบาแบบ 1 ต่อ 1 เช่น ปั่นจักรยานที่ความหนักสูง 2 นาทีร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตสลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 2 นาที คลายแรงดัน (Keramidas et al., 2012) และรูปแบบอัตราส่วนของช่วงออกกำลังกายหนักต่อการออกกำลังกายเบาแบบ 2 ต่อ 1 เช่น ปั่นจักรยานที่ความหนักสูง 2 นาที ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตสลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 1 นาที คลายแรงดัน (Christiansen et al., 2020; Oliveira et al., 2016)

6) ลักษณะของการฝึกออกกำลังกาย

6.1) กำหนดตามจำนวนครั้งต่อเซต การฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต งานวิจัยที่ผ่านนิยมใช้การฝึกแบบเซตที่ 1 ปฏิบัติ 30 ครั้ง และเซตที่ 2 – 4 ปฏิบัติ 20 ครั้ง (Luebbers et al., 2014; Yamanaka et al., 2012) นอกจากนี้รูปแบบการฝึกด้วยการปั่นจักรยานฝึกที่ 2 เซต ๆ ละ 4 รอบเวลารวม 24 นาที (Oliveira et al., 2016) ยังมีการฝึก 3 เซต ๆ ละ 3 รอบ เวลารวม 27 นาที (Christiansen et al., 2020) หรือการฝึก 1 เซต 6 – 8 รอบเวลารวม 24 – 32 นาที (Keramidas et al., 2012)

6.2) กำหนดตามความสามารถรายบุคคล (Volitional failure) เป็นการออกแรงในระดับสูงสุดเต็มความสามารถ (Takarada et al., 2002) นิยมใช้กับการฝึกร่วมกับแรงต้าน สามารถพัฒนาระบบการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อและการสังเคราะห์โปรตีนได้ (Loenneke et al., 2011)

7) ลักษณะของการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

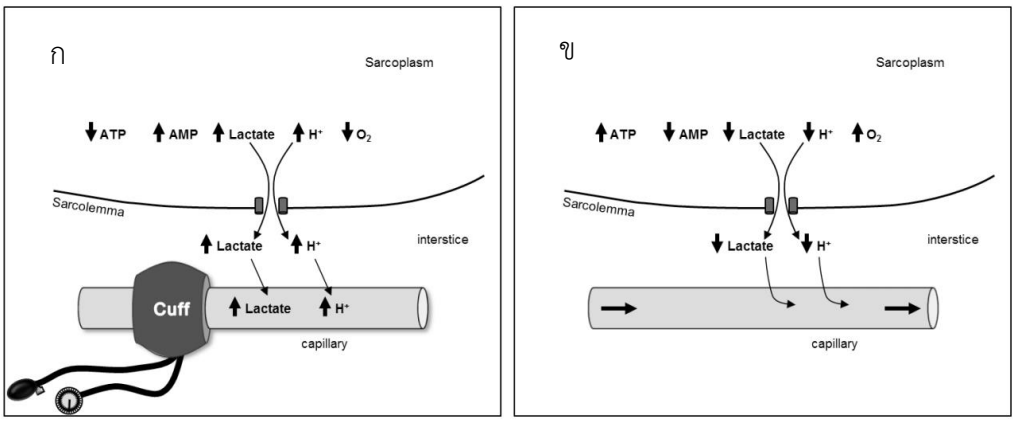
7.1) การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบต่อเนื่อง (Continous blood flow restriction) หรือจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบต่อเนื่องที่รวมทั้งช่วงเวลาพักระหว่างเซต (Abe, Fujita, et al., 2010; Kim et al., 2016; Scott et al., 2015; Suga et al., 2012)

7.2) การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบสลับช่วง (Intermittent blood flow restriction) (Christiansen et al., 2020; Keramidas et al., 2012) ส่งผลให้เกิดความเครียดของระบบการเผาผลาญอาหาร (Metabolic stress) สูงกว่าการฝึกแบบไม่จำกัดการไหลเวียนโลหิต อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบสลับช่วงมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาคล้ายกับรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง สามารถทำให้เกิดการลดลงของปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อและเกิดภาวะเครียดจากเมตาบอลิกได้เช่นเดียวกัน ในขณะที่ใช้กำลังและมีระดับการรับรู้ความเหนื่อยล้าน้อยกว่าการออกกำลังกายแบบหนัก (Corvino et al., 2017)

8.3. กลไกการตอบสนองของการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Mechanisms)

รูปแบบการฝึกจำกัดการไหลเวียนโลหิตจะใช้แถบสายรัด (Tourniquet) หรือสายรัดควบคุมความดัน (Inflatable cuff) บริเวณส่วนต้นของรยางค์ที่จะทำการฝึกเพื่อจำกัดการไหลเวียนโลหิตทำให้มีการสะสมปริมาณโลหิตในหลอดโลหิตฝอยที่อวัยวะส่วนปลายเป็นจำนวนมาก (Blood pooling) ร่างกายจะมีการตอบสนองจากภาวะการถูกกระตุ้นนี้จึงกระตุ้นกลไกการทำงานของกล้ามเนื้อให้เกิดขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Pope et al., 2013)

การฝึกออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ในช่วงที่มีการบีบแรงดันเพื่อปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตทำให้การไหลเวียนโลหิตดำลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของแลคเตทเพิ่มขึ้นและค่า pH ลดลงอย่างมาก และเมื่อคลายแรงดันเปิดการกั้นการไหลเวียนโลหิตทำให้เกิดการไหลเวียนโลหิตและเกิดกระบวนการขจัดเมตาบอไลต์ได้ (De Castro et al., 2017) (แสดงดังรูปที่ 15)



รูปที่ 15 กระบวนการภายในเซลล์ของการฝึกออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (ก) ระหว่างการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิต (ข) ภายหลังการคลายแรงดันการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิต
ที่มา : De Castro et al. (2017)

Pope และคณะ (Pope et al., 2013) รวบรวมรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องประสิทธิภาพของการออกกำลังกายทั้งแบบฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ การเดิน การปั่นจักรยานร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction; BFR) เพื่อเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ซึ่งการจำกัดการไหลเวียนโลหิตนี้จะถูกควบคุมผ่านเครื่องมือทำให้เกิดแรงดันในการรัดจากภายนอกที่ตำแหน่งต้นแขนหรือต้นขา การประยุกต์ใช้ความดันจากภายนอกมีประสิทธิภาพในการรักษาระดับการไหลเวียนโลหิตแดง ในขณะที่การรัดเพื่อจำกัดการไหลเวียนโลหิตดำ จากการอ้างอิงกล่าวถึงการฝึกด้วยแรงต้านผสมผสานกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต พบว่า จะมีขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากการฝึกแบบ

ประเพณีนิยมที่แนะนำให้มีการเพิ่มความเข้มข้นของการฝึกด้วยความหนักจากภายนอกเท่านั้น ซึ่งสมมติฐานกลไกที่เกิดขึ้นขณะทำการฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีดังนี้

1) การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นการเพิ่มสภาวะออกซิเจนต่ำในกล้ามเนื้อ (Hypoxia) อาจชักนำให้เกิดการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast–twitch muscle)

2) ความเป็นกรดด่างที่เกิดจากการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic acidosis) มากขึ้นโดยผ่านการดักจับและการสะสมของไฮโดรเจนไอออน (H^+ ions) ในกล้ามเนื้อและกระตุ้นการทำงานของเมตาบอรีเซปเตอร์ (Metaboreceptors) ซึ่งอาจทำให้เกิดการตอบสนองของฮอร์โมนอย่างฉับพลัน

3) การเพิ่มแรงดันจากภายนอก ทำให้เกิดกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเยื่อหุ้มเซลล์ (Sarcolemmal) ส่งผลให้เกิดการแสดงออกของยีนกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต (Growth factors) ที่เพิ่มขึ้นและการส่งสัญญาณภายในเซลล์

4) เร่งให้เกิดระบบการเผาผลาญพลังงานสู่ระบบการทำงานแบบแอนแอโรบิก (Glycolytic) อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการขนส่งของออกซิเจนที่ไม่ดีพอ

5) เกิดการผลิตสารประกอบที่มีออกซิเจนในโมเลกุลหรือสารอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species; ROS) ที่อาจกระตุ้นการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ

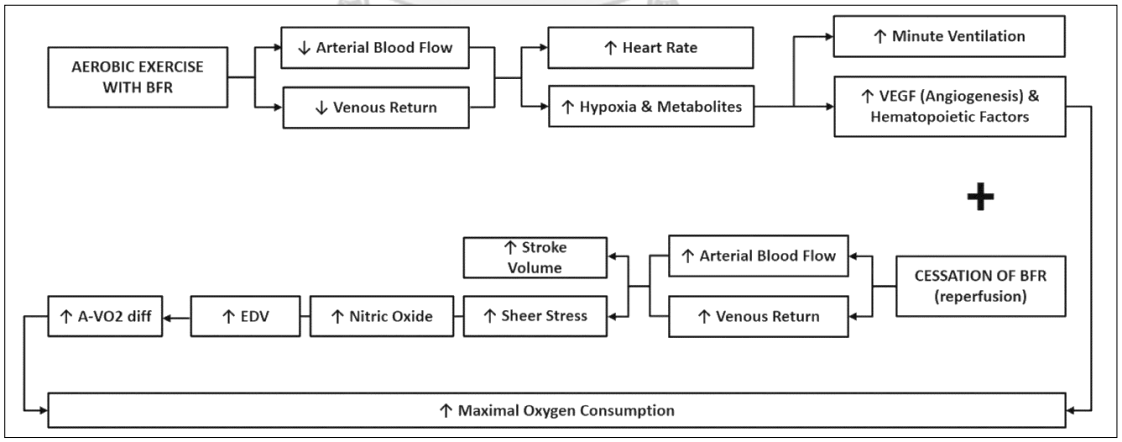
6) การกระตุ้นด้วยการเพิ่มการไหลเวียนโลหิตอย่างรวดเร็ว (Reactive hyperemia) หลังจากการคลายความดันภายนอก ซึ่งก่อให้เกิดการบวมภายในเซลล์และยืดโครงสร้างไซโตสเกเลตัล (Cytoskeletal) ที่อาจส่งเสริมการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ

7) การกระตุ้นการทำงานของเซลล์ต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อ (Myogenic) ด้วยการผสมผสานของนิวเคลียสกับกล้ามเนื้อเส้นใยที่เติบโตเต็มที่

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction) สามารถสร้างสภาวะการขาดออกซิเจนเฉพาะที่บริเวณกล้ามเนื้อ (Localized hypoxia) อาจทำให้เกิดการกระตุ้นกระบวนการเสริมสร้างในร่างกาย โดยกระตุ้นการตอบสนองของระบบการเผาผลาญพลังงาน ระบบต่อมไร้ท่อ การบวมของเซลล์ และการทำหน้าที่กระตุ้นการส่งสัญญานตามการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน การฝึกจำกัดการไหลเวียนช่วยเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อหดตัวเร็วในขณะออกกำลังกายได้ นอกจากนี้ช่วยเพิ่มสารที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการสันดาปพลังงาน (Metabolites) เพิ่มปฏิกิริยาเคมีกระตุ้นการส่งสัญญานของเซลล์กล้ามเนื้อ รวมถึงกระตุ้นการตอบสนองของระบบต่อมไร้ท่อและฮอร์โมนในร่างกาย (Heitkamp, 2015; Kon et al., 2012; Scott et al., 2014) อย่างไรก็ตาม เทคนิคการฝึกในสภาวะออกซิเจนในกล้ามเนื้อต่ำด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตนี้ สามารถกระตุ้นการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้เช่นเดียวกับการฝึกในห้องสภาวะออกซิเจนต่ำ (Systemic hypoxia) และมีประโยชน์ในการพัฒนาที่คล้ายคลึงกัน (Manimmanakorn et al., 2013a; Manimmanakorn et al., 2013b; Scott et al., 2014) ซึ่งการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตร่วมกับการออกกำลังกายเป็นวิธีที่ได้รับการ

ยอมรับมีความปลอดภัย และมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บน้อยกว่าการออกกำลังที่ความหนักสูงแบบประเพณีนิยม (Traditional high intensity exercise) (Loenneke et al., 2011)

นอกจากนี้ ยังมีการวิจัยชี้ให้เห็นถึงกลไกของการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิก จากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต จึงกระตุ้นให้เกิดการหลังสารชีวเคมี อันได้แก่ วาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรทแฟคเตอร์ขึ้น จึงช่วยให้เกิดการสร้างหลอดเลือดฝอยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังกระตุ้นการทำงานของหัวใจให้มีอัตราการเต้นหัวใจเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ จากการพิจารณาสมการของความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) เท่ากับอัตราการเต้นหัวใจคูณกับปริมาตรเลือดที่บีบออกจากหัวใจแต่ละครั้งคูณกับค่าความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (a–v O_2 diff) นอกจากนี้ผลที่เกิดจากการคลายแรงดัน ยังส่งผลทำให้เกิดกลไกของการเพิ่มขึ้นความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้อีกด้วย โดยการคลายแรงดันภายหลังการปิดกั้นนั้นทำให้การไหลเวียนโลหิตทั้งเลือดแดงและดำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาตรเลือดที่บีบออกจากหัวใจแต่ละครั้ง (Stroke volume) ปริมาตรเลือดในหัวใจห้องล่างซ้ายก่อนหัวใจมีการบีบตัว (EDV) และเกิดแรงเฉือนของหลอดเลือด (Shear stress) เพิ่มขึ้น จึงกระตุ้นให้เกิดการสร้างไนตริกออกไซด์ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด การไหลเวียนโลหิตดีขึ้น และเกิดการแลกเปลี่ยนสารในหลอดเลือดฝอยมากขึ้น จากค่าความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (a–v O_2 diff) ที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นกลไกในการเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดร่วมด้วยนั่นเอง (ดังรูปที่ 16) (Formiga et al., 2020)



รูปที่ 16 กลไกการทำงานจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

ที่มา: Formiga et al. (2020)

8.4. การฝึกแบบสลับช่วงร่วมกับการฝึกด้วยจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Interval training combined with blood flow restriction training)

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตร่วมกับการฝึกแบบสลับช่วงที่ระดับความหนักต่ำ (Low intensity interval training) เช่น การฝึกด้วยการเดิน (Abe et al., 2006) และการปั่นจักรยาน (Abe, Fujita, et al., 2010) สามารถพัฒนาขนาดและความแข็งแรงกล้ามเนื้อ ซึ่งผลของขนาดและมวลของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการฝึกร่วมกับแรงต้านที่ความหนักต่ำ นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้อีกด้วย แม้ว่ากลไกการเกิดก็ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่จากการศึกษาวิจัยพบว่า มีการเพิ่มขึ้นของโกรทฮอร์โมน (Growth hormone) อินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (IGF–1) และไมโอเจนิกเรคกรูเรเตอร์ (Myogenic regulator factor) ซึ่งถือว่าเป็นบทบาทสำคัญของการสร้างกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ส่วนกลไกของการเกิดความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่เพิ่มขึ้น ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัด อาจเกิดจากลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อที่ร่วมกับการทำงานของเครื่องมือการบีบรัด (Abe, Fujita, et al., 2010) ซึ่งโดยทั่วไปความแข็งแรงมักไม่เกิดขึ้นจากโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ การวิจัยที่ผ่านมาได้สรุปผลว่า การฝึกจำกัดการไหลเวียนโลหิตในขณะฝึกแบบสลับช่วงที่ระดับความหนักต่ำ (Intermittent low intensity blood flow restriction training) เป็นรูปแบบการฝึกใหม่ที่ส่งผลดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชนิดกีฬาต่าง ๆ โดยใช้หลักการฝึกแบบสลับช่วงร่วมกับเทคนิคการทำให้ขาดโลหิตและการปล่อยให้เลือดไหลกลับไปใหม่ (Ischemia and reperfusion หรือ Intermittent hypoxia) อาจทำให้เกิดกระบวนการสร้างหลอดโลหิตฝอยใหม่ (Angiogenesis) และการสร้างไมโตรคอนเดรียใหม่ (Mitochondria biogenesis) จึงพัฒนาความสามารถทางด้านสมรรถภาพแอโรบิก (Oliveira et al., 2016)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

9.1 งานวิจัยในประเทศ

สุกัญญา จันทฉายา (สุกัญญา จันทฉายา, 2546) ศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่มีต่อความเร็วในการปั่นจักรยานของนักกีฬาจักรยาน ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาจักรยานระดับภาค เพศชาย อายุ 17 – 20 ปี ที่ได้รับการฝึกซ้อมเป็นประจำ พบว่าการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงส่งผลให้ความเร็วในการปั่นจักรยานเพิ่มขึ้น เห็นได้จากเวลาของการทดสอบการปั่นจักรยานบนลูกกลิ้งและในสนามจริงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ประสิทธิ์ ปีปทุม และอัจฉริยะ เอนก (ประสิทธิ์ ปีปทุม & อัจฉริยะ เอนก, 2562) ศึกษาและเปรียบเทียบผลการฝึกแบบหนักสลับพักที่ความหนักระดับสูงเหนือจุดสูงสุด และการฝึก

แบบหนักสลับพักที่ความหนักระดับสูงเหนือจุดสูงสุดแบบเฉพาะเจาะจงกับกีฬา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาจำนวน 45 คน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (CON) เป็นกลุ่มนักกีฬาที่ไม่ได้รับโปรแกรมการฝึก กลุ่มฝึกแบบหนักสลับพักที่ความหนักระดับสูงเหนือจุดสูงสุด (SIT) ปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 30 วินาที สลับกับช่วงพัก 30 วินาที ระยะเวลา 10 นาที และกลุ่มฝึกแบบหนักสลับพักที่ความหนักระดับสูงเหนือจุดสูงสุดแบบเฉพาะเจาะจงกับกีฬา (SSIT) โดยการออกกำลังกายหนักสลับพัก จำนวน 10 ท่า 30 วินาทีต่อท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที ทั้งสองโปรแกรมได้มีการออกแบบให้มีการใช้พลังงานและช่วงเวลาการฝึกที่เท่ากัน ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า การฝึกแบบหนักสลับพักที่ความหนักระดับสูงเหนือจุดสูงสุด และการฝึกแบบหนักสลับพักที่ความหนักระดับสูงเหนือจุดสูงสุดแบบเฉพาะเจาะจงกับกีฬา ส่งผลต่อการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อขา และลดมวลไขมันที่บริเวณขา

วิรังรอง นวลเพชร และคณะ (2562) ศึกษาผลของการฝึกเสริมด้วยการฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวต่อความสามารถทางกีฬาจักรยานของนักกีฬาจักรยานระดับเยาวชนชายประเภทไทม์ไทรอัล แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มฝึกจักรยานปกติ และกลุ่มฝึกจักรยานเสริมด้วยการฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ทั้ง 2 กลุ่มทำการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 – 80 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 120 นาที 2 วันต่อสัปดาห์ และฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 75 – 90 นาที 4 วันต่อสัปดาห์ โดยกลุ่มฝึกจักรยานเสริมด้วยการฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวทำการฝึกเพิ่มเติมด้วยสวิสบอล และเครื่องกำหนดแรงต้านที่ความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการออกแรงสูงสุดหนึ่งครั้ง 2 วันต่อสัปดาห์ พบว่า ทั้ง 2 กลุ่มมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น และการฝึกจักรยานเสริมด้วยการฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวสามารถพัฒนาความสามารถทางกีฬาจักรยานในด้านการเพิ่มความสามารถในการทรงตัว การทนต่อความเมื่อยล้า และลดระยะเวลาในการปั่นจักรยานไทม์ไทรอัล 20 กิโลเมตรได้

อัครเศรษฐ เลิศสกุล และคณะ (อัครเศรษฐ เลิศสกุล, 2563) ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดต่อความสามารถในการวิ่งมาราธอนวัยกลางคน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งมาราธอนทั้งเพศชายและหญิง 30 คน อายุระหว่าง 35 ถึง 45 ปี แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มฝึกด้วยแรงต้านแบบใช้น้ำหนักตัว (กลุ่มใช้น้ำหนักตัว) กลุ่มฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดที่ระดับแรงดันต่ำ (กลุ่มการจำกัดการไหลของเลือดต่ำ) และกลุ่มฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดที่ระดับแรงดันสูง (กลุ่มการจำกัดการไหลของเลือดสูง) ทั้ง 3 กลุ่มได้รับการฝึกวิ่งตามโปรแกรม จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ และฝึกด้วยแรงต้านเฉพาะตามแต่ละกลุ่ม จำนวน 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า การฝึกด้วยแรงต้านแบบใช้น้ำหนักตัว การฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการ

ไหลของเลือดที่ระดับแรงดันต่ำ และการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดที่ระดับแรงดันสูงส่งผลทำให้สมรรถภาพกล้ามเนื้อ สมรรถภาพทางแอโรบิก และความสามารถในการวิ่งมาราธอนดีขึ้น โดยการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดที่ระดับแรงดันสูงมีประสิทธิภาพในการพัฒนาความสามารถในการวิ่งที่สูงกว่าการฝึกด้วยแรงต้านแบบใช้น้ำหนักตัวและการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดที่ระดับแรงดันต่ำ

9.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

Seiler และ Hetlelid (Seiler & Hetlelid, 2005) ศึกษาผลกระทบของระยะเวลาช่วงการพัก (Rest duration) ที่มีต่อและประสิทธิภาพในช่วงออกกำลังกายหนัก (Work intensity) ระหว่างการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ในนักกีฬาชาย 9 คนที่ผ่านการฝึกมาอย่างดี ทำการทดลองฝึกวิ่งแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงระยะเวลา 4 นาที สลับกับระยะเวลาการพักฟื้นร่างกายที่ 1, 2 หรือ 4 นาที พบว่า ระยะเวลาของการพักที่ 120 วินาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมให้เกิดความสมดุลระหว่างการฟื้นฟูภายในเซลล์และการรักษาสภาพการใช้ออกซิเจน (VO_2 kinetics) ได้เป็นอย่างดีภายใต้สภาวะการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีช่วงการออกกำลังกายหนักสูง 4 นาที

Helgerud และคณะ (Helgerud et al., 2007) ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกความอดทนแบบแอโรบิกที่ความหนักและวิธีการฝึกที่แตกต่างกัน กลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลทั่วไปเพศชายสุขภาพดี จำนวน 40 คน แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) ฝึกแบบ Long slow distance (LSD) ความหนัก 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 2) กลุ่มฝึกที่ระดับ Lactate threshold หรือความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 3) ฝึกแบบ 15 x 15 วินาที ด้วยการวิ่งที่ความหนัก 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 15 วินาที สลับช่วงออกกำลังกายเบา 15 วินาที ที่ระดับวามหนัก 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 4) ฝึกแบบ 4 x 4 นาที ด้วยการวิ่ง 4 ที่ระดับความหนัก 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดสลับช่วงออกกำลังกายเบาที่ความหนัก 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 3 นาที ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมีประสิทธิภาพทำให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) และมีปริมาณโลหิตที่หัวใจสูบฉีดแต่ละครั้ง (Stroke volume) เพิ่มขึ้น มากกว่าการฝึกแบบ LSD และ Lactate threshold

Stoggl และ Bjorklung (Stöggl & Björklund, 2017) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกด้วยโปแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง โปรแกรมการฝึกที่ใช้ปริมาณการฝึกมากซึ่งไม่มีการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และโปรแกรมผสมระหว่างการฝึกแบบสลับช่วงกับการฝึกแบบปริมาณการฝึกมาก ในนักกีฬาที่ผ่านการฝึกความอดทนมาเป็นอย่างดี กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 36 คน ซึ่ง

เป็นนักกีฬาวิ่ง จักรยาน ไตรกีฬา หรือนักสกี ที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ย 61.9 ± 8.0 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อนาที ระยะเวลา 9 สัปดาห์ พบว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงสามารถพัฒนาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular status) ความสามารถในการทำงานแบบไม่ใช้พลังงานและกำลัง (Anaerobic capacity/power) และการฟื้นฟูของอัตราการเต้นหัวใจแบบฉับพลัน ในนักกีฬาที่ผ่านการฝึกความอดทนมาเป็นอย่างดี

Wang และ คณะ (Wang et al., 2014) ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการปั่นจักรยาน (High aerobic intensity cycle exercise) ที่ความหนัก 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 4 นาที สลับกับช่วงการปั่นเบาที่ 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 3 นาที พบว่า สามารถช่วยลดการแข็งตัว (Plasticity) ของหัวใจและหลอดเลือดได้ ดังนั้น การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต จึงเป็นทางเลือกในการออกกำลังกายในผู้ที่มีอายุเพิ่มมากขึ้น

Abe และคณะ (Abe, Fujita, et al., 2010) ศึกษาผลของการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ในกลุ่มตัวอย่างสุขภาพดีเพศชายอายุเฉลี่ย 23 ปี โดยทำการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 40 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตด้วยความดัน 160 – 210 มิลลิเมตรปรอท ระยะเวลา 15 นาที เปรียบเทียบกับการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกต่อเนื่องที่ความหนัก 40 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มมวลกล้ามเนื้อขาและสมรรถภาพทางแอโรบิก

Corvino และคณะ (Corvino et al., 2017) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลฉับพลันการตอบสนองทางสรีรวิทยาของการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 – 105 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด การรฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบสลับช่วง (Intermittent BFR) การรฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบต่อเนื่อง (Continuous BFR) การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด และการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบสลับช่วง (Intermittent BFR) เพียงอย่างเดียว พบว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงจะกระตุ้นให้มีการใช้ออกซิเจนระดับสูงเกิดปริมาณแลคเตทในเลือด อัตราการเต้นหัวใจ และอัตราการรับรู้ความเหนื่อยล้าสูงกว่าทุกรูปแบบการฝึก และการปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบสลับช่วง (Intermittent BFR) ทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนในกล้ามเนื้อต่ำ (Muscle deoxygenation) และเกิดความเค้นของเมตาบอลิก (Metabolic strain) ซึ่งสามารถนำไปฝึกเพื่อพัฒนาความอดทนและกำลัง โดยมีการรับรู้ความเหนื่อยที่น้อยกว่าการฝึกที่ใช้ความหนักสูง

Christiansen และคณะ (Christiansen et al., 2020) ศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต โดยเปรียบเทียบระหว่างขาข้างที่มีการฝึกแบบไม่จำกัดการไหลเวียนโลหิตกับขาข้างที่ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตประมาณ 180 มิลลิเมตรปรอท ฝึกออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วง จำนวน 3 เซต ในแต่ละเซตประกอบด้วยช่วงออกกำลังกายที่ความหนักเฉลี่ยประมาณ 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาทีสลับกับช่วงฟื้นฟูโดยการปั่นจักรยานแบบไม่มีความหนัก 1 นาที จำนวน 3 รอบ พักระหว่างเซต 5 นาที 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในกลุ่มผู้ที่มีการฝึก (Recreationally trained) เพศชาย การฝึกปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตลดการไหลเวียนโลหิต 50 เปอร์เซ็นต์ของการไหลเวียนขณะพัก พบว่าของการฝึกแบบสลับช่วงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อและกล้ามเนื้อสามารถนำออกซิเจนไปใช้ได้ดีขึ้น (Oxygen utilization) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการขยายตัวของหลอดเลือด และมีการบัฟเฟอร์แลคเตทดีขึ้นมากกว่าการฝึกแบบไม่จำกัดการไหลเวียนโลหิต

Keramidas และคณะ (Keramidas et al., 2012) ศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต กลุ่มตัวอย่างเป็นคนทั่วไป จำนวน 20 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมฝึกแบบปกติ โดยทำการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระยะเวลา 2 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระยะเวลา 2 นาที จำนวน 6 – 8 รอบ และกลุ่มทดลองฝึกเหมือนกับกลุ่มปกติ แต่มีการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับ 90 มิลลิเมตรปรอท ร่วมกับการออกกำลังกายในช่วงที่ใช้ความหนักสูง และคลายแรงดันในช่วงออกกำลังกายเบา ฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) กำลังสูงสุด (Peak power output; PPO) ระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน และความทนต่อการเมื่อยล้า (Time to fatigue 150% PPO) ในทั้งสองกลุ่ม แต่กลุ่มที่ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตจะเพิ่มขึ้นมากกว่า ดังนั้นการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตน่าจะช่วยพัฒนากล้ามเนื้อโครงร่าง (Peripheral muscular adaptations)

Kim และคณะ (Kim et al., 2016) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักสูง และการฝึกปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ในกลุ่มตัวอย่างคนสุขภาพดีทั่วไป โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 60 – 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง กลุ่มการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 160 – 180 มิลลิเมตรปรอท ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และกลุ่มควบคุมไม่มีการฝึกออกกำลังกาย พบว่า กลุ่มการฝึกปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในท่างอเข่าได้เช่นเดียวกับการฝึกปั่น

จักรยานที่ความหนักสูง เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อขา แต่ไม่พบการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อในกลุ่มฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักสูง และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการฝึกออกกำลังกาย

Oliveria และคณะ (Oliveira et al., 2016) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการฝึกแบบสลับช่วงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังนี้ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต การฝึกแบบสลับช่วงพักที่ระดับความหนักต่ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 – 105 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นคนสุขภาพดีทั่วไป จำนวน 37 คน ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึกช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อีกทั้ง การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตจะช่วยเพิ่มกำลังขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดไปพร้อมกันได้

Fahs และคณะ (Fahs et al., 2012) ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในกลุ่มคนทั่วไปวัยกลางคน อายุ 42 – 62 ปี โดยทำการฝึกด้วยแรงต้านในท่าเหยียดเข่าออกแรงสูงสุดจนกระทั่งเหนื่อยล้า (Volitional fatigue) 3 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ทั้งการฝึกแบบปกติและการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบออกแรงสูงสุดจนกระทั่งเหนื่อยล้าช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle function) ได้เหมือนกัน แต่เฉพาะขาข้างที่ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตจะช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ โดยที่ใช้ความหนักของการฝึกน้อยกว่าการฝึกแบบประเพณีนิยม

Taylor และคณะ (Taylor et al., 2016) ศึกษาเกี่ยวกับผลของการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงด้วยความเร็วสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในช่วงพัก ระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ผลของผลของการจำกัดการไหลเวียนโลหิตทำให้เกิดสภาวะไฮปอกเซียอินดิวซิเบิลแฟคเตอร์–วันแอลฟา (Hypoxia–inducible factor 1–alpha; HIF–1α) ส่งผลช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักกีฬา

Thomas และคณะ (Thomas et al., 2018) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงความหนักต่ำ 40 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด การฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ 40 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด พบว่า การฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต สามารถกระตุ้นการตอบสนองให้เพิ่มภาวะความเครียดจากการออกซิเดชัน หรือความเครียดของระบบการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic stress) และเพิ่มภาวะเครียดของระบบหัวใจและไหลเวียน

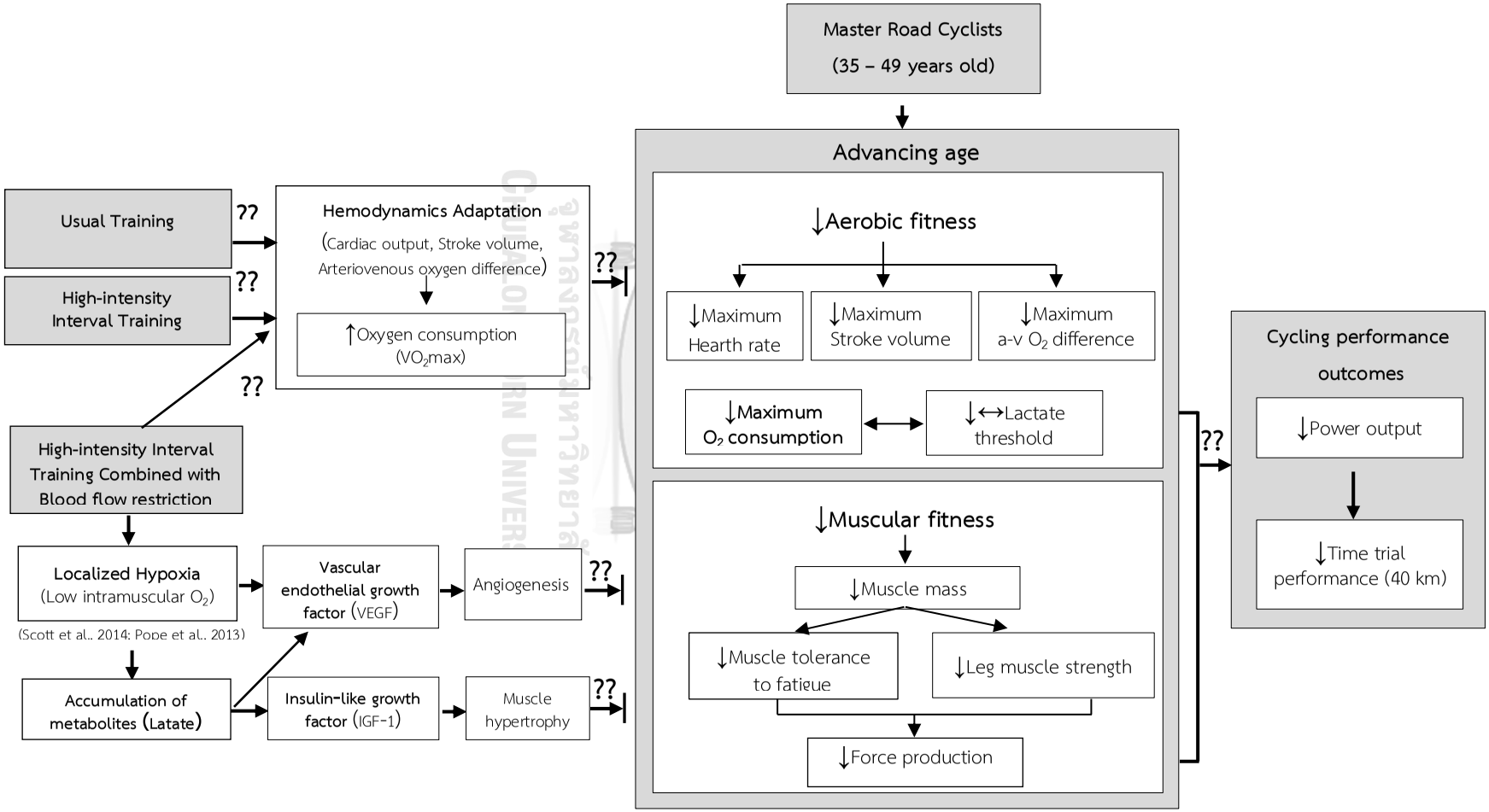
โลหิตได้มากกว่าการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำ และสามารถกระตุ้นการทำงานของระบบสรีรวิทยาได้เช่นเดียวกับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อย่างไรก็ตาม การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีผลให้ความดันโลหิตของหลอดเลือดแดงเพิ่มขึ้นขณะทำการฝึกจึงเป็นการเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ ดังนั้น จึงควรกำหนดแรงดันจากจำกัดการไหลเวียโลหิตเป็นแบบเฉพาะบุคคล

กรอบแนวคิดการวิจัย

การแข่งขันกีฬาจักรยานประเภทถนน นักกีฬาจักรยานจะต้องขี่จักรยานด้วยความเร็วเป็นเวลานาน ต้องมีความทนต่อการเมื่อยล้า (Fatigue tolerance) และมีพลัง (Power output) ที่ดีเพื่อแสดงออกถึงความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) อันได้แก่ การใช้เวลาที่ดีที่สุด (Time trial performance)

นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์หรืออาวุโส (Master cyclists) อายุระหว่าง 35 – 49 ปี อายุที่เพิ่มสูงขึ้น (Advancing age) เป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในนักกีฬาที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ส่งผลถึงความสามารถทางแอโรบิก (Aerobic fitness) จากประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและหลอดโลหิตเสื่อมลง จึงมีการลดลงของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate) ปริมาณเลือดที่บีบออกจากหัวใจสูงสุดแต่ละครั้ง (Maximum stroke volume) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Maximum a–v O_2 difference) เป็นเหตุให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum O_2 consumption) และจุดเริ่มล้า (Lactate threshold) ลดลง นอกจากนี้อายุที่เพิ่มสูงขึ้น (Advancing age) ยังส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscular fitness) จากการลดลงของมวลกล้ามเนื้อ (Muscle mass) เป็นเหตุให้ความแข็งแรงของขาลดลง (Leg muscle strength) ลดลง จึงทำให้การสร้างแรง (Force production) ลดลง ด้วยเหตุนี้ ความสามารถทางกีฬา (Cycling performance) จึงลดลงไปด้วย ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ สารชีวเคมีในเลือด และความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ส่งผลดีต่อสมรรถภาพทางทางแอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ ความทนต่อการเมื่อยล้า สารชีวเคมีในเลือด และความสามารถทางกีฬาจักรยาน หรือไม่ อย่างไร และมีความแตกต่างกับรูปแบบการฝึกแบบปกติ และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง หรือไม่ อย่างไร (ดังแสดงในรูปที่ 17)



รูปที่ 17 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research design) ซึ่งได้ผ่านจริยธรรมโดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2562 COA NO. 066/2562 โครงการวิจัยที่ 024.1/62 (ภาคผนวก ก) โดยมีระเบียบวิธีวิจัย ดังนี้

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักกีฬาจักรยานประเภทถนน เพศชาย รุ่นมาสเตอร์อายุระหว่าง 35 – 49 ปี

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาจักรยานประเภทถนนสังกัดทีม/ชมรมกีฬาจักรยาน หรือนักกีฬาจักรยานอิสระที่มีการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอ เพศชาย อายุระหว่าง 35 – 49 ปี ซึ่งผู้วิจัยเข้าถึงกลุ่มตัวอย่างโดยประสานงานกับนักกีฬา หรือทีม/ชมรมต้นสังกัดของนักกีฬาด้วยตนเอง

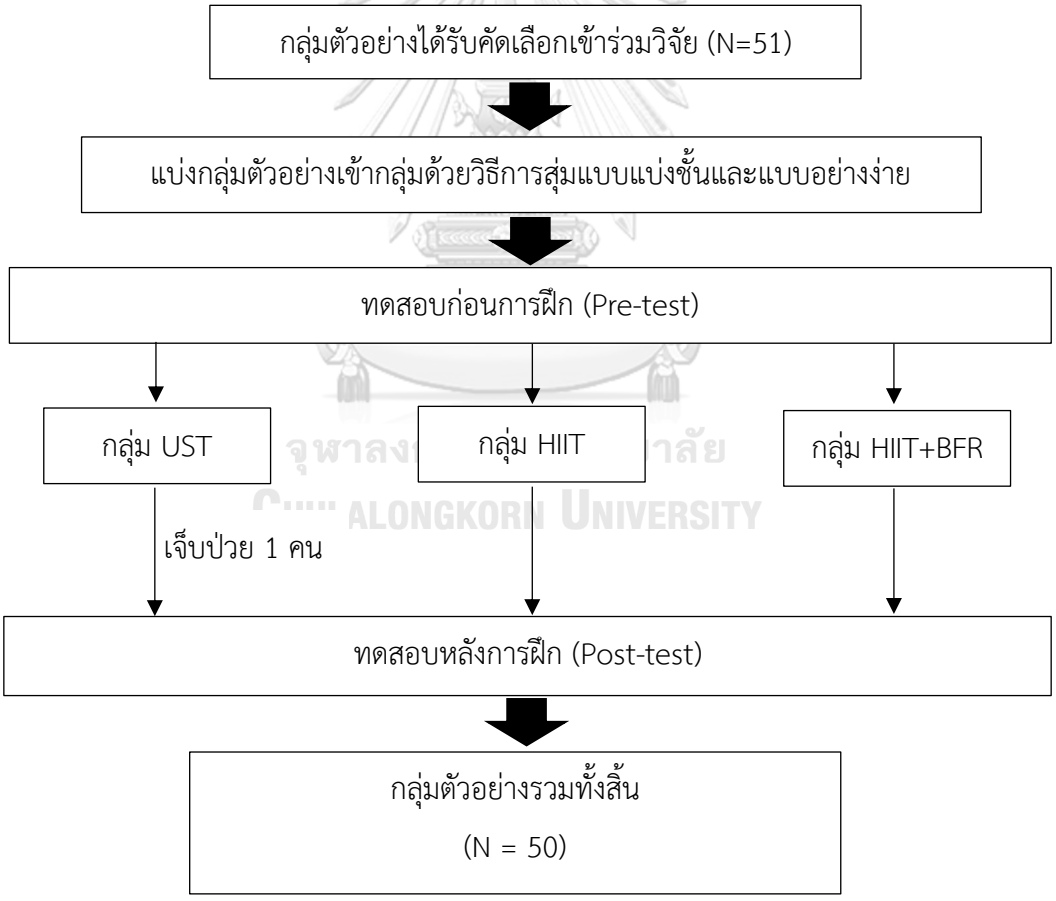
การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างใช้โปรแกรมจี–พาวเวอร์ (G*Power) เวอร์ชั่น 3.1.9.7 (Faul et al., 2007) โดยใช้ตัวแปรความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) อ้างอิงจากงานวิจัยของ (Taylor et al., 2016) กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ที่ 0.8 และค่าขนาดของผลกระทบ (Effect size) ที่ 0.25 กำหนดความมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม จะได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 14 คน รวมทั้งสิ้น 42 คน (ภาคผนวก ข) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องฝึกซ้อมภาคสนามถือว่ามีความเสี่ยงเกิดการบาดเจ็บได้ อาจทำให้ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่พอแก่การวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของผู้เข้าร่วมวิจัยระหว่างดำเนินการวิจัยและเพื่อให้ผลการศึกษาน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงคำนวณกลุ่มตัวอย่างเพิ่มเติมจากจำนวนที่คำนวณได้ร้อยละ 20 โดยเพิ่มเติมกลุ่มละ 3 คน ดังนั้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 51 คน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (ดังรูปที่ 18) ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. กลุ่มทดลองที่ 1 คือ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (Usual training; UST) เป็นกลุ่มนักกีฬาจักรยานที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบปกติ จำนวน 17 คน ผู้เข้าร่วมวิจัยสูญหาย (Drop out) 1 คน จากการเจ็บป่วย 1 คน เหลือจำนวน 16 คน

2. กลุ่มทดลองที่ 2 คือ กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training; HIIT) เป็นกลุ่มนักกีฬาจักรยานที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง จำนวน 17 คน

3. กลุ่มทดลองที่ 3 คือ กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High–intensity interval training combined with blood flow restriction; HIIT+BFR) เป็นกลุ่มนักกีฬาจักรยานที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต จำนวน 17 คน



รูปที่ 18 แผนผังแสดงกลุ่มตัวอย่าง

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาลักษณะของกลุ่มที่เลือกเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยตามเกณฑ์คัดเข้า มีรายละเอียด ดังนี้

เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. เป็นนักกีฬาจักรยานประเภทถนน เพศชาย อายุระหว่าง 35 – 49 ปี
2. มีประสบการณ์เข้าร่วมการแข่งขันจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ มากกว่า 2 ปี
3. มีประวัติการฝึกซ้อมด้วยการปั่นจักรยาน อย่างน้อยสัปดาห์ละ 4 วันต่อสัปดาห์ ระยะทางมากกว่า 150 กิโลเมตรต่อสัปดาห์อย่างต่อเนื่องมานานอย่างน้อย 3 เดือน
4. มีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่น้อยกว่า 45 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที
5. ไม่มีการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ในช่วง 3 เดือนก่อนการเข้าร่วมวิจัย
6. ไม่อยู่ในระหว่างการเข้าร่วมวิจัยอื่น
7. มีความสมัครใจเข้าร่วมงานวิจัย ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย
8. ไม่มีการใช้ยาหรือสารกระตุ้นที่ส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ หัวใจและหลอดเลือด
9. ผ่านเกณฑ์การคัดกรองแล้วว่า ไม่มีความเสี่ยงของโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะแข็งตัวของหลอดเลือด และไม่มีโรคหรือความผิดปกติของกระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

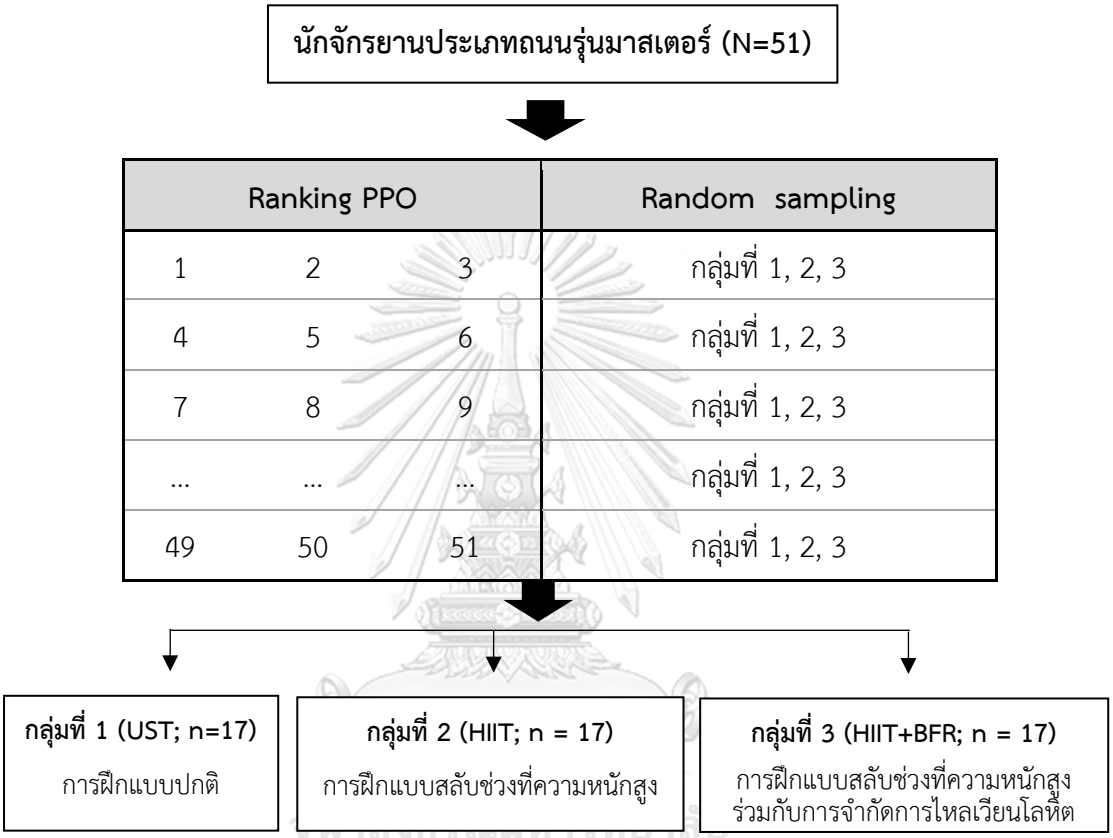
1. ขอยุติเข้าร่วมงานวิจัย
2. ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและข้อแนะนำของงานวิจัย
3. เข้าร่วมการฝึกน้อยกว่าร้อยละ 80 ของระยะเวลาการฝึกทั้งหมด หรือเข้าร่วมการฝึกไม่ถึง 58 ครั้ง จากระยะเวลาของการฝึกทั้งหมด 72 ครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

การสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มการทดลองทั้ง 3 กลุ่ม ใช้วิธีการสุ่ม 2 วิธีร่วมกัน คือ การสุ่มแบบแบ่งชั้นในขั้นแรก (Stratified random assignment) และใช้การสุ่มแบบง่าย (Simple random sampling) โดยวิธีการจับสลากเพื่อสุ่มเข้ากลุ่มการทดลอง มีขั้นตอนดังนี้ เรียงลำดับการแบ่งชั้นตามความสามารถของค่ากำลังสูงสุดในขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak power output; PPO) ที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแบบขั้น (Graded incremental exercise test) แล้วจึงทำการจับสลากเพื่อสุ่มเข้ากลุ่ม (รูปที่ 19)

ผู้วิจัยทำการแจ้งเงื่อนไขของการวิจัยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบก่อนการเข้าร่วมการวิจัย คือ หากทำการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการจับสลากแล้ว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะไม่สามารถเปลี่ยนกลุ่มได้ แต่หากผู้เข้าร่วมวิจัยสนใจฝึกในรูปแบบการฝึกกลุ่มอื่น ผู้วิจัยยินดีที่จะให้ความรู้และคำแนะนำในการฝึกปฏิบัติจนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเองหลังจากเสร็จสิ้นการวิจัย



รูปที่ 19 การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือสำหรับการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

1.1 แบบสอบถามประวัติสุขภาพ (Personal and family medical history)

1.2 แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (Physical activity Readiness Questionnaire; PAR–Q) สำหรับบุคคลทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 15 – 69 ปี

1.3 การทดสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจขณะออกกำลังกาย (Exercise stress test) (ECG signals from Stationary gas analyzer; Vmax Encore 29 system, yorba Linda, CA, USA)

2. เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรทางสรีรวิทยา

2.1. เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอลขณะพัก (Blood Pressure Monitors) ยี่ห้อจีอี ไดนาแมบ รุ่นแคสเคป วี 100 ประเทศสหรัฐอเมริกา (Carescape V100, GE Dinamap, USA)

2.2. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Whole Body Bioelectical Impedance Analyzer) ยี่ห้อจาวอน รุ่นไอโอไอ ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี (ioi 353 whole Body Bioelectical Impedance Analyzer, Jawon, Korea)

2.3. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Dual–energy X–ray absorptiometry; DEXA) ยี่ห้อจีอี เฮลท์แคร์ รุ่นโพรไดจี ประเทศสหรัฐอเมริกา (GE Healthcare Lunar, Madison, WI, USA)

3. เครื่องมือสำหรับวัดตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก

3.1. จักรยานและโปรแกรมการทดสอบ ยี่ห้อไซคลัส 2 ประเทศเยอรมนี (CYCLUS 2 Ergometer, RBM Electronics, Leipzig, Germany)

3.2. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแม๊กซ์ รุ่นเอนคอร์ 29 ประเทศสหรัฐอเมริกา (Statonary gas analyzer; Vmax Encore 29 system, yorba Linda, CA, USA)

3.3. เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพลาร์ รุ่นเฮช 10 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® H10; Kempele, Finland)

3.4. เครื่องวัดสภาวะของระบบการไหลเวียนโลหิต (Impedance cardiograph device) ด้วยเครื่องมือยี่ห้อฟิสิโอโฟล์ว รุ่นพีเอฟ 07 เอ็นดูโร่ ประเทศสหรัฐอเมริกา (PF07 EnduroTM Physioflow®, USA)

3.5. อิเล็กโทรด ยี่ห้อสกินแท็ค รุ่นเอฟเอส 50 ประเทศออสเตรีย (Stress Test & Holter ECG electrodes, Skin tact FS–50, 0 Innsbruck, Austria)

3.6. เครื่องมือวัดการรับรู้ความเหนื่อย (Borg's RPE scale)

3.7. น้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์ ยี่ห้อยูโมเนียม ประเทศเบลเยียม (UMONIUM38 Instruments, Huckert's international, Nivelles, Belgium)

4. เครื่องมือสำหรับวัดตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

4.1. เครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound device) ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นแอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (L12–5 Transducer, Phillips Healthcare, Andover, MA, USA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2. เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non–invasive vascular screening device) ยี่ห้อออมรอน (Omron) รุ่นคอลลิน วีพี 1000 พลัส ประเทศญี่ปุ่น (Collin VP–1000 plus, Omron, Ukyo–ku, Kyoto, Japan)

4.3. เครื่องวัดอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง ยี่ห้อเพอริเมด เอบี (Perimed AB) ประเทศสวีเดน (Laser Doppler flowmeter, Perimed AB, Sweden) และโพรบรหัส 457 ประเทศสวีเดน (PROBE 457 Thermostatic Small–Angled Probe, Perimed AB, Sweden)

4.4. เครื่องวัดความดันโลหิตชนิดมือถือ (Hand–held sphygmonanometer) ยี่ห้อดีอีโฮเกนสัน รุ่นดีเอส 400 ประเทศสหรัฐอเมริกา (DS400, D.E. Hokanson, USA)

4.5. โปรแกรม QLAB เวอร์ชั่น 13 ประเทศสหรัฐอเมริกา (QLAB 13, Phillips Healthcare, Philips, Andover, MA, USA)

4.6. โปรแกรม Brachial Analyzer for Research ประเทศสหรัฐอเมริกา (Vascular Research Tools, Medical Imaging Applications LLC, Coralville, IA, USA)

5. เครื่องมือสำหรับวัดตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ

5.1. สายวัด (Measuring tape) ยี่ห้อเมต้า ประเทศไทย

5.2. เครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound device) ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นแอล 12–5 ทรานซ์สชดิวซ์เซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (L12–5 Transducer, Phillips Healthcare, Andover, MA, USA)

5.3. โปรแกรม QLAB เวอร์ชั่น 13 ประเทศสหรัฐอเมริกา (QLAB 13, Phillips Healthcare, Philips, Andover, MA, USA)

5.4. เครื่องวัดแรงไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเด็กซ์ รุ่นซิสเต็มส์ 4 ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex System 4; Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA)

5.5. เครื่องวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Near–infrared spectroscopy; NIRS) ยี่ห้อโปรเตมอน ประเทศเนเธอร์แลนด์ (PortaMon, Artinis, Medical System, Netherland)

6. เครื่องมือสำหรับวัดตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด

6.1. หลอดเก็บเลือด (Tube)

6.2. หลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentifuge)

6.3. กล่องเก็บหลอดไมโครเซนติฟิวก์ (Microcentifuge rack)

6.4. กระบอกฉีดยา (Syringe) ขนาด 20 มิลลิลิตร และเข็มเจาะเลือด (Needle)

6.5. เครื่องปั่นแรงเหวี่ยงสูง (Centrifugator)

6.6. ตู้แช่แข็ง –80 องศาเซลเซียส (Freezer)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.7. ชุดตรวจสารชีวเคมีในเลือด Abcam’s IGF1 Human ELISA (Enzyme–Linked Immunosorbent Assay) kit (ab100545) ประเทศอังกฤษ

6.8. ชุดตรวจสารชีวเคมีในเลือด Abcam’s VEGF Human ELISA (Enzyme–Linked Immunosorbent Assay) kit (ab100662) ประเทศอังกฤษ

7. เครื่องมือสำหรับวัดตัวแปรด้านความสามารถทางกีฬาจักรยาน

7.1. จักรยานและโปรแกรมการทดสอบ ยี่ห้อไซคลัส 2 ประเทศเยอรมนี (CYCLUS2 Ergometer, RBM Electronics, Leipzig, Germany)

7.2. เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพล่าร์ รุ่นเฮช 10 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® H10; Kempele, Finland)

8. เครื่องมือสำหรับการฝึก

8.1. จักรยานวัดงานยี่ห้อโมนาร์ก รุ่น 828 อี ประเทศสวีเดน (Monark 828E, Stockholm, Sweden)

8.2. บันไดจักรยาน (Crank) ยี่ห้อ Look และยี่ห้อ Shimano

8.3. เบาะจักรยานเสือหมอบ

8.4. เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor)) ยี่ห้อโพล่าร์ รุ่นเฮช 10 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® H10; Kempele, Finland)

8.5. ชุดอุปกรณ์สายรัดจำกัดการไหลเวียนโลหิต ประยุกต์โดยสายรัดชนิดถุงลม (Pneumatic cuff) ขนาดความกว้าง 11 เซนติเมตร ความยาว 124 เซนติเมตร ประเทศสหรัฐอเมริกา (SC10 Tourniquet Cuffs, D. E. Hokanson, Inc. Belleve, WA, USA)

8.6. เครื่องวัดความดันโลหิตชนิดมือถือ (Hand–held sphygmonanometer) ยี่ห้อเอ็มดีเอฟ รุ่น Iconica ประเทศสหรัฐเยอรมนี (Iconica, MDF® Instruments, Germany)

9. เครื่องมือสำหรับการบันทึกข้อมูล

9.1. แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

9.2. แบบบันทึกข้อมูลการฝึกแต่ละครั้ง

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยแบ่งการเก็บขั้นตอนการวิจัยเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การพัฒนาโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต และการศึกษานำร่อง

2. การศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต และการศึกษานำร่อง

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการฝึกกีฬาจักรยาน การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

2. คัดเลือกโปรแกรมการฝึกที่เหมาะสมกับนักกีฬาจักรยานประเภทถนน และพัฒนาโปรแกรมการฝึกให้เหมาะสมกับนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

3. นำโปรแกรมที่ได้เสนอให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา จำนวน 3 คน หัวหน้าผู้ฝึกสอนนักกีฬาจักรยานทีมชาติไทย จำนวน 1 คน นักกีฬาจักรยานทีมชาติไทยและผู้ฝึกสอนนักกีฬาจักรยาน จำนวน 1 คน (ภาคผนวก ค) ในการตรวจพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา และให้ข้อเสนอแนะของโปรแกรมการฝึก เพื่อนำไปปรับปรุง แก้ไขให้โปรแกรมการฝึกที่พัฒนาขึ้นมีความสมบูรณ์และเหมาะสม

การตรวจสอบค่าความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึกใช้เกณฑ์ในการตัดสิน คือ การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruence; IOC) โดยแบบประเมินในการตรวจสอบความตรงของเนื้อหา ตามเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

ให้คะแนน +1 หมายถึง แน่ใจว่ามีความตรงของเนื้อหา
ให้คะแนน 0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่ามีความตรงของเนื้อหา
ให้คะแนน –1 หมายถึง แน่ใจว่าไม่มีความตรงของเนื้อหา

$$IOC = \sum R / N$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อ IOC คือ ดัชนีความสอดคล้อง
$\sum R$ คือ ผลรวมคะแนนจากผู้ทรงคุณวุฒิ
N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ในการประเมินผลค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ ที่คำนวณได้ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Cox & Vargas, 1966) จึงจะถือได้ว่า โปรแกรมการฝึกมีความตรงเชิงเนื้อหา และมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ โดยผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึก พบว่าทุกข้อรายการมีค่า IOC มากกว่า 0.5 และค่า IOC โดยรวมเท่ากับ 0.92 แสดงว่า โปรแกรมการฝึกผ่านเกณฑ์การประเมิน มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ฝึกในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ (ภาคผนวก ง)

4. นำโปรแกรมที่ได้มาปรับปรุงให้เกิดความพร้อม และนำไปทำการศึกษานำร่อง (Pilot study) เพื่อดูความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกในการวิจัย (ภาคผนวก จ) ดังนี้

4.1. การศึกษานำร่องที่ 1 : การทดสอบวิธีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความหนักของการออกกำลังกาย

การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแบบขั้น (Graded incremental exercise test) โดยการปั่นจักรยานวัดงานเริ่มด้วยความหนัก 70 วัตต์ และเพิ่มความหนัก 35 วัตต์ทุก ๆ 1 นาที เพื่อดูความเป็นไปได้ของรูปแบบการทดสอบฯ และเพื่อประเมินความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (Maximal oxygen uptake; VO2max) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold; VT) และกำลังสูงสุด (Peak power output; PPO)

ผลการทดลองสรุปได้ว่า วิธีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดสามารถใช้ได้และเหมาะสมกับกลุ่มนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

4.2. การศึกษานำร่องที่ 2 : การทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training, HIIT) สำหรับนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

ผลการทดลองสรุปได้ว่า โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ที่ประกอบด้วย ความหนักของการฝึกในช่วงออกกำลังกายหนักที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 2 นาที กำหนดความเร็ว 90 รอบต่อนาที จำนวน 4 รอบ เป็นรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ที่นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์จะสามารถทำได้

4.3. การศึกษานำร่องที่ 3 : การทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High–intensity interval training combined with blood flow restriction; HIIT+BFR)

ผลการทดลองสรุปได้ว่า รูปแบบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) โดยรอบที่ 1 และ 3 เป็นการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 2 นาที ในเซตที่ 2 และ 4 เป็นการปั่นจักรยานที่ความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 30 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (AOP) (~ 75 มิลลิเมตรปรอท) เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด คลายแรงดัน (0 มิลลิเมตรปรอท)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เป็นเวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที มีความเป็นไปได้ที่นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์จะสามารถทำได้ โดยไม่เกิดการเจ็บปวดมากจนเกินไปในขณะทำการรัดเพื่อจำกัดการไหลเวียนโลหิต

5. นำโปรแกรมที่ผ่านการศึกษานำร่องแล้วไปใช้ในการศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้าและความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

1. ผู้วิจัยดำเนินการหากลุ่มตัวอย่างด้วยตนเองโดยประสานกับประธานสังกัด/ชมรมกีฬาจักรยานต่าง ๆ เพื่อขอข้อมูลนักกีฬาและติดต่อไปยังนักกีฬาโดยตรง หรือติดต่อไปยังนักกีฬาอิสระที่สนใจเข้าร่วมการวิจัย ชี้แจงและอธิบายข้อมูลการวิจัยตามเอกสารชี้แจงข้อมูลการวิจัย (Information sheet) (ภาคผนวก ก) ให้กับผู้เข้าร่วมวิจัย และดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้า โดยการสมัครใจเข้าร่วม

2. ผู้สมัครใจเข้าร่วมและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้าได้รับทราบรายละเอียดของวิธีปฏิบัติในการทดสอบและการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยทำการแจกเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (Participant information sheet) (ภาคผนวก ก) โดยทำการชี้แจงและอธิบายถึงวัตถุประสงค์และรายละเอียดของงานวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย การเข้าร่วมการวิจัย ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาวิจัย และการปฏิบัติตัวระหว่างช่วงที่เข้าร่วมงานวิจัยให้กับผู้เข้าร่วมงานวิจัย รวมถึงความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการทดสอบร่างกาย จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent form) (ภาคผนวก ก) ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะตอบข้อสงสัยจนผู้ที่ได้รับเชิญให้เข้าร่วมการวิจัยเข้าใจ และให้เวลาตัดสินใจโดยอิสระก่อนลงนามให้ความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย

3. ทำการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย โดยผู้วิจัยและแพทย์เวชศาสตร์ฉุกเฉินจะทำหน้าที่ในการประเมินผลการทดสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย (Exercise stress test) หากพบความผิดปกติขณะทำการทดสอบ ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้าของการวิจัย โดยจะแจ้งให้ผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบ และแนะนำให้ไปพบแพทย์หรือบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป รายละเอียดการคัดกรองมีดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยกรอกข้อมูลในแบบสอบถามประวัติสุขภาพ (Personal and family medical history) ประกอบด้วย ประวัติสุขภาพในอดีต ประวัติการเจ็บป่วยของคนในครอบครัว และข้อมูลสุขภาพในปัจจุบัน (ภาคผนวก ฉ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) ผู้เข้าร่วมวิจัยกรอกข้อมูลในแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย สำหรับบุคคลทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 15 – 69 ปี (Physical activity Readiness Questionnaire; PAR–Q) ซึ่งผู้เข้าร่วมวิจัยต้องตอบว่า “ไม่” ทุกข้อจึงจะผ่านเกณฑ์การประเมิน (ภาคผนวก ช)

3) ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการทดสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย (Exercise stress test) โดยการปั่นจักรยานที่มีการเพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ ปฏิบัติเต็มความสามารถ เพื่อทดสอบภาวะการขาดเลือดของหัวใจด้วยคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG; Electrocardiogram) (ภาคผนวก ซ) ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส และมีอุปกรณ์ช่วยชีวิตเป็นเครื่องกระตุกหัวใจไฟฟ้าชนิดอัตโนมัติ (Automated external defibrillator; AED)

4. เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการพิจารณาจากผู้วิจัยแล้วว่าสามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ ผู้วิจัยทำการแจ้งเงื่อนไขของการวิจัยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบก่อนการเข้าร่วมการวิจัย คือ หากทำการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการจับสลากแล้ว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะไม่สามารถเปลี่ยนกลุ่มได้ แต่หากผู้เข้าร่วมวิจัยสนใจฝึกในรูปแบบการฝึกกลุ่มอื่น ทางผู้วิจัยยินดีที่จะให้ความรู้และคำแนะนำในการฝึกปฏิบัติจนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเองหลังจากเสร็จสิ้นการวิจัย หลังจากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มการทดลองโดยใช้วิธีเรียงลำดับตามความสามารถของค่ากำลังสูงสุด (Peak power output; PPO) แล้วทำการจับสลากเพื่อสุ่มเข้ากลุ่ม ดังนี้

กลุ่มทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มที่มีการฝึกแบบปกติ (Usual training; UST) โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัย

กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training; HIIT)

กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High–intensity interval training combined with blood flow restriction; HIIT+BFR)

5. ผู้วิจัยแจ้งรายละเอียดและการปฏิบัติตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยในการเข้ารับการทดสอบการตรวจร่างกาย และการฝึกซ้อมออกกำลังกาย ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยเข้ารับการทดสอบและตรวจร่างกาย ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส และมีอุปกรณ์ช่วยชีวิตเป็นเครื่องกระตุกหัวใจไฟฟ้าชนิดอัตโนมัติ (AED) ดำเนินการโดยผู้วิจัยและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้ผ่านการฝึกอบรมและสอบผ่านการช่วยชีวิตขั้นพื้นฐานและเครื่องกระตุกไฟฟ้าหัวใจอัตโนมัติ ตามมาตรฐานการช่วยชีวิตที่กำหนดโดยสมาคมแพทย์โรคหัวใจแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมป์ (ภาคผนวก ฌ) หากเกิดเหตุการณ์

ฉุกเฉินวิกฤตที่ไม่สามารถช่วยเหลือได้ จะโทรศัพท์ติดต่อสายด่วน 1669 หรือมีการส่งต่อไปยังโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

2) ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่งกายด้วยชุดกีฬาจักรยานประกอบด้วย เสื้อและกางเกงสำหรับขี่จักรยาน และรองเท้าจักรยานหรือรองเท้าคลีต (Cleat) ในการเข้ารับการทดสอบ การตรวจร่างกายและการฝึกซ้อมออกกำลังกายในห้องปฏิบัติการ สำหรับการฝึกภายนอกห้องปฏิบัติการต้องใช้หมวกจักรยาน (Helmet) เพิ่มเติมด้วย

3) ผู้เข้าร่วมวิจัยนำจักรยานเสือหมอบที่ใช้เป็นประจำเข้าร่วมการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งสองวัน

4) ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สามารถฝึกซ้อมเพิ่มเติมนอกเหนือจากโปรแกรมที่ได้กำหนดให้ฝึกซ้อมของแต่ละกลุ่มได้ เพื่อให้การปฏิบัติการฝึกซ้อมของแต่ละกลุ่มเหมือนกัน

5) ผู้วิจัยจะควบคุมและดูแลการฝึกซ้อมของผู้เข้าร่วมวิจัยตลอดการเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยจะมีการพูดกระตุ้น สร้างแรงจูงใจ และให้กำลังใจเป็นระยะ รวมถึงการบอกข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) ของการฝึกซ้อมแต่ละครั้ง หรือพัฒนาการของการฝึกซ้อมแก่ผู้เข้าร่วมวิจัย

6. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยมาทำการทดสอบร่างกาย ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการตรวจวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ก่อนการฝึกออกกำลังกายดังนี้ (ดังรูปที่ 20)

1) ตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป (General physiological data) ได้แก่

1.1) อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (Heart rate at rest) มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) และความดันหลอดเลือดแดงเฉลี่ย (Mean arterial pressure) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท ทำการทดสอบขณะพักในท่านั่ง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที จึงเริ่มทำการทดสอบ โดยใช้เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอลขณะพัก (Blood Pressure Monitors) ยี่ห้อจีอี ไดนาแมบ รุ่นแคสเคป วี 100 ประเทศสหรัฐอเมริกา (Carescape V100, GE Dinamap, USA)

1.2) องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ได้แก่

1.2.1) ส่วนสูง (Height) มีหน่วยเป็นเซนติเมตร และน้ำหนัก (Weight) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเปลี่ยนเป็นชุดกีฬาจักรยาน เริ่มการทดสอบโดยถอดรองเท้าก่อน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Whole Body Bioelectical Impedance Analyzer) ยี่ห้อจาวอน รุ่นไอโอไอ ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี (ioi 353 whole Body Bioelectical

Impedance Analyzer, Jawon, Korea) ดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยคำนวณจากน้ำหนักที่ชั่งได้ (กิโลกรัม) หารด้วยความสูงเป็นเมตรยกกำลังสอง

1.2.2) ไขมันร่างกายและไขมันรยางค์ขา มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ มวลไขมันร่างกาย และมวลไขมันรยางค์ขา (Fat mass) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม มวลกล้ามเนื้อปราศจากไขมันของร่างกาย และมวลกล้ามเนื้อปราศจากไขมันรยางค์ขา (Lean mass) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนราบบนแท่นวัดของเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Dual–energy X–ray absorptiometry; DEXA) ยี่ห้อจีอี เฮลท์แคร์ รุ่นโพรไดจี ประเทศสหรัฐอเมริกา (GE Healthcare Lunar, Madison, WI, USA) (ภาคผนวก ญ)

1.2.3) ความหนาของชั้นไขมันใต้ผิวหนัง (Adipose tissue thickness) บริเวณต้นขาด้านถนัดที่ตำแหน่งกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Rectus femoris) โดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound device) ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นแอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (L12–5 Transducer, Phillips Healthcare, Andover, MA, USA)

2) ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) และการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics) ได้แก่

2.1) ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO_2max)

สมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) ใช้วิธีทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยใช้รูปแบบการทดสอบการออกกำลังกายแบบขั้น (Graded incremental exercise test) ทำการทดสอบโดยการปั่นจักรยานที่ความหนักเริ่มต้นจาก 70 วัตต์ และเพิ่ม 35 วัตต์ ทุก ๆ 1 นาที ปฏิบัติเต็มความสามารถจนกระทั่งเหนื่อยล้าหรือเมื่อความเร็วต่ำกว่า 70 รอบต่อนาที เป็นเวลามากกว่า 5 วินาที (Peiffer et al., 2008) (ภาคผนวก ซ) โดยใช้เฟรมจักรยานของผู้เข้าร่วมการวิจัยติดตั้งเข้ากับเครื่องวัดความสามารถและโปรแกรมการทดสอบ ยี่ห้อไซคลัส 2 ประเทศเยอรมนี (CYCLUS 2 Ergometer, RBM Electronics, Leipzig, Germany) ร่วมกับการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแม๊กซ์ รุ่นเอนคอร์ 29 ประเทศสหรัฐอเมริกา (Statonary gas analyzer; Vmax Encore 29 system, yorba Linda, CA, USA)

ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบ มีดังนี้

(1) ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) จะประเมินค่าเฉลี่ยในช่วง 15 วินาที ที่มีค่าสูงสุด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที

เกณฑ์พิจารณาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) มีดังต่อไปนี้ (Peiffer et al., 2008)

(1.1) ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) มีสภาวะคงที่ (VO_2max plateau) มีการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่น้อยกว่า 2 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที จากการเพิ่มความหนักก้าวหน้าในการออกกำลังกาย

(1.2) ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซช่วงหายใจ (Respiratory exchange ratio; RER) มากกว่า 1.10 ค่านี้เกิดจากการคำนวณสัดส่วนระหว่างการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon–dioxide production) และการใช้ออกซิเจน (Oxygen Uptake)

(1.3) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate; HRmax) มีค่าเหนือกว่าค่าประมาณการอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Predicted HRmax) ที่ระดับ 85 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด จากการคำนวณด้วยอายุ สูตรการคำนวณ (Tanaka et al., 2001) ดังนี้

อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด = (208 – 0.7 × อายุ)

(1.4) ไม่สามารถควบคุมความเร็วในการปั่นจักรยานได้มากกว่า 70 รอบต่อนาที เป็นเวลามากกว่า 5 วินาที

(2) กำลังสูงสุด (Peak power output; PPO) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด มีหน่วยเป็นวัตต์ ได้จากงานของจักรยานจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแบบเป็นขั้น (ภาคผนวก ฎ) นำมาคำนวณจากสมการ (Sargeant et al., 1981)

$$PPO = Power_{final} + \left(\frac{t\ (s)}{\text{Step duration}} \times \text{Step increment}\right)$$

เมื่อ PPO คือ กำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (วัตต์)

$Power_{final}$ คือ กำลังงานสูงสุดในขั้นสุดท้าย (วัตต์)

t (s) คือ เวลาของการควบคุมกำลังงานสุดท้าย (วินาที)

Step duration คือ เวลาของช่วงการเพิ่มกำลังงานแต่ละช่วง (วินาที)

Step increment คือ กำลังงานที่เพิ่มขึ้นแต่ละช่วงการทดสอบ (วัตต์)

(3) ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (First ventilatory threshold; VT_1) พิจารณาจากสมดุลการหายใจ ซึ่งประเมินได้จากการที่มีการระบายอากาศ (VE) เพิ่มชันขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่อัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงขณะเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (ดรุณวรรณ สุขสม, 2561)

(4) ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (Second ventilatory threshold; VT_2) โดยการพิจารณาจากสมดุลการหายใจ ซึ่งประเมินได้จากการที่มีการระบายอากาศ (VE) ที่สูงขึ้นไม่เป็นสัดส่วนกับการเพิ่มขึ้นของอัตราการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ (VCO_2) (ดรุณวรรณ สุขสม, 2561)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2) การไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics)

การวิจัยครั้งนี้ประเมินการไหลเวียนโลหิต โดยใช้เครื่องวัดสภาวะของระบบการไหลเวียนโลหิต (Impedance cardiograph device) ด้วยเครื่องมือยี่ห้อฟิสิโอโฟล์ว รุ่นพีเอฟ 07 เอนดูโร่ ประเทศสหรัฐอเมริกา (PF07 EnduroTM Physioflow®, USA) ทำการประเมินระหว่างการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแบบขั้น (Graded incremental exercise test) ซึ่งการประเมินการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดจะประเมินค่าเฉลี่ยในช่วง 30 วินาทีที่มีค่าสูงสุด (ภาคผนวก ฏ)

ตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ มีดังนี้

(1) อัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate; HR) มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที

(2) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (Stroke volume; SV) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

(3) อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output; CO) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อนาที

(4) ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference; a–vO_2diff) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อเดซิลิตร สามารถคำนวณ ดังสมการ

$$a\text{–}vO_2diff\ (mL.dL^{-1}) = \frac{VO_2max\ (mL.min^{-1})}{CO_{max}(L.min^{-1})}$$

เมื่อ a–vO_2diff คือ ความแตกต่างของค่าออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ

VO_2max คือ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

CO_{max} คือ อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) ตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด (Vascular structure and function) ได้แก่

3.1) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima–Media thickness)

การวัดความหนาของผนังหลอดเลือด (IMT) ทำการทดสอบบริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common Carotid Artery) ทดสอบโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound device) ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นแอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (L12–5 Transducer, Phillips Healthcare, Andover, MA, USA) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย เอียงศีรษะ

ไปทางซ้าย 45 องศา ทำการอัลตราซาวน์หลอดเลือดแดงของลำคอด้านขวา วัดความหนาที่ผนังหลอดเลือดแดงที่คอชั้นในด้านไกล (Far wall) และใช้โปรแกรม QLAB เวอร์ชั่น 13 ประเทศสหรัฐอเมริกา (QLAB 13, Phillips Healthcare, Philips, Andover, MA, USA) เพื่อคำนวณหาความหนาของผนังหลอดเลือด (ภาคผนวก ฐ)

3.2) ความแข็งของหลอดเลือดแดง (Arterial stiffness)

การวัดความแข็งของหลอดเลือดแดง เป็นการวัดความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า เพื่อตรวจวัดความยืดหยุ่นของเส้นเลือดแดง หรือการแข็งตัวของหลอดเลือด การวิจัยครั้งนี้วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non–invasive vascular screening device) ยี่ห้อ ออมรอน รุ่นคอลลิน วีพี 1000 พลัส ประเทศญี่ปุ่น (Collin VP–1000 plus, Omron, Ukyo–ku, Kyoto, Japan) เป็นการวัดเวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด (Brachial–ankle time delay) ที่หลอดเลือดบริเวณต้นแขน (Brachial artery) และหลอดเลือดบริเวณข้อเท้า (Posterior tibial artery) เครื่องจะทำการวัดความยาวจากจุดที่วัดทั้งสองจุด คำนวณค่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial–ankle pulse wave velocity: baPWV) (ภาคผนวก ฑ)

3.3) การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียน (Flow–mediate dilation; FMD)

การวัดค่าการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ทดสอบโดยการใช้เครื่องอัลตราซาวน์ ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น แอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (L12–5 Transducer, Phillips Healthcare, Andover, MA, USA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวัดค่าการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ของหลอดเลือดแดงบริเวณต้นแขน (Brachial artery) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ได้รับการฝึกโดยตรง (non–trained limbs) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15 – 20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่าง ทำการอัลตราซาวน์หลอดเลือดแดงบริเวณเหนือข้อพับแขนด้านหน้า โดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพักเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตเหนือความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว 50 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการขาดเลือดในช่วงสั้น ๆ จากนั้นปล่อยแรงดันออกจนหมดเพื่อคลายการบีบของเครื่องวัดความดันโลหิต จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้นเป็นเวลา 5 นาที และการวัดค่าการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) หลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) ที่บริเวณข้อพับเข่าด้านหลัง ซึ่งเป็นส่วนที่ได้รับ

การฝึกโดยตรง (Trained limbs) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนคว่ำพัก 15 – 20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณน่อง วางโพรบ (Probe) เพื่อทำการอัลตราซาวน์หลอดเลือดแดงบริเวณข้อพับเข่าด้านหลัง (Popliteal artery) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพักเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตประมาณ 250 มิลลิเมตรปรอทค้างไว้ 5 นาที วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะถูกปิดกั้น จากนั้นคลายแรงดันจากการบีบของเครื่องวัดความดันโลหิตออกจนหมด จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้น (ภาคผนวก ฒ)

การวิเคราะห์เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดใช้โปรแกรมวิเคราะห์หลอดเลือด Brachial Analyzer for Research (Vascular Research Tools, Medical Imaging Applications LLC, Coralville, IA, USA) นำภาพวิดีโอที่บันทึกได้จากเครื่องอัลตราซาวน์เข้าสู่โปรแกรม Brachial Analyzer for Research จากนั้นทำการปรับตั้งค่า (Calibration) ขนาดของภาพในโปรแกรมให้ตรงกับขนาดจริง และปรับค่าอาร์โอไอ (Region of Interest; ROI) ให้เส้นประตรงกลางอยู่กึ่งกลางของหลอดเลือดบริเวณที่จะทำการวัด ทั้งนี้ ROI ต้องครอบคลุมผนังหลอดเลือด ทั้ง 2 ด้าน และมีความกว้างอย่างน้อย 3 ± 0.1 มิลลิเมตร ยอมรับผลการวิเคราะห์เมื่อมีดัชนีความเชื่อมั่นของการควบคุมคุณภาพ (Confidence Index) ที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (Ratcliffe et al., 2017) จากนั้นทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะขยายตัวสูงสุดช่วงของหลอดเลือดคลายตัวและการไหลของเลือด (Blood flow) ขณะพัก ขณะหลอดเลือดหดตัวเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนโลหิต และขณะหลอดเลือดขยายตัวหลังเปิดการปิดกั้นการไหลของเลือด ซึ่ง FMD คำนวณจากสูตร (Ratcliffe et al., 2017)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\%FMD = \frac{D2 - D1}{D1} \times 100$$

เมื่อ FMD คือ การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)

D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดขณะพัก (มิลลิเมตร)

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (มิลลิเมตร)

ตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์มีดังนี้

(1) การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดเบรเคียล (Brachial artery)

(2) การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดพอพลิเตียล (Popliteal artery)

3.4) การทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังนิ้วมือและนิ้วเท้า ได้แก่ การไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง (Cutaneous blood flow)

การวัดอัตราการไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง ใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง ยี่ห้อพรามเมด เอบี (Perimed AB) ประเทศสวีเดน (Laser Doppler flowmeter, Perimed AB, Sweden) โดยติดโพรบรหัส 457 (PROBE 457 Thermostatic Small–Angled Probe, Perimed AB, Sweden) บริเวณหลังนิ้วมือและเท้า ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพัก 5 นาที นำเครื่องวัดความดันพันรัดเหนือต้นแขนและน่อง ที่ความดันเหนือความดันโลหิตของผู้เข้าร่วมการทดลองประมาณ 50 มิลลิเมตรปรอทของความดันโลหิตของแต่ละบุคคล บีบค้างไว้ 3 นาที บันทึกค่าโดยตลอด ต่อมาคลายแรงดันเป็น 0 มิลลิเมตรปรอท และบันทึกค่าต่อนาน 5 นาที (Yvonne–Tee et al., 2004) (ภาคผนวก ณ) ทำการวัดผลของความเร็วและความเข้มข้นเฉลี่ยของเม็ดเลือดแดงในปริมาณเนื้อเยื่อตัวอย่าง (Flux) ขณะพัก ขณะถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะการไหลของเลือดสูงสุดหลังเปิดการปิดกั้น และขณะการไหลของเลือดกลับสู่สภาวะปกติหลังเปิดการปิดกั้น และทำการวัดเวลาของอัตราการไหลสูงสุดและเวลาที่ใช้กลับสู่สภาวะพัก การวิจัยครั้งนี้ทดสอบการไหลเวียนของเลือดชั้นผิวหนังด้วยวิธีโพสออกคลูซีฟรีแอคทีฟไฮเปอรีเมีย (Post occlusive reactive hyperemia; PORH) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$PORH = \frac{PORHpeak - Mean\ baseline\ perfusion\ flux}{Mean\ baseline\ perfusion\ flux} \times 100$$

เมื่อ PORH คือ อัตราของเลือดชั้นผิวหนังหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด

PORHpeak คือ การไหลของเลือดชั้นผิวหนังหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด

Mean baseline perfusion flux คือ การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์มีดังนี้

(1) การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก มีหน่วยเป็น AU

(2) การไหลของเลือดชั้นผิวหนังหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด มีหน่วยเป็น AU

(3) อัตราของเลือดชั้นผิวหนังหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (PORH) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

(4) เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ มีหน่วยเป็นวินาที

(5) เวลาของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด มีหน่วยเป็นวินาที

4) ตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscular structure and function) ได้แก่

4.1) โครงสร้างของกล้ามเนื้อขา (Muscular structure) การวิจัยครั้งนี้ทดสอบโครงสร้างของกล้ามเนื้อขาประเมินจาก (ภาคผนวก ด)

4.1.1) การวัดเส้นรอบวงของต้นขา (Thigh circumference) โดยใช้สายวัดยี่ห้อเมต้า ประเทศไทย ทำการวัดบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางของต้นขา มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

4.1.2) การวัดความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) เรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris) และวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น แอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ (L12–5 Transducer, Phillips)

4.1.3) พื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ (Muscle cross–sectional area) เรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris) และวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น แอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ (L12–5 Transducer, Phillips)

4.1.4) การวัดความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนัง (Adipose tissue thickness) ที่บริเวณตำแหน่งกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นแอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ (L12–5 Transducer, Phillips)

4.2) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ด้วยเครื่องวัดแรงไอโซไคเนติก ยี่ห้อไบโอเด็กซ์ (Isokinetic dynamometer: Biodex, System 4 Pro, Biodex Medical Systems Inc, Shirley, NY, USA) โดยกำหนดมุมของเข่าเต็มช่วงการเคลื่อนไหวตามแต่ละบุคคล ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเตะขาเต็มความสามารถ (Isokinetic maximum voluntary contraction; MVC) ด้วยความเร็วที่กำหนด 60 องศาต่อวินาที จำนวน 3 ครั้งต่อเนื่อง (ภาคผนวก ต) หลังจากนั้นทำการพักเป็นเวลา 20 นาที (Mota et al., 2015)

ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบมีดังนี้

(1) แรงสูงสุด (Torque) มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร

(2) แรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว มีหน่วยเป็นนิวตันเมตรต่อกิโลกรัม

4.3) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ด้วยเครื่องวัดแรงไอโซไคเนติก ยี่ห้อไบโอเด็กซ์ (Isokinetic dynamometer: Biodex, System 4 Pro, Biodex Medical Systems Inc, Shirley, NY, USA) โดยกำหนดมุมของเข่าเต็มช่วงการเคลื่อนไหวตามแต่ละบุคคล ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเตะขาเต็มความสามารถ (Isokinetic maximum voluntary contraction; MVC) ด้วยความเร็วที่กำหนด 180 องศาต่อวินาที จำนวน 50 ครั้งต่อเนื่อง (ภาคผนวก ถ)

ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบมีดังนี้

(1) งาน (Work) มีหน่วยเป็นจูล

(2) งานต่อน้ำหนักตัว (Work/Body weight) มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัม

(3) ระดับความล้า (Work fatigue) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

4.4) ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ เป็นเทคนิคการวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อทางอ้อม (Noninvasive technique) โดยใช้อุปกรณ์เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near–infrared spectroscopy; NIRS) ยี่ห้อโปรเตมอน ประเทศเนเธอร์แลนด์ (PortaMon, Artinis Medical Systems, Elst, Netherlands) โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อกับโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ด้วยระบบบูลธูซ (Bluetooth™) ความถี่ 10 เมกะเฮิร์ต (McManus et al., 2018) การวัดระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) ประเมินในระหว่างการทดสอบความสามารถในการออกกำลังกายแบบขั้น (Graded incremental exercise test) ทำการวัดที่กล้ามเนื้อวาสตัสแลเทอรัลลิส (Vastus lateralis) (ภาคผนวก ท)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มต้นจากการทำให้ข้อมูลราบเรียบ (Data smoothing) โดยคำนวณค่าเฉลี่ยที่ 3 วินาที (Moving aerage) จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงขณะพักก่อนเริ่มการทดสอบ (Baseline) 15 วินาที และช่วง 15 วินาทีของการออกกำลังกายสูงสุด (Final) มีหน่วยเป็นไมโครโมล (μM) ใช้การปรับเทียบค่ากับค่าพื้นฐาน (Physiological calibration) โดยเทียบกับค่าขณะพัก (Resting baseline) แสดงค่าเป็นค่าเดลต้า (Delta; Δ) (Grassi et al., 2003)

ตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์มีดังนี้

(1) ระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ (Tissue oxygenation; TSI) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ คำนวณจากสมการ (McManus et al., 2018)

$$\%TSI = \frac{O_2HB}{O_2HB + HHB} \times 100$$

เมื่อ %TSI คือ ระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ (เปอร์เซ็นต์)

O_2Hb คือ ระดับฮีโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน (มิลลิโมลต่อลิตร)

HHb คือ ระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (มิลลิโมลต่อลิตร)

ดังนั้น $\Delta TSI = TSI_{final} - TSI_{baseline}$

(2) ระดับฮีโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน (Oxygenated; O_2Hb) มีหน่วยเป็นไมโครโมล ดังนั้น $\Delta O_2Hb = O_2Hb_{final} - O_2Hb_{baseline}$

(3) ระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (Deoxygenated hemoglobin; HHb) ดังนั้น $\Delta HHb = HHb_{final} - HHb_{baseline}$

(4) ผลรวมฮีโมโกลบิน (Total hemoglobin; tHb) คำนวณจากสมการ

$$tHb = O_2Hb + HHb$$

ดังนั้น $\Delta tHb = tHb_{final} - tHb_{baseline}$

5) ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการนัดหมายจากผู้วิจัย ให้งดรับประทานอาหารล่วงหน้าก่อนการเจาะเลือดเป็นเวลาอย่างน้อย 10 – 12 ชั่วโมง แต่สามารถดื่มน้ำเปล่าได้เล็กน้อย และให้เข้ารับการเจาะเลือดในเวลา 07.30 น. ที่คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำการเจาะเลือด 1 ครั้ง ประมาณ 15 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์สารชีวเคมีในเลือด

การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

(1) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC) อยู่ในรูป EDTA blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อผสมสารป้องกันเลือดการแข็ง EDTA (จุกหลอดเลือดสีม่วง) ทำการตรวจ ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันทีโดยไม่แช่เย็น

(2) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไขมันในเลือด EDTA blood โดยใช้หลอด (จุกหลอดเลือดสีม่วง) ทำการตรวจ ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันทีโดยไม่แช่เย็น

(3) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์น้ำตาลในเลือด อยู่ในรูป NaF blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อผสมสารป้องกันการใช้น้ำตาลและป้องกันการแข็งตัวของเลือด Sodium Fluoride (จุกหลอดเลือดสีเทา) ทำการตรวจ ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันทีโดยไม่แช่เย็น

(4) การเก็บตัวอย่างเลือดอยู่ในรูป Clotted blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อ โดยไม่ต้องผสมสารใดๆ (จุกหลอดเลือดสีแดง) เพื่อปั่นแยกซีรัม (Serum) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 5 หลอด บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentifuge rack) ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ –40 ถึง –80 องศา

เซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ อินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์–วัน และวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ ทำการส่งตรวจห้องปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิธีการส่งตรวจโดยใช้กล่องโฟมขนาดใหญ่บรรจุน้ำแข็งแห้ง (Dryice) โดยรอบมีอุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำกล่องบรรจุซีรัมจากตู้แช่บรรจุลงในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็งแห้ง นอกจากนี้ยังใช้น้ำแข็งแห้งคั่นระหว่างกล่องบรรจุซีรั่มโดยทุกกล่อง และทำการปิดผนึกฝากล่องด้วยเทปกาว ทำการขนสั่งโดยรถยนต์ส่วนตัวเดินทางจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยไปยังคณะแพทย์ศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้เวลา 30 นาที ทำการตรวจสอบซีรั่มระหว่างการย้ายสิ่งส่งตรวจเข้าเก็บในตู้แช่ –80 องศาเซลเซียสอีกครั้ง ไม่พบการละลายหรือความผิดปกติใด ๆ

วิเคราะห์ตัวแปรดังนี้

(1) ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (Compete blood count; CBC) วิเคราะห์เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell; RBC) มีหน่วยเป็น 10^6ต่อไมโครลิตร ฮีมาโตคริต (Hematocrit; Hct) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ทดสอบด้วยวิธีการอิเล็คทริคอลรีซิชแทนซ์แอนด์ไฮโดรไดนามิคโฟกัสชิง (Electrical resistance and hydrodynamic focusing method) และฮีโมโกลบิน (Hemoglobin; Hb) ด้วยวิธีเอสแอลเอส–ฮีโมโกลบิน (SLS–hemoglobin method) มีหน่วยเป็นกรัมต่อเดซิลิตร

(2) ปริมาณไขมันในเลือด (Lipid profile) เป็นตัวแปรสารชีวเคมีในเลือดพื้นฐาน ได้แก่ คอลเลสเตอรอล (Cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) วิเคราะห์ด้วยวิธีการเอนไซเมติกคัลเลอร์รีเมตริกแอสเซ (Enzymatic colorimetric assay method) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ออโตเมต (Automate) ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (High density lipoprotein; HDL) โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein; LDL) วิเคราะห์ด้วยวิธีการไดเรกแอสเซ (Direct assay) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ออโตเมต (Automate) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

(3) น้ำตาลในเลือด (Fasting blood sugar) วิเคราะห์ด้วยวิธีการเอนไซเมติกคัลเลอร์รีเมตริกแอสเซ (Enzymatic colorimetric assay method) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ออโตเมต (Automate) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

(4) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK) เป็นเอมไซม์ที่พบในกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ของการทำลายของกล้ามเนื้อ (Muscle damage) วิเคราะห์ด้วยวิธีการคัลเลอร์รีเมตริกแอสเซ (Colorimetric assay) มีหน่วยเป็นยูนิตต่อลิตร

(5) ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO) เป็นสารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของหลอดเลือด วิเคราะห์ด้วยวิธีการกริสเรเจ้นท์ซิสเต็ม (Griess reagent system) มีหน่วยเป็นไมโครโมล

(6) มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) เป็นอนุมูลอิสระหรือ Oxidative stress ที่บ่งชี้ถึงการทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์ วิเคราะห์ด้วยวิธีการคัลเลอร์รีเมตริกแอสเซ (Colorimetric assay) มีหน่วยเป็นไมโครโมล

(7) อินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์–วัน (Insulin–like growth factor–1; IGF–1) เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตของเซลล์กล้ามเนื้อ วิเคราะห์ด้วยวิธีการคัลเลอร์รีเมตริกแอสเซ (Colorimetric assay) มีหน่วยเป็นนาโนกรัมต่อมิลลิลิตร

(8) วาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor; VEGF) เป็นตัวบ่งชี้การสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่วิเคราะห์ด้วยวิธีการคัลเลอร์รีเมตริกแอสเซ (Colorimetric assay) มีหน่วยเป็นพิโนกรัมต่อมิลลิลิตร

6) ตัวแปรด้านความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ได้แก่

6.1) การทดสอบปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Time to volitional fatigue at 150% PPO) เป็นตัวบ่งชี้ความทนต่อการเมื่อยล้า (Fatigue tolerance)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบตัวแปรความทนต่อการเมื่อยล้า (Time to fatigue) ด้วยวิธีการทดสอบเวลาที่สามารถทนต่อการออกกำลังกายหนักที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Time to fatigue at 150% PPO; TF150) ในการประเมินเวลาของการเกิดความเมื่อยล้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก หากเวลาของทดสอบภายหลังจากการฝึกเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการทนต่อการเมื่อยล้าที่เพิ่มขึ้น การทดสอบเวลาของการเกิดความเมื่อยล้าจะทำการทดสอบภายหลังจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพักเป็นเวลา 15 นาที และเริ่มการทดสอบเวลาที่สามารถทนต่อการออกกำลังกายหนักที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการปั่นจักรยานที่ความหนัก 2 วัตต์ต่อน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ระยะเวลา 150 วินาที หลังจากนั้นให้ปั่นจักรยานที่ระดับความเร็วประมาณ 120 รอบต่อนาที และทำการเพิ่มระดับความหนักเป็น 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยปฏิบัติเต็มความสามารถ และหยุดการทดสอบเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สามารถควบคุมความเร็วของการปั่นจักรยานที่มากกว่าหรือเท่ากับ 60 รอบต่อนาทีไว้ (ภาคผนวก ธ)

ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบ มีดังนี้

(1) เวลาที่ทนต่อความเมื่อยล้า มีหน่วยเป็นวินาที

(2) งาน มีหน่วยเป็นจูล

(3) งานต่อน้ำหนักตัว มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัม

(4) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที

(5) อัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ย มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.2) ความสามารถทางกีฬาจักรยานโดยการปั่นจักรยานแบบจับเวลาที่ระยะทาง 40 กิโลเมตร (40 km Time trial; TT40)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบตัวแปรด้านความสามารถทางกีฬาจักรยาน โดยการทดสอบปั่นจักรยานแบบจับเวลาหรือไทม์ไทรอัลจำลองในห้องปฏิบัติการ (Simulated time–trial performance) ที่ระยะ 40 กิโลเมตร (40 km time trial) โดยใช้เครื่องมือเป็นจักรยานของผู้เข้าร่วมวิจัยจักรยานวัดงานและโปรแกรมการทดสอบความสามารถ ยี่ห้อไซคลัส 2 ประเทศเยอรมนี (CYCLUS2 Ergometer, RBM Electronics, Leipzig, Germany)

การทดสอบความสามารถทางกีฬาจักรยาน โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm–up) แบบขั้น ประกอบด้วย การปั่นจักรยานที่ความหนัก 25 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 6 นาที 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที และ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ จากนั้นเริ่มการทดสอบด้วยการปั่นจักรยานเต็มความสามารถสูงสุดระยะ 40 กิโลเมตร ในท่านั่งตลอดการทดสอบ และไม่สามารถมองเห็นการแสดงผลค่าต่าง ๆ บนจอโปรแกรม สามารถดื่มน้ำได้จนถึงระยะทางที่ 38 กิโลเมตร เมื่อครบระยะทาง 40 กิโลเมตร ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยหยุดการปั่นจักรยานและทำการนั่งพักบนเก้าอี้ในท่าสบาย 10 นาที ในระหว่างการทดสอบจะมีการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือเพื่อทดสอบความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แลคเตท (Lactate Analyzer) ยี่ห้ออนาลอกซ์ รุ่นพี–แอลเอ็ม 5 (P–LM 5) ประเทศอังกฤษ (LM5, Analox Instruments Ltd., London, UK) มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร ตรวจวัดที่ระยะ 0 กิโลเมตร 20 กิโลเมตร 40 กิโลเมตร และขณะพักภายหลังการทดสอบในนาทีที่ 5 และ 10 หลังจากนั้นทำการคลายอุ่น (Cool–down) และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Hawley & Noakes, 1992; Laursen et al., 2003; Micklewright et al., 2010) (ภาคผนวก น)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบ มีดังนี้

(1) เวลา (Time) มีหน่วยเป็นวินาที

(2) อัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate) มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที

(3) กำลังเฉลี่ย (Power average) มีหน่วยเป็นวัตต์

(4) จำนวนรอบการปั่นเฉลี่ย (Cadence average) มีหน่วยเป็นต่อนาที

(5) ความเร็วเฉลี่ย (Speed average) มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง

(6) ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร ตรวจวัดที่ระยะ 0 กิโลเมตร 20 กิโลเมตร 40 กิโลเมตร และภายหลังการทดสอบในนาทีที่ 5 และ 10 คำนวณอัตราการลดลงของความเข้มข้นแลคเตทภายหลัง 5 นาที และ 10 นาที ดังนี้

(6.1) การคำนวณอัตราการลดลงของความเข้มข้นแลคเตทภายหลัง 5 นาที จากสมการ

$$\text{Rate of lactate removal at 5 min (\%)} = \frac{\text{BLa after 5 min} - \text{BLa at 40 km}}{\text{BLa at 40 km}} \times 100$$

เมื่อ Rate of lactate removal at 5 min คือ อัตราการลดลงของความเข้มข้นแลคเตทภายหลัง 5 นาทีของการทดสอบปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

BLa after 5 min คือ ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดภายหลังการทดสอบในนาทีที่ 5 มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

BLa at 40 km คือ ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดที่ระยะ 40 กิโลเมตร มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

(6.2) การคำนวณอัตราการลดลงของความเข้มข้นแลคเตทภายหลัง 10 นาที จากสมการ

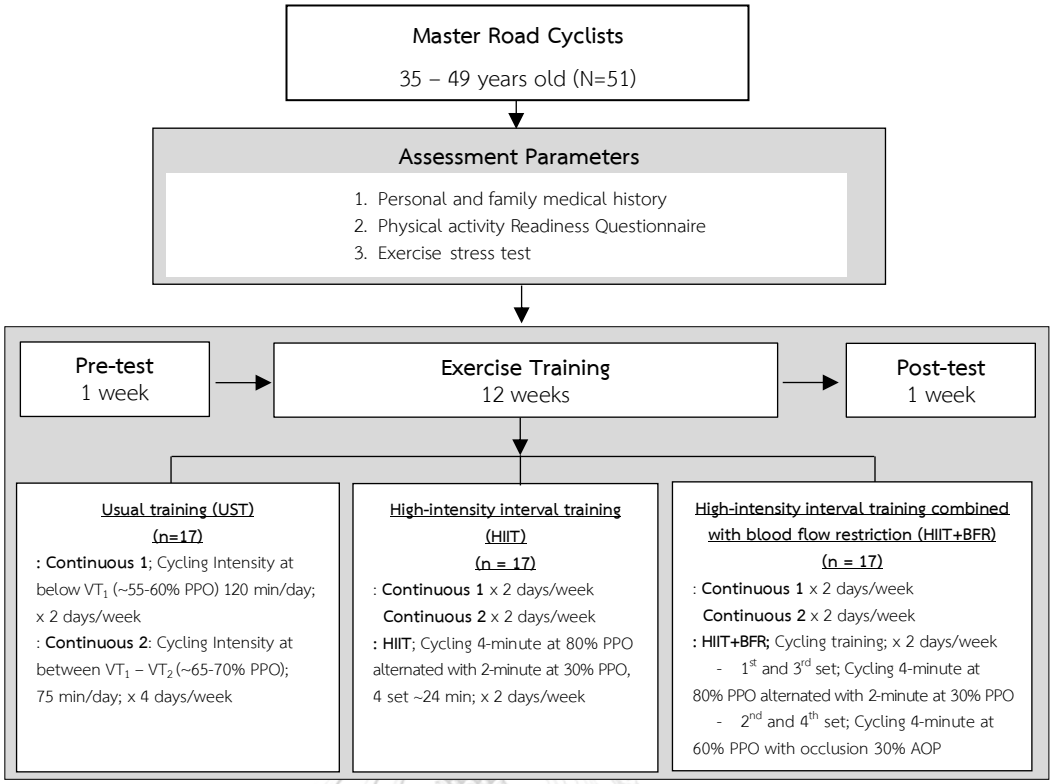
$$\text{Rate of lactate removal at 10 min (\%)} = \frac{\text{BLa after 10 min} - \text{BLa at 40 km}}{\text{BLa at 40 km}} \times 100$$

เมื่อ Rate of lactate removal at 10 min คือ อัตราการลดลงของความเข้มข้นแลคเตทภายหลัง 10 นาที ของการทดสอบปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

BLa after 10 min คือ ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดภายหลังการทดสอบในนาทีที่ 10 มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

BLa at 40 km คือ ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดที่ระยะ 40 กิโลเมตร มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



Testing (Pre-Post)			
Day 1			Day 2
1. Blood chemical data - Complete Blood Count (CBC) - Lipid profile - Blood glucose - Creatine phosphokinase (CPK) - Nitric oxide (NO) - Malondialdehyde (MDA) - Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) - Vascular endothelial growth factor (VEGF)	**4. Vascular structure/function** **Macro-vascular** - Intima-Media Thickness - Arterial stiffness - Flow mediate dilatation **Micro-vascular** - Cutaneous blood flow		**1. Muscular function** - Muscle strength; Knee extension and flexion - Muscle endurance; Knee extension and flexion
2. Physiological data - Resting heart rate - Resting Blood pressure - Body composition; Height, Weight, BMI, %Fat, and Lean mass	**5. Aerobic fitness** **Graded exercise test** - Maximal oxygen consumption (VO_2max) - Ventilatory threshold - Peak power output **Hemodynamics** - Cardiac output - Stroke volume - a-vO_2 difference	48 Hour	**2. Cycling performance** **40 km Time Trial (TT40)** - Time - Heart rate - Power output - Cadence - Speed **Blood lactate concentration** TT40 : 0Km, 20Km, 40Km After: 5 and 10 min
3. Muscular structure - Thigh circumference - Rectus femoris and Vastus lateralis muscle thickness - Rectus femoris and Vastus lateralis muscle cross-sectional area **Muscle oxygenation** - Tissue saturation index (TSI) - Oxygenated hemoglobin (O_2Hb) - Deoxygenated hemoglobin (HHB)	**6. Cycling performance** **Fatigue tolerance** - Time to fatigue at 150% PPO		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 20 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

7. ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการฝึกตามโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายสัปดาห์ละ 6 วัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ขณะทำการฝึกซ้อมทุกครั้งสวมใส่อุปกรณ์วัดอัตราการเต้นหัวใจ ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละกลุ่มออกกำลังกายตามรูปแบบของโปรแกรม ดังนี้

7.1. กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มการฝึกแบบปกติ (Usual training; UST) เป็นกลุ่มที่มีการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัย (ภาคผนวก บ) ประกอบด้วยการฝึกซ้อม ดังนี้

1) การฝึกด้วยรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous cycling training 1; C1) คือ การฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำแบบต่อเนื่อง

ความหนักของการฝึก ระดับต่ำกว่าช่วงที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) หรือประมาณ 55 – 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ซึ่งเป็นค่าเฉพาะบุคคลที่ประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ปริมาณการฝึก ระยะเวลา 120 นาที

ความถี่การฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์

2) การฝึกด้วยรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous cycling training 2; C2) คือ การฝึกปั่นจักรยานความหนักปานกลางแบบต่อเนื่อง

ความหนักของการฝึก ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) ถึงระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (VT_2) หรือประมาณ 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ซึ่งเป็นค่าเฉพาะบุคคลที่ประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ปริมาณการฝึก ระยะเวลา 75 นาที

ความถี่การฝึก 4 ครั้งต่อสัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยมีขั้นตอนการฝึกรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous cycling training) ดังนี้

1) การฝึกปั่นจักรยานด้วยจักรยานของนักกีฬาที่ใช้เป็นประจำใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

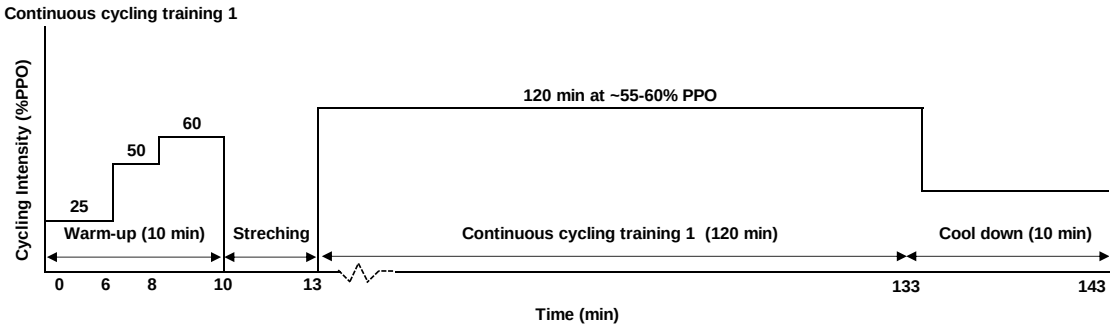
2) อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เวลา 10 นาที

3) ฝึกปั่นจักรยานตามรูปแบบการฝึกแบบปกติรูปแบบ C1 (120 นาที) หรือรูปแบบ C2 (75 นาที) ตามโปรแกรมการฝึกซ้อม โดยบันทึกอัตราการเต้นหัวใจตลอดช่วงการฝึก

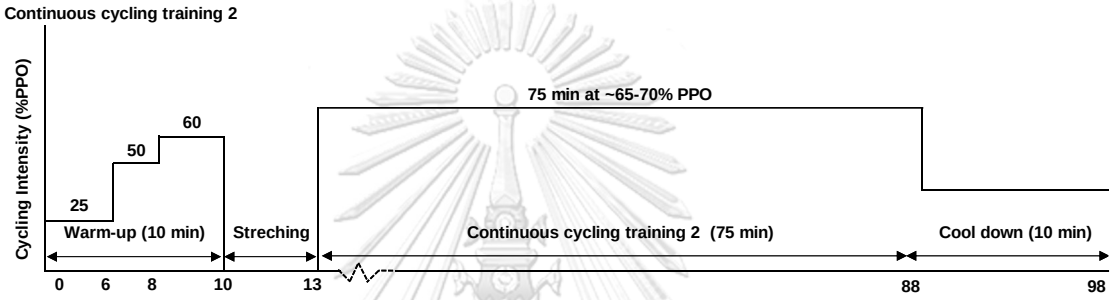
4) คลายอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เวลา 10 นาที

5) ผู้เข้าร่วมวิจัยบันทึกข้อมูลการฝึกซ้อม เช่น วันเวลาที่ฝึกซ้อม อัตราการเต้นหัวใจ ระยะเวลาของการปั่น ระยะทางการปั่น และความเร็วของการปั่น โดยแอพพลิเคชั่น เช่น Garmin connect, Strava, Cyclemeter, Endomodo เป็นต้น และส่งข้อมูลการฝึกซ้อมมายังผู้วิจัยผ่านไลน์แอพลิเคชั่น (รูปที่ 21)

(ก)



(ข)

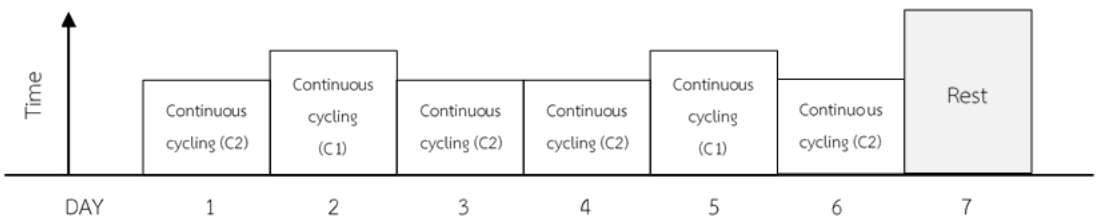


รูปที่ 21 โปรแกรมการฝึกปั่นจักรยานแบบต่อเนื่อง

(ก) การฝึกปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ความหนัก 55 – 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 120 นาที

(ข) การฝึกปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ความหนัก 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 75 นาที

การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติด้วยโปรแกรมการฝึก C1 และ C2 สัปดาห์ละ 6 วัน พัก 1 วัน (รูปที่ 22) ทำการฝึกซ้อมที่สนามลู่ปั่นจักรยานเจริญสุขมงคลจิตหรือสถานที่ฝึกซ้อมประจำของนักกีฬา โดยผู้วิจัยหรือผู้ฝึกสอนทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อม ซึ่งผู้วิจัยได้พูดคุยทำความเข้าใจกับผู้ฝึกสอนถึงโปรแกรมการฝึกตามโครงการวิจัยที่ถูกต้อง



รูปที่ 22 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบปกติ

7.2. กลุ่มทดลองที่ 2 กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training; HIIT) เป็นกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) (ภาคผนวก ป) ประกอบด้วยการฝึกซ้อม ดังนี้

1) การฝึกด้วยรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous cycling training 1; C1) คือ การฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำแบบต่อเนื่อง

ความหนักของการฝึก ระดับต่ำกว่าช่วงที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) หรือประมาณ 55 – 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ซึ่งเป็นค่าเฉพาะบุคคลที่ประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (รูปที่ 21)

ปริมาณการฝึก ระยะเวลา 120 นาที

ความถี่การฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์

2) การฝึกด้วยรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous cycling training 2; C2) คือ การฝึกปั่นจักรยานความหนักปานกลางแบบต่อเนื่อง

ความหนักของการฝึก ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) ถึงระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (VT_2) หรือประมาณ 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ซึ่งเป็นค่าเฉพาะบุคคลที่ประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (รูปที่ 21)

ปริมาณการฝึก ระยะเวลา 75 นาที

ความถี่การฝึก 4 ครั้งต่อสัปดาห์

3) โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) โดยการฝึกปั่นจักรยานด้วยจักรยานโมนาร์กที่ดัดแปลงบันไดถีบและเบาะนั่ง ควบคุมความเร็วในการปั่นจักรยานที่ 90 รอบต่อนาที (รูปที่ 23)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความหนักของการฝึก ช่วงออกกำลังกายหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 4 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 2 นาที

ปริมาณการฝึก 4 เซต (ระยะเวลา 24 นาที)

ความถี่การฝึก 2 วันต่อสัปดาห์

โดยมีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกายรูปแบบ HIIT ดังนี้

1) อบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยาน 10 นาที โดยใช้ความเร็วในการปั่นจักรยานที่ 90 รอบต่อนาที และใช้ความหนัก ดังนี้

1.1) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 25 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 6 นาที

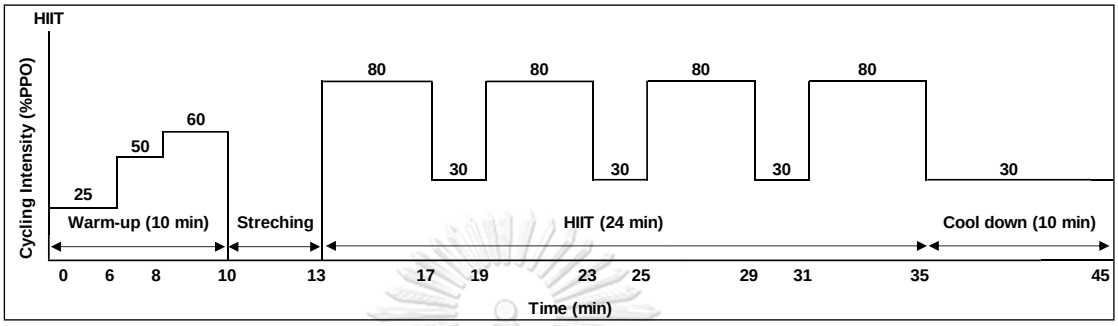
1.2) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที

1.3) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที

2) ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 3 นาที

3) ฝึกปั่นจักรยานตามโปรแกรมการฝึก โดยบันทึกอัตราการเต้นหัวใจตลอดช่วงการฝึก

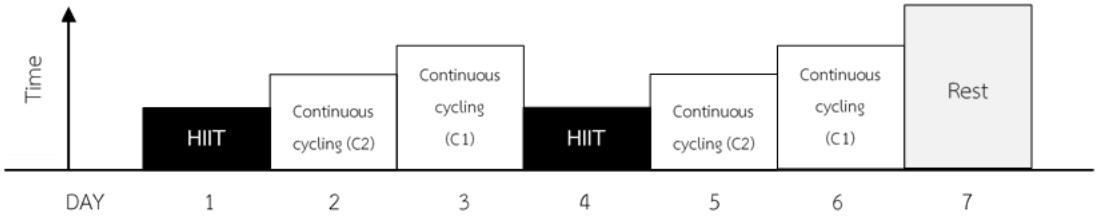
4) คลายอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 10 นาที



รูปที่ 23 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มที่ 2 ที่มีการฝึกปั่นจักรยานด้วยโปรแกรมการฝึก C1 C2 และ HIIT (รูปที่ 24) สำหรับการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติด้วยโปรแกรมการฝึก C1 และ C2 สัปดาห์ละ 4 วัน ทำการฝึกซ้อมที่สนามลู่ปั่นจักรยานเจริญสุขมงคลจิตหรือสถานที่ฝึกซ้อมประจำของนักกีฬา โดยผู้วิจัยหรือผู้ฝึกสอนทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อม ซึ่งผู้วิจัยได้พูดคุยทำความเข้าใจกับผู้ฝึกสอนถึงโปรแกรมการฝึกตามโครงการวิจัยที่ถูกต้อง สำหรับการฝึก HIIT สัปดาห์ละ 2 วัน ทำการฝึกซ้อมปั่นจักรยานด้วยจักรยานโมนาร์กที่ดัดแปลงบันไดถีบและเบาะนั่ง ที่ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยผู้วิจัยทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อมและให้การดูแลอย่างใกล้ชิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 24 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

7.3. กลุ่มทดลองที่ 3 กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High–intensity interval training combined with blood flow restriction; HIIT+BFR) เป็นกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) (ภาคผนวก ผ) ประกอบด้วยการฝึกซ้อม ดังนี้

1) การฝึกด้วยรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous cycling training 1; C1) คือ การฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำแบบต่อเนื่อง

ความหนักของการฝึก ระดับต่ำกว่าช่วงที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) หรือประมาณ 55 – 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ซึ่งเป็นค่าเฉพาะบุคคลที่ประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (รูปที่ 21)

ปริมาณการฝึก ระยะเวลา 120 นาที

ความถี่การฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์

2) การฝึกด้วยรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous cycling training 2; C2) คือ การฝึกปั่นจักรยานความหนักปานกลางแบบต่อเนื่อง

ความหนักของการฝึก ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1) ถึงระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (VT_2) หรือประมาณ 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ซึ่งเป็นค่าเฉพาะบุคคลที่ประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (รูปที่ 21)

ปริมาณการฝึก ระยะเวลา 75 นาที

ความถี่การฝึก 4 ครั้งต่อสัปดาห์

3) โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) (รูปที่ 25)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความหนักของการฝึกรอบที่ 1 และ 3 คือ ช่วงออกกำลังกายหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 4 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที

ความหนักของการฝึกรอบที่ 2 และ 4 คือช่วงออกกำลังกายหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 30 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (AOP) เวลา 4 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด คลายแรงดัน (0 มิลลิเมตรปรอท) เวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที

ปริมาณการฝึก 4 เซต (ระยะเวลา 24 นาที)

ความถี่การฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์

โดยมีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกายรูปแบบ HIIT+BFR ดังนี้

1) อบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยาน 10 นาที โดยใช้ความเร็วในการปั่นจักรยานที่ 90 รอบต่อนาที และใช้ความหนัก ดังนี้

1.1) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 25 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 6 นาที

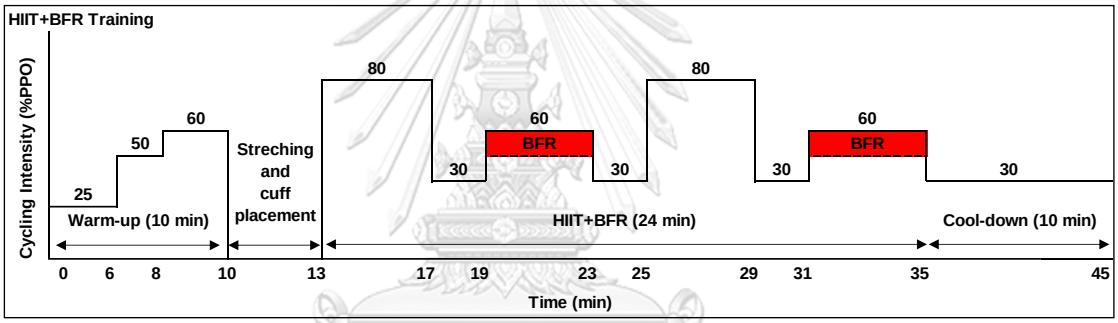
1.2) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที

1.3) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที

2) ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 3 นาที และทำการติดตั้งอุปกรณ์การจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่บริเวณต้นขาทั้งสองข้างในตำแหน่งเดิมของการฝึกทุกครั้ง

3) ฝึกปั่นจักรยานตามโปรแกรมการฝึก โดยบันทึกอัตราการเต้นหัวใจตลอดช่วงการฝึก

4) คลายอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 10 นาที



รูปที่ 25 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก่อนการฝึกผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการทดสอบค่าความดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิต โดยผู้วิจัยทำการวัดค่าความดันของหลอดโลหิตแดงขณะถูกปิดกั้นอย่างสมบูรณ์ขณะพัก (Passive arterial occlusion pressure; AOP) ให้กับผู้เข้าร่วมวิจัย โดยใช้แถบสายรัด (Cuff) ที่เป็นอุปกรณ์ในการฝึกพันบริเวณต้นขา และทำการวัดความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพักของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก โดยการใช้เครื่องอัลตราซาวน์ (Ultrasound machine) และหัวตรวจ (Doppler probe transducers) บันทึกค่าความดันที่วัดได้ (Laurentino et al., 2012; Corvino et al., 2017) จากนั้น นำค่าความดันที่ใช้ในการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตอย่างสมบูรณ์ (100%AOP) คำนวณเป็นค่าความดันในการปิดกั้นที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก เพื่อใช้เป็นความดันในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตขณะทำการฝึกออกกำลังกาย (ภาคผนวก ฝ)

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ค่าความดัน (Cuff pressure) ขณะทำการฝึกปั่นจักรยาน 30%AOP ในช่วงผ่อนคลาย (Relax state) มีค่าเฉลี่ย (Mean±SD) เท่ากับ 75±2.49 มิลลิเมตรปรอท และช่วงออกแรง (Contracting) มีค่าเฉลี่ย (Mean±SD) เท่ากับ 106±3.06 มิลลิเมตรปรอท ดังนั้นมีค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของช่วงผ่อนคลายและช่วงออกแรงเท่ากับ 91±2.48 มิลลิเมตรปรอท

การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มที่ 3 ที่มีการฝึกปั่นจักรยานด้วยโปรแกรมการฝึก C1 C2 และ HIIT+BFR (รูปที่ 26) สำหรับการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติด้วยโปรแกรมการฝึก C1 และ C2 ทำการฝึกซ้อมที่สนามลู่ปั่นจักรยานเจริญสุขมงคลจิต โดยผู้วิจัยหรือผู้ฝึกสอนทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อม ซึ่งผู้วิจัยได้พูดคุยทำความเข้าใจกับผู้ฝึกสอนถึงโปรแกรมการฝึกตามโครงการวิจัยที่ถูกต้อง (รูปที่ 21) สำหรับการฝึก HIIT+BFR ทำการฝึกซ้อมปั่นจักรยานด้วยจักรยานโมนาร์กที่ดัดแปลงบันไดถีบและเบาะนั่ง ที่ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยผู้วิจัยทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อมและให้การดูแลอย่างใกล้ชิด

รูปที่ 26 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยมาทำการทดสอบหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการตรวจวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังข้อ 6

9. นำข้อมูลของตัวแปรที่ได้มาเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติ

10. แจ้งผลการวิเคราะห์สมรรถภาพทางร่างกาย และค่าสารชีวเคมีในเลือดต่าง ๆ พร้อมทั้งให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและแนะนำในการปฏิบัติตัวแก่ผู้เข้าร่วมวิจัยต่อไป แต่หากพบความผิดปกติ ผู้วิจัยจะแนะนำให้ปรึกษาแพทย์และบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการตรวจวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ จำนวน 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย ในแต่ละครั้งทำการเก็บข้อมูล 2 วัน โดยมีระยะห่างกันแต่ละวันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล มีดังนี้ (รูปที่ 27)

1. การทดสอบวันที่ 1 ทดสอบค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

การทดสอบวันที่ 1 ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการทดสอบตั้งแต่เวลา 07.30 น. เป็นต้นไป ใช้เวลาการทดสอบรวมกับเวลาพักรับประทานอาหารเช้า ประมาณ 6 ชั่วโมง ตามลำดับแปรต่าง ๆ ดังนี้

1.1. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการนัดหมายให้งดอาหารภายหลัง 20.00 น. ก่อนวันทดสอบ และให้มาทำการเจาะเลือดในเวลา 07.30 น. ที่คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำการเจาะเลือด 1 ครั้ง ประมาณ 15 มิลลิลิตร ใช้เวลาประมาณ 15 นาที

1.2. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการวัดองค์ประกอบของร่างกาย และส่วนสูง ที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้เวลาในการทดสอบ 15 นาที

1.3. วัดค่าตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจขณะพักและความดันโลหิต ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 10 นาที

1.4. ผู้เข้าร่วมวิจัยรับประทานอาหารเช้า ใช้เวลาประมาณ 30 นาที และพัก 90 นาที ก่อนเริ่มทำการทดสอบตัวแปรด้านอื่น ๆ ต่อไป

1.5. วัดโครงสร้างของกล้ามเนื้อขา ได้แก่ เส้นวงของขา ความหนาของกล้ามเนื้อ และขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris) และวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) ใช้เวลาในการทดสอบ 20 นาที

1.6. วัดความหนาของผนังหลอดเลือด (IMT) ใช้เวลาในการทดสอบ 15 นาที

1.7. วัดการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ที่บริเวณหลอดเลือดแดงเบรเคียลใช้เวลาในการทดสอบ 15 นาที จากนั้นนอนพัก 15 นาที และทำการวัดการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนที่บริเวณหลอดเลือดแดงพอพลิเตียลใช้เวลาในการทดสอบ 15 นาที

1.8. วัดความแข็งของหลอดเลือดแดง (Arterial stiffness) ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 15 นาที

1.9. วัดการไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง (Cutaneous blood flow) ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 20 นาที

1.10. วัดสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) ด้วยการปั่นจักรยานแบบขั้นที่มีการเพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ จนเหนื่อยหมดแรงเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 45 นาที หลังจากนั้นพัก 15 นาที

1.11. วัดความทนต่อการเมื่อยล้า (Time to fatigue) ใช้เวลาในการทดสอบ 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

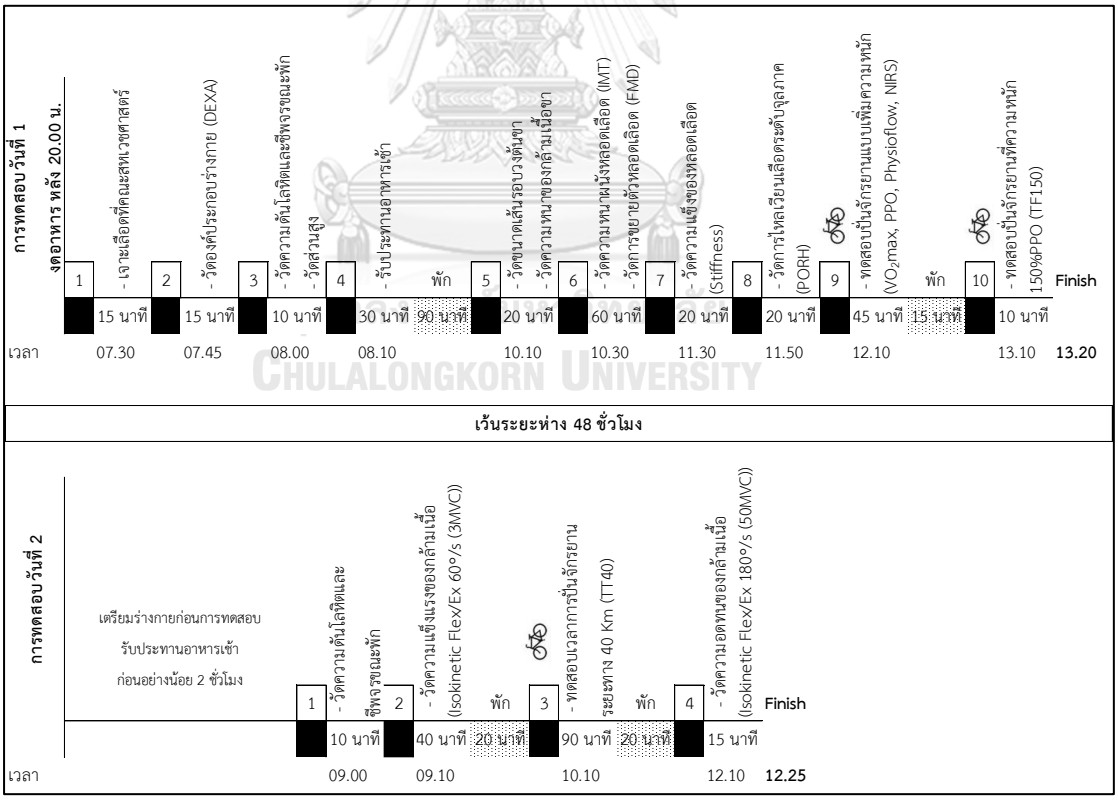
2. การทดสอบวันที่ 2 ทดสอบตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

การทดสอบวันที่ 2 ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการทดสอบตั้งแต่เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป แนะนำให้ผู้เข้าร่วมวิจัยรับประทานอาหารก่อนมาทดสอบอย่างน้อย 2 – 3 ชั่วโมง การทดสอบใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 30 นาที ทำการตรวจวัดความดันโลหิตและชีพจรขณะพักประเมินในอยู่ในเกณฑ์ปกติจึงเริ่มทำการทดสอบตัวแปรต่าง ๆ ตามลำดับดังนี้

2.1. วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และงอเข่า (Knee flexion) ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นทำการพักเป็นเวลา 20 นาที

2.2. วัดความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ร่วมกับการวัดปริมาณความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที หลังจากนั้นทำการพักเป็นเวลา 20 นาที

2.3. วัดความอดทนของกล้ามเนื้อขาในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และงอเข่า (Knee flexion) ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 10 นาที



รูปที่ 27 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อพิจารณาด้านจริยธรรม

1. การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย โดยผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยภายหลังการอธิบายรายละเอียด พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการทำวิจัยด้วยความสมัครใจ ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะให้ข้อมูลอย่างครบถ้วน จนผู้ที่ได้รับเชิญให้เข้าร่วมในการวิจัยเข้าใจเป็นอย่างดี และตัดสินใจอย่างอิสระในการให้ความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย เคารพ ในการเก็บรักษาความลับของอาสาสมัคร โดยในแบบบันทึกข้อมูลจะไม่มีการระบุชื่อที่จะระบุถึงตัวอาสาสมัคร ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวอาสาสมัครได้จะไม่ปรากฏในรายงาน ยกเว้นว่าจะได้รับความยินยอมจากอาสาสมัคร และข้อมูลจะถูกเก็บไว้เป็นความลับเฉพาะคณะผู้วิจัย ผู้กำกับดูแลการวิจัย ผู้ตรวจสอบ และคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรม และจะเปิดเผยผลการวิจัยในภาพรวม

การตอบรับหรือการปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้จะไม่มีผลต่อผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถแจ้งออกจากการศึกษาได้ก่อนที่การวิจัยจะสิ้นสุดลง โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผลหรือคำอธิบายใด ๆ ข้อมูลทุกอย่างจะถือเป็นความลับและนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น ผลการวิจัยจะเสนอในภาพรวม หากผู้เข้าร่วมวิจัยมีข้อสงสัยเกี่ยวกับโครงการวิจัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบอย่างรวดเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. การดูแลช่วยเหลือผู้ที่ไม่ผ่านการคัดกรอง

ในการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า และอยู่ในสภาวะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ผู้วิจัยจะรายงานผลเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและการฝึกออกกำลังกาย หรือแนะนำให้ปรึกษาบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป และจะได้รับค่าเดินทางตอบแทนในการเข้าร่วมคัดกรอง

3. อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ในการเจาะเลือดอาจมีอาการเจ็บหรือเขียวช้ำเล็กน้อยบริเวณที่เจาะ ผู้วิจัยจะแนะนำให้พักการใช้บริเวณนั้น และทำการประคบด้วยความเย็น การฝึกด้วยอุปกรณ์สายรัดอาจมีอาการข้างเคียง คือ มีอาการล้ากล้ามเนื้อหรือชาขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะสอบถามผู้เข้าร่วมวิจัยเกี่ยวกับอาการที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ถ้าอาการดังกล่าว

เป็นมากจนไม่สามารถทนไหวจะหยุดการบีบรัด โดยปกติอาการดังกล่าวจะหายไปภายหลังจากหยุดการบีบรัดสายรัด แต่หากอาการนั้นยังคงอยู่ผู้วิจัยจะทำการประคบเย็น ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ หรือนวด โดยทำการดูแลจนกว่าอาการนั้นจะดีขึ้น หากอาการนั้นยังไม่ดีขึ้นจะพาไปพบแพทย์

ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการฝึกออกกำลังกายโดยจัดอันดับการฝึกออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อย ๆ ปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคล โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะฝึกออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ภายหลังการฝึกออกกำลังกายในช่วงแรกอาจมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเป็นอาการปกติของผู้เริ่มฝึกออกกำลังกายที่มีความหนักเพิ่มมากขึ้นจากปกติ ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอุ่นร่างกาย การคลายอุ่นร่างกาย และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพื่อที่จะลดอาการดังกล่าว ในการฝึกด้วยอุปกรณ์สายรัดนั้น ผู้วิจัยจะคอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยและป้องกันอาการดังกล่าว โดยมีการควบคุมแรงดันของการบีบรัดสายรัดตลอดการฝึก ไม่ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยฝึกจนกระทั่งเกิดสภาวะผิดปกติรุนแรง ซึ่งหากเกิดภาวะความผิดปกติดังกล่าวจะให้หยุดการฝึกและให้การช่วยเหลือในทันที

4. การดูแลช่วยเหลือหากเกิดการบาดเจ็บขณะออกกำลังกาย

หากพบว่ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นทั้งในขณะทดสอบและการฝึกออกกำลังกาย ถ้ากรณีไม่ฉุกเฉิน จะให้การปฐมพยาบาลเพื่อบรรเทาอาการให้หายสู่ภาวะปกติโดยเร็ว หากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินวิกฤตที่ไม่สามารถช่วยเหลือได้ จะให้การปฐมพยาบาลเบื้องต้น โทรศัพท์ติดต่อสายด่วน 1669 หรือรีบนำส่งโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย โดยรถยนต์ที่จัดเตรียมไว้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะรับผิดชอบการส่งต่อและค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลที่เกิดขึ้น และหากผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับความผิดปกติเนื่องจากการเข้าร่วมการวิจัย และแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิสูจน์ได้ว่าเป็นผลจากการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับความคุ้มครองตามกฎหมาย และจะได้รับการรักษาจนกว่าจะหาย ทั้งนี้ผู้วิจัยจะแจ้งต่อคณะกรรมการวิจัยและความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมวิจัย

วิธีป้องกันการปนเปื้อนของแต่ละกลุ่ม และวิธีการไม่ให้มีการฝึกนอกเหนือจากโปรแกรม

ก่อนดำเนินการวิจัยผู้วิจัยจะชี้แจงรายละเอียดของโครงการวิจัย การปฏิบัติตัวขณะเข้าร่วมโครงการวิจัยแก่ผู้เข้าร่วมวิจัยของแต่ละกลุ่ม และเน้นย้ำการฝึกออกกำลังกายที่เฉพาะกลุ่มของตน นอกจากนี้ผู้วิจัยจะแจ้งแก่ผู้เข้าร่วมวิจัยว่า ในระหว่างการวิจัยให้งดกิจกรรมการฝึกออกกำลังกายประเภทอื่น ๆ และงดเข้าร่วมโครงการวิจัยฝึกออกกำลังกายอื่น ๆ หากไม่แน่ใจให้สอบถามผู้วิจัยก่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การนำไปใช้ประโยชน์ของโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย หากพบว่าได้ผลดี

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้ของการเกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการฝึกออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อเสริมสร้างสุขภาพทางกายให้แข็งแรง และมีความสามารถทางกีฬาจักรยานที่ดีขึ้น ผลจากการวิจัยนี้จะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับนักกีฬาจักรยานประเภทถนน หรือประเภทอื่น ๆ ที่ต้องใช้ความอดทนในผู้ที่มีอายุเพิ่มมากขึ้น สำหรับกลุ่มการฝึกแบบปกติที่ไม่ได้ออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น หากได้ผลดีผู้วิจัยจะจัดเวลาให้ความรู้ คำแนะนำตลอดจนฝึกปฏิบัติให้สามารถเข้าใจ และนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23

2. ทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normality) ของตัวแปรตาม โดยใช้วิธีการทดสอบซาฟิโรวิลค์ (Shapiro–Wilk test) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

3. วิเคราะห์โดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error of measurement; SEM) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึกของแต่ละกลุ่ม และระหว่างกลุ่มการทดลอง 3 กลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ [Two–way ANOVA with repeated measures (3x2: Group x Times)] หากพบความแตกต่างจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ ด้วยวิธีการทดสอบแบบแอลเอสดี (LSD method) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. วิคราะห์หาความสัมพันธ์โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยเรื่องนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูล และนำมาวิเคราะห์ผลตามระเบียบวิธีทางสถิติแล้วจึงนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางประกอบความเรียงและแผนภูมิ โดยแบ่งการนำเสนอ ดังนี้

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสรีรวิทยาพื้นฐานระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกและการไหลเวียนโลหิตระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านความสามารถทางกีฬาจักรยานระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตอนที่ 7 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสรีรวิทยาทั่วไประหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบสรีรวิทยาทั่วไปของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
ประสบการณ์การแข่งขัน (ปี)	6.89		6.06		5.59					
	(5.52, 8.23)		(4.74, 7.38)		(4.27, 6.91)					
อายุ (ปี)	41.52±1.02		41.68±0.99		39.65±0.99					
	(39.48, 43.56)		(39.70, 43.66)		(37.67, 41.63)					
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	171.51±1.28		172.32±1.24		174.24±1.24					
	(168.94, 174.08)		(169.82, 174.81)		(171.74, 176.73)					
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	67.21±1.56	66.14±1.47*	67.59±1.52	67.51±1.42	69.97±1.56	70.14±1.47	0.225	0.263	0.139	0.082
	(64.06, 70.35)	(63.19, 69.10)	(64.54, 70.64)	(64.65, 70.38)	(66.83, 73.11)	(67.19, 73.10)				
ดัชนีมวลกาย	22.85±0.47	22.48±0.5*	22.72±0.46	22.70±0.46	23.25±0.47	23.30±0.44	0.144	0.432	0.213	0.064
(กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	(21.89-23.80)	(21.59-23.37)	(21.79-23.64)	(21.83-23.55)	(22.29-24.20)	(22.42-24.19)				

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

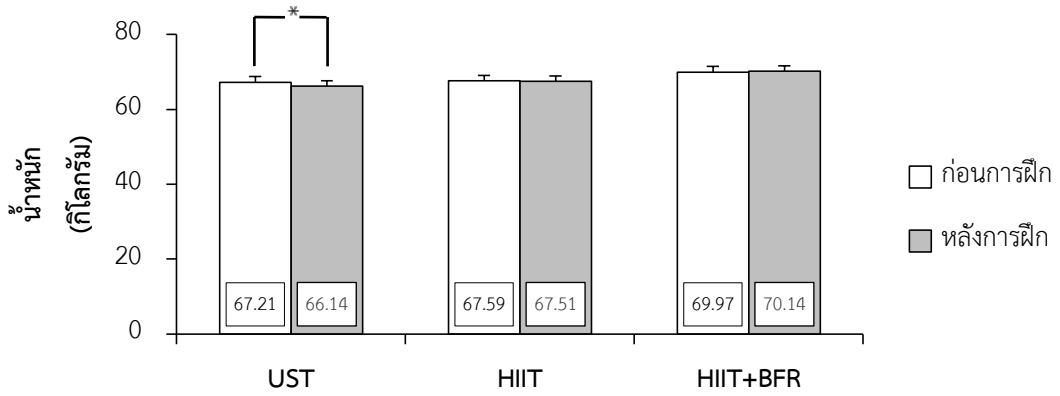
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 4 และรูปที่ 28 – 29 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบสรีรวิทยาทั่วไปของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยประสบการณ์การแข่งขัน อายุ ส่วนสูง ที่ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักและดัชนีมวลกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มอื่นไม่พบความแตกต่าง

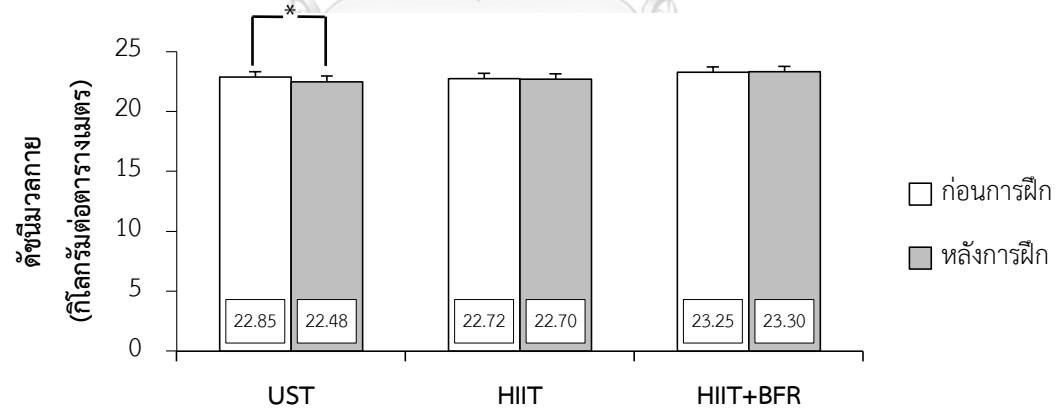
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า น้ำหนัก และดัชนีมวลกาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของดัชนีมวลกายระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความดันโลหิตของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านความดันโลหิต	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	เวลาและกลุ่ม
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	
อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที)	59.10±2.14 (54.73, 63.48)	57.80±1.69 (54.34, 61.25)	56.90±2.14 (52.53, 61.28)	55.80±1.69 (52.24, 59.26)	58.92±1.95 (54.92, 62.91)	56.67±1.54 (53.51, 59.82)	0.063	0.699	0.814	0.014
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	117.85±2.85 (112.09, 123.60)	115.15±2.59 (109.93, 120.38)	117.75±2.57 (112.56, 122.94)	116.44±2.33 (111.73, 121.15)	119.19±2.57 (113.99, 124.38)	116.75±2.33 (112.04, 121.46)	0.066	0.908	0.868	0.007
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	72.62±2.19 (68.20, 77.03)	71.77±1.73 (68.28, 75.26)	71.65±1.92 (67.78, 75.51)	71.77±1.51 (68.71, 74.82)	71.81±1.98 (67.83, 75.80)	70.50±1.56 (67.36, 73.65)	0.551	0.898	0.861	0.007
ความดันหลอดเลือดแดงเฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	88.62±2.55 (83.45, 93.78)	86.69±1.99 (82.67, 90.71)	86.80±2.38 (81.99, 91.61)	85.20±1.85 (81.46, 88.94)	87.60±2.38 (82.79, 92.41)	85.73±1.85 (82.79, 89.48)	0.101	0.843	0.991	0.000

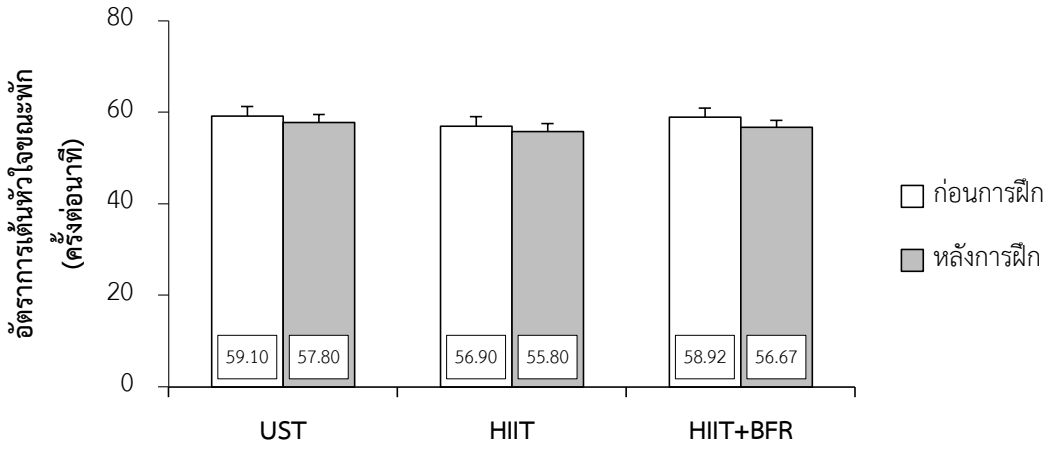
แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

จากตารางที่ 5 และรูปที่ 30 – 33 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความดันโลหิตของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

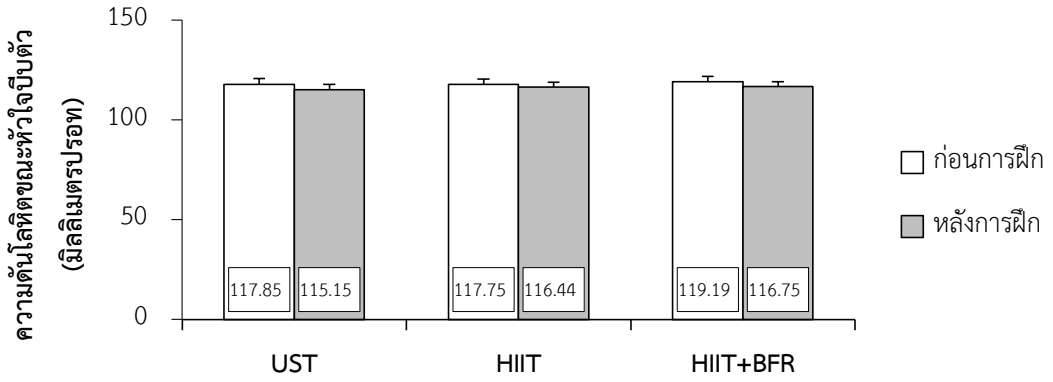
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว และความดันหลอดเลือดแดงเฉลี่ย ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว และความดันความดันหลอดเลือดแดงเฉลี่ย ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

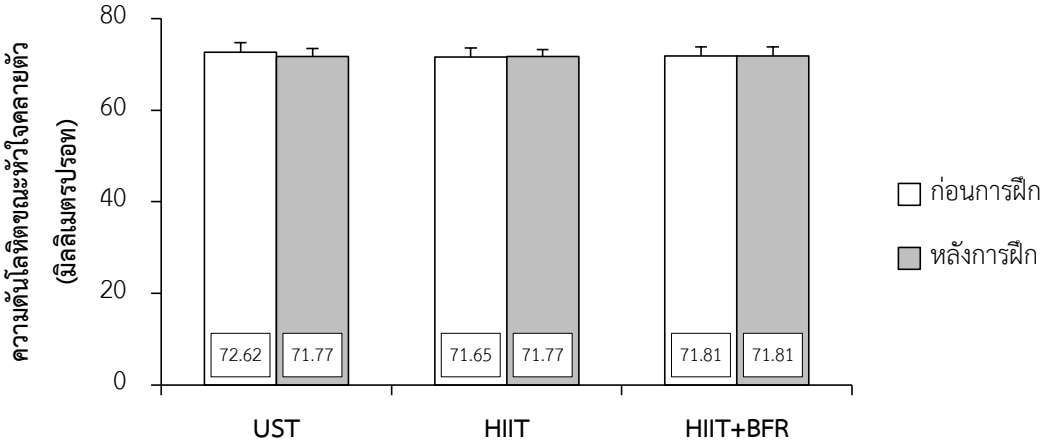
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



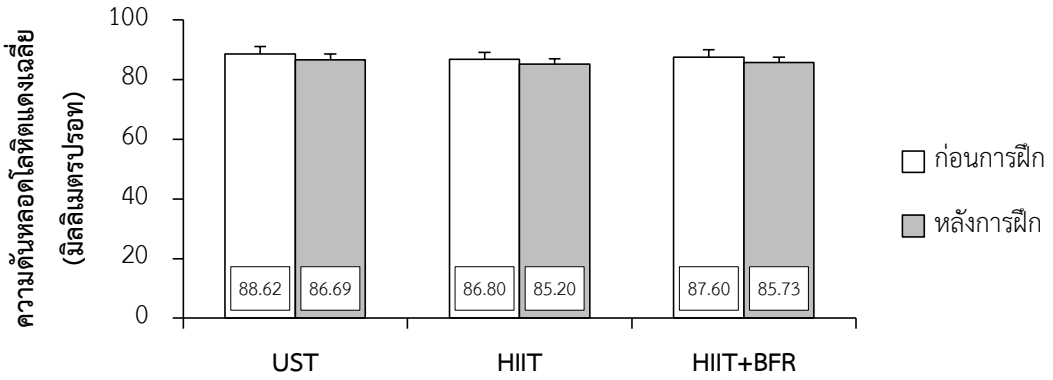
รูปที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันหลอดโลหิตแดงเฉลี่ยระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบองค์ประกอบร่างกายของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านองค์ประกอบร่างกาย	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา (*p*-value)	กลุ่ม (*p*-value)	กลุ่ม*เวลา (*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก				
ไขมันร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	20.14±1.07 (17.98, 22.30)	19.86±1.00 (17.84, 21.86)	18.67±1.00 (16.66, 20.68)	18.27±0.93 (16.40, 20.14)	19.28±0.96 (17.34, 21.23)	18.09±0.90* (16.28, 19.90)	0.040	0.491	0.390	0.045
มวลไขมันร่างกาย (กิโลกรัม)	13.86±0.92 (12.02, 15.71)	13.47±0.82 (11.83, 15.12)	11.89±0.89 (10.10, 13.68)	11.95±0.79 (10.36, 13.55)	13.64±0.89 (11.85, 15.42)	12.58±0.79* (10.98, 14.17)	0.084	0.315	0.213	0.064
มวลกล้ามเนื้อร่างกาย (กิโลกรัม)	51.16±1.04 (49.07, 53.26)	50.54±1.02* (48.48, 52.61)	52.28±1.01 (50.26, 54.31)	52.18±0.99 (50.18, 54.17)	53.73±1.04 (51.63, 55.82)	54.87.±1.02*† (52.81, 56.93)	0.340	0.067	0.000	0.377
ไขมันรยางค์ขา (เปอร์เซ็นต์)	18.97±0.84 (17.29, 20.68)	18.98±0.82 (17.32, 20.64)	17.54±0.79 (15.96, 19.13)	17.08±0.77 (15.53, 18.62)	17.63±0.77 (16.04, 19.21)	16.77±0.77 (15.23, 18.32)	0.105	0.205	0.451	0.036
มวลไขมันรยางค์ขา (กิโลกรัม)	4.16±0.23 (3.71, 4.62)	4.09±0.21 (3.65, 4.53)	3.94±0.21 (3.51, 4.36)	3.86±0.21 (3.45, 4.27)	4.07±0.21 (3.64, 4.50)	3.86±0.21 (3.44, 4.27)	0.103	0.728	0.659	0.019
มวลกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	18.12±0.40 (17.32, 18.93)	17.88±0.42 (17.04, 18.72)	18.02±0.39 (17.24, 18.80)	18.25±0.40 (17.44, 19.07)	18.80±0.39 (18.02, 19.58)	19.12±0.40*† (18.31, 19.94)	0.193	0.185	0.010	0.188
ความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนัง (มิลลิเมตร)	4.27±0.23 (3.80, 4.74)	4.19±0.23 (3.73, 4.65)	4.08±0.22 (3.64, 4.53)	3.98±0.21 (3.55, 4.41)	4.19±0.22 (3.75, 4.64)	4.09±0.21 (3.66, 4.52)	0.004	0.825	0.946	0.002

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

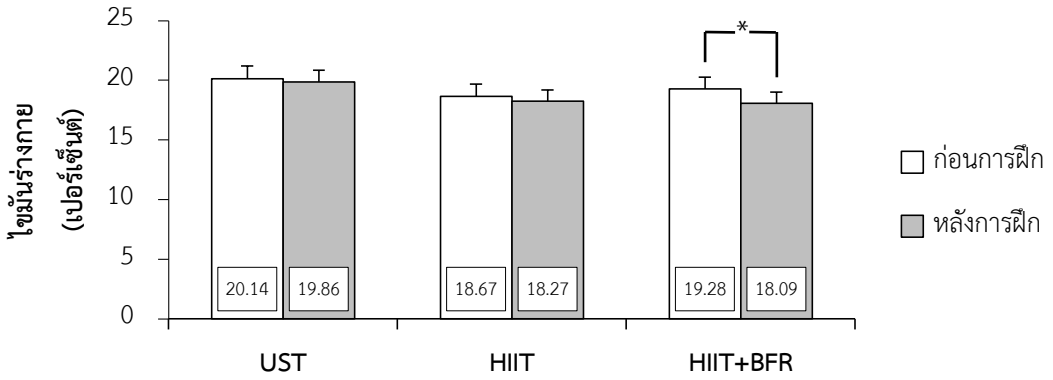
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ

จากตารางที่ 6 และรูปที่ 34 – 40 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบองค์ประกอบร่างกายของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ การฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไขมัน รยางค์ขา มวลไขมันรยางค์ขา และความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนังที่ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) มีค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อร่างกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย และมวลไขมันร่างกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อร่างกายและมวลกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มอื่นไม่พบความแตกต่างภายในกลุ่ม

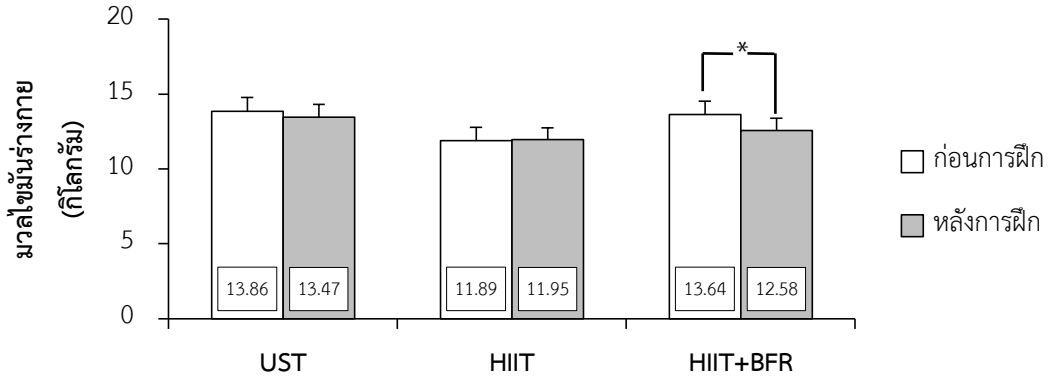
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อร่างกายและมวลกล้ามเนื้อขามากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



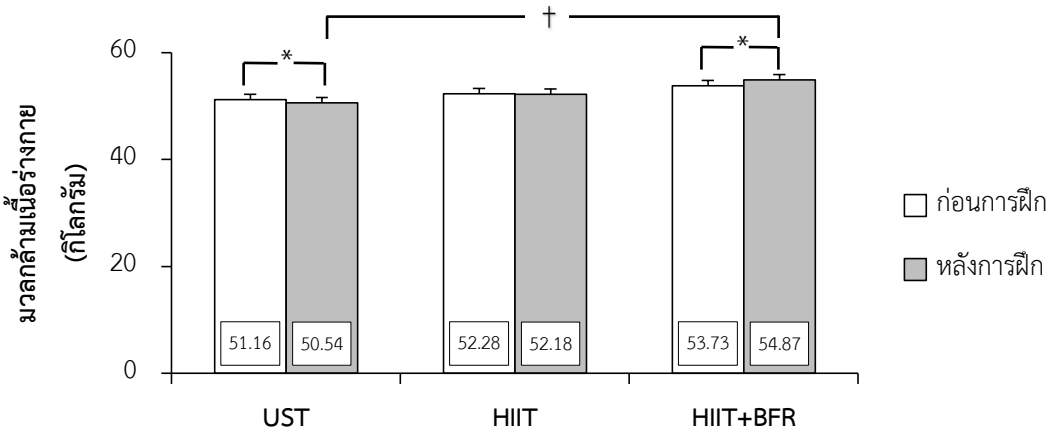
รูปที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไขมันร่างกายระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมวลไขมันร่างกายระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

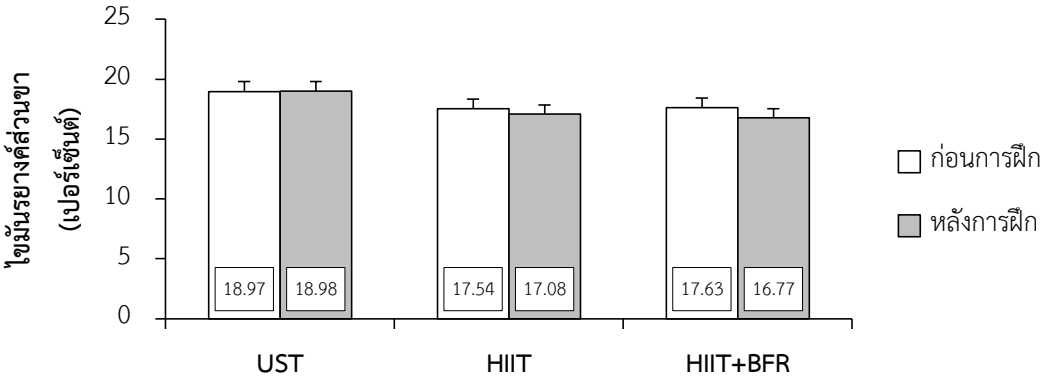
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



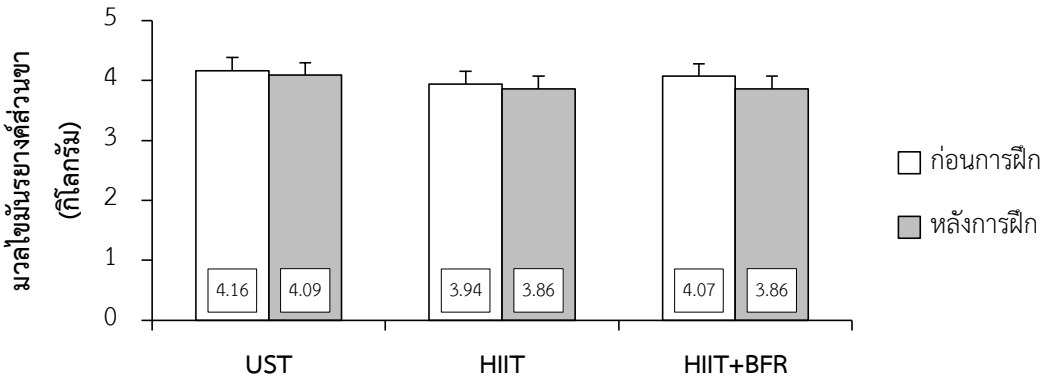
รูปที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมวลกล้ามเนื้อร่างกายระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

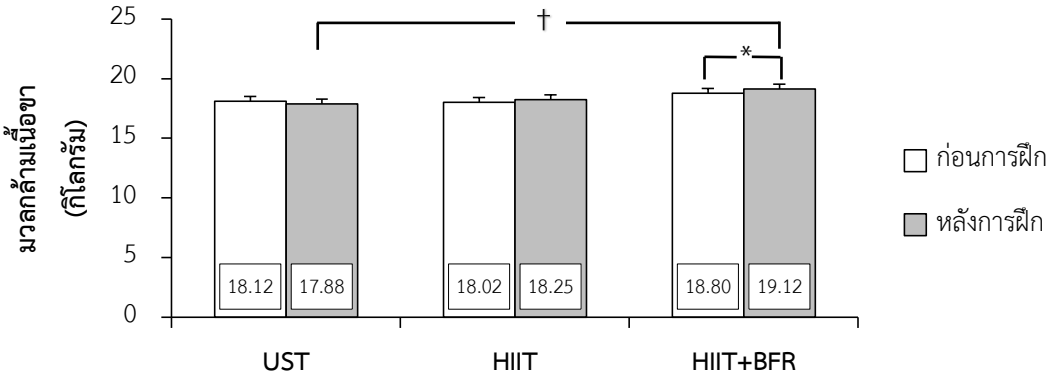
† แตกต่างระหว่างกลุ่มหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไขมันที่รยางค์ส่วนขาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



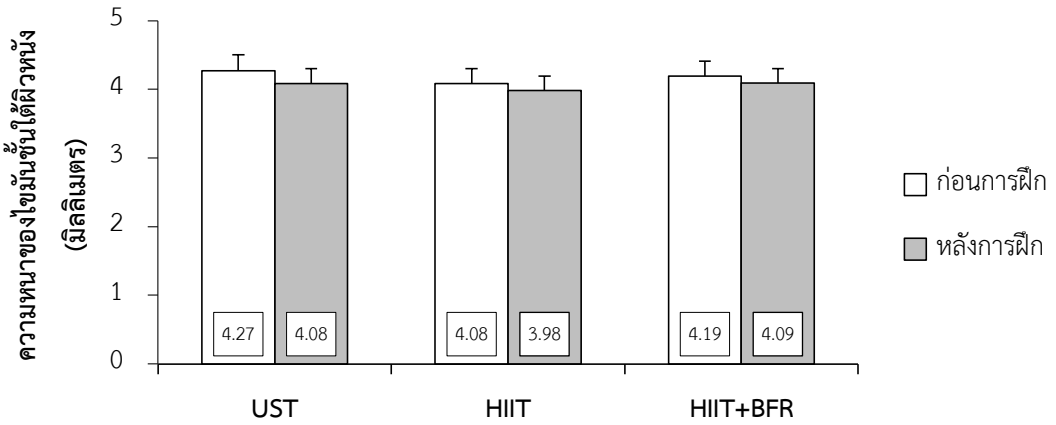
รูปที่ 38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมวลไขมันรยางค์ส่วนขาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมวลกล้ามเนื้อขาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างระหว่างกลุ่มหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนังระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกและการไหลเวียนโลหิตระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบสมรรถภาพทางแอโรบิกในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนขณะพัก (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	5.18±0.24 (4.69, 5.67)	5.40±0.21 (4.97, 5.83)	4.83±0.23 (4.36, 5.30)	5.10±0.20 (4.69, 5.51)	4.75±0.24 (4.26, 5.24)	4.85±0.21 (4.42, 5.28)	0.145	0.204	0.867	0.008
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	55.92±1.33 (53.25, 58.59)	57.91±1.46* (54.97, 60.84)	54.20±1.33 (51.53, 56.87)	58.39±1.46* (55.46, 61.32)	54.51±1.33 (51.84, 57.18)	58.23±1.46* (55.29, 61.16)	0.000	0.936	0.210	0.067
กำลังสูงสุด (วัตต์)	376.50±7.24 (361.89, 391.11)	381.71±7.50 (366.59, 396.84)	380.38±6.78 (366.71, 394.04)	399.44±7.02* (385.29, 413.59)	379.06±6.78 (365.40, 392.73)	405.00±7.02*† (390.85, 419.15)	0.000	0.374	0.003	0.234
ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1	24.71±0.60 (23.51, 25.92)	25.65±0.66* (24.32, 26.98)	25.01±0.56 (23.88, 26.14)	26.38±0.62* (25.13, 27.63)	25.84±0.56 (24.71, 26.97)	26.73±0.62* (25.48, 27.98)	0.000	0.395	0.689	0.016
ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด)	71.14±1.53 (68.04, 74.23)	78.20±1.56* (75.65, 81.98)	70.60±1.59 (67.39, 73.81)	75.83±1.63* (72.55, 79.12)	71.31±1.48 (68.32, 74.30)	76.41±1.51* (73.35, 79.47)	0.000	0.552	0.627	0.024
ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2	30.32±0.69 (28.92, 31.72)	30.76±0.81 (29.12, 32.40)	30.81±0.69 (29.42, 32.21)	31.21±0.81 (29.58, 32.85)	31.76±0.72 (30.31, 33.21)	32.56±0.84 (30.87, 34.26)	0.163	0.245	0.897	0.005
ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด)	92.03±0.92 (90.16, 93.91)	93.00±0.93 (91.10, 94.90)	91.25±1.04 (89.13, 93.36)	92.27±1.05 (90.13, 94.41)	91.80±1.00 (89.77, 93.83)	93.45±1.01 (91.40, 95.50)	0.068	0.736	0.890	0.007

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

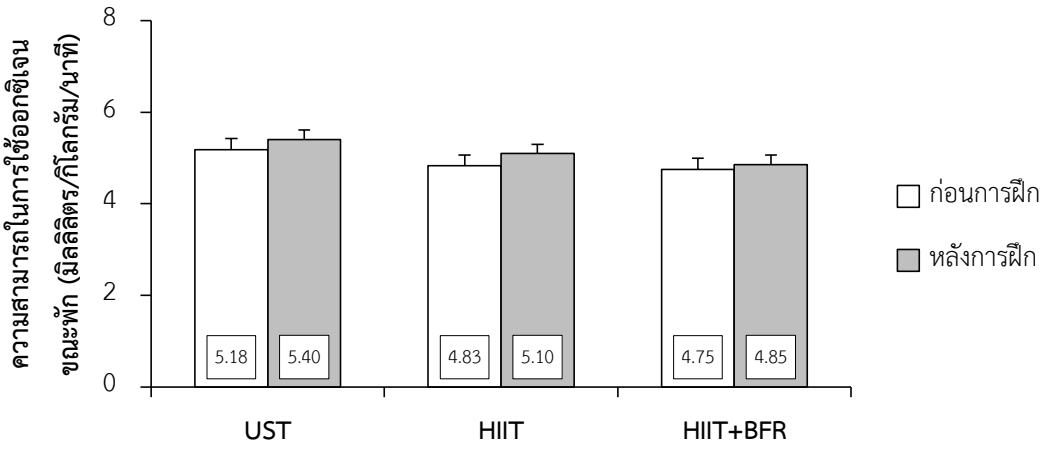
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ

จากตารางที่ 7 และรูปที่ 41 – 47 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบสมรรถภาพทางแอโรบิกของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

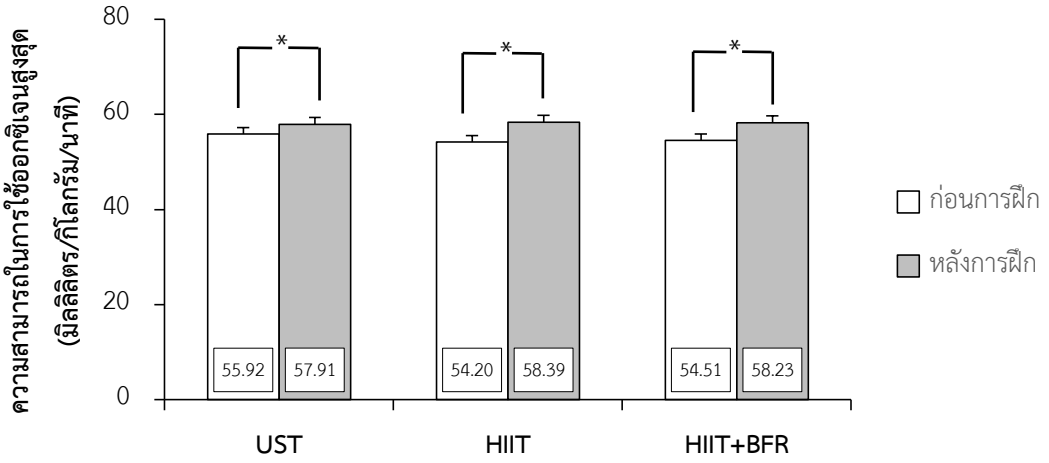
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนขณะพักระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 และเปอร์เซ็นต์ของความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่ทุกกลุ่มมีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 และเปอร์เซ็นต์ของความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่ากำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่พบความแตกต่างภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลัง 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่ากำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

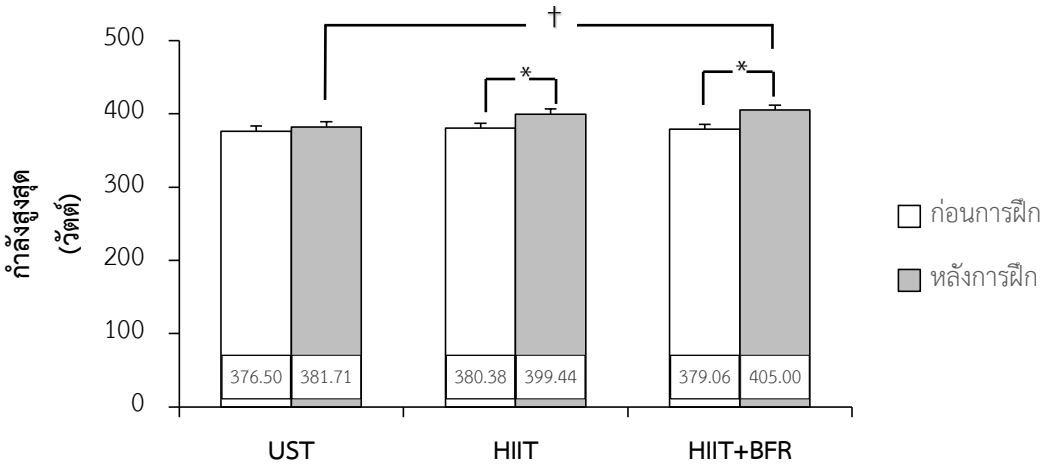


รูปที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการใช้ออกซิเจนขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

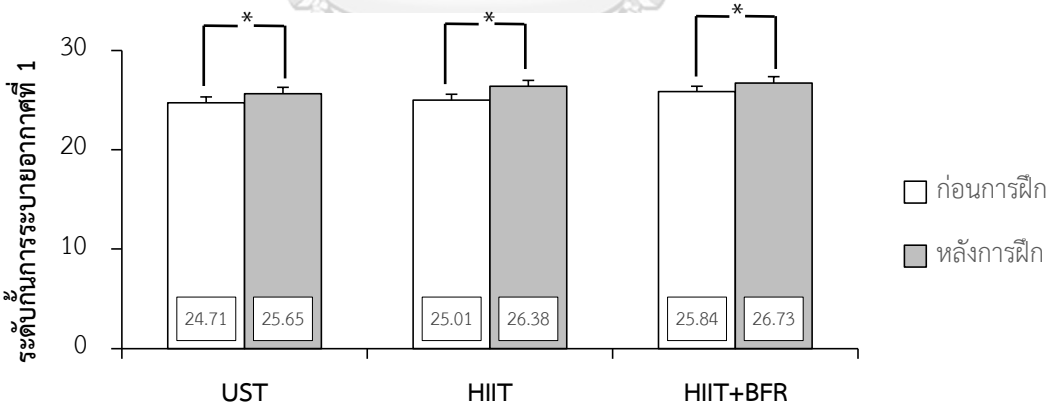
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกำลังสุดสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

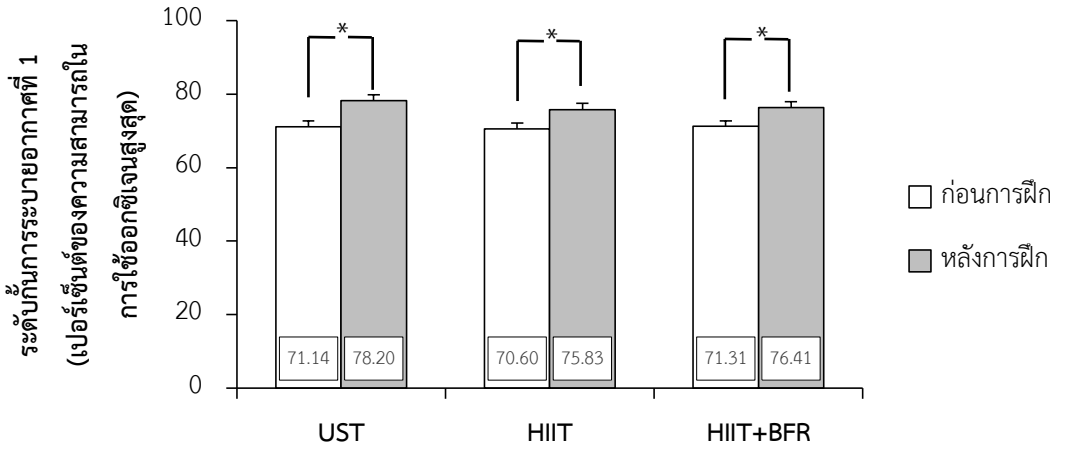
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

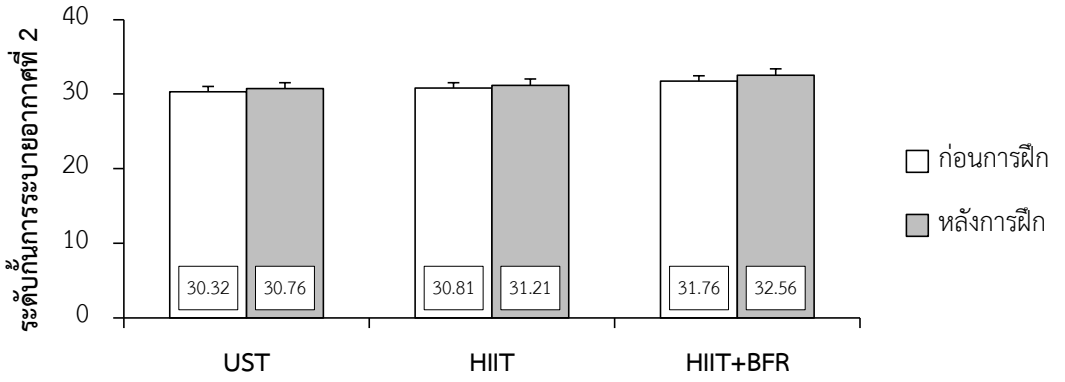


รูปที่ 44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

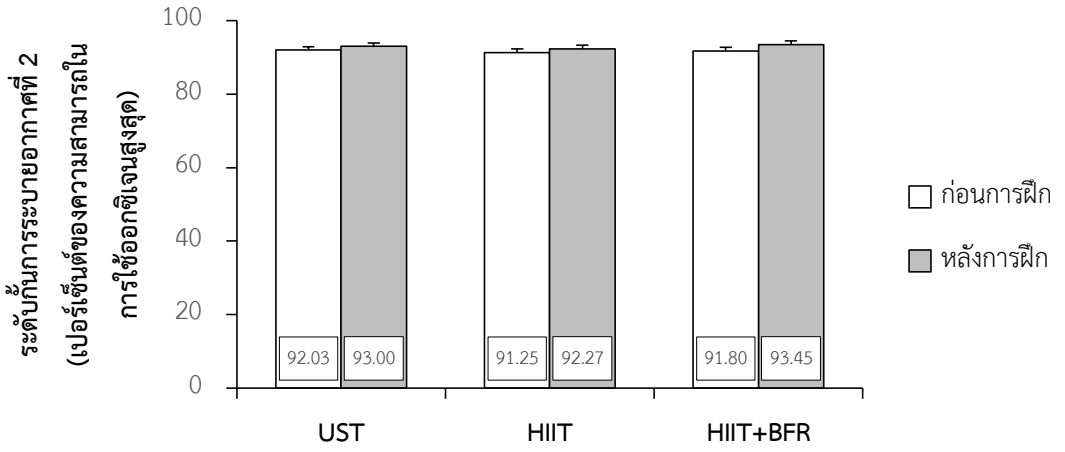
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 46 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 47 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบการไหลเวียนโลหิตขณะพักของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านการไหลเวียนโลหิตขณะพัก	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่มxเวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (มิลลิลิตร)	70.03±2.20 (65.58, 74.48)	71.98±2.27 (67.37, 76.58)	73.35±2.20 (68.90, 77.80)	74.44±2.27 (69.84, 79.05)	74.82±2.05 (70.67, 78.96)	78.17±2.12 (73.88, 82.45)	0.114	0.122	0774	0.013
อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที (มิลลิลิตรต่อนาที)	5.27±0.17 (4.92, 5.62)	5.51±0.25 (5.00, 6.02)	5.39±0.15 (5.10, 5.69)	5.53±0.21 (5.10, 5.96)	5.25±0.17 (4.90, 5.60)	5.57±0.25 (5.06, 6.08)	0.067	0.953	0.820	0.013
ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (มิลลิลิตรต่อเดซิลิตร)	6.35±0.31 (5.72, 6.98)	6.37±0.35 (5.65, 7.08)	6.16±0.30 (5.56, 6.76)	6.19±0.34 (5.51, 6.87)	6.03±0.27 (5.48, 6.59)	6.32±0.31 (5.69, 6.95)	0.603	0.852	0.827	0.011

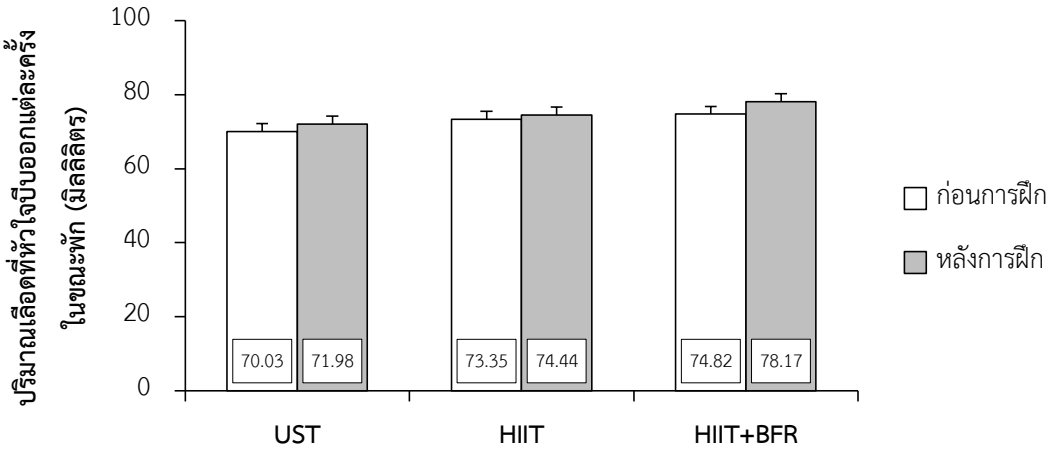
แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

จากตารางที่ 8 และรูปที่ 48 – 50 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบการไหลเวียนโลหิตขณะพักของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

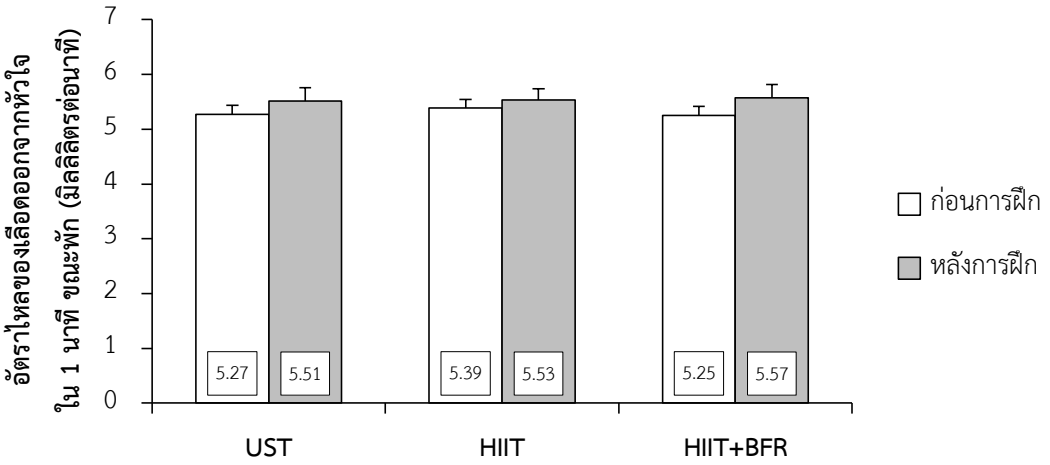
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำขณะพัก ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำขณะพัก ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

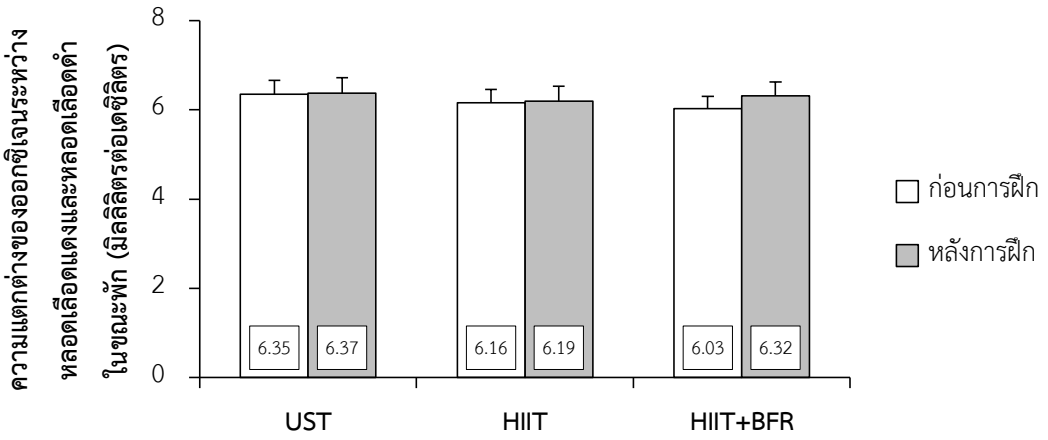
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 48 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 49 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที ขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 50 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดสุด	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)	176.69±2.38 (171.88, 181.51)	177.39±2.12 (173.11, 181.66)	175.36±2.29 (170.72, 180.00)	174.86±2.04 (170.74, 178.98)	176.13±2.12 (171.65, 180.62)	174.80±1.97 (171.65, 178.72)	0.607	0.792	0.534	0.032
ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (มิลลิลิตร)	99.14±4.75 (89.47, 108.82)	110.88±4.95* (100.80, 120.96)	105.16±3.59 (97.85, 112.48)	113.44±3.74* (105.82, 121.06)	107.81±3.72 (100.22, 115.40)	114.10±3.88* (106.20, 122.01)	0.000	0.610	0.197	0.097
อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (มิลลิลิตรต่อนาที)	17.73±0.91 (15.87, 19.59)	19.82±1.00* (17.79, 21.86)	18.30±0.69 (16.89, 19.70)	19.63±0.75* (18.09, 21.17)	18.84±0.78 (17.25, 20.42)	19.89±0.85* (18.15, 21.62)	0.000	0.881	0.151	0.119
ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำสูงสุด (มิลลิลิตรต่อเดซิลิตร)	20.82±0.86 (19.06, 22.57)	20.79±0.91 (18.94, 22.65)	19.12±1.10 (16.89, 21.36)	20.61±1.16 (18.24, 22.98)	20.25±0.93 (18.34, 22.16)	21.98±0.99* (19.96, 24.00)	0.011	0.660	0.121	0.135

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

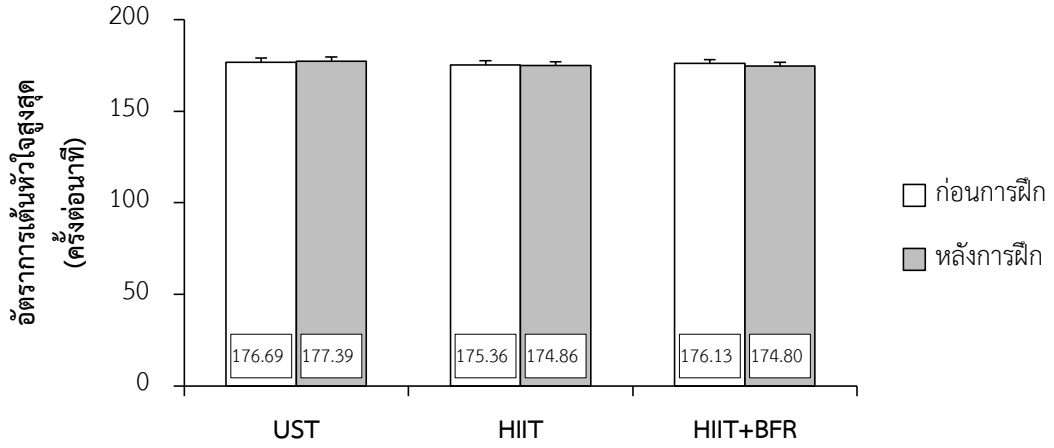
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 9 และรูปที่ 51 – 54 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

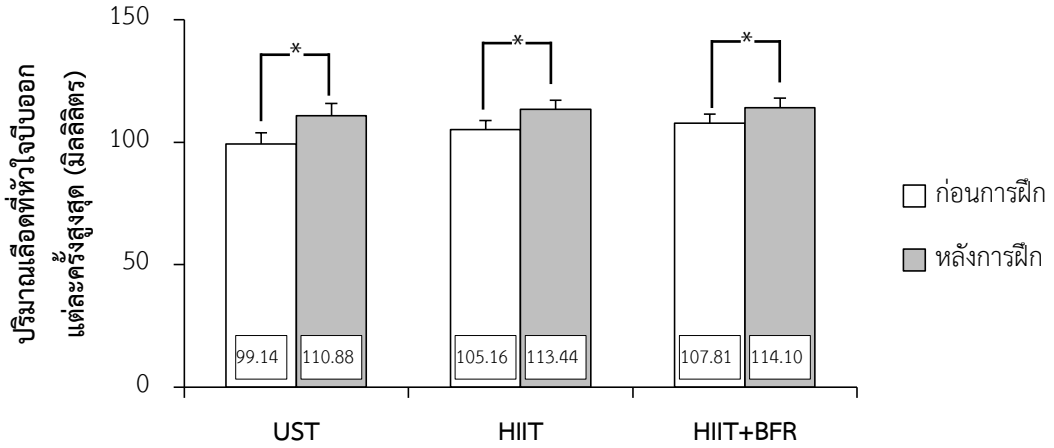
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่มีค่าเฉลี่ยของปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยของออกซิเจนระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มอื่นไม่พบความแตกต่างภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำสูงสุด ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

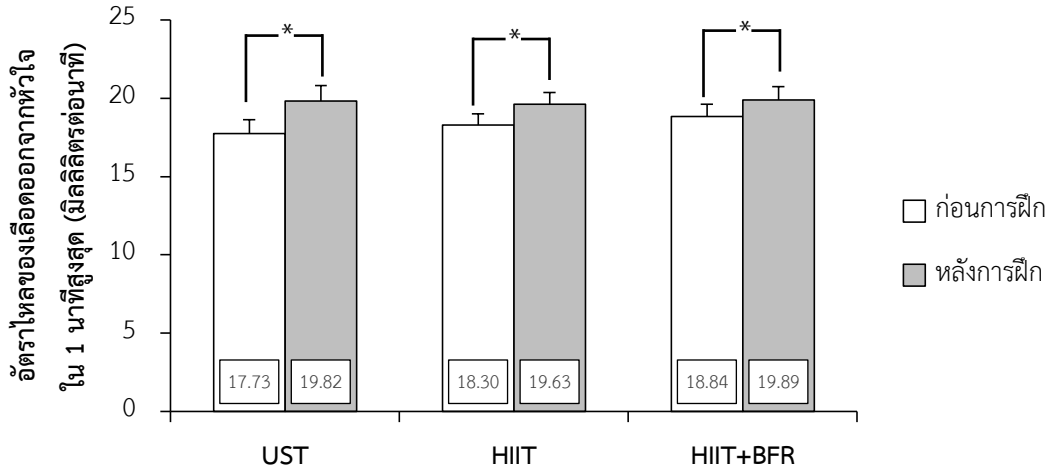


รูปที่ 51 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



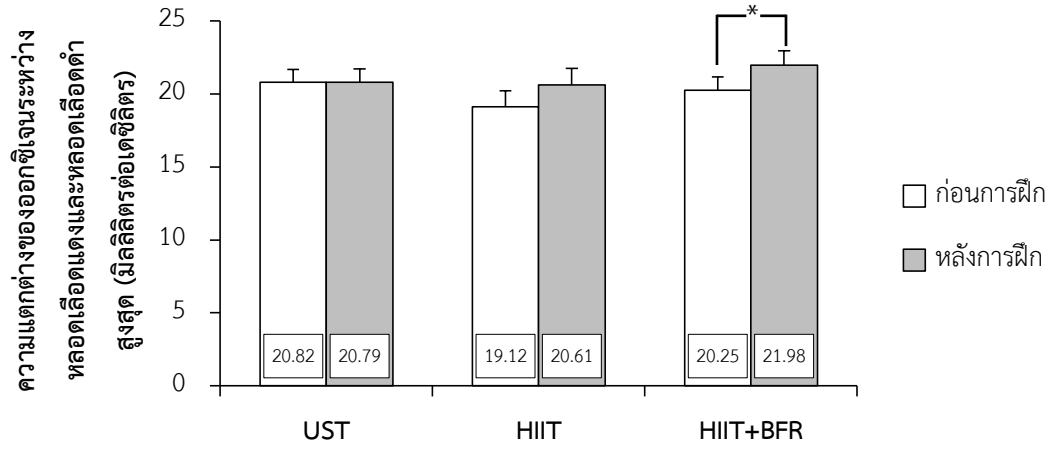
รูปที่ 52 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุดสูงสุด ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 53 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 54 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค	**UST (n=16)**		**HIIT (n=17)**		**HIIT+BFR (n=17)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิลิตร)	0.49±0.01 (0.46, 0.51)	0.48±0.01 (0.46, 0.51)	0.47±0.01 (0.45, 0.49)	0.46±0.01 (0.44, 049)	0.49±0.01 (0.47, 0.51)	0.48±0.01 (0.46, 0.51)	0.036	0.317	0.680	0.019
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตรต่อวินาที)	1188.00±29.10 (1129.42, 1246.58)	1161.20±24.52 (1111.86, 1210.55)	1185.59±27.34 (1130.56, 1240.62)	1167.24±23.03 (1120.88, 1213.59)	1174.29±27.34 (1119.27, 1229.32)	1154.47±23.03 (1108.12, 1200.82)	0.049	0.928	0.945	0.002
การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดเบรเคียล (เปอร์เซ็นต์)	5.51±0.68 (4.14, 6.89)	5.90±0.77 (4.34, 7.47)	5.34±0.62 (4.09, 6.58)	7.42±0.69* (6.00, 8.83)	4.79±0.64 (3.51, 6.08)	6.57±0.72* (5.13, 8.02)	0.005	0.585	0.334	0.049
การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดพอพลิเตียล (เปอร์เซ็นต์)	4.59±0.49 (3.60, 5.58)	5.90±0.77 (4.34, 7.46)	4.11±0.46 (3.18, 5.05)	5.81±0.72* (4.35, 7.27)	4.16±0.48 (3.20, 5.12)	6.52±0.75* (5.02, 8.03)	0.000	0.872	0.510	0.032

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

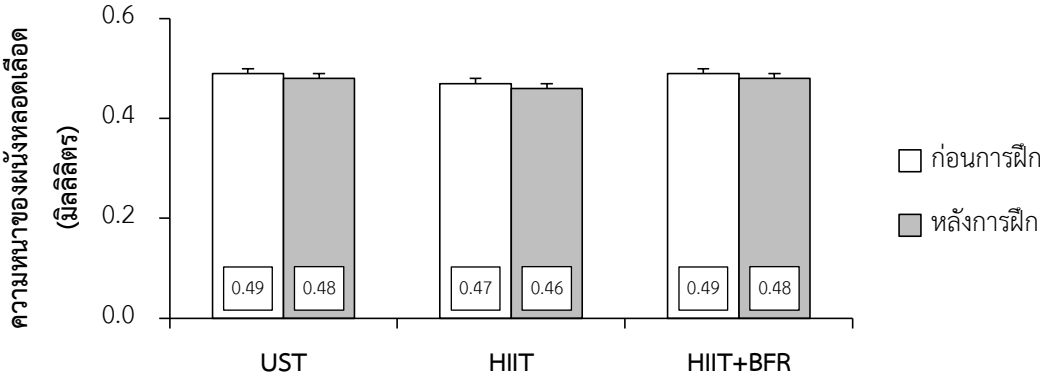
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 10 และรูปที่ 55 – 58 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาคของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

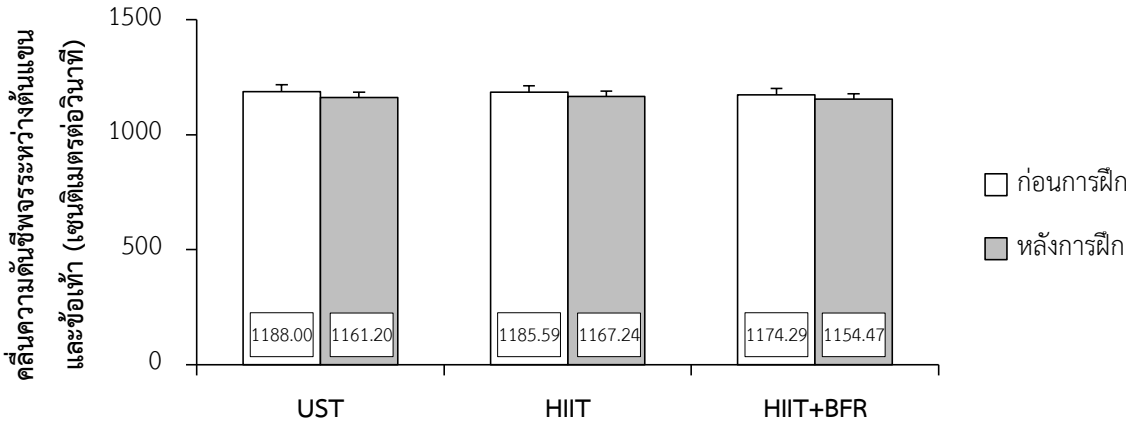
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดเบรเคียล และการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดพอพลิเตียลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของความหนาของผนังหลอดเลือด คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดเบรเคียล และการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดพอพลิเตียล ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

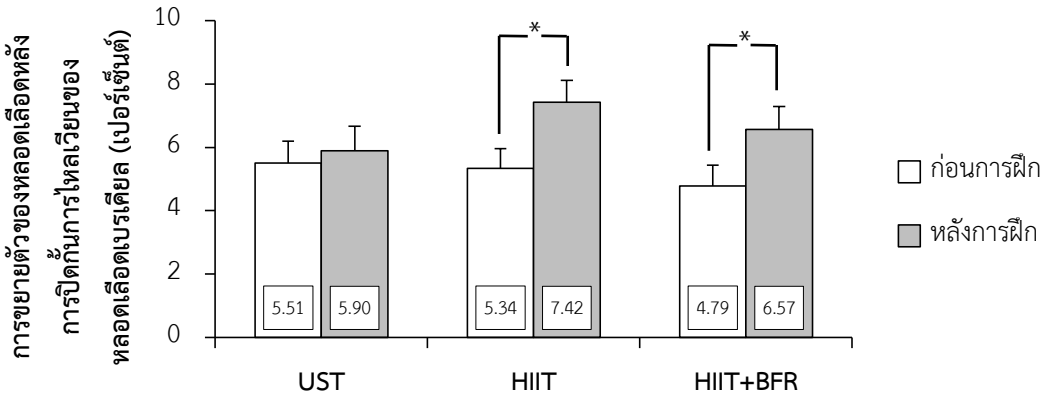
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



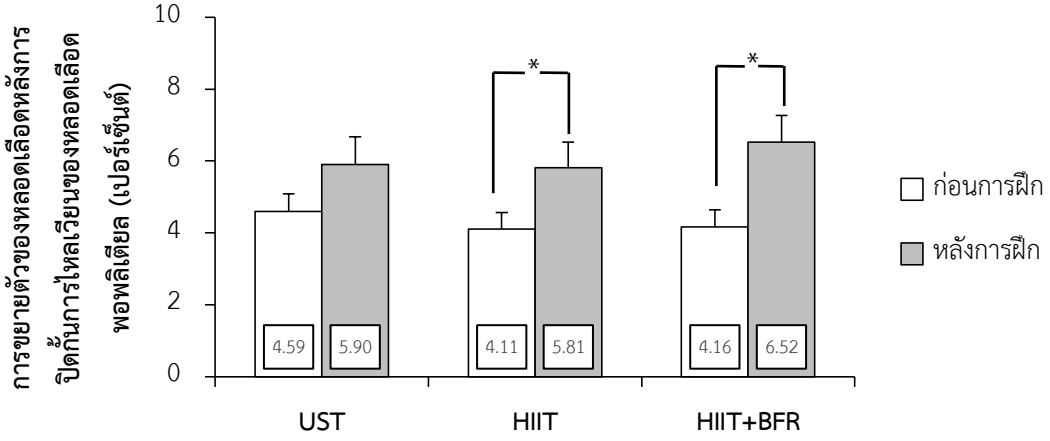
รูปที่ 55 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาของผนังหลอดเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 56 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 57 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตของหลอดเลือดเบรเคียลระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 58 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตของหลอดเลือดพอพลิเตียลระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังนิ้วมือของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังนิ้วมือ	**UST (n=16)**		**HIIT (n=17)**		**HIIT+BFR (n=17)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก (AU)	26.68±2.28 (22.08, 31.28)	25.08±1.90 (21.24, 28.92)	24.73±2.12 (20.45, 29.02)	25.27±1.77 (21.69, 28.85)	28.87±2.19 (24.43, 33.30)	26.71±1.83 (23.00, 30.41)	0.340	0.524	0.570	0.028
การไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของโลหิต (AU)	78.53±6.27 (65.85, 91.20)	81.91±5.57 (70.64, 93.18)	84.64±5.83 (72.84, 96.43)	88.27±5.19 (77.78, 98.77)	93.60±6.04 (81.38, 105.81)	89.05±5.37 (78.19, 99.91)	0.790	0.323	0.472	0.038
อัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของโลหิต (เปอร์เซ็นต์)	205.03±20.37 (163.83, 246.23)	229.74±19.74 (189.81, 269.67)	249.28±18.96 (210.93, 287.63)	259.93±18.38 (222.76, 297.10)	243.22±19.63 (203.52, 282.91)	247.62±19.02 (209.15, 286.10)	0.174	0.312	0.688	0.019
เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ (วินาที)	0.65±0.05 (0.54, 0.77)	0.60±0.04 (0.50, 0.70)	0.51±0.05 (0.40, 0.61)	0.56±0.04 (0.46, 0.65)	0.53±0.05 (0.41, 0.64)	0.50±0.04 (0.40, 0.59)	0.676	0.196	0.221	0.076
เวลาของอัตราไหลโลหิตชั้นผิวหนังสูงสุด (วินาที)	29.74±2.95 (23.77, 35.71)	29.33±2.88 (23.48, 35.17)	26.81±2.63 (21.47, 32.16)	28.19±2.58 (22.96, 33.42)	29.22±2.73 (23.69, 34.75)	28.36±2.67 (22.95, 33.78)	0.979	0.844	0.751	0.015

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

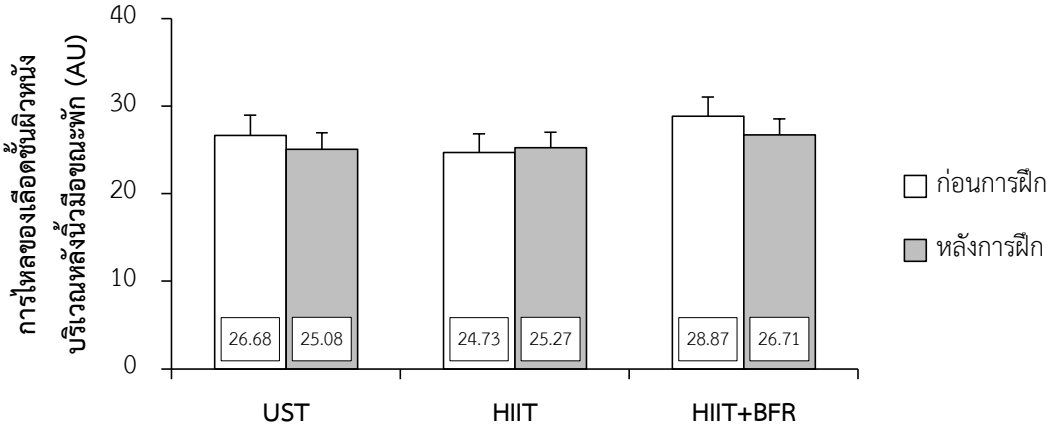
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 11 และรูปที่ 59 – 63 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังนิ้วมือของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

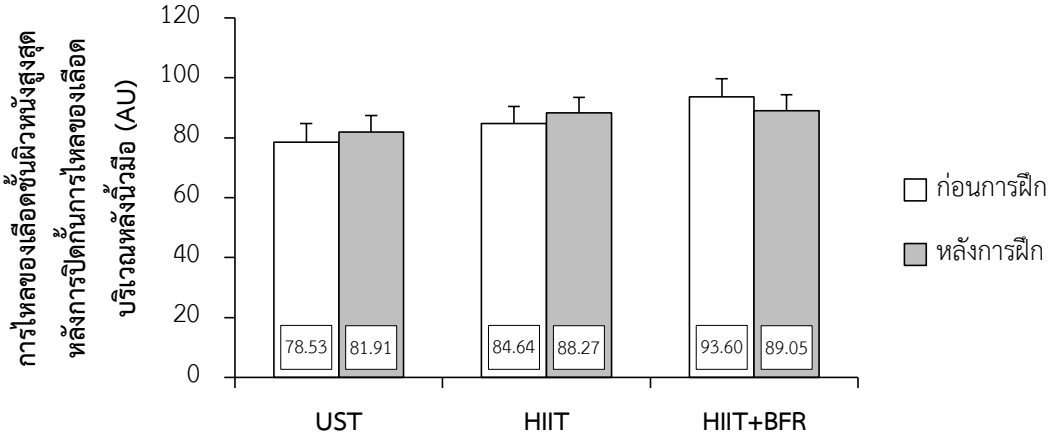
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก การไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด อัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ และเวลาของอัตราไหลโลหิตชั้นผิวหนังสูงสุด ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก การไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด อัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนังหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ และเวลาของอัตราไหลโลหิตชั้นผิวหนังสูงสุด ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

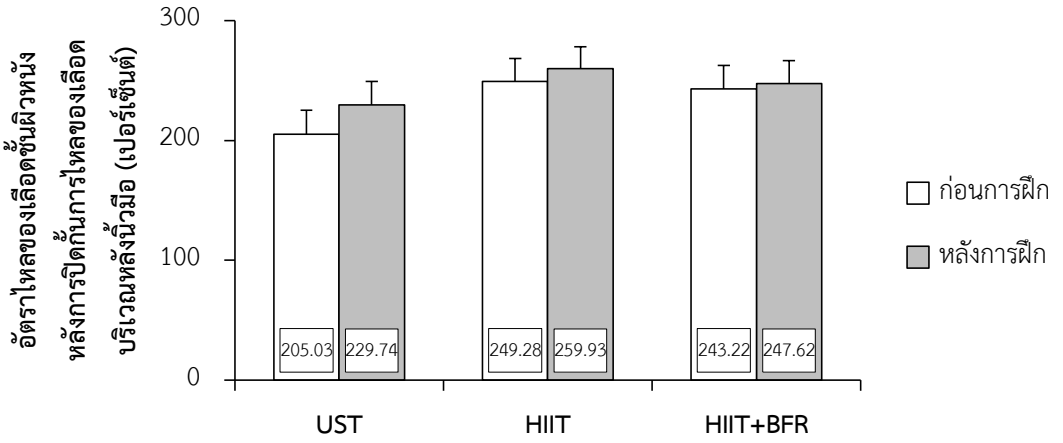
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



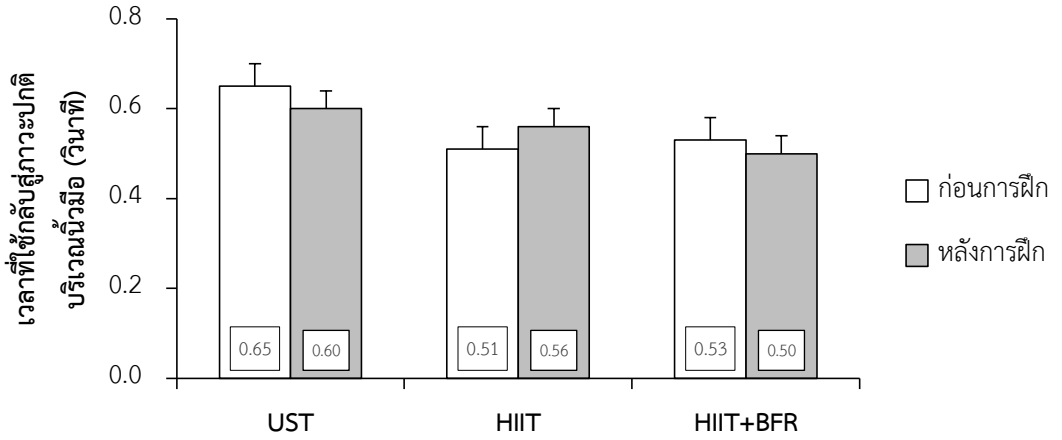
รูปที่ 59 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการไหลของเลือดชั้นผิวหนังบริเวณหลังนิ้วมือขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



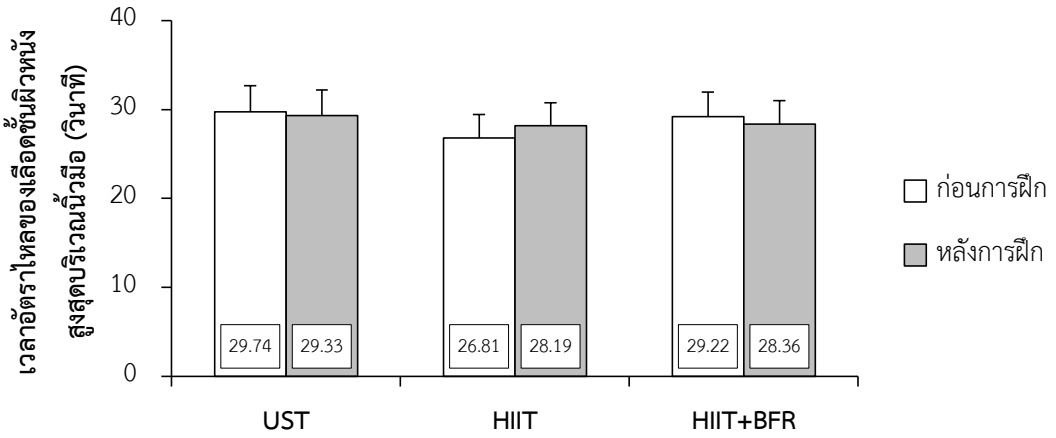
รูปที่ 60 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดบริเวณหลังนิ้วมือหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 61 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดบริเวณหลังนิ้วมือระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 62 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติบริเวณหลังนิ้วมือระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 63 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดบริเวณหลังนิ้วมือระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังเท้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังเท้า	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
การไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก (AU)	2.92±0.29 (2.35, 3.50)	3.26±0.31 (2.63, 3.88)	2.98±0.26 (2.46-3.50)	3.09±0.28 (2.52, 3.65)	2.89±0.26 (2.37, 3.42)	3.33±0.28 (2.77, 3.90)	0.151	0.963	0.773	0.12
การไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของโลหิต (AU)	17.17±2.47 (12.12, 22.22)	24.98±3.66 (17.48, 32.48)	18.84±2.47 (13.80, 23.89)	27.91±3.66* (20.41, 35.41)	17.38±2.35 (12.57, 22.20)	28.41±3.49* (21.26, 35.56)	0.001	0.756	0.857	0.011
อัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของโลหิต (เปอร์เซ็นต์)	479.18±45.49 (386.63, 571.73)	648.19±62.01* (522.03, 774.35)	539.24±53.83 (429.73, 648.75)	717.68±73.37* (568.40, 866.96)	479.64±49.14 (379.68, 579.61)	658.80±66.98* (522.53, 795.07)	0.000	0.606	0.992	0.000
เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ (วินาที)	0.26±0.02 (0.20, 0.31)	0.22±0.02 (0.17, 0.27)	0.21±0.02 (0.16, 0.26)	0.20±0.02 (0.15, 0.25)	0.23±0.02 (0.18, 0.28)	0.18±0.02 (0.14, 0.23)	0.033	0.515	0.598	0.024
เวลาของอัตราไหลโลหิตชั้นผิวหนังสูงสุด (วินาที)	8.56±1.06 (6.39, 10.72)	8.21±1.07 (6.03, 10.38)	8.12±0.79 (6.49, 9.74)	7.58±0.80 (5.94, 9.21)	7.88±0.85 (6.15, 9.62)	7.20±0.86 (5.46, 8.95)	0.201	0.806	0.951	0.003

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

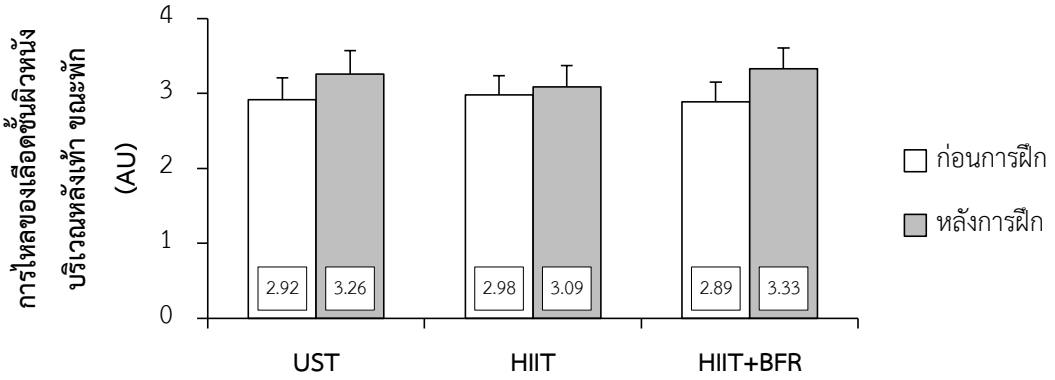
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 12 และรูปที่ 64 – 68 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาคบริเวณหลังเท้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

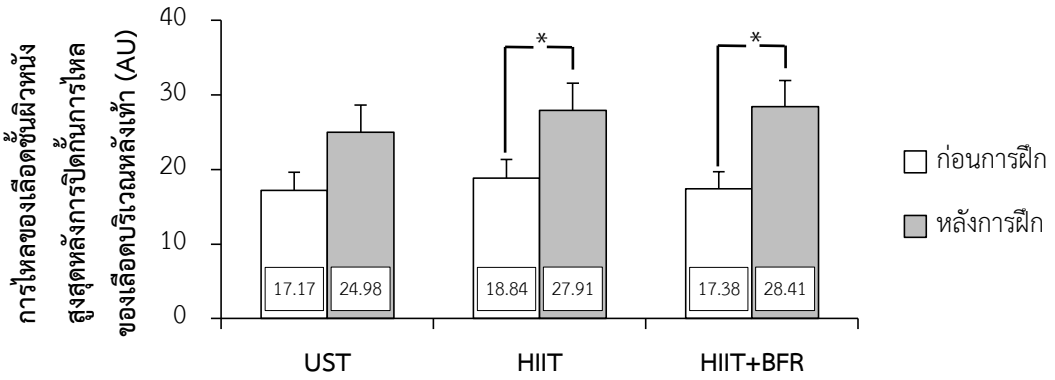
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ และเวลาของอัตราไหลโลหิตชั้นผิวหนังสูงสุดไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่มีค่าเฉลี่ยอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยการไหลของเลือดชั้นผิวหนังขณะพัก การไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด เปอร์เซ็นต์อัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด เวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติ และเวลาอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุด ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

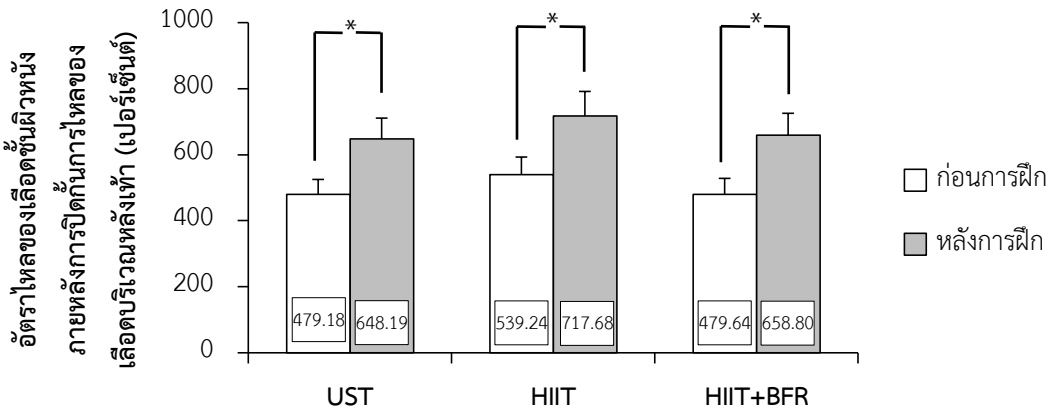


รูปที่ 64 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการไหลของเลือดชั้นผิวหนังบริเวณหลังเท้าขณะพักระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



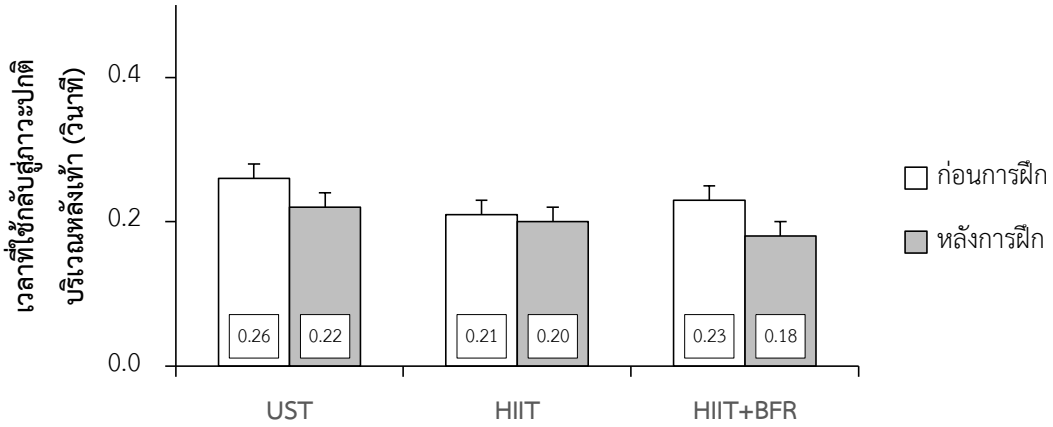
รูปที่ 65 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดบริเวณหลังเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

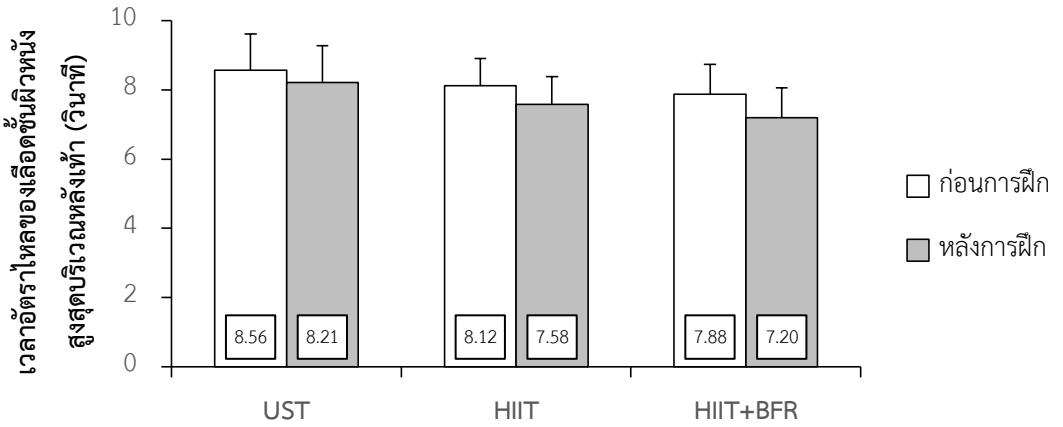


รูปที่ 66 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดบริเวณหลังเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 67 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้กลับสู่ภาวะปกติบริเวณหลังเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 68 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังสูงสุดบริเวณหลังเท้าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบโครงสร้างกล้ามเนื้อของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านโครงสร้างกล้ามเนื้อ	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
เส้นรอบวงของขา										
ตำแหน่งกึ่งกลางขา	55.58±0.49	55.43±0.68	55.48±0.73	55.79±0.67	56.59±0.73	56.70±0.66	0.619	0.437	0.578	0.023
(เซนติเมตร)	(54.08, 57.09)	(54.06, 56.80)	(54.02, 56.94)	(54.46, 57.12)	(5.14, 58.05)	(55.37, 58.03)				
ความหนาของกล้ามเนื้อ										
เรคตัสฟีเมอริส	27.56±0.97	27.32±0.96	27.56±0.97	28.12±0.96	27.10±0.94	27.83±0.93*	0.065	0.946	0.085	0.101
(มิลลิเมตร)	(25.61, 29.51)	(25.39, 29.26)	(25.61, 29.51)	(26.19, 30.05)	(25.21, 28.99)	(25.96, 29.71)				
วาสตัสแลทเทอรัลลิส	27.03±0.80	26.75±0.74	27.44±0.78	28.03±0.72	26.24±0.78	27.60±0.72*	0.007	0.658	0.006	0.196
(มิลลิเมตร)	(25.42, 28.65)	(25.26, 28.25)	(25.88, 29.01)	(26.58, 29.48)	(24.68, 27.81)	(26.15, 29.05)				
พื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ										
เรคตัสฟีเมอริส	11.80±0.52	11.70±0.52	11.78±0.50	11.88±0.51	11.80±0.49	12.25±0.49*	0.023	0.922	0.004	0.215
(ตารางเซนติเมตร)	(10.75, 12.85)	(10.65, 12.76)	(10.76, 12.79)	(10.86, 12.90)	(10.82, 12.78)	(11.26, 13.24)				
วาสตัสแลทเทอรัลลิส	22.40±0.89	22.23±0.97	22.31±0.83	22.53±0.91	22.22±0.86	23.85±0.94*	0.003	0.828	0.000	0.312
(ตารางเซนติเมตร)	(20.60, 24.20)	(20.27, 24.19)	(20.62, 23.99)	(20.70, 24.37)	(20.48, 23.96)	(21.95, 25.74)				

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

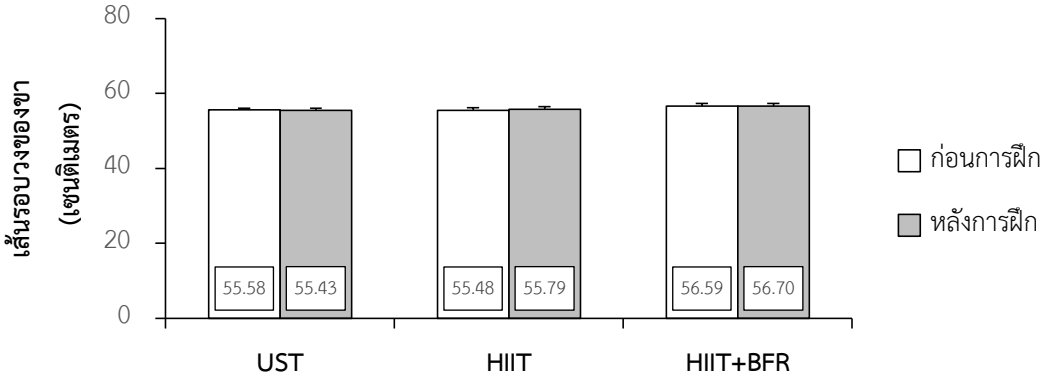
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 13 และรูปที่ 69 – 73 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบโครงสร้างกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสและวาสตัสแลทเทอรัลลิสของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

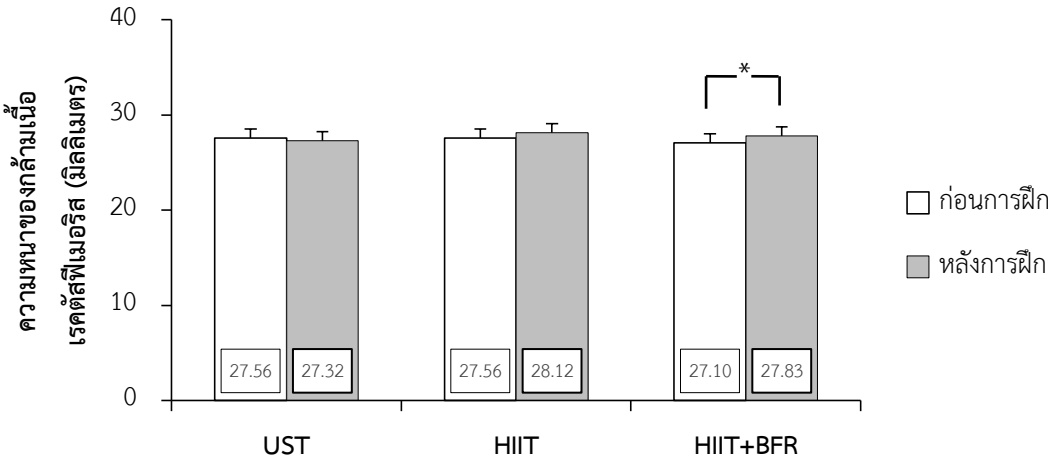
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงของขา ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยความหนาของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส ความหนาของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส พื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส และพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงของขา ความหนาของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสและวาสตัสแลทเทอรัลลิส พื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสและวาสตัสแลทเทอรัลลิส ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

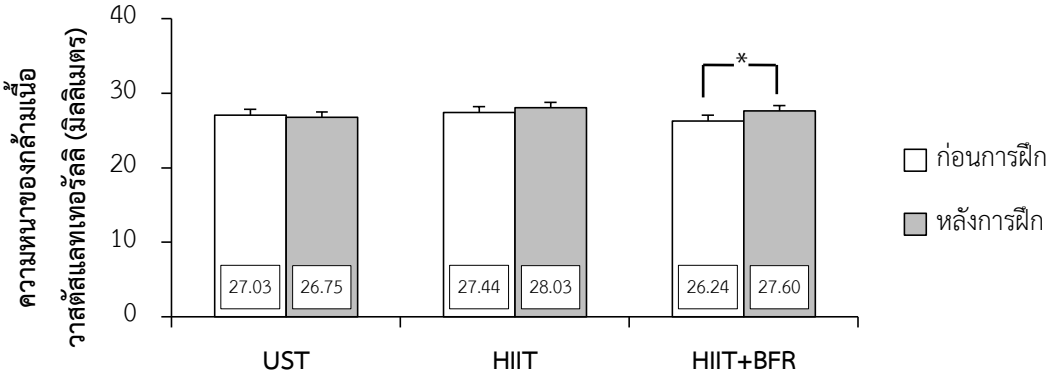


รูปที่ 69 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงของขาตำแหน่งกึ่งกลางขาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



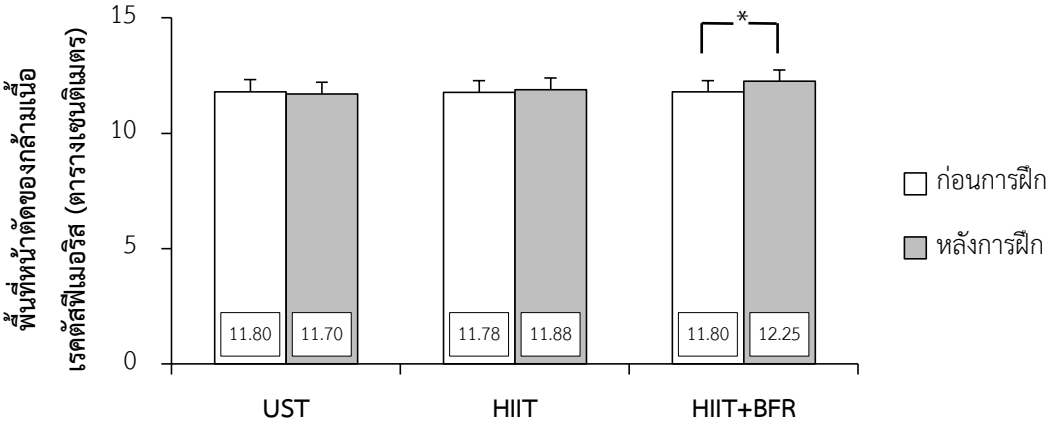
รูปที่ 70 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



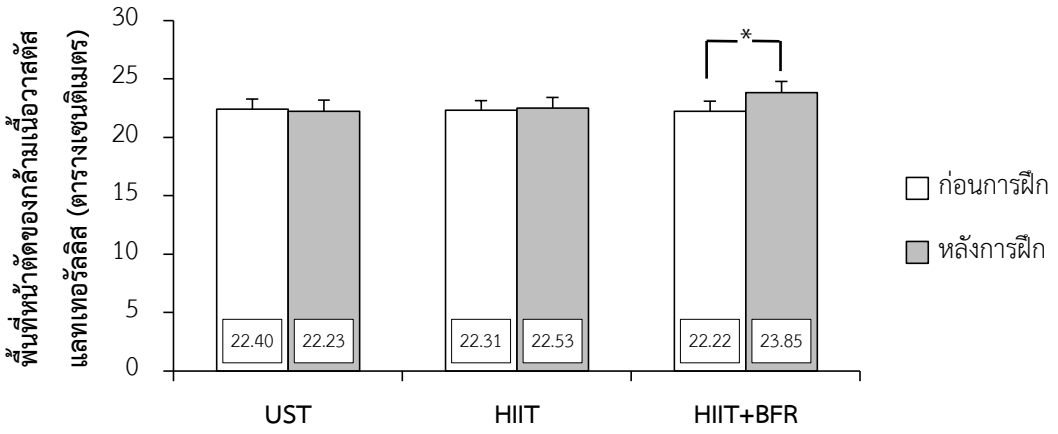
รูปที่ 71 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนาของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิสระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 72 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 73 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบความแข็งแรงกล้ามเนื้อของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรต้น ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่มxเวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
ท่าเหยียดเข่า (Knee extension)										
แรงสูงสุด	166.33±7.46	163.23±6.14	160.85±7.23	165.55±5.95	170.99±7.23	182.19±5.95*†	0.098	0.267	0.082	0.101
(นิวตันเมตร)	(151.33, 181.33)	(150.88, 175.57)	(143.30, 175.41)	(153.58, 177.53)	(156.44, 85.55)	(170.21, 194.17)				
แรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว	2.39±0.10	2.41±0.09	2.37±0.10	2.43±0.09	2.41±0.09	2.58±0.09*	0.027	0.695	0.222	0.068
(นิวตันต่อกิโลกรัม)	(2.18, 2.60)	(2.22, 2.60)	(2.17, 2.57)	(2.25, 2.62)	(2.22, 2.60)	(2.40, 2.75)				
ท่างอเข่า (Knee flexion)										
แรงสูงสุด	78.17±4.93	82.64±4.53*	87.59±4.78	92.38±4.40*	85.06±4.78	96.16±4.40*†	0.000	0.221	0.034	0.134
(นิวตันเมตร)	(68.26, 88.08)	(73.52, 91.76)	(77.98, 98.21)	(83.53, 101.22)	(75.45, 94.67)	(87.31, 105.01)				
แรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว	1.17±0.07	1.26±0.06*	1.29±0.06	1.37±0.06*	1.20±0.06	1.36±0.06*	0.000	0.409	0.100	0.093
(นิวตันต่อกิโลกรัม)	(1.03, 1.30)	(1.13, 1.38)	(1.16, 1.42)	(1.24, 1.49)	(1.07, 1.33)	(1.24, 1.49)				

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

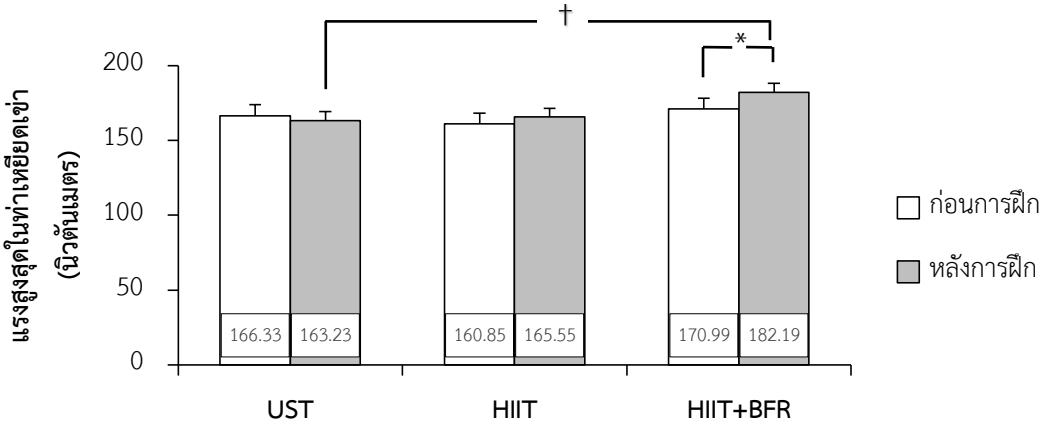
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; †$p<0.05$ แตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ

จากตารางที่ 14 และรูปที่ 74 – 77 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความแข็งแรงกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยแรงสูงสุดในท่างอเข่า (Knee flexion) และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยแรงสูงสุดในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลัง 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยแรงสูงสุดในท่างอเข่า (Knee flexion) ค่าเฉลี่ยแรงสูงสุดในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) มากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

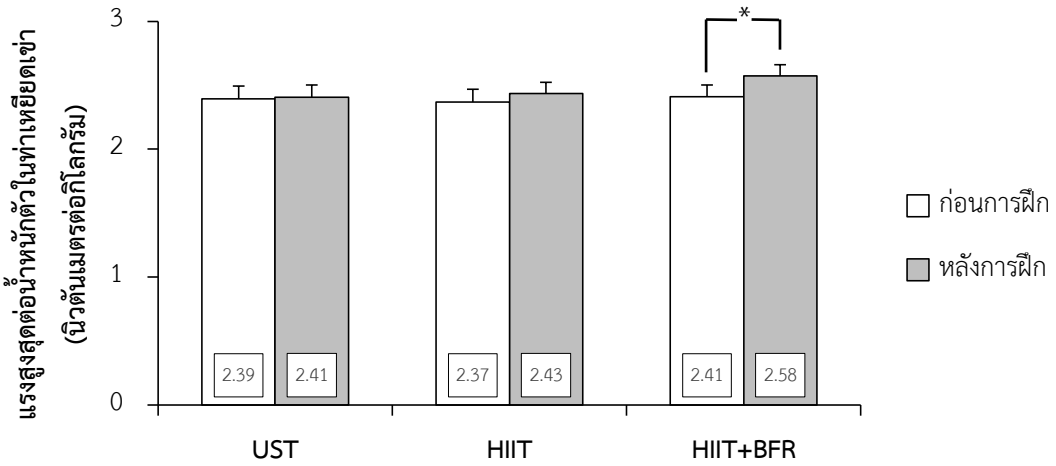
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 74 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อขาในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

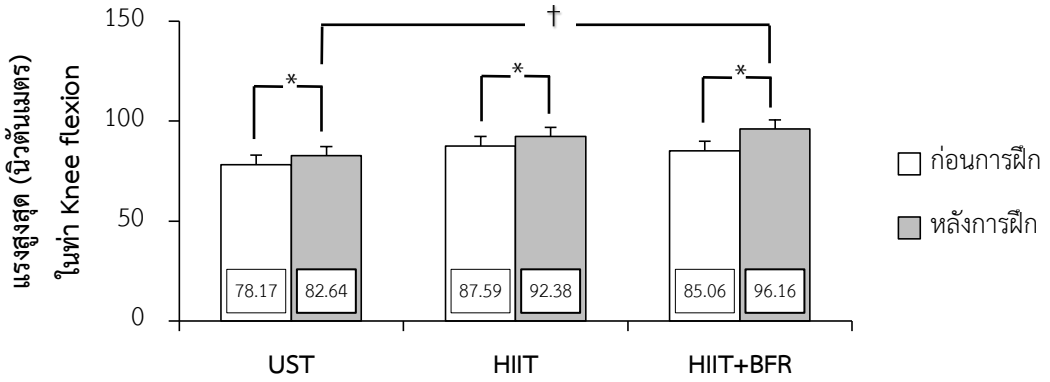
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 75 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวของกล้ามเนื้อขาในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

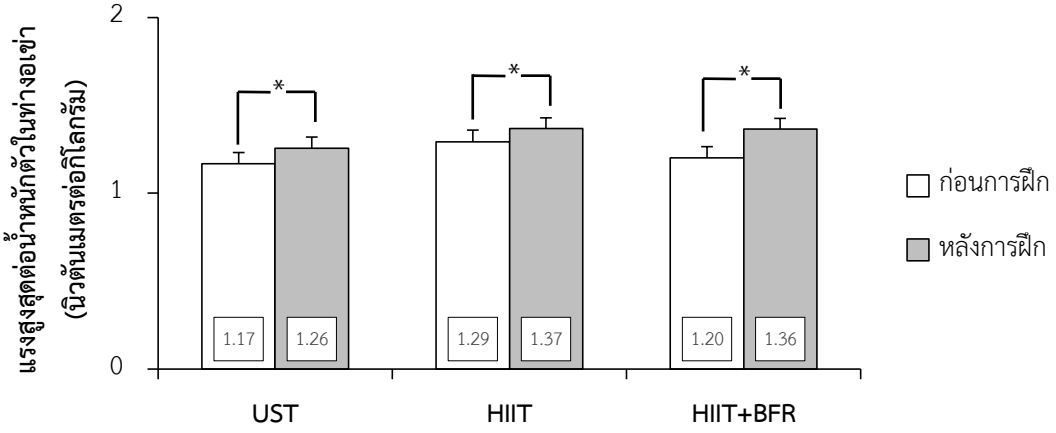
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 76 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดในท่างอเข่า (Knee flexion) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 77 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวในท่างอเข่าระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบความอดทนของกล้ามเนื้อในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านความอดทนของกล้ามเนื้อ	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
ท่าเหยียดเข่า (Knee extension)										
งาน (จูล)	4313±241	4478±245	4537±233	4734±237	4491±225	5036±229*	0.001	0.504	0.148	0.087
	(3827, 4799)	(3984, 4972)	(4067, 5006)	(4256, 5211)	(4036, 4946)	(4574, 5499)				
งานต่อน้ำหนักตัว	66.12±3.64	70.23±3.61	67.40±3.41	70.12±3.37	63.39±3.41	69.56±3.37*	0.002	0.874	0.547	0.028
(จูลต่อกิโลกรัม)	(58.78, 73.47)	(62.96, 77.50)	(60.50, 74.24)	(63.32, 76.92)	(56.52, 70.30)	(62.76, 76.36)				
ระดับความล้า (เปอร์เซ็นต์)	44.23±3.61	45.81±2.64	43.17±3.49	47.63±2.55	45.89±3.38	50.29±2.47	0.026	0.688	0.685	0.018
	(36.94, 51.51)	(40.49, 51.14)	(36.14, 50.21)	(42.49, 52.78)	(39.08, 52.71)	(45.31, 55.28)				
ท่างอเข่า (Knee flexion)										
งาน (จูล)	1875±168	2047±183	2183±162	2318±177	2090±157	2385±171*	0.003	0.377	0.548	0.028
	(1536, 2214)	(1678, 2415)	(1855, 2510)	(1962, 2675)	(1772, 2407)	(2040, 2730)				
งานต่อน้ำหนักตัว	28.36±2.40	31.20±2.67	31.90±2.25	33.74±2.49	30.03±2.25	33.9±2.5*	0.003	0.641	0.644	0.020
(จูลต่อกิโลกรัม)	(23.51, 33.20)	(25.83, 36.57)	(27.37, 36.42)	(28.72, 38.76)	(25.50, 34.56)	(28.89, 38.93)				
ระดับความล้า (เปอร์เซ็นต์)	52.53±4.52	59.67±3.41	58.60±4.37	63.71±3.29	56.48±4.23	62.03±3.19	0.008	0.587	0.922	0.004
	(43.40, 61.66)	(52.80, 66.54)	(49.78, 67.42)	(57.08, 70.35)	(47.94, 65.02)	(55.61, 68.46)				

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

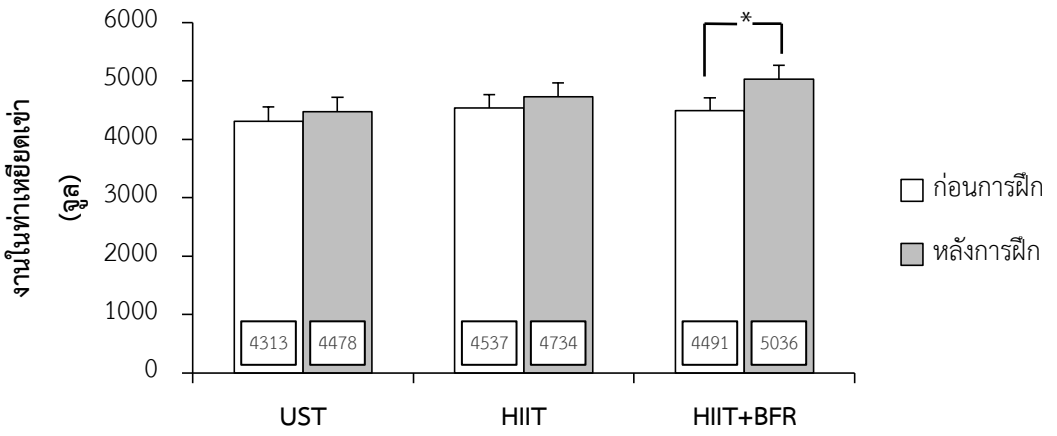
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 15 และรูปที่ 78 – 83 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความอดทนของกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) เปอร์เซ็นต์ระดับความล้าของความอดทนกล้ามเนื้อทั้งในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยของงานและงานต่อน้ำหนักตัวทั้งในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

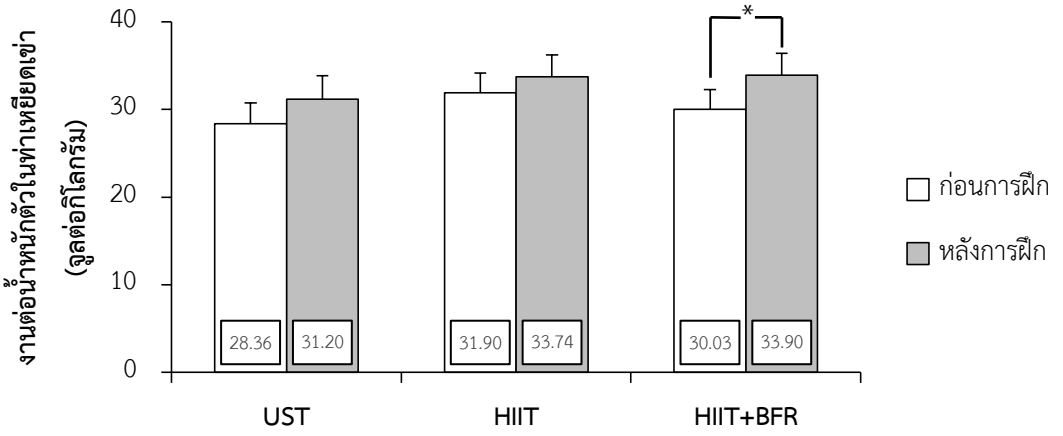
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยของงาน งานต่อน้ำหนักตัว และเปอร์เซ็นต์ระดับความล้าของความอดทนกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



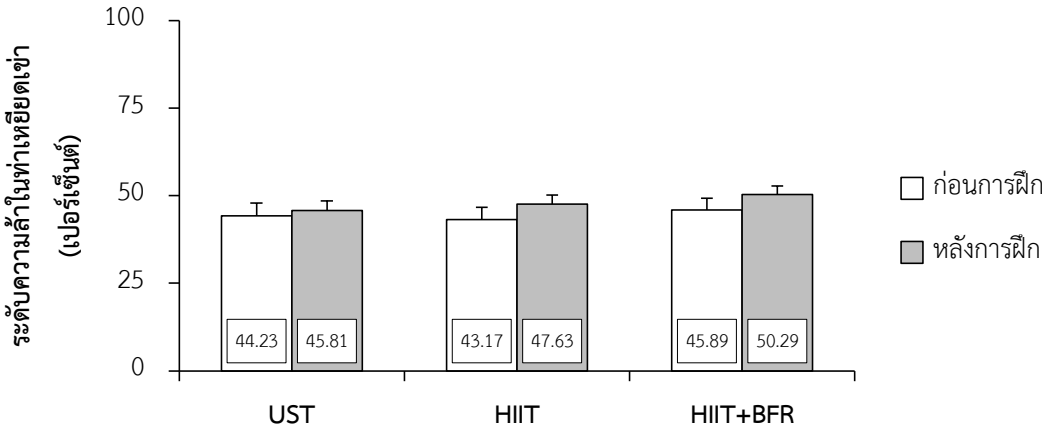
รูปที่ 78 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

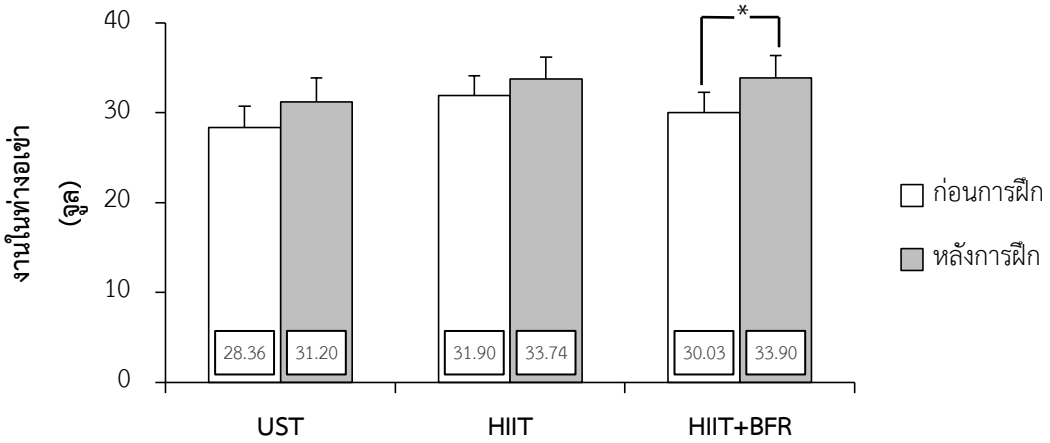


รูปที่ 79 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานต่อน้ำหนักตัวในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

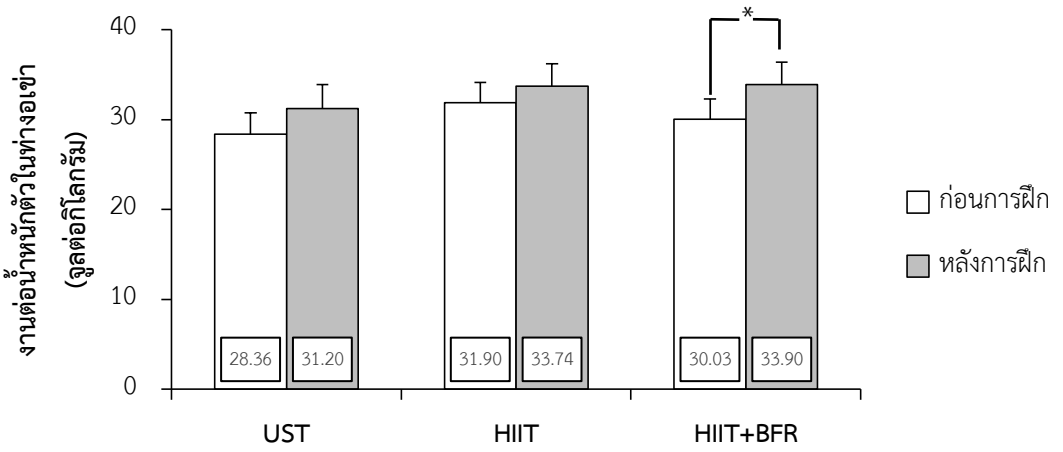


รูปที่ 80 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความล้าในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

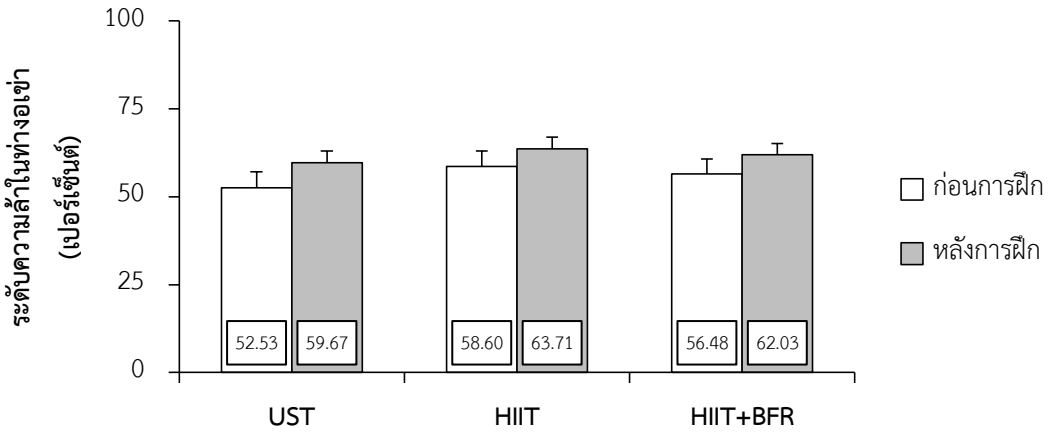


รูปที่ 81 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานในท่างอเข่า (Knee flexion) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 82 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานต่อน้ำหนักตัวในท่างอเข่า (Knee flexion) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 83 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความล้าของกล้ามเนื้อขาในท่างอเข่า (Knee flexion) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด	**UST (n=16)**		**HIIT (n=17)**		**HIIT+BFR (n=17)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
Δระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ; TSI (เปอร์เซ็นต์)	-16.87±1.49 (-19.88, -13.86)	-16.39±1.13 (-18.66, -14.12)	-17.97±1.49 (-20.97, -14.96)	-18.41±1.13 (-20.68, -16.14)	-16.88±1.40 (-19.71, -14.06)	-21.66±1.06*†‡ (-23.79, -19.52)	0.092	0.194	0.049	0.128
Δระดับฮีโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน; O_2Hb (ไมโครโมล)	-13.30±2.27 (-17.89, -8.72)	-13.67±1.39 (-16.48, -10.86)	-15.09±2.27 (-19.67, -10.50)	-14.13±1.39 (-16.94, -11.33)	-10.68±2.14 (-14.98, -6.37)	-13.60±1.31 (-16.24, -10.96)	0.591	0.438	0.529	0.029
Δระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน; HHb (ไมโครโมล)	17.97±2.32 (13.29, 22.65)	16.53±2.01 (12.48, 20.57)	20.56±2.32 (15.88, 25.25)	18.96±2.01 (14.91, 23.00)	19.41±2.18 (15.01, 23.80)	24.78±1.89*†‡ (20.99, 28.58)	0.576	0.156	0.066	0.116

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

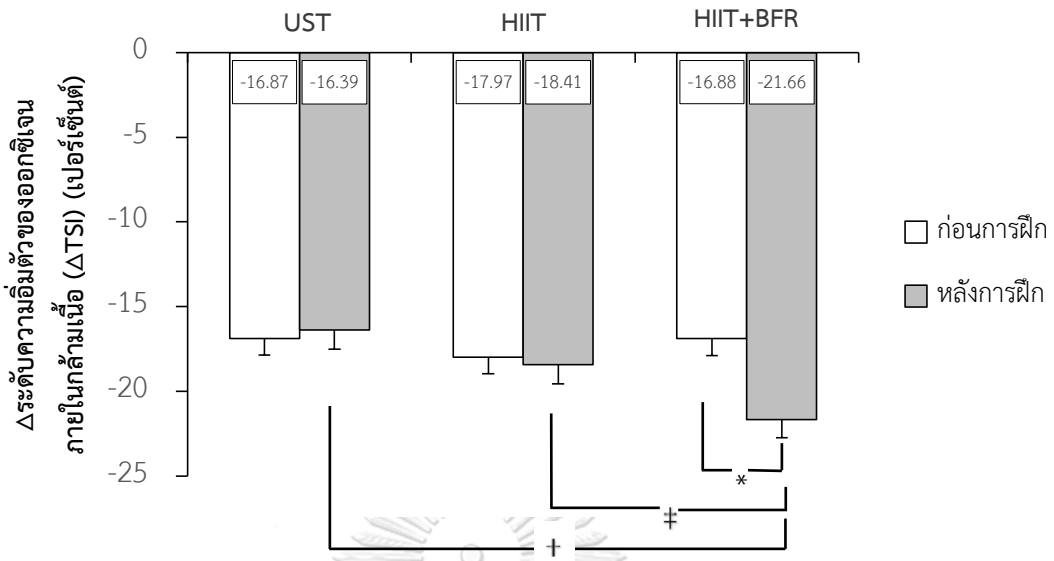
*p<0.05 แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; †p<0.05 แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ; ‡p<0.05 แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 16 และรูปที่ 84 – 86 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยระดับฮีโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) และระดับฮีโมโกลบินรวม (ΔtHb) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่เฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) เท่านั้น ที่มีค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) และระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (ΔHHb) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลัง 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) และระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (ΔHHb) เพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



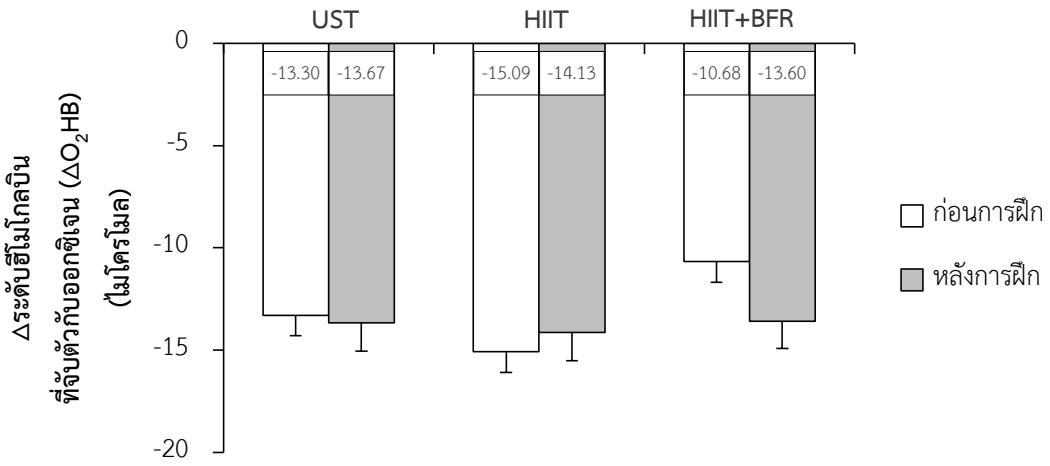
รูปที่ 84 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

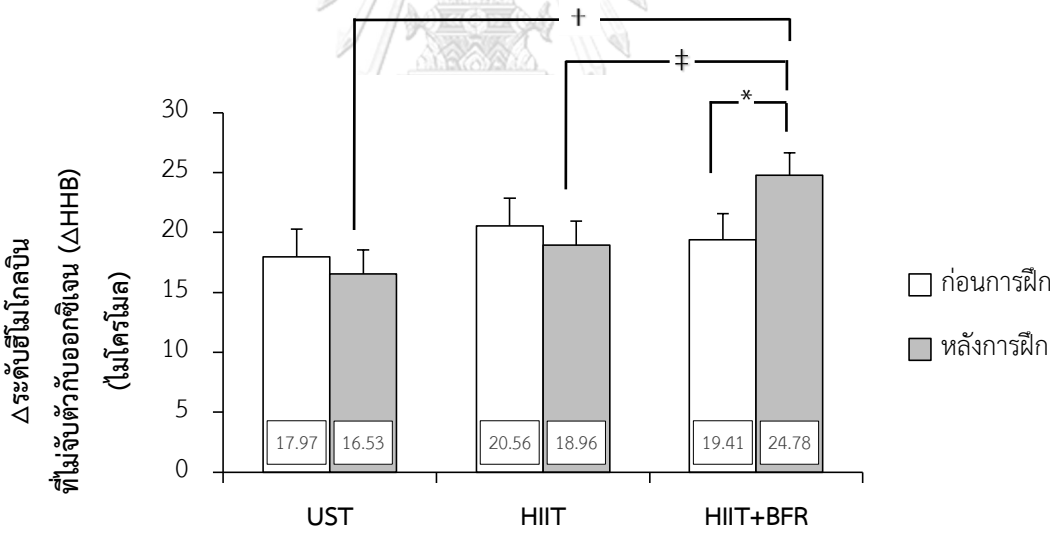
† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

‡ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 85 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนระดับฮีโมโกลบินที่จับตัวกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 86 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (ΔHHb) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

‡ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
จำนวนเม็ดเลือดแดง	4.95±0.08	4.87±0.07	4.77±0.08	4.81±0.08	4.84±0.08	4.72±0.08	0.188	0.357	0.206	0.082
(10^6 ต่อไมโครลิตร)	(4.79, 5.12)	(4.72, 5.02)	(4.60, 4.94)	(4.66, 4.97)	(4.67, 5.01)	(4.57, 4.88)				
ฮีโมโกลบิน	14.45±0.23	14.25±0.18	13.96±0.21	14.20±0.17	14.15±0.23	13.78±0.19	0.371	0.295	0.116	0.102
(กรัมต่อเดซิลิตร)	(13.99, 14.91)	(13.88, 14.62)	(13.54, 14.39)	(13.86, 14.55)	(13.67, 14.62)	(13.39, 14.16)				
ฮีมาโตคริต	43.50±0.61	42.87±0.57	42.00±0.61	42.86±0.57	43.09±0.57	42.60±0.53	0.806	0.568	0.187	0.084
(เปอร์เซ็นต์)	(42.26, 44.74)	(41.72, 44.02)	(40.76, 43.24)	(41.71, 44.01)	(41.94, 44.024)	(41.53, 43.67)				

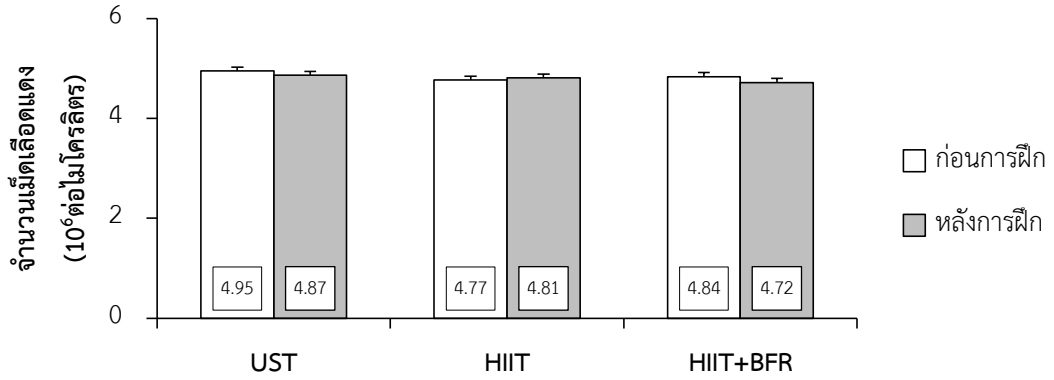
แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

จากตารางที่ 17 และรูปที่ 87 – 89 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

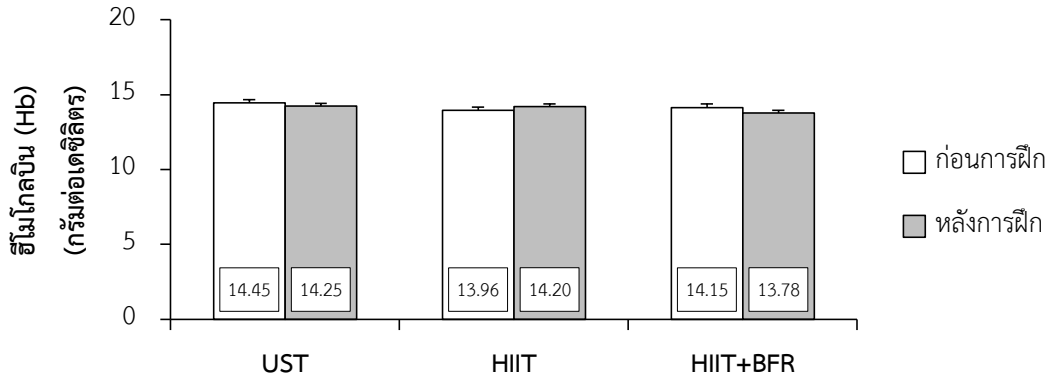
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลัง 12 สัปดาห์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

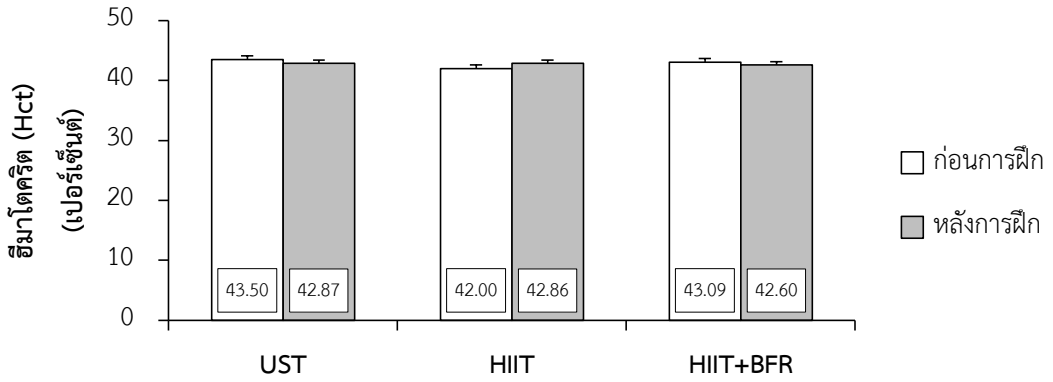
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 87 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนเม็ดเลือดแดงระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 88 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฮีโมโกลบิน (Hb) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 89 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฮีมาโตคริต (Hct) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบไขมันและน้ำตาลในเลือดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	เวลาและกลุ่ม
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	
คอลเลสเตอรอล	214.43±9.75	212.43±7.95	211.29±9.75	217.57±7.95	215.00±8.84	202.59±7.21*	0.377	0.868	0.046	0.136
(มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	(194.76, 234.09)	(196.39, 228.46)	(191.62, 230.95)	(201.54, 233.61)	(197.54, 232.85)	(188.04, 217.14)				
ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน	63.69±2.84	63.63±2.91	65.71±2.76	65.47±2.82	65.82±2.76	68.59±2.82	0.416	0.650	0.393	0.039
(มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	(57.97, 69.40)	(57.77, 69.48)	(60.16, 71.25)	(59.79, 71.15)	(60.28, 71.37)	(62.91, 74.27)				
โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน	138.93±9.51	141.67±9.02	136.63±9.21	146.69±8.73	132.65±8.94	115.35±8.47*†‡	0.704	0.247	0.016	0.167
(มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	(119.77, 158.09)	(123.51, 159.83)	(118.07, 155.18)	(129.10, 164.27)	(114.65, 150.65)	(98.29, 132.41)				
ไตรกลีเซอไรด์	70.54±4.41	66.54±5.32	61.33±4.59	65.67±5.54	64.62±4.41	70.69±5.32	0.525	0.650	0.420	0.048
(มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	(61.60, 79.48)	(55.74, 77.34)	(52.02, 70.64)	(54.43, 76.91)	(55.67, 73.56)	(59.89, 81.43)				
ระดับน้ำตาลในเลือด	92.50±1.97	90.75±2.07	90.18±1.91	87.77±2.01	91.83±1.91	90.59±2.01	0.053	0.541	0.867	0.006
(มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	(88.55, 96.45)	(86.59, 94.91)	(86.34, 94.01)	(83.73, 91.80)	(87.99, 95.66)	(86.55, 94.62)				

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

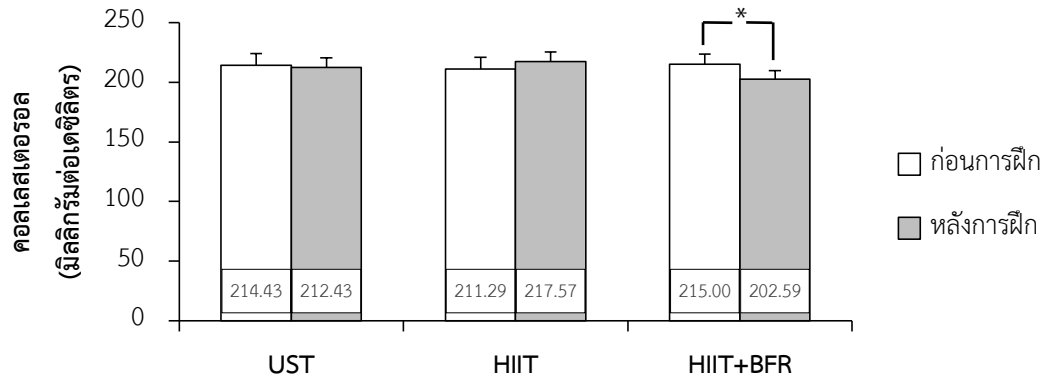
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ; ‡$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 18 และรูปที่ 90 – 94 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบไขมันและน้ำตาลในเลือด นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) พบว่า มีค่าเฉลี่ยไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน ไตรกลีเซอไรด์และระดับน้ำตาลในเลือด ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยคลอเลสเตอรอลและโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

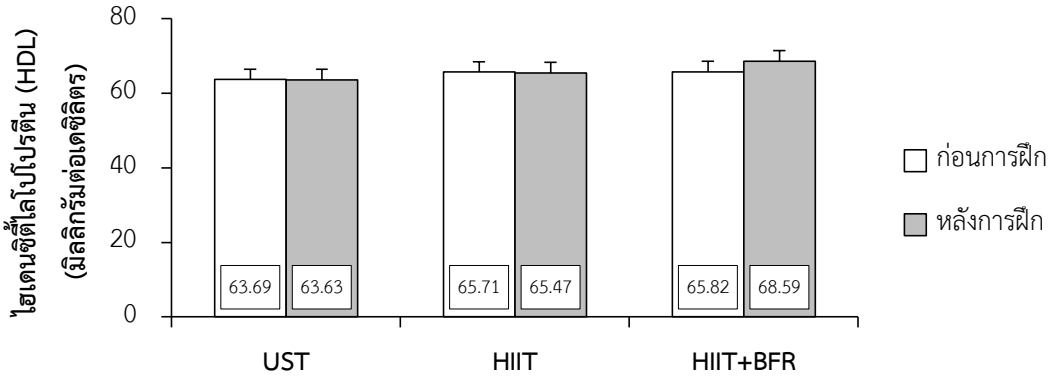
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลัง 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนน้อยกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

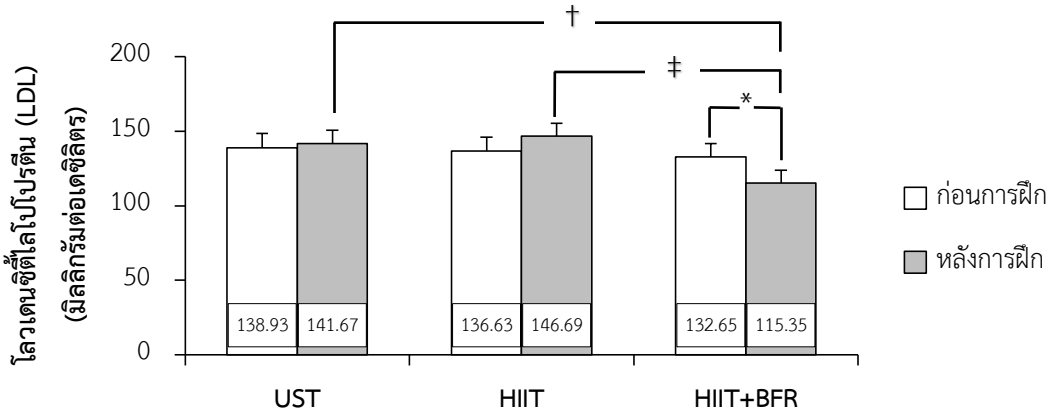


รูปที่ 90 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคลอเลสเตอรอลระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 91 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีนระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

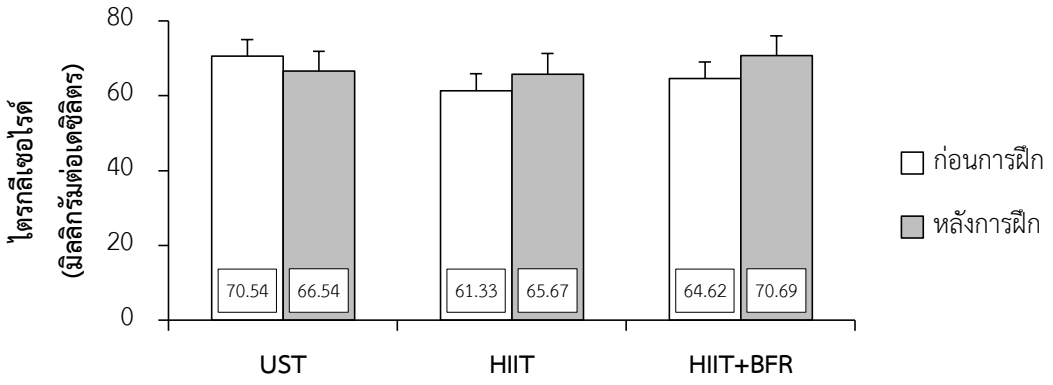


รูปที่ 92 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

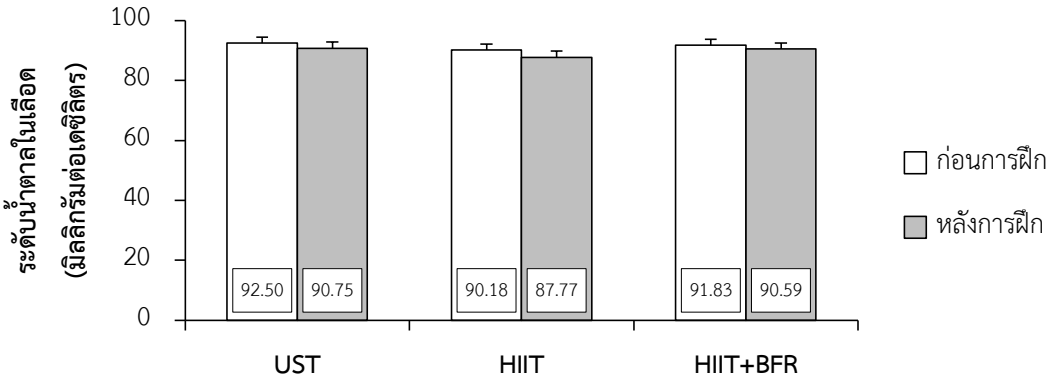
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

‡ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 93 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไตรกลีเซอไรด์ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 94 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบสารชีวเคมีในเลือดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	UST (n=16)		HIIT (n=17)		HIIT+BFR (n=17)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	เวลาและกลุ่ม
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	
ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (ยูนิตต่อลิตร)	145.13±12.33 (120.29, 169.97)	144.56±11.87 (120.65, 168.48)	168.93±13.18 (142.37, 195.48)	150.14±12.69 (124.58, 175.71)	148.71±11.96 (124.61, 172.80)	148.29±11.51 (125.09, 171.50)	0.237	0.651	0.320	0.050
ไนตริกออกไซด์ (ไมโครโมล)	47.38±2.34 (42.65, 52.11)	50.69±3.87 (42.87, 58.51)	42.45±2.34 (37.71, 47.18)	46.94±3.87 (39.12, 54.76)	46.04±2.26 (41.46, 50.61)	49.98±3.74 (42.42, 57.53)	0.31	0.524	0.963	0.002
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ไมโครโมล)	0.40±0.04 (0.33, 0.48)	0.56±0.06* (0.44, 0.68)	0.47±0.03 (0.40, 0.54)	0.60±0.05* (0.49, 0.70)	0.47±0.03 (0.40, 0.53)	0.59±0.06* (0.48, 0.70)	0.000	0.596	0.885	0.008
อินซูลินไลต์โกรสแฟคเตอร์-วัน (นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร)	9.26±2.76 (3.65, 14.87)	9.07±2.42 (3.44, 14.69)	8.15±2.42 (3.22, 13.07)	8.59±2.43 (3.66, 13.53)	9.39±2.33 (4.65, 14.13)	10.05±2.34* (5.29, 14.80)	0.131	0.922	0.226	0.084
วาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ (พิโนกรัมต่อมิลลิลิตร)	41.42±4.32 (32.61, 50.24)	42.28±4.58 (32.92, 51.64)	40.01±4.32 (31.19, 48.82)	41.66±4.58 (32.30, 51.02)	42.85±4.32 (34.04, 51.67)	50.28±4.58* (40.92, 59.64)	0.102	0.581	0.343	0.069

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

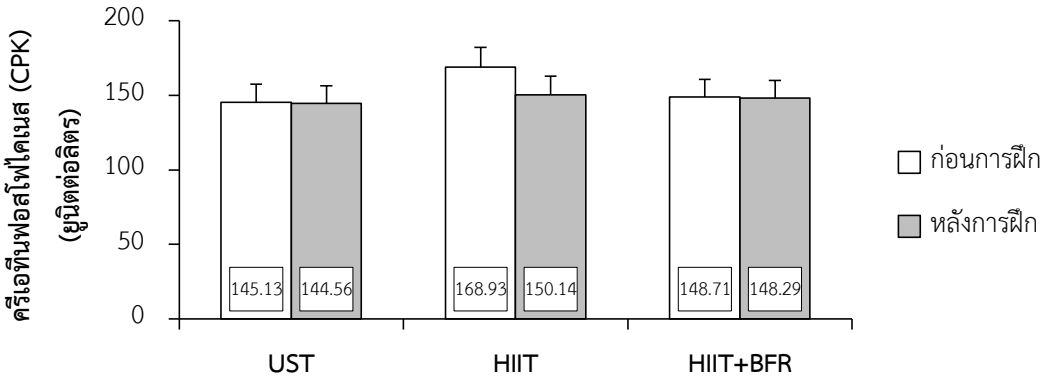
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 19 และรูปที่ 95 – 99 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบสารชีวเคมีในเลือดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

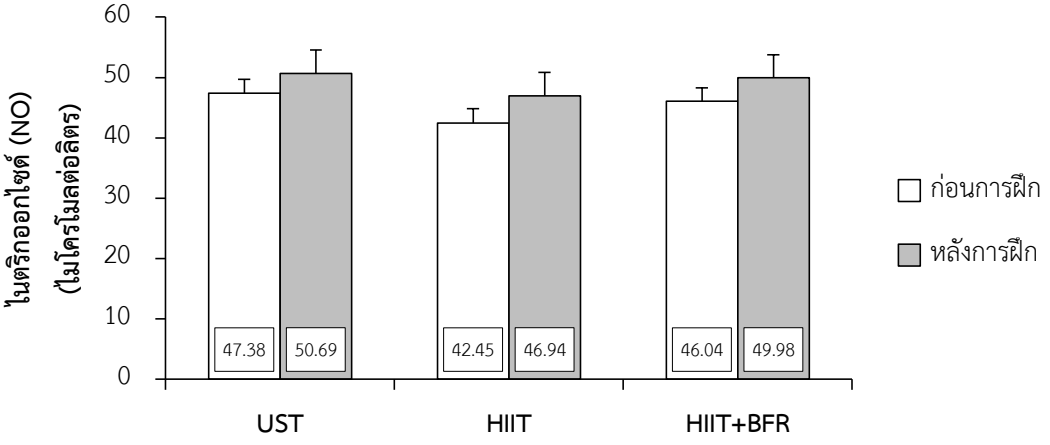
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยครีเอทีนฟอสโฟไคเนส และไนตริกออกไซด์ ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่ทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยมาลอนไดอัลดีไฮด์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยอินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์–วัน วาสคิวลาร์เอนโดทิเลียมโกรสแฟคเตอร์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยครีเอทีนฟอสโฟไคเนส ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ อินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์–วัน และวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

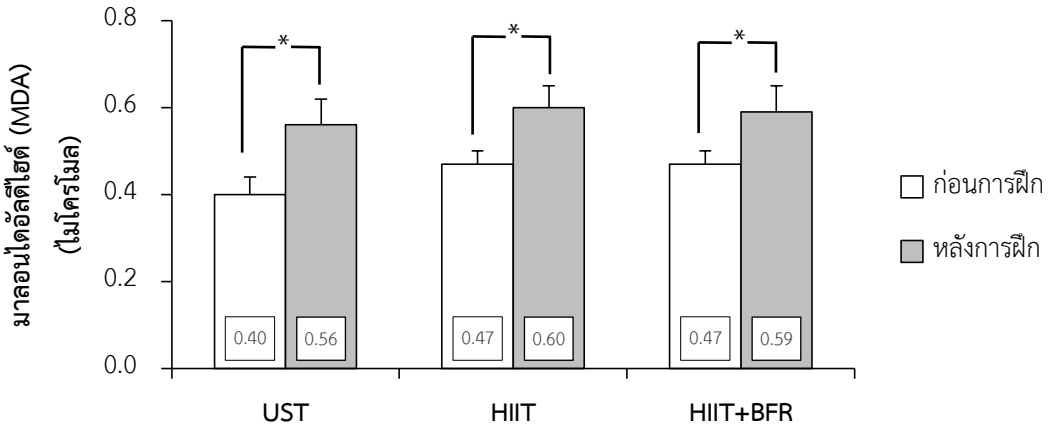
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 95 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (CPK) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

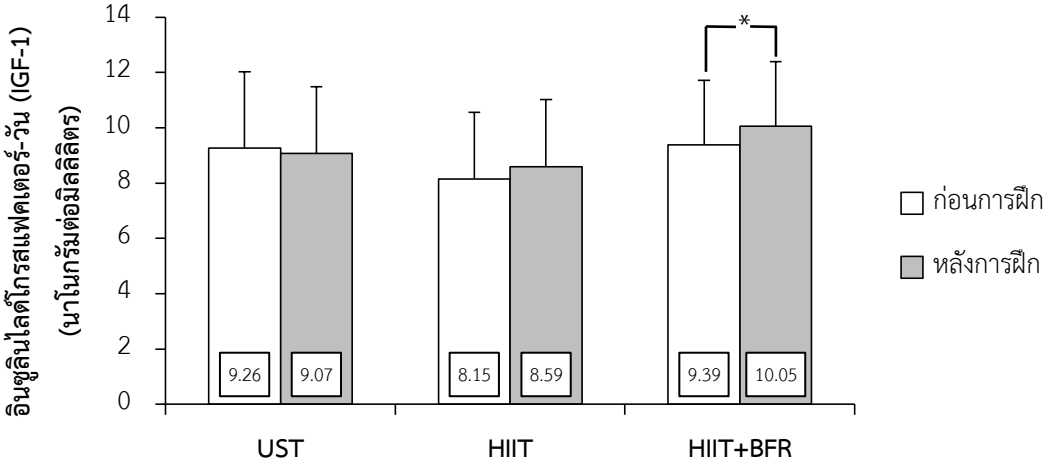


รูปที่ 96 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไนตริกออกไซด์ (NO) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



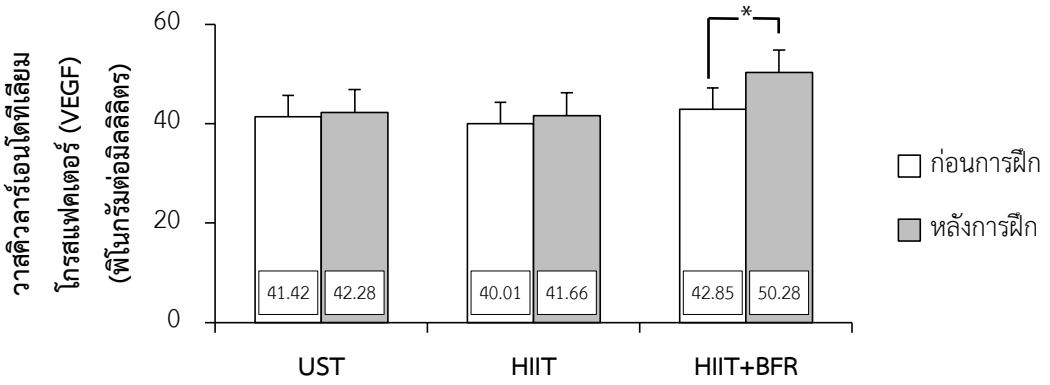
รูปที่ 97 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 98 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์–วัน (IGF–1) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 99 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ (VEGF) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ด้านความสามารถทางกีฬาจักรยานระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบความทนต่อการเมื่อยล้าโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านความทนต่อการเมื่อยล้า (TF150)	**UST (n=16)**		**HIIT (n=17)**		**HIIT+BFR (n=17)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
เวลาที่ทนต่อความเมื่อยล้า (วินาที)	31.82±1.41 (28.98, 34.67)	30.54±1.58 (27.35, 33.73)	31.16±1.28 (28.58, 33.74)	33.52±1.44* (30.63, 36.41)	31.76±1.32 (29.10, 34.42)	37.72±1.48*†‡ (34.74, 40.70)	0.000	0.176	0.000	0.376
งาน (จูล)	1881±72 (1734, 2028)	1781±83 (1612, 1950)	1718±72 (1571, 1864)	1886±83* (1717, 2055)	1818±72 (1671, 1965)	2155±83*†‡ (1986, 2324)	0.000	0.165	0.000	0.438
งานต่อน้ำหนักตัว (จูลต่อกิโลกรัม)	259±11.43 (236.71, 282.74)	248.99±12.06 (224.69, 273.29)	254.93±11.07 (232.64, 277.21)	272.29±11.68* (248.77, 295.82)	267.31±10.74 (245.69, 288.93)	311.28±11.33*†‡ (288.45, 334.10)	0.001	0.060	0.000	0.314
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)	170.44±2.21 (165.99, 174.89)	170.56±2.26 (166.02, 175.10)	169.77±2.15 (165.45, 174.08)	167.53±2.19 (163.12, 171.94)	172.47±2.15 (168.16, 176.79)	167.71±2.19* (163.30, 172.11)	0.040	0.786	0.198	0.067
อัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ย (ครั้งต่อนาที)	158.91±2.67 (153.52, 164.30)	156.82±2.61 (151.53, 162.11)	157.47±2.28 (152.85, 162.08)	155.27±2.24 (150.74, 159.79)	159.00±2.21 (154.53, 163.47)	153.56±2.17* (149.18, 157.95)	0.008	0.858	0.383	0.048
ระยะทาง (เมตร)	686.79±21.71 (642.92, 730.65)	656.07±24.69 (606.18, 705.96)	688.75±20.30 (647.72, 729.79)	722.06±23.09 (675.39, 768.73)	678.92±22.53 (633.40, 724.45)	766.23±25.62*† (714.46, 818.01)	0.019	0.224	0.002	0.268

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

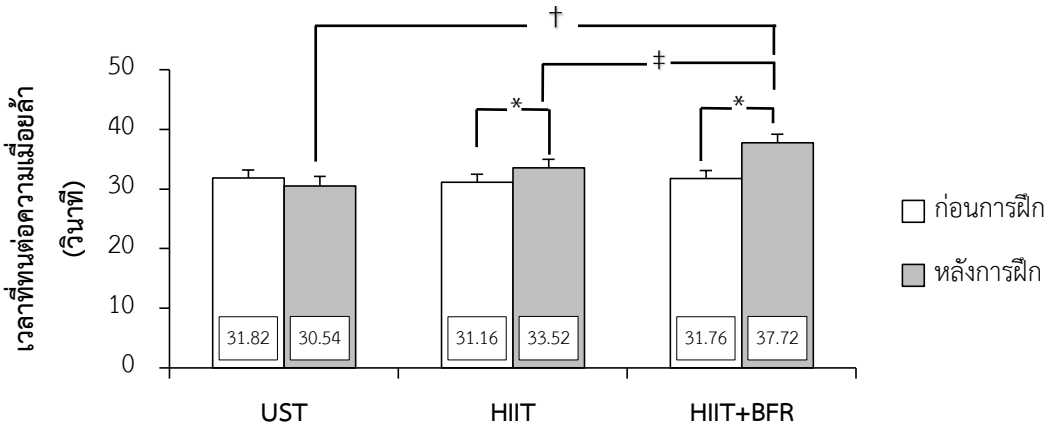
*p<0.05 แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; †p<0.05 แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05; ‡p<0.05 แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 20 และรูปที่ 100 – 105 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความทนต่อการเมื่อยล้าโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ทนต่อความเมื่อยล้า งาน และงานต่อน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดและอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ย ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีค่าเฉลี่ยของระยะทางเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลัง 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยของเวลาทนต่อความเมื่อยล้า งาน และงานต่อน้ำหนักตัว มากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยของระยะทางเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

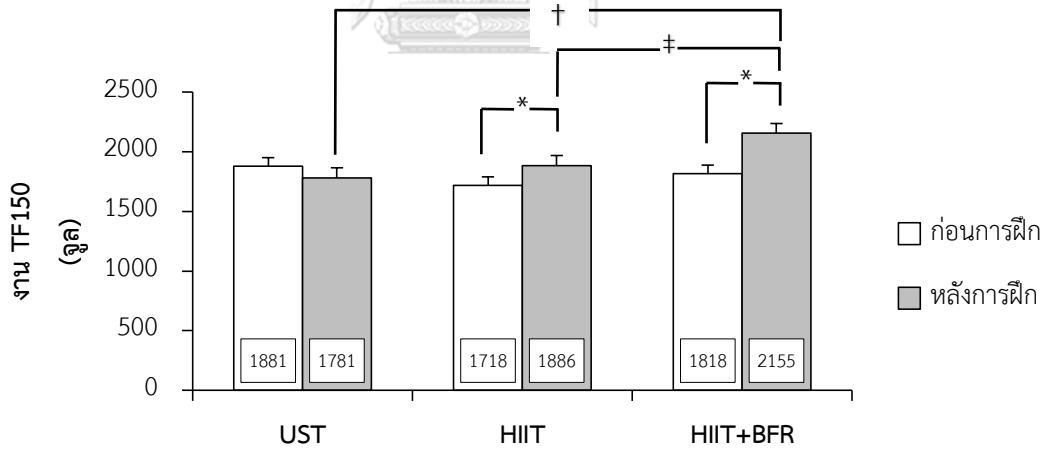


รูปที่ 100 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาทนต่อความเมื่อยล้าของการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

‡ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

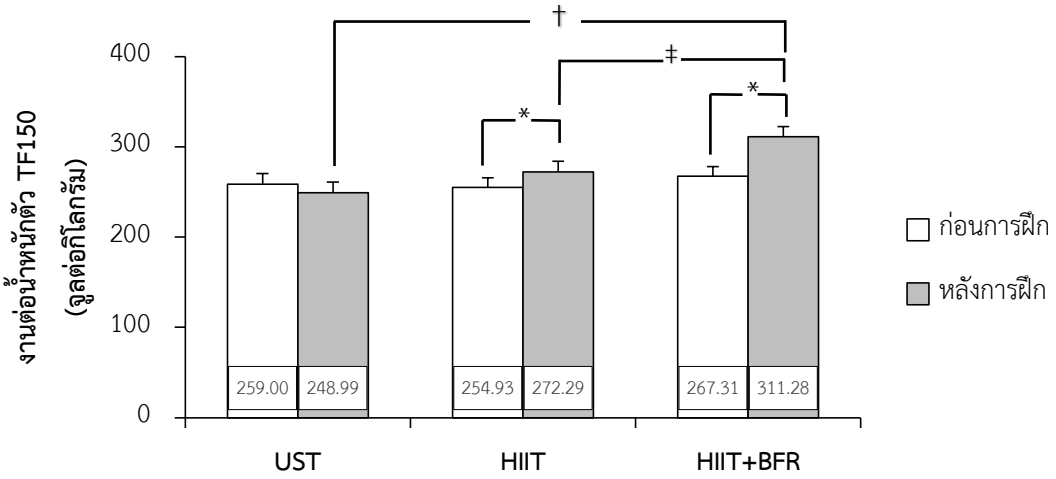


รูปที่ 101 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานของการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

‡ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

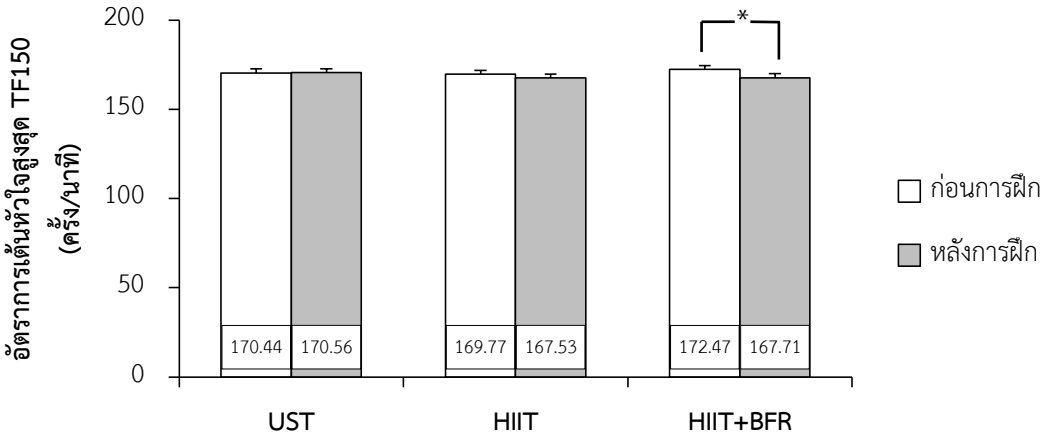


รูปที่ 102 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของงานต่อน้ำหนักตัวของการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

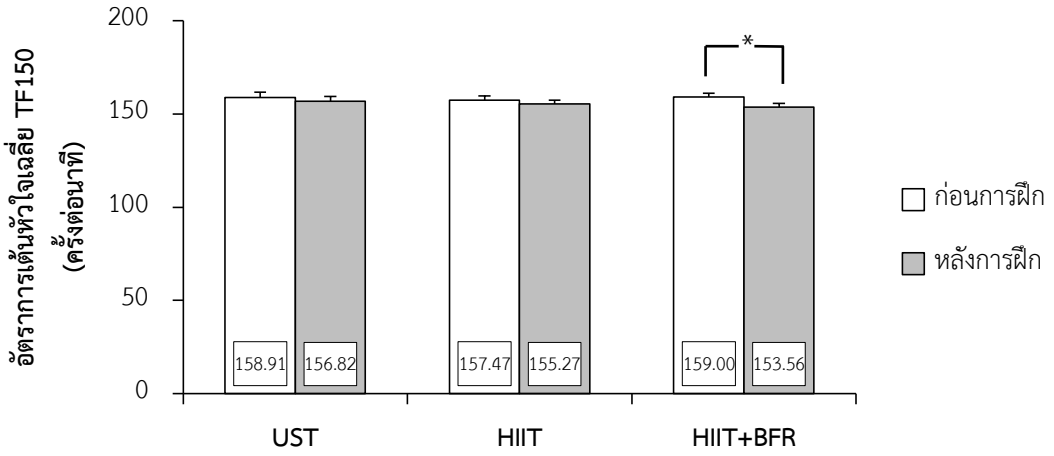
† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

‡ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

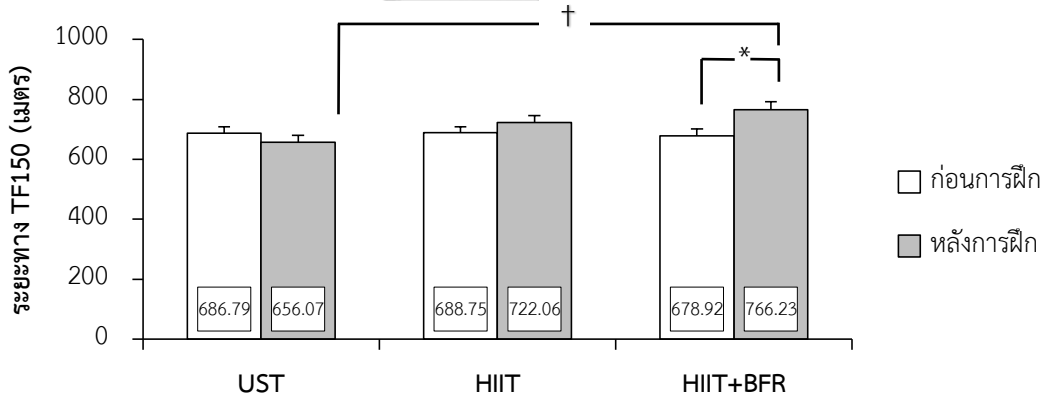


รูปที่ 103 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 104 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 105 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะทางของการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (TF150) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบความสามารถในการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตร (TT40) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านความสามารถในการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตร (TT40)	**UST (n=16)**		**HIIT (n=17)**		**HIIT+BFR (n=17)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
เวลา TT40 (นาที)	67.39±0.41 (66.17, 69.02)	66.23±0.37* (65.09, 67.37)	67.05±0.40 (65.45, 68.25)	64.18±0.36*† (63.06, 65.30)	66.33±0.40 (65.13, 67.53)	63.52±0.35*† (62.40, 65.04)	0.000	0.088	0.082	0.108
กำลังเฉลี่ย (วัตต์)	203.91±5.82 (192.18, 215.65)	211.65±6.16 (199.22, 224.08)	205.77±5.44 (194.79, 216.74)	230.15±5.77*† (218.52, 241.78)	205.98±5.44 (195.00, 216.96)	229.27±5.77*† (217.64, 240.90)	0.000	0.340	0.010	0.193
อัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ย (ครั้งต่อนาที)	166.77±2.43 (161.87, 171.66)	167.56±2.32 (162.88, 172.23)	163.33±2.36 (158.58, 168.07)	163.53±2.26 (158.99, 168.06)	162.20±2.36 (157.45, 166.94)	162.35±2.26 (157.81, 166.88)	0.670	0.276	0.948	0.002
รอบการปั่นเฉลี่ย (รอบต่อนาที)	92.39±1.27 (89.82, 94.96)	89.24±0.77* (87.68, 90.80)	90.61±1.23 (88.12, 93.09)	90.51±0.74 (89.01, 92.01)	92.75±1.23 (90.27, 95.23)	90.51±0.74* (89.01, 92.01)	0.001	0.686	0.070	0.121
ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	35.35±0.38 (34.59, 36.11)	36.01±0.37* (35.26, 36.75)	35.82±0.38 (35.06, 36.58)	37.35±0.37*† (36.61, 38.09)	35.93±0.37 (35.19, 36.66)	37.40±0.36*† (36.68, 38.12)	0.000	0.093	0.045	0.126

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

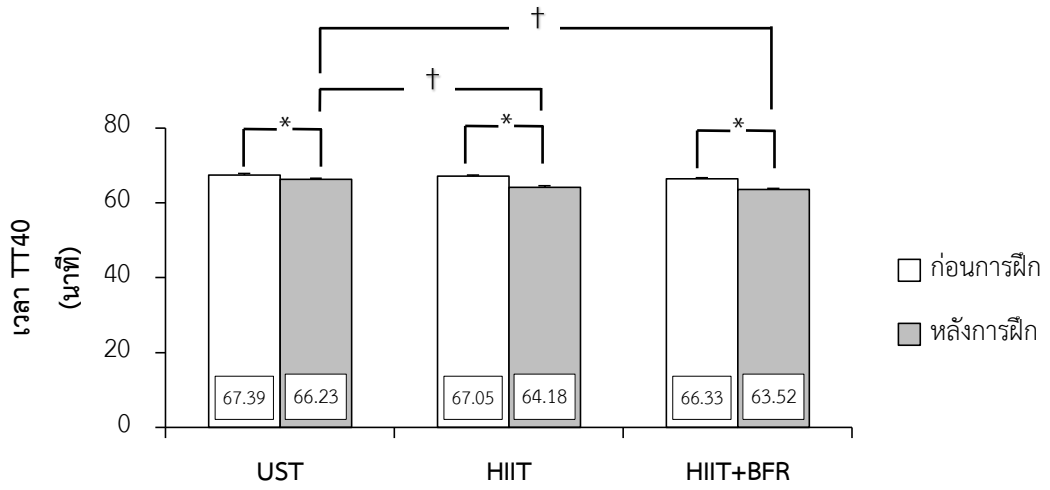
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; † $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 21 และรูปที่ 106 – 110 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความสามารถในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยของเวลาในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรลดลง และมีค่าความเร็วเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีกำลังเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีรอบการปั่นเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลัง 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยของเวลาในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรน้อยกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังมีกำลังเฉลี่ย และความเร็วเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

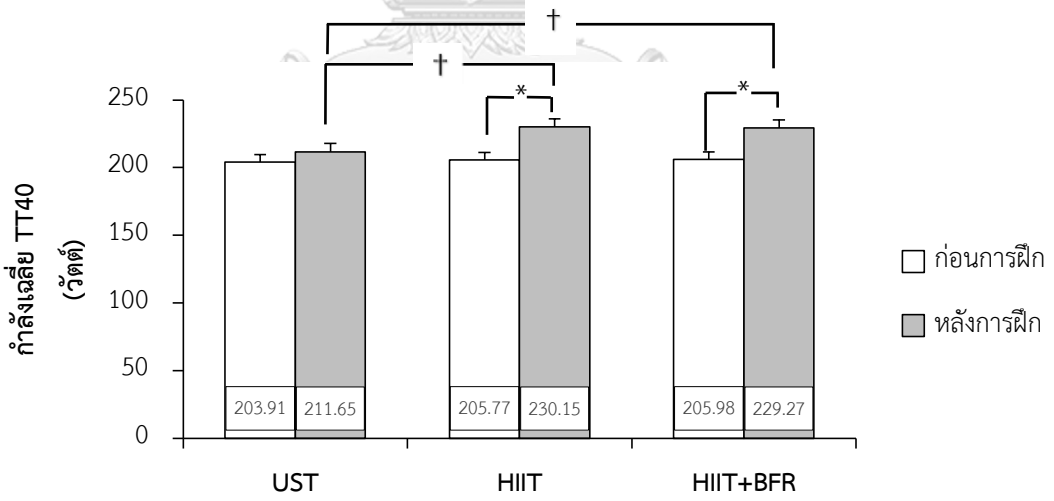
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 106 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาในการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

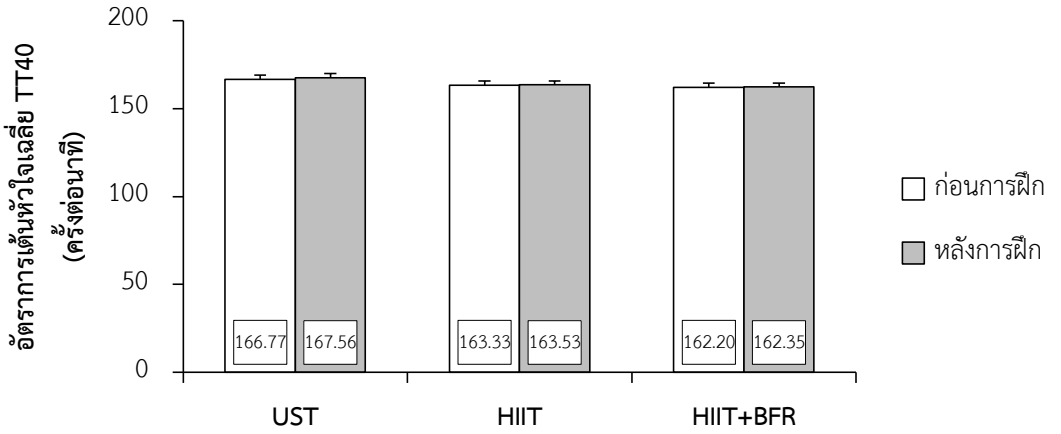
† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



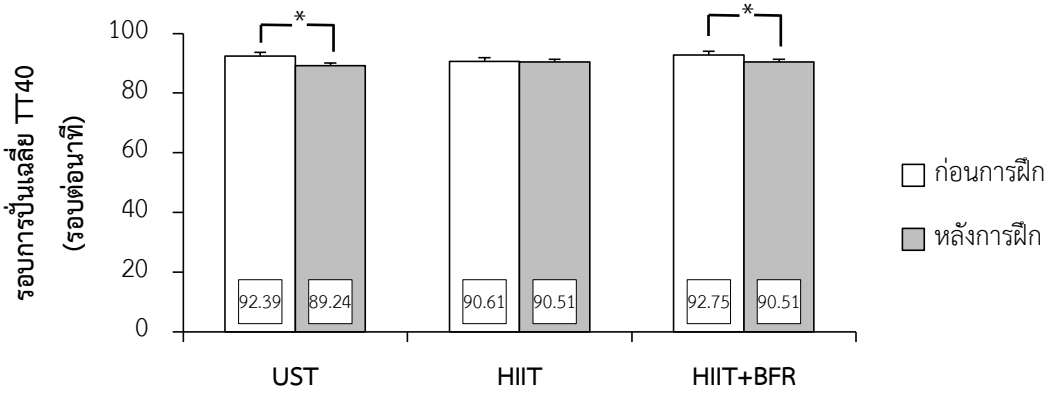
รูปที่ 107 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกำลังเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

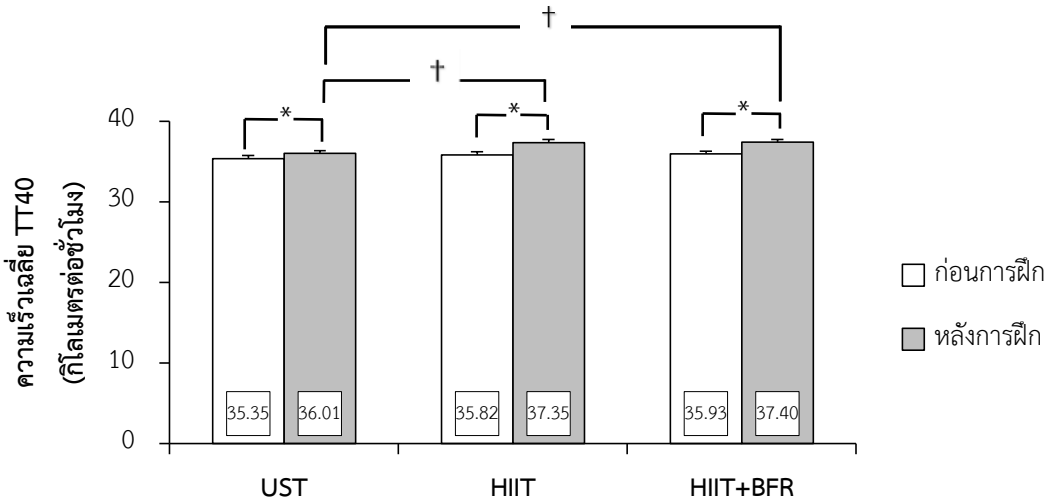


รูปที่ 108 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 109 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการปั่นเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 110 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร็วเฉลี่ยระหว่างการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (TT40) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของแลคเตทขณะทดสอบปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านความเข้มข้นของแลคเตทขณะทดสอบปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร	**UST (n=16)**		**HIIT (n=17)**		**HIIT+BFR (n=17)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ			ขนาดอิทธิพล (ES)
							เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม*เวลา	
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	(*p*-value)	(*p*-value)	(*p*-value)	เวลาและกลุ่ม
จุดเริ่มต้น 0 กิโลเมตร	2.97±0.07	2.82±0.10	3.07±0.06	2.84±0.09*	3.08±0.08	2.70±0.11*	0.000	0.700	0.370	0.057
(มิลลิโมล)	(2.84, 3.10)	(2.62, 3.01)	(2.94, 3.20)	(2.65, 3.03)	(2.93, 2.23)	(2.48, 2.92)				
ระยะ 20 กิโลเมตร	5.80±0.23	5.85±0.26	5.98±0.25	6.33±0.28	6.31±0.25	6.38±0.28	0.237	0.279	0.585	0.033
(มิลลิโมล)	(5.33-6.28)	(5.33-6.37)	(5.47-6.50)	(5.76-6.89)	(5.79-6.83)	(5.82-6.95)				
ระยะ 40 กิโลเมตร	7.14±0.27	7.49±0.33	7.12±0.27	7.93±0.32*	7.55±0.27	8.79±0.33*†	0.000	0.050	0.207	0.071
(มิลลิโมล)	(6.59, 7.69)	(6.82, 8.16)	(6.59, 7.65)	(7.28, 8.58)	(7.00, 8.11)	(8.12, 9.46)				
อัตราการลดลงภายหลัง 5 นาที	-0.51±3.53	-5.81±3.05	-1.69±3.26	-9.00±2.83	-2.02±3.39	-12.54±2.94*	0.006	0.433	0.730	0.017
(เปอร์เซ็นต์)	(-7.66, 6.64)	(-12.01, 0.38)	(-8.31, -4.93)	(-14.74, -3.26)	(-8.89, 4.85)	(-18.49, -6.58)				
อัตราการลดลงภายหลัง 10 นาที	-10.01±4.48	-14.50±3.78	-12.91±4.15	-16.11±3.50	-11.25±4.30	-16.61±3.64	0.130	0.876	0.950	0.003
(มิลลิโมล)	(-19.10, -0.93)	(-22.18, -6.83)	(-21.32, --4.49)	(-23.22, -9.01)	(-19.98, -2.52)	(-23.98, -9.23)				

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่น 95% (95%CI)

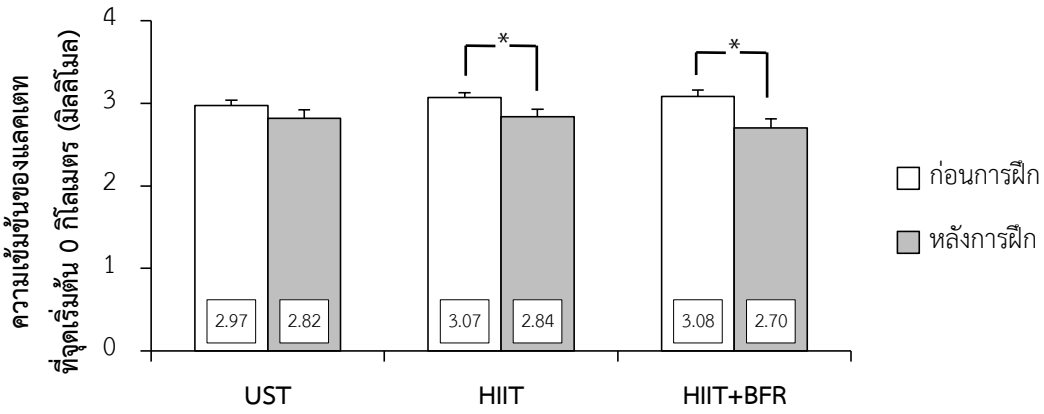
*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน; †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 23 และรูปที่ 111 – 115 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของแลคเตทระหว่างการทดสอบปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแลคเตทที่ระยะ 20 กิโลเมตร และอัตราการลดลงของแลคเตทภายหลัง 10 นาที ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแลคเตทที่จุดเริ่มต้น 0 กิโลเมตร ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแลคเตทที่ระยะ 40 กิโลเมตร เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม นอกจากนี้กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยของอัตราการลดลงของแลคเตทภายหลัง 5 นาที ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่ม

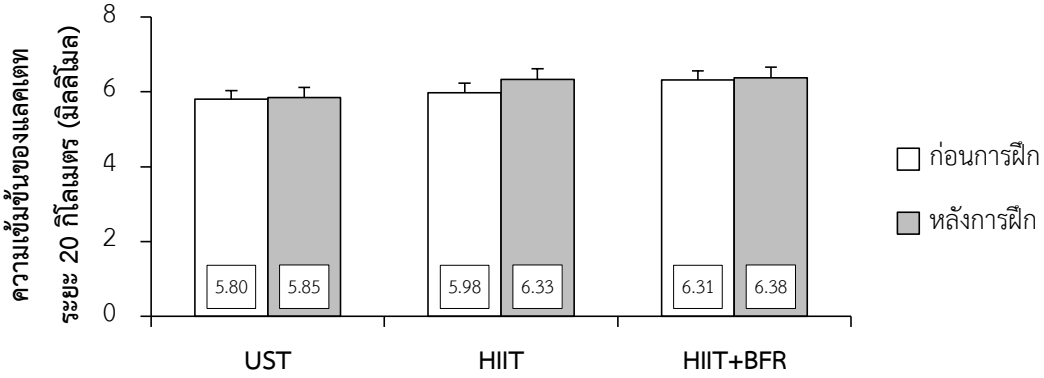
เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ภายหลัง 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแลคเตทที่ระยะ 40 กิโลเมตร เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

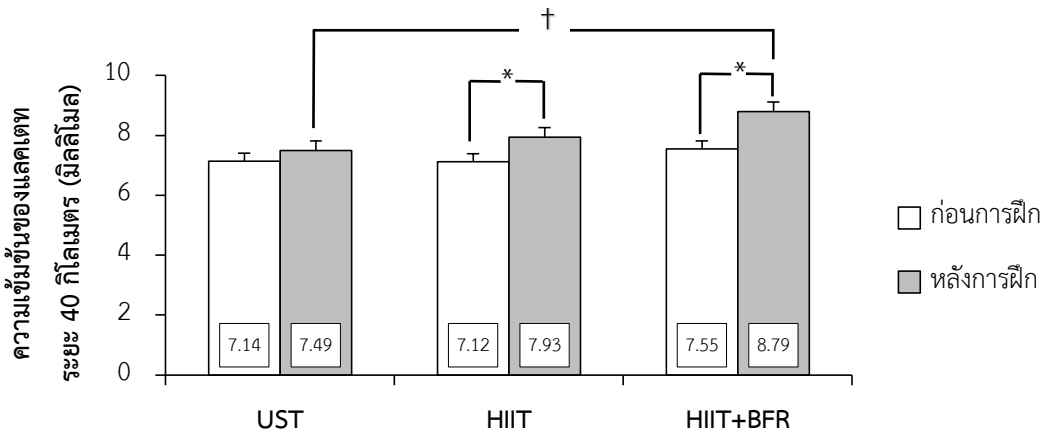


รูปที่ 111 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแลคเตทที่จุดเริ่มต้น 0 กิโลเมตร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



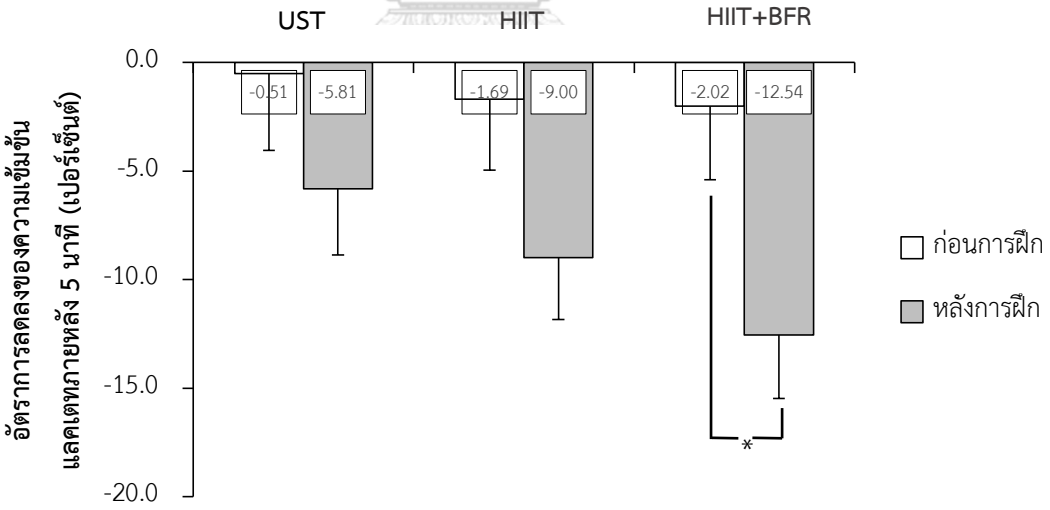
รูปที่ 112 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแลคเตทที่ระยะ 20 กิโลเมตร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 113 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแลคเตทที่ระยะ 40 กิโลเมตร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

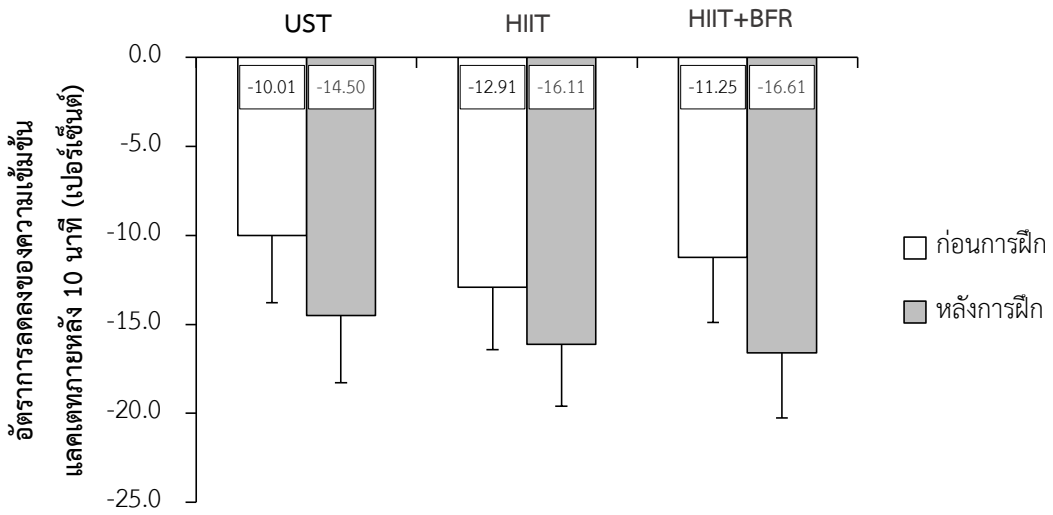
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 114 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการลดลงของความเข้มข้นของแลคเตทภายหลัง 5 นาทีระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

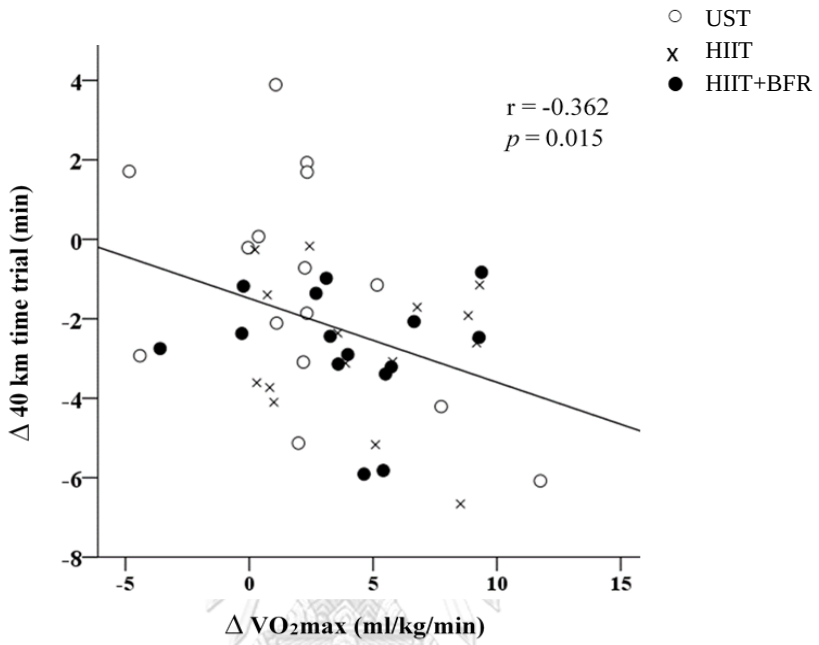
* แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 115 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการลดลงของความเข้มข้นของแลคเตทภายหลัง 10 นาทีระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

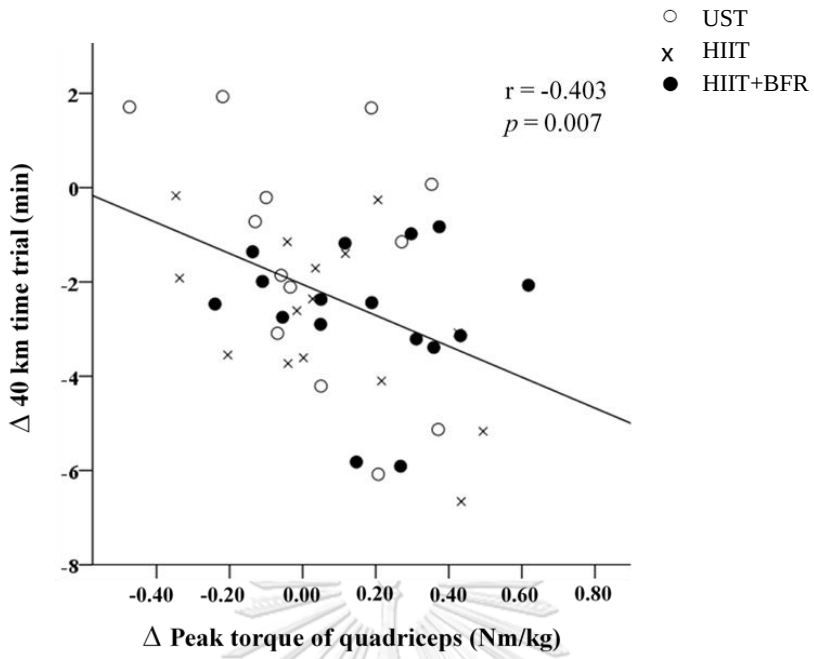
ตอนที่ 7 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความสามารถทางกีฬาจักรยานกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์



รูปที่ 116 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (Δ 40 km time trial) กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Δ VO_2max) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 116 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ – 0.362 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p= 0.015) หมายถึง ถ้าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรมีค่าลดลง



รูปที่ 117 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร (Δ 40 km time trial) กับแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Peak torque of quadriceps) ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

จากรูปที่ 117 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรกับแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ – 0.403 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร มีความสัมพันธ์เชิงลบกับแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p= 0.007) หมายถึง ถ้าแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรลดลง

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกาย สมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ สารชีวเคมีในเลือด และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์เพศชาย อายุระหว่าง 35 ถึง 49 ปี จำนวน 51 คน สังกัดทีมหรือชมรมกีฬาจักรยาน หรือนักกีฬาจักรยานอิสระ ที่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์การคัดเข้า โดยมีประสบการณ์เข้าร่วมการแข่งขันจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์มากกว่า 2 ปี มีประวัติการฝึกซ้อมด้วยการปั่นจักรยาน อย่างน้อย 4 วันต่อสัปดาห์ ระยะทางอย่างน้อย 150 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ ต่อเนื่องอย่างน้อย 3 เดือน มีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่น้อยกว่า 45 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ไม่มีการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในช่วง 3 เดือนก่อนการเข้าร่วมวิจัย และไม่มีความเสี่ยงของโรคหัวใจโรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะแข็งตัวของหลอดเลือด และไม่มีโรคหรือความผิดปกติของกระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ ผู้วิจัยทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นในขั้นแรก (Stratified random assignment) โดยเรียงลำดับการแบ่งชั้นตามความสามารถของค่ากำลังสูงสุด (Peak power output; PPO) จากนั้นใช้การสุ่มแบบง่าย (Simple random sampling) โดยวิธีการจับสลากเพื่อสุ่มเข้ากลุ่มการทดลอง ได้กลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มที่มีลักษณะเหมือนกัน (Homogeneous) กลุ่มละ 17 คน ซึ่งระหว่างการฝึกออกกำลังกายมีผู้เข้าร่วมวิจัยเจ็บป่วยออกจากการวิจัย 1 คน จึงทำให้ภายหลังการทดลอง 12 สัปดาห์มีกลุ่มตัวอย่างคงเหลือ 50 คน ดังนี้ กลุ่มการฝึกแบบปกติ (Usual training; UST) จำนวน 16 คน กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training; HIIT) จำนวน 17 คน กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High–intensity interval training combined with blood flow restriction; HIIT+BFR) จำนวน 17 คน

การฝึกซ้อมของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ทุกกลุ่มทำการฝึกซ้อมโดยการปั่นจักรยานจำนวน 6 วันต่อสัปดาห์ แบ่งออกเป็นการฝึกรูปแบบปกติต่อเนื่องโดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัย 4 วันต่อสัปดาห์ ประกอบด้วย การฝึกที่ความหนักต่ำกว่าระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 หรือความหนักประมาณ 55 – 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะเวลา 120 นาที 2 วันต่อสัปดาห์ และการฝึกที่ความหนักระหว่างระดับกั้นการรระบายอากาศที่ 1 ถึง 2 หรือความหนักประมาณ 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ระยะเวลา 75 นาที 2 วันต่อสัปดาห์ และรูปแบบการฝึกเฉพาะกลุ่มอีก 2 วันต่อสัปดาห์ ดังนี้ กลุ่มการฝึกแบบปกติฝึกด้วยการฝึกแบบต่อเนื่องที่ความหนักระหว่างระดับกั้นการรระบายอากาศที่ 1 ถึง 2 ระยะเวลา 75 นาที กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงฝึกด้วยการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักของช่วงออกกำลังกายหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 4 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 2 นาที จำนวน 4 รอบ (ระยะเวลารวม 24 นาที) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตฝึกเหมือนกับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในรอบที่ 1 และ 3 ยกเว้นในรอบที่ 2 และ 4 ฝึกปั่นจักรยานด้วยความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันของหลอดโลหิตแดงที่ถูกปิดกั้นขณะพัก (ประมาณ 75 มิลลิเมตรปรอท) เวลา 4 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด คลายแรงดัน (0 มิลลิเมตรปรอท) เวลา 2 นาที รวมจำนวน 4 รอบ (ระยะเวลารวม 24 นาที) กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการฝึกมากกว่าร้อยละ 90 ของระยะเวลาการฝึกทั้งหมด

ก่อนการฝึกและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มจะได้รับการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยาพื้นฐาน ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก ตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด ตัวแปรด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด และตัวแปรด้านความสามารถทางกีฬาจักรยาน นำผลการการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึกของแต่ละกลุ่มและระหว่างกลุ่มการทดลอง 3 กลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางชนิดวัดซ้ำ [Two–way ANOVA with repeated measures (3x2 : Group x Times)] หากพบความแตกต่างจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ด้วยวิธีการทดสอบแบบแอลเอสดี (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัย

1. ผลของการฝึกนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ที่มีต่อตัวแปรด้านต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังนี้

1.1. ด้านสรีรวิทยาพื้นฐาน

1) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) มีน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย มวลกล้ามเนื้อร่างกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ไม่มีความแตกต่างด้านสรีรวิทยาพื้นฐานระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

3) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีเปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกายและมวลไขมันร่างกายลดลง และมีมวลกล้ามเนื้อร่างกายและมวลกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2. ด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก

1) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (SV_{max}) และอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (CO_{max}) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) กำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (PPO) ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (SV_{max}) และอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (CO_{max}) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) กำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (PPO) ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (SV_{max}) อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (CO_{max}) ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำสูงสุด (a-v O_2diff) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.3. ด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

1) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) มีอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (PORH) บริเวณหลังเท้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) มีการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือด (FMD) ของหลอดเลือดเบรเคียลและพอพลิเตียล และอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (PORH) บริเวณหลังเท้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ของหลอดเลือดเบรเคียลและพอพลิเตียล และอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (PORH) บริเวณหลังเท้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.4. ด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ

1) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) มีค่าแรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวในท่างอเข่า (Knee flexion) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) มีแรงสูงสุดและแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวในท่างอเข่า (Knee flexion) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีความหนาและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริสและวาสตัสแลทเทอรัลลิสเพิ่มขึ้น แรงสูงสุด แรงต่อน้ำหนักตัว และงานในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และงอเข่า (Knee flexion) เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.5. ด้านสารชีวเคมีในเลือด

1) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) มีค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างของค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (CPK)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) มีค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างของค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (CPK)

3) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าคอลเลสเตอรอลและโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) อินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์–วัน (IGF–1) วาสคิวลาร์เอนโดทีเลี่ยมโกรสแฟคเตอร์ (VEGF) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างของค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (CPK)

1.6. ด้านความสามารถทางกีฬาจักรยาน

1) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) มีเวลาการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตรดีขึ้น และความเร็วเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) มีเวลา งาน และงานต่อน้ำหนักตัวที่สามารถทนต่อความเมื่อยล้าโดยการทดสอบปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดเพิ่มขึ้น เวลาการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตรดีขึ้น กำลังเฉลี่ย และความเร็วเฉลี่ยการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตรเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นแลคเตทในเลือดที่จุดเริ่มต้นการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตรลดลง และความเข้มข้นแลคเตทในเลือดที่จุดสิ้นสุด 40 กิโลเมตรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีเวลา งาน และงานต่อน้ำหนักตัวที่สามารถทนต่อความเมื่อยล้าโดยการทดสอบปั่นจักรยานความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดเพิ่มขึ้น เวลาการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตรดีขึ้น กำลังเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตรเพิ่มขึ้น อัตราการเต้นหัวใจสูงสุดและเฉลี่ยลดลง และความเข้มข้นแลคเตทในเลือดที่จุดเริ่มต้นการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตรลดลง ความเข้มข้นแลคเตทในเลือดที่จุดสิ้นสุด 40 กิโลเมตร และอัตราการลดลงของความเข้มข้นแลคเตทในเลือดภายหลัง 5 นาทีภายหลังการปั่นจักรยานระยะ 40 กิโลเมตรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลของการฝึกนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ที่มีต่อค่าเฉลี่ยด้านต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มหลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังนี้

2.1. ด้านสรีรวิทยาพื้นฐาน

กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีมวลกล้ามเนื้อร่างกายและขามากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.2. ด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก

กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีกำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (PPO) มากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.3. ด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มของความหนาผนังหลอดเลือด (IMT) คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (baPWV) การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ของหลอดเลือดเบรเคียลและพอพลิเตียลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.4. ด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ

กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีแรงสูงสุดในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) มากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ และการเปลี่ยนแปลงระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) และการเปลี่ยนแปลงระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดภายหลังการฝึกเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.5. ด้านสารชีวเคมีในเลือด

กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ต่ำกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้ง 3 กลุ่มไม่พบความแตกต่างของครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (CPK)

2.6. ด้านความสามารถทางกีฬาจักรยาน

หลังการฝึก 12 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการฝึกเบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีเวลา งาน และงานต่อน้ำหนักตัวที่ทนต่อความเมื่อยล้ามากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST) และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

3.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร มีความสัมพันธ์เชิงลบกับแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผลการวิจัย

1. ด้านสรีรวิทยาพื้นฐาน

ภายหลังจากนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ฝึกด้วยการปั่นจักรยานแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัว รวมถึงความดันหลอดเลือดแดงเฉลี่ยในทั้ง 3 กลุ่ม แม้ว่าการเพิ่มขึ้นของอายุจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจเสื่อมลง โดยสังเกตได้จากอัตราการเต้นหัวใจขณะพักและความดันโลหิตเพิ่มขึ้น และอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดลดลง เกิดความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด (Fleg & Strait, 2012) การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงกระตุ้นให้เกิดความเค้นของหัวใจ (Cardiac strain) จากการฝึกฝนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจ และชะลอความเสื่อมของโครงสร้างกล้ามเนื้อหัวใจในกลุ่มคนที่ไม่ออกกำลังกายทั่วไป (Sedentary) แต่ไม่พบในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ประเภทความอดทน (Grace et al., 2018) ซึ่งการฝึกออกกำลังกายประเภทความอดทนจะช่วยป้องกันความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดเมื่ออายุเพิ่มขึ้นได้ (Shapero et al., 2016) อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ อัตราการเต้นหัวใจและความดันโลหิตขณะพักมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะการฝึกออกกำลังกายในแบบแอโรบิกต่อเนื่อง และแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง รวมถึงแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต สามารถช่วยรักษาความสมดุลการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก ทำให้การควบคุมการทำงานอัตโนมัติของหัวใจยังคงมีประสิทธิภาพดี (Grace et al., 2018)

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ พบว่า นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ที่ทำการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีเปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย และมวลไขมันร่างกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงโดยใช้แรงต้าน และการออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน ช่วยเพิ่มขนาดและมวลของกล้ามเนื้อ อีกทั้งเพิ่มความสามารถของกล้ามเนื้อในการเผาผลาญไขมันได้ดีขึ้น (Mann et al., 2014) เนื่องจากการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วกับการฝึกโดยใช้แรงต้านช่วยเพิ่มความเครียด (Stress) ให้กับระบบพลังงาน จึงช่วยเพิ่มกระบวนการสลายไขมัน (Lipolysis) ในเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue) โดยอาศัยเอมไซม์ฮอร์โมนเซนซิทีฟ (Hormone sensitive lipase; HSL) ได้เป็นกรดมันอิสระ (Free fatty acid) จากนั้นมีเคลื่อนย้ายกรดไขมัน (Fatty acid mobilized) เข้าสู่ไมโตครอนเดรีย เกิดการเผาผลาญไขมันภายในเซลล์ไขมันออกมาเป็นพลังงานได้ดียิ่งขึ้น (Talanian et al., 2010; Muscella et al., 2020) ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ ที่ได้ทำการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียน

โลหิตทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนต่ำในกล้ามเนื้อ (Localized hypoxia) นอกจากจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นมวลกล้ามเนื้อของร่างกายแล้ว ยังส่งผลต่อการเพิ่มความเครียดของระบบการเผาผลาญอาหาร (Metabolic stress) ทำให้เพิ่มสามารถการทำงานของไมโตคอนเดรียในกล้ามเนื้อจึงกระตุ้นให้กล้ามเนื้อมีความสามารถในการใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน (Fat oxidation) ดีขึ้นตามกลไกที่กล่าวมาข้างต้นได้มากกว่าการฝึกด้วยรูปแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงเพียงอย่างเดียว

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ พบว่า นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบปกติมีน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และมวลกล้ามเนื้อร่างกายลดลง แต่อีก 2 กลุ่มไม่เกิดการลดลงของน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และมวลกล้ามเนื้อ อาจเป็นเพราะผลของความหนักจากการออกกำลังกายในระดับสูง โดยทั่วไปจากอายุที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เกิดการลดลงของมวลกล้ามเนื้อซึ่งพบได้ทั้งในกลุ่มคนทั่วไปและกลุ่มนักกีฬาประเภทความอดทน (Tanaka & Seals, 2008) นอกจากนี้ รูปแบบการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักปานกลางปริมาณการฝึกมากส่งผลให้ค่าฮอร์โมนอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (IGF–1) ลดลง ร่างกายจึงมีการสร้างกล้ามเนื้อน้อยลง (Sugawara et al., 2002) แต่กลุ่มที่ฝึกด้วยรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตไม่เกิดการลดลงของมวลกล้ามเนื้อ เนื่องจากความหนักของการออกกำลังกายที่สูงช่วยเพิ่มการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type II fibre recruitment) จึงเพิ่มการตอบสนองของเซลล์แซทเทิลไลท์ (Satellite cell) ส่งผลให้มวลกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นจากการสร้างโปรตีนใหม่ (Ogborn & Schoenfeld, 2014) ดังนั้นเป็นไปได้ว่า ความหนักของการฝึกออกกำลังกายน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยคงสภาพหรือลดการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อได้ นอกจากนี้ในการวิจัยครั้งนี้ยังพบว่า การฝึกออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตร่วมกับการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง สามารถเพิ่มมวลกล้ามเนื้อของร่างกายและขาได้ภายหลังการฝึกเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim และคณะ (Kim et al., 2016) ที่ทำการฝึกปั่นจักรยานระยะเวลา 20 นาที ที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 160 – 180 มิลิเมตรปรอท ระยะเวลา 6 สัปดาห์ ช่วยเพิ่มมวลกล้ามเนื้อขาอาจเป็นเพราะการฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต กระตุ้นให้เกิดการเผาผลาญพลังงานภายในเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างมากส่งผลให้เพิ่มปริมาณการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อโดยการเพิ่มขึ้นของกระบวนการแมมมาเลียนทาร์เกตออฟราพาไมซิน (Mammalian target of rapamycin; mTOR) และเอมไซม์ไมโทเจนแอคทิเวเตดโปรตีนไคเนส (Mitogen activated protein–kinase; MAPK) เพิ่มขึ้น (Abe et al., 2006; Kim et al., 2016)

2. ด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก

จากผลการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ที่ทำการฝึกแบบปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีสมรรถภาพทางแอโรบิกที่ดีขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) และระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อาจเป็นเพราะการฝึกทั้ง 3 รูปแบบส่งผลให้การทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตดีขึ้น เห็นได้จากในงานวิจัยนี้ที่พบว่า อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (CO_{max}) และปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (SV_{max}) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นถึงความสามารถของหัวใจในการบีบตัวเพื่อสูบฉีดเลือดนำเอาออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมีมากขึ้น (Esfarjani & Laursen, 2007) การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Tanaka et al., 1986) และแบบสลับช่วง (Helgerud et al., 2007) ช่วยเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) และระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ส่งผลให้ระบบหัวใจและการไหลเวียนโลหิตทำงานดีขึ้น ความสามารถในการบีบตัวของหัวใจห้องล่างซ้าย (Myocardial contractility) เพิ่มมากขึ้นได้จากการพัฒนาระบบการทำงานของส่วนกลาง (Central adaptations) (Laursen & Jenkins, 2002) นอกจากนี้การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกและแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงยังช่วยพัฒนาขนาดหัวใจให้เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณเลือดขณะที่หัวใจขยายตัวสูงสุด (Preload) ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณของการไหลเวียนของเลือดดำกลับสู่หัวใจ ซึ่งการที่มี Preload เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณโลหิตที่หัวใจสูบฉีดแต่ละครั้ง (SV) เพิ่มขึ้น (Tanaka et al., 1986) ส่งผลให้อัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที (CO) เพิ่มขึ้น โดยอัตราการเต้นหัวใจอาจเท่าเดิมหรือลดลง (Helgerud et al., 2007; ดรุณวรรณ สุขสม, 2561)

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่า เฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำสูงสุด (Arteriovenous oxygen difference; a–v O_2diff) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่า เฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีความสามารถสูงสุดในการดึงออกซิเจนออกจากเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อได้เพิ่มขึ้น (ดรุณวรรณ สุขสม, 2561) อาจเป็นเพราะผลจากการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำสูงสุด (a–v O_2diff) ภายหลังการฝึกจากการปรับตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง (Peripheral adaptations) ที่เอื้อต่อการนำเอาออกซิเจนไปใช้เป็นพลังงาน โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณหรือความหนาแน่นของไมโตรคอนเดรีย รวมถึงความสามารถในการเผาผลาญพลังงานของไมโตคอนเดรีย และการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดฝอยที่บ่งชี้จากการเพิ่มขึ้นของวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์

ซึ่งสอดคล้องกับ Takano และคณะ (Takano et al., 2005) พบว่า ในขณะออกกำลังกายด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นการฝึกโดยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่กล้ามเนื้อเฉพาะที่ (Localized hypoxia) เกิดการสะสมของสารที่เป็นผลผลิตของการเผาผลาญพลังงาน เช่น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ฟอสเฟต (Pi) และแลคเตท (Lactate) ภายในกล้ามเนื้อปริมาณมาก (Rossi et al., 2018) จึงมีการกระตุ้นให้สร้างสารชีวเคมีต่าง ๆ เช่น โกรทฮอร์โมนอินซูลินไลด์โกรทแฟคเตอร์–วัน และวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ (Hudlicka & Brown, 2009; Takano et al., 2005) นอกจากนี้ ช่วยเพิ่มการไหลเวียนโลหิตไปยังกล้ามเนื้อที่ทำงานส่งผลให้กล้ามเนื้อได้รับเลือดที่มีออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งช่วยให้กล้ามเนื้อสามารถดึงเอาออกซิเจนไปใช้เป็นพลังงานได้ดีขึ้น (Hellsten & Nyberg, 2016) ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตจึงเป็นผลมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานทั้งระบบส่วนกลางและส่วนปลาย (Central and Peripheral adaptations) (Ferguson et al., 2021; Pignanelli et al., 2021)

การศึกษาวิจัยนี้ยังพบอีกว่า นักจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีค่ากำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak power output) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 บ่งบอกถึงความสามารถในการออกแรงในขณะที่มีการใช้พลังงานในรูปแบบแอโรบิก (Brown et al., 2007; Pfeiffer et al., 1993) อาจเป็นเพราะความหนักของการออกกำลังกายในระดับสูงด้วยการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงกระตุ้นให้กล้ามเนื้อมีความสามารถในการดึงออกซิเจนไปใช้เป็นพลังงาน (Oxygen utilization) มากขึ้น จากกล้ามเนื้อที่ทำงานมีเส้นเลือดฝอย และความหนาแน่นของไมโตคอนเดรียเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการเผาผลาญพลังงาน และทนต่อความเมื่อยล้าดีขึ้น (Gormley et al., 2008; Hawley et al., 1997) โดยสรุปแล้วการฝึกแบบปกติ และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง สามารถช่วยพัฒนาสมรรถภาพแอโรบิกได้โดยการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต โดยการพัฒนาของระบบส่วนกลาง (Central adaptations) แต่การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตสามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางแอโรบิกได้โดยการพัฒนาระบบส่วนกลางร่วมกับการพัฒนาระบบส่วนปลาย (Central and Peripheral adaptations) (Centner & Lauber, 2020)

3. ด้านโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

ปกติแล้วคนเราจะมีหลอดเลือดที่หนาตัวขึ้น (Intima media thickness and Stiffness) และมีการทำงานของหลอดเลือด (Flow–mediated dilation) ที่ลดลง ในผู้ที่มีอายุมากขึ้น (Seals & Alexander, 2018; Ungvari et al., 2018) ซึ่งเห็นได้จากค่าความหนาของผนังหลอดเลือดแดงที่คอ

และการประเมินภาวะแข็งตัวของหลอดเลือดจากการวัดคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าที่เพิ่มขึ้น การศึกษาในครั้งนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างหลอดเลือดในทุกกลุ่มการฝึกออกกำลังกาย แม้ว่านักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์จะมีการฝึกซ้อมด้วยการปั่นจักรยานอย่างหนักแต่ในการศึกษาก็ไม่พบการพัฒนาโครงสร้างของหลอดเลือดให้ดีขึ้นกว่าเดิมได้ อาจเป็นเพราะพื้นฐานโครงสร้างหลอดเลือดของนักกีฬาประเภทความอดทนรุ่นมาสเตอร์มีความหนาของผนังหลอดเลือดและความยืดหยุ่นของหลอดเลือดแดงใหญ่ที่ดีอยู่แล้ว เมื่อเทียบกับวัยกลางคนและผู้สูงอายุที่ไม่ได้รับการฝึกฝน โครงสร้างหลอดเลือดของนักกีฬาประเภทความอดทนรุ่นมาสเตอร์ ถือได้ว่าเป็นแบบอย่างที่ดีของการเกิดความชราภาพของหลอดเลือดตามอายุที่เพิ่มขึ้น (Vascular ageing) เป็นผลมาจากความสามารถในการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดที่ดี (DeVan & Seals, 2012)

จากผลการศึกษา พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีการขยายตัวของหลอดเลือดหลังปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดเบรเคียลและพอพลิเตียลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหลอดเลือดได้ทั้งในส่วนหลอดเลือดพอพลิเตียลซึ่งเป็นหลอดเลือดที่บริเวณขาที่ได้รับการฝึกโดยตรง และหลอดเลือดเบรเคียลซึ่งเป็นหลอดเลือดที่บริเวณแขนในส่วนที่ไม่มีการฝึกออกแรงโดยตรงให้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยก่อนหน้าที่พบว่า การฝึกออกกำลังกายด้วยรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงจะมีช่วยให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดเบรเคียลเพิ่มขึ้นมากกว่าการฝึกแบบต่อเนื่องระดับความหนักปานกลางในคนวัยกลางคนและผู้สูงอายุที่ไม่ได้ออกกำลังกาย (O'Brien et al., 2020) ในปี 2019 Ramírez–Vélez และคณะ (Ramírez-Vélez et al., 2019) พบว่า การฝึกออกกำลังกายด้วยรูปแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 85 – 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจ ช่วยเพิ่มการขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียน และลดความแข็งตัวของหลอดเลือดได้ดีกว่าการฝึกแบบแอโรบิกต่อเนื่องที่ความหนัก 60 – 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจเป้าหมาย ซึ่งกลไกที่ส่งผลโดยตรงต่อการขยายตัวของหลอดเลือด ได้แก่ กลไกที่เกี่ยวข้องกับไนตริกออกไซด์ อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยนี้ หลังจากการฝึกออกกำลังกายในทุกรูปแบบการฝึกไนตริกออกไซด์ (NO) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่พบความแตกต่างจากก่อนการฝึก เป็นไปได้ว่าการฝึกออกกำลังกายสามารถกระตุ้นการสร้างไนตริกออกไซด์ได้ (O'Brien et al., 2020) แต่อาจเป็นเพราะการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักสูงรวมถึงการฝึกออกกำลังกายในนักกีฬาที่อายุมากส่งผลกระตุ้นให้เกิดสารอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ (ROS) (Brisswalter & Louis, 2014; Maleki et al., 2014; Powers et al., 2011; Reaburn, 2014) ซึ่งไนตริกออกไซด์ที่สร้างขึ้นมาแล้วนั้น จะทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระซุปเปอร์ออกไซด์ ทำให้สัดส่วนของไนตริกออกไซด์ที่เหลืออยู่ (NO bioavailability)

ลดลง จึงทำให้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของไนตริกออกไซด์ในระดับที่ชัดเจน (Goto et al., 2003; Sousa et al., 2019) ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหลอดเลือดอาจไม่ได้เกิดจากกลไกที่เกี่ยวข้องกับไนตริก ออกไซด์ที่เป็นกลไกโดยตรง (Direct pathway) เพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดได้จากกลไกอื่นร่วมด้วย (Indirect pathway) ได้แก่ การกระตุ้นการทำงานระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous system) ที่เพิ่มขึ้นจากการฝึกออกกำลังกาย (Atkinson et al., 2015; Owens, 1995) ส่งสัญญาณให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle cell) ของผนังหลอดเลือดทำงานได้ดี (Kapilevich et al., 2020; Newcomer et al., 2011; Ramos et al., 2015) ส่งผลให้หลอดเลือดมีการหดตัวและขยายตัวได้ดีขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นเพราะความหนักของการออกกำลังกายในระดับสูงทำให้กล้ามเนื้อทำงาน (Muscle pumping) มากขึ้นจึงกระตุ้นให้เกิดการไหลเวียนโลหิตปริมาณมาก เพื่อที่จะนำออกซิเจนไปส่งให้กับกล้ามเนื้อที่กำลังทำงาน จึงส่งผลให้มีอัตราแรงเฉือน (Shear stress) เกิดขึ้นที่ผนังหลอดเลือดซ้ำ ๆ ซึ่งเป็นการกระตุ้นการทำงานของหลอดเลือดในระดับโมเลกุลมากกว่า ทำให้มีการเพิ่มปริมาณของไซคลิกกัวโนซีนโมโนฟอสเฟต (Cyclic guanosine monophosphate; cGMP) ส่งผลให้หลอดเลือดมีการหดตัวและขยายตัวได้มากกว่าการฝึกแบบแอโรบิกต่อเนื่อง (Ramírez-Vélez et al., 2019)

อัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดเป็นการประเมินการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค การศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึกมีอัตราไหลของเลือดชั้นผิวหนังภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือดบริเวณหลังเท้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่า การไหลเวียนโลหิตระดับจุลภาคชั้นผิวหนัง (Cutaneous microcirculation) บริเวณหลังเท้าดีขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยนำเอาออกซิเจนและสารอาหารไปยังเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อทำงานและนำของเสียที่เป็นผลผลิตจากการเผาผลาญพลังงานออกจากกล้ามเนื้อได้ดีขึ้น (Meng et al., 2021) อาจเป็นเพราะการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในรูปแบบที่มีการเคลื่อนไหวโดยใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่จะมีการไหลเวียนโลหิตที่ผิวหนังในขณะออกกำลังกายเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นการควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกาย และจากการที่มีปริมาณเลือดจากส่วนกลางจำนวนมากไหลเวียนไปยังหลอดเลือดส่วนปลายจึงช่วยกระตุ้นให้หลอดเลือดระดับจุลภาคชั้นผิวหนังผลิตสารไนตริกออกไซด์ที่ทำให้หลอดเลือดมีการหดและขยายตัวดีขึ้น (Endothelium–dependent vasomotor function) จึงส่งผลให้หลอดเลือดชั้นผิวหนังทำงานดีขึ้น (Franzoni et al., 2004) อีกทั้งกระตุ้นให้ความหนาผนังหลอดเลือดฝอยลดลง (Capillary basement membrane) เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและสารอาหารรวมถึงของเสียที่บริเวณเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อดีขึ้น (Williamson et al., 1996) นอกจากนี้ยังพบว่า การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตภายใต้สภาวะออกซิเจนต่ำเฉพาะที่ จะกระตุ้นให้เกิดการปรับโครงสร้างหลอดหลอดเลือดระดับจุลภาคจากกระบวนการสร้างหลอดเลือดฝอย โดย

ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของจำนวนหลอดเลือดฝอยซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราไหลของเลือดระดับจุลภาค (Microvascular perfusion capacity) ให้ดีขึ้น (Nielsen et al., 2020)

4. ด้านโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ

จากการศึกษานี้ พบว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาขนาดของกล้ามเนื้อโดยมีความหนาและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris) และวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fahs และคณะ (Fahs et al., 2015) พบว่า การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตของกลุ่มประชากรสุขภาพดีวัยกลางคน มีความหนาของกล้ามเนื้อควอทไดเซป (Quadriceps) เพิ่มขึ้น ในปี 2010 การศึกษาวิจัยของ Abe และคณะ (Abe et al., 2006) พบว่า ผลของการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตร่วมกับการออกกำลังกายด้วยการเดิน ช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดกล้ามเนื้อต้นขา ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (Insulin like growth factor–1; IGF–1) นอกจากนี้ การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตสามารถทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนต่ำกล้ามเนื้อ (Localized hypoxia) จะเกิดการกระตุ้นการเพิ่มสารเมตาบอไลต์ที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการผลิตพลังงานเพิ่มมากขึ้น (Conceição et al., 2019; Scott et al., 2014; Takarada et al., 2002) ส่งสัญญาณไปยังเซลล์กล้ามเนื้อให้เกิดกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อ (Muscle synthesis) ผ่านกลไกการเกิดอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (IGF–1) และกระบวนการ mTOR ช่วยในการสร้างกล้ามเนื้อ (Abe et al., 2006; Abe, Sakamaki, et al., 2010) ส่งผลให้ช่วยลดการสร้างฮอร์โมนไมโอสเตติน (Myostatin) ซึ่งเป็นกลไกการการสลายกล้ามเนื้อ (Muscle breakdown) (Amani-Shalamzari et al., 2019) และกระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 จนเกิดความล้าที่มากจึงเป็นการกระตุ้นหน่วยยนต์ของกล้ามเนื้อให้ทำงานเพิ่มขึ้น (Loenneke et al., 2015) ทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้นและแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Amani-Shalamzari et al., 2019) ซึ่งการศึกษานี้พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีการเพิ่มขึ้นของแรงสูงสุดในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) สอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่า การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Abe et al., 2006; Abe, Sakamaki, et al., 2010; Conceição et al., 2019; Kim et al., 2016) และการวิจัยของ Oliverira และคณะ (Oliveira et al., 2016) ที่พบว่าการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในกลุ่มสุขภาพดีทั่วไป ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า การที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากการมีความหนาและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris)

และวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis) ที่เพิ่มขึ้นแล้ว อาจเกิดจากกลไกการตอบสนองของระบบประสาทกล้ามเนื้อ โดยการระดมใช้เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 กล้ามเนื้อจึงสามารถออกแรงได้มากขึ้นอีกด้วย (Abe, Fujita, et al., 2010; Amani-Shalamzari et al., 2019; Oliveira et al., 2016; Scott et al., 2014)

จากการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า ทุกรูปแบบการฝึกช่วยพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings) เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของแรงสูงสุดในท่างอเข่า (Knee flexion) อาจเป็นเพราะในการศึกษานี้ได้มีการควบคุมความเร็วรอบในการฝึกปั่นจักรยานที่ระดับ 85 – 90 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการปั่นจักรยานประเภทถนนที่สามารถได้กำลัง (Power output) มากที่สุด (Reed et al., 2016) เนื่องจากการปั่นจักรยานด้วยรอบการปั่นที่ระดับประมาณ 90 รอบต่อนาทีจะมีการใช้งานของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings) ช่วยออกแรงในระยะการสร้างแรงสูงสุดได้เพิ่มขึ้น (So et al., 2005) มากกว่าการใช้ความเร็วรอบต่ำ (Bieuzen et al., 2007) จึงเป็นไปได้ว่าการควบคุมความเร็วรอบของการฝึกปั่นจักรยานทำให้มีการใช้กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วย นอกจากนี้ กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังมากกว่าการฝึกแบบปกติและการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim และคณะ (Kim et al., 2016) พบว่า การฝึกปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงต่อเนื่องและการฝึกปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีแรงสูงสุดในท่างอเข่าเพิ่มขึ้น และการฝึกปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตทำให้เกิดความแข็งแรงได้มากกว่าการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติที่ระดับความหนักสูง ทั้งนี้เป็นเพราะความหนักและปริมาณการฝึกสามารถกระตุ้นให้กล้ามเนื้อเกิดความแข็งแรง อีกทั้งการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงมากกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อเป็นปัญหาของนักกีฬาจักรยานที่ทำให้กล้ามเนื้อออกแรงได้น้อยลง ส่งผลให้ความสามารถทางกีฬาจักรยานลดลง (Coyle et al., 1991; Weston et al., 1997) จากการทดสอบระดับความล้า (Work fatigue) โดยการออกแรงด้วยความเร็วคงที่ 180 องศาต่อวินาที จำนวน 50 ครั้ง ในท่าเหยียดเข่าและงอเข่า (Knee extension and knee flexion) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ระดับความล้าในทุกกลุ่มการฝึก แต่เฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีค่างาน (Total work) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งงานที่เพิ่มขึ้นบ่งชี้ถึงความสามารถในการทำงานหรือการรักษาสภาพการออกแรงของกล้ามเนื้อไว้ได้หรือการเกิดความล้าที่น้อยลง (Adam & De Luca, 2003) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Conceição และคณะ (Conceição et al., 2019) ที่พบว่า การฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 40 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียน

โลหิตที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตสูงสุดช่วยเพิ่มความทนทานของกล้ามเนื้อ ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการเกิดสภาวะออกซิเจนในกล้ามเนื้อต่ำโดยเฉพาะที่บริเวณขาทำให้เกิดการสร้างหลอดเลือดฝอย ดังนั้นเป็นไปได้ว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มความอดทนของกล้ามเนื้อ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของการสร้างหลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้อ ทำให้สามารถดึงเอาออกซิเจนไปใช้เป็นพลังงาน การขนส่งสารอาหารและนำของเสียไปกำจัดได้ดีขึ้น (Nielsen et al., 2020) ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความอดทนเพิ่มขึ้น (Kacin & Strazar, 2011)

นอกจากนี้ในการวิจัยครั้งนี้ยังพบว่า เฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีค่าการเปลี่ยนแปลงของของระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มมากขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์และเพิ่มมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติและการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่ามีการไหลเวียนโลหิตภายในกล้ามเนื้อ (Local O_2 delivery) และความสามารถของกล้ามเนื้อในการนำออกซิเจนออกไปใช้เป็นพลังงาน (O_2 utilization) เพิ่มมากขึ้น (Gravelle et al., 2012) การไหลเวียนโลหิตภายในกล้ามเนื้อ (Local O_2 delivery) เพิ่มขึ้นได้จากการที่มีปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (SV) และอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที (CO) เพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกายสูงสุด (Boone et al., 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Keramidas และคณะ (Keramidas et al., 2012) ศึกษาผลของการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ 90 มิลลิเมตรปรอท ระยะเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดคลายแรงดัน 0 มิลลิเมตรปรอท ระยะเวลา 2 นาที พบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนมากขึ้น

ในการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า มีเพียงเฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีการเปลี่ยนแปลงของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (ΔHHb) ขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มมากขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์และเพิ่มมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติและการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อมีความสามารถในการดึงออกซิเจนไปใช้ (Muscle fractional O_2 extraction) ได้ดีขึ้น (Caen et al., 2019; Inglis et al., 2019; McManus et al., 2018) อาจเป็นเพราะการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดฝอยที่ช่วยเพิ่มการไหลเวียนโลหิตในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนสารระหว่างกล้ามเนื้อและเลือดได้มากขึ้น (Biazon et al., 2019; Christiansen et al., 2020; Gliemann et al., 2016; Murias et al., 2011) การที่ระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (ΔHHb) เพิ่มมาก

ขึ้น ส่งผลให้ความสามารถใช้กำลังขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มมากขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถทางกีฬาจักรยานได้ (Gendron et al., 2016) นอกจากนี้ยังพบว่า การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกต่อเนื่องที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระยะเวลา 90 – 120 นาที และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 120 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระยะเวลารวม 24 นาที ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (ΔHHb) ภายหลังการฝึก เป็นเพราะการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกต่อเนื่องและการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนโลหิตจากส่วนกลางไปยังกล้ามเนื้อได้เร็วขึ้น และกล้ามเนื้อสามารถดึงออกซิเจนไปใช้ได้อย่างพอดีกัน จึงไม่พบความแตกต่างของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับตัวกับออกซิเจน (ΔHHb) (McKay et al., 2009)

5. ด้านสารชีวเคมีในเลือด

จากผลการศึกษานี้ ไม่พบการเพิ่มขึ้นของจำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต หลังจากการฝึกออกกำลังกายในทุกรูปแบบ ซึ่งในระหว่างการออกกำลังกายระบบหัวใจและหลอดเลือดจะทำหน้าที่ขนส่งสารพลังงานไปยังกล้ามเนื้อทำงาน โดยเซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีหน้าที่หลักในการขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อ และขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นกลับมายังปอดเพื่อขับออกจากการหายใจ นอกจากนี้ ฮีโมโกลบินยังมีส่วนช่วยในการบัฟเฟอร์ของเลือด การผลิตสารให้พลังงาน (ATP) และการปล่อยไนตริกออกไซด์ที่ช่วยในการขยายหลอดเลือด และเพิ่มการไหลเวียนโลหิตไปยังกล้ามเนื้อทำงาน ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จำเป็นต้องมีเซลล์เม็ดเลือดแดงอย่างเพียงพอ (Mairbäurl, 2013) โดยทั่วไปการสร้างเม็ดเลือดแดง (Erythropoiesis) จะถูกควบคุมโดยระดับของออกซิเจนในกระแสโลหิต หากเกิดสภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ (Systemic hypoxia) จะไปกระตุ้นอวัยวะส่วนไตให้หลั่งฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน (Erythropoietin; EPO) จากนั้น อีริโทรโพอิติน (EPO) จะไปยังไขกระดูกชักนำให้มีการสร้างเม็ดเลือดแดงจากเซลล์ต้นกำเนิด (Liang & Ghaffari, 2016) การวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า รูปแบบและวิธีการฝึกออกกำลังกายมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มระดับของอีริโทรโพอิติน (EPO) ในนักกีฬาจักรยาน โดยการฝึกออกกำลังกายที่ระดับน้ำทะเล แต่พักอาศัยในบรรยากาศเหนือระดับน้ำทะเล (Live high – traine low) และการฝึกแบบพักอาศัยในบรรยากาศเหนือระดับน้ำทะเลร่วมกับการฝึกออกกำลังกายในบรรยากาศเหนือระดับน้ำทะเลสลับกับการฝึกออกกำลังกายที่ระดับน้ำทะเล จะช่วยเพิ่มอีริโทรโพอิติน (EPO) จึงเกิดการสร้างเม็ดเลือดแดง (Erythropoiesis) ในนักกีฬาจักรยานได้ดีกว่าการฝึกแบบทั่วไปที่ระดับน้ำทะเลเพียงอย่างเดียว (Garvican et al., 2012; Hahn & Gore, 2001; Nadarajan et al., 2010; Townsend et al., 2016; Wi**ś**niewska et al., 2020) อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ ก็ไม่พบการเพิ่มขึ้นจำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต หลังจากการฝึกออกกำลังกายในทุกรูปแบบการฝึก อาจเป็นเพราะ

รูปแบบการฝึก รวมถึงการฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำเฉพาะที่กล้ามเนื้อ (Lacalized hypoxia) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ยังไม่สามารถกระตุ้นการสร้างฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน (EPO) ได้

จากการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) มีค่าโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ลดลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และลดลงมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติและกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ซึ่งระดับของโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนหากมีค่าสูงบ่งบอกถึงไขมันส่วนเกินในเลือดเป็นการเพิ่มความเสี่ยงของภาวะแทรกซ้อนของโรคหัวใจและหลอดเลือด ในการศึกษาวิจัยนี้ที่พบว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยลดไขมันโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ได้ อาจเป็นเพราะภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต กระตุ้นให้เกิดความเครียดของระบบการเผาผลาญอาหาร (Metabolic stress) ช่วยให้ร่างกายมีความสามารถในการใช้พลังงานได้ดีขึ้น (Metabolic control) จากการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อ และความสามารถของกล้ามเนื้อในการเผาผลาญพลังงาน (Muscle metabolism) รวมไปถึงการเพิ่มความสามารถของแอลดีแอลรีเซปเตอร์ (LDL receptors) จึงทำให้ไขมันโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนในเลือดลดลง จากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยลดไขมันโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (Saatmann et al., 2021) และกลุ่มผู้ป่วยเมตาบอลิกซินโดรม (Satoh, 2011) โดยการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตทำให้เกิดการสะสมสารเมตาบอไลต์ เช่น แลคเตทภายในเซลล์จำนวนมาก จึงสามารถกระตุ้นให้เกิดกลไกการส่งสัญญาณภายในเซลล์ เช่น กลไกของ mTOR และ AMPK กระตุ้นการสร้างโกรทฮอร์โมน อินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน และการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 ทำให้เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ และการสร้างไมโตคอนเดรียใหม่จึงเกิดกระบวนการสลายไขมันมาใช้เป็นพลังงาน (Lipolysis) ได้มากขึ้น (Saatmann et al., 2021; Satoh, 2011) เห็นได้จากเปอร์เซ็นต์ไขมันและมวลไขมันในร่างกายลดลง นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของโกรทฮอร์โมนช่วยกระตุ้นการทำงานของแอลดีแอลรีเซปเตอร์ (LDL receptors) ที่ทำหน้าที่ช่วยขจัดไขมันโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ส่งผลให้สามารถควบคุมหรือลดปริมาณไขมันโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ในเลือดได้ (Rudling et al., 1992)

จากผลการศึกษานี้ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึกมีค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) เพิ่มสูงขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึก ซึ่งมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) เป็นสารบ่งชี้ถึงการถูกทำลายของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด อาจจะเกิดจากความหนักของรูปแบบการฝึกจักรยานในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์กระตุ้นให้ร่างกายเกิดภาวะความเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) จากกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid peroxidation) ทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (Reactive oxygen species;

ROS) เช่น ซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (Superoxide anion) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และไฮดรอกซิลเรดิคอล (Hydroxyl radical) (Lakatta & Levy, 2003) ส่งผลให้มาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) เพิ่มขึ้น (Powers et al., 2011) แสดงให้เห็นได้ว่าทุกรูปแบบการฝึกสามารถกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระให้เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lekhi และคณะ (Lekhi et al., 2007) พบว่า การฝึกปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงสามารถกระตุ้นให้เกิดสารอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (ROS) ได้ จากการวิจัยที่ผ่านมายังพบอีกว่า การฝึกปั่นจักรยานแบบหนักต่อเนื่อง 16 สัปดาห์ ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจนและมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Maleki et al., 2014) ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนสภายหลังการฝึกในทุกกลุ่มการฝึก สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ จากการที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Abe et al., 2006; Santos et al., 2020) ซึ่งระดับของครีเอทีนฟอสโฟไคเนสเป็นเอนไซม์เกิดขึ้นจากกระบวนการสลายกล้ามเนื้อ (Muscle degeneration) บ่งชี้ถึงการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (Aujla & Patel, 2021) และเมื่อเปรียบเทียบค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนสกับนักกีฬา ประเมินได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติของนักกีฬา (Mougios, 2007) แสดงให้เห็นได้ว่าทุกรูปแบบการฝึกในการวิจัยครั้งนี้ ยังไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต แม้จะมีการเพิ่มขึ้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ก็ตาม จากผลของการวิจัยดังกล่าวเสนอแนะได้ว่าการฝึกทั้ง 3 รูปแบบ มีความหนักในการทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (ROS) เพิ่มขึ้น แต่ยังไม่ทำให้เป็นผลการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ดังนั้นควรเฝ้าระวังในระยะยาวในการไม่ฝึกหนักอย่างต่อเนื่องยาวนานเกินไป หรือเสริมการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระให้พอเพียง (Brisswalter & Nosaka, 2013; Kanter et al., 1993; Peternelj & Coombes, 2011)

จากผลการศึกษานี้ ไม่พบการเพิ่มขึ้นของไนตริกออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของไนตริกออกไซด์ (NO) หลังจากการฝึกออกกำลังกายในทุกรูปแบบการฝึก ซึ่งไนตริกออกไซด์เป็นสารที่สร้างขึ้นจากเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการหดและขยายตัวของหลอดเลือดและต้านการแข็งตัวของหลอดเลือด (Maiorana et al., 2003; Nosarev et al., 2014) อาจเป็นเพราะกลไกการผลิตไนตริกออกไซด์ขึ้นอยู่กับความสมดุลของการสร้างสารอนุมูลอิสระกับสารต้านอนุมูลอิสระ (Sousa et al., 2019) โดยการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักปานกลางและการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการปั่นจักรยานหรือเดินช่วยเพิ่มไนตริกออกไซด์ (Higashi et al., 1999; Kingwell et al., 1997; Ramírez-Vélez et al., 2019) แต่จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นการฝึกออกกำลังกายที่มีความหนักสามารถกระตุ้นการสร้างสารอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (ROS) ไนตริกออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นอาจมีการทำปฏิกิริยากับสารอนุมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อิสระซุปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide; O_2^-) เกิดเป็นเพอรอกซีไนไตรท (Peroxynitrite; $ONOO^-$) (Goto et al., 2003; Rush et al., 2005; Sousa et al., 2019) ดังนั้นจึงส่งผลให้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของไนตริกออกไซด์ในระดับที่ชัดเจน

จากผลการศึกษานี้ พบว่า เฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (Insulin–like growth factor–1; IGF–1) ในซีรั่มขณะพักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังจากการฝึกเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Abe และคณะ (Abe et al., 2006) พบว่า การฝึกเดินร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่บริเวณต้นขาทั้งสองข้างทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน ในซีรั่มขณะพัก และเมื่อเปรียบเทียบระดับของอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นในระดับไม่มากเท่ากับการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต การเพิ่มขึ้นของอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน แสดงให้เห็นว่า มีการสร้างกล้ามเนื้อเกิดขึ้นซึ่งการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้ออาจเกิดขึ้นจากการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนเซลล์ (Hyperplasia) และ/หรือขยายขนาด (hypertrophy) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามก็ยังไม่พบการศึกษาถึงการตอบสนองของการหลั่งฮอร์โมนในขณะฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต คาดว่าการเพิ่มขึ้นของอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน น่าจะมาจากการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนต่ำในกล้ามเนื้อ (Localized hypoxia) (Scott et al., 2014) กระตุ้นให้เกิดสารเมตาบอไลต์ที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการผลิตพลังงานมากขึ้น (Metabolic stress) จากสภาวะความเป็นกรดภายในเซลล์ (Conceição et al., 2019; Takarada et al., 2000) ไปกระตุ้นการทำงานระบบประสาทซิมพาเทติก ซึ่งมีบทบาทกระตุ้นต่อมใต้สมองให้หลั่งโกรทฮอร์โมนในรูปแบบอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (Kraemer & Ratamess, 2005; Loenneke et al., 2010)

นอกจากนี้จากผลการศึกษานี้ยังพบว่า เฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor; VEGF) ในซีรั่มขณะพักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติรี่ระดับ .05 ภายหลังจากการฝึกเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่ามีการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่ (Angiogenesis) (McConnell, 2013) เฉพาะกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนต่ำที่กล้ามเนื้อ (Localize hypoxia) เหนี่ยวนำทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ (VEGF) (Conceição et al., 2019) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Taylor และคณะ (Taylor et al., 2016) รายงานว่า การฝึกปั่นจักรยานแบบช่วงสลับช่วงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ระยะเวลา 4 สัปดาห์ ส่งผลให้มีค่าวาสคิวลาร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์เพิ่มขึ้น การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วง จะกระตุ้นการทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดเกิดการส่งสัญญาณภายในเซลล์เพื่อกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดฝอย (Angiogenesis) จากการที่มีการบีบแรงดันสลับกับการคลายแรงดันระหว่างการออกกำลังกาย (Intermittent BFR training) เกิดสภาวะการไหลย้อนของเลือดภายหลังการขาดเลือดเฉพาะที่ (Ischemia and reperfusion) (de Oliveira et al., 2016)

6. ด้านความสามารถทางกีฬาจักรยาน

ผลการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีเวลาที่สามารถทนต่อความเมื่อยล้าเพิ่มขึ้น เมื่อนำการทดสอบปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ปกติแล้วนักกีฬาจะสูญเสียความสามารถในการออกแรงหรือแรงขณะที่พยายามออกแรงสูงสุดอย่างตั้งใจ จากการออกแรงหนักซ้ำ ๆ ต่อเนื่อง ๆ ทำให้เกิดการสะสมของเสียที่เกิดจากเผาผลาญพลังงาน ได้แก่ ฟอสเฟตไอออน (Pi) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ไปยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อหรืออาจเป็นผลร่วมกัน จากการลดลงของระดับแคลเซียมจากการที่ซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัม (Sarcoplasmic reticulum) เป็นแหล่งของแคลเซียมที่ใช้สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ ไม่สามารถปล่อยแคลเซียมได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้ความสามารถในการออกแรงลดลง (Burke et al., 1994; Edwards, 1981) ดังนั้น ความสามารถในการรักษาเวลาเพื่อคงสภาพการออกแรงสูงสุดนี้ได้อย่างยาวนาน จึงเป็นตัวบ่งชี้ของความทนต่อการเมื่อยล้า (Fatigue tolerance) (Keramidas et al., 2012; Laursen et al., 2003; Weston et al., 1997) การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการไหลเวียนโลหิตช่วยให้มีความทนต่อการเมื่อยล้าเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะมีความสามารถในการผลักไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกจากกล้ามเนื้อ จากการเพิ่มขึ้นของโปรตีนโมโนคาร์บอกซิเลตทรานสปอร์เตอร์ (Monocarboxylate transporters; MCTs) ช่วยขนส่งแลคเตทผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่กระแสโลหิตเพื่อนำไปกำจัดทิ้งได้ดียิ่งขึ้น และเพิ่มความสามารถของกล้ามเนื้อให้มีการบัฟเฟอร์ที่ดีขึ้นได้ (Christiansen et al., 2020; Lindsay et al., 1996; Weston et al., 1996) นอกจากนี้ การศึกษานี้ยังพบว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีความทนต่อการเมื่อยล้ามากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติและกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อาจเป็นเพราะการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนต่ำในกล้ามเนื้อ (Localized hypoxia) โดยเป็นการกระตุ้นให้เกิดการไหลย้อนของเลือดภายหลังการขาดเลือดเฉพาะที่ (Ischemia and reperfusion) และเกิดการสะสมของสารที่เป็นผลผลิตจากการเผาผลาญพลังงานจำนวนมาก ช่วยกระตุ้นกระบวนการเอทีพี–ไฮโดรไลซิส (ATP–hydrolysis) ภายนอกไมโตรคอนเดรีย (Allen et

al., 2008) ร่างกายจึงมีการพัฒนาให้เกิดการสะสมของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและสารพลังงานอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate; ATP) เพิ่มขึ้น (Fahs et al., 2015) นอกจากนี้อาจช่วยเพิ่มโปรตีนโมโนคาร์บอกซิเลตทรานสปอร์เตอร์ (MCTs)) ช่วยขนส่งแลคเตทผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่กระแสโลหิตเพื่อนำไปกำจัดทิ้งได้ดียิ่งขึ้น (Christiansen et al., 2020)

ผลการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ทุกกลุ่มการฝึกใช้เวลาในการปั่นจักรยานที่ระยะทาง 40 กิโลเมตรลดลง แสดงให้เห็นว่ามีความสามารถทางกีฬาจักรยานดีขึ้น โดยกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีการใช้เวลาลดลงมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งการทดสอบความสามารถทางกีฬาจักรยานโดยการทดสอบปั่นจักรยานแบบจับเวลาที่ระยะทาง 40 กิโลเมตรจำลองในห้องปฏิบัติการเป็นแบบทดสอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบ่งชี้ถึงความสามารถทางกีฬาจักรยานได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ เวลาที่ลดลงแสดงถึงความสามารถของการปั่นจักรยานที่ดีขึ้น (Skorski et al., 2015; Westgarth-Taylor et al., 1997) การเพิ่มขึ้นของความสามารถทางกีฬาจักรยานในทุกกลุ่มการฝึกเป็นผลมาจากการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกที่ดีขึ้น เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2max) และระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (Anaerobic threshold) เพิ่มขึ้น แสดงว่าการฝึกออกกำลังกายแบบปกติต่อเนื่อง แบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ช่วยเพิ่มความสามารถการสันดาปพลังงานในแบบใช้ออกซิเจนได้ดีขึ้น จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬาที่มีช่วงระยะเวลาประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง (Pallarés et al., 2016) ในการศึกษานี้แม้ว่าจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 ในทุกกลุ่มการฝึก อาจเป็นเพราะระดับสมรรถภาพพื้นฐานที่ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 ของนักกีฬาจักรยานอยู่ในเกรณฑ์สูงดีอยู่แล้ว อีกทั้งปริมาณและความหนักของการฝึกไม่มากเกินกว่าระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2

อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าการฝึกด้วยรูปแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและการฝึกด้วยรูปแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยเพิ่มความสามารถในการปั่นจักรยานระยะทาง 40 กิโลเมตรได้มากกว่า จากการเพิ่มสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจร่วมกับสมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ อันได้แก่ การทนต่อความเมื่อยล้าที่เพิ่มขึ้น เห็นได้จากระยะเวลาที่ทนต่อการเมื่อยล้าขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดในกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต นอกจากนี้ยังพบอีกว่า กลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตมีค่าความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดที่ระยะ 40 กิโลเมตรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การเพิ่มขึ้นของปริมาณแลคเตทในกล้ามเนื้อที่ตรวจพบอาจเป็นเพราะมีการระดมใช้กล้ามเนื้อชนิดที่ 2

ทำให้มีความสามารถในการออกแรงได้เพิ่มขึ้น (Takano et al., 2005) เห็นได้จากกำลังเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น ปริมาณแลคเตทที่เพิ่มขึ้นบ่งชี้ถึงการเกิดของเสีย ได้แก่ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และฟอสเฟตไอออน (Pi) ในกล้ามเนื้อจากการเผาผลาญพลังงานที่มากขึ้น (Muscle metabolism) (Ishii & Nishida, 2013) มีรายงานการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการฝึกด้วยการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ที่ใช้ความหนักระดับ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุด ระยะเวลา 3 – 5 นาทีต่อรอบ ช่วยเพิ่มการเผาผลาญพลังงานภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อที่ถูกใช้งาน เนื่องจากในขณะฝึกด้วยรูปแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ความหนักของการออกกำลังกายจะกระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด 2 ให้ทำงานเพิ่มขึ้น จึงกระตุ้นให้สร้างไมโตรคอนเดรียผ่านกลไกอะดีโนซีนโมโนฟอสเฟตแอคติเวตเตดโปรตีนไคเนส (Adenosine monophosphate–activated protein kinase; AMPK) และเพอรอกซิโซมฟอสโฟรีเลชันแอคติเวตเตดรีเซปเตอร์–แกรมมาโคแอคติเวเตอร์ (Peroxisome proliferator–activated receptor–gamma coactivator; PGC–1α) หรือกระบวนการสร้างแคลเซียม ($Ca2^+$) มากขึ้น (Gordon et al., 2001; Torma et al., 2019) การฝึกออกกำลังกายในสภาวะที่มีการสะสมของแลคเตททำให้เกิดการปรับตัวของความสามารถในการขนส่งประจุไอออนในกล้ามเนื้อได้เพิ่มขึ้น จึงเพิ่มความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อได้ (Mohr et al., 2007) เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของงานในการทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นในการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความสามารถทางกีฬาจักรยานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าเฉพาะกลุ่มการฝึกรูปแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีค่าอัตราการลดลงของปริมาณแลคเตทภายหลัง 5 นาทีของการทดสอบปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการฝึกแบบสลับที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตทำให้เกิดสภาวะออกซิเจนต่ำในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดการสร้างหลอดเลือดฝอยภายในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนโลหิตทำให้สามารถนำของเสียออกไปกำจัดได้ดีขึ้น (Larkin et al., 2012) นอกจากนี้การฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตแบบสลับช่วง จะช่วยควบคุมความเป็นกรด–ด่าง (pH) ระหว่างการฝึกออกกำลังกาย ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการลำเลียงแลคเตทในกล้ามเนื้อที่ขึ้นอยู่กับไฮโดรเจนไอออน (Muscle lactate–dependent H^+) ซึ่งการขจัดแลคเตทออกจากเซลล์จะมีโปรตีนที่เรียกว่า โมโนคาร์บอกซิเลตทรานสปอร์เตอร์ (Monocarboxylate transporters; MCTs) เป็นตัวขนส่งแลคเตทผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่กระแสโลหิต และเพิ่มความสามารถในการบัฟเฟอร์ไฮโดรเจนไอออน (H^+–buffering capacity) ได้ดีขึ้น (Christiansen et al., 2020)

ผลของการศึกษาในครั้งนี้พบความสัมพันธ์เชิงลบของเวลาการปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตรกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเวลาของการปั่นจักรยาน

40 กิโลเมตรที่ลดลง แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความสามารถทางกีฬาจักรยาน โดยมีความสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อควอทไดรเซป (Quadriceps) ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อควอทไดรเซป (Quadriceps) จะช่วยเพิ่มความสามารถทางกีฬาจักรยานของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

สรุปผลการวิจัยในภาพรวม

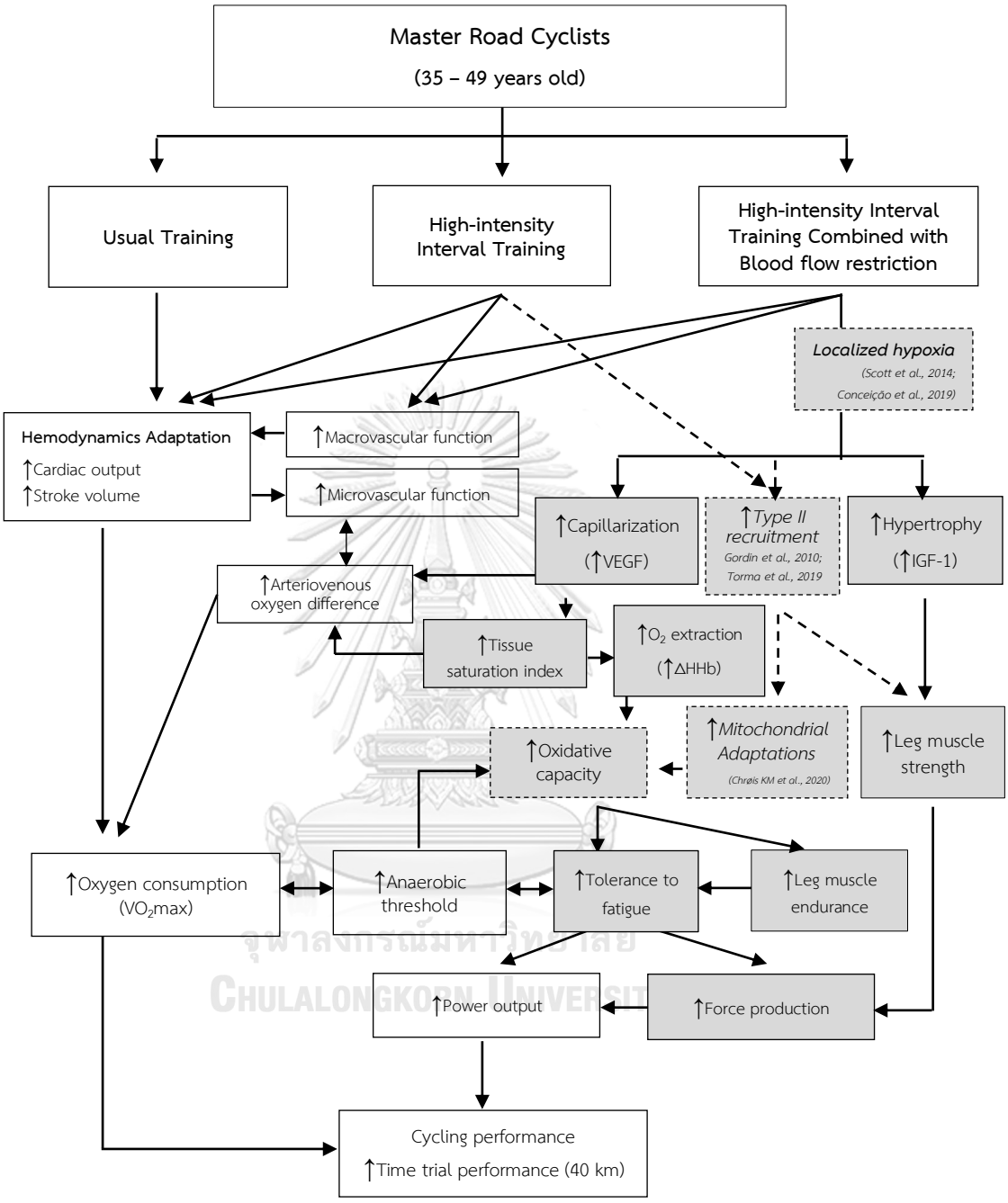
จากรูป 118 แสดงให้เห็นว่า นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ที่ทำการฝึกปั่นจักรยานแบบแอโรบิกต่อเนื่องที่ความหนักระดับปานกลาง ปริมาณการฝึก 6 วันต่อวันสัปดาห์ (Usual training) ช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics adaptation) เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (Maximal cardiac output; CO_{max}) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (Maximal stroke volume; SV_{max}) และการทำงานของหลอดเลือดระดับจุลภาค (Microvascular function) ทำให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ดีขึ้น

นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ทำการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training) ระยะเวลา 24 นาที 2 วันต่อสัปดาห์ร่วมกับการฝึกปั่นจักรยานแบบแอโรบิกต่อเนื่องที่ความหนักระดับปานกลาง ปริมาณการฝึก 4 วันต่อวันสัปดาห์ ช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics adaptation) เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (Maximal cardiac output; CO_{max}) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (Maximal stroke volume; SV_{max}) และมีการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค (Macrovascular function) และระดับจุลภาค (Microvascular function) ดีขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังกระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type II recruitment) กล้ามเนื้อแข็งแรงมากขึ้น และกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของของไมโตรคอนเดรีย (Mitochondrial adaptations) ส่งผลให้มีความสามารถในการเผาผลาญพลังงาน (Oxidative capacity) เพิ่มขึ้นจากกระดับกั้นแอนแอโรบิกเทรซโฮลที่สูงขึ้น (Anaerobic threshold) จึงสามารถความทนต่อการเมื่อยล้า (Tolerance to fatigue) ได้นานขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยกำลัง (Power output) ในการปั่นจักรยานมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ดีขึ้น

นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ทำการฝึกปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High–intensity interval training combined with blood

flow restriction) ระยะเวลา 24 นาที 2 วันต่อสัปดาห์ ร่วมกับการฝึกปั่นจักรยานแบบแอโรบิกต่อเนื่องที่ความหนักระดับปานกลาง ปริมาณการฝึก 4 วันต่อวันสัปดาห์ ช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics adaptation) เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของอัตราไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุด (Maximal cardiac output; CO_{max}) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด (Maximal stroke volume; SV_{max}) และมีการทำงานของหลอดเลือดระดับมหภาค (Macrovascular function) และระดับจุลภาค (Microvascular function) ดีขึ้น ช่วยเพิ่มความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference; a-v O_2diff) ส่งผลให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) เพิ่มขึ้น อีกทั้งสามารถเพิ่มหลอดเลือดฝอยภายในกล้ามเนื้อ (Capillarization) จากการเพิ่มขึ้นของวาสคิวลาร์เอนโดทีเลียม (VEGF) ส่งผลให้ช่วยเพิ่มระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Tissue saturation index; ΔTSI) และกล้ามเนื้อสามารถดึงออกซิเจนไปใช้ (O_2 extraction) ดีขึ้น เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของระดับออกซิเจนที่ไม่จับกับออกซิเจน (Deoxyhemoglobin; ΔHHb) จึงทำให้มีความสามารถในการเผาผลาญพลังงาน (Oxidative capacity) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กล้ามเนื้อขามีความอดทนและทนต่อการเมื่อยล้า (Tolerance to fatigue) ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตยังช่วยเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของขนาดกล้ามเนื้อ (Hypertrophy) และอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (IGF–1) ร่วมกับการกระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type II recruitment) ทำให้กล้ามเนื้อขาแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Leg muscle strength) จึงเป็นการส่งเสริมการสร้างแรง (Force production) ทำให้เกิดกำลัง (Power output) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถทางกีฬาจักรยาน (Cycling performance) ดีขึ้น

สรุปได้ว่า การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเป็นรูปแบบการฝึกเดี่ยว (Single mode) ที่มีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางแอโรบิก เพิ่มขนาดและสมรรถภาพทางกล้ามเนื้อ เพิ่มความทนต่อการเมื่อยล้าได้ดีขึ้น ส่งผลความสามารถทางกีฬาจักรยานเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้น การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตจึงเป็นรูปแบบการฝึกทางเลือกหนึ่งของการฝึกนักกีฬาจักรยานรุ่นมาสเตอร์ อีกทั้งยังเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในการฝึกกับนักกีฬาจักรยานประเภทอื่น หรือประเภทกีฬาอื่น ๆ ต่อไป



---------- หมายถึง ไม่ได้มีการตรวจวัดในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

รูปที่ 118 สรุปผลการวิจัยในภาพรวม

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ไม่มีการควบคุมการรับประทานอาหารระหว่างการเข้าร่วมฝึกออกกำลังกาย อาจส่งผลกับตัวแปรด้านไขมันในเลือด

2. ปัญหาของโรคระบาดโควิด–19 ส่งผลให้ระงับการวิจัยบางช่วงเวลาตามมาตราการของรัฐบาล

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีความปลอดภัยไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ แต่ควรมีผู้ควบคุมดูแลการฝึก

2. การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตควรมีการสร้างความคุ้นเคยก่อนการฝึก

3. ควรมีการวัดระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) ขณะฝึกออกกำลังกายแต่ละรูปแบบ เพื่อให้ทราบระดับของสภาวะออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันของการฝึกแต่ละรูปแบบ

ข้อเสนอแนะของการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการนำรูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนัก และแบบสลับช่วงที่ความหนักร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ไปศึกษาวิจัยในกลุ่มนักกีฬาจักรยาน เพศ ประเภทอื่น ๆ และในช่วงอายุอื่น ๆ

2. ควรมีการทดสอบขนาดกล้ามเนื้อแฮมสตริง (ความหนาและพื้นที่หน้าตัด) และควรมีการศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) เพื่อสามารถอธิบายสมรรถภาพทางกล้ามเนื้อได้มากขึ้น

3. ควรมีการประเมินเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant enzymes) เพิ่มเติมเพื่อให้สามารถอธิบายกลไกของผลการศึกษาในแง่ของการเกิดการทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

การกีฬาแห่งประเทศไทย. (2561). การแข่งขันกีฬาผู้สูงอายุแห่งชาติ ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2561. http://www.ngachangdumgames.sat.or.th/index.asp

กุสุมา ชินอรุณชัย. (2560). การรักษาด้วยออกซิเจนความดันบรรยากาศสูง (Hyperbaric Oxygen Therapy; HBOT). *วารสารสมาคมศัลยแพทย์ทั่วไปแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์*, 60(1), 35-43.

ดรุณวรรณ สุขสม. (2561). การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นภัสกร ชื่นศิริ. (2564). การประยุกต์ใช้การฝึกการจำกัดการไหลเวียนโลหิตร่วมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านและแอโรบิก. *วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ*, 22(1), 1-17.

ประสิทธิ์ ปีปทุม, & อัจฉริยะ เอนก. (2562). ผลการฝึกแบบหนักสลับพักที่ความหนักสูงเหนือจุดสูงสุดที่มีต่อมวลไขมันและมวลกล้ามเนื้อในนักกีฬาวัยรุ่นชาย. *วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ*, 20(1), 13-27.

ราวีวัฒน์ รัตนโกเศศ. (2551). การฝึกจักรยานเบื้องต้น. สุวีริยาสาส์น.

วิรังรอง นวลเพชร, นภัสกร ชื่นศิริ และดรุณวรรณ สุขสม. (2562). ผลของการฝึกเสริมด้วยการฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวต่อความสามารถทางกีฬาจักรยานของนักกีฬาจักรยานระดับเยาวชนชายประเภทไทม์ไทรอัล. *วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ*, 20(3), 53-67.

สนธยา สีละมาด. (2555). หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมาคมจักรยานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2561). ระเบียบและข้อบังคับการแข่งขันจักรยานชิงแชมป์ประเทศไทย ประจำปี 2561. http://file.siam2web.com/taca/files[document] /2561/2018119_47173.pdf.

สุกัญญา จันทฉายา. (2546). ผลของการฝึกแบบ interval training ต่อความเร็วในการปั่นจักรยานของนักกีฬาจักรยาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: เชียงใหม่

อัครเศรษฐ เลิศสกุล. (2563). ผลของการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับกับจำกัดการไหลของเลือดต่อความสามารถในการวิ่งมาราธอนในนักวิ่งวัยกลางคน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กรุงเทพ

ภาษาอังกฤษ

Abbiss, C., & Laursen, P. (2005). Models to Explain Fatigue during Prolonged Endurance Cycling. *Sports Medicine*, 35(10), 865-898. https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00004

Abe, T., Fujita, S., Nakajima, T., Sakamaki, M., Ozaki, H., Ogasawara, R., Sugaya, M., Kudo, M., Kurano, M., Yasuda, T., Sato, Y., Ohshima, H., Mukai, C., & Ishii, N. (2010). Effects of Low-Intensity Cycle Training with Restricted Leg Blood Flow on Thigh Muscle Volume and VO_2max in Young Men. *Journal of sports science & medicine*, 9(3), 452–458.

Abe, T., Kearns, C. F., & Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* (1985), 100(5), 1460-1466.

Abe, T., Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Thiebaud, R. S., & Bemben, M. G. (2012). Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow-restricted limbs and non-restricted muscles: a brief review. *Clin Physiol Funct Imaging*, 32(4), 247-252. https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2012.01126.x

Abe, T., Sakamaki, M., Fujita, S., Ozaki, H., Sugaya, M., Sato, Y., & Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 33(1), 34-40.

Adam, A., & De Luca, C. J. (2003). Recruitment order of motor units in human vastus lateralis muscle is maintained during fatiguing contractions. *J Neurophysiol*, 90(5), 2919-2927. https://doi.org/10.1152/jn.00179.2003

Alencar, T. A. M. D., Matias, K. F. d. S., & Aguiar, B. d. C. J. (2013). Lower limb vascular dysfunction in cyclists. *J. Vasc. Bras.*, 12(2), 139-150.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 88(1), 287-332. https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007

Amani-Shalamzari, S., Rajabi, S., Rajabi, H., Gahreman, D. E., Paton, C., Bayati, M., Rosemann, T., Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2019). Effects of Blood Flow Restriction and Exercise Intensity on Aerobic, Anaerobic, and Muscle Strength Adaptations in Physically Active Collegiate Women. *Frontiers in physiology*, 10, 810. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00810

Aoyagi, Y., & Shephard, R. J. (1992). Aging and muscle function. *Sports medicine*, 14(6), 376-396.

Araújo, C., & Scharhag, J. (2016). Athlete: a working definition for medical and health sciences research. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(1), 4-7.

Asmar, R. G., London, G. M., O'Rourke, M. E., & Safar, M. E. (2001). Improvement in blood pressure, arterial stiffness and wave reflections with a very-low-dose perindopril/indapamide combination in hypertensive patient: a comparison with atenolol. *Hypertension*, 38(4), 922-926. https://doi.org/10.1161/hy1001.095774

Atkinson, C. L., Lewis, N. C., Carter, H. H., Thijssen, D. H., Ainslie, P. N., & Green, D. J. (2015). Impact of sympathetic nervous system activity on post-exercise flow-mediated dilatation in humans. *J Physiol*, 593(23), 5145-5156. https://doi.org/10.1113/jp270946

Aujla, R. S., & Patel, R. (2021). Creatine Phosphokinase. In StatPearls. StatPearls Publishing Copyright © 2021, StatPearls Publishing LLC.

Baker, A. J., Kostov, K. G., Miller, R. G., & Weiner, M. W. (1993). Slow force recovery after long-duration exercise: metabolic and activation factors in muscle fatigue. *J Appl Physiol (1985)*, 74(5), 2294-2300. https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.5.2294

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Barry, B. K., & Enoka, R. M. (2007). The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integr Comp Biol*, 47(4), 465-473. https://doi.org/10.1093/icb/icm047

Bartlett, J. D., Close, G. L., MacLaren, D. P., Gregson, W., Drust, B., & Morton, J. P. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *Journal of sports sciences*, 29(6), 547-553.

Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R., & Quinney, H. A. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 81(5), 418-427. https://doi.org/10.1007/s004210050063

Bentley, D. J., Newell, J., & Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Medicine*, 37(7), 575-586. https://doi.org/10.2165/00007256-200737070-00002

Biazon, T., Ugrinowitsch, C., Soligon, S. D., Oliveira, R. M., Bergamasco, J. G., Borghi-Silva, A., & Libardi, C. A. (2019). The Association Between Muscle Deoxygenation and Muscle Hypertrophy to Blood Flow Restricted Training Performed at High and Low Loads. *Front Physiol*, 10, 446. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00446

Bieuzen, F., Lepers, R., Vercruyssen, F., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2007). Muscle activation during cycling at different cadences: effect of maximal strength capacity. *J Electromyogr Kinesiol*, 17(6), 731-738. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.07.007

Binder, R. K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H., & Schmid, J.-P. (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation*, 15(6), 726-734. https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e328304fed4 %J European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Bompa, T. O., & Calcina, O. (1993). *Periodization of strength: The new wave in strength training*. Veritas.

Boone, J., Koppo, K., Barstow, T. J., & Bouckaert, J. (2009). Pattern of deoxy[Hb+Mb] during ramp cycle exercise: influence of aerobic fitness status. *Eur J Appl Physiol*, 105(6), 851-859. https://doi.org/10.1007/s00421-008-0969-2

Borjesson, M., Urhausen, A., Kouidi, E., Dugmore, D., Sharma, S., Halle, M., Heidbüchel, H., Björnstad, H. H., Gielen, S., Mezzani, A., Corrado, D., Pelliccia, A., & Vanhees, L. (2011). Cardiovascular evaluation of middle-aged/ senior individuals engaged in leisure-time sport activities: position stand from the sections of exercise physiology and sports cardiology of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation : official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 18(3), 446–458. https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e32833bo969

Brisswalter, J., & Louis, J. (2014). Vitamin supplementation benefits in master athletes. *Sports Medicine*, 44(3), 311-318. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0126-x

Brisswalter, J., & Nosaka, K. (2013). Neuromuscular factors associated with decline in long-distance running performance in master athletes. *Sports Medicine*, 43(1), 51-63. https://doi.org/10.1007/s40279-012-0006-9

Brown, S. J., Ryan, H. J., & Brown, J. A. (2007). Age-Associated Changes In VO(2) and Power Output - A Cross-Sectional Study of Endurance Trained New Zealand Cyclists. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(4), 477-483. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3794488/

Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle. *Sports Medicine*, 43(5), 313-338. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Burke, J., Thayer, R., & Belcamino, M. J. (1994). Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds. Burke, J., Thayer, R., & Belcamino, M. (1994). Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds. *British journal of sports medicine*, 28(1), 18-21.

Burnley, M., Doust, J. H., Vanhatalo, A. J. M. (2006). A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state. *Med Sci Sports Exerc*, 38(11), 1995-2003.

Caen, K., Vermeire, K., Pogliaghi, S., Moerman, A., Niemeijer, V., Bourgois, J. G., & Boone, J. (2019). Aerobic Interval Training Impacts Muscle and Brain Oxygenation Responses to Incremental Exercise. *Frontiers in physiology*, 10, 1195-1195. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01195

Centner, C., & Lauber, B. (2020). A Systematic Review and Meta-Analysis on Neural Adaptations Following Blood Flow Restriction Training: What We Know and What We Don't Know. *Frontiers in physiology*, 11, 887.

Chamari, K., Ahmaidi, S., Claudine, F., Massé-Biron, J., & Préfaut, C. (1995). Anaerobic and aerobic peak power output and the force-velocity relatonship in endurance-trained athletes: effects of aging. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 71(2-3), 230–234. https://doi.org/10.1007/BF00854983

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Christiansen, D., Eibye, K., Hostrup, M., & Bangsbo, J. (2020). Training with blood flow restriction increases femoral artery diameter and thigh oxygen delivery during knee-extensor exercise in recreationally trained men. *J Physiol*, 598(12), 2337-2353. https://doi.org/10.1113/jp279554

Clark, B. C., Manini, T. M., Hoffman, R. L., Williams, P. S., Guiler, M. K., Knutson, M. J., . . . Kushnick, M. R. (2011). Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports*, 21(5), 653-662. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01100.x

Conceição, M. S., Junior, E., Telles, G. D., Libardi, C. A., Castro, A., Andrade, A., Brum, P. C., Urias, Ú., Kurauti, M. A., Júnior, J., Boschero, A. C., Cavaglieri, C. R., Camera, D. M., & Chacon-Mikahil, M. (2019). Augmented Anabolic Responses after 8-wk Cycling with Blood Flow Restriction. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(1), 84–93. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001755

Cook, S. B., Kanaley, J. A., & Ploutz-Snyder, L. L. (2014). Neuromuscular function following muscular unloading and blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol*, 114(7), 1357-1365. https://doi.org/10.1007/s00421-014-2864-3

Corretti, M. C., Anderson, T. J., Benjamin, E. J., Celermajer, D., Charbonneau, F., Creager, M. A., Deanfield, J., Drexler, H., Gerhard-Herman, M., Herrington, D., Vallance, P., Vita, J., Vogel, R., & International Brachial Artery Reactivity Task Force (2002). Guidelines for the ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilation of the brachial artery: a report of the International Brachial Artery Reactivity Task Force. *Journal of the American College of Cardiology*, 39(2), 257–265. https://doi.org/10.1016/s0735-1097(01)01746-6

Corvino, R. B., Rossiter, H. B., Loch, T., Martins, J. C., & Caputo, F. (2017). Physiological responses to interval endurance exercise at different levels of blood flow restriction. *European journal of applied physiology*, 117(1), 39-52.

Cox, R. C., & Vargas, J. (1966). A comparison of item selection techniques for norm-referenced and criterion-referenced tests.

Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M., Abraham, L. D., & Petrek, G. W. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 23(1), 93–107.

De Castro, F. M. P., Aquino, R., Júnior, J. A. B., Gonçalves, L. G. C., & Puggina, E. F. (2017). Strength training with vascular occlusion: a review of possible adaptive mechanisms. *Human Movement*, 18(2), 3-14.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

de Oliveira, M. F., Caputo, F., Corvino, R. B., & Denadai, B. S. (2016). Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scand J Med Sci Sports*, 26(9), 1017-1025. https://doi.org/10.1111/sms.12540

Del Vecchio, L., Stanton, R., Reaburn, P., Macgregor, C., Meerkin, J., Villegas, J., & Korhonen, M. T. (2019). Effects of Combined Strength and Sprint Training on Lean Mass, Strength, Power, and Sprint Performance in Masters Road Cyclists. *Journal of strength and conditioning research*, 33(1), 66–79. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001960

DeVan, A. E., & Seals, D. R. (2012). Vascular health in the ageing athlete. *Exp Physiol*, 97(3), 305-310. https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058792

Di, P. P., Enrico.,. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *European journal of applied physiology*, 90(3-4), 420-429.

Dingwell, J. B., Joubert, J. E., Diefenthaeler, F., & Trinity, J. D. (2008). Changes in muscle activity and kinematics of highly trained cyclists during fatigue. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 55(11), 2666-2674.

Edwards, R. H. (1981). Human muscle function and fatigue. *Ciba Found Symp*, 82, 1-18. https://doi.org/10.1002/9780470715420.ch1

Ellefsen, S., Hammarström, D., Strand, T. A., Zacharoff, E., Whist, J. E., Rauk, I., Nygaard, H., Vegge, G., Hanestadhaugen, M., Wernbom, M., Cumming, K. T., Rønning, R., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2015). Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 309(7), R767–R779. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00497.2014

Esfarjani, F., & Laursen, P. B. (2007). Manipulating high-intensity interval training: effects on VO_2max, the lactate threshold and 3000 m running performance in

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

moderately trained males. *J Sci Med Sport*, 10(1), 27-35. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.014

Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Rossow, L. M., Tiebaud, R. S., & Bemben, M. G. (2012). Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology*, 1(1), 14-22. https://doi.org/10.17338/trainology.1.1_14

Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Rossow, L. M., Kim, D., Abe, T., Beck, T. W., Feeback, D. L., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2015). Muscular adaptations to fatiguing exercise with and without blood flow restriction. *Clinical physiology and functional imaging*, 35(3), 167–176. https://doi.org/10.1111/cpf.12141

Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling. *Sports medicine*, 35(4), 285-312.

Faude, O., Kindermann,W., &, & Meyer, T. (2009). Lactate Threshold Concepts:how valid arethey?. *J Sports Med*, 39(6), 469-490.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*, 39(2), 175-191. https://doi.org/10.3758/bf03193146

Faulkner, J. A., Davis, C. S., Mendias, C. L., & Brooks, S. V. (2008). The aging of elite male athletes: age-related changes in performance and skeletal muscle structure and function. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 18(6), 501–507.

Ferguson, R. A., Mitchell, E. A., Taylor, C. W., Bishop, D. J., & Christiansen, D. (2021). Blood-flow-restricted exercise: Strategies for enhancing muscle adaptation and performance in the endurance-trained athlete. *Exp Physiol*, 106(4), 837-860. https://doi.org/10.1113/ep089280

FernÁndez-garcía, B., Pérez-Landaluce, J., Rodríguez-Alonso, M., & Terrados, N. (2000). Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(5), 1002-1006.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*, 369(1955), 4577-4590. https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0230

Fitzgerald, M. D., Tanaka, H., Tran, Z. V., & Seals, D. R. (1997). Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta-analysis. *Journal of applied physiology*, 83(1), 160-165.

Fleg, J. L., Schulman, S., O'Connor, F., Becker, L. C., Gerstenblith, G., Clulow, J. F., Renlund, D. G., & Lakatta, E. G. (1994). Effects of acute beta-adrenergic receptor blockade on age-associated changes in cardiovascular performance during dynamic exercise. *Circulation*, 90(5), 2333–2341. https://doi.org/10.1161/01.cir.90.5.2333

Fleg, J. L., & Strait, J. (2012). Age-associated changes in cardiovascular structure and function: a fertile milieu for future disease. *Heart failure reviews*, 17(4-5), 545-554. https://doi.org/10.1007/s10741-011-9270-2

Formiga, M. F., Fay, R., Hutchinson, S., Locandro, N., Ceballos, A., Lesh, A., Buscheck, J., Meanor, J., Owens, J. G., & Cahalin, L. P. (2020). Effect of aerobic exercise training with and without blood flow restriction on aerobic capacity in healthy young adults: a systematic review with meta-analysis. I*nternational journal of sports physical therapy*, 15(2), 175–187.

Franzoni, F., Galetta, F., Morizzo, C., Lubrano, V., Palombo, C., Santoro, G., Ferrannini, E., & Quiñones-Galvan, A. (2004). Effects of age and physical fitness on microcirculatory function. *Clinical science (London, England : 1979)*, 106(3), 329–335. https://doi.org/10.1042/CS20030229

Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., Swain, D. P., & American College of Sports Medicine (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(7), 1334–1359. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb

Garvican, L., Martin, D., Quod, M., Stephens, B., Sassi, A., & Gore, C. (2012). Time course of the hemoglobin mass response to natural altitude training in elite endurance cyclists. *Scand J Med Sci Sports*, 22(1), 95-103. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01145.x

Gendron, P., Laurencelle, L., Lajoie, C., Bergeron-Vaillancourt, S., Bonal, A., Dufresne, P., & Trudeau, F. (2016). Performance and cycling efficiency after supra-maximal interval training in trained cross-country mountain bikers. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 28, 19-30.

Gent, D. N., & Norton, K. (2013). Aging has greater impact on anaerobic versus aerobic power in trained masters athletes. *Journal of sports sciences*, 31(1), 97-103.

Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low‐volume, high‐intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology*, 590(5), 1077-1084.

Gliemann, L., Nyberg, M., & Hellsten, Y. (2016). Effects of exercise training and resveratrol on vascular health in aging. *Free Radic Biol Med*, 98, 165-176. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.03.037

Gordon, J. W., Rungi, A. A., Inagaki, H., & Hood, D. A. (2001). Effects of contractile activity on mitochondrial transcription factor A expression in skeletal muscle. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 90(1), 389–396. https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.1.389

Gormley, S. E., Swain, D. P., High, R., Spina, R. J., Dowling, E. A., Kotipalli, U. S., & Gandrakota, R. (2008). Effect of intensity of aerobic training on VO2max. *Med Sci Sports Exerc*, 40(7), 1336-1343. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816c4839

Goto, C., Higashi, Y., Kimura, M., Noma, K., Hara, K., Nakagawa, K., Kawamura, M., Chayama, K., Yoshizumi, M., & Nara, I. (2003). Effect of different intensities of exercise on

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

endothelium-dependent vasodilation in humans: role of endothelium-dependent nitric oxide and oxidative stress. *Circulation*, 108(5), 530–535. https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000080893.55729.28

Grace, F., Herbert, P., Elliott, A. D., Richards, J., Beaumont, A., & Sculthorpe, N. F. (2018). High intensity interval training (HIIT) improves resting blood pressure, metabolic (MET) capacity and heart rate reserve without compromising cardiac function in sedentary aging men. *Experimental Gerontology*, 109, 75-81. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.05.010

Grassi, B., Cerretelli, P., Narici, M. V., & Marconi, C. (1991). Peak anaerobic power in master athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 62(6), 394–399. https://doi.org/10.1007/BF00626609

Grassi, B., Pogliaghi, S., Rampichini, S., Quaresima, V., Ferrari, M., Marconi, C., & Cerretelli, P. (2003). Muscle oxygenation and pulmonary gas exchange kinetics during cycling exercise on-transitions in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 95(1), 149-158. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00695.2002

Gravelle, B. M., Murias, J. M., Spencer, M. D., Paterson, D. H., & Kowalchuk, J. M. (2012). Adjustments of pulmonary O2 uptake and muscle deoxygenation during ramp incremental exercise and constant-load moderate-intensity exercise in young and older adults. *J Appl Physiol (1985)*, 113(9), 1466-1475. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00884.2011

Hahn, A. G., & Gore, C. J. (2001). The effect of altitude on cycling performance: a challenge to traditional concepts. *Sports Med*, 31(7), 533-557. https://doi.org/10.2165/00007256-200131070-00008

Hall, S. J., Provost-Craig, M. A., & Rose, W. C. (2013). *Introduction to Anatomy and Physiology*. Goodheart-Willcox Company, Incorporated.

Hautier, C. A., Arsac, L. M., Deghdegh, K., Souquet, J., Belli, A., & Lacour, J.-R. (2000). Influence of fatigue on EMG/force ratio and cocontraction in cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(4), 839-843.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hawley, J. A., Myburgh, K. H., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1997). Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *J Sports Sci*, 15(3), 325-333. https://doi.org/10.1080/026404197367335

Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 65(1), 79-83.

Hawley, J. A., & Stepto, N. K. (2001). Adaptations to training in endurance cyclists. *Sports Medicine*, 31(7), 511-520.

Heinrich, K. M., Patel, P. M., O'Neal, J. L., & Heinrich, B. S. (2014). High-intensity compared to moderate-intensity training for exercise initiation, enjoyment, adherence, and intentions: an intervention study [journal article]. *BMC Public Health*, 14(1), 789. https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-789

Heitkamp, H. (2015). Training with blood flow restriction. Mechanisms, gain in strength and safety. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 55(5), 446-456.

Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve $\dot{V}O_2$max more than moderate training. *Medicine & science in sports & exercise*, 39(4), 665-671.

Hellsten, Y., & Nyberg, M. (2016). Cardiovascular Adaptations to Exercise Training. *Compr Physiol*, 6(1), 1-32.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Higashi, Y., Sasaki, S., Kurisu, S., Yoshimizu, A., Sasaki, N., Matsuura, H., Kajiyama, G., & Oshima, T. (1999). Regular aerobic exercise augments endothelium-dependent vascular relaxation in normotensive as well as hypertensive subjects: role of endothelium-derived nitric oxide. *Circulation*, 100(11), 1194–1202. https://doi.org/10.1161/01.cir.100.11.1194

Hudlicka, O., & Brown, M. D. (2009). Adaptation of skeletal muscle microvasculature to increased or decreased blood flow: role of shear stress, nitric oxide and vascular endothelial growth factor. *J Vasc Res*, 46(5), 504-512. https://doi.org/10.1159/000226127

Hunt, J. E. A., Stodart, C., & Ferguson, R. A. (2016). The influence of participant characteristics on the relationship between cuff pressure and level of blood flow restriction. *European journal of applied physiology*, 116(7), 1421-1432. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3399-6

Inglis, E. C., Iannetta, D., & Murias, J. M. (2019). Evaluating the NIRS-derived microvascular O2 extraction "reserve" in groups varying in sex and training status using leg blood flow occlusions. *PLoS One*, 14(7), e0220192. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220192

International Masters Games Association. (2016, December 2). *About the masters games*. https://imga.ch/about-the-masters-games/

Ishii, H., & Nishida, Y. (2013). Effect of Lactate Accumulation during Exercise-induced Muscle Fatigue on the Sensorimotor Cortex. *J Phys Ther Sci*, 25(12), 1637-1642. https://doi.org/10.1589/jpts.25.1637

Jackson, N. P., Hickey, M. S., & Reiser, R. F., 2nd. (2007). High resistance/low repetition vs. low resistance/high repetition training: effects on performance of trained cyclists. *J Strength Cond Res*, 21(1), 289-295. https://doi.org/10.1519/r-18465.1

Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of physiology,* 586(1), 35-44.

Kacin, A., & Strazar, K. (2011). Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6), e231-241. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01260.x

Kanter, M. M., Nolte, L. A., & Holloszy, J. O. (1993). Effects of an antioxidant vitamin mixture on lipid peroxidation at rest and postexercise. *J Appl Physiol (1985)*, 74(2), 965-969. https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.2.965

Kapilevich, L. V., Kologrivova, V. V., Zakharova, A. N., & Mourot, L. (2020). Post-exercise Endothelium-Dependent Vasodilation Is Dependent on Training Status. *Frontiers in physiology*, 11, 348. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00348

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Keramidas, M. E., Kounalakis, S. N., & Geladas, N. D. (2012). The effect of interval training combined with thigh cuffs pressure on maximal and submaximal exercise performance. *Clinical physiology and functional imaging*, 32(3), 205-213.

Kilian, Y., Engel, F., Wahl, P., Achtzehn, S., Sperlich, B., & Mester, J. (2016). Markers of biological stress in response to a single session of high-intensity interval training and high-volume training in young athletes. *European journal of applied physiology*, 116(11-12), 2177-2186.

Kim, D., Singh, H., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Young, K., Seo, D. I., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2016). Comparative Effects of Vigorous-Intensity and Low-Intensity Blood Flow Restricted Cycle Training and Detraining on Muscle Mass, Strength, and Aerobic Capacity. *Journal of strength and conditioning research*, 30(5), 1453–1461. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001218

Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42(1), 25-34. https://doi.org/10.1007/BF00421101

Kingwell, B. A., Sherrard, B., Jennings, G. L., & Dart, A. M. (1997). Four weeks of cycle training increases basal production of nitric oxide from the forearm. *Am J Physiol*, 272(3 Pt 2), H1070-1077. https://doi.org/10.1152/ajpheart.1997.272.3.H1070

Koga, S., Okushima, D., Poole, D. C., Rossiter, H. B., Kondo, N., & Barstow, T. J. (2019). Unaltered $\dot{V}o_2$ kinetics despite greater muscle oxygenation during heavy-intensity two-legged knee extension versus cycle exercise in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 317(1), R203-r213. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00015.2019

Kon, M., Ikeda, T., Homma, T., & Suzuki, Y. (2012). Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 611-617.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Medicine*, 35(4), 339-361. https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00004

Lakatta, E. G., & Levy, D. (2003). Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part II: the aging heart in health: links to heart disease. *Circulation*, 107(2), 346–354. https://doi.org/10.1161/01.cir.0000048893.62841.f7

Lamberts, R. P., Swart, J., Noakes, T. D., & Lambert, M. I. (2009). Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *European journal of applied physiology*, 105(5), 705-713.

Larkin, K. A., Macneil, R. G., Dirain, M., Sandesara, B., Manini, T. M., & Buford, T. W. (2012). Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Med Sci Sports Exerc*, 44(11), 2077-2083. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182625928

Laursen, & Jenkins, D. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports medicine*, 32(1), 53-73.

Laursen, P. B., Shing, C. M., & Jenkins, D. G. (2003). Reproducibility of the cycling time to exhaustion at .VO_2peak in highly trained cyclists. *Can J Appl Physiol*, 28(4), 605-615. https://doi.org/10.1139/h03-046

Lekhi, C., Gupta, P. H., & Singh, B. (2007). Influence of exercise on oxidant stress products in elite Indian cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 41(10), 691. https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.037663

Lepers, R., Maffiuletti, N. A., Rochette, L., Brugniaux, J., & Millet, G. Y. (2002). Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 92(4), 1487–1493. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00880.2001

Liang, R., & Ghaffari, S. (2016). Advances in understanding the mechanisms of erythropoiesis in homeostasis and disease. *British journal of haematology*, 174(5), 661-673. https://doi.org/10.1111/bjh.14194

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Lindsay, F. H., Hawley, J. A., Myburgh, K. H., Schomer, H. H., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(11), 1427-1434.

Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., & Abe, T. (2014). Does blood flow restriction result in skeletal muscle damage? A critical review of available evidence. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(6), e415–e422. https://doi.org/10.1111/sms.12210

Loenneke, J., Wilson, G., & Wilson, J. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *Int J Sports Med*, 31(1), 1-4. https://doi.org/10.1055/s-0029-1239499

Loenneke, J., Wilson, J., Wilson, G., Pujol, T., & Bemben, M. (2011). Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(4), 510-518.

Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2012). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *European journal of applied physiology*, 112(8), 2903–2912. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2266-8

Loenneke, J. P., Kim, D., Fahs, C. A., Thiebaud, R. S., Abe, T., Larson, R. D., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2015). Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. *Muscle & nerve*, 51(5), 713–721. https://doi.org/10.1002/mus.24448

Louis, J., Tiollier, E., Lamb, A., Bontemps, B., Areta, J., & Bernard, T. (2020). Retraining and Nutritional Strategy of an Endurance Master Athlete Following Hip Arthroplasty: A Case Study. *Frontiers in sports and active living*, 2, 9-9. https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00009

Lucía, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports medicine*, 31(5), 325-337.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Lucía, A., Hoyos, J., PÉrez, M., & Chicharro, J. L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(10), 1777-1782.

Luebbers, P. E., Fry, A. C., Kriley, L. M., & Butler, M. S. (2014). The effects of a 7-week practical blood flow restriction program on well-trained collegiate athletes. *J Strength Cond Res*, 28(8), 2270-2280. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000385

Maharam, L. G., Bauman, P. A., Kalman, D., Skolnik, H., & Perle, S. M. (1999). Masters athletes: factors affecting performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 28(4), 273–285. https://doi.org/10.2165/00007256-199928040-00005

Maiorana, A., O'Driscoll, G., Taylor, R., & Green, D. (2003). Exercise and the nitric oxide vasodilator system. *Sports Medicine*, 33(14), 1013-1035. https://doi.org/10.2165/00007256-200333140-00001

Mairbäurl, H. (2013). Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front Physiol*, 4, 332. https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332

Maleki, B. H., Tartibian, B., & Vaamonde, D. (2014). The effects of 16 weeks of intensive cycling training on seminal oxidants and antioxidants in male road cyclists. J *Clinical Journal of Sport Medicine*, 24(4), 302-307.

Manimmanakorn, A., Manimmanakorn, N., Taylor, R., Draper, N., Billaut, F., Shearman, J. P., & Hamlin, M. J. (2013a). Effects of resistance training combined with vascular occlusion or hypoxia on neuromuscular function in athletes. European journal of applied physiology, 113(7), 1767–1774. https://doi.org/10.1007/s00421-013-2605-z

Manimmanakorn, A., Hamlin, M. J., Ross, J. J., Taylor, R., & Manimmanakorn, N. (2013b). Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. Journal of science and medicine in sport, 16(4), 337–342. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.08.009

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Mann, S., Beedie, C., & Jimenez, A. (2014). Differential effects of aerobic exercise, resistance training and combined exercise modalities on cholesterol and the lipid profile: review, synthesis and recommendations. *Sports Medicine*, 44(2), 211-221. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0110-5

Marieb, E., Wilhelm, P., & Mallat, J. (2013). Human Anatomy. Pierson.

Mattern, C. O., Gutilla, M. J., Bright, D. L., Kirby, T. E., Hinchcliff, K. W., & Devor, S. T. (2003). Maximal lactate steady state declines during the aging process. *Journal of Applied Physiology*, 95(6), 2576-2582.

McConnell, T. H. (2013). *The nature of disease: pathology for the health professions*. Lippincott Williams & Wilkins.p.210-236.

Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Dankel, S. J., Buckner, S. L., Bell, Z. W., Owens, J. G., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). The Application of Blood Flow Restriction: Lessons From the Laboratory. *Current sports medicine reports*, 17(4), 129–134. https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000473

McKay, B. R., Paterson, D. H., & Kowalchuk, J. M. (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O2 uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *J Appl Physiol (1985)*, 107(1), 128-138. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.90828.2008

McManus, C. J., Collison, J., & Cooper, C. E. (2018). Performance comparison of the MOXY and PortaMon near-infrared spectroscopy muscle oximeters at rest and during exercise. *J Biomed Opt*, 23(1), 1-14. https://doi.org/10.1117/1.Jbo.23.1.015007

Meng, Z., Gao, H., Li, T., Ge, P., Xu, Y., & Gao, B. (2021). Effects of Eight Weeks Altitude Training on the Aerobic Capacity and Microcirculation Function in Trained Rowers. *High Alt Med Biol*, 22(1), 24-31. https://doi.org/10.1089/ham.2020.0059

Michiels, C. (2003). Endothelial cell functions. *J Cell Physiol*, 196(3), 430-443. https://doi.org/10.1002/jcp.10333

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Micklewright, D., Papadopoulou, E., Swart, J., & Noakes, T. (2010). Previous experience influences pacing during 20 km time trial cycling. *Br J Sports Med*, 44(13), 952-960. https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.057315

Mitranun, W., Deerochanawong, C., Tanaka, H., & Suksom, D. (2014). Continuous vs interval training on glycemic control and macro- and microvascular reactivity in type 2 diabetic patients. *Scand J Med Sci Sports*, 24(2), e69-76. https://doi.org/10.1111/sms.12112

Mohr, M., Krustrup, P., Nielsen, J. J., Nybo, L., Rasmussen, M. K., Juel, C., & Bangsbo, J. (2007). Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 292(4), R1594-1602. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00251.2006

Molinari, F., Zeng, G., & Suri, J. S. (2010). A state of the art review on intima-media thickness (IMT) measurement and wall segmentation techniques for carotid ultrasound. *Computer methods and programs in biomedicine*, 100(3), 201–221. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2010.04.007

Mota, J. A., Stock, M. S., Carrillo, E. C., Olinghouse, K. D., Drusch, A. S., & Thompson, B. J. (2015). Influence of Hamstring Fatigue on the Estimated Percentage of Fast-Twitch Muscle Fibers for the Vastus Lateralis. *J Strength Cond Res*, 29(12), 3509-3516. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000996

Mougios, V. (2007). Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med*, 41(10), 674-678. https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.034041

Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports medicine*, 31(7), 479-487.

Murias, J. M., Kowalchuk, J. M., Ritchie, D., Hepple, R. T., Doherty, T. J., & Paterson, D. H. (2011). Adaptations in capillarization and citrate synthase activity in response to endurance training in older and young men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 66(9), 957-964. https://doi.org/10.1093/gerona/glr096

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Muscella, A., Stefàno, E., Lunetti, P., Capobianco, L., & Marsigliante, S. (2020). The Regulation of Fat Metabolism During Aerobic Exercise. *Biomolecules*, 10(12), 1699. https://doi.org/10.3390/biom10121699

Nadarajan, V. S., Ooi, C. H., Sthaneshwar, P., & Thompson, M. W. (2010). The utility of immature reticulocyte fraction as an indicator of erythropoietic response to altitude training in elite cyclists. *Int J Lab Hematol*, 32(1 Pt 2), 82-87. https://doi.org/10.1111/j.1751-553X.2008.01132.x

Neal, C. M., Hunter, A. M., Brennan, L., O'Sullivan, A., Hamilton, D. L., De Vito, G., & Galloway, S. D. (2013). Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J Appl Physiol (1985)*, 114(4), 461-471. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00652.2012

Newcomer, S. C., Thijssen, D. H., & Green, D. J. (2011). Effects of exercise on endothelium and endothelium/smooth muscle cross talk: role of exercise-induced hemodynamics. *J Appl Physiol (1985)*, 111(1), 311-320. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00033.2011

Nielsen, J. L., Frandsen, U., Jensen, K. Y., Prokhorova, T. A., Dalgaard, L. B., Bech, R. D., Nygaard, T., Suetta, C., & Aagaard, P. (2020). Skeletal Muscle Microvascular Changes in Response to Short-Term Blood Flow Restricted Training-Exercise-Induced Adaptations and Signs of Perivascular Stress. *Frontiers in physiology*, 11, 556. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00556

Nosarev, A. V., Smagliy, L. V., Anfinogenova, Y., Popov, S. V., & Kapilevich, L. V. (2014). Exercise and NO production: relevance and implications in the cardiopulmonary system. *Front Cell Dev Biol*, 2, 73. https://doi.org/10.3389/fcell.2014.00073

O'Brien, M. W., Johns, J. A., Robinson, S. A., Bungay, A., Mekary, S., & Kimmerly, D. S. (2020). Impact of High-Intensity Interval Training, Moderate-Intensity Continuous Training, and Resistance Training on Endothelial Function in Older Adults. *Med Sci Sports Exerc*, 52(5), 1057-1067. https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002226

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Ogborn, D., & Schoenfeld, B. J. (2014). The Role of Fiber Types in Muscle Hypertrophy: Implications for Loading Strategies. *Strength & Conditioning Journal*, 36(2). https://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/2014/04000/The_Role_of_Fiber_Types_in_Muscle_Hypertrophy_.3.aspx

Oliveira, M. F. M. d., Caputo, F., Corvino, R. B., & Denadai, B. S. (2016). Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(9), 1017-1025.

Owens, G. K. (1995). Regulation of differentiation of vascular smooth muscle cells. *Physiol Rev*, 75(3), 487-517. https://doi.org/10.1152/physrev.1995.75.3.487

Ozaki, H., Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki-Sunaga, M., Naito, H., & Abe, T. (2013). Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *Eur J Appl Physiol*, 113(1), 167-174. https://doi.org/10.1007/s00421-012-2422-9

Padilla, S., Mujika, I., OrbaÑanos, J., & Angulo, F. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(4), 850-856.

Page, W., Swan, R., & Patterson, S. D. (2017). The effect of intermittent lower limb occlusion on recovery following exercise-induced muscle damage: A randomized controlled trial. *J Sci Med Sport*, 20(8), 729-733. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.015

Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Elías, V. E., & Mora-Rodriguez, R. (2016). Validity and Reliability of Ventilatory and Blood Lactate Thresholds in Well-Trained Cyclists. *PLoS One*, 11(9), e0163389. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163389

Paquette, M., Le Blanc, O., Lucas, S., Thibault, G., Bailey, D., & Brassard, P. (2017). Effects of submaximal and supramaximal interval training on determinants of endurance

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

performance in endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 27(3), 318-326.

Park, S., Kim, J. K., Choi, H. M., Kim, H. G., Beekley, M. D., & Nho, H. (2010). Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 109(4), 591-600. https://doi.org/10.1007/s00421-010-1377-y

Paton, C. D., & Hopkins, W. G. (2001). Tests of cycling performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(7), 489–496. https://doi.org/10.2165/00007256-200131070-00004

Patterson, & Brandner. (2018). The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *Journal of sports sciences*, 36(2), 123-130.

Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in physiology*, 10, 533. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533

Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Chapman, D., Laursen, P. B., & Parker, D. L. (2008). Physiological characteristics of masters-level cyclists, . *The Journal of Strength Conditioning Research*, 22(5), 1434-1440.

Perry, C. G., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2008). High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1112-1123.

Peternelj, T. T., & Coombes, J. S. (2011). Antioxidant supplementation during exercise training: beneficial or detrimental? *Sports Medicine*, 41(12), 1043-1069. https://doi.org/10.2165/11594400-000000000-00000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Pfeiffer, R. P., Harder, B. P., Landis, D., Barber, D., & Harper, K. (1993). Correlating Indices of Aerobic Capacity With Performance in Elite Women Road Cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 7(4), 201-205.

Pignanelli, C., Christiansen, D., & Burr, J. F. (2021). Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. *J Appl Physiol (1985)*, 130(4), 1163-1170. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00982.2020

Pollock, M. L., & Wilmore, J. H.,. (1990). *Prescribing exercise for the apparently healthy: Exercise in health and disease*, 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders, 371-484.

Pope, Z. K., Willardson, J. M., & Schoenfeld, B. J. (2013). Exercise and blood flow restriction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(10), 2914-2926.

Powers, S., & Howley, E. (2018). *Exercise physiology : theory and application to fitness and performance* (Tenth edition.). McGraw-Hill Education.

Powers, S. K., Nelson, W. B., & Hudson, M. B. (2011). Exercise-induced oxidative stress in humans: cause and consequences. *Free Radic Biol Med*, 51(5), 942-950. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.12.009

Racinais, S., Buchheit, M., & Girard, O. (2014). Breakpoints in ventilation, cerebral and muscle oxygenation, and muscle activity during an incremental cycling exercise. *Front Physiol*, 5, 142. https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00142

Ramírez-Vélez, R., Hernández-Quiñones, P. A., Tordecilla-Sanders, A., Álvarez, C., Ramírez-Campillo, R., Izquierdo, M., Correa-Bautista, J. E., Garcia-Hermoso, A., & Garcia, R. G. (2019). Effectiveness of HIIT compared to moderate continuous training in improving vascular parameters in inactive adults. *Lipids in health and disease*, 18(1), 42. https://doi.org/10.1186/s12944-019-0981-z

Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Tjonna, A. E., Beetham, K. S., & Coombes, J. S. (2015). The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(5), 679–692. https://doi.org/10.1007/s40279-015-0321-z

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Ratcliffe, B., Pawlak, R., Morales, F., Harrison, C., & Gurovich, A. N. (2017). Internal validation of an automated system for brachial and femoral flow mediated dilation. *Clin Hypertens*, 23, 17. https://doi.org/10.1186/s40885-017-0073-1

Reaburn, P., Dascombe, B. Endurance performance in masters athletes. (2008). *Eur Rev Aging Phys Act,* 5(1), 31–42. https://doi.org/10.1007/s11556-008-0029-2

Reaburn, P. R. J. (2014). *Nutrition and Performance in Masters Athletes*. CRC Press.

Reed, R., Scarf, P., Jobson, S. A., & Passfield, L. (2016). Determining optimal cadence for an individual road cyclist from field data. *European journal of sport science*, 16(8), 903-911. https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1146336

Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *The American journal of physiology*, 265(3 Pt 1), E380–E391. https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380

Rossi, F. E., de Freitas, M. C., Zanchi, N. E., Lira, F. S., & Cholewa, J. M. (2018). The Role of Inflammation and Immune Cells in Blood Flow Restriction Training Adaptation: A Review. *Frontiers in physiology*, 9, 1376-1376. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01376

Rossow, L. M., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Sherk, V. D., Abe, T., & Bemben, M. G. (2012). Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clin Physiol Funct Imaging*, 32(5), 331-337. https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2012.01131.x

Rudling, M., Norstedt, G., Olivecrona, H., Reihnér, E., Gustafsson, J. A., & Angelin, B. (1992). Importance of growth hormone for the induction of hepatic low density lipoprotein receptors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(15), 6983-6987. https://doi.org/10.1073/pnas.89.15.6983

Rush, J. W., Denniss, S. G., & Graham, D. A. (2005). Vascular nitric oxide and oxidative stress: determinants of endothelial adaptations to cardiovascular disease and to

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

physical activity. *Can J Appl Physiol*, 30(4), 442-474. https://doi.org/10.1139/h05-133

Saatmann, N., Zaharia, O.-P., Loenneke, J. P., Roden, M., & Pesta, D. H. (2021). Effects of Blood Flow Restriction Exercise and Possible Applications in Type 2 Diabetes. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 32(2), 106-117. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tem.2020.11.010

Safar, M. E., Thomas, F., Blacher, J., Nzietchueng, R., Bureau, J. M., Pannier, B., & Benetos, A. (2006). Metabolic syndrome and age-related progression of aortic stiffness. *Journal of the American College of Cardiology*, 47(1), 72–75. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.08.052

Saltin, B., Rådegran, G., Koskolou, M. D., & Roach, R. C. (1998). Skeletal muscle blood flow in humans and its regulation during exercise. *Acta Physiol Scand*, 162(3), 421-436. https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.1998.0293e.x

Sanni, A. A., & McCully, K. K. (2019). Interpretation of Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) Signals in Skeletal Muscle. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 4(2), 28. https://doi.org/10.3390/jfmk4020028

Santos, A., Lonsdale, C., Lubans, D., Vasconcellos, D., Kapsal, N., Vis-Dunbar, M., & Jung, M. E. (2020). Rates of compliance and adherence to high-intensity interval training in insufficiently active adults: a systematic review and meta-analysis protocol. *Syst Rev*, 9(1), 56. https://doi.org/10.1186/s13643-020-01301-0

Sargeant, A. J., Hoinville, E., & Young, A. (1981). Maximum leg force and power output during short-term dynamic exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 51(5), 1175-1182. https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.5.1175

Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 1-5.

Satoh, I. (2011). Kaatsu Training: Application to Metabolic Syndrome. *International Journal of KAATSU Training Research*, 7(1), 7-12. https://doi.org/10.3806/ijktr.7.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Medi*cine, 45(3), 313-325. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0288-1

Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2016). Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *J Sci Med Sport*, 19(5), 360-367. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.04.014

Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., & Dascombe, B. J. (2014). Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. *Sports Medicine*, 44(8), 1037-1054. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0177-7

Scott, P., Edward, H., & John, Q. (2020). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*. McGraw-Hill Education.

Seals, D. R., & Alexander, L. M. (2018). Vascular aging. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 125(6), 1841–1842. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00448.2018

Seiler, Jøranson, Olesen, & Hetlelid. (2013). Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(1), 74-83.

Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution?. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16(1), 49–56. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x

Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform*, 5(3), 276-291. https://doi.org/10.1123/ijspp.5.3.276

Seiler, S., & Hetlelid, K. J. (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(9), 1601-1607.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Shahidi, N. T. (2001). A review of the chemistry, biological action, and clinical applications of anabolic-androgenic steroids. *Clinical therapeutics*, 23(9), 1355-1390.

Shapero, K., Deluca, J., Contursi, M., Wasfy, M., Weiner, R. B., Lewis, G. D., Hutter, A., & Baggish, A. L. (2016). Cardiovascular Risk and Disease Among Masters Endurance Athletes: Insights from the Boston MASTER (Masters Athletes Survey To Evaluate Risk) Initiative. *Sports medicine - open*, 2, 29. https://doi.org/10.1186/s40798-016-0053-0

Shephard, R. J. (1997). *Aging, physical activity, and health*. Human Kinetics Publishers.

Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., & Fukunaga, T. (1998). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(1-2), 189-191. https://doi.org/10.1007/s004210050319

Skorski, S., Hammes, D., Schwindling, S., Veith, S., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., & Meyer, T. (2015). Effects of training-induced fatigue on pacing patterns in 40-km cycling time trials. *Medicine and science in sports and exercise,* 47(3), 593–600. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000439

So, R. C., Ng, J. K. F., & Ng, G. Y. (2005). Muscle recruitment pattern in cycling: a review. *Physical therapy in sport*, 6(2), 89-96.

Sousa, C. V., Aguiar, S. S., Santos, P. A., Barbosa, L. P., Knechtle, B., Nikolaidis, P. T., Deus, L. A., Sales, M. M., Rosa, E., Rosa, T. S., Lewis, J. E., Andrade, R. V., & Simões, H. G. (2019). Telomere length and redox balance in master endurance runners: The role of nitric oxide. *Experimental gerontology*, 117, 113–118. https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.11.018

Stepto, N. K., Hawley, J. A., Dennis, S. C., & Hopkins, W. G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 31, 736-741.

Stöggl, T., & Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in physiology*, 5, 33.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Stöggl, T. L., & Björklund, G. (2017). High intensity interval training leads to greater improvements in acute heart rate recovery and anaerobic power as high volume low intensity training. *Frontiers in physiology*, 8, 562.

Støren, Ø., Helgerud, J., Sæbø, M., Støa, E. M., Bratland-Sanda, S., Unhjem, R. J., Hoff, J., & Wang, E. (2017). The Effect of Age on the $\dot{V}O_2$max Response to High-Intensity Interval Training. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(1), 78–85.

Støren, Ø., Ulevåg, K., Larsen, M. H., Støa, E. M., & Helgerud, J. (2013). Physiological determinants of the cycling time trial. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2366-2373.

Suga, T., Okita, K., Morita, N., Yokota, T., Hirabayashi, K., Horiuchi, M., Takada, S., Omokawa, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2010). Dose effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 108(6), 1563–1567. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00504.2009

Suga, T., Okita, K., Takada, S., Omokawa, M., Kadoguchi, T., Yokota, T., Hirabayashi, K., Takahashi, M., Morita, N., Horiuchi, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2012). Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *European journal of applied physiology*, 112(11), 3915–3920. https://doi.org/10.1007/s00421-012-2377-x

Sugawara, J., Hayashi, K., Yokoi, T., Cortez-Cooper, M. Y., DeVan, A., Anton, M., & Tanaka, H. (2005). Brachial–ankle pulse wave velocity: an index of central arterial stiffness? *J Journal of human hypertension*, 19(5), 401-406.

Sugawara, J., Miyachi, M., Moreau, K. L., Dinenno, F. A., DeSouza, C. A., & Tanaka, H. (2002). Age-related reductions in appendicular skeletal muscle mass: association with habitual aerobic exercise status. *Clin Physiol Funct Imaging*, 22(3), 169-172. https://doi.org/10.1046/j.1475-097x.2002.00413.x

akano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K., Kato, M., Uno, K., Hirose, K., Matsumoto, A., Takenaka, K., Hirata, Y., Eto, F., Nagai, R., Sato, Y., & Nakajima, T. (2005).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European journal of applied physiology*, 95(1), 65–73. https://doi.org/10.1007/s00421-005-1389-1

Takarada, Y., Sato, Y., & Ishii, N. (2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 86(4), 308-314.

Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., & Ishii, N. (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 88(6), 2097-2106. https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2097

Talanian, J. L., Holloway, G. P., Snook, L. A., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2010). Exercise training increases sarcolemmal and mitochondrial fatty acid transport proteins in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 299(2), E180-188. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00073.2010

Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*, 37(1), 153-156. https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8

Tanaka, H., & Seals, D. R. (2008). Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological mechanisms. *The Journal of physiology*, 586(1), 55-63.

Tanaka, K., Yoshimura, T., Sumida, S., Mitsuzono, R., Tanaka, S., Konishi, Y., Watanabe, H., Yamada, T., & Maeda, K. (1986). Transient responses in cardiac function below, at, and above anaerobic threshold. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(4), 356–361. https://doi.org/10.1007/BF00422733

Taylor, C. W., Ingham, S. A., & Ferguson, R. A. (2016). Acute and chronic effect of sprint interval training combined with postexercise blood-flow restriction in trained individuals. *Experimental physiology*, 101(1), 143-154.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Tayrose, G. A., Beutel, B. G., Cardone, D. A., & Sherman, O. H. (2015). The Masters Athlete: A Review of Current Exercise and Treatment Recommendations. *Sports Health*, 7(3), 270-276. https://doi.org/10.1177/1941738114548999

Thomas, H. J., Scott, B. R., & Peiffer, J. J. (2018). Acute physiological responses to low-intensity blood flow restriction cycling. *Journal of science and medicine in sport*, 21(9), 969–974. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.01.013

Thomas, K., Goodall, S., Stone, M., Howatson, G., Gibson, A. S. C., & Ansley, L. (2015). Central and peripheral fatigue in male cyclists after 4-, 20-, and 40-km time trials. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(3), 537-546.

Thum, J. S., Parsons, G., Whittle, T., & Astorino, T. A. (2017). High-intensity interval training elicits higher enjoyment than moderate intensity continuous exercise. *PloS one*, 12(1), e0166299.

orma, F., Gombos, Z., Fridvalszki, M., Langmar, G., Tarcza, Z., Merkely, B., Naito, H., Ichinoseki-Sekine, N., Takeda, M., Murlasits, Z., Osvath, P., & Radak, Z. (2021). Blood flow restriction in human skeletal muscle during rest periods after high-load resistance training down-regulates miR-206 and induces Pax7. *Journal of sport and health science*, 10(4), 470–477. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.08.004

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Townsend, N. E., Gore, C. J., Ebert, T. R., Martin, D. T., Hahn, A. G., & Chow, C. M. (2016). Ventilatory acclimatisation is beneficial for high-intensity exercise at altitude in elite cyclists. *Eur J Sport Sci*, 16(8), 895-902. https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1139190

Ungvari, Z., Tarantini, S., Donato, A. J., Galvan, V., & Csiszar, A. (2018). Mechanisms of Vascular Aging. *Circulation research*, 123(7), 849-867. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.118.311378

Union Cycliste Internationale. (2021, Jan 25). General organisation of Cycling as a sport. https://www.uci.org/docs/default-source/rules-and-regulations-right-column/parti-general-organisation/1-gen-20191001-e-amendments-on-01.01.2021.pdf

Wang, E., Næss, M. S., Hoff, J., Albert, T. L., Pham, Q., Richardson, R. S., & Helgerud, J. (2014). Exercise-training-induced changes in metabolic capacity with age: the role of central cardiovascular plasticity. *Age (Dordr)*, 36(2), 665-676. https://doi.org/10.1007/s11357-013-9596-x

Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyl, S., & Beaver, W. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of applied physiology*, 35(2), 236-243.

Westgarth-Taylor, C., Hawley, J. A., Rickard, S., Myburgh, K. H., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(4), 298-304.

Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1996). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(1), 7-13.

Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75(1), 7-13. https://doi.org/10.1007/s004210050119

Whyte, G. (2006). *The physiology of training*. Elsevier Health Sciences.

Williamson, J. R., Hoffmann, P. L., Kohrt, W. M., Spina, R. J., Coggan, A. R., & Holloszy, O. (1996). Endurance exercise training decreases capillary basement membrane width in older nondiabetic and diabetic adults. *J Appl Physiol (1985)*, 80(3), 747-753. https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.3.747

Wilson, A., Hickie, I., Lloyd, A., Hadzi-Pavlovic, D., Boughton, C., Dwyer, J., & Wakefield, D. (1994). Longitudinal study of outcome of chronic fatigue syndrome. *BMJ (Clinical research ed.)*, 308(6931), 756–759. https://doi.org/10.1136/bmj.308.6931.756

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Wi**Ś**niewska, A., Płoszczyca, K., & Czuba, M. (2020). Changes in erythropoietin and vascular endothelial growth factor following the use of different altitude training concepts. *J Sports Med Phys Fitness*, 60(5), 677-684. https://doi.org/10.23736/s0022-4707.20.10404-3

Wylleman, & Reints. (2010). A lifespan perspective on the career of talented and elite athletes: perspectives on high-intensity sports. *Scand J Med Sci Sports*, 20 Suppl 2(s2), 88-94. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01194.x

Yamanaka, T., Farley, R. S., & Caputo, J. L. (2012). Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2523-2529. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f2b0e

Yvonne-Tee, G. B., Rasool, A. H., Halim, A. S., & Rahman, A. R. (2005). Reproducibility of different laser Doppler fluximetry parameters of postocclusive reactive hyperemia in human forearm skin. *Journal of pharmacological and toxicological methods*, 52(2), 286–292. https://doi.org/10.1016/j.vascn.2004.11.003

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
เอกสารพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์/โทรสาร: 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 066/2562

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 024.1/62 : ผลการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์

ผู้วิจัยหลัก : นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณาโดยใช้หลักของ Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, มาตรฐานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (มคจค.) 2556, นโยบายแห่งชาติและแนวทางปฏิบัติการวิจัยในมนุษย์ 2558 อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทัศนประดิษฐ)
ประธาน

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 1 มีนาคม 2562

วันหมดอายุ : 29 กุมภาพันธ์ 2563

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1) โครงการวิจัย
2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
3) ผู้วิจัย
4) แบบสอบถาม

รับรองโครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 29 ก.พ. 2563

เงื่อนไข

1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการฝืดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ
2. หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย
3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
4. ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น
5. หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ
6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ
7. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 03-12) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: 0-2218-3202, 0-2218-3049 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 070/2563

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 024.1/62 (1) : ผลการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์

ผู้วิจัยหลัก : นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณาโดยใช้หลักของ Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, มาตรฐานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (มคจค.) 2556, นโยบายแห่งชาติและแนวทางปฏิบัติการวิจัยในมนุษย์ 2558 อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทัศนประดิษฐ)
ประธาน

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 6 มีนาคม 2563 **วันหมดอายุ** : 5 มีนาคม 2564

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1) โครงการวิจัย
2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
3) ผู้วิจัย
4) แบบสอบถาม

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง -6 มี.ค. 2563
วันหมดอายุ -5 มี.ค. 2564

เงื่อนไข

1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการผิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ
2. หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย
3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
*4. ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) **เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น***
5. หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ
6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ
7. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 02-14) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น

เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

AF 04-07

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
(Participant Information Sheet)

ชื่อโครงการวิจัย	ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์ (EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON AEROBIC FITNESS, FATIGUE TOLERANCE AND CYCLING PERFORMANCE IN MASTER ROAD CYCLISTS)
ชื่อผู้วิจัยหลัก	นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ดรุณวรรณ สุขสม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ และ อาจารย์ ดร. นภัสกร ชื่นศิริ
ที่อยู่ที่ติดต่อ	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์	09 7963 6465 E-mail : p.tangchaisuriya@gmail.com

1. ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการพัฒนาความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นอาวุโส ที่มีอายุระหว่าง 35 – 49 ปี โดยมุ่งคิดค้นการฝึกออกกำลังกาย ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีผลต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด สารชีวเคมีในเลือด และความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์

<u>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</u>

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬา ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์

วัตถุประสงค์รอง

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกปกติ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกาย โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด และสารชีวเคมีในเลือด ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์

สถาบันการพลศึกษา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา
รับรองเอกสารเมื่อ 1 มี.ค. 2562
ใช้ได้ถึง 28 ก.พ. 2563

รหัสโครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 28 ก.พ. 2563

3. รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย คือ นักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นอายุโส เพศชาย อายุระหว่าง 35 – 49 ปี

เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria)

1) เป็นนักกีฬาจักรยานประเภทถนน เพศชาย อายุ 35 - 49 ปี

2) มีประสบการณ์เข้าร่วมการแข่งขันจักรยานประเภทถนน มากกว่า 2 ปี

3) มีประวัติการฝึกซ้อมด้วยการปั่นจักรยาน อย่างน้อยสัปดาห์ละ 4 วัน/สัปดาห์ ระยะทาง 150 กิโลเมตร/สัปดาห์ อย่างต่อเนื่องมานานอย่างน้อย 3 เดือน

4) มีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ไม่น้อยกว่า 45 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที

5) ไม่มีการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ในช่วง 3 เดือนก่อนการเข้าร่วมวิจัย

6) ไม่อยู่ในระหว่างการเข้าร่วมวิจัยอื่น

7) มีความสมัครใจเข้าร่วมงานวิจัย ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

8) ไม่มีการใช้ยา หรือสารกระตุ้นที่ส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ

9) ผ่านเกณฑ์การคัดกรองแล้วว่า ไม่มีความเสี่ยงของโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ และไม่มีโรคหรือความผิดปกติของกระดูก ข้อ และกล้ามเนื้อ

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

1) ขอยุติเข้าร่วมงานวิจัย

2) ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและข้อแนะนำของงานวิจัย

3) เข้าร่วมการฝึกน้อยกว่าร้อยละ 80 ของระยะเวลาการฝึกทั้งหมด หรือเข้าร่วมการฝึกไม่ถึง 58 ครั้ง จากระยะเวลาของการฝึกทั้งหมด 72 ครั้ง

เมื่อได้ผู้เข้าร่วมวิจัยครบ จำนวน 45 คน ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และประเมินพลังสูงสุดในขณะร่างกายใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังจากนั้นทำการแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน โดยใช้วิธีเรียงลำดับและแบ่งลำดับชั้นของค่าพลังสูงสุด แล้วทำการจับสลากในแต่ละลำดับชั้นเพื่อสุ่มเข้ากลุ่ม หากทำการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการจับสลากแล้ว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะไม่สามารถเปลี่ยนกลุ่มได้ แต่หากผู้เข้าร่วมวิจัยสนใจฝึกในรูปแบบการฝึกกลุ่มอื่น ทางผู้วิจัยยินดีที่จะให้ความรู้และคำแนะนำในการฝึกปฏิบัติจนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเองหลังจากเสร็จสิ้นการวิจัย

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มนักกีฬาจักรยานที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกปกติ

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มนักกีฬาจักรยานที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มนักกีฬาจักรยานที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

4. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

4.1 ผู้วิจัยดำเนินการหากลุ่มตัวอย่างด้วยตนเอง โดยประสานกับประธานสังกัด/ชมรมกีฬาจักรยานต่าง ๆ เพื่อขอข้อมูลนักกีฬาและติดต่อไปยังนักกีฬาโดยตรง หรือติดต่อไปยังนักกีฬาอิสระที่สนใจเข้าร่วมการวิจัย ชี้แจงและอธิบายข้อมูลการวิจัยตามเอกสารชี้แจงข้อมูลการวิจัย ให้กับผู้เข้าร่วมการวิจัย และดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้า โดยการสมัครใจเข้าร่วม

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 28 ก.พ. 2563

4.2 ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยให้มีการอบรมเกี่ยวกับประโยชน์ที่จะได้รับจากการฝึกออกกำลังกาย และการปฏิบัติตัวระหว่างช่วงที่เข้าร่วมการวิจัย ให้กับผู้เข้าร่วมงานวิจัย ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะตอบข้อสงสัยจนผู้ที่ได้รับเชิญให้เข้าร่วมการวิจัยเข้าใจ และให้เวลาตัดสินใจโดยอิสระ ก่อนลงนามให้ความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย และนัดหมายให้ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่งกายด้วยชุดกีฬาจักรยานเข้าร่วมการทดสอบ การตรวจร่างกาย และการฝึกข้อมออกกำลังกาย

4.3 ทำการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีอุปกรณ์ช่วยชีวิตเป็นเครื่องกระตุกหัวใจอัตโนมัติ (AED) โดยผู้วิจัยและแพทย์เวชศาสตร์ฉุกเฉิน จะทำหน้าที่ในการประเมินผลการทดสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย หากตรวจพบความผิดปกติขณะทำการทดสอบ ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้าของการวิจัย โดยจะแจ้งให้ผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบ และแนะนำให้ไปพบแพทย์หรือบุคคลที่เกี่ยวข้องต่อไป ใช้ระยะเวลาในการคัดกรองประมาณ 1 ชั่วโมง รายละเอียดการคัดกรอง ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยกรอกข้อมูลในแบบสอบถามประวัติสุขภาพ ประกอบด้วย ประวัติสุขภาพในอดีต ประวัติการเจ็บป่วยของคนในครอบครัว และข้อมูลสุขภาพในปัจจุบัน

2) ผู้เข้าร่วมวิจัยกรอกข้อมูลในแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย สำหรับบุคคลทั่วไป ที่มีอายุระหว่าง 15 – 69 ปี

3) ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการทดสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย โดยการปั่นจักรยานที่มีการเพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ ปฏิบัติเต็มความสามารถ เพื่อทดสอบภาวะการขาดเลือดของหัวใจด้วยคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

4.4 ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการตรวจร่างกาย และการทดสอบสมรรถภาพร่างกาย ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ควบคุมอุณภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ก่อนการฝึกออกกำลังกาย จำนวน 3 วัน และหลังการฝึกออกกำลังกาย จำนวน 3 วัน ดังนี้

การทดสอบวันที่ 1 : ทดสอบค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. ตรวจวัดค่าตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจในขณะพัก และความดันโลหิตขณะพัก ชั่งน้ำหนักตัว วัดส่วนสูง และดัชนีมวลกาย การไหลเวียนโลหิตในขณะพัก และองค์ประกอบของร่างกาย เช่น เปอร์เซ็นต์ไขมัน มวลกล้ามเนื้อปราศจากไขมัน ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 30 นาที

2. เจาะเลือดเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด โดยพยาบาลวิชาชีพหรือนักเทคนิคการแพทย์ในช่วงเช้า 07.00 - 08.00 น. ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแจ้งให้งดรับประทานอาหารล่วงหน้าก่อนการเจาะเลือดเป็นเวลาอย่างน้อย 8-12 ชั่วโมง รับการเจาะเลือด 1 ครั้ง จำนวน 15 มิลลิลิตร (ประมาณ 3 ช้อนชา) ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยนั่งพัก 10 นาที

เอกสารรับรองโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย
เอกสารที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 28 ก.พ. 2563

3. ประเมินโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่

3.1 วัดความหนาของผนังหลอดเลือดโดยทำการอัลตราซาวน์หลอดเลือดแดงตำแหน่งลำคอด้านขวา ในท่านอนหงาย เอียงศีรษะไปทางซ้าย 45 องศา ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 15-20 นาที

3.2 วัดการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน โดยการทำอัลตร้าซาวน์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งแขนและขา ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนพัก 5-10 นาทีก่อนการทดสอบ ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 30 นาที

3.3 วัดความแข็งของหลอดเลือดแดง ด้วยอุปกรณ์วัดความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าทั้งด้านขวาและซ้าย โดยก่อนเริ่มการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนพัก 5-10 นาที จึงเริ่มการทดสอบ ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 15 นาที

3.4 วัดการไหลของเลือดของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง โดยใช้เครื่องเลเซอร์ดอปเลอร์ตรวจวัดที่บริเวณนิ้วมือและนิ้วเท้า โดยให้ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 10-15 นาที

4. ประเมินโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ ได้แก่

4.1 วัดเส้นรอบวงของขา โดยใช้สายวัด ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 5 นาที

4.2 วัดโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อขา โดยทำการอัลตร้าซาวน์กล้ามเนื้อ ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 15 นาที

4.3 วัดค่าความแข็งแรง ความทนทาน และพลังของกล้ามเนื้อขา โดยผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งเตะขาออกแรงเต็มความสามารถ ด้วยเครื่องวิเคราะห์การออกแรงการเคลื่อนไหวของร่างกาย ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 20 นาที

การทดสอบวันที่ 2 : เว้นระยะห่างจากการทดสอบวันที่ 1 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทดสอบค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. ทดสอบสมรรถภาพทางแอโรบิก โดยการปั่นจักรยานแบบขั้นที่มีการเพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ จนเหนื่อยหมดแรงเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ ก่อนเริ่มการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยต้องติดแผ่นเจลนำสัญญาณที่ผิวหนังบริเวณทรวงอกและหลัง 6 จุด ติดเครื่องวัดระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อที่กล้ามต้นขาเหนือเข่า และสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ ควบคู่ไปด้วยกัน ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 30 นาที ทดสอบค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

- วิเคราะห์ก๊าซ เพื่อประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และระดับกั้นของการระบายอากาศ
- พลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด
- วัดการไหลเวียนโลหิตในขณะออกกำลังกาย
- วัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

2. ทดสอบความทนต่อการเมื่อยล้า โดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุด เต็มความสามารถเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ จะทำการทดสอบภายหลังจากการทดสอบสมรรถภาพทางแอโรบิก (ข้อ 1) 15 นาที ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 10 นาที

เอกสารที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 2 9 ก.พ. 2563

การทดสอบวันที่ 3 : เว้นระยะห่างจากการทดสอบที่ 2 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทดสอบค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

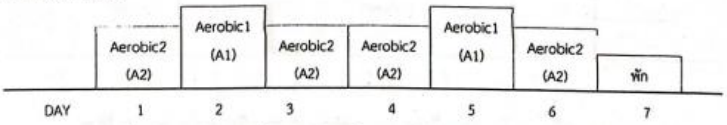
ทดสอบความสามารถทางกีฬาจักรยาน โดยการปั่นจักรยานเต็มความสามารถสูงสุดแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ที่ระยะทาง 40 กิโลเมตร ระหว่างการทดสอบผู้วิจัยทำการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือของผู้เข้าร่วมวิจัย จำนวน 6 ครั้ง (ก่อนเริ่มการทดสอบ 1 ครั้ง, ระหว่างการทดสอบที่ระยะ 20 กิโลเมตร 1 ครั้ง, สิ้นสุดที่ 40 กิโลเมตรทันที 1 ครั้ง และหลังการทดสอบขณะพัก 3 ครั้งในนาทีที่ 3, 5, และ 10) โดยบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 3-5 ไมโครลิตร) เพื่อวัดปริมาณความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับผลการวิเคราะห์สมรรถภาพทางร่างกาย และค่าสารชีวเคมีในเลือดต่าง ๆ พร้อมทั้งให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและคำแนะนำในการปฏิบัติตัว แต่หากพบความผิดปกติ ผู้วิจัยจะแนะนำให้ปรึกษาแพทย์และบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป

4.5 เมื่อการตรวจเสร็จสิ้น จะดำเนินการฝึกออกกำลังกายตามกลุ่ม ดังนี้

<u>กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม</u> ที่มีการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติ แต่ได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมการวิจัย ประกอบด้วยการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก ระดับอัตราการเต้นของหัวใจต่ำกว่าจุดที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 หรือที่ความหนักประมาณ 65 – 80 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 120 นาที (A1) จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และมีการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักระดับอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ถึงระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 หรือที่ความหนักประมาณ 80 – 90 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 75 - 90 นาที (A2) จำนวน 4 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมการฝึกทั้งสิ้น 6 ครั้งต่อสัปดาห์ (ดังรูปที่ 1) ซึ่งระดับกั้นการระบายอากาศ จะเป็นค่าเฉพาะบุคคลที่ประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มที่ 1 ที่มีการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติด้วยโปรแกรมการฝึก A1 และ A2 ทำการฝึกซ้อมที่สนามลู่ปั่นจักรยานเจริญสุขมงคลจิต โดยผู้วิจัยหรือผู้ฝึกสอนทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อม ซึ่งผู้วิจัยได้พูดคุยทำความเข้าใจกับผู้ฝึกสอนถึงโปรแกรมการฝึกตามโครงการวิจัยที่ถูกต้อง โดยมีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกาย ดังนี้ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ ทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ฝึกปั่นจักรยานตามรูปแบบการฝึกปกติที่แนะนำ โดยบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดช่วงการฝึก หลังจากนั้นทำการคลายอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เวลา 10 นาที ผู้วิจัยเก็บข้อมูลการฝึกซ้อมจากแอพพลิเคชั่น เช่น Garmin connect, Strava, Cyclemeter, Endomodo เป็นต้น มีการบันทึก วันเวลาที่ฝึกซ้อม อัตราการเต้นของหัวใจ ระยะเวลาของการปั่น ระยะทางการปั่น และความเร็วของการปั่น



รูปที่ 1 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกปกติ (Usual training)

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
29 ก.พ. 2563

กลุ่มที่ 2 กลุ่มฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ที่หาได้จากการทดสอบปั่นจักรยานที่มีการเพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ จนเหนื่อยหมดแรงเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ระยะเวลา 4 นาที สลับกับการลดความหนักในการปั่นจักรยานเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ระยะเวลา 2 นาที ที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที ทำทั้งหมด 4 รอบ รวมระยะเวลา 24 นาที จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และมีการฝึกปกติ ประกอบด้วยการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก ระดับอัตราการเต้นของหัวใจต่ำกว่าจุดที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 หรือที่ความหนักประมาณ 65 – 80 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 120 นาที (A1) จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และมีการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักระดับอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ถึงระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 หรือที่ความหนักประมาณ 80 – 90 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 75 - 90 นาที (A2) จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมการฝึกทั้งสิ้น 6 ครั้งต่อสัปดาห์ (ดังรูปที่ 2)

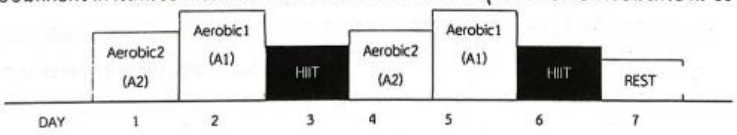
การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มที่ 2 ด้วยโปรแกรมการฝึก A1 A2 และ HIIT

สำหรับการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติด้วยโปรแกรมการฝึก A1 และ A2

: ทำการฝึกซ้อมที่สนามลู่ปั่นจักรยานเจริญสุขมงคลจิต โดยผู้วิจัยหรือผู้ฝึกสอนทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อม ซึ่งผู้วิจัยได้พูดคุยทำความเข้าใจกับผู้ฝึกสอนถึงโปรแกรมการฝึกตามโครงการวิจัยที่ถูกต้อง โดยมีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกาย ดังนี้ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ ทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ฝึกปั่นจักรยานตามรูปแบบการฝึกปกติที่แนะนำ โดยบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดช่วงการฝึก หลังจากนั้นทำการคลายอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เวลา 10 นาที ผู้วิจัยเก็บข้อมูลการฝึกซ้อมจากแอพพลิเคชั่น เช่น Garmin connect, Strava, Cyclemeter, Endomodo เป็นต้น มีการบันทึก วันเวลาที่ฝึกซ้อม อัตราการเต้นของหัวใจ ระยะเวลาของการปั่น ระยะทางการปั่น และความเร็วของการปั่น

สำหรับการฝึก HIIT

: ทำการฝึกซ้อมที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยผู้วิจัยทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อมและให้การดูแลอย่างใกล้ชิด มีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกาย ดังนี้ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ ทำการอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยาน 10 นาที หลังจากนั้นพัก 3 นาที และเริ่มฝึกปั่นจักรยานตามรูปแบบการฝึกโดยบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดช่วงการฝึก หลังจากนั้นคลายอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยาน 10 นาที



รูปที่ 2 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT)

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 29 ก.พ. 2563

<u>กลุ่มที่ 3 กลุ่มฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต</u>

ก่อนการฝึกผู้วิจัยนำสายรัด (Cuff) ขนาดความกว้างประมาณ 11 เซนติเมตร พันรอบบริเวณส่วนบนของต้นขาทั้งสองข้าง เพื่อทำการทดสอบค่าแรงดันของอุปกรณ์จำกัดการไหลเวียนโลหิต (เครื่องวัดความดัน) ที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตของหลอดเลือดแดงบริเวณข้อพับเข่าด้านในที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ของการไหลเวียนโลหิตที่ถูกปิดกั้นในขณะพักของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ *ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 20 นาที*

ช่วงการฝึกจะมีการติดตั้งอุปกรณ์จำกัดการไหลเวียนโลหิตที่บริเวณต้นขาทั้งสองข้าง ทำการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ระยะเวลา 4 นาที สลับกับการลดความหนักในการปั่นจักรยานเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ระยะเวลา 2 นาที จำนวน 2 รอบ (รอบที่ 1 และ 3) และฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ของการไหลเวียนโลหิตที่ถูกปิดกั้นในขณะพักของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ระยะเวลา 4 นาที สลับกับการลดความหนักในการปั่นจักรยานเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของพลังสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน ระยะเวลา 2 นาที คลายแรงดัน จำนวน 2 รอบ (รอบที่ 2 และ 4) (ดังรูปที่ 3) ที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที รวมระยะเวลา 24 นาที จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และมีการฝึกปกติ ประกอบด้วยการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักระดับอัตราการเต้นของหัวใจต่ำกว่าจุดที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 หรือที่ความหนักประมาณ 65 – 80 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 120 นาที (A1) จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และมีการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนักระดับอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ถึงระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 หรือที่ความหนักประมาณ 80 – 90 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 75 - 90 นาที (A2) จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมการฝึกทั้งสิ้น 6 ครั้งต่อสัปดาห์ (ดังรูปที่ 4)

การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มที่ 3 ด้วยโปรแกรมการฝึก A1 A2 และ HIIT+BFR

สำหรับการฝึกปั่นจักรยานแบบปกติด้วยโปรแกรมการฝึก A1 และ A2

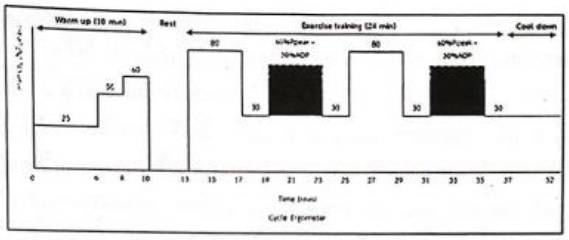
: ทำการฝึกซ้อมที่สนามลู่ปั่นจักรยานเจริญสุขมงคลจิต โดยผู้วิจัยหรือผู้ฝึกสอนทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อม ซึ่งผู้วิจัยได้พูดคุยทำความเข้าใจกับผู้ฝึกสอนถึงโปรแกรมการฝึกตามโครงการวิจัยที่ถูกต้อง โดยมีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกาย ดังนี้ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ ทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ฝึกปั่นจักรยานตามรูปแบบการฝึกปกติที่แนะนำ โดยบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดช่วงการฝึก หลังจากนั้นทำการคลายอุ่นร่างกาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เวลา 10 นาที ผู้วิจัยเก็บข้อมูลการฝึกซ้อมจากแอพพลิเคชั่น เช่น Garmin connect, Strava, Cyclemeter, Endomodo เป็นต้น มีการบันทึก วันเวลาที่ฝึกซ้อม อัตราการเต้นของหัวใจ ระยะเวลาของการปั่น ระยะทางการปั่น และความเร็วของการปั่น

สำหรับการฝึก HIIT+BFR

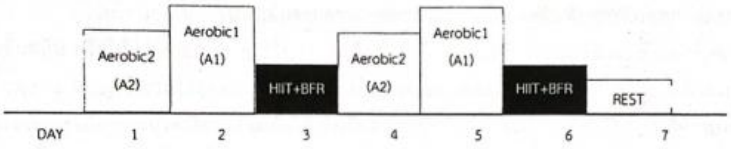
: ทำการฝึกซ้อมที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยผู้วิจัยทำหน้าที่ควบคุมการฝึกซ้อม และให้การดูแลอย่างใกล้ชิด

เอกสารรับรองโครงการวิจัยมหาวิทยาลัยมหิดล
เอกสารรับรองโครงการวิจัยที่ 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 28 ก.พ. 2563

มีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกาย ดังนี้ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ ทำการอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยาน 10 นาที หลังจากนั้นพัก 3 นาที ในระหว่างนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์การจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่บริเวณต้นขาทั้งสองข้าง ในตำแหน่งเดิมทุกครั้ง (โดยใช้การบันทึกภาพ) หลังจากนั้นเริ่มฝึกปั่นจักรยานตามรูปแบบการฝึก โดยบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดช่วงการฝึก หลังจากนั้นคลายอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยาน 10 นาที



รูปที่ 3 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)



รูปที่ 4 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ผู้วิจัยทำการชี้แจงรายละเอียดการปฏิบัติตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม โดยไม่ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยฝึกซ้อมเพิ่มเติมนอกเหนือจากโปรแกรมที่ได้กำหนดให้ฝึกซ้อมของแต่ละกลุ่ม เพื่อให้การปฏิบัติการฝึกซ้อมของแต่ละกลุ่มเหมือนกัน และในการฝึกซ้อมให้ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่งกายด้วยชุดกีฬาจักรยานและสวมหมวกนิรภัยทุกครั้ง ทั้งนี้ ในระหว่างการฝึกซ้อม ผู้วิจัยจะจัดบริการน้ำดื่มสะอาดให้บริการแก่ผู้เข้าร่วมวิจัย และจะบอกข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) ของการฝึกซ้อมแต่ละครั้ง หรือพัฒนาการของการฝึกซ้อมแก่ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นระยะ

ภายหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการตรวจวัดตัวแปรด้านสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด โครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ สมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาจักรยาน อีกครั้ง

5. **กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้มีส่วนร่วมการวิจัยถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการเข้าร่วมวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
รับรองถึงวันที่ 29 ก.พ. 2563

6. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและอยู่ในสภาวะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ผู้วิจัยจะรายงานผลเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและการฝึกออกกำลังกาย หรือแนะนำให้ปรึกษาแพทย์หรือบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป และจะได้รับค่าเดินทางในการเข้าร่วมคัดกรอง จำนวน 200 บาท

7. **อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ในการเจาะเลือดอาจมีอาการเจ็บหรือเขียวช้ำเล็กน้อยบริเวณที่เจาะ ผู้วิจัยจะแนะนำให้พักการใช้บริเวณนั้น และทำการประคบด้วยความเย็น การฝึกด้วยอุปกรณ์สายรัดอาจมีอาการข้างเคียง คือ มีอาการล้ากล้ามเนื้อหรือชาขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะสอบถามผู้เข้าร่วมวิจัยเกี่ยวกับอาการที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ถ้าอาการดังกล่าวเป็นมากจนไม่สามารถทนไหวจะหยุดการบีบรัด โดยปกติอาการดังกล่าวจะหายไปภายหลังจากหยุดการบีบรัดสายรัด แต่หากอาการนั้นยังคงอยู่ผู้วิจัยจะทำการประคบเย็น ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ หรือนวด โดยทำการดูแลจนกว่าอาการนั้นจะดีขึ้น หากอาการนั้นยังไม่ดีขึ้นจะพาไปพบแพทย์

ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการฝึกออกกำลังกายโดยจัดอันดับการฝึกออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อย ๆ ปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคล โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะฝึกออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ภายหลังการฝึกออกกำลังกายในช่วงแรกอาจมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเป็นอาการปกติของผู้เริ่มฝึกออกกำลังกายที่มีความหนักเพิ่มมากขึ้นจากปกติ ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย การคลายอุ่นร่างกาย และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพื่อที่จะลดอาการดังกล่าว ในการฝึกด้วยอุปกรณ์สายรัดนั้น ผู้วิจัยจะคอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยและป้องกันอาการดังกล่าว โดยมีการควบคุมแรงดันของการบีบรัดสายรัดตลอดการฝึกไม่ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยฝึกจนกระทั่งเกิดสภาวะผิดปกติรุนแรง ซึ่งหากเกิดภาวะความผิดปกติดังกล่าวจะให้หยุดการฝึก และให้การช่วยเหลือในทันที

8. **ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ดังนี้**

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้ของการเกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการฝึกออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัยเพื่อเสริมสร้างสุขภาพทางกายให้แข็งแรง และมีความสามารถทางด้านกีฬาจักรยานที่ดีขึ้น ผลจากการวิจัยนี้จะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับนักกีฬาจักรยานประเภทถนน หรือนักกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทนอื่น ๆ ในผู้ที่มีอายุเพิ่มมากขึ้น สำหรับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น หากได้ผลดีผู้วิจัยจะจัดเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนฝึกปฏิบัติให้สามารถเข้าใจ และนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง

9. การเข้าร่วมในการวิจัยของผู้มีส่วนร่วมในวิจัยเป็นโดยสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 29 ก.พ. 2563

10. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

11. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัยจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้เข้าร่วมวิจัยได้จะไม่ปรากฏในรายงาน เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้ว ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลาย และเลือดของผู้มีส่วนร่วมในวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลายโดยผู้เชี่ยวชาญเทคนิคการแพทย์

12. ภายหลังการเข้าร่วมการฝึกออกกำลังกาย ท่านจะไม่ได้รับเงินค่าตอบแทนจากการเข้าร่วมในการวิจัย แต่ท่านจะได้รับค่าเดินทางและเงินชดเชยการสูญเสียรายได้ ในการมาทำการทดสอบครั้งละ 200 บาท จำนวน 6 ครั้ง และการมาฝึกซ้อมครั้งละ 100 บาท จำนวน 24 ครั้ง

13. "หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th"

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 28 ก.พ. 2563

เอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

AF05-07

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ทำที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อยล้า และความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์

(EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON AEROBIC FITNESS, FATIGUE TOLERANCE AND CYCLING PERFORMANCE IN MASTER ROAD CYCLISTS)

ชื่อผู้วิจัย นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร. ดรุณวรรณ สุขสม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ และ อาจารย์ ดร. นภัสกร ชื่นศิริ

ที่อยู่ที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 09 7963 6465 E-mail : p.tangchaisuriya@gmail.com

ข้าพเจ้า ได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอด และได้รับคำอธิบายจากผู้วิจัยจนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว

ข้าพเจ้าจึงสมัครใจเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ภายใต้เงื่อนไขตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจร่างกายด้านต่าง ๆ ได้แก่ ความดันโลหิตขณะพัก อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ชั่งน้ำหนักตัว วัดส่วนสูง ดัชนีมวลกาย เปอร์เซ็นต์ไขมัน มวลกล้ามเนื้อปราศจากไขมัน อัตราการไหลเวียนโลหิตทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย การตรวจอัลตร้าซาวน์ของหลอดเลือดบริเวณแขน ขา และลำคอ ความแข็งของหลอดเลือดแดง อัตราการไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง ประเมินโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อขา ขนาดเส้นรอบวง ความแข็งแรง ความทนทาน และพลังกล้ามเนื้อ ตรวจสมรรถภาพด้านแอโรบิกโดยการปั่นจักรยานที่มีการเพิ่มความหนัก ทดสอบความเมื่อยล้าของ

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62

วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562

วันหมดอายุ 28 ก.พ. 2563/2558

กล้ามเนื้อโดยการปั่นจักรยาน การประเมินความสามารถทางกีฬาจักรยานโดยการปั่นจักรยานเต็มความสามารถแบบจำลองในห้องปฏิบัติการที่ระยะ 40 กิโลเมตร และการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือ จำนวน 6 ครั้ง (ก่อนเริ่มการทดสอบ 1 ครั้ง, ระหว่างการทดสอบที่ระยะ 20 กิโลเมตร 1 ครั้ง เมื่อสิ้นสุดที่ระยะ 40 กิโลเมตรทันที 1 ครั้ง และหลังการทดสอบขณะพัก 3 ครั้ง ในนาทีที่ 3, 5 และ 10) โดยบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 3-5 ไมโครลิตร) เพื่อวัดปริมาณความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด รวมถึงการเจาะเลือด จำนวน 15 มิลลิลิตร (3 ช้อนชา) ทดสอบจำนวน 2 ครั้ง ก่อนและหลังการฝึก โดยพยาบาลวิชาชีพ หรือนักเทคนิคการแพทย์ เพื่อตรวจวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด น้ำตาลในเลือด ระดับไขมันในเลือด ไนตริกออกไซด์ ครีเอทีฟอสโฟไคเนส มาลอนไดอัลดีไฮด์ ไมโทเจน-แอคทิเวเตดโปรตีนไคเนสพี38 วาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรสแฟคเตอร์ อินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์1 ซึ่งจะมีการทำลายเลือดเมื่อสิ้นสุดการวิจัย รวมทั้งเข้ารับการฝึกออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานตามโปรแกรมการฝึก ได้แก่ การฝึกแบบปกติตามคำแนะนำ การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง หรือการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นเวลา 12 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 6 ครั้ง รวม 72 ครั้ง

ข้าพเจ้ามีสิทธิถอนตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใด ๆ ต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะเก็บรักษาเป็นความลับ โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เข้าร่วมวิจัย

ลงชื่อ.....
(นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา)
ผู้วิจัยหลัก

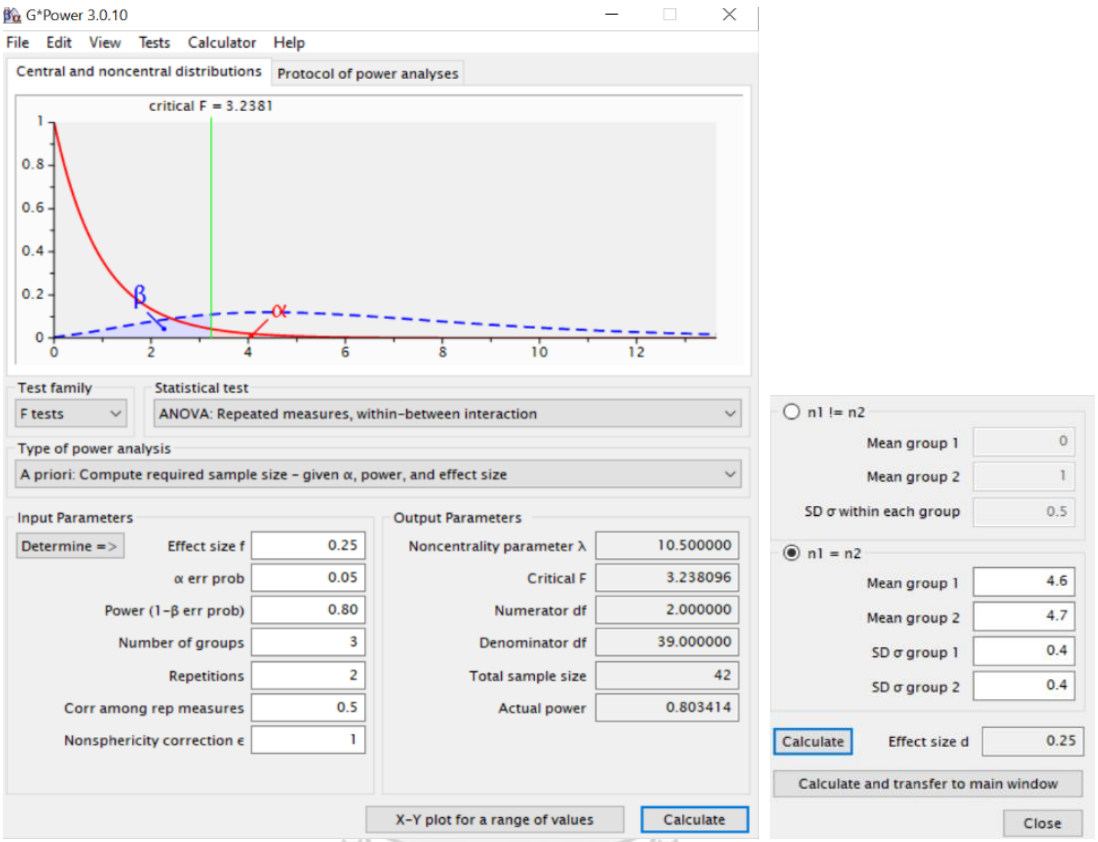
ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน

เอกสารรับรองโครงการวิจัยเลขที่ 024.1/62
วันที่รับรอง - 1 มี.ค. 2562
วันหมดอายุ 29 ก.พ. 2563

2/2

V.2.4/2558

ภาคผนวก ข
การคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 119 การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G*Power

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากโปรแกม G*Power สามารถคำนวณกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดได้ 42 คน เพื่อป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของผู้เข้าร่วมวิจัยระหว่างดำเนินการทดลองจนอาจทำให้ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่พอแก่การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจึงคำนวณกลุ่มตัวอย่างเพิ่มเติมจากจำนวนที่คำนวณได้เพิ่มเติมอีกจำนวนร้อยละ 20 เท่ากับ 9 คน การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 51 คน แบ่งออกเป็นกลุ่มละ 17 คน

ที่มา : Taylor, C. W., Ingham, S. A., & Ferguson, R. A. (2016). Acute and chronic effect of sprint interval training combined with post–exercise blood–flow restriction in trained individuals. *Experimental physiology*, 101(1), 143–154. https://doi.org/10.1113/EP085293

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบโปรแกรมการทดสอบ 5 ท่าน

<u>ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน</u>

1. อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย	อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา แขนงวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล	อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา แขนงวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก</u>

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไวพจน์ จันทร์เสม	อาจารย์ประจำสถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตสมุทรสาคร
2. พ.อ.อ.วิสุทธิ์ กสิยะพัท	หัวหน้าผู้ฝึกสอนนักกีฬาจักรยานทีมชาติไทย
3. จ.อ.พงษ์เทพ ท่าพิมาย	นักกีฬาจักรยานทีมชาติไทยและผู้ฝึกสอนักกีฬาจักรยานโรงเรียนกีฬากรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่ ศธ ๐๕๑๒.๒๔/๑๒๗๗

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพระราม ๑ แขวงวังใหม่ กทม. ๑๐๓๓๐

๑๑ ธันวาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไวพจน์ จันทร์เสม

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. โครงร่างวิจัย
๒. แบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหา

ด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม และผู้ร่วมวิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้จัดทำโครงการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกแบบเฉพาะเจาะจงต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน (EFFECTS OF SPECIFIC TRAINING ON PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND CYCLING PERFORMANCE IN ROAD CYCLISTS) นั้น

เพื่อให้โครงการวิจัยมีความถูกต้องและสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ในการนี้ จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือการวิจัยในงานวิจัยเรื่องดังกล่าว โดยได้แนบเอกสารโครงร่างวิจัยและแบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหามาด้วยนี้ ทั้งนี้ ขอความกรุณาท่านส่งกลับคืนที่หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายในวันที่ ๑๙ ธันวาคม ๒๕๖๑ หากท่านมีข้อสงสัยประการใดสามารถติดต่อได้ที่ นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา โทรศัพท์ ๐๙-๗๙๖๓-๖๔๖๕ หรือ นางสาววิรังรอง นวลเพชร โทรศัพท์ ๐๘-๐๐๓๑-๓๙๓๕

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัยด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)
คณบดี

หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ
โทร.๐-๒๒๑๘-๑๐๔๗
โทรสาร ๐-๒๒๑๘-๑๐๔๐

ที่ ศธ ๐๕๑๒.๒๔/๑๒๗๗

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพระราม ๑ แขวงวังใหม่ กทม. ๑๐๓๓๐

๑๑ ธันวาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน พันจ่าอากาศเอกวิสุทธิ์ กสิยะพัท

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. โครงร่างวิจัย
๒. แบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหา

ด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม และผู้ร่วมวิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้จัดทำโครงการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกแบบเฉพาะเจาะจงต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน (EFFECTS OF SPECIFIC TRAINING ON PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND CYCLING PERFORMANCE IN ROAD CYCLISTS) นั้น

เพื่อให้โครงการวิจัยมีความถูกต้องและสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ในการนี้ จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือการวิจัยในงานวิจัยเรื่องดังกล่าว โดยได้แนบเอกสารโครงร่างวิจัยและแบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหามาด้วยนี้ ทั้งนี้ ขอความกรุณาท่านส่งกลับคืนที่หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายในวันที่ ๑๙ ธันวาคม ๒๕๖๑ หากท่านมีข้อสงสัยประการใดสามารถติดต่อได้ที่ นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา โทรศัพท์ ๐๙-๗๙๖๓-๖๔๖๕ หรือ นางสาววิรังรอง นวลเพชร โทรศัพท์ ๐๘-๐๐๓๑-๓๙๓๕

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัยด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)
คณบดี

หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ
โทร.๐-๒๒๑๘-๑๐๔๗
โทรสาร ๐-๒๒๑๘-๑๐๔๐

ที่ ศธ ๐๕๑๒.๒๔/๑๒๗๗

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพระราม ๑ แขวงวังใหม่ กทม. ๑๐๓๓๐

๑๑ ธันวาคม ๒๕๖๑

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน จ่าอากาศเอกพงษ์เทพ ท่าพิมาย

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. โครงร่างวิจัย
๒. แบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหา

ด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม และผู้ร่วมวิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้จัดทำโครงการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกแบบเฉพาะเจาะจงต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน (EFFECTS OF SPECIFIC TRAINING ON PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND CYCLING PERFORMANCE IN ROAD CYCLISTS) นั้น

เพื่อให้โครงการวิจัยมีความถูกต้องและสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ในการนี้ จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือการวิจัยในงานวิจัยเรื่องดังกล่าว โดยได้แนบเอกสารโครงร่างวิจัยและแบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหามาด้วยนี้ ทั้งนี้ ขอความกรุณาท่านส่งกลับคืนที่หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายในวันที่ ๑๙ ธันวาคม ๒๕๖๑ หากท่านมีข้อสงสัยประการใดสามารถติดต่อได้ที่ นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา โทรศัพท์ ๐๙-๗๙๖๓-๖๔๖๕ หรือ นางสาววิรังรอง นวลเพชร โทรศัพท์ ๐๘-๐๐๓๑-๓๙๓๕

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัยด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)
คณบดี

หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ
โทร.๐-๒๒๑๘-๑๐๔๗
โทรสาร ๐-๒๒๑๘-๑๐๔๐

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา โทร. ๘๑๐๔๗
ที่ ศธ ๐๕๑๒.๒๔/๑๒๗๗ **วันที่** ๑๑ ธันวาคม ๒๕๖๑
เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มสมัย

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. โครงร่างวิจัย
๒. แบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหา

ด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม และผู้ร่วมวิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้จัดทำโครงการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกแบบเฉพาะเจาะจงต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน (EFFECTS OF SPECIFIC TRAINING ON PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND CYCLING PERFORMANCE IN ROAD CYCLISTS) นั้น

เพื่อให้โครงการวิจัยมีความถูกต้องและสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ในการนี้ จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือการวิจัยในงานวิจัยเรื่องดังกล่าว โดยได้แนบเอกสารโครงร่างวิจัยและแบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหามาด้วยนี้ ทั้งนี้ ขอความกรุณาท่านส่งกลับคืนที่หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายในวันที่ ๑๙ ธันวาคม ๒๕๖๑ หากท่านมีข้อสงสัยประการใดสามารถติดต่อได้ที่ นางสาวพัชรินทร์ ตั้งขัยสุริยา โทรศัพท์ ๐๙-๗๙๖๓-๖๔๖๕ หรือ นางสาววิรังรอง นวลเพชร โทรศัพท์ ๐๘-๐๐๓๑-๓๙๓๕

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัยด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)
คณบดี

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา โทร. ๘๑๐๔๗
ที่ ศธ ๐๕๑๒.๒๔/๑๒๗๗ **วันที่** ๑๑ ธันวาคม ๒๕๖๑
เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

เรียน อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. โครงร่างวิจัย
๒. แบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหา

ด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม และผู้ร่วมวิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้จัดทำโครงการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกแบบเฉพาะเจาะจงต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน (EFFECTS OF SPECIFIC TRAINING ON PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND CYCLING PERFORMANCE IN ROAD CYCLISTS) นั้น

เพื่อให้โครงการวิจัยมีความถูกต้องและสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ในการนี้ จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือการวิจัยในงานวิจัยเรื่องดังกล่าว โดยได้แนบเอกสารโครงร่างวิจัยและแบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหามาด้วยนี้ ทั้งนี้ ขอความกรุณาท่านส่งกลับคืนที่หน่วยจัดการศึกษา กลุ่มภารกิจวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายในวันที่ ๑๙ ธันวาคม ๒๕๖๑ หากท่านมีข้อสงสัยประการใดสามารถติดต่อได้ที่ นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา โทรศัพท์ ๐๙-๗๙๖๓-๖๔๖๕ หรือ นางสาววิรังรอง นวลเพชร โทรศัพท์ ๐๘-๐๐๓๑-๓๙๓๕

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัยด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)
คณบดี

ภาคผนวก ง

ผลการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือโดยผู้ทรงคุณวุฒิ

การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์

(Index of Item Objective Congruence; IOC)

การตรวจสอบค่าความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึกใช้เกณฑ์ในการตัดสิน คือ การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruence; IOC) โดยแบบประเมินในการตรวจสอบความตรงของเนื้อหา ตามเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

ให้คะแนน +1 หมายถึง แน่ใจว่ามีความตรงของเนื้อหา

ให้คะแนน 0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่ามีความตรงของเนื้อหา

ให้คะแนน –1 หมายถึง แน่ใจว่าไม่มีความตรงของเนื้อหา

$$IOC = \sum R / N$$

เมื่อ IOC คือ ดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ คือ ผลรวมคะแนนจากผู้ทรงคุณวุฒิ

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อความตรงของเนื้อหา

รายละเอียดของเนื้อหา	**คะแนนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**					**ค่า IOC**	**แปลผล**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**		
1. การอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจง โดยการปั่นจักรยานที่เพิ่มความหนักขึ้นเป็นขั้นบันได ดังนี้ - 25 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 6 นาที - 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที - 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที พัก 3 นาที และเริ่มฝึกปั่นจักรยานตามโปรแกรมการฝึก	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
2. ความหนักของรูปแบบ Continuous training (C1) : อัตราการเต้นหัวใจต่ำกว่าช่วงที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 หรือที่ความหนักประมาณ 55 – 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
3. ระยะเวลาในการฝึกของรูปแบบ Continuous training (C1) : 120 นาทีต่อครั้ง	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5		
4. ความหนักของรูปแบบ Continuous training (C2) : อัตราการเต้นหัวใจในช่วงที่เกิดระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 ถึงระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 หรือที่ความหนักประมาณ 65 – 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
5. ระยะเวลาในการฝึกของรูปแบบ Continuous training(C2) : 75 - 90 นาทีต่อครั้ง	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้
6. ความหนักของรูปแบบการฝึก HIIT : ช่วงออกกำลังกายหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด : ช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
7. ความหนักของรูปแบบการฝึก HIIT+BFR : ความหนักของการฝึกรอบที่ 1 และ 3 คือ - ช่วงออกกำลังกายหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด - ช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด : ความหนักของการฝึกรอบที่ 2 และ 4 คือ - ช่วงออกกำลังกายหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 30 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันของหลอดโลหิตแดงที่ถูกปิดกั้นขณะพัก - ช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด คลายแรงดัน (0 มิลลิเมตรปรอท)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
8. ระยะเวลาช่วงการออกกำลังกายหนักของรูปแบบการฝึก HIIT / HIIT+BFR : 4 นาทีต่อรอบ	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
9. ระยะเวลาช่วงการออกกำลังกายเบาของรูปแบบการฝึก HIIT / HIIT+BFR 2 นาทีต่อรอบ	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
10. ปริมาณการฝึกของรูปแบบการฝึก HIIT / HIIT+BFR : 4 รอบ (24 นาทีต่อครั้ง)	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
11. การควบคุมความเร็วของการปั่นจักรยานในการฝึก HIIT / HIIT+BFR ที่ 90 รอบต่อนาที ตลอดระยะเวลาการฝึก	1	1	0	0	1	0.6	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					ค่า IOC	แปลผล
	1	2	3	4	5		
12. ความถี่ของการฝึกกลุ่ม 1 Continuous training (C1) : 2 ครั้งต่อสัปดาห์ Continuous training (C2) : 4 ครั้งต่อสัปดาห์	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
13. ความถี่ของการฝึกกลุ่ม 2 Continuous training (C1) : 2 ครั้งต่อสัปดาห์ Continuous training (C2) : 2 ครั้งต่อสัปดาห์ HIIT : 2 ครั้งต่อสัปดาห์	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
14. ความถี่ของการฝึกกลุ่ม 3 Continuous training (C1) : 2 ครั้งต่อสัปดาห์ Continuous training (C2) : 2 ครั้งต่อสัปดาห์ HIIT+BFR : 2 ครั้งต่อสัปดาห์	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
15. ระยะเวลาของการฝึก 12 สัปดาห์	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
รวม						**0.92**	**ใช้ได้**

ความคิดเห็นเพิ่มเติมและข้อเสนอแนะของผู้ของผู้ทรงคุณวุฒิ

1. ในระดับนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ อายุ 35 – 49 ปี จะมีความแตกต่างกันมากในกลุ่ม ข้อจำกัดด้านสรีรวิทยาในกลุ่มผู้สูงวัยอาจเป็นอุปสรรคต่อการฝึก ควรจะจัดให้มีการทดสอบและป้องกันการบาดเจ็บด้วยความระมัดระวังอีกทั้งการพักฟื้นสภาพร่างกายต้องมีการตรวจสอบทุก ๆ ระยะเพราะจะฟื้นตัวได้ช้ากว่าเยาวชน

2. ความตรงของเนื้อหาจัดว่าเป็นโปรแกรมที่ดีถ้าสามารถทำได้จริงควบคู่ไปกับการเฝ้าระวังและการประเมินสภาพร่างกายของแต่ละบุคคลอย่างใกล้ชิดที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ
การศึกษานำร่อง

การศึกษานำร่องที่ 1 : การทดสอบวิธีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความหนักของการออกกำลังกาย

ผู้วิจัยติดต่อนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ เพศชาย ที่มีอายุระหว่าง 35 – 49 ปี จำนวน 3 คน เข้ารับการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแบบเป็นขั้น (Graded incremental exercise test) เพื่อดูความเป็นไปได้ของรูปแบบการทดสอบฯ และเพื่อประเมินความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (Maximal oxygen uptake; VO_2max) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold; VT) และกำลังสูงสุด (Peak power output; PPO)

การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการปั่นจักรยานวัดงานเริ่มด้วยความหนัก 70 วัตต์ และเพิ่มความหนัก 35 วัตต์ทุก ๆ 1 นาที ในการทดสอบนี้จะคงความเร็วของการทดสอบที่ 85 – 90 รอบต่อนาที ปฏิบัติเต็มความสามารถจนกว่าไม่ไหว (Peiffer et al., 2008) และการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความหนักของการออกกำลังกายจากค่ากำลังสูงสุด ที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีหน่วยเป็นวัตต์ คำนวณได้จากสมการ (Faria et al., 2005; Oliveira et al., 2016)

$$PPO = Power_{final} + \left(\frac{t\ (s)}{\text{Step duration}} \times \text{Step increment}\right)$$

เมื่อ PPO คือ กำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (วัตต์)

$Power_{final}$ คือ กำลังงานสูงสุดในขั้นสุดท้าย (วัตต์)

t (s) คือ เวลาของการควบคุมกำลังงานสุดท้าย (วินาที)

Step duration คือ เวลาของช่วงการเพิ่มกำลังงานแต่ละช่วง (วินาที)

Step increment คือ กำลังงานที่เพิ่มขึ้นแต่ละช่วงการทดสอบ (วัตต์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา : Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Chapman, D., Laursen, P. B., & Parker, D. L. (2008). Physiological characteristics of masters– level cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research,* 22(5), 1434–1440.

Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling. *Sports medicine*, 35(4), 285–312.

ผลการทดลองการศึกษานำร่องที่ 1

ตารางที่ 24 ข้อมูลทั่วไปและความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ (การศึกษานำร่องที่ 1)

เนื้อหา	ผลการทดลองใช้		
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3
1. ข้อมูลทั่วไป			
อายุ	45	47	41
ส่วนสูง	175	167	167
น้ำหนัก	76	59	64.5
ประสบการณ์การแข่งขัน (ปี)	8	15	5
ความดันโลหิตขณะพัก (มิลลิเมตรปรอท)	138/87	134/85	125/99
อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	61	65	87
2. ความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max)			
อัตราการเต้นหัวใจก่อนเริ่มการทดสอบ	73	74	87
ความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max; มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	50	47	50
กำลังสูงสุด (PPO; วัตต์)	312	250	308
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้ง/นาที)	175	181	179
ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT_1)			
อัตราการเต้นหัวใจ (ครั้ง/นาที)	136	138	143
ความสามารถการใช้ออกซิเจน (VO_2; มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	33	30	38
กำลัง (วัตต์)	197	171	193
ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (VT_2)			
อัตราการเต้นหัวใจ (ครั้ง/นาที)	162	168	161
ความสามารถการใช้ออกซิเจน (VO_2; มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	43	39	46
กำลัง (วัตต์)	271	191	234

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 24 แสดงให้เห็นถึง ข้อมูลทั่วไปและความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 49 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 179 ครั้งต่อนาที และใช้เวลาในการทดสอบ 8 – 12 นาที

ตารางที่ 25 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความหนักของการออกกำลังกาย (การศึกษานำร่องที่ 1)

เนื้อหา	ผลการทดลองใช้					
	คนที่ 1		คนที่ 2		คนที่ 3	
ความหนักเป้าหมาย	Watt	Kp	Watt	Kp	Watt	Kp
100% PPO	312	3.5	250	2.8	308	3.4
90% PPO	280	3.1	225	2.5	277	3.1
80% PPO	250	2.8	200	2.2	246	2.7
70% PPO	219	2.4	175	1.9	175	1.4
60% PPO	187	2.1	150	1.7	185	2.1
50% PPO	156	1.7	125	1.4	154	1.7
40% PPO	125	1.4	100	1.1	123	1.4
30% PPO	94	1.0	75	0.8	92	1.0
25% PPO	78	0.9	62	0.7	77	0.9

จากตารางที่ 25 แสดงให้เห็นถึง การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความหนักที่ระดับความหนักเป้าหมายต่าง ๆ มีหน่วยเป็นวัตต์ และเปรียบเทียบหน่วยเป็นกิโลปอนด์ เมื่อกำหนดการปั่นที่ 90 รอบต่อนาที

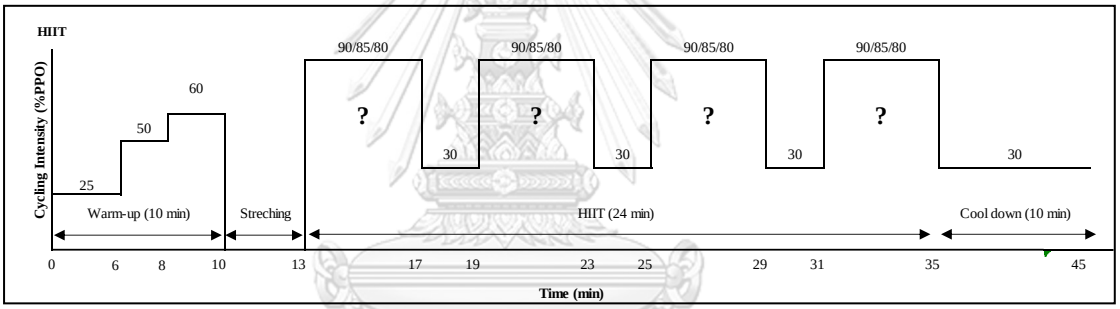
จากการศึกษานำร่องที่ 1 สรุปได้ว่า วิธีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีความเหมาะสมกับกลุ่มนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษานำร่องที่ 2 : การทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training, HIIT) สำหรับนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

ให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบได้รับการทดสอบปั่นจักรยานที่ตามรูปแบบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 วัน ระยะเวลาห่างกัน 72 ชั่วโมง ทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีผู้วิจัยและเจ้าหน้าที่ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาคอยควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด

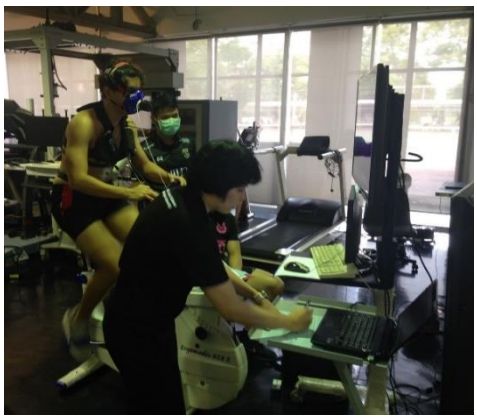
โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงสำหรับนักจักรยานรุ่นมาสเตอร์ (HIIT) ทดสอบความหนักของการฝึกในช่วงออกกำลังกายหนักด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด, 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด หรือ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 2 นาที กำหนดความเร็ว 90 รอบต่อนาที จำนวน 4 รอบ (รูปที่ 120)



รูปที่ 120 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training; HIIT) ในการศึกษานำร่องที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก.

ข. 

รูปที่ 121 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานำร่องที่ 2
ก.จักรยานวัดงานประยุกต์ใส่บันไดสำหรับรองเท้านักจักรยาน และข.เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

ผลการทดลองการศึกษานำร่องที่ 2

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT)

ความหนักที่กำหนด	ผู้เข้าร่วมการทดสอบ		
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3
HIIT 90% PPO			
รอบ 1	ทำได้	ทำได้	ทำได้
รอบ 2	ทำได้	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)
รอบ 3	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)
รอบ 4	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
HIIT 85% PPO			
รอบ 1	ทำได้	ทำได้	ทำได้
รอบ 2	ทำได้	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำได้
รอบ 3	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)
รอบ 4	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)
HIIT 80% PPO			
รอบ 1	ทำได้	ทำได้	ทำได้
รอบ 2	ทำได้	ทำได้	ทำได้
รอบ 3	ทำได้	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำได้
รอบ 4	ทำได้	ทำไม่ได้ (ลดความหนัก)	ทำได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 26 แสดงให้เห็นว่า ความหนักของการฝึกในช่วงออกกำลังกายหนักที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์สามารถทำได้จำนวน 4 รอบ ตามรูปแบบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT)

ตารางที่ 27 รายละเอียดการทดสอบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (%PPO)

เนื้อหา		ผลการทดลอง								
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความหนัก	คนที่ 1			คนที่ 2			คนที่ 3		
		Kp	% HRmax	RPE	Kp	% HRmax	RPE	Kp	% HRmax	RPE
0-1	80% PPO	2.8	76	-	2.2	79	-	2.7	74	-
1-2	80% PPO	2.8	81	14	2.2	88	17	2.7	81	14
2-3	80% PPO	2.8	88	-	2.2	92	-	2.7	83	-
3-4	80% PPO	2.8	89	14	2.2	97	19	2.7	84	15
4-5	30% PPO	1.0	78	-	0.8	90	-	1.0	74	-
5-6	30% PPO	1.0	73	10	0.8	79	14	1.0	70	11
6-7	80% PPO	2.8	84	-	2.2	90	-	2.7	81	-
7-8	80% PPO	2.8	89	14	2.2	99	18	2.7	85	15
8-9	80% PPO	2.8	94	-	2.2	103	-	2.7	87	-
9-10	80% PPO	2.8	96	15	2.2	106	20	2.7	88	15
10-11	30% PPO	1.0	82	-	0.8	96	-	1.0	78	-
11-12	30% PPO	1.0	75	14	0.8	80	15	1.0	72	12
12-13	80% PPO*	2.8	87	-	2.0	91	-	2.7	81	-
13-14	80% PPO*	2.8	93	15	1.7	99	17	2.7	86	15
14-15	80% PPO*	2.8	96	-	1.7	101	-	2.7	90	-
15-16	80% PPO*	2.8	98	17	1.7	102	19	2.7	91	17
16-17	30% PPO	1.0	87	-	0.8	92	-	1.0	81	-
17-18	30% PPO	1.0	80	14	0.8	80	16	1.0	78	13
18-19	80% PPO*	2.8	91	-	1.7	90	-	2.7	87	-
19-20	80% PPO*	2.8	97	18	1.7	98	18	2.7	91	17
20-21	80% PPO*	2.8	101	-	1.7	101	-	2.7	93	-
21-22	80% PPO*	2.8	102	19	1.7	102	20	2.7	93	18
22-23	30% PPO	1.0	91	-	0.8	93	-	1.0	85	-
23-24	30% PPO	1.0	81	15	0.8	82	17	1.0	79	14

*คนที่2 ทำไม่ได้จึงปรับความหนักลดลง เหลือ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด แต่รักษาความเร็ว 90 รอบต่อนาที

จากตารางที่ 27 แสดงให้เห็นถึง รายละเอียดของการทดสอบโปรแกรม HIIT ประกอบด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 2 นาที กำหนดความเร็ว 90 รอบต่อนาที จำนวน 4 เซต พบว่า มีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจอยู่ในช่วง 85 – 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และมีอัตราการรับรู้ความเหนื่อยที่ระดับ 14 – 20

CHULALONGKORN UNIVERSITY

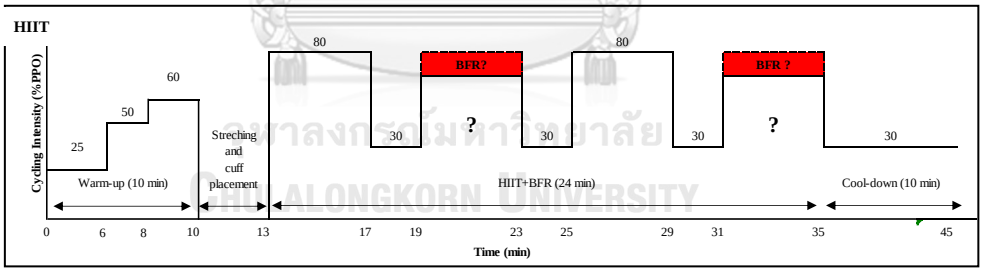
จากการศึกษานำร่องที่ 2 สรุปได้ว่า โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT) ที่ประกอบด้วย ความหนักของการฝึกในช่วงออกกำลังกายหนักที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เป็นเวลา 2 นาที กำหนดความเร็ว 90 รอบต่อนาที จำนวน 4 รอบ มีความเป็นไปได้ที่นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์จะสามารถทำได้

รูปที่ 122 ภาพประกอบการศึกษานำร่องที่ 2 ของการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT)

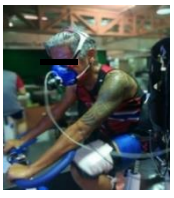
การศึกษานำร่องที่ 3 : การทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High–intensity interval training combined with blood flow restriction; HIIT+BFR) สำหรับนักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์

ให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบได้รับการทดสอบปั่นจักรยานตามโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 วัน ระยะเวลาห่างกัน 72 ชั่วโมง ทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีผู้วิจัยและเจ้าหน้าที่ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาคอยควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด

โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) ความหนักของการฝึกรอบที่ 1 และ 3 คือ ช่วงออกกำลังกายหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 4 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที แรงดัน 0 มิลลิเมตรปรอท และการฝึกในรอบที่ 2 และ 4 เป็นการฝึกปั่นจักรยานร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต โดยทดสอบความหนักของการฝึกในช่วงออกกำลังกายหนักด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 60, 70, และ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับ 30, 40, และ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก ตามลำดับ ระยะเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด คลายแรงดัน 0 มิลลิเมตรปรอทระยะเวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที (รูปที่ 123)



รูปที่ 123 โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BBFR) ในการศึกษานำร่องที่ 3

ก ข ค 

รูปที่ 124 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานำร่องที่ 3

ก.จักรยานวัดงานประยุกต์ใส่บันไดสำหรับรองเท้านักจักรยาน

ข.อุปกรณ์สำหรับฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต และค.เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

ตารางที่ 28 ผลการทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ความหนักที่กำหนด		**รอบ**	**ผู้เข้าร่วมการทดสอบ**		
HIIT	**BFR**		**คนที่ 1**	**คนที่ 2**	**คนที่ 3**
80% PPO	50% AOP	2	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
		4	–	–	–
80% PPO	40% AOP	2	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
		4	–	–	–
80% PPO	30% AOP	2	ทำได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
		4	ทำไม่ได้	–	–
70% PPO	50% AOP	2	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
		4	–	–	–
70% PPO	40% AOP	2	ทำได้	ทำไม่ได้	ทำได้
		4	ทำไม่ได้	–	ทำไม่ได้
70% PPO	30% AOP	2	ทำได้	ทำได้ (ลดความหนัก)	ทำได้ (ลดความหนัก)
		4	ทำได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้	ทำได้ (ลดความหนัก)
60% PPO	50% AOP	2	ทำได้	ทำได้ (ลดความหนัก)	ทำได้ (ลดความหนัก)
		4	ทำได้ (ลดความหนัก)	ทำไม่ได้	ทำได้ (ลดความหนัก)
60% PPO	40% AOP	2	ทำได้	ทำได้	ทำได้
		4	ทำได้ (ลดความหนัก)	ทำได้ (ลดความหนัก)	ทำได้ (ลดความหนัก)
60% PPO	30% AOP	2	ทำได้	ทำได้	ทำได้
		4	ทำได้	ทำได้ (ลดความหนัก)	ทำได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 28 แสดงให้เห็นว่า ความหนักของการฝึกในช่วงออกกำลังกายหนักร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (~ 75 มิลลิเมตรปรอท) เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด คลายแรงดัน 0 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์สามารถทำได้ตามรูปแบบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ตารางที่ 29 รายละเอียดการทดสอบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

เนื้อหา		ผลการทดลอง								
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความหนัก	คนที่ 1			คนที่ 2			คนที่ 3		
		Kp	%HRmax	RPE	Kp	%HRmax	RPE	Kp	%HRmax	RPE
0–1	80% PPO	2.8	77	–	2.2	86	–	2.7	77	–
1–2	80% PPO	2.8	82	14	2.2	92	17	2.7	85	16
2–3	80% PPO	2.8	88	–	2.2	96	–	2.7	90	–
3–4	80% PPO	2.8	89	14	2.2	92	19	2.7	94	18
4–5	30% PPO	1.0	79	–	0.8	76	–	1.0	84	–
5–6	30% PPO	1.0	74	10	0.8	78	15	1.0	79	15
6–7	60%PPO+75mmHg	2.1	80	–	1.7	86	–	2.1	82	–
7–8	60%PPO+75mmHg	2.1	84	17	1.7	91	17	2.1	85	16
8–9	60%PPO+75mmHg	2.1	86	–	1.7	93	–	2.1	89	–
9–10	60%PPO+75mmHg	2.1	90	18	1.7	90	19	2.1	91	17
10–11	30%PPO	1.0	82	–	0.8	79	–	1.0	83	–
11–12	30%PPO	1.0	79	14	0.8	84	17	1.0	80	14
12–13	80% PPO	2.8	86	–	2.2	94	–	2.7	87	–
13–14	80% PPO	2.8	90	16	2.2	96	19	2.7	91	17
14–15	80% PPO*	2.8	92	–	**2.0**	100	–	2.7	92	–
15–16	80% PPO*	2.8	94	19	**2.0**	94	18	**2.5**	93	19
16–17	30% PPO	1.0	84	–	0.8	83	–	1.0	85	–
17–18	30% PPO	1.0	80	15	0.8	84	16	1.0	79	15
18–19	60%PPO+75mmHg	2.1	83	–	1.7	89	–	2.1	84	–
19–20	60%PPO+75mmHg*	2.1	87	18	**1.5**	91	17	2.1	89	17
20–21	60%PPO+75mmHg*	2.1	91	–	**1.5**	92	–	2.1	90	–
21–22	60%PPO+75mmHg*	2.1	93	19	**1.5**	86	17	2.1	92	19
22–23	30% PPO	1.0	84	–	0.8	75	–	1.0	86	–
23–24	30% PPO	1.0	80	17	0.8	67	15	1.0	81	16

*คนที่2 ทำไม่ได้จึงปรับความหนักลดลงเหลือ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด แต่รักษาความเร็ว 90 รอบต่อนาที

จากตารางที่ 29 แสดงให้เห็นถึง รายละเอียดของการทดสอบโปรแกรม HIIT+BFR ประกอบด้วย เซตที่ 1 และ 3 เป็นการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 2 นาที ในเซตที่ 2 และ 4 เป็นการปั่นจักรยานที่ความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

30 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (~75 มิลลิเมตรปรอท) เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด คลายแรงดัน (0 มิลลิเมตรปรอท) เป็นเวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที รวมจำนวน 4 รอบ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจอยู่ในช่วง 85 – 95 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และมีอัตราการรับรู้ความเหนื่อย ที่ระดับ 14 – 20

จากการศึกษานำร่องที่ 2 สรุปได้ว่า รูปแบบโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR) โดยเซตที่ 1 และ 3 เป็นการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด เวลา 2 นาที ในเซตที่ 2 และ 4 เป็นการปั่นจักรยานที่ความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (~ 75 มิลลิเมตรปรอท) เป็นเวลา 4 นาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด คลายแรงดัน (0 มิลลิเมตรปรอท) เป็นเวลา 2 นาที ความเร็ว 90 รอบต่อนาที มีความเป็นไปได้ที่นักกีฬาจักรยานประเภทถนนรุ่นมาสเตอร์จะสามารถทำได้ โดยไม่เกิดการเจ็บปวดมากจนเกินไปในขณะทำการรัดเพื่อจำกัดการไหลเวียนโลหิต

รูปที่ 125 ภาพประกอบการศึกษานำร่องที่ 3 ของการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ภาคผนวก ฉ

แบบสอบถามประวัติสุขภาพ (Personal and family medical history)

ชื่อ.....อายุ..... วัน/เดือน/ปีเกิด.....

ประวัติสุขภาพในอดีต			ข้อมูลของคนในครัว			ข้อมูลสุขภาพในปัจจุบัน		
คุณเคยมีอาการเหล่านี้หรือไม่	มี	ไม่มี	ญาติสายตรงมีอาการเหล่านี้หรือไม่มี	มี	ไม่มี	คุณมีอาการเหล่านี้หรือไม่	มี	ไม่มี
ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคลิ้นหัวใจ โรคหลอดเลือดแดง เส้นเลือดขอด โรคปอด หอบหืด โรคไต ตับอักเสบเบาหวาน กระดูกเสื่อม			หัวใจวาย ความดันสูง โคเลสเตอรอลสูง หลอดเลือดสมอง เบาหวาน ผ่าตัดหัวใจ โรคหัวใจแต่กำเนิด เสียชีวิตก่อนวัย อาการป่วยอื่นๆ			เจ็บแน่นหน้าอก หายใจติดขัด ใจสั่น หัวใจเต้นผิดจังหวะ มีอาการไอเมื่อมีการเคลื่อนไหวร่างกาย ไอเป็นเลือด เวียนศีรษะ ปวดศีรษะบ่อย ปวดหลัง มีปัญหากระดูก		

การแพ้ยา ☐ ไม่มี ☐ แพ้ โปรดระบุ.....

ตรวจวัดระดับโคเลสเตอรอล ☐ ไม่เคย ☐ เคย ค่าที่ได้.....วันที่ตรวจ.....

คุณเคยใช้ยาหรือไม่ ☐ ไม่เคย ☐ เคย โปรดระบุ

ยาที่ใช้..... สาเหตุที่ใช้.....ระยะเวลาที่ใช้.....

ยาที่ใช้..... สาเหตุที่ใช้..... ระยะเวลาที่ใช้.....

ยาที่ใช้.....สาเหตุที่ใช้.....ระยะเวลาที่ใช้.....

ปัจจุบันคุณสูบบุหรี่ ☐ ไม่สูบ ☐ สูบ ประมาณ.....มวน/วัน

☐ เคยสูบ สูบมานาน.....ปี แต่เลิกมาแล้ว.....ปี

ดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ☐ ไม่ดื่ม ☐ ดื่ม ระบุชนิด..... ประมาณ.....แก้ว/สัปดาห์

ดื่มเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน ☐ ไม่ดื่ม ☐ ดื่ม ระบุชนิด..... ประมาณ.....แก้ว/สัปดาห์

ที่มา : ดรุณวรรณ สุขสม. (2561). *การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ* (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาคผนวก ช

แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย สำหรับบุคคลทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 15 – 69 ปี

(Physical activity Readiness Questionnaire; PAR–Q)

การตอบคำถามในแบบประเมินจะช่วยบอกว่าท่านสมควรเข้ารับการตรวจร่างกายจากแพทย์ก่อนที่ท่านจะเริ่มต้นการฝึกออกำลังกายระดับหนักหรือไม่

โปรดอ่านอย่างละเอียดและตอบคำถามเหล่านี้ตามความเป็นจริงว่า ใช่ หรือ ไม่ใช่ ในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา

ใช่	ไม่ใช่	
☐	☐	1. แพทย์ที่ตรวจรักษาท่าน เคยบอกหรือไม่ว่า ท่านมีความผิดปกติของหัวใจ และควรออกกำลังกายภายใต้คำแนะนำของแพทย์เท่านั้น
☐	☐	2. ท่านมีความรู้สึกเจ็บปวดหรือแน่นบริเวณหน้าอก ขณะที่ท่านออกกำลังกายหรือไม่ ?
☐	☐	3. ในช่วงเดือนที่ผ่านมา ท่านเคยมีอาการเจ็บแน่นหน้าอก ในขณะที่อยู่เฉย ๆ โดยไม่ได้ออกกำลังกายหรือไม่ ?
☐	☐	4. ท่านเคยเสียการทรงตัว (ยืนหรือเดินเซ) เนื่องมาจากอาการวิงเวียนศีรษะหรือไม่? หรือท่านเคยหมดสติหรือไม่ ?
☐	☐	5. ท่านมีปัญหาที่กระดูกหรือข้อต่อ ที่อาการอาจกำเริบเนื่องจากการออกกำลังกายหรือไม่ ?
☐	☐	6. ท่านเคยได้รับการสั่งยารักษาโรคความดันโลหิตสูง หรือความผิดปกติของหัวใจหรือไม่ ?
☐	☐	7. ท่านทราบถึงเหตุผลอื่น ที่ท่านไม่ควรเพิ่มการฝึกออกกำลังกายของท่าน หรือไม่ ?

ถ้าท่านเลือก “ใช่” ในข้อใดข้อหนึ่ง หรือมากกว่า

ท่านควรปรึกษาแพทย์เกี่ยวกับแบบสอบถามในข้อที่ตอบว่า “ใช่”

ท่านยังคงสามารถออกกำลังกายได้ตามที่ท่านต้องการโดยให้เริ่มออกกำลังกายได้อย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ หรือท่านอาจจะกำหนดการฝึกออกกำลังกายที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับตนเอง โดยขอคำแนะนำจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชนิดของกิจกรรมที่ท่านสามารถทำได้

ถ้าท่านเลือก “ไม่ใช่” ในการตอบคำถามทั้งหมด

ท่านแน่ใจได้เลยว่า ท่านสามารถเริ่มการฝึกออกกำลังกายได้ตามที่ท่านต้องการ

- ท่านเริ่มออกกำลังกายได้โดยเริ่มจากการทำช้า ๆ และทำอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นวิธีที่ปลอดภัยและง่ายที่สุด
- ถ้าท่านรู้สึกไม่สบายเนื่องจากการเจ็บป่วยเล็กน้อย เช่น เป็นไข้หวัด ท่านควรจะพักจนกว่าท่านจะรู้สึกดีขึ้น และหายจากอาการเจ็บป่วยนั้น ๆ ก่อน ที่จะกลับมาฝึกออกกำลังกายอีกครั้ง

ข้าพเจ้าได้อ่านได้ทำความเข้าใจและกรอกแบบประเมินความพร้อมก่อนการฝึกออกกำลังกายทุกคำถาม

ด้วยความเต็มใจ

ลงชื่อ..... ผู้เข้าร่วมวิจัย วันที่...../...../.....

(.....)

ลงชื่อ.....ผู้ทำการวิจัย วันที่...../...../.....

(.....)

ที่มา : American College of Sports Medicine. (2014). ACSM’s Guidelines for exercise testing and prescription (9th ed.). *Philadelphia*, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ซ

การทดสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย (Exercise stress test) และ การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max)

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการประเมินและทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแบบเป็นขั้น (Graded incremental test) ด้วยการปั่นจักรยานและใส่เครื่องวัดอัตราการหายใจ (Gas analyzer) ผู้เข้าร่วมวิจัยเรียนรู้มาตรวัดการรับรู้ความเหนื่อย (Borg's RPE scale) ก่อนการทดสอบ

การทดสอบกระทำโดยการปั่นจักรยานเริ่มด้วยความหนัก 70 วัตต์ และจะเพิ่มความหนัก 35 วัตต์ทุก ๆ 1 นาที ในการทดสอบนี้จะคงความเร็วของการทดสอบที่ 85 – 90 รอบต่อนาที ปฏิบัติเต็มความสามารถจนกว่าไม่ไหว (Exhaustion) แสดงอาการถึงจุดอ่อนล้าหรืออาการอื่น ๆ ที่แสดงว่าถึงขีดสุดของความสามารถในการออกกำลังกายแล้ว เช่น หอบเหนื่อยมาก หายใจแรงมาก เป็นต้น ผู้วิจัยบันทึกอัตราการเต้นหัวใจ และประเมินความเหนื่อยเมื่อออกกำลังกายทุกขั้นการออกกำลังกาย

รูปที่ 126 การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. จักรยานวัดงาน (CYCLUS2 Ergometer, RBM Electronics, Leipzig, Germany)
2. จักรยานของผู้เข้าร่วมวิจัย
3. เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพล่าร์ รุ่นเฮช 10 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® H10; Kempele, Finland)

4. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแม๊กซ์ รุ่นเอนคอร์ 29 ประเทศสหรัฐอเมริกา (Statonary gas analyzer: Vmax Encore 29 system, yorba Linda, CA, USA)

5. อิเล็กโทรด ยี่ห้อสกินแท็ค รุ่นเอฟเอส 50 ประเทศ (Stress Test & Holter ECG electrodes, Skin tact FS–50, 0 Innsbruck, Austria)

6. เครื่องมือวัดการรับรู้ความเหนื่อย (Borg's RPE scale)

7. น้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์ ยี่ห้อยูโมเนียม ประเทศเบลเยียม (UMONIUM38 Instruments, Huckert's international, Nivelles, Belgium)

8. วัสดุทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคบริเวณผิวหนัง เช่น มีดโกน สครัปขัดผิว สำลีและแอลกอฮอล์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องวัดอัตราการหายใจ และขึ้นนั่งเตรียมพร้อมบนจักรยาน โดยนั่งพักเป็นเวลา 3 นาที พร้อมเริ่มบันทึกค่าด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจ

2. อบอุ่นร่างกาย 3 นาที ไม่ใส่น้ำหนัก

3. เริ่มต้นการทดสอบขั้นที่ 1 โดยการปั่นจักรยานด้วยความหนัก 70 วัตต์ โดยในระหว่างขั้นการทดสอบ ทำการบันทึกอัตราการเต้นหัวใจ และประเมินการรับรู้ความเหนื่อย ที่ 15 วินาทีก่อนเปลี่ยนขั้น หลังจากนั้นเมื่อปั่นจนครบ 1 นาที ทำการเปลี่ยนขั้นความหนักการออกกำลังกาย

4. การทดสอบขั้นที่ 2 เพิ่มความหนัก 35 วัตต์ ปั่นจนครบ 1 นาที โดยในระหว่างขั้นการทดสอบ ทำการบันทึกอัตราการเต้นหัวใจ และประเมินการรับรู้ความเหนื่อย ที่ 15 วินาทีก่อนเปลี่ยนขั้น หลังจากนั้นเมื่อปั่นจนครบ 1 นาที ทำการเปลี่ยนขั้นความหนักการออกกำลังกาย

5. ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ และทำการหยุดการทดสอบเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยปฏิบัติต่อไปไม่ไหว โดยจะบอกด้วยวาจาหรือแสดงด้วยอาการที่แสดงว่าถึงขีดสุดของความสามารถในการออกกำลังกายแล้ว เช่น หอบเหนื่อยมาก หายใจแรงมาก เป็นต้น หรือแสดงจากความสามารถในการออกแรงปั่นหรือการปั่นจักรยานลดลง และไม่สามารถคงความเร็วที่ 70 รอบต่อนาที ยาวนานเกิน 10 วินาทีได้ อีกทั้งพิจารณาค่า VO_2max เป็นไปตามเกณฑ์แล้ว

6. คลายอุ่น 5 นาที จึงเสร็จสิ้นการทดสอบ

ขั้นตอนการทำความสะอาดหน้ากากที่ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

หน้ากากที่ใช้ในการทดสอบจะถูกทำความสะอาดและทำลายเชื้อ ซึ่งเป็นขั้นตอนปกติของหลักปฏิบัติเพื่อสุขอนามัยของผู้มารับบริการจากห้องปฏิบัติการฯ ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการทดสอบแต่ละครั้ง จะเปลี่ยนหน้ากากที่ใช้ในการทดสอบใหม่ทุกครั้ง และภายหลังจากการใช้งานจะนำหน้ากากไปทำความสะอาด ดังนี้

1. ผู้วิจัยสวมถุงมือก่อนล้างหน้ากากขจัดสิ่งปนเปื้อนออกก่อนนำไปเข้ากระบวนการแช่น้ำยาฆ่าเชื้อโรค

2. นำหน้ากากแช่ในน้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์ ยี่ห้อยูโมเนียม ประเทศเบลเยียม (UMONIUM38 Instruments, Huckert's international, Nivelles, Belgium) เป็นสารเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนประกอบหลักทางเคมี คือ Isopropyl–tridecyl–dimethyl–ammonium 32 กรัม ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นหลักในการสังเคราะห์สารได้เป็นอนุพันธ์ใหม่ เรียกว่า Umonium ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษหรืออันตรายกรณีสัมผัสผิวหนัง สามารถฆ่าเชื้อมัยโคแบคทีเรีย เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อไวรัส การใช้งานโดยนำมาผสมกับน้ำให้ได้ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำยา 25 มิลลิลิตร กับน้ำ 1 ลิตร) แช่เครื่องมือเป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที ล้างออกด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง

3. นำหน้ากากมาล้างด้วยน้ำปราศจากเชื้อ เพื่อกำจัดคราบสารเคมีของน้ำยาทำลายเชื้อจนหมดคราบและกลิ่นของสารเคมี

4. นำหน้ากากที่ผ่านกระบวนการทำลายเชื้อเรียบร้อยแล้ว มาทำให้แห้ง โดยการเป่าด้วยลมร้อนแล้วนำหน้ากากนั้นใส่ในถุงพลาสติกที่สะอาด เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อน

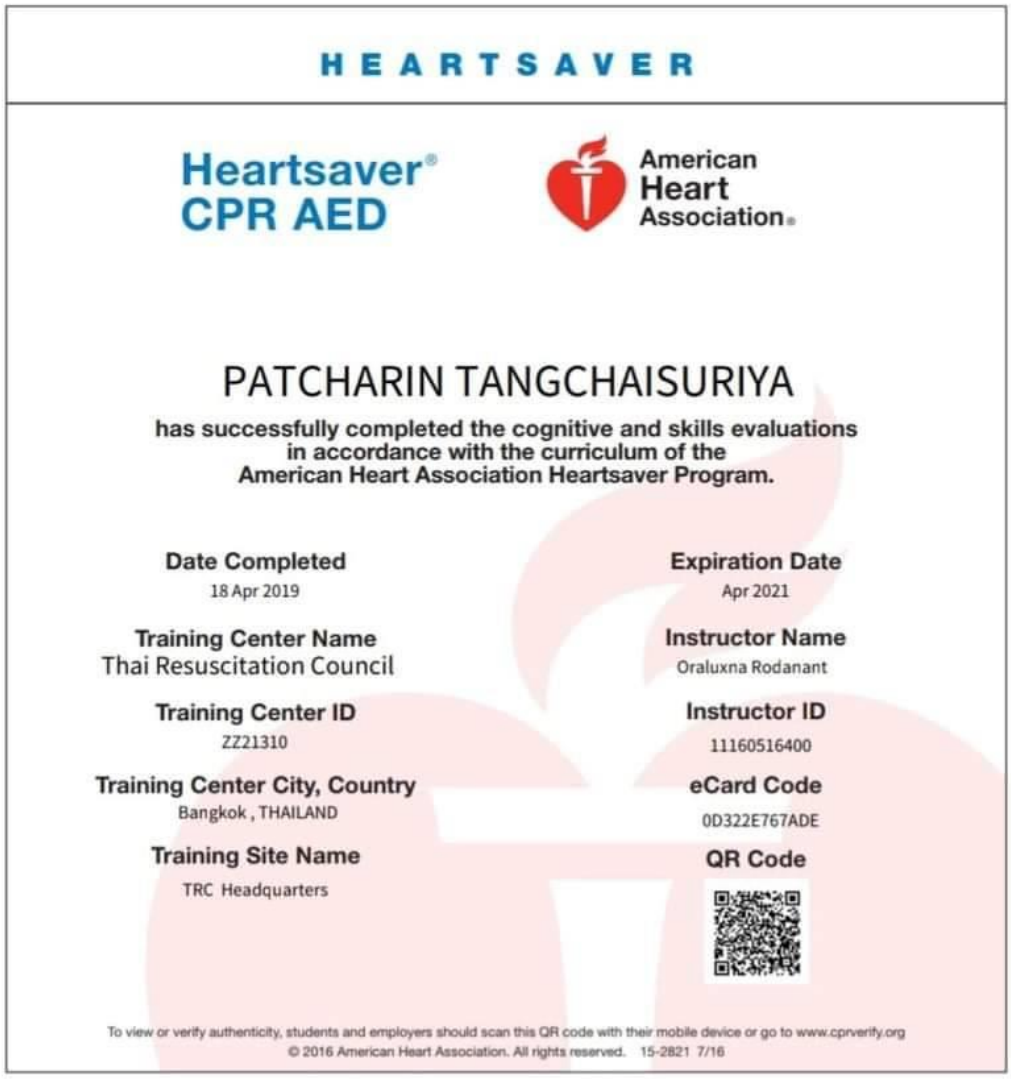
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา : Peiffer, J. J., Abbiss, C. R., Chapman, D., Laursen, P. B., & Parker, D. L. (2008). Physiological characteristics of masters–level cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(5), 1434–1440.

ภาคผนวก ฌ

ใบรับรองผ่านการอบรมและสอบผ่านการช่วยชีวิตขั้นพื้นฐาน

และเครื่องกระตุกไฟฟ้าหัวใจอัตโนมัติ



HEARTSAVER

Heartsaver® CPR AED

American Heart Association.

PATCHARIN TANGCHAISURIYA

has successfully completed the cognitive and skills evaluations in accordance with the curriculum of the American Heart Association Heartsaver Program.

Date Completed
18 Apr 2019

Expiration Date
Apr 2021

Training Center Name
Thai Resuscitation Council

Instructor Name
Oraluxna Rodanant

Training Center ID
ZZ21310

Instructor ID
11160516400

Training Center City, Country
Bangkok , THAILAND

eCard Code
0D322E767ADE

Training Site Name
TRC Headquarters

QR Code

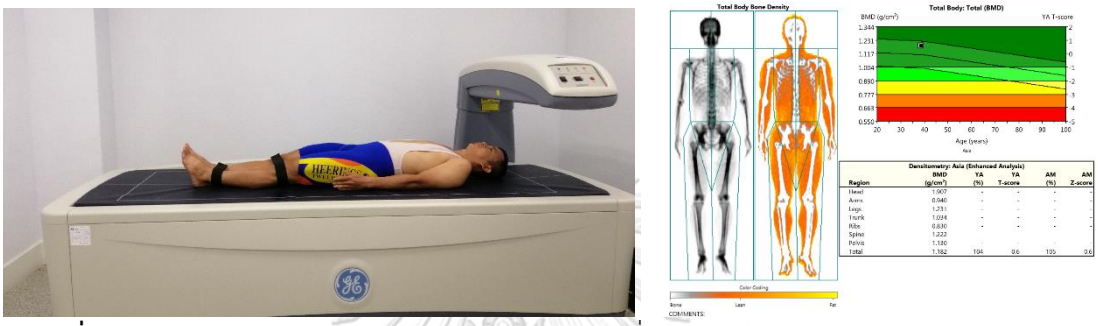
To view or verify authenticity, students and employers should scan this QR code with their mobile device or go to www.cprverify.org

© 2016 American Heart Association. All rights reserved. 15-2821 7/16

รูปที่ 127 ใบรับรองผ่านการอบรมและสอบผ่านการช่วยชีวิตขั้นพื้นฐาน
และเครื่องกระตุกไฟฟ้าหัวใจอัตโนมัติ

ภาคผนวก ญ
การทดสอบองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Dual–energy X–ray absorptiometry; DEXA) (GE Healthcare, Madison, WI, USA) เป็นวิธีมาตรฐานในการตรวจวัดมวลไขมันและกล้ามเนื้อในร่างกายด้วยรังสีเอ็กซ์ และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม LUNAR Bone Densitometry Software



รูปที่ 128 การทดสอบองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (DEXA)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Dual–energy X–ray absorptiometry; DEXA) ยี่ห้อจีอี เฮลท์แคร์ รุ่นโพรไดจี ประเทศสหรัฐอเมริกา (GE Healthcare Lunar, Madison, WI, USA)

ขั้นตอนการทดสอบ (อภิชญา คล้ายมนต์, 2558)

1. การเตรียมตัวก่อนการทดสอบ: ผู้เข้าร่วมวิจัยงดอาหารมาในคืนก่อนตรวจ เพื่อให้การตรวจมี Reproducibility สูง (ซึ่งผู้เข้าร่วมวิจัยมีการเตรียมร่างกายมาพร้อมกับขั้นตอนเจาะเลือดแล้ว การทดสอบนี้จะทดสอบภายหลังจากการเจาะเลือดเรียบร้อยแล้ว)

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยถอดนาฬิกา เครื่องประดับที่เป็นโลหะ รวมถึงโทรศัพท์ ออกจากร่างกายก่อนการตรวจ และทำการปัสสาวะก่อนการตรวจ

3. ชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงก่อนการตรวจทุกครั้ง

4. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนแท่นวัด โดยจัดท่าให้นอนนิ่ง ใบหน้ามองตรง คางอยู่ในมุมปกติ จัดให้วางฝ่ามือเข้าหาร่างกายและแยกห่างจากบริเวณลำตัวเล็กน้อย แขนจัดให้อยู่ในแนวตรงหรืออาจงอศอกได้เล็กน้อย และปล่อยเท้าในท่าปกติ

5. ถ่ายภาพเพื่อการวิเคราะห์ผล

ที่มา : อภิชญา คล้ายมนต์. (2015). การตรวจหามวลไขมัน, กล้ามเนื้อ และกระดูก ด้วยวิธี Dual Energy X–ray Absoptionmetry. *รังสีวิทยาศิริราช*, ปีที่ 2(1), 1–12.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฎ
การทดสอบกำลังสูงสุด (Peak power output)

กำลังสูงสุด (Peak power output; PPO) ประเมินจากค่ากำลังงานสูงสุด (Highest workload) มีหน่วยเป็นวัตต์ ได้จากอุปกรณ์จักรยานวัดความสามารถขณะทำการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ด้วยวิธี Graded incremental exercise test ปฏิบัติเต็มความสามารถจนกระทั่งไม่ไหว การคำนวณกำลังสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการ (Sargeant, Hoinville, & Young, 1981)

$$\textbf{PPO} = Power_{final} + \left(\frac{t\ (s)}{\text{Step duration}} \times \text{Step increment}\right)$$

เมื่อ PPO คือ กำลังสูงสุดขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (วัตต์)

$POWER_{final}$ คือ กำลังงานสูงสุดในขั้นสุดท้าย (วัตต์)

t (s) คือ เวลาของการควบคุมกำลังงานสุดท้าย (วินาที)

Step duration คือ เวลาของช่วงการเพิ่มกำลังงานแต่ละช่วง (วินาที)

Step increment คือ กำลังงานที่เพิ่มขึ้นแต่ละช่วงการทดสอบ (วัตต์)

การคำนวณความหนักของการฝึกออกกำลังกาย (Intensity)

การคำนวณกำลังสูงสุด มีหน่วยเป็นวัตต์ แปลงเป็นความหนักแรงต้านของจักรยานโมนาร์กเมื่อ 1 กิโลปอนด์ (หน่วยของจักรยานโมนาร์ก) เมื่อปั่นด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที มีค่ากำลัง (Power) เท่ากับ 90 วัตต์ ดังนั้น ความหนักของการฝึกออกกำลังกาย = เปอร์เซ็นต์ของความหนักที่ต้องการ x กำลังสูงสุดที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ตัวอย่าง การคำนวณความหนักของการฝึกออกกำลังกาย

ถ้ากำลังสูงสุดที่ได้จากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 350 วัตต์ หากต้องการความหนักของการออกกำลังกายที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ดังนั้น จึงได้ค่าความหนักของการฝึกออกกำลังกาย คือ (80/100) x 350 = 280 วัตต์

เมื่อนำไปกำหนดใช้ในการฝึกออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานด้วยจักรยานโมนาร์ก โดยใช้ความเร็ว 90 รอบต่อนาที (จากหลักการให้แรงต้านในจักรยานโมน์ก 1 กิโลปอนด์ เมื่อปั่นด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที มีค่ากำลังเท่ากับ 90 วัตต์) ดังนั้น หากต้องการให้ปั่นจักรยานโมนาร์ก ที่ 280 วัตต์ ด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที จะต้องใช้แรงต้าน 280/90 = 3.1 กิโลปอนด์

ที่มา : Sargeant, A. J., Hoinville, E., & Young, A. (1981). Maximum leg force and power output during short–term dynamic exercise. *Journal of applied physiology,* 51(5), 1175–1182.

ภาคผนวก ฏ
การทดสอบการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics)

การวัดการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics) ในขณะพักและการออกกำลังกาย โดยวิธีการทางอ้อมที่วัดจากภายนอกร่างกาย เป็นการวิเคราะห์สัญญานความต้านทานทางไฟฟ้าของทรวงอก (Thoracic Electrical Bioimpedance) วัดตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output; CO) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (Stroke volume; SV) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference; a–v O_2 diff)

การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เป็นการใช้เครื่องมือตรวจหัวใจเพื่อคัดกรองความผิดปกติหัวใจเบื้องต้น การตรวจนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้เข้ารับการตรวจ ขณะตรวจผู้เข้ารับการตรวจจะได้รับการติดขั้วไฟฟ้าตามตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย โดยทำการทดสอบร่วมกับขณะออกกำลังกายจนถึงขีดความสามารถสูงสุด หลังจากนั้นเครื่องจะประมวลผลเป็นกราฟคลื่นหัวใจ เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจผู้วิจัยจะนำขั้วไฟฟ้าออก

รูปที่ 129 การทดสอบการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamics)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวัดสภาวะของระบบการไหลเวียนโลหิต (Impedance cardiograph device) ด้วยเครื่องมือยี่ห้อฟิสิโอโฟล์ว รุ่น พีเอฟ 07 เอนดูโร่ ประเทศสหรัฐอเมริกา (PF07 EnduroTM Physioflow®, USA)

2. อิเล็กโทรด ยี่ห้อสกินแท็ค รุ่นเอฟเอส 50 ประเทศออสเตรีย (Stress Test & Holter ECG electrodes, Skin tact FS–50, Innsbruck, Austria)

2. วัสดุทำความสะอาดบริเวณผิวหนัง เช่น มีดโกน สครับขัดผิว สำลีและแอลกอฮอล์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ผู้ตรวจอธิบายขั้นตอนการเตรียมตัวก่อนและขณะตรวจ โดยเก็บอุปกรณ์โลหะ หรือโทรศัพท์มือถือออกห่างจากตัวผู้ได้รับการทดสอบ

2. ใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์เช็ดผิวหนังบริเวณที่จะติด Lead (ใช้เป็นสื่อ) ในการตรวจ

3. ติด Lead ตามตำแหน่งของร่างกาย จำนวน 6 จุด ได้แก่ 2 ตำแหน่งที่คอด้านซ้ายเหนือ supraclavicular fossa (Z1 และ Z2) 2 ตำแหน่งที่หน้าอก ด้านขวาช่องซี่โครงที่ 4 ข้างsternum (ECG1) และหน้าอกด้านซ้ายแนวกึ่งกลางรักแร้ลงมาที่ระหว่างช่องซี่โครงที่ 5 (ECG2) และ 2 ตำแหน่งที่ด้านหลังในแนว xiphisternum (Z3 และ Z4+EKG3/neutral)

4. เริ่มการทดสอบ และบันทึกผล

5. นำ Lead ออกจากร่างกาย

ที่มา : Tan, K. H., Lai, F. O., & Hwang, N. C. (2006). Measurement of cardiac output using Physio Flow with different positions of electrode placement. *Singapore Med J*, 47(11), 967–970.

ภาคผนวก ฐ
การทดสอบความหนาของผนังหลอดเลือด (Carotid Intima–Media Thickness; Carotid IMT)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบความหนาของผนังหลอดเลือด (IMT) โดยการวัดความหนาของผนังหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common Carotid Artery) ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์

รูปที่ 130 ความหนาของผนังหลอดเลือด (IMT)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องอัลตร้าซาวน์ ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นแอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ (L12–5 Transducer, Phillips)
2. โปรแกรม QLAB (QLAB 13, Phillips Healthcare, Philips, Andover, MA, USA)
3. วัสดุทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคบริเวณผิวหนัง ได้แก่ สำลีและแอลกอฮอล์

รูปที่ 131 การทดสอบความหนาของผนังหลอดเลือด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย เอียงศีรษะไปทางซ้าย 45 องศา
2. ทำการอัลตราซาวน์หลอดเลือดแดงของลำคอด้านขวา เพื่อวัดความหนาที่ผนังหลอดเลือดแดงที่คอชั้นในด้านไกล (Far wall, Intima–media thickness)
3. ภายหลังการทดสอบ นำภาพที่ได้เข้าโปรแกรม QLAB (QLAB 13, Phillips Healthcare, Philips, Andover, MA, USA) คำนวณหาความหนาของผนังหลอดเลือด

ที่มา : Molinari, F., Zeng, G., & Suri, J. S. (2010). A state of the art review on intima–media thickness (IMT) measurement and wall segmentation techniques for carotid ultrasound. *Computer methods and programs in biomedicine*, 100(3), 201–221.

ภาคผนวก ฑ

ความแข็งของหลอดเลือดแดง (Arterial stiffness)

การวัดความแข็งของหลอดเลือดแดง เป็นการวัดความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า เพื่อตรวจวัดความยืดหยุ่นของเส้นเลือดแดง หรือการแข็งตัวของหลอดเลือด

การวิจัยครั้งนี้วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non–invasive vascular screening device) เป็นการวัดเวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด (Brachial–ankle time delay) ที่หลอดเลือดบริเวณต้นแขน (Brachial artery) และหลอดเลือดบริเวณข้อเท้า (Posterior tibial artery) เครื่องจะทำการวัดความยาวจากจุดที่วัดทั้งสองจุด คำนวณค่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial–ankle pulse wave velocity: baPWV)

รูปที่ 132 การทดสอบความแข็งของหลอดเลือดแดง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด ยี่ห้อ Omron รุ่นคอลลิน วีพี 1000 พลัส ประเทศญี่ปุ่น (Collin VP–1000 plus, Omron, Ukyo–ku, Kyoto, Japan)
2. วัสดุทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคบริเวณผิวหนัง ได้แก่ สำลีและแอลกอฮอล์

ขั้นตอนการทดสอบ

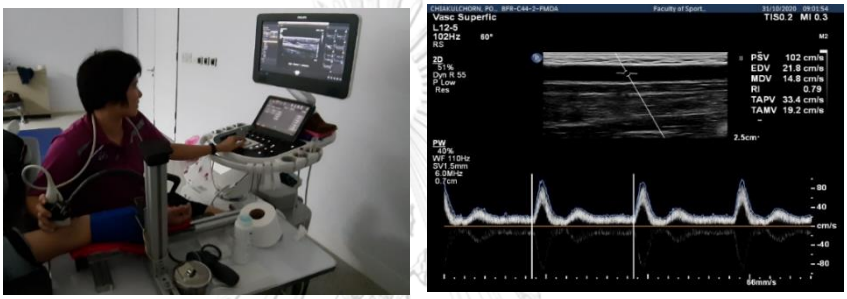
1. ก่อนเริ่มการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนราบบนเตียง พัก 5 – 10 นาที จึงเริ่มการทดสอบ
2. เปิดเครื่องและทำการกรอกข้อมูลผู้เข้าร่วมวิจัย
3. ติดตั้งสายรัดวัดความดันของเครื่องมือ (Cuff) ในบริเวณต้นแขนและเหนือข้อเท้าทั้งข้างซ้ายและขวา
4. ทำความสะอาดผิวหนังบริเวณเหนือข้อมือทั้งสองข้างและหน้าอกด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นติดตั้ง Sensor ECG และ PCG
5. เมื่อสัญญาณ ECG และ PCG ปกติ จึงเริ่มวัดค่า

ภาคผนวก ฒ

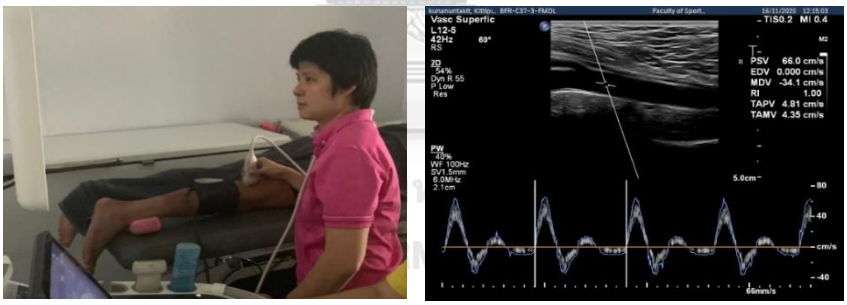
การทดสอบการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน

(Flow mediate dilatation; FMD)

การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนเพื่อประเมินการตอบสนองของหลอดเลือด (Vascular reactive) ทดสอบโดยการใช้เครื่องอัลตราซาวน์วัดการไหลของเลือดที่บริเวณแขน (Brachial artery) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ได้รับการฝึกโดยตรง (non–trained limbs) และขา (Popliteal artery) ซึ่งเป็นส่วนที่ได้รับการฝึกโดยตรง (Trained limbs) การทำงานของหลอดเลือดประเมินจากความสามารถในการขยายตัวของหลอดเลือดภายหลังจากการถูกปิดกั้น (Flow mediate dilatation; FMD)



รูปที่ 133 การทดสอบการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ของหลอดเลือดบริเวณแขน (Brachial artery)



รูปที่ 134 การทดสอบการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ของหลอดเลือดบริเวณขา (Popliteal artery)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องอัลตร้าซาวน์ ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นแอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ (L12–5 Transducer, Phillips)

2. เครื่องวัดความดันโลหิตชนิดมือถือ (Hand–held sphygmonanometer) ยี่ห้อดีอี โฮเกนสัน รุ่นดีเอส 400 ประเทศสหรัฐอเมริกา (DS400, D.E. Hokanson, USA)

3. วัสดุทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคบริเวณผิวหนัง ได้แก่ สำลีและแอลกอฮอล์

ขั้นตอนการทดสอบสำหรับการทดสอบ FMD ที่แขน (Brachial artery)

ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15 – 20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่าง วางโพรบ (Probe) เพื่อทำการอัลตราซาวน์หลอดเลือดแดงบริเวณเหนือข้อพับแขนด้านหน้า (Brachial artery) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพักเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตเหนือความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว 50 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะถูกปิดกั้น จากนั้นคลายแรงดันจากการบีบของเครื่องวัดความดันโลหิตออกจนหมด จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้น

ขั้นตอนการทดสอบสำหรับการทดสอบ FMD ที่ขา (Popliteal artery)

ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนคว่ำ ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณน่อง วางโพรบ (Probe) เพื่อทำการอัลตราซาวน์หลอดเลือดแดงบริเวณข้อพับเข่าด้านหลัง (Popliteal artery) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพักเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตประมาณ 250 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะถูกปิดกั้น จากนั้นคลายแรงดันจากการบีบของเครื่องวัดความดันโลหิตออกจนหมด จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้น

การประเมินค่าการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนโลหิต (Endothelium–dependent dilation) คำนวณจากสูตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\%FMD = \frac{D2 - D1}{D1} \times 100$$

เมื่อ FMD คือ การขยายตัวของหลอดเลือดหลังการปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)

D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดขณะพัก (มิลลิเมตร)

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด (มิลลิเมตร)

ที่มา : Ratcliffe, B., Pawlak, R., Morales, F., Harrison, C., & Gurovich, A. N. (2017). Internal validation of an automated system for brachial and femoral flow mediated dilation. *Clinical hypertension*, 23(1), 1–6.

ภาคผนวก ณ

อัตราการไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง (Cutaneous blood flow)

การวัดอัตราการไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง โดยใช้เครื่องมือ Laser Doppler Flowmetry วัดที่บริเวณหลังนิ้วมือและเท้า ทำการวัดผลของความเร็วและความเข้มข้นเฉลี่ยของเม็ดเลือดแดงในปริมาณเนื้อเยื่อตัวอย่าง (Flux) ขณะพัก ขณะถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะการไหลของเลือดสูงสุดหลังเปิดการปิดกั้น และขณะการไหลของเลือดกลับสู่สภาวะปกติหลังเปิดการปิดกั้น และทำการวัดเวลาของอัตราการไหลสูงสุดและเวลาที่ใช้กลับสู่สภาวะพัก

รูปที่ 135 การทดสอบอัตราการไหลเวียนโลหิตของเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบการไหลเวียนของโลหิตชั้นผิวหนังด้วยวิธีโพสออกคลูชีฟ รีแอคทีฟไฮเปอรีเมีย (Post occlusive reactive hyperemia; PORH) โดยติดโพรบ (Probe) บริเวณข้อมือข้อเท้า ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพัก 5 นาที นำเครื่องวัดความดันพันรัดเหนือต้นแขนและน่อง ที่ความดันเหนือความดันโลหิตของผู้เข้าร่วมการทดลองประมาณ 50 มิลลิเมตรปรอทของความดันโลหิตของแต่ละบุคคล บีบค้างไว้ 3 นาที บันทึกค่าโดยตลอด ต่อมาคลายแรงดันเป็น 0 มิลลิเมตรปรอท และบันทึกค่าต่อนาน 5 นาที การวัดการไหลของเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (PORH) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{PORH} = \frac{\text{PORHpeak} - \text{Mean baseline perfusion flux}}{\text{Mean baseline perfusion flux}} \times 100$$

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องวัดอัตราการไหลของเลือดชั้นผิวหนัง ยี่ห้อเพอริเมด เอบี (Perimed AB) ประเทศสวีเดน (Laser Doppler flowmeter, Perimed AB, Sweden) และโพรบรหัส 457 (PROBE 457 Thermostatic Small–Angled Probe, Perimed AB, Sweden)

2. เครื่องวัดความดันโลหิตชนิดมือถือ (Hand–held sphygmonanometer) ยี่ห้อดีอี โฮเกนสัน รุ่นดีเอส 400 ประเทศสหรัฐอเมริกา (DS400, D.E. Hokanson, USA)

3. วัสดุทำความสะอาดผิวหนัง ได้แก่ สำลีและแอลกอฮอล์

ที่มา : Tee, G. B. Y., Rasool, A. H. G., Halim, A. S., & Rahman, A. R. A. (2004). Dependence of human forearm skin postocclusive reactive hyperemia on occlusion time. *Journal of pharmacological and toxicological methods*, 50(1), 73–78.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ด

การทดสอบโครงสร้างของกล้ามเนื้อ (Muscle structure)

1. การทดสอบเส้นรอบวงของต้นขา (Thigh circumference)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบเส้นรอบวงของต้นขา เพื่อประเมินโครงสร้างภายนอกของต้นขา โดยวิธีการวัดเส้นรอบวงของต้นขา โดยใช้สายวัด ยี่ห้อเมต้า ประเทศไทย ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ยืด (non–elastic measuring tape) ในการวัด

รูปที่ 136 การทดสอบเส้นรอบวงของต้นขา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. สายวัดใยแก้ว ยี่ห้อเมต้า ประเทศไทย
2. ปากกาทำเครื่องหมาย

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนในท่ายืนตรง (Standing position) ปล่อยขาตามสบาย และใช้เทปวัดความยาวของต้นขาด้านถนัด โดยวัดระยะระหว่างตำแหน่งของสันกระดูกด้านบนของเชิงกราน (Anterior superior iliac spine; ASIS) กับขอบด้านบนของกระดูกสะบ้า (Superior border of patella) มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

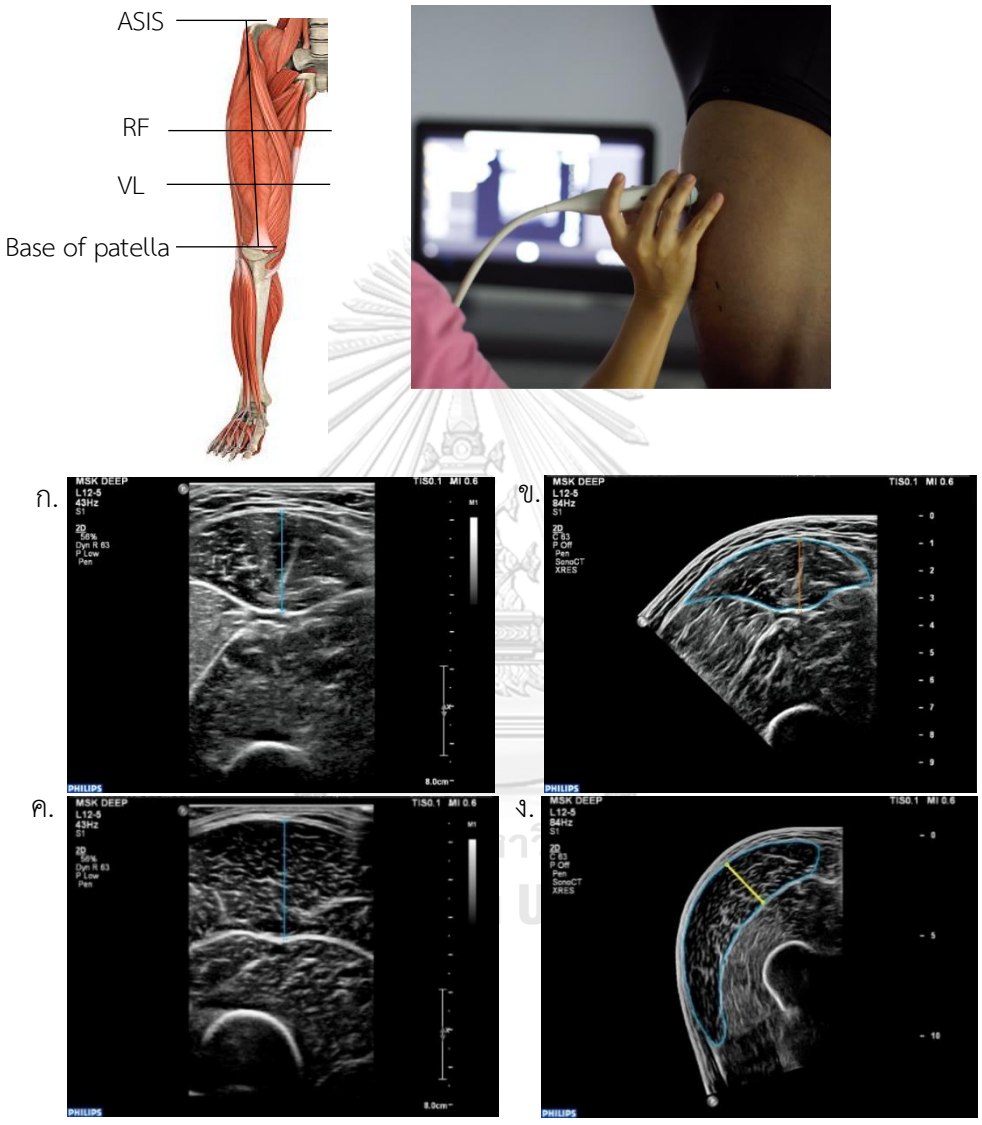
2. วัดเส้นวงตำแหน่งกึ่งกลางของต้นขา (Mid–Thigh circumference) โดยใช้เทปวัดเส้นรอบวงบริเวณจุดกึ่งกลางของขาในแนวขวาง (Horizontal) มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

4. วัดเส้นวงตำแหน่งจุดกึ่งกลางระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของต้นขากับขอบด้านบนของกระดูกสะบ้า โดยใช้เทปวัดเส้นวงบริเวณจุดกึ่งกลางของขาในแนวขวาง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. การวัดขนาดความหนาและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบความหนาของกล้ามเนื้อ เพื่อประเมินโครงสร้างของกล้ามเนื้อต้นขา (Thigh muscle structure) โดยใช้สายวัดและเครื่องอัลตร้าซาวน์ประเมินความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) และพื้นที่หน้าตัด (Cross sectional area; CSA)



รูปที่ 137 การทดสอบขนาดความหนาและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ

ก. การวิเคราะห์ความหนาของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris)

ข. การวิเคราะห์พื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอริส (Rectus femoris)

ค. การวิเคราะห์ความหนาของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis)

ง. การวิเคราะห์พื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound device) ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA)

2. หัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น แอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (L12–5 Transducer, Phillips Healthcare, Andover, MA, USA)

3. โปรแกรม QLAB เวอร์ชั่น 13 ประเทศสหรัฐอเมริกา (QLAB 13, Phillips Healthcare, Philips, Andover, MA, USA)

4. ปากกาทำเครื่องหมาย

5. วัสดุทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคบริเวณผิวหนัง ได้แก่ สำลีและแอลกอฮอล์

6. เจลสำหรับอัลตร้าซาวน์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนในท่ายืนตรง (Standing position) ปล่อยขาตามสบาย และใช้เทปวัดความยาวของต้นขาด้านถนัด โดยวัดระยะระหว่างตำแหน่งของสันกระดูกด้านบนของเชิงกราน (Anterior superior iliac spine; ASIS) กับขอบด้านบนของกระดูกสะบ้า (Superior border of patella) มีหน่วยเป็น เซนติเมตร

2. วัดตำแหน่งกึ่งกลางของต้นขาโดยวัดระยะระหว่างตำแหน่ง ASIS กับขอบด้านบนของกระดูกสะบ้า เพื่อใช้วัดโครงสร้างกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอลิส (Rectus femoris; RF) และตำแหน่งจุดกึ่งกลางระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของต้นขากับขอบด้านบนของกระดูกสะบ้า เพื่อใช้วัดโครงสร้างกล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอรัลลิส (Vastus lateralis; VL) โดยใช้ปากกาทำเครื่องหมายไว้

3. ทำการวัดโครงสร้างกล้ามเนื้อ RF และ VL โดยใช้หัวโพรบของเครื่องอัลตราซาวน์ตรวจวัดแนวระนาบภาคตัดขวาง (Transverse plane)

4. นำภาพที่ได้วิเคราะห์ขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ (CSA) มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร และความหนาของกล้ามเนื้อ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยใช้โปรแกรม QLAB เวอร์ชั่น 13 (QLAB 13, Phillips Healthcare, Philips, Andover, MA, USA)

ที่มา : Lee, H.–J., Lee, K.–W., Lee, Y.–W., & Kim, H.–J. (2018). Correlation between Cycling Power and Muscle Thickness in Cyclists. *Clinical Anatomy*, 31(6), 899–906.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ต
การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength)

การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในท่านั่งเตะขา (Leg extension–flexion) ด้วยเครื่องวัดแรงไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer) เพื่อประเมินสมรรถภาพทางกล้ามเนื้อด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา

การทดสอบ Isokinetic maximum voluntary contraction 3 ครั้ง (MVC3) ในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) โดยกำหนดมุมของเข่าเต็มช่วงการเคลื่อนไหวตามแต่ละบุคคล ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเตะขาเต็มความสามารถ 3 ครั้งต่อเนื่อง ด้วยความเร็วที่กำหนด 60 องศาต่อวินาที

รูปที่ 138 การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Isokinetic dynamometer: Biodex, System 4 Pro, Biodex Medical Systems Inc, Shirley, NY, USA)

2. โปรแกรมการวิเคราะห์ผล (Window–base Biodex Advantage software)

ขั้นตอนการทดสอบ

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยขึ้นนั่งบนเก้าอี้ทดสอบ โดยจัดและปรับอุปกรณ์ในท่านั่งที่มีความงอของสะโพก (Hip flexion) 85 ° และจุดหมุนของข้อเข่า (ตำแหน่ง Condyle ด้านข้างของกระดูกต้นขา) อยู่ในแนวเดียวกับจุดหมุนของแกนอุปกรณ์ แขนถูกวางไว้ที่ด้านข้างของลำตัวลำตัวถูกปรับให้มั่นคงกับพนักพิง ใช้สายรัดยึดต้นขาที่ถูกทดสอบกับเก้าอี้ทดสอบ กำหนดท่านั่งเดิมทุกครั้งที่มีการทดสอบ

2) ก่อนการทดสอบทำการกำหนดช่วงหยุดการเคลื่อนไหว (ROM stop) ประเมินจากความสามารถในการเหยียด (Extension) และการงอ (Flexion) ของข้อเข่า (Knee joint) เต็มช่วงการเคลื่อนไหว (Full range of motion) ตามแต่ละบุคคล ทำการบันทึกค่าการกำหนดช่วงการเคลื่อนไหว

3) อบอุ่นร่างกาย (Warm–up) และสร้างความคุ้นเคยในการทดสอบ (Familiarization) ก่อนการทดสอบ โดยการออกแรงเตะขาไปกับเครื่องประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของการออกแรงเต็มที่ ที่ความเร็ว 180 องศาต่อวินาที จำนวน 10 ครั้ง หลังจากนั้นพัก 2 นาที

4) ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาโดยออกแรงเตะเต็มที่ ด้วยความเร็ว 60 องศาต่อวินาที จำนวน 3 ครั้ง

5) ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

ที่มา : Mota, J. A., Stock, M. S., Carrillo, E. C., Olinghouse, K. D., Drusch, A. S., & Thompson, B. J. (2015). Influence of Hamstring Fatigue on the Estimated Percentage of Fast–Twitch Muscle Fibers for the Vastus Lateralis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*(12), 3509–3516.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ถ
การทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance)

การทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อขาในท่านั่งเตะขา (Leg extension–flexion) ด้วยเครื่องวัดแรงไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer) เพื่อประเมินสมรรถภาพทางกล้ามเนื้อด้านความอดทนของกล้ามเนื้อต้นขา (Leg muscle endurance)

การทดสอบ Isokinetic maximum voluntary contraction 50 ครั้ง (MVC50) ในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) โดยกำหนดมุมของเข่าเต็มช่วงการเคลื่อนไหวตามแต่ละบุคคล ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเตะขาเต็มความสามารถ 50 ครั้งต่อเนื่อง ด้วยความเร็วที่กำหนด 180 องศาต่อวินาที

รูปที่ 139 การทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Isokinetic dynamometer: Biodex, System 4 Pro, Biodex Medical Systems Inc, Shirley, NY, USA)
2. โปรแกรมการวิเคราะห์ผล (Window–base Biodex Advantage software)

ขั้นตอนการทดสอบ

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยขึ้นนั่งบนเก้าอี้ทดสอบ โดยจัดและปรับอุปกรณ์ในท่านั่งที่มีความงอของสะโพก (Hip flexion) 85 องศา และจุดหมุนของข้อเข่า (ตำแหน่ง condyle ด้านข้างของกระดูกต้นขา) อยู่ในแนวเดียวกับจุดหมุนของแกนอุปกรณ์ แขนถูกวางไว้ที่ด้านข้างของลำตัวลำตัวถูกปรับให้มั่นคงกับพนักพิง ใช้สายรัดยึดต้นขาที่ถูกทดสอบกับเก้าอี้ทดสอบ กำหนดท่านั่งเดิมทุกครั้งที่มีการทดสอบ

2) ก่อนการทดสอบทำการกำหนดช่วงหยุดการเคลื่อนไหว (Range of motion; ROM) ประเมินจากความสามารถในการเหยียด (Extension) และการงอ (Flexion) ของข้อเข่า (Knee joint) เต็มช่วงการเคลื่อนไหว (Full ROM) ตามแต่ละบุคคล ทำการบันทึกค่าการกำหนดช่วงการเคลื่อนไหว

3) ทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อโดยการออกแรงเต็มที่ที่ความเร็ว 180 องศาต่อวินาที จำนวน 50 ครั้ง

4) ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

ที่มา : Mota, J. A., Stock, M. S., Carrillo, E. C., Olinghouse, K. D., Drusch, A. S., & Thompson, B. J. (2015). Influence of Hamstring Fatigue on the Estimated Percentage of Fast–Twitch Muscle Fibers for the Vastus Lateralis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*(12), 3509–3516.

: Stone, M. S., Glenn, J. M., Vincenzo, J. L., & Gray, M. (2018). Comparison of Exercise Performance in Recreationally Active and Masters Athlete Women. *Journal of strength and conditioning research*, 32(2), 565–571.

ภาคผนวก ท
การทดสอบระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation)

การวิจัยครั้งนี้ทดสอบระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) เป็นเทคนิคการวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อทางอ้อม (Noninvasive technique) โดยใช้อุปกรณ์เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near–infrared spectroscopy; NIRS) ยี่ห้อโปรเตมอน ประเทศเนเธอร์แลนด์ (PortaMon, Artinis Medical Systems, Elst, Netherlands) โดยใช้ NIRS probe ขนาด 83x52x20 มิลลิเมตร น้ำหนัก 84 กรัม ปล่อยความยาวคลื่นช่วง 760 – 850 นาโนเมตร ซึ่งสามารถทดสอบทั้งในขณะพักและออกกำลังกาย โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อกับโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ด้วยระบบบูลธูซ (Bluetooth™) ความถี่ 10 เมกะเฮิร์ต

การทดสอบระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ทำระหว่างการทดสอบความสามารถในการออกกำลังกายแบบขั้น (Graded incremental exercise test)

รูปที่ 140 การทดสอบระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. อุปกรณ์เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near–infrared spectroscopy; NIRS) ยี่ห้อโปรเตมอน ประเทศเนเธอร์แลนด์ (PortaMon, Artinis Medical Systems, Elst, Netherlands)

2. คอมพิวเตอร์และโปรแกรมวิเคราะห์ผล

3. วัสดุทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคบริเวณผิวหนัง เช่น มีดโกน สครับขัดผิว สำลีและแอลกอฮอล์

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำความสะอาดผิวหนัง (Clean) ด้วยแอลกอฮอล์ โกนขน (Shave) บริเวณที่จะทำการติดอุปกรณ์ NIRS

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนในท่ายืนตรงเท้าทั้งสองข้างขนาน ชิดกันหรือแยกออกจากกันเล็กน้อย (Anatomical position) และทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่กล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทรัลลิช (Vastus lateralis)

3. บันทึกค่าพื้นฐานก่อนการทดสอบ 3 นาที และบันทึกค่าตลอดช่วงเวลาการทดสอบ

การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มต้นจากการทำข้อมูลให้ราบรื่น (Smoothing data) โดยคำนวณค่าเฉลี่ยที่ 3 วินาที (Moving aerage) จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงขณะพักก่อนเริ่มการทดสอบ (Baseline) 15 วินาที และช่วง 15 วินาทีของการออกกำลังกายสูงสุด (Final) มีหน่วยเป็นไมโครโมล (μM) ใช้การปรับเทียบค่ากับค่าพื้นฐาน (Physiological calibration) โดยเทียบกับค่าขณะพัก (Resting baseline) แสดงค่าเป็นค่าเดลต้า (Delta; Δ) ตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์มีดังนี้ (Grassi et al., 2016)

1. ค่าความแตกต่างของระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (Tissue saturation index; TSI) ได้แก่ ΔTSI

2. ค่าความแตกต่างของระดับฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน หรือความเข้มข้นของออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Oxyhemoglobin; O_2Hb) ได้แก่ ΔO_2Hb

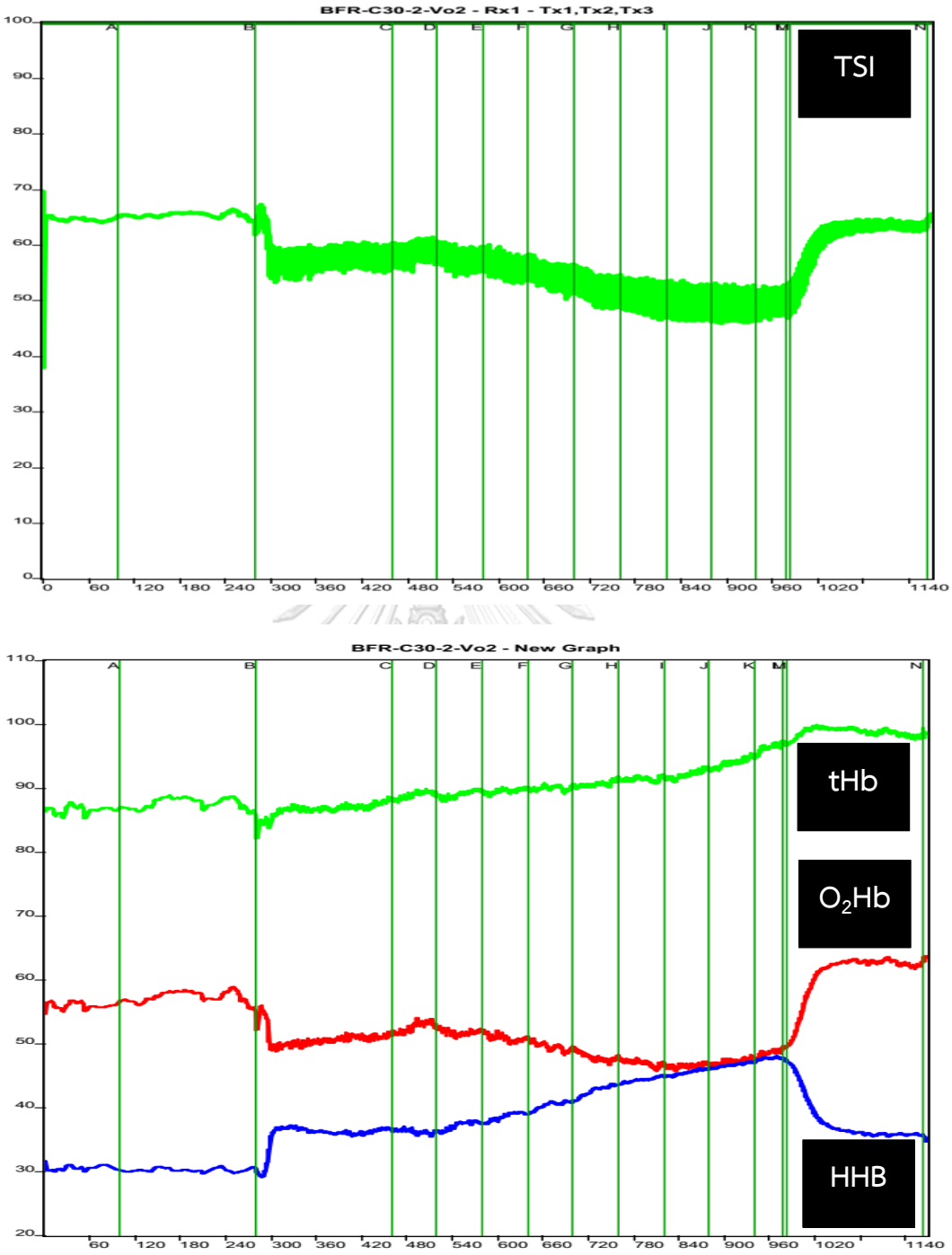
3. ค่าความแตกต่างของระดับฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (Deoxyhemoglobin; HHb) ได้แก่ ΔHHb

4. ค่าความแตกต่างของผลรวมของออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Total–hemoglobin; tHb) ได้แก่ ΔHHb

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา : McManus, C., Collison, J., & Cooper, C. (2018). Performance comparison of the MOXY and PortaMon near–infrared spectroscopy muscle oximeters at rest and during exercise. *Journal of Biomedical Optics*, *23*(1), 015007.

: Grassi, B., & Quaresima, V. (2016). Near–infrared spectroscopy and skeletal muscle oxidative function in vivo in health and disease: a review from an exercise physiology perspective. *J Biomed Opt*, *21*(9), 091313.



รูปที่ 141 กราฟข้อมูลของการทดสอบระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation)

ภาคผนวก ธ
การทดสอบเวลาของความทนต่อการเมื่อยล้า (Time to fatigue)

การทดสอบเวลาของความทนต่อการเมื่อยล้า โดยการทดสอบปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด (Time to fatigue at 150% PPO; TF150) ก่อนและหลังการฝึก หากเวลาของทดสอบเพิ่มขึ้น จะบ่งบอกถึงความทนต่อการเมื่อยล้าที่เพิ่มขึ้น หรือเกิดความเมื่อยล้าที่ลดลง

รูปที่ 142 การทดสอบเวลาของความทนต่อการเมื่อยล้า (TF150)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. จักรยานและโปรแกรมการทดสอบ ยี่ห้อไซคลัส 2 ประเทศเยอรมนี (CYCLUS2 Ergometer, RBM Electronics, Leipzig, Germany)
2. จักรยานของผู้เข้าร่วมวิจัย
3. เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพล่าร์ รุ่นเฮช 10 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® H10; Kempele, Finland)

ขั้นตอนการทดสอบ

1. พัก 15 นาที ภายหลังการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max test)
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยสวมใส่เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจ และนั่งพักบนจักรยาน 2 นาที
3. เริ่มการทดสอบโดยการปั่นจักรยานในท่านั่งตลอดการทดสอบ ที่ความหนัก 2 วัตต์ต่อน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ระยะเวลา 150 วินาที ด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. เพิ่มความเร็วการปั่นจักรยานเป็น 120 รอบต่อนาที และทำการเพิ่มระดับความหนักเป็น 150 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด ประเมินจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

5. หยุดการทดสอบและบันทึกเวลา เมื่อผู้ร่วมทดสอบไม่สามารถควบคุมความเร็วของการปั่นได้มากกว่า 60 รอบต่อนาที

ที่มา : Laursen, P., Ahern, S., Herzig, P., Shing, C., & Jenkins, D. (2003). Physiological responses to repeated bouts of highintensity ultraendurance cycling—a field study case report. *Journal of science and medicine in sport*, 6(2), 176–186.

: Keramidas, M. E., Kounalakis, S. N., & Geladas, N. D. (2012). The effect of interval training combined with thigh cuffs pressure on maximal and submaximal exercise performance. *Clinical physiology and functional imaging*, 32(3), 205–213.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก น

การทดสอบความสามารถทางกีฬาจักรยานและการทดสอบความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด

ผู้ร่วมวิจัยจะได้รับการทดสอบการปั่นจักรยานแบบจับเวลาที่ระยะทาง 40 กิโลเมตร (TT40) แบบจำลองในห้องปฏิบัติการ (Simulated time–trial performance) โดยผู้เข้าร่วมวิจัยปฏิบัติเต็มความสามารถตลอดระยะเวลาการทดสอบ และประเมินความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ระหว่างการทดสอบ TT40 จากการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้ว ประเมินที่ระยะทางทุก ๆ 10 กิโลเมตร ได้แก่ ระยะทาง 0, 20 และ 40 กิโลเมตร และประเมินภายหลังการทดสอบที่เวลา 5 และ 10 นาที

ก.

ข.

รูปที่ 143 การทดสอบความสามารถทางกีฬาจักรยาน (TT40)
ก. การปั่นจักรยานแบบจับเวลาที่ระยะทาง 40 กิโลเมตร (TT40)
ข. การทดสอบความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. จักรยานและโปรแกรมการทดสอบ ยี่ห้อไซคลัส 2 ประเทศเยอรมนี (CYCLUS2 Ergometer, RBM Electronics, Leipzig, Germany)

2. จักรยานของผู้เข้าร่วมวิจัย

3. เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพล่าร์ รุ่นเฮช 10 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® H10; Kempele, Finland)

4. เครื่องวิเคราะห์แลคเตท (Lactate Analyzer) ยี่ห้ออนาลอกซ์ รุ่น พี–แอลเอ็ม 5 (P–LM 5) ประเทศอังกฤษ (LM5, Analox Instruments Ltd., London, UK)

5. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างเลือด ได้แก่ หลอดคะปิลลารี (Capillary tube) สำหรับเก็บตัวอย่างเลือด เข็มเจาะเลือดชนิดใช้ครั้งเดียว แอลกอฮอล์สำหรับฆ่าเชื้อ สำลี ถุงมือยาง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยสวมใส่เครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจ
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการอุ่นร่างกายด้วยวิธีการมาตรฐาน 10 นาที ดังนี้
    2.1) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 25 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 6 นาที
    2.2) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที
    2.3) ปั่นจักรยานที่ความหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุด 2 นาที
3. ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 5 นาที
4. เริ่มการทดสอบโดยการปั่นจักรยานด้วยความสามารถสูงสุด ระยะทาง 40 กิโลเมตร ระหว่างทำการทดสอบมีการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้ว ที่ระยะทาง 0, 20 และ 40 กิโลเมตร และเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้ว ภายหลังการทดลองเวลา 5 และ 10 นาที
5. ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการคลายอุ่นร่างกาย 10 นาที

วิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นแลคเตทในเลือด ดังนี้

1. กดเปิดการทำงานของเครื่องและปรับตั้งค่าเริ่มต้นการทำงานของเครื่อง (Calibrate)
2. ใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์ เช็ดทำความสะอาดบริเวณปลายนิ้วที่จะเจาะเลือดของมือข้างที่ไม่ถนัดทุกครั้งที่ทำการเก็บข้อมูล
3. นำเข็มเจาะเลือดชนิดใช้ครั้งเดียวเจาะเลือดจากปลายนิ้ว และทำการบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 3 – 5 ไมโครลิตร)
4. นำหลอดคาพิลลารี (Capillary tube) เก็บตัวอย่างเลือดโดยรับเลือดจากปลายนิ้ว
5. ใช้อุปกรณ์ดูดเลือดออกจากหลอดคะปิลลารี แล้วนำไปหยดลงในเครื่องวิเคราะห์แลคเตท
6. เครื่องจะเริ่มการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด โดยใช้เวลาประมาณ 15 วินาที จะได้ค่าความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

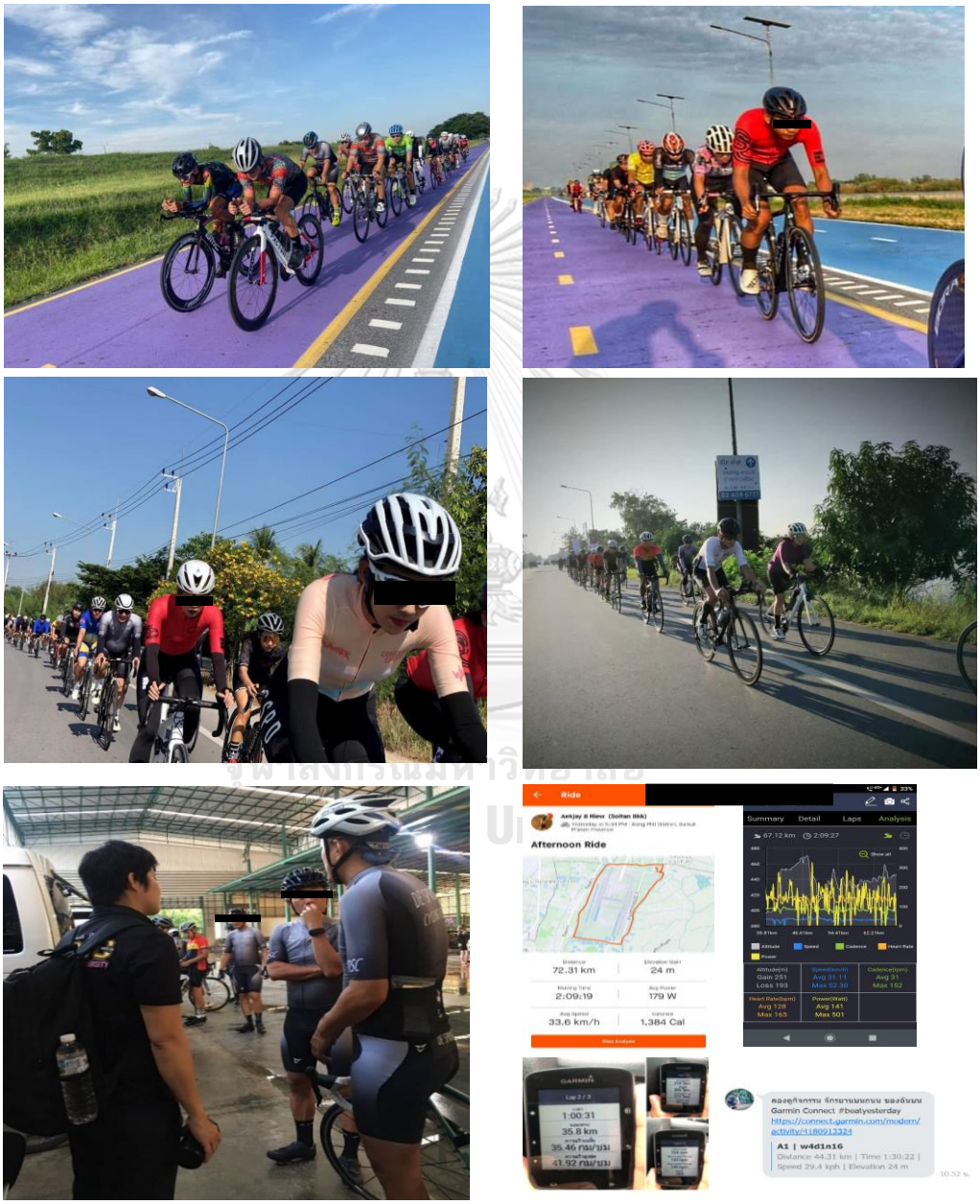
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา : Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 65(1), 79–83.

ภาคผนวก บ

การฝึกแบบปกติ (Usual training; UST)

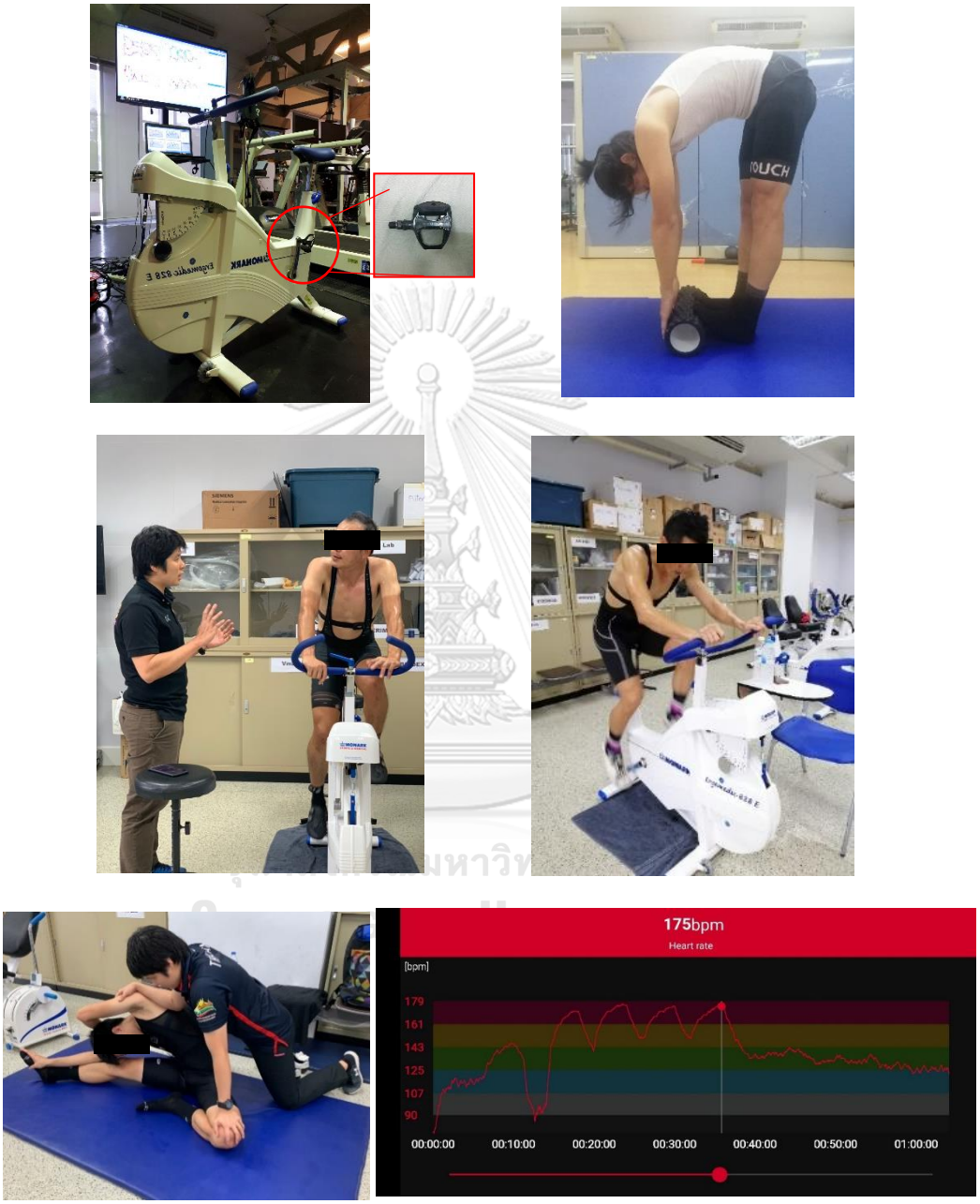
การฝึกปั่นจักรยานรูปแบบการฝึกแบบปกติแต่ได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมการวิจัย



รูปที่ 144 ภาพประกอบการฝึกซ้อมของกลุ่มการฝึกแบบปกติ (UST)

ภาคผนวก ป

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High–intensity interval training; HIIT)



รูปที่ 145 ภาพประกอบการฝึกซ้อมรูปแบบการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (HIIT)

ภาคผนวก ผ

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

(High–intensity interval training combined with blood flow restriction; HIIT+BFR)

รูปที่ 146 ภาพประกอบการฝึกซ้อมรูปแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT+BFR)

ภาคผนวก ฝ
การทดสอบค่าความดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิต
(Arterial occlusion pressure; AOP)

ผู้วิจัยประเมินค่าความดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิต โดยทำการวัดความดันโลหิตของหลอดเลือดแดงขณะถูกปิดกั้น (Arterial occlusion pressure; AOP) ให้กับผู้เข้าร่วมวิจัย โดยใช้แถบสายรัด (Cuff) ที่เป็นอุปกรณ์ในการฝึกพันบริเวณต้นขา และทำการวัดแรงดันที่ใช้ปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตอย่างสมบูรณ์ของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล (Popliteal artery) คิดเป็น 100%AOP บันทึกค่าความดันที่วัดได้

รูปที่ 147 การทดสอบค่าความดันที่ใช้ในการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่อเครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound device) ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น EPIQ5 ประเทศสหรัฐอเมริกา (EPIQ5, Philips Healthcare, Andover, MA, USA) และหัวตรวจยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นแอล 12–5 ทรานซ์สดิวซ์เซอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (L12–5 Transducer, Phillips Healthcare, Andover, MA, USA)

2. เครื่องวัดความดันโลหิตชนิดมือถือ (Hand–held sphygmonanometer) ยี่ห้อเอ็มดีเอฟ รุ่น Iconica ประเทศสหรัฐอเมริกา (Iconica, MDF® Instruments, Germany)

3. ชุดอุปกรณ์สายรัดจำกัดการไหลเวียนโลหิตประยุกต์โดยสายรัดชนิดถุงลม (Pneumatic cuff) ขนาดความกว้าง 11 เซนติเมตร ความยาว 124 เซนติเมตร (SC10 Tourniquet Cuffs, D. E. Hokanson, Inc. Belleve, WA, USA) ต่อเข้ากับเครื่องวัดความดันโลหิตชนิดมือถือ

4. วัสดุทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคบริเวณผิวหนัง เช่น สำลีและแอลกอฮอล์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการติดตั้งสายรัดบริเวณต้นขาด้านถนัด

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนในท่า Anatomical position

3. เริ่มการทดสอบโดยใช้หัวตรวจและเครื่องอัลตร้าซาวน์ ประเมินการไหลเวียนโลหิตของหลอดเลือดแดงพอพลิเตียล หลังจากนั้นเริ่มทำการบีบแรงดันเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 30 วินาที

4. บันทึกค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

5. นำค่าความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก (100% AOP) คำนวณเป็นค่าความดันในการปิดกั้นที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันการปิดกั้นหลอดโลหิตแดงอย่างสมบูรณ์ในขณะพัก เพื่อใช้เป็นความดันในการจำกัดการไหลเวียนโลหิตขณะทำการฝึกออกกำลังกาย

ที่มา : Corvino, R. B., Rossiter, H. B., Loch, T., Martins, J. C., & Caputo, F. (2017). Physiological responses to interval endurance exercise at different levels of blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol*, 117(1) , 39– 52. https://doi.org/10.1007/s00421–016–3497–5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก พ
แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

โครงการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสมรรถภาพทางแอโรบิก ความทนต่อการเมื่อล้าและความสามารถทางกีฬา ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์

การทดสอบ ☐ Pre-Test ☐ Post-Test

วัน/เดือน/ปี(ค.ศ.).....

ประสบการณ์การแข่งขัน.....ปี

ผู้บันทึก.....

วันที่ทำการทดสอบ

Day1.....

Day2.....

Day3.....

☐ เก็บตัวอย่างเลือด

1. ข้อมูลทางสีรวิทยาทั่วไป (ก่อนการทดสอบ – นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที)

ตัวแปร	ผลการทดสอบ	หมายเหตุ
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)		
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)		
อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)		
ส่วนสูง (เซนติเมตร)		
น้ำหนัก (กิโลกรัม)		

☐ **การวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย** (Dual-energy X-ray absorptionmetry; DEXA)

ข้อสังเกต.....

.....

.....

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 6 มิ.ค. 2563
วันหมดอายุ - 5 มิ.ค. 2564

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

2. การทดสอบโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

☐ IMT .....

ข้อสังเกต.....

.....

☐ FMD แขน (Brachial artery) : VDO 20s

แขน	Baseline	Occlusion 0-5 min	Deflated 5-6 min	After deflated		
				7	8	9
เวลา	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VDO1						
VDO2						
PW1-F						
PW2-F						
ภาพนิ่ง						

*mark VDO ที่มีค่า TAPV ที่สูงที่สุดไว้ด้วย

ข้อสังเกต.....

☐ FMD ขา (Popliteal artery)

ขา	Baseline	Occlusion 0-5 min	Deflated 5-6 min	After deflated		
				7	8	9
เวลา	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VDO1						
VDO2						
PW1-F						
PW2-F						
ภาพนิ่ง						

*mark VDO ที่มีค่า TAPV ที่สูงที่สุดไว้ด้วย

ข้อสังเกต.....

เลขที่โครงการวิจัย 024.1 62
วันที่รับรอง - 6 มิ.ค. 2563
วันหมดอายุ - 5 มิ.ค. 2564

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

☐ Vascular Stiffness

BP : ..... HR : .....

ตัวแปร	ขวา	ซ้าย
baPWV		
ABI		

ข้อสังเกต.....

☐ Laser droppler

PORH Analysis	Hand Finger PU Baseline	Foot Finger PU Baseline .....
RF - Rest flow		
PF – Peak flow		
TL – Time to latency		
TR – Time to recovery		
TM – Time to max		
AO – Occlusion area (Unit*sec)		
AH – Hyperaemia area (Unit*sec)		
AH/AO – Hyperaemia repacement		

ข้อสังเกต .....

☐ Arterial occlusion pressure at rest (AOP)

TAMV = ... cm/s

Diameter = ... mm

100% AOP = ... mm.Hg

➡ 30% AOP = ... mm.Hg

ข้อสังเกต.....

เลขที่โครงการวิจัย 074.1/62
วันที่รับรอง - 6 มิ.ค. 2563
วันหมดอายุ - 5 มิ.ค. 2564

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

3. การทดสอบโครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ

☐ วัดเส้นรอบวงของต้นขา (Thigh circumference) โดยใช้สายวัด

ตำแหน่งการวัด	ผลการทดสอบ ขาถนัด.....	ข้อสังเกต
Mid-thigh : ASIS to sup. Border patella		
Mid-point : Between RF to sup. Border patella		
2/3 distal : Between RF to sup. Border patella		

☐ อัลตร้าซาวน์ความหนาแน่นของกล้ามเนื้อต้นขา (Muscle thickness)

ตำแหน่งการวัด ขาถนัด.....	การทดสอบ		
	Panoramic1	Transverse1	Saggital1
Anterior : Mid-thigh (RF+VI)	Fig.....	Fig.....	Fig.....
VL : Between RF to sup. Border patella	Fig.....	Fig.....	Fig.....
VM : 2/3 distal between RF to sup. Border patella	Fig.....	Fig.....	Fig.....

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 6 มิ.ค. 2563
วันหมดอายุ - 5 มิ.ค. 2564

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

☐ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ Isokinetic : Knee extension/flexion

Chair Settings	Left	Right
1. Dynamometer Height		
2. Dynamometer foot pedals		
3. Chair foot pedals		
4. Seat height		
5. Seatback Fore/Aft		
6. Seat Tilt	85°	85°
7. Attachment Length		

Isokinetic ขาข้างถนัด.....	☐ ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ (3MVC : 60°/s)		☐ ความทนทานกล้ามเนื้อ (50MVC : 180°/s)	
	Extension	Flexion	Extension	Flexion
Peak TQ (NM)				
AVG Peak TQ (NM)				
Peak TQ/BW (%)				
AVG Power (WATT)				
Total Work (J)				
3 First Work (J)				
3 First Work (J)				
Work fatigue (%)				
AGON/ANTAG Ratio (%)				

ชุดที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง - 6 มิ.ค. 2563
วันหมดอายุ - 5 มิ.ค. 2564

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

4. การทดสอบสมรรถภาพทางแอโรบิก

การตั้งค่าจักรยาน ☑ ความสูงของอาน..... ☑ ความยาวเบาะ.....

เครื่องมือ	Baseline (5 Min)	Warm-Up (3 Min)	Ex.	Rest1 (3 Min)	Rest2 (12 Min)	TF150
☐ Gas analyzer						
☐ PhysioFlow						
☐ NIRS						
☐ CYCLUS						

☐ การทดสอบปั่นจักรยานแบบขั้น (Graded incremental exercise test)

Step	Incremental	Watt	Minute	RPE	L-RPE	HR	Time
B		-	3				
W	0	0	3				
1	70	70	0 (3-4) 1				
2	+35w	105	1 (4-5) 2				
3	+35w	140	2 (5-6) 3				
4	+35w	175	3 (6-7) 4				
5	+35w	210	4 (7-8) 5				
6	+35w	245	5 (8-9) 6				
7	+35w	280	6 (9-10) 7				
8	+35w	315	7 (10-1) 8				
9	+35w	350	8 (11-2) 9				
10	+35w	385	9 (12-3) 10				
11	+35w	420	10 (13-4) 11				
12	+35w	455	11 (14-5) 12				
13	+35w	490	12 (15-6) 13				
14	+35w	525	13 (16-7) 14				

**หยุดการทดสอบเมื่อผู้รับการทดสอบไม่สามารถควบคุมความเร็วของการปั่นจักรยานไว้ได้ ≥60 รอบต่อนาที เป็นเวลามากกว่า 5 วินาที และให้บันทึกเวลาที่ทำได้ของการทดสอบใน step สุดท้าย

Export ไฟล์จักรยานเลขที่.....

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง 6 มี.ค. 2563
วันหมดอายุ 5 มี.ค. 2564

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

☐ การทดสอบการไหลเวียนโลหิต (PhysioFlow)

ข้อสังเกต.....

☐ การทดสอบออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (NIRS)

ความหนาไขมันใต้ผิวหนัง (Skinfold caliper) ..... มิลลิเมตร

ข้อสังเกต.....

☐ การทดสอบเวลาของการเกิดความเมื่อยล้า (Time to fatigue 150% Ppeak; TF150)

น้ำหนักตัว ..... กิโลกรัม; ความหนัก 2 วัตต์ต่อน้ำหนักตัว ..... วัตต์

Ppeak.....วัตต์; ความหนัก 150 %Ppeak ..... วัตต์

**หยุดการทดสอบเมื่อผู้รับการทดสอบไม่สามารถควบคุมความเร็วของการปั่นจักรยานไว้ได้ ≥60 รอบต่อนาที และบันทึกเวลาที่ทำได้

ข้อสังเกต.....

เวลา ..... วินาที

Export ไฟล์จักรยานเลขที่.....

เครื่องมือ	ตัวแปร	ผลการทดสอบ			
		Baseline	VT1	VT2	Max.
Gas analyzer	VO_2				
	HR (bpm)				
PhysioFlow	CO				
	SV				
	a-v O_2diff				
NIRS	TSI				
	O_2HB				
	HHb				
CYCLUS	Power (W)				
	150% Ppeak				

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง 6 มิ.ค. 2563
วันหมดอายุ 5 มิ.ค. 2564

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

5. การทดสอบความสามารถทางกีฬาจักรยาน

☐ 40-km Time trial

ตัวแปร	During exercise					After exercise (min)	
	0K	10K	20K	30K	40K	5	10
Blood lactate							
RPE							
Leg discomfort							

เวลา .....ชั่วโมง:นาที:วินาที

ไฟล์จักรยานเลขที่ .....

เลขที่โครงการวิจัย 024.1/62
วันที่รับรอง 6 มิ.ค. 2563
วันหมดอายุ 5 มิ.ค. 2564

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวพัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา
วัน เดือน ปี เกิด	25 มิถุนายน พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดแพร่
วุฒิการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาระดับมหาบัณฑิต วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล ระหว่างการศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอน - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา (เกียรตินิยม อันดับ 1) วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่ปัจจุบัน	117 หมู่ 2 ตำบลเวียงต้า อำเภอลอง จังหวัดแพร่ 54150
รางวัลที่ได้รับ	ระหว่างการศึกษาระดับดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย - ได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาเฉพาะค่าเล่าเรียนประเภท 60/40 ระหว่างปีการศึกษา 2559 – 2561 - ได้รับทุนผู้ช่วยสอนบางเวลา ระหว่างปีการศึกษา 2562 – 2563 - ได้รับทุนวิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา - ได้รับทุนวิจัย 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย - ได้รับรางวัลนิสิตดีเด่น ระดับบัณฑิตศึกษา จุฬาลกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University