ผลของการฝึกสปรินท์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สารเคมีในเลือด และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน

น.ส.วดี พราหมณ์กระโทก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF SPRINT TRAINING UNDER NORMOBARIC HYPOXIC CONDITION ON PHYSIOLOGICAL AND BLOOD CHEMICAL CHANGES AND REPEATED SPRINT ABILITY IN RUGBY SEVENS

Miss Wadee Pramkratok

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 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการฝึกสปรินท์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สารเคมีในเลือด และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน
โดย	น.ส.วดี พราหมณ์กระโทก
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวันท์ มนิมนากร

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวันท์ มนิมนากร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.คนางค์ ศรีหิรัญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ พันตรี ดร.รุ่งชัย ชวนไชยะกูล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วดี พราหมณ์กระโทก : ผลของการฝึกสปรินท์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สารเคมีในเลือด และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน. (EFFECTS OF SPRINT TRAINING UNDER NORMOBARIC HYPOXIC CONDITION ON PHYSIOLOGICAL AND BLOOD CHEMICAL CHANGES AND REPEATED SPRINT ABILITY IN RUGBY SEVENS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.ทศพร ยิ้มคมัย, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวันท์ มนิมนากร

งานวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 การศึกษา การศึกษาที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_IO_2=14.5%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน ตัวแทนทีมชาติไทย เพศชาย จำนวน 7 คน มีอายุระหว่าง 18-33 ปี ทำการทดสอบการตอบสนองของสารชีวเคมีในเลือด ได้แก่ ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hb) ปริมาณฮีมาโทคริต (Hct) และระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเซรั่มขณะพัก และตัวแปรทางสรีรวิทยาและปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ได้แก่ปริมาณฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) ปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) ปริมาณฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน (tHb) และดัชนีการใช้ออกซิเจน (TSI) ในกล้ามเนื้อ Vastus lateralis ขณะออกกำลังกายสูงสุดบนลู่กล ในห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic room, F_IO_2=14.5%) เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ผลการวิจัยพบว่า การสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_IO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณฮีโมโกลบิน และระดับโปรตีน HIF-1α ในเซรั่ม เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 ในขณะที่ระดับโปรตีน VEGF ในเซรั่ม ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการสัมผัสอากาศ (F_IO_2=20.9%) และพบว่า ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (SaO_2) สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) การระบายอากาศสูงสุด (VEmax) อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HRmax) และเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรง (Time to exhaustion) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ระดับรับรู้ความเหนื่อย (RPE) และความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือดไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (O_2Hb) ก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการสัมผัสอากาศ

ในการศึกษาที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา ระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเซรั่ม ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_IO_2 14.5%) โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน ตัวแทนทีมชาติไทย เพศชาย อายุระหว่าง 18-33 ปี จำนวน 14 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 7 คน ได้แก่ กลุ่มทดลองทำการฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_IO_2=14.5%) ขณะที่กลุ่มควบคุมทำการฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (F_IO_2=20.9%) ร่วมกับโปรแกรมฝึกซ้อมปกติ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โปรแกรมการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำประกอบด้วยการวิ่งบนลู่วิ่งกลด้วยความเร็วที่ 140% ของความเร็วที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVO_2peak) ความชัน 6% จำนวน 3 เซ็ท ในแต่ละเซ็ททำการสปรินท์เป็นเวลา 6 วินาที จำนวน 10 เที่ยว โดยมีระยะพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ท 4 นาที ก่อนและสัปดาห์ที่ 6 หลังการฝึก วัดระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเซรั่ม ทดสอบ VO_2peak ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มโดยใช้ Paired t-test และ Independent t-test ตามลำดับ ในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายตัวไม่ปกติ ทำการเปรียบเทียความแตกต่างของตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มโดยใช้ Wilcoxon Signed Rank Test และ Mann Whiney U Test ตามลำดับ กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการวิจัยพบว่าสัปดาห์ที่ 6 หลังการฝึกเสริมด้วยการวิ่งสปรินท์ซ้ำ กลุ่มทดลอง มีการพัฒนาความสามารถด้านแอโรบิค ได้แก่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเซรั่ม และดัชนีการใช้ออกซิเจน (TSI) และปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) ในกล้ามเนื้อ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ปริมาณฮีโมโกลบินและฮีมาโตคริทไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก นอกจากนี้ยังพบว่าดัชนีความเมื่อยล้า (FI) ในขณะทดสอบการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบก่อนการฝึก ในทางตรงกันข้ามไม่พบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมาในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการทดลอง: จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการฝึกเสริมด้วยการวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพในการพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดและความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำในนักรักบี้ 7 ดีกว่าการฝึกเสริมในสภาวะปริมาณที่มีออกซิเจนปกติ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเซรั่ม รวมทั้งความสามารถในการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5878610939 : MAJOR SPORTS SCIENCE
KEYWORD: REPEATED SPRINT TRAINING, HYPOXIA, REPEATED SPRINT ABILITY, MUSCLE OXYGENATION, RUGBY SEVENS

Wadee Pramkratok : EFFECTS OF SPRINT TRAINING UNDER NORMOBARIC HYPOXIC CONDITION ON PHYSIOLOGICAL AND BLOOD CHEMICAL CHANGES AND REPEATED SPRINT ABILITY IN RUGBY SEVENS. Advisor: Tossaporn Yimlamai, Ph.D. Co-advisor: Associate Professor Apiwan Manimmanakorn, Ph.D.

This research comprised 2 studies. The purpose of the first study was to assess the acute responses of on physiological variables, blood biochemistry such as hemoglobin, hematocrit, and serum hypoxic-inducing factor 1 (HIF-1α) and vascular endothelial growth factor (VEGF), and muscle oxygenation parameters such as oxyhemoglobin (O_2Hb), deoxyhemoglobin (HHb), total hemoglobin and myoglobin (tHb), and tissue oxygen index (TSI) at the vastus lateralis under normobaric hypoxic condition in rugby sevens. Seven male rugby sevens players volunteered for this study. They were members of the Thailand rugby sevens national team and had no exposure to high altitude (>1500 m) at least 6 months before the start of the experiment. In a single blinded randomized design, each participant underwent an incremental running test on a motorized treadmill to determine peak oxygen uptake (VO_2peak) in normobaric normoxia (F_iO_2=20.9%) and after 3 h exposure to normobaric hypoxia (F_iO_2=14.5%). Arterial oxygen saturation (SaO_2), heart rate (HR), and rated of perceived exertion (RPE) were continuously measured throughout the experiment. Blood sample was collected for determining HIF-α and VEGF concentrations at rest and blood lactate concentration before and at 3 min after exercise. The results showed that hemoglobin concentration and serum HIF-1α were significant increased ($p<0.05$), While VEGF levels was significant decreased ($p<0.05$) after 3 h exposure to hypoxia compared with their baseline. Moreover, SaO_2, VO_2peak, VEpeak, HRpeak and time to exhaustion were significant decreased ($p<0.05$), while RPE and peak blood lactate and were unchanged as compared to baseline. There was also a significant reduction in O_2Hb ($p<0.05$) but not HHb, tHb, and TSI.

The purpose of the second study was to determine the effects of repeated sprint training under normobaric hypoxic (F_iO_2 14.5%) on sea-level aerobic capacity, running based repeated sprint ability, and muscle oxygenation parameters in rugby sevens. Fourteen male rugby sevens players, age between 18-33 years, participated in the study. They, matched by their VO_2peak, were divided into 2 groups: the hypoxic group (RSH, n=7) and the normoxic group (RSN, n=7). Both RSH and RSN group completed 18 sessions of repeated sprint training on a motorized treadmill in either normobaric hypoxic (F_iO_2=14.5%) or normoxic (F_iO_2=20.9%) environments, respectively, over a periods of 6 weeks (3 sessions per week). Each training session consisted of 3 sets of 6-s × 10 sprints at 140% velocity at VO_2peak (vVO_2peak) with 20-s interval of passive recovery and 4 min between each set. Before and after 6 week of training period, VO_{2peak}, serum HIF-1α and VEGF levels, muscle oxygenation at Vastus lateralis, along with running based repeated sprint ability (RAST) were measured and analyzed. Independent sample t-test and paired t-test were used for statistical analysis. The H test of Kruskal-Wallis and Wilcoxon Signed Rank test were used to compare differences in dependent variables between groups and within groups for non-parametric statistical analysis. The level of significance was set at p-value < 0.05. The results showed that after 6 weeks of training RSH induced significant increases in VO_2peak, serum HIF-1α and VEGF concentrations, and improvement of TSI and HHb at vastus lateralis compared to prior training but not RSN. In addition, there was a significant decrease in fatigue index, but not peak power and mean power, during running based repeated sprint ability test only in RSH.

In conclusion, our results indicated that an addition of 6-wk of sprint training in normobaric hypoxia to normal training had a positive effect on aerobic performance and repeated sprint ability compared to similar training at normoxia. These improvements were concomitant with significant increases in serum HIF-1α and VEGF as well as improvement of muscle oxygenation.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Sports Science	Student's Signature .....
Academic Year:	2019	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีโดยความช่วยเหลือของอาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาคำแนะนำข้อคิดการติดตามและตรวจสอบ รวมถึงการให้แนวทางในการแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องต่าง ๆ ของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวันท์ มนิมนากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร อาจารย์ ดร.คนางค์ ศรีหิรัญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ พันตรี ดร. รุ่งชัย ชวนไชยะกูล ผู้ทรงคุณวุฒิกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถาวร กมุทศรี รองศาสตราจารย์ ดร.อภิลักษณ์ เทียนทอง อาจารย์ว่าที่ร้อยตรี ธเนษฐ์พงษ์ สุขวงศ์ นายณัฏฐ์ปวินท์ ดวงแสงเหล็ก ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาเสียสละเวลาในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและให้ข้อแนะนำคำและคำแนะนำตลอดจนการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นนอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณณัฏฐ์ปวินท์ ดวงแสงเหล็ก ที่ให้ความอนุเคราะห์กลุ่มตัวอย่างและให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลงานวิจัยเป็นอย่างดีและขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างคนที่เข้าร่วมงานวิจัยที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งในงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อสุระ พราหมณ์กระโทก และคุณแม่กุหลาบ พราหมณ์กระโทก ผู้เป็นบิดามารดาของผู้วิจัย คุณภรณี พราหมณ์กระโทก คุณธงทอง ทรงสุภาพ ที่คอยสนับสนุนให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจ และผลักดันให้ผู้วิจัยทำการศึกษาและดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และสุขภาพ และเพื่อน พี่ น้อง คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา และคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่เสียสละเวลาและช่วยเหลือให้กำลังใจและอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา และกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มอบทุนสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาครูบาอาจารย์และทุกท่านที่อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูให้ความรู้และให้การสนับสนุนโดยเป็นทั้งแรงบันดาลใจกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนการศึกษาวิจัยสำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอมอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเครื่องบูชาเพื่อทดแทนคุณ

วดี พราหมณ์กระโทก

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ในการวิจัย 5

คำถามของการวิจัย 5

สมมุติฐานของการวิจัย 6

ขอบเขตของการวิจัย 6

คำจำกัดความของการวิจัย 7

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 8

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

1. กีฬารักบี้ 7 คน 10

2. สรีรวิทยาของกีฬาประเภทหนักสลับพัก 11

3. การฝึกสมรรถภาพทางกายของกีฬาประเภทหนักสลับพัก 20

4. การฝึกบนที่ระดับความสูง (High altitude training) 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34
กรอบแนวคิดในการวิจัย 44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 45
การศึกษาที่ 1 45
กลุ่มตัวอย่าง 45
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย 45
ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล 46
ข้อกำหนดในการทดสอบ 49
การศึกษาที่ 2 49
กลุ่มตัวอย่าง 49
เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย 50
ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล 51
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 55
การวิเคราะห์ข้อมูล 56
สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 57
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 58
ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐาน ก่อนการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม 60
ตอนที่ 2 การศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (14.5%O_2) ที่มีต่อตัวแปรทางชีวเคมีในเลือดขณะพัก และการตอบสนองของตัวแปรทางสรีวิทยา และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกายสูงสุด 61
ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด และความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 80
สรุปผลการวิจัยการศึกษาที่ 1 80
สรุปผลการวิจัยในการศึกษาที่ 2 81
อภิปรายผลการวิจัยการศึกษาที่ 1 82
อภิปรายผลการวิจัยในการศึกษาที่ 2 84
ข้อจำกัดในการวิจัย 89
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย 89
ภาคผนวก 90
ภาคผนวก ก 91
ภาคผนวก ข 105
ภาคผนวก ค 107
ภาคผนวก ง 110
ภาคผนวก จ 116
ภาคผนวก ฉ 118
ภาคผนวก ช 122
ภาคผนวก ซ 124
ภาคผนวก ฌ 125
ภาคผนวก ญ 126
ภาคผนวก ฎ 137
ภาคผนวก ฏ 138
ภาคผนวก ฐ 139
ภาคผนวก ฑ 140
ภาคผนวก ฒ 141
ภาคผนวก ณ 142

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม..... 143

ประวัติผู้เขียน..... 155

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในขณะแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ 15

ตารางที่ 2 สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของคนทั่วไปและนักกีฬาแต่ละชนิด (ml/kg/min). 16

ตารางที่ 3 ระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดขณะแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ 19

ตารางที่ 4 สรุปงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง 41

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง 60

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยา สารชีวเคมีในเลือดและค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 61

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางสรีรวิทยาและสมรรถภาพทางกาย ขณะทำการทดสอบวิ่งบนลู่กลจนหมดแรง (Incremental running test) ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 63

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะทำการทดสอบวิ่งบนลู่กล (Incremental running test) ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 64

ตารางที่ 9 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางโลหิตวิทยา สารชีวเคมีในเลือดและค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ 66

ตารางที่ 10 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและระดับรับรู้ความเหนื่อย ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 11 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ขณะทำการทดสอบบนลู่กล (Incremental Running Test) ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม..... 70

ตารางที่ 12 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำที่มีต่อตัวแปรความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการทดลอง 72

ตารางที่ 13 ผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ของออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ (RAST Test) ภายในกลุ่มทดลอง 76

ตารางที่ 14 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ขณะทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ (RAST Test) ภายในกลุ่มควบคุม..... 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 หลักการของความหลากหลายในการฝึก 21

รูปที่ 2 หลักการของความเฉพาะเจาะจง 22

รูปที่ 3 หลักการฝึกหนักเกินปกติ 22

รูปที่ 4 รูปแบบของการฝึกที่ความเข้มระดับสูงสุด (high intensity training: HIT) 23

รูปที่ 5 รูปแบบการฝึกความเข้มระดับสูงสุด 25

รูปที่ 6 การสร้างหลอดเลือดฝอยจากหลอดเลือดที่มีอยู่เดิม 30

รูปที่ 7 การวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) และปริมาณรวมของฮีโมโกลบิน+มัยโอโกลบิน 31

รูปที่ 8 ขั้นตอนการฝึก 55

รูปที่ 9 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 57

รูปที่ 10 แสดงผลฉับพลันเป็นรายบุคคล (เส้นประ) และค่าเฉลี่ย (เส้นทึบ) ของ (A) ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hb) (B) ปริมาณฮีมาโตรคริต (Hct) (C) ระดับโปรตีนในเลือด hypoxia-inducible factors-1 (HIF-1α) และ (D) ระดับโปรตีนในเลือด Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF), ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 62

รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ΔVO_2peak) และการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของตัวแปรการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI, ΔHHb) ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 65

รูปที่ 12 แสดงการเปลี่ยนแปลงเป็นรายบุคคล (เส้นประ) และค่าเฉลี่ย (เส้นทึบ) ของ (A) ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hb), (B) ปริมาณฮีมาโตรคริต (Hct), (C) ระดับโปรตีน hypoxia-inducible factors-1 (HIF-1α) ในเลือด , และ (D) ระดับโปรตีน Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) ใน

เลือด, ก่อนและหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (Normoxia)..... 67

รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ΔVO_2peak) และการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของตัวแปรปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI, ΔO_2Hb, ΔHHb, ΔtHb) ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม..... 71

รูปที่ 14 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดในแต่ละรอบ ขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (A) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (B)..... 74

รูปที่ 15 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ (A) พลังกล้ามเนื้อเฉลี่ยและ (B) ดัชนีความเมื่อยล้าขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (Normoxia)..... 75

รูปที่ 16 แสดง (A) การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI), (B) การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb), (C) การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) และ (D) การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่และมัยโอโกลบิน (ΔtHb) ขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (Normoxia)..... 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬารักบี้ 7 คนเป็นกีฬาที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันและได้รับการยอมรับให้เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 2016 เนื่องจากกีฬารักบี้ 7 คน (Rugby sevens) นั้นได้รับการพัฒนามาจากกีฬารักบี้ 15 คน (Rugby union) ดังนั้นจึงมีกติกาและเทคนิคการเล่นที่มีลักษณะคล้ายกัน แต่จะมีความแตกต่างในเรื่องของระยะเวลาและจำนวนผู้เล่นในการแข่งขัน โดยผู้เล่นแต่ละฝ่ายจะมีจำนวน 12 คน ลงสนามได้ครั้งละ 7 คน ผู้เล่นที่เหลือจะเป็นตัวสำรองซึ่งสามารถจะเปลี่ยนลงมาได้ทั้งหมด แต่คนที่ถูกเปลี่ยนตัวออกไปแล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนกลับลงมาเล่นใหม่ได้ โดยการแข่งขันจะแบ่งเป็น 2 ครึ่ง ครึ่งละ 7 นาที มีเวลาพักระหว่างครึ่งครั้งละ 1 นาที หากเสมอกันและต้องหาผู้ชนะให้ต่อเวลาออกไปครั้งละ 5 นาที กล่าวโดยสรุป เกมรักบี้ 7 คนจะใช้จำนวนผู้เล่นที่น้อยกว่าและระยะเวลาในการแข่งขันที่สั้นกว่า (แข่งขันครึ่งละ 7 นาที) ขณะที่ใช้สนามขนาดเท่ากับกีฬารักบี้ 15 คน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกมส์การแข่งขันของ รักบี้ 7 คน มีความตื่นเต้น เร้าใจตลอดเวลา โดยผู้เล่นจะต้องใช้ทั้งความเร็ว ความแข็งแรงและความคล่องแคล่วว่องไว ตลอดจนความต้องการด้านพลังงานโดยเฉพาะความทนทานของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดที่สูงกว่ากีฬารักบี้ 15 คน (Ross, Gill, & Cronin, 2014) ด้วยข้อจำกัดของจำนวนผู้เล่นและการเปลี่ยนตัว ทำให้การพัฒนาสมรรถภาพทางกายของนักกีฬารักบี้ 7 คน จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผลการแข่งขัน

จากการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนไหว (Motion analysis) ในกีฬารักบี้ 7 คน พบว่า กีฬารักบี้ 7 คน เป็นกีฬาประเภททีมที่มีการใช้พลังงานเป็นแบบหนักสลับพัก (Intermittent exercise) ร่วมกับมีการชนหรือปะทะ (Collision) ของผู้เล่น โดยใช้ระบบพลังงานแบบแอโรบิค 60% และแบบแอนแอโรบิค 40% (Bompa & Claro, 2009) โดยรายงานวิจัยพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจของนักรักบี้ 7 คนในขณะแข่งขัน มีค่าสูงกว่า 90% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Ross et al., 2014) ขณะที่ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 4.8 มิลลิโมลต่อลิตร (Reilly, Secher, Snell, Williams, & Williams, 1991)

นอกจากนี้ในการแข่งขันกีฬารักบี้ 7 คน นักกีฬาแต่ละทีมจะต้องทำการแข่งขัน 5-6 แมตช์ภายในช่วงการแข่งขัน 1-3 วัน (Ross et al., 2014) ซึ่งอาจทำให้เกิดการล้าสะสม และส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวและสมรรถภาพทางกายของนักรักบี้ลดลง (Higham, Pyne, Anson, & Eddy, 2012) โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่านักกีฬารักบี้ 7 คน มีประสิทธิภาพของการทำงานลดลง 6% ความเร็วในการวิ่งลดลง 13% และเวลาที่ใช้ในการวิ่งเพิ่มขึ้น 10% (Girard, Mendez-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Villanueva, & Bishop, 2011) ดังนั้นการเตรียมความพร้อมทั้งด้านร่างกายและจิตใจของนักกีฬารักบี้ 7 คนจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ฝึกสอน ทั้งนี้นอกจากการฝึกทักษะและกลยุทธ์การเล่นแล้ว การได้รับโปรแกรมการฝึกที่เหมาะสมที่ช่วยพัฒนาสมรรถภาพด้านแอโรบิคมีความสำคัญมาก เพราะสามารถจะช่วยในการฟื้นฟูและป้องกันความล้าสะสมในขณะและระหว่างแข่งขัน ส่งผลให้นักกีฬารักษาความเร็วและการออกตัวหรือการวิ่งซ้ำ (Repeated sprint ability) ได้ดี ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้นักกีฬาประสบผลสำเร็จในการแข่งขัน

ปัจจุบันการฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถด้านแอโรบิคและสมรรถนะของนักกีฬามีหลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น การฝึกที่ระดับความหนักต่ำถึงปานกลางคงที่อย่างต่อเนื่อง (Moderate-intensity continuous training: MICT) และการฝึกแบบหนักสลับช่วงที่ระดับความหนักสูง (High intensity training: HIT) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการฝึกกีฬาที่ต้องใช้ระบบพลังงานแบบผสมผสาน เช่น ฟุตบอล รักบี้ บาสเกตบอล เป็นต้น ซึ่งมีรูปแบบการเล่นแบบหนักสลับพักตลอดช่วงระยะเวลาในการแข่งขัน อาจจะต้องมีรูปแบบการฝึกที่มีความจำเพาะมากขึ้น โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการฝึกรูปแบบนี้จะใช้ความหนักระดับสูง (70-100 % maximal sprint speed) ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ สลับกับการพัก (Passive recovery) และทำการฝึกซ้ำหลายๆ เที่ยว จากค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรืออัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ซึ่งส่วนใหญ่มักจะกำหนดความหนักที่ 85-95% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยคงความหนักในช่วงเวลาหนึ่ง และมีช่วงเวลาพักและทำสลับต่อเนื่องกัน ซึ่งการวิจัยพบว่าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานทั้งระบบแอโรบิค และแอนแอโรบิคได้ดี และยังช่วยลดการสะสมของกรดแลคติกในเลือด ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความทนทานต่อการล้าได้ดีขึ้น นอกจากนี้การวิจัยที่ผ่านมายังพบว่าการฝึกโดยใช้ระดับความหนักสูงสุด (Maximal effort) ที่ไม่เกิน 15 - 30 วินาทีสลับกับการพัก 2-4 นาทีระหว่างเซ็ท สามารถพัฒนาประสิทธิภาพของการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิคทั้งระบบเอทีพี – ซีพี และระบบแอนแอโรบิค ไกลโคไลซิสได้ดีกว่าการฝึกแบบดั้งเดิมที่ใช้ความหนักคงที่ระดับปานกลางถึงสูงตลอดระยะเวลาของการฝึก (Hazell, MacPherson, Gravelle, & Lemon, 2 0 1 0 ; Macpherson, Hazell, Olver, Paterson, & Lemon, 2011)

โดยการฝึกแบบหนักสลับพักที่ระดับความหนักสูงสุด มี 2 รูปแบบ ได้แก่ การฝึกสปรินท์สลับช่วง (Sprint interval training: SIT) ซึ่งส่วนใหญ่มักจะกำหนดความหนักที่ความสามารถสูงสุดของการสปรินท์ โดยมีระเวลาพักฟื้นประมาณ 2-4 นาที และ การฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training: RST) ซึ่งเป็นการสปรินท์ในระยะ 6-10 วินาที โดยกำหนดความหนักที่ร้อยละ 120-160 จากความเร็วที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (120-160% ของ vVO_2peak) และมีระยะเวลาการพักระหว่างเที่ยวไม่เกิน 1 นาที ซึ่งลักษณะของงานที่นักกีฬารักบี้ทำได้นั้นมีความใกล้เคียงกับรูปแบบการฝึกสปรินท์ซ้ำมากกว่า (Buchheit & Laursen, 2013)

บราโว และคณะ (Bravo et al., 2008) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกสลับช่วงด้วยระดับความหนักสูงและการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำ ในนักกีฬาฟุตบอล จำนวน 42 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มฝึกสลับช่วง ทำการฝึกวิ่งที่ความหนัก 90-95% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 4 นาที จำนวนทั้งหมด 4 เที่ยว และกลุ่มฝึกวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดไปกลับระยะทาง 40 เมตร จำนวน 6 เที่ยว จำนวน 3 ชุด เป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่าหลังการฝึกกลุ่มฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำ จะมีการพัฒนาด้านความอดทนของระบบไหลเวียนเลือด (Cardiovascular endurance) จากการทดสอบ Yo-yo intermittent recovery test และความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำดีกว่ากลุ่มฝึกสลับช่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) เวลาในการวิ่งระยะ 10 เมตร ความสูงในการกระโดดและพลังกล้ามเนื้อของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เซียโคเฮียนและคณะ (Siahkouhian, Khodadadi, & Shahmoradi, 2013) ที่พบว่าการฝึกในรูปแบบหนักสลับพัก (HIT) สามารถช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาฟุตบอลให้สูงขึ้น อาทิเช่น สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) เพิ่มขึ้น 7.6% ระดับกั้นของการหายใจที่ 1 และ 2 (First ventilatory threshold และ Second ventilatory threshold) เพิ่มขึ้น 4.5% และ 4.2% ตามลำดับ รวมทั้งพลังที่ทำได้สูงสุด (Peak power output) เพิ่มขึ้น 8.3%

นอกจากนี้ยังได้มีการนำเอาปัจจัยทางสภาพแวดล้อมมาใช้ร่วมกับโปรแกรมการฝึก ทั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะเพิ่มความเครียด (stress) ให้กับร่างกายขณะออกกำลังกายมากขึ้น โดยมีความเชื่อว่าหลังการฝึกร่างกายจะมีการปรับตัว ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายดียิ่งขึ้น โดยรูปแบบการฝึกที่เป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน คือการฝึกบนที่สูง (Altitude training) หรือการฝึกในสภาวะที่สูงจำลอง (Simulated altitude training) (Brocherie, Girard, Faiss, & Millet, 2015) โดยพบว่าการฝึกการออกกำลังกายบนที่สูง (ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 2,500-3,000 เมตรขึ้นไป) สามารถกระตุ้นการหายใจขณะออกกำลังกายเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนในอากาศลดลง (Mazzeo, 2008; West, 1996) โดยเมื่อทำการฝึกในสภาวะดังกล่าว จะช่วยให้ร่างกายมีการปรับสมดุล โดยมีการหลั่งฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน (Erythropoietin) จากไตเพิ่มขึ้น ซึ่งฮอร์โมนตัวนี้จะไปกระตุ้นไขกระดูกเพื่อให้สร้างเม็ดเลือดแดงมากขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อให้ดีขึ้น (Oxygen delivery) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) ขณะการออกกำลังกายจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Shibuya & Tanaka, 2003) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดึงออกซิเจนไปใช้ของกล้ามเนื้อลดลง เบียรด์ และคณะ (Beard, Ashby, Chambers, Brocherie, & Millet, 2018) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ในนักกีฬารักบี้ 15 คน ระดับสูง (International rugby union) ทำการฝึกสปรินท์ซ้ำโดยการปั่นจักรยานที่ความพยายามสูงสุด ประกอบด้วยการวิ่งสปรินท์ 3 เซท ๆ 8 เที่ยว ๆ ละ 10 วินาที และพัก 20 วินาที ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (กลุ่มทดลอง n =

10 คน ที่ระดับความสูง 3,000 เมตร) และทำการฝึกในสภาะปริมาณออกซิเจนปกติ (กลุ่มควบคุม n = 9 คน ที่ระดับความสูง 3,00 เมตร) เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ๆ ละ 2 วัน พบว่า หลังการฝึกกลุ่มทดลองมีการพัฒนาพลังสูงสุดและพลังเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำด้วยจักรยาน 6 เที่ยว ๆ ละ 10 วินาที และพัก 20 วินาที อีกทั้ง กัลป์วินและคณะ (Galvin, Cooke, Sumners, Mileva, & Bowtell, 2013) ทำการศึกษาผลของการฝึกการวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ในนักกีฬารักบี้จำนวน 30 คน (1.กลุ่มทดลอง F_iO_2 = 13% 2.กลุ่มควบคุม F_iO_2 = 21%) ทำการฝึกสปรินท์ด้วยลู่วิ่งไม่ใช้ไฟฟ้า (Non-motorized treadmill) ที่ความพยายามสูงสุด ประกอบไปด้วยการวิ่งสปรินท์ 10 เที่ยว ๆ ละ 6 วินาที โดยพักแต่ละรอบที่ 30 วินาที เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน พบว่าหลังการฝึกกลุ่มทดลองมีแนวโน้มของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดดีกว่ากลุ่มควบคุม (p=0.06) จากการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ

อย่างไรก็ตามกลไกการปรับตัวทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดจากการควบคุมของยีนที่เกี่ยวข้อง คือ Hypoxic Inducible Factor (HIF-1α) ซึ่งจะมีความไวต่อภาวะที่เนื้อเยื่อในร่างกายขาดออกซิเจน (Tissue hypoxia) หรือเมื่อร่างกายต้องสัมผัสกับอากาศที่มีออกซิเจนต่ำ เช่น การขึ้นบนภูเขาสูง โดย HIF-1α เป็นโปรตีนที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง รวมทั้งการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่ (Angiogenesis) โดยกระตุ้นการทำงานผ่านโปรตีน Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการสร้างและการเจริญเติบโตของหลอดเลือดฝอยอีกทีหนึ่ง นอกจากนี้การวิจัยที่ผ่านมายังพบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิคเพียงอย่างเดียวก็สามารถกระตุ้นการสร้างโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในกล้ามเนื้อได้เช่นกัน (Kon et al., 2014; Ohno et al., 2012) ดังนั้นถ้าฝึกออกกำลังกายบนที่สูงหรือที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำน่าจะสามารถกระตุ้นการสร้างโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในกล้ามเนื้อได้มากกว่าการฝึกออกกำลังกายหรือการอยู่บนที่สูงเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ประสิทธิภาพของร่างกายในการขนส่งไปยังกล้ามเนื้อรวมถึงความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ มาร์ติน ลีเวทท์ ไมเดน และโกรคอท (Martin, Levett, Mythen, & Grocott, 2009) พบว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อออกกำลังกายในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ นั่นแสดงว่าร่างกายมีความต้องการที่จะดึงออกซิเจนในหลอดเลือดฝอยที่ไปเลี้ยงยังกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นเพื่อนำไปใช้สร้างพลังงานให้ได้มากที่สุด นอกจากนี้ คาไซและคณะ (Kasai et al., 2015) ยังพบว่าการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำระยะสั้นในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) สามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายในนักกีฬาลาครอซ (Lacrosse) และความทนทานต่อการล้าได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้มีความได้เปรียบในการแข่งขันเมื่อเปรียบเทียบกับนักกีฬาที่ฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับพัก (Intermittent) ใน

สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการศึกษาผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ (Hypoxic training) ที่ผ่านมาจะมุ่งเน้นศึกษาด้านสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาเท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของการฝึกดังกล่าวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ รวมทั้งฮอร์โมนและโปรตีนอื่นที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้การศึกษาส่วนใหญ่จะศึกษาผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำหรือฝึกในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในสถานการณ์จริงที่นักกีฬาจะต้องทำการฝึกซ้อมเพื่อการแข่งขันตามโปรแกรมปกติด้วย ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาผลของการฝึกรูปแบบเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีผลต่อความสามารถในการวิ่งสปรินท์ระยะสั้นในนักกีฬารักบี้ 7 คน และความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ รวมทั้ง การเปลี่ยนแปลงของระดับของโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเซรั่ม

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา โปรตีน HIF-1 α, VEGF ในเซรั่ม ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักกีฬารักบี้ 7 คน
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำ มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา โปรตีน HIF-1α, VEGF ในเซรั่ม ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติในนักกีฬารักบี้ 7 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คำถามของการวิจัย

1. การสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีผลฉับพลันต่อ ตัวแปรทางสรีรวิทยา, สารชีวเคมีในเลือด, ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักกีฬารักบี้ 7 คน อย่างไร
2. การฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีผลต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา, สารชีวเคมีในเลือด, ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำหรือไม่ อย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับการฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติในนักกีฬารักบี้ 7 คน

สมมุติฐานของการวิจัย

1. การสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ส่งผลให้สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดลดลง ขณะที่ระดับโปรตีนของ HIF-1α และ VEGF และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกายเพิ่มขึ้น ในนักกีฬารักบี้ 7 คน

2. การฝึกเสริมด้วยการวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ จะทำให้ระดับโปรตีนของ HIF-1α และ VEGF เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อมีประสิทธิภาพดีขึ้นและความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน ดีขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มอาสาสมัครในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน ตัวแทนทีมชาติไทย เพศชาย จำนวน 14 คน มีอายุระหว่าง 18-33 ปี

2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ได้แก่

2.1.1 สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 14.5%)

2.1.2 สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%)

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) ได้แก่

2.2.1 สารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry)

- ระดับโปรตีน Hypoxic inducible factor (HIF-1α)
- ระดับโปรตีน Vascular endothelial growth factor (VEGF)
- ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hemoglobin: Hb)
- ปริมาณฮีมาโทคริต (Hematocrit: Hct)

2.2.2 ตัวแปรทางสรีรวิทยา

- สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak)
- ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation)
- อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate: HRmax)
- ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2)
- ระดับรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion: RPE)
- ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3 ความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint ability; RSA)

- พลังสูงสุด (Maximum power)
- พลังเฉลี่ย (Mean power)
- ดัชนีความเมื่อยล้า (Fatigue index)

2.3 ตัวแปรควบคุม (Control variables) ได้แก่

2.3.1 สถานที่ในการฝึกและทำการทดสอบ

2.3.2 อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์

2.3.3 อุปกรณ์การฝึกและการทดสอบ

2.3.4. ช่วงเวลาในการฝึกและการทดสอบ

คำจำกัดความของการวิจัย

การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric hypoxic condition) หมายถึง การฝึกในสภาวะจำลองที่ปริมาณของออกซิเจนในอากาศลดลง (F_iO_2 = 14.5%) ความดันบรรยากาศปกติ

การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric normoxic condition) หมายถึง การฝึกในสภาวะจำลองที่มีปริมาณของออกซิเจนในอากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%) และความดันบรรยากาศปกติ

การฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training) หมายถึง โปรแกรมการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำด้วยความหนักสลับพัก เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน (Puype, Van Proeyen, Raymackers, Deldicque, & Hespel, 2013) โดยแต่ละช่วงของการฝึกจะมีการออกกำลังกายโดยการวิ่งบนลู่วิ่งด้วยความเร็วที่ 140% vVO_2peak, ความชัน 6% จำนวน 3 เซ็ท พักระหว่างเซ็ท 4 นาที โดยในแต่ละเซ็ท ประกอบด้วยการสปรินท์ 6 วินาที จำนวน 10 เที่ยว โดยมีระยะพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที

สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หมายถึง ความสามารถสูงสุดของการใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกาย ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ทำการประเมิน สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ทางอ้อมโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบติดตัวในขณะออกกำลังกาย โดยให้วิ่งบนลู่กลไฟฟ้าจนเหนื่อยหมดแรง (Incremental Running Test)

ความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint ability) หมายถึง ความสามารถของจำนวนในการสปรินท์ซ้ำ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ทำการทดสอบ ความสามารถในการวิ่งเร็วสุด ซ้ำระยะทางเดิมโดย การวิ่งให้เร็วที่สุด 35 เมตร แล้วผ่อนความเร็ว และพัก 10 วินาที โดยวิ่งลักษณะไป-กลับจำนวนทั้งหมด 6 เที่ยว (Running – based anaerobic sprint test: RAST test)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Tissue saturation index: TSI) หมายถึง ดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อโดยการตรวจสอบด้วยคลื่นอินฟราเรด (near-infrared spectroscopy) โดยคำนวณจาก (ปริมาณออกซิเจนที่จับกับฮีโมโกลบิน / ฮีโมโกลบินทั้งหมด) x 100 มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งค่า TSI นี้นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้สมดุลระหว่างความสามารถในการขนส่งออกซิเจน (O_2 delivery) กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ (O_2 utilization)

ปริมาณฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (Oxyhemoglobin: HbO_2) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่จับกับฮีโมโกลบิน โดยการตรวจสอบด้วยคลื่นอินฟราเรด (near-infrared spectroscopy) มีหน่วยเป็น μM ค่า HbO_2 จะแสดงถึงความสามารถในการขนส่งออกซิเจน (O_2 delivery)

ปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (Deoxyhemoglobin: HHb) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ไม่จับกับฮีโมโกลบิน โดยการตรวจสอบด้วยคลื่นอินฟราเรด (Near-infrared spectroscopy) ค่า HHb นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการดึงออกซิเจนไปใช้ของกล้ามเนื้อ (O_2 extraction)

ปริมาณฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบินรวม (Total hemoglobin: tHb) หมายถึง ปริมาณฮีโมโกลบินทั้งหมด โดยการตรวจสอบด้วยคลื่นอินฟราเรด (Near-infrared spectroscopy) โดยคำนวณจาก (ปริมาณออกซิเจนที่จับกับฮีโมโกลบิน + ปริมาณออกซิเจนที่ไม่จับกับฮีโมโกลบิน) ค่า tHb นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อ

HIF-1α (Hypoxia Inducible Factor) หมายถึง โปรตีนที่ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง (Erythropoiesis) และการสร้างหลอดเลือดใหม่ โดยโปรตีนจะถูกสร้างเพิ่มขึ้นในสภาวะขาดออกซิเจนและการออกกำลังกาย

VEGF (Vascular endothelial growth factor) หมายถึง โปรตีนที่ทำหน้าที่กระตุ้นเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด ให้มีการสร้างหลอดเลือดใหม่ (Angiogenesis)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้แบบฝึกสำหรับกีฬารักบี้ 7 คน ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการฝึกนักกีฬารักบี้ 7 คน เพื่อความเป็นเลิศได้ และได้จะเป็นแนวทางสำหรับการเตรียมความพร้อมให้นักกีฬารักบี้ 7 คน หรือนักกีฬาประเภททีมอื่น ๆ ที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวและความต้องการพลังงานที่ใกล้เคียงกัน

2. ทำให้ทราบข้อมูลกลไกการปรับตัวทางสรีรวิทยาของร่างกายที่เกิดขึ้นหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมารออกซิเจนต่ำ ที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและความสามารถในการในการวิ่งสปรินท์ซ้ำเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเสริมด้วยการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ในนักกีฬารักบี้ 7 คน โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารอ้างอิงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีเนื้อหาตามหัวข้อ ดังนี้

1. กีฬารักบี้ 7 คน
    1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกีฬารักบี้ 7 คน
2. สรีรวิทยาของกีฬาประเภทหนักสลับพัก
    2.1 ระบบพลังงานที่ใช้ในขณะออกกำลังกาย
3. การฝึกสมรรถภาพทางกายของกีฬาประเภทหนักสลับพัก
    3.1 หลักในการฝึก (Principle of training)
    3.2 รูปแบบของการฝึกออกกำลังกายที่ช่วยพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด
4. การฝึกบนที่สูง (High altitude training)
    4.1 การตอบสนองต่อที่สูง
    4.2 การฝึกบนที่สูงและการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. กีฬารักบี้ 7 คน

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกีฬารักบี้ 7 คน

กีฬารักบี้ 7 คนเป็นกีฬาที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันและได้รับการยอมรับให้เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 2016 โดยกีฬารักบี้ 7 คน (Rugby sevens) นั้นได้รับการพัฒนามาจากกีฬารักบี้ 15 คน (Rugby union) ดังนั้นจึงมีกติกา และเทคนิคการเล่นที่มีลักษณะคล้ายกันกับรักบี้ 15 คน แต่จะมีความแตกต่างในเรื่องของระยะเวลาและจำนวนผู้เล่นในการแข่งขัน ผู้เล่นแต่ละฝ่ายจะมี 12 คน ลงสนามได้ครั้งละ 7 คน ที่เหลือจะเป็นตัวสำรองซึ่งจะเปลี่ยนลงมาได้ทั้งหมด แต่คนที่ถูกเปลี่ยนตัวออกไปแล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนกลับลงมาเล่นใหม่ได้ โดยการแข่งขันแบ่งเป็น 2 ครึ่ง ครึ่งละ 7 นาที มีเวลาพักระหว่างครึ่งครั้งละ 1 นาที หากเสมอกันและต้องหาผู้ชนะให้ต่อเวลาออกไปครั้งละ 5 นาทีกล่าวคือ เกมรักบี้ 7 คนจะใช้จำนวนผู้เล่นที่น้อยกว่าและระยะเวลาในการแข่งขันที่สั้นกว่า (แข่งขันครึ่งละ 7 นาที) แต่ใช้สนามขนาดเท่ากับ กีฬารักบี้ 15 คน

ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีลักษณะของเกมส์การเล่นที่ต้องใช้ความหนักสูงและสลับกลับการพัก (Ross et al., 2014) ตลอดจนความต้องการและการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่แตกต่างจาก กีฬารักบี้ 15 คน อาทิ เช่น รักบี้ 7 คนต้องการผู้เล่นที่มีความเร็วสูงและความทนทานของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดสูง ข้อมูลจากการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนไหวในกีฬารักบี้ 7 คน พบว่า รักบี้ 7 คน เป็นกีฬาประเภททีมที่มีการใช้พลังงานเป็นแบบหนักสลับพัก (Intermittent exercise) ร่วมกับมีการชนหรือปะทะ (Tackling) โดยใช้ระบบพลังงานแบบแอโรบิค 60% และแบบแอนแอโรบิค 40% (Bompa & Claro, 2009)

ในการแข่งขันกีฬารักบี้ 7 คน นักกีฬาแต่ละทีมจะต้องทำการแข่งขัน 5-6 แมตช์ ภายในช่วงการแข่งขัน 1-3 วัน (Ross et al., 2014) ทำให้เกิดความเมื่อยล้าสะสม จากการเล่นในหลายแม็ตช์ตลอดการแข่งขัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวและสมรรถนะทางกีฬาลดลง (Higham et al., 2012) จากการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวกีฬารักบี้พบว่าผู้เล่นจะมีอัตราการทำงานลดลงในระยะทาง 6% ความถี่ในการวิ่งลดลง 13% และเวลาในการวิ่งเพิ่มขึ้น 10% นอกจากนี้จากการวิเคราะห์การตอบสนองอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬารักบี้ 7 คน ระหว่างครึ่งแรกและครึ่งหลัง พบว่าความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจาก ความหนักในการเล่นที่ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจมากกว่า 90% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ประมาณ 9%) ในครึ่งหลังของการเล่น ในเกมการแข่งขันดูเหมือนว่าการสปรินท์นั้นจะเป็นส่วนสำคัญของนักกีฬารักบี้ 7 คน จากการบันทึกของ ซัวเรส-อาโรนและคณะ (Suarez-Arrones, Nuñez, Portillo, & Mendez-Villanueva, 2012) พบว่า นักกีฬารักบี้ 7 คนนั้น มีการสปรินท์ต่อแมทช์การแข่งขันนั้น ประมาณ 7 สปรินท์ (5.6 เมตรต่อวินาที) โดยระยะทางสูงสุดประมาณ 30 เมตร

2. สรีรวิทยาของกีฬาประเภทหนักสลับพัก

ในการเคลื่อนไหวกิจกรรมกีฬาทุกประเภท ร่างกายจะมีการตอบสนองโดยการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันไป ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการเคลื่อนไหวในกีฬาชนิดนั้น ๆ จากการวิเคราะห์รูปแบบกิจกรรมของการเคลื่อนไหว จะพบว่าในกีฬาประเภททีม เช่น ฟุตบอล บาสเกตบอล แฮนด์บอล รักบี้ฟุตบอล เทนนิส ฮอกกี้ และกีฬาอีกหลายประเภท จะมีรูปแบบการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่เป็นการวิ่งซึ่งมีความเร็วหลากหลายระดับ โดยจะมีการสลับกันของกิจกรรมที่มีความหนักสูงกับกิจกรรมที่มีความหนักเบา หรือการพัก (Gambetta, 2007) โดยเฉพาะในเกมกีฬารักบี้ฟุตบอลนั้นจะต้องอาศัยความเร็วและการระเบิดของพลังกล้ามเนื้อขณะที่ทำการสปรินท์ รวมถึงการเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็ว และมีลักษณะการเคลื่อนไหวที่เฉพาะเจาะจง เช่น การดัน (Scrums) การยก (Lifting) การกระโดด (Jumping) ในขณะแข่งขันเพื่อการครอบครองลูกให้ได้มากที่สุด (Bompa & Claro, 2009) ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนไหวดังกล่าวนี้เรียกว่า กีฬาที่มีการวิ่งหนักสลับพัก (Intermittent sprint sports) โดยการตอบสนองที่เกี่ยวข้องจะ

มีรูปแบบที่เป็นลักษณะเฉพาะแตกต่างจากกีฬาประเภทอื่น ๆ โดยการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่สำคัญมีรายละเอียดดังนี้

2.1 **ระบบพลังงานที่ใช้ในขณะออกกำลังกาย**

การทำงานของกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกาย ต้องอาศัยพลังงานทางเคมีที่ได้จากการเผาพลาญสารอาหารให้เป็นอะดีโนสินไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate: ATP) สำหรับใช้ในกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยทั่วไป ATP จะพบอยู่ในกระแสเลือดหรือเนื้อเยื่อต่าง ๆ รวมทั้งกล้ามเนื้อซึ่งจะมีการสะสมปริมาณ ATP ที่ค่อนข้างจำกัด ใช้สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อเพียงไม่กี่วินาที จากนั้น ATP จะต้องถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ภายในเซลล์ ร่างกายจึงมีกลไกหลายวิธีเพื่อสังเคราะห์ ATP ขึ้นมาใหม่เมื่อ ATP ที่เก็บสำรองได้ถูกใช้ไปจนหมด แหล่งพลังงานที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ ATP ในกล้ามเนื้อได้มาจากการเผาผลาญพลังงานใน 3 ระบบ ซึ่งในแต่ละระบบจะมีอัตราการสังเคราะห์และปริมาณ ATP ที่ได้แตกต่างกัน พลังงานที่ได้จาก ทั้ง 3 ระบบ โดยสามารถสรุปทั้ง 3 ระบบได้ดังต่อไปนี้ (Bompa & Claro, 2009; Bompa & Haff, 2009)

2.1.1 ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Energy System)

ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ไม่เกิดกรดแลคติก (Anaerobic alactic system)

เป็นระบบพลังงานหลักสำหรับความพยายามสูงสุด 10 วินาที เช่น การวิ่งสปรินท์ ที่ต้องการพลังงานได้อย่างรวดเร็วในทันที (Immediate energy system) จากการดึง อะดีโนซีนไตรฟอสเฟส (Adenosine triphosphate) และ ครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine phosphate, CP) ที่เก็บสำรองไว้ให้เซลล์เรียกใช้งาน เซลล์จะไม่นำพลังงานจาก คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, หรือ โปรตีน มาใช้โดยตรง แต่จะนำพลังงานที่ได้จากการสลายแหล่งพลังงานเหล่านี้มาสร้างเป็น ATP เก็บไว้ในเซลล์พร้อมที่จะใช้งาน ATP เมื่อระดับการใช้ ATP เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น จากนั่งเฉย ๆ มาวิ่งอย่างทันทีทันใด เซลล์จะดึงพลังงานจากโมเลกุลที่ให้พลังงานสูงเรียกว่า ครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine phosphate, CP) มาใช้สังเคราะห์ ATP โดยใช้เอนไซม์ครีเอทีนไคเนส (Creatine kinase, CK) ระบบนี้สามารถสังเคราะห์ ATP ได้ในอัตราที่รวดเร็วมาก โดยปกติ CP จะถูกใช้งานจนหมดไปจากเซลล์ในช่วงเวลา 3-15 วินาทีแรกของการออกกำลังกายเต็มที่ เช่น วิ่งแข่งร้อยเมตร ระบบนี้จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้ออกซิเจน จึงเรียกว่าระบบแอนแอโรบิค (Anaerobic system) กิจกรรมออกกำลังกายชนิดที่ต้องใช้พลังงานสูงหรือกิจกรรมที่ต้องใช้การเคลื่อนไหวด้วยแรงระเบิดของกล้ามเนื้อและใช้ระยะเวลาสั้น ๆ เช่น การตบวอลเลย์บอล การกระโดดลอยตัวยัดลูกบาสเกตบอลลงห่วงการตีลูกโต้กลับในการเล่นเทนนิส การวิ่งเร็วระยะทาง 100 เมตร กีฬายกน้ำหนัก การกระโจนขึ้นบันไดอย่างรวดเร็ว เป็นต้น ซึ่งการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวทำงานอย่างรวดเร็วในทันที ทำให้พลังงานที่สร้างจากระบบอื่น (แอนแอโรบิคไกลโคไลซิสและแอโรบิค) ยังไม่สามารถสร้างเอทีพีให้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

พอที่จะทำหน้าที่ได้ แต่ถ้าร่างกายมีการปรับตัวจากการฝึกซ้อมได้ดีมากขึ้น ก็จะทำให้มีความสามารถในการใช้เอทีพีและซีพีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะสามารถปฏิบัติกิจกรรมที่มีความเข้มข้นต่อไปได้ยาวนานมากขึ้น

ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนกลัยโคไลติก (Anaerobic glycolytic system)

ระบบไกลโคไลซิสเป็นระบบที่ให้พลังงานในช่วงระยะเวลาสั้นๆ (Short-term energy system) การทำงานของระบบนี้ซับซ้อนกว่าระบบ CP มาก โดยรวมแล้วแบ่งได้สองระดับ ระดับแรกคือการสลายไกลโคเจน ในเซลล์ หรือ กลูโคส ในกระแสเลือดให้กลายเป็น Pyruvic acid ระดับการทำงานนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่า แอนแอโรบิคไกลโคลไลติค (Anaerobic glycolytic) กรดไพรูวิค (Pyruvic acid) จะถูกสลายต่อไปได้สองทางเลือก 1. ในกรณีที่มีออกซิเจนเพียงพอต่ออัตราการใช้พลังงาน กรดไพรูวิคจะถูกสลายให้พลังงานในอีกระบบที่ใช้ออกซิเจน 2. ในกรณีที่ออกซิเจนไม่เพียงพอกรดไพรูวิคจะถูกเปลี่ยนเป็น กรดแลคติค (Lactic acid) กรดแลคติคถ้าถูกสร้างขึ้นมากในกล้ามเนื้อจะส่งผลให้เซลล์หยุดการทำงานของระบบไกลโคไลติกเพื่อรักษาเซลล์ และโปรตีนในกล้ามเนื้อไม่ให้โดนกรดทำลาย ระบบนี้โดยมากทำงานควบคู่ไปกับระบบ CP ในกรณีของการออกกำลังสุดแรง ระบบนี้ช่วยรักษาระดับ ATP ได้นานประมาณ 1-2 นาที ก่อนที่ร่างกายจะหยุดระบบเพราะกรดแลคติค การเล่นกล้ามในตอนพักถ้าหายใจเข้าออกลึก ๆ จะช่วยให้ร่างกายขับกรดแลคติคออกจากกระแสเลือดได้เร็วขึ้นเล็กน้อย และส่งผลให้ออกกำลังได้นานขึ้นในระดับหนึ่ง การกำจัดกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อหรือร่างกายนั้น ใช้ระยะเวลานานกว่าการสร้างพลังงานใหม่ขึ้นมาทดแทน เพราะอาจจะใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมงในการกำจัดกรดแลคติกให้ลดลงจนอยู่ในระดับเดียวกันก่อนการออกกำลังกาย การเดินหรือการวิ่งเหยาะ ๆ ภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนักหรือภายหลังจากการใช้ความเร็วสูง เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยระบายหรือกำจัดกรดแลคติกในร่างกายให้ลดลงเร็วขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 10 นาทีแรกหลังจากเสร็จสิ้นการออกกำลังกายจะช่วยลดระดับกรดแลคติกลงอย่างมาก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับนักกีฬาการวิ่งสปรินท์ในการพัฒนาความสามารถของระบบแอโรบิคให้มีพื้นฐานที่ดีเพื่อรับมือกับการกำจัดกรดแลคติคออกจากกล้ามเนื้อและเลือดได้อย่างรวดเร็ว

2.1.2 ระบบพลังงานแบบแอโรบิค (Aerobic energy system)

ใช้ในกิจกรรมที่ออกแรงน้อย ๆ แต่นานหลายนาที หรือหลายชั่วโมง เป็นการสันดาปไกลโคเจนและไขมันโดยใช้ออกซิเจนระบบนี้เป็นระบบที่ให้พลังงานได้เป็นระยะเวลานาน (Long-term energy system) ตราบใดที่ยังมีสารอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตและไขมันที่ใช้ในการเผาพลาญเพียงพอ กระบวนการสร้างพลังงานในระบบนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์หลายขั้นตอน ดังนั้นพลังงานในระบบนี้จึงเกิดขึ้นได้ช้าที่สุดในจำนวนทั้งหมดของระบบการสร้างพลังงาน แต่จะสามารถสร้างเอทีพีเพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับการปฏิบัติกิจกรรมได้เป็นระยะเวลาที่

ยาวนานกว่า ซึ่งสามารถใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมที่มีความเข้มข้นต่ำได้นานตั้งแต่ 5 นาที ขึ้นไปจนถึงหลายชั่วโมง (Dollery & Dalgleish, 2001) ซึ่งสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและไขมันที่ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการปฏิบัติกิจกรรมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการออกกำลังกายและสมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของแต่ละบุคคล การออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะมีการใช้แหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากกว่า แต่บุคคลที่มีการฝึกความอดทนแบบแอนแอโรบิค ก็ยังสามารถใช้ไขมันเป็นพลังงานได้ แม้ว่าการออกกำลังกายนั้นจะเป็นการฝึกปฏิบัติที่มีความเข้มข้นสูงก็ตาม การที่บุคคลมีความสามารถใช้ไขมันเป็นพลังงานในระหว่างการออกกำลังกายได้สูงมากขึ้นก็จะเป็นสิ่งที่มีประโยชน์ คือช่วยทำให้ลดอัตราการใช้ไกลโคเจนของกล้ามเนื้อ เพราะกล้ามเนื้อสามารถเก็บสำรองไกลโคเจนไว้ได้อย่างจำกัด และเมื่อไกลโคเจนถูกนำไปใช้จนหมดสิ้นก็จะทำให้เกิดอาการเหนื่อยล้า แต่ถ้าอัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อในระหว่างการออกกำลังกายเป็นไปอย่างช้า ๆ ก็สามารถยืดระยะเวลาในการใช้ไกลโคเจน จนหมดให้ยาวนานออกไปได้อีก ซึ่งทำให้เกิดอาการล้าได้ช้าตามไปด้วยกระบวนการสร้างพลังงานในระบบแอโรบิคนี้จะถูกจำกัดในทันที ถ้าระบบหายใจและไหลเวียนเลือดไม่สามารถนำส่งออกซิเจนที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อในปริมาณที่มากเพียงพอต่อความต้องการ (Kenney, Wilmore, & Costill, 2012)

2.1.3 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate)

เมื่อเริ่มออกกำลังกาย อัตราการเต้นหัวใจจะเพิ่มขึ้นเกือบจะทันที และจะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการออกกำลังกาย การเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจในระยะเริ่มต้นเกิดจากกลไกทางระบบประสาทที่ส่งสัญญาณมาควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจโดยตรง โดยการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทซิมพาเธทิกและยับยั้งการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเธทิก ในขณะที่การเพิ่มของอัตราการเต้นของหัวใจในระยะต่อมาจะเกิดจากกลไกทางรีเฟล็กซ์เนื่องจากการสะสมของผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิสมของกล้ามเนื้อ เช่น กรดแลคติก และการขาดออกซิเจน เป็นต้น โดยในการออกกำลังกายที่มีความหนักปานกลางเท่ากันตลอด (Steady state exercise) อัตราการเต้นของหัวใจจะมีระดับที่คงที่ตลอดระยะเวลาของการออกกำลังกาย ในทางตรงกันข้ามการออกกำลังกายแบบหนักสลับพัก (Intermittent exercise) อัตราการเต้นของหัวใจจะมีการเพิ่มขึ้นและลดลงตามระดับความหนักของงานที่เกิดขึ้น (Bangsbo, 2000) การศึกษาข้อมูลการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจในขณะแข่งขันกีฬานั้น มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย โดยกีฬาแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดการแข่งขันที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับระดับความหนัก ระยะเวลาพัก และระยะเวลาการแข่งขันของกีฬาแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในขณะแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ

ประเภทกีฬา	อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที)	ประเภทกีฬา	อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที)
มวย	148	ฮอกกี้	166
เรือแคนู	143	บาสเกตบอล	170
ฟุตบอล	168	เทนนิส	172
วอลเลย์บอล	145	แบดมินตัน	169
รักบี้	174	ยกน้ำหนัก	136

ปรับปรุงจาก: (Reilly et al., 1991)

นอกจากนี้ ดอสซันและคณะ (Daussin et al., 2007) ได้แสดงให้เห็นว่า การฝึกแบบหนักสลับพักสามารถเพิ่มปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละนาที (Cardiac output) โดยการฝึกดังกล่าวจะส่งผลกระตุ้นต่อการทำงานระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด โดยหัวใจจะเต้นแรงและเร็วขึ้น ผนังของหัวใจขยายตัวมากกว่าปกติ เลือดไหลเวียนไปสู่หัวใจเพิ่มขึ้นเพื่อสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้มากกว่าปกติ ส่งผลให้ระบบการทำงานของหัวใจและระบบไหลเวียนเลือดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะปริมาณเลือดที่หัวใจบีบตัวในแต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงขณะที่ทดสอบสอบความสามารถสูงสุด ส่งผลให้ร่างกายสามารถทำกิจกรรมได้หนักและนานขึ้น

2.1.4 ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption: VO_2)

สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption, VO_2) หรือบางทีเรียกว่าความสามารถทางแอโรบิค (Aerobic capacity) เป็นความสามารถของร่างกายที่ใช้ในการเผาผลาญพลังงานโดยใช้ออกซิเจน ซึ่งร่างกายต้องใช้เวลาปล่อยพลังงานจากปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจน เป็นอัตราของก๊าซออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้เซลล์เพื่อใช้ในการสันดาปเป็นพลังงานต่อหนึ่งนาที โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของระบบไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ และระบบกล้ามเนื้อ ทั้งนี้ในการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ของคนเรานั้น เซลล์ในร่างกายจำเป็นต้องใช้สารอาหารและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตพลังงาน ดังนั้นจึงต้องอาศัยระบบขนส่งในร่างกายที่มีประสิทธิภาพ โดยมีระบบหายใจทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่ร่างกาย จากนั้นระบบไหลเวียนโลหิตก็จะขนส่งออกซิเจนไปให้เซลล์กล้ามเนื้อใช้ต่อไป (Robergs & Roberts, 1997) ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ยิ่งเซลล์กล้ามเนื้อสามารถดึงเอาพลังงานจากกระบวนการนี้ไปใช้ได้มาก แสดงว่ามีความสามารถทางแอโรบิคดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณสูงสุดของออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้เซลล์เพื่อใช้ในการสันดาปเป็นพลังงานต่อหนึ่งนาทีเรียกว่า สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption, VO_2 max) ค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิคของร่างกาย ซึ่งสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคนจะไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของคนทั่วไปและนักกีฬาแต่ละชนิด (ml/kg/min)

กลุ่มหรือกีฬา	อายุ	ชาย	หญิง
คนทั่วไป	10-19	47-56	38-46
	20-29	43-52	33-42
	30-39	39-48	30-38
	40-49	36-44	26-35
	50-59	34-41	24-33
เบสบอล/ซอฟท์บอล	18-32	48-56	52-57
บาสเกตบอล	18-30	40-60	43-60
จักรยาน	18-26	62-74	47-57
อเมริกันฟุตบอล	20-36	42-60	-
ฮอกกี้น้ำแข็ง	10-30	50-63	-
กีฬาแร็กเก็ต	20-35	55-62	50-60
เรือพาย (กรรเชียง)	20-35	60-72	58-65
สกีลงเขา	18-30	57-68	50-55
สกีกระโดดไกล	18-24	58-63	-
ฟุตบอล	22-28	54-64	50-60
สปีดสเก็ตติ้ง	18-24	56-73	44-55
ว่ายน้ำ	10-25	50-70	40-60
กรีฑา (วิ่ง)	18-39	60-85	50-75
วอลเลย์บอล	18-22	-	40-56

ที่มา: (Kenney et al., 2012)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ซึ่งสอดคล้องกับ ชาร์มาและไคลาชิย่า (Sharma & Kailashiya, 2016) ได้กล่าวว่า ปัจจัยของเพศถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญของการแสดงความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยพบว่าเพศหญิงมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดน้อยกว่าเพศชาย เนื่องจากความแตกต่างทางสรีรวิทยา เช่น องค์ประกอบของร่างกาย ฮีโมโกลบิน เป็นต้น

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเกิดจากการขนส่งออกซิเจนในเลือดไปยังเนื้อเยื่อ โดยออกซิเจนในเลือดจะประกอบไปด้วยออกซิเจนที่ละลายในพลาสมา (Dissolve oxygen) และออกซิเจนที่รวมกับฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) ซึ่งสามารถคำนวนปริมาณของออกซิเจนได้ดังนี้

Arterial oxygen content (CaO_2) (mls/dL)= (Hb x 1.34 x SaO_2) + (0.003 x PaO_2)

Hb = ฮีโมโกลบิน (กรัม)

SaO_2 = % of oxygen saturated with oxygen

ค่า 1.34 หมายถึง ในภาวะปกติฮีโมโกลบิน 1 กรัมสามารถจับออกซิเจนได้ประมาณ 1.36 มิลลิลิตร

PaO_2 = แรงดันออกซิเจนในหลอดเลือดแดง (มิลลิเมตรปรอท)

ในการขนส่งออกซิเจน ไม่เพียงแต่จะอาศัยปริมาณของออกซิเจนเพียงอย่างเดียวที่จะนำเลือดไปให้ยังเนื้อเยื่อได้ ร่างกายจะต้องมีปริมาณของเลือด (Cardiac output) เพื่อช่วยให้การขนส่งเลือดและออกซิเจนดำเนินไปได้ โดยผลคูณของ Oxygen content กับ Cardiac output จะเรียกว่า Oxygen delivery

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Oxygen delivery (ml/minute) = Oxygen content x Cardiac output

เมื่อเราขนส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อแล้ว เนื้อเยื่อจะนำออกซิเจนไปใช้ เรียกว่า Oxygen consumption (VO_2) สามารถ คำนวนได้โดย

$$VO_2 = CO\ (CaO_2 - CvO_2)$$

โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 250 ml/min ถ้าหากเรากลับข้างสมการเป็น $CO = VO_2 / (CaO_2\text{-}CvO_2)$ จะเรียกว่า Fick principle และเมื่อเนื้อเยื่อนำออกซิเจนไปใช้ สัดส่วนระหว่างปริมาณของออกซิเจนที่เซลล์รับไปใช้ใน 1 นาที ต่อปริมาณของออกซิเจนในเลือดแดง เรียกว่า Oxygen extract ratio สามารถคำนวนได้จากสูตร

Oxygen extract ratio (%)= (CaO_2-CvO_2) / CaO_2 ในภาวะปกติมีค่าเท่ากับ 0.25

ในผู้ที่มี Oxygen delivery ต่ำลงเรื่อย ๆ จากสภาวะออกซิเจนต่ำ ร่างกายก็จะมีการดึงออกซิเจน (extract oxygen) มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่อัตราส่วนการดึง (extraction ratio) เท่ากับ 0.67 ร่างกายจะไม่สามารถ extract oxygen ได้แล้วจะทำให้การใช้ออกซิเจน (oxygen consumption) ลดลง ร่างกายจึงเกิดการเผาผลาญแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) ทำให้มีการสร้างกรดแลคติคเพิ่มมากขึ้น

สำหรับกระบวนการปล่อยออกซิเจนในเลือดเข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย เริ่มขึ้นเมื่อมีการ perfusion ของเลือดมายังอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย เซลล์จะมีกลไกในการทำให้ออกซิเจนสามารถแตกตัวแยกกับฮีโมโกลบินได้ง่ายโดยปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- อุณหภูมิในเซลล์ที่สูงกว่า เช่น ในเซลล์กล้ามเนื้อที่อัตราเมตาบอลึซึมสูง จะมีผลให้ความสามารถในการจับระหว่างออกซิเจน (O_2) กับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) น้อยลง เมื่อเลือดไปหล่อเลี้ยงจึงมีแนวโน้มที่จะปล่อยออกซิเจนได้ง่ายขึ้น

- ภาวะที่เซลล์มีปริมาณ CO_2 สูงและสภาวะเป็นกรด (The Bohr effect)

- การเพิ่มขึ้นของ 2,3 diphosphoglycerate (2,3 DPG) ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในขบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ของเม็ดเลือดแดงในเม็ดเลือดแดงจะไม่มีไมโทรคอนเดรีย (mitochondria) ดังนั้นขบวนการสร้างพลังานจึงขึ้นกับไกลโคไลซิส เป็นหลักในบางสภาวะเช่น ขณะออกกำลังกาย ภาวะที่ร่างกายขาดออกซิเจน จะกระตุ้นให้เกิดขบวนการไกลโคไลซิสเพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มระดับของ 2,3 DPG มีผลให้ความสามารถในการจับกันของ O_2 และ Hemoglobin ลดลง (Hickin, Renshaw, Chapman, Horton-Szar, & Usmani, 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.5 ระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration)

ภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก จะมีกรดแลคติคคั่งอยู่ในกล้ามเนื้อและในเลือดซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเมื่อยล้า การเผาผลาญพลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นในร่างกายคนเรา สามารถทำให้เกิดกรดแลคติคขึ้นในหลาย ๆ อวัยวะ เช่น กล้ามเนื้อลาย ลำไส้ ตับ หัวใจ และในเม็ดเลือดแดง โดยแหล่งผลิตกรดแลคติคที่สำคัญในร่างกายคนเราคือกล้ามเนื้อลาย ซึ่งกรดแลคติกเป็นของเสีย (Waste products) ซึ่งเกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิส ในขณะที่ร่างกายทำงานที่ระดับความหนักสูงถึงระดับสูงสุด โดยในขณะพัก กระบวนการไกลโคไลติก (Glycolytic) จะดำเนินไปอย่างช้า ๆ ระดับของแลคเตทที่สะสมในเลือดและกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าประมาณ 1.4 มิลลิโมล/ลิตร ในระยะเริ่มต้นของการออกกำลังกาย ระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดจะยังคงมี

ค่าคงที่ใกล้เคียงกับขณะพัก อย่างไรก็ตามเมื่อความหนักของกิจกรรมหรือการออกกำลังกายเพิ่มสูงขึ้น ความเข้มข้นของแลคเตทก็จะเพิ่มเร็วขึ้นจนถึงระดับที่กล้ามเนื้อไม่สามารถกำจัดออกได้ทันทำให้เกิดการสะสมของแลคเตทในกล้ามเนื้อ และนำไปสู่การล้า กล้ามเนื้อจนกระทั่งทำงานต่อไปไม่ได้ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของการแสดงออกความสามารถทางกีฬาลดน้อยลง (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2005)

การวัดระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดจะเป็นดัชนีที่บ่งชี้ระดับความหนักของงานและระดับความเมื่อยล้า (Fatigue) ในขณะออกกำลังกายได้ โดยในการวัดระดับความเข้มข้นของแลคเตทสามารถทำได้สองวิธีคือ การวิเคราะห์จากเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย และการวัดระดับความเข้มข้นของแลคเตทโดยการเจาะเลือดมาวิเคราะห์ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็ว สามารถทำได้ง่าย อย่างไรก็ดีการตอบสนองของระดับแลคเตทในเลือดขณะแข่งขันของกีฬาแต่ละชนิดจะมีปริมาณและระดับไม่เท่ากัน โดยข้อมูลความเข้มข้นของระดับแลคเตทในเลือดที่ได้จากการศึกษาในกีฬาประเภทต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดขณะแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ

ประเภทกีฬา	ระดับแลคเตท (มิลลิโมล/ลิตร)	ประเภทกีฬา	ระดับแลคเตท (มิลลิโมล/ลิตร)
เทนนิส	5.0	แบดมินตัน	5.9
รักบี้	4.8	บาสเกตบอล	6.8
ฮอกกี้	5.7	วอลเลย์บอล	4.2
ฟุตบอล	4.5	ฟุตซอล	5.5

ปรับปรุงจาก: (Reilly et al., 1991)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.6 จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold)

แอนแอโรบิคเทรชโฮล (Anaerobic threshold) หมายถึง ระดับความหนักของการออกกำลังกาย หรือการใช้ก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นจุดที่ร่างกายเริ่มเปลี่ยนระบบพลังงานจากใช้ออกซิเจนเป็นไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic metabolism) และเป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อร่างกายมีการสร้างพลังงานขบวนการดังกล่าวเพิ่มขึ้น ก็จะมีกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้น (Lactic acid production) การออกกำลังกายที่มีความหนักเพิ่มขึ้นจะทำให้กรดแลคติกในเลือดมีปริมาณเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก (Lactate clearance or removal) ออกจากร่างกายมีอัตราลดลง จึงส่งผลให้มีปริมาณกรดแลคติกในเลือดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เรียกว่า ระดับกั้นแลคเตท (Lactate threshold) ซึ่งมีความเข้มข้นของกรดแลคติกประมาณ 4 มิลลิโมล/ลิตร ในการออกกำลังกายที่มีความหนักปานกลาง

อัตราการเกิดกรดแลกติก และการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก ของร่างกายจะสมดุลกัน กล่าวคือเมื่อระดับความหนักของการออกกำลังกายไม่สูงมาก ร่างกายจะใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic energy) เป็นหลัก เมื่อเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายมากขึ้น ร่างกายจะมีการสะสมกรดแลกติกมากขึ้น ทั้งนี้ วาสเซอร์แมนและคณะ (Wasserman, Stringer, Casaburi, Koike, & Cooper, 1994) ได้อธิบายว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนสะสมของกรดแลคติก ในระหว่างการออกกำลังกายเมื่อร่างกายทำงานไปถึงจุดที่ร่างกายขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จึงมีการเปลี่ยนจากระบบการใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจน เป็นการเผาผลาญพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic energy) ณ จุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงระบบพลังงานนี้เรียกว่า จุดเริ่มล้า (Anaerobic threshold) ถ้ายังออกกำลังกายต่อเนื่องต่อไปก็จะทำให้ร่างกายเกิดภาวะความเป็นกรด (Acidosis) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบต่าง ๆ ของร่างกาย จนในที่สุดต้องหยุดออกกำลังกาย ด้วยเหตุนี้จุดเริ่มล้าอาจจะเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพในการออกกำลังกาย ซึ่งสอดคล้องกับ เดอมาร์ล และคณะ (Demarle et al., 2003) ได้มีการศึกษาและแสดงให้เห็นว่าการฝึกหนักสลับพัก จะส่งผลทำให้จุดเริ่มล้าดีขึ้น ส่งผลให้สามารถทนต่อความหนักขณะออกกำลังกายได้นานขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการพัฒนาความสามารถของ สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เนื่องจากการที่เกิดความล้าที่ช้าจะสามารถอดทนต่อการออกกำลังกายที่ความหนักสูง ส่งผลให้สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ดีขึ้น

3. การฝึกสมรรถภาพทางกายของกีฬาประเภทหนักสลับพัก

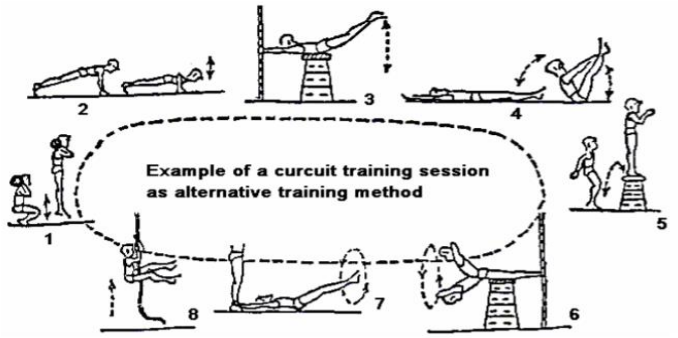
3.1 หลักในการฝึก (Principle of training)

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบโปรแกรมการฝึกกีฬาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ข้อดังนี้ (Bompa, 1993)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.1 หลักการของความหลากหลายในการฝึก (Principle of variety)

ความหลากหลายในการฝึกเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาการฝึกเพราะจะส่งผลดีต่อร่างกาย และจิตใจของนักกีฬา การฝึกที่ซ้ำ ๆ กันนั้นนักกีฬาจะเกิดความเบื่อหน่าย ไม่เกิดความอยากฝึก การให้ความหลากหลายของรูปแบบการฝึกที่เหมาะสมกับการพัฒนาการ การเคลื่อนที่และเคลื่อนไหวของร่างกายในช่วงก่อนการแข่งขัน ในช่วงระหว่างแข่งขัน และช่วงจบฤดูการแข่งขัน ความหลากหลายในการฝึกโดยการการใช้น้ำหนักในการฝึกที่สัมพันธ์กับหลักการเพิ่มน้ำหนักแบบก้าวกระโดดในการฝึก ความหลากหลายในเรื่องของชนิดของการหดตัวของกล้ามเนื้อ ความหลากหลายในเรื่องของความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ตามโปรแกรมที่กำหนดที่สัมพันธ์กับช่วงของการฝึก และรวมไปถึงความหลากหลายของเครื่องมือที่ใช้ในการฝึก ความหลากหลายของระยะเวลาในการฝึก จะส่งผลให้การฝึกและนักกีฬามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 หลักการของความหลากหลายในการฝึก

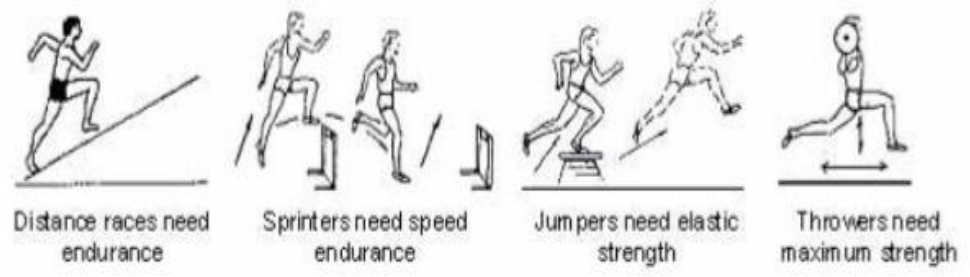
ที่มา: Hoffman (2002)

3.1.2 หลักการของความแตกต่างของแต่ละบุคคล (Principle of individualization)

ความแตกต่างระหว่างบุคคลในการฝึกที่จะต้องคำนึงถึง คือ ระดับความสามารถของแต่ละ บุคคล และรวมไปถึงพื้นฐานของแต่ละบุคคล ดังนั้น ถ้ามีนักกีฬา 10 คน ก็หมายความว่าความแตกต่างของแต่ละบุคคลก็ต้องมีมากขึ้นตามจำนวนนักกีฬาที่มี ถึงแม้นักกีฬาจะเล่นกีฬาประเภทเดียวกันการฝึกก็อาจจะไม่เหมือนกัน

3.1.3 หลักการของความเฉพาะเจาะจง (Principle of specificity)

การตอบสนองทางสรีรวิทยา เมตาบอลิซึมของร่างกายและการปรับตัวของร่างกายต่อการฝึกแบบเฉพาะเจาะจงในแต่ละชนิดของการออกกำลังกายและกลุ่มของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องในการฝึก เช่น การฝึกเพื่อพัฒนาความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด ชนิดของการออกกำลังกายจะต้องเป็นลักษณะที่ต่อเนื่องมีการเคลื่อนไหวของร่างกายเป็นการใช้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ การฝึกการยืดเหยียดจะเป็นการฝึกเพื่อพัฒนาพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อต่อและความอ่อนตัว และการฝึกด้วยแรงต้านเป็นการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ ซึ่งความแข็งแรงและความทนทานที่ได้มาก็จะเฉพาะเจาะจงต่อกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ออกกำลังกาย ชนิดของความเร็วของการหดตัวขณะฝึก และระดับความหนักของการฝึก

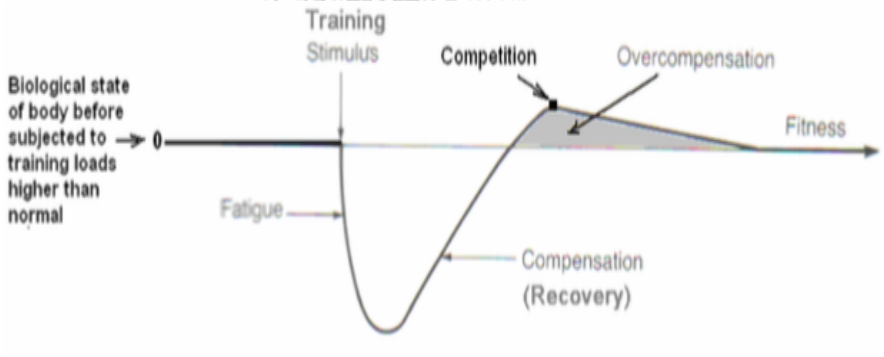


ที่มา: (Hoffman, 2002)

รูปที่ 2 หลักการของความเฉพาะเจาะจง

3.1.4 หลักการฝึกหนักเกินปกติ (Overload training principle)

เพื่อที่จะพัฒนาสมรรถภาพร่างกายให้ดีขึ้นกว่าเดิม การทำงานของระบบต่าง ๆ ทางสรีรวิทยาของร่างกายจะต้องได้รับความหนักเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม (Overload) หลักการเพิ่มความหนักทำได้โดยเพิ่มความถี่การฝึก เพิ่มระดับความหนักหรือเพิ่มระยะเวลาของการฝึกในการฝึกแบบแอโรบิค ส่วนการฝึกความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อก็ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนครั้ง เซ็ท ซึ่งการฝึกจะต้องฝึกจนเคยชินมาก่อนแล้ว



รูปที่ 3 หลักการฝึกหนักเกินปกติ

ที่มา: (Hoffman, 2002)

3.2 รูปแบบของการฝึกออกกำลังกายที่ช่วยพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

3.2.1 การฝึกออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง ที่ความหนักปานกลาง (Moderate intensity, continuous exercise training, MICT)

เป็นกิจกรรมหรือการฝึกที่ทำอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีช่วงหยุดพัก เช่น การวิ่งช้าระยะทางยาว (Long slow distance, LSD) เป็นระยะเวลา 60-120 นาที จะใช้ความเข้มข้นในการฝึกระดับเบาถึงปานกลาง (60-70% VO_2max) การปรับตัวที่เกี่ยวข้องกับการฝึกมีความสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพความอดทน การปรับตัวทางสรีรวิทยารวมถึงปริมาณเลือดและความหนาแน่นของไมโทร

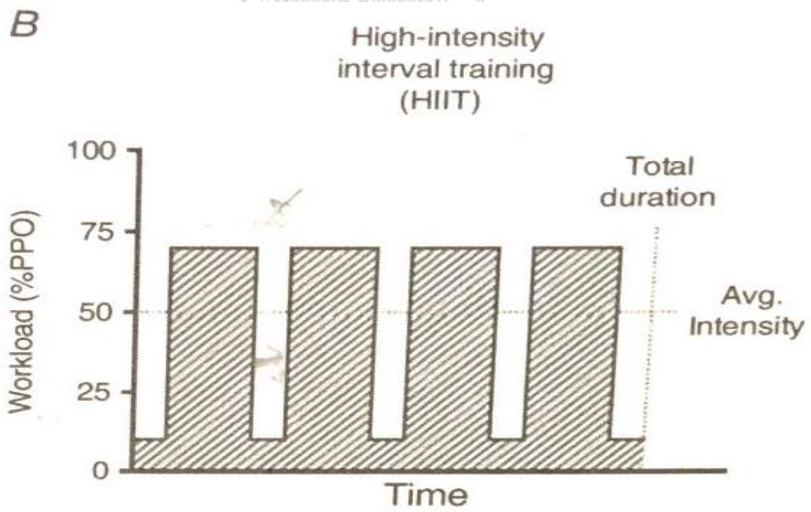
คอนเดรีย นอกจากนี้การฝึก LSD เป็นประโยชน์ต่อนักกีฬาที่ต้องการจะพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อ (Whyte, 2006)

3.2.2 รูปแบบของการฝึกหนักสลับช่วง (Interval training)

รูปแบบการฝึกแบบหนักสลับช่วง เป็นการให้ออกกำลังกายหลาย ๆ ครั้ง โดยมีลักษณะของการที่มีการผสมผสานระหว่างช่วงของการฝึกและช่วงของการพักเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบระหว่างการออกกำลังกาย โดยในการออกกำลังกายแบบหนักสลับพัก จะมีการสลับกันของ “การระเบิด” โดยมีรูปแบบของการฝึกที่ความเข้มระดับสูงสุด (high intensity training: HIT) , การฝึกรูปแบบของการฝึกความเข้มระดับสูงสุด (Sprint interval training: SIT) และรูปแบบของการฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training: RST) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.3 รูปแบบของการฝึกที่ความเข้มหนัก (High intensity training, HIT)

คือการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับช่วงที่กำหนดความหนัก จากค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรืออัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ซึ่งส่วนใหญ่มักจะกำหนดความหนักที่ 85-95% อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยคงความหนักในช่วงเวลาหนึ่ง และมีช่วงเวลาพักสลับต่อเนื่องกันไป โดยมีการกำหนดช่วงเวลาของการฝึกและช่วงเวลาของการพักอย่างเป็นระบบ (work : rest ratio) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปแบบของการฝึกที่ความเข้มระดับสูงสุด (high intensity training: HIT)
ที่มา: (MacInnis & Gibala, 2017)

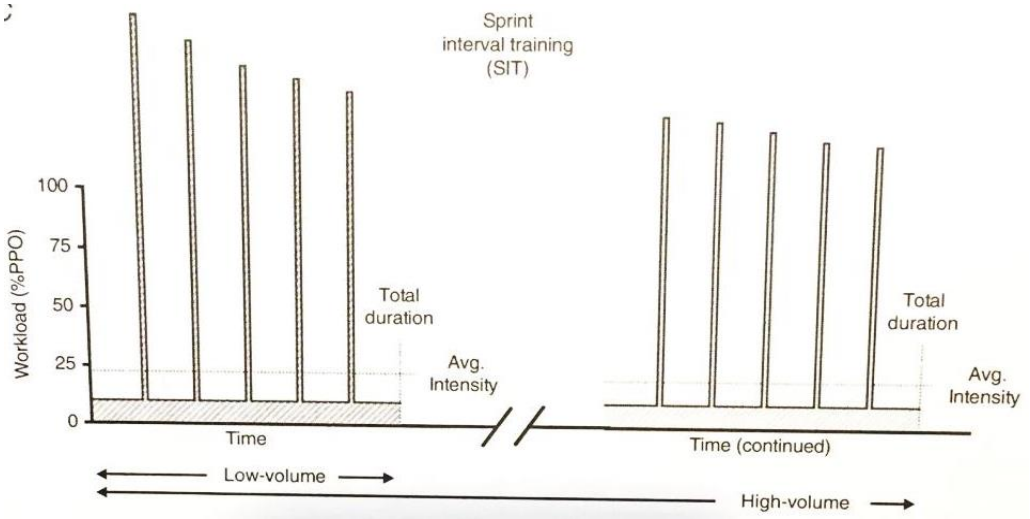
3.2.4 รูปแบบของการฝึกความเข้มระดับสูงสุด (Sprint interval training, SIT)

เป็นการฝึกแบบหนักสลับช่วงรูปแบบหนึ่ง โดยใช้การออกกำลังกายด้วยการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดหลายๆรอบ และสลับด้วยการพัก โดยในการออกกำลังกายแบบนี้ จะมีการสลับกันของ การออกแรงระเบิด (Explosive power) ในขณะออกกำลังกายประมาณ 30 วินาที หรือช่วงสั้นๆ ระดับความ

หนักของการฝึกจะสูงกว่าค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) หรือสูงกว่าอัตราการเต้นของชีพจรที่ระดับ 90% ของอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด (HRmax) หรือมากกว่า 100% ของความเร็วสูงสุดแบบแอโรบิค (vVO_2max) และมีระยะเวลาพักระหว่างเซ็ทประมาณ 2-4 นาที เพื่อฟื้นฟูพลังงานที่ได้สูญเสียไปใน 30 วินาที การฝึกนี้จะช่วยในการเผาผลาญพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการใช้ออกซิเจนในส่วนปลาย จึงทำให้ร่างกายได้มีโอกาสพัฒนาระบบ แอโรบิคและแอนแอโรบิค จึงเหมาะสมกับกีฬาประเภททีม ที่มีลักษณะการเล่นแบบผสมผสาน (Buchheit & Laursen, 2013)

นอกจากนี้ยังช่วยให้ร่างกายได้พักเพิ่มเติมพลังและขจัดของเสีย ตลอดจนความร้อนที่เกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อเข้าสู่ระบบไหลเวียน เป็นการลดความเหนื่อย และชะลอจุดเริ่มล้า ทำให้ออกกำลังกายได้มากขึ้น และนานขึ้น การฝึกแบบแบบสลับช่วงเวลาพัก เป็นระบบของการพัฒนาหรือรักษาสมรรถภาพ ประกอบด้วยการฝึกที่เป็นชุด สลับกับช่วงเวลาของการพัก การศึกษาของคิงและคณะ (King, Broeder, Browder, & Panton, 2002) ที่ศึกษาเปรียบเทียบผลการฝึกวิ่งแบบแบบสลับช่วงเวลาพัก และการฝึกวิ่งแบบต่อเนื่องในผู้หญิงที่น้ำหนักตัวเกินที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมัน พบว่า การฝึกแบบแบบสลับช่วงเวลาพัก ช่วยลดปริมาณไขมันในร่างกายได้ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ เฮดเทิลลิดและคณะ (Hetlelid, Herold, & Seiler, 2009) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานรวมและอัตราการเผาผลาญไขมันของผู้ที่ฝึกเป็นอย่างดีและผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำเมื่อวิ่งแบบหนักสลับช่วงบนลู่วิ่งกลเป็นเวลา 34 นาที โดยแบ่งเป็น 6 เซ็ท แต่ละเซ็ทให้วิ่งที่ความเร็วเต็มที่เท่าที่จะสามารถวิ่งได้ 4 นาที สลับกับช่วงเบา 2 นาที ผลการศึกษาพบว่าผู้ที่ฝึกเป็นอย่างดีจะมีอัตราการเผาผลาญไขมันสูงถึงร้อยละ 35 จากพลังงานรวมทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการฝึกแบบหนักสลับช่วงนั้นสามารถที่จะใช้ไขมันมาเผาผลาญให้เป็นพลังงานได้เช่นเดียวกับการฝึกแบบต่อเนื่อง นอกจากนี้ ชาคาโรเจียนิสและคณะ (Zacharogiannis, Tziortzis, & Paradisis, 2003) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบหนักสลับช่วงและการฝึกความเร็วเต็มความสามารถที่มีต่อสมรรถภาพทางแอนแอโรบิค โดยกลุ่มฝึกแบบต่อเนื่องฝึกที่ความหนักร้อยละ 70 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ กลุ่มฝึกแบบหนักสลับช่วงที่ความหนักร้อยละ 85-100 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ และกลุ่มฝึกความเร็วเต็มความสามารถ 20-50 เมตร พบว่า ภายหลังการฝึกความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ของกลุ่มที่ฝึกแบบหนักสลับช่วงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การฝึกชนิดนี้มีข้อจำกัดคือ ควรใช้ฝึกกับนักกีฬาที่มีประสบการณ์และการเตรียมความพร้อมทางด้านความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิคเป็นอย่างดีแล้ว และเน้นเนื่องจากการฝึกชนิดนี้เป็นการฝึกที่มีความหนักสูง ระยะเวลาพักน้อย จึงควรจัดโปรแกรมการฝึกให้ระยะเวลาฝึกและพักมีความสัมพันธ์กันและตรงกับประเภทของกีฬา (Shephard & Astrand, 1992)



รูปที่ 5 รูปแบบการฝึกความเข้มระดับสูงสุด
ที่มา: (MacInnis & Gibala, 2017)

3.2.5 รูปแบบของการฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training, RST)

เป็นการฝึกสปรินท์ซ้ำที่ระดับความหนักสูง เป็นรูปแบบการฝึกที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากเป็นการฝึกแบบผสมผสานในระบบพลังงานแบบแอโรบิคและการฝึกความแข็งแรง ซึ่งจะช่วยพัฒนาทั้งความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การฝึกสปรินท์ซ้ำเป็นรูปแบบการฝึกที่ได้รับความนิยมของโค้ชในการฝึกกีฬาประเภททีมโดยมีจุดมุ่งหมายของการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทั้งด้านแอโรบิคและแอนแอโรบิค ตลอดจนความสามารถในการทนต่อสภาพความเมื่อยล้าได้ดี โดย บัลซอมและคณะ และดัพฟิว และคณะ (Balsom, Seger, Sjödin, & Ekblom, 1992; Duffield, King, & Skein, 2009) ได้กล่าวว่าความสามารถในการสังเคราะห์ Phosphocreatine นั้นอาจจะเป็นปัจจัยสำคัญของความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาความสามารถของระบบแอโรบิคให้มีพื้นฐานที่ดีเพื่อรับมือกับการกำจัดกรดแลคติคออกจากกล้ามเนื้อและเลือดได้อย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยให้การสังเคราะห์ Phosphocreatine ระหว่างการวิ่งซ้ำได้ดี ส่งผลทำให้ร่างกายมีความสามารถในการใช้เอทีพีและซีพีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะสามารถปฏิบัติกิจกรรมที่มีความเข้มข้นต่อไปได้ยาวนานมากขึ้น โดยปัจจุบันนั้นการฝึกด้วยการสปรินท์ซ้ำที่ความหนักสูง โดยทำการสปรินท์เต็มที่ประมาณ 3-7 วินาที ใช้ระยะเวลาในการพัก น้อยกว่า 60 วินาที สามารถช่วยในการพัฒนาระบบพลังงานทั้งแบบการใช้ออกซิเจน, ไม่ใช้ออกซิเจน และมีการพัฒนาการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อร่วมด้วย (Buchheit & Laursen, 2013) งานวิจัยของ สเปนเซอร์ และคณะ (Spencer, Bishop, Dawson, Goodman, & Duffield, 2006)

ได้มีการศึกษาและแสดงให้เห็นว่าผู้ชายที่ผ่านการฝึกระดับปานกลางที่มีสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ดีนั้นจะมีความสามารถในการทดสอบความสามารถในการวิ่งซ้ำได้ดีกว่าผู้ที่มีสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดน้อย จากข้อมูลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบของการวิ่งสปรินท์ซ้ำนั้นมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบการแข่งกีฬารักบี้ 7 คน การฝึกรูปแบบสปรินท์ซ้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น ช่วยเพิ่มความสามารถในการรักษาความเร็วของการออกตัวหรือการวิ่งซ้ำ (Repeated sprint ability) ส่งผลให้สมรรถภาพทางกายของนักกีฬาประเภททีมดีขึ้นและทนต่อความเมื่อยล้าในการแข่งขันได้เป็นอย่างดี ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงเลือกการฝึกสปรินท์ซ้ำมาใช้ในการฝึกเสริมให้กับนักกีฬารักบี้ 7 คน

4. การฝึกบนที่ระดับความสูง (High altitude training)

มีประชากรในโลกจำนวนมากที่อาศัยอยู่บนที่สูง (เหนือระดับน้ำทะเล) ตั้งแต่ 3,048 – 5,486.4 เมตร บริเวณดังกล่าวนี้เรียกว่า ระดับความสูง (High altitude) บุคคลพื้นเมืองที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวนี้จะมีการปรับตัวจนชินต่อที่สูง (Adaptation) เช่น ผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณแถบภูเขาหิมาลัยซึ่งสูง 5,846 เมตร ก็ยังสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ อย่างไรก็ตามการที่มนุษย์ขึ้นไปอยู่บนที่สูง ที่มีความดันบรรยากาศต่ำกว่าความกดดันบรรยากาศบนพื้นราบจากระดับน้ำทะเล ซึ่งมีค่าความกดดันบรรยากาศเท่ากับ 1 บรรยากาศ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอทนั้น อาจส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตและความสามารถในการทำงานของร่างกาย ถึงกระนั้นก็ตามเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูงสักระยะหนึ่งร่างกายจะมีการปรับตัวจนชินต่อที่สูง (Acclimatization) โดยการปรับตัวจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ การออกกำลังกายและกิจกรรมอื่น ๆ ที่มนุษย์ทำในชีวิตประจำวันอาจได้รับผลกระทบซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับความสูง โดยทั่วไปยิ่งความสูงมากผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตและการทำงานของร่างกายก็ยิ่งมากขึ้น เนื่องจากในสภาพแวดล้อมบนที่สูง ปริมาณของออกซิเจนในบรรยากาศเบาบาง จากการที่ความกดดันบรรยากาศลดลง (Strauss, 1984) ซึ่งโดยปกติแล้ว ความต้องการออกซิเจนในการสร้างพลังงานของร่างกาย ที่ความหนักระดับหนึ่ง จะคงที่เสมอไม่ว่าระดับความสูงจะมากน้อยเพียงใด ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายได้รับจึงลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น โดยยิ่งสูงมากปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายได้รับก็ลดลงมาก (Karpovich, 1971) แม้ว่าสัดส่วนของออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศจนถึงระดับความสูง 110,000 เมตร จะมีค่าคงที่เท่ากับร้อยละ 20.93 ก็ตาม แต่ออกซิเจนในบรรยากาศที่ปกคลุมพื้นผิวโลกที่ระดับน้ำทะเล จะถูกแรงดึงดูดของโลกกดดันให้โมเลกุลของก๊าซอัดแน่นกันมากกว่า ดังนั้นโมเลกุลของก๊าซที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรจึงมีมาก แต่บนที่สูงจากระดับน้ำทะเล แรงดึงดูดของโลกลดลง ทำให้อากาศเบาบางมากขึ้น ความหนาแน่นของก๊าซที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรจึงน้อยลง ส่งผลให้ความดันย่อยของออกซิเจนในบรรยากาศลดลงด้วย การแลกเปลี่ยนก๊าซซึ่งปกติเกิดขึ้นได้จากความแตกต่างของความดันออกซิเจนที่ถุงลมปอด กับความดันของออกซิเจนในเลือดดำ ที่ไหลเวียนเข้ามาในปอด หากความดันของออกซิเจนในอากาศหายใจเข้า

ลดลง จะทำให้ความดันของออกซิเจนในถุงลมปอดลดลงด้วย (Frisancho, Velásquez, & Sanchez, 1973) ซึ่งการที่ความดันบรรยากาศลดลงและทำให้ความดันของออกซิเจนลดลงนี้เรียกอีกว่า สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic condition)

บาทช์ ดโวแรค และซาลติน (Bärtsch, Saltin, & Dvorak, 2008; Sinex & Chapman, 2015) ได้กล่าวถึงการแบ่งระดับระดับความสูงของการฝึกบนที่สูงไว้ 4 ระดับคือ

1. ความสูงที่ใกล้เคียงระดับน้ำทะเล (Near sea level) มีความสูงตั้งแต่ 0 ถึง 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีค่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศร้อยละ 20.9 ถึงประมาณ 20.0 ซึ่งเป็นระดับออกซิเจนปกติ

2. ความสูงระดับต่ำ (Low altitude) มีความสูงมากกว่า 500 ถึง 2,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล ที่ระดับนี้พบว่า ความสามารถทางแอโรบิคจะลดลงเล็กน้อย มีค่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศตั้งแต่ประมาณร้อยละ 20.0 ถึงประมาณ 16.5

3. ความสูงระดับกลาง (Moderate altitude) มีความสูงมากกว่า 2,000 ถึง 3,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล ที่ระดับนี้พบว่า อาการแพ้ความสูง (Mountain sickness) จะเริ่มเกิดขึ้น และการปรับตัวจะมีผลที่สำคัญกับการประสิทธิภาพในการทำงาน มีค่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศตั้งแต่ประมาณร้อยละ 16.5 ถึงประมาณ 14.7

4. ความสูงระดับสูง (High altitude) มีความสูงมากกว่า 3,000 ถึง 5,500 เมตร จากระดับน้ำทะเล ที่ระดับนี้พบว่า อาการแพ้ความสูง และประสิทธิภาพในการทำงานของร่างกายจะลดลงอย่างมาก มีค่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศตั้งแต่ประมาณร้อยละ 14.6 ถึงประมาณ 10.5

4.1 **การตอบสนองต่อที่สูง**

เมื่อร่างกายสัมผัสกับอากาศบนที่สูงหรือในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ร่างกายจะมีการปรับตัว โดยจะมีการตอบสนองทั้งที่เกิดขึ้นทันทีทันใด และการตอบสนองในระยะยาวที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายเกิดความเคยชินต่อการอยู่ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

4.1.1 การตอบสนองที่เกิดขึ้นทันที (Acute responses to altitude)

เมื่อขึ้นไปบนที่สูงร่างกายจะมีการตอบสนองทันที คือ (1) จะมีการหายใจเร็วและแรงขึ้น (Hyperventilation) (2) มีการไหลของเลือดเพิ่มขึ้นทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกายต่ำกว่าระดับสูงสุด (Submaximal exercise) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การระบายอากาศเพิ่มขึ้น (Hyperventilation) การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นทันทีเมื่ออยู่บนที่สูงและจะมีการเพิ่มขึ้นต่อเนื่องในช่วง 2-3 สัปดาห์แรก และอาจเพิ่มอยู่นานเป็นปีเมื่อต้องอาศัยอยู่ในที่สูงหรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ การเพิ่มการระบายอากาศเกิดจากการที่ออกซิเจนในเลือดลดน้อยลง ไปกระตุ้นคีโมรีเซปเตอร์ส่วนปลาย (Peripheral chemoreceptors) ทำให้มีการ

หายใจเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในถุงลม การเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนของออกซิเจนในถุงลมพร้อมกับการระบายอากาศจะช่วยทำให้ออกซิเจนในปอดเพิ่มขึ้น (Brodie, 1986)

2. ระบบไหลเวียนโลหิตมีการทำงานเพิ่มขึ้น (Circulatory response) โดยในระยะแรกของการขึ้นไปบนที่สูงพบว่า อัตราการเต้นหัวใจ (Submaximum heart rate) จะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาตรการสูบฉีดของเลือดในหนึ่งนาที (Cardiac output) อาจเพิ่มขึ้นได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาตรการสูบฉีดเลือดต่อการเต้นของหัวใจหนึ่งครั้ง (Stroke volume) จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยในระยะแรกการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดที่มาจากอัตราการสูบฉีดเลือดในหนึ่งนาทีสามารถชดเชยภาวะที่เลือดมีออกซิเจนลดลงได้ (McArdle, Katch, & Katch, 2010)

3. การสูญเสียน้ำ (Fluid loss) เนื่องจากบนที่สูงนั้นจะมีอากาศเย็นและแห้ง จึงทำให้ร่างกายอาจสูญเสียน้ำออกไปโดยการระเหยจากทางเดินหายใจได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ร่างกายขาดน้ำ ปากและคอแห้ง โดยเฉพาะถ้าออกกำลังกายด้วยก็จะยิ่งเสียน้ำออกไปอีกทางเหงื่อจึงทำให้ร่างกายขาดน้ำมากขึ้น ดังนั้นจึงควรให้มีการตรวจสอบน้ำหนักร่างกาย และดื่มน้ำชดเชยอยู่เสมอ (McArdle, Katch, & Katch, 2007)

4. กลุ่มอาการแพ้ความดันอากาศในที่สูง (Acute mountain sickness symptoms) แม้ร่างกายจะมีความสามารถในการปรับตัวได้อย่างรวดเร็วก็ตาม แต่ก็อาจจะเกิดอาการเจ็บป่วยจากการขึ้นไปอยู่บนที่สูง ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับคนส่วนใหญ่เมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูงประมาณ 3,048 เมตร หรือสูงกว่า โดยมักเริ่มด้วยอาการปวดศีรษะเนื่องจากหลอดเลือดในสมองมีการขยายตัว ตามด้วยมีอาการมึนศีรษะ, คลื่นไส้, อาเจียน, ตามัว, นอนไม่หลับ และอ่อนเพลีย และมักมีอาการเบื่ออาหารร่วมด้วย จนอาจทำให้ได้รับพลังงานจากสารอาหารลดลงหรือไม่เพียงพอ

4.1.2 การปรับตัวระยะยาว (Adaptive responses to altitude)

การเพิ่มการหายใจและการเพิ่มการขับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ทิ้ง เป็นการตอบสนองอย่างรวดเร็วขณะอยู่บนที่สูง ส่วนการปรับตัวระยะยาวนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญดังนี้ (1) การรักษาสมดุลของกรดด่างในร่างกาย (2) การสร้างฮีโมโกลบินและเม็ดเลือดแดงมากขึ้น และ (3) การปรับการทำงานระบบไหลเวียนเฉพาะที่ รวมทั้งหน้าที่ของเซลล์

1. การปรับสมดุลกรด-ด่าง เมื่ออยู่ในที่สูงร่างกายจะมีการขับ CO_2 ออกมามากทำให้ร่างกายเกิดภาวะเป็นด่าง (Alkalosis) เมื่อร่างกายสูญเสีย CO_2 มากไป ร่างกายจะมีการปรับตัวโดยการเพิ่มการขับไบคาร์บอเนต (HCO^-_3) ออกทางไต

2. ลดความสามารถการเป็นบัฟเฟอร์ เมื่อร่างกายต้องมีการปรับตัวทำให้ร่างกายต้องเสียด่างสำรองไป ดังนั้นเมื่อออกกำลังกายแล้วมีการสร้างกรดแลคติค ร่างกายจึงไม่สามารถกำจัดหรือเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีข้อจำกัดในการออกกำลังกาย

3. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเลือด การปรับตัวระยะยาวที่สำคัญในการฝึกบนที่สูง คือ การเพิ่มความสามารถในการขนส่งออกซิเจนโดยการสร้างเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น เมื่อออกซิเจนในเลือดลดลง ไตจะสร้างฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน (Erythropoietin) เพิ่มขึ้น และการเพิ่มระดับของอีริโทรโพอิตินนี้จะช่วยกระตุ้นให้ไขกระดูกสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น เพื่อช่วยในการจับและขนส่งออกซิเจนไปสู่อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายผ่านระบบไหลเวียนเลือด (Wilber, Stray-Gundersen, & Levine, 2007)

4. การปรับตัวของเซลล์ พบว่า หลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้อลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เพื่อช่วยลดระยะทางในการแพร่ของออกซิเจนระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของไมโอโกลบินเพิ่มขึ้น ปริมาณของสาร 2,3 Diphosphoglycerate (2-3 DPG) ในเม็ดเลือดแดง และจำนวนไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) เพิ่มขึ้น รวมทั้งความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ในการเผาพลาญพลังงานแอโรบิค (McArdle et al., 2007) ก็เพิ่มขึ้น

5. การเปลี่ยนแปลงของระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF

Hypoxia inducible factor-1 (HIF-1α) คือ โปรตีน ในกลุ่ม Transcription factor ซึ่งไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับออกซิเจน ซึ่งการหลั่ง HIF-1α นั้น จะถูกควบคุมโดยกลไกของการขาดออกซิเจน (Hypoxia) ที่ระดับเซลล์ การแสดงออกของ HIF-1α จะถูกกระตุ้นขึ้นเมื่อร่างกายขาดออกซิเจน เมื่อมีการกระตุ้น HIF-1α จะทำให้ Vascular endothelial growth factor (VEGF) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่ (Angiogenesis) ทำให้จำนวนของหลอดเลือดฝอยเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

Vascular endothelial growth factor (VEGF) จัดเป็นโกรทแฟคเตอร์ (Growth factor) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างหลอดเลือด โดยโปรตีน VEGF จะถูกหลั่งออกมาจากเซลล์กล้ามเนื้อ และจับกับตัวรับ (Receptor) เพื่อกระตุ้นให้เกิดการสร้างหลอดเลือดขึ้น (Angiogenesis) จากนั้นจะเพิ่มจำนวนและมีการพัฒนาเป็นหลอดเลือดใหม่ ในกระบวนการการสร้างหลอดเลือดใหม่ ตัวรับของโปรตีน VEGF (VEGF-receptor) เป็นไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) ที่อยู่บนผิวของเนื้อเยื่อ (Vascular endothelium) ซึ่งจะถูกจับกับโปรตีน VEGF แล้วจะกระตุ้นจากเซลล์ภายนอกแล้วส่งทอดสัญญาณนั้นเข้าสู่ภายในเซลล์ (Endothelial cells) ทำให้เกิดการสร้างและเจริญเติบโตของเซลล์ (Endothelial cells) สรุปได้ว่าโปรตีน VEGF มีบทบาทสำคัญในการสร้างหลอดเลือดภายในร่างกาย ดังนั้นภาวะใดหรือสารใดที่สามารถกระตุ้นให้มีการหลั่งโปรตีน VEGF ได้ ก็ยอมทำให้เกิดการสร้างหลอดเลือดขึ้นมาในบริเวณนั้นได้ เช่น ภาวะขาดออกซิเจน (Hypoxia) (Lemus-Varela et al., 2010)

กระบวนการการสร้างหลอดเลือดใหม่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ

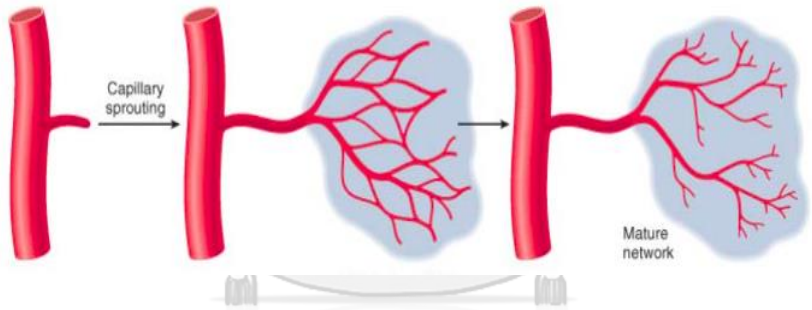
1) การขยายตัวหลอดเลือดเดิม (Vasodilatation) เนื่องจากมีการหลั่งไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) และการเพิ่มขึ้นของการซึมผ่าน (Permeability) ของหลอดเลือดเดิม เนื่องจากมีการหลั่ง VEGF

2) การสลายตัวของฐานรองเนื้อเยื่อ (Basement membrane) เนื่องจากมีการหลั่ง Metalloproteinase และการทำลายการเชื่อมต่อของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดด้านใน เนื่องจากมีหลั่งสาร Plasminogen activator

3) การเคลื่อนที่ของเซลล์บุผนังหลอดเลือด (Endothelial cells) จากหลอดเลือดเข้าสู่บริเวณรอยโรค และแบ่งตัว เพิ่มจำนวนของเซลล์ดังกล่าว

4) การพัฒนาเปลี่ยนแปลงของ Endothelial cells และเรียงตัวเกิดเป็นท่อของหลอดเลือดขึ้น พร้อมกับยับยั้งการเปลี่ยนแปลงในบริเวณที่มีการสร้างเซลล์เพียงพอแล้ว

5) การเคลื่อนที่เข้ามาของเพริทีส (Pericytes) และเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6 การสร้างหลอดเลือดฝอยจากหลอดเลือดที่มีอยู่เดิม
(Tseung, 2005)

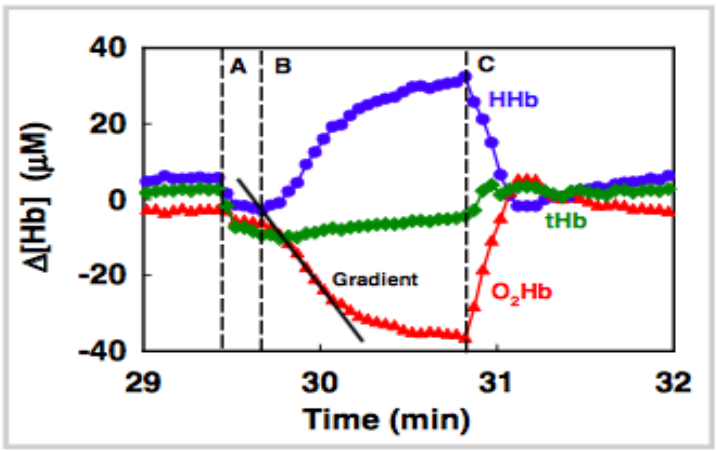
สรุปได้ว่า การลดลงของของออกซิเจนในอากาศและการออกกำลังกายจะส่งผลกระตุ้นทำให้มีการหลั่ง HIF-1α เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถที่จะช่วยในการกระตุ้นการแสดงออกของโปรตีน VEGF ซึ่งทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่ ช่วยเพิ่มการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อ (Ohno et al., 2012)

6. ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation)

ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างความสามารถในการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อ (Oxygen delivery) และความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ (Oxygen utilization) โดยวัดจากเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Near-infrared spectroscopy ; NIRS) ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือนี้ได้มีการพัฒนาให้มีขนาดกระทัดรัด และสามารถ

นำมาใช้ในการประเมินผลฉับพลันและผลการฝึกของการออกกำลังกายแบบทันทีทันใด (Real time) ในนักกีฬาสกีครอสคันทรี นักปั่นจักรยาน นักฟุตบอล นักวิ่งสปรินท์และ นักไตรกีฬา เป็นต้น จากการศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่า NIRS มีความเที่ยงและน่าเชื่อถือสามารถใช้ในการประเมินการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อระหว่างในขณะออกกำลังกายได้ (Austin et al., 2005; Kell, Farag, & Bhambhani, 2004) (ดังรูปที่ 7) ที่โดยอาศัยหลักการของการดูดซับแสงอินฟาเรด ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของการขนส่งออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (Oxyhemoglobin: O_2Hb) และฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (Deoxyhemoglobin: HHb) ซึ่งมักจะนิยมแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ดัชนีการใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อที่กล้ามเนื้อ (Tissue oxygen saturation: TSI) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

ดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (%) =
(ปริมาณออกซิเจนที่จับกับฮีโมโกลบิน / ฮีโมโกลบินทั้งหมด) x 100



รูปที่ 7 การวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (O_2Hb) ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) และปริมาณรวมของฮีโมโกลบิน+มัยโอโกลบิน

ตัวอย่างเช่น ชิบูย่า และ ทานากะ (Shibuya & Tanaka, 2003) พบว่าปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อในขณะการออกกำลังกายที่เพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อความหนักของงานเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อจะบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อมากกว่าการขนส่งออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะการออกกำลังกายที่เพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อจะลดลงเรื่อย ๆ จนกว่าผู้ทดสอบจะหยุดออกกำลังกายหรือหมดแรง (Bhambhani, Maikala, & Esmail, 2001; Caen et al., 2019) โดยปกติการลดลงของเปอร์เซ็นดัชนีการใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อที่กล้ามเนื้อใน

ระหว่างการออกกำลังกายจะลดลงจากค่าพื้นฐาน ประมาณร้อยละ 60-80 (Hyttel-Sorensen, Sorensen, Riera, & Greisen, 2011) เนื่องจากความต้องการออกซิเจนที่สูงขึ้นอันเป็นผลมาจากพลังงานที่ต้องการมากขึ้น ด้วยความเข้มข้นของการออกกำลังกายที่สูงขึ้น ความสามารถในการใช้ออกซิเจนลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการใช้ออกซิเจนที่สูงกว่าการขนส่งออกซิเจน การลดลงของปริมาณออกซิเจนนี้สามารถทำให้เกิดความเหนื่อยล้าทั้งในระดับส่วนปลายและส่วนกลาง (Amann & Calbet, 2008; Bogdanis et al., 1995) นอกจากนี้ในขณะออกกำลังกาย พบว่า ค่าฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) สูงขึ้นสะท้อนให้เห็นถึงร่างกายสามารถสกัดออกซิเจนได้ดีขึ้นหลังจากการฝึกหนักสลับพักที่มีความหนักสูง (Caen et al., 2019)

ในปัจจุบันมีการศึกษาและอธิบายการตอบสนองต่อการลดลงอย่างต่อเนื่องของออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำร่วมกับการออกกำลังกายเพื่อประเมินการปรับตัวในการขนส่งและการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยใช้สัญญาณอินฟราเรดจากสเปกโทรสโกปี (NIRS) สามารถใช้ในการประมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยออกซิเจนของกล้ามเนื้อจะลดลงในระหว่างการออกกำลังกายและการตอบสนองของการลดลงนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย มาร์ตินและคณะ (Martin et al., 2009) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนที่กล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย โดยใช้เครื่องวัดออกซิเจนที่กล้ามเนื้อ (Near-infrared spectroscopy: NIRS) ในอาสาสมัครจำนวน 24 คน ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ได้แก่ระดับน้ำทะเล (75 เมตร), 3,500 เมตร โดยทำการทดสอบโดยการปั่นจักรยานที่ความหนักเบาเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเพิ่มความหนัก 20-30 วัตต์ ทุก ๆ นาที จนกระทั่งล้า โดยทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อ Vastus Lateralis ขณะออกกำลังกาย พบว่า ค่าปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อ (StO_2) ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

ความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำที่มีความหนักสูงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการกำหนดสมรรถภาพของร่างกายต่อรูปแบบในกีฬาประเภททีม (Glaister, 2005) เช่น ปัจจัยทางด้านความเร็วในการเคลื่อนที่ อาจอธิบายถึงประสิทธิภาพในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ อย่างไรก็ตามการเกิดความล้าในส่วนปลาย (Peripheral) เชื่อกันว่าแหล่งพลังงาน ฟอสเฟตครีเอทีน (Pcr) จะไม่สามารถฟื้นฟูแหล่งพลังงานนี้กลับมาได้อย่างเหมาะสมหากปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ (Bogdanis, Nevill, Boobis, Lakomy, & Nevill, 1995) เพราะฉะนั้นความสามารถในการสปรินท์ซ้ำที่มีประสิทธิภาพดีต้องอาศัยความสามารถทางด้านแอโรบิค ซึ่งก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความสามารถในการสปรินท์ซ้ำดีขึ้น จอนส์และคณะ (Jones, Hamilton, & Cooper, 2015) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำหนักสลับพักโดยการปั่นจักรยาน ต่อจลนพลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและประสิทธิภาพในระหว่างการทดสอบสมรรถภาพทางกาย ในกลุ่มฮอกกี้หญิง 25 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1.กลุ่มทดลอง (EXP) 2. กลุ่มควบคุม (CON) โดยกลุ่มทดลองทำการฝึกหนักสลับพัก ซึ่ง

เป็นโปรแกรมเสริมจากโปรแกรมเดิม เป็นเวลา 6 ๆ สัปดาห์ละ 1 วัน พบว่า ภายในกลุ่มทดลองมีสมรรถภาพขณะทำการทดสอบเพิ่มขึ้น อีกทั้งหลังการฝึกในกลุ่มทดลองยังแสดงการเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจนที่ดีขึ้น จากผลการเพิ่มขึ้นของตัวแปรดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการใช้ปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย

4.2 การฝึกบนที่สูงและการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ

4.2.1 การฝึกในที่สูงกับสมรรถภาพที่ระดับน้ำทะเล

เป็นที่ทราบกันดีว่าการปรับตัวให้ชินต่อสภาพบนที่สูงนั้นจะทำให้ความสามารถในการทำงานหรือออกกำลังกายบนที่สูงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นไปได้ว่าการปรับตัวของระบบไหลเวียนเลือดรวมทั้งหน้าที่ของเซลล์บนที่สูงจะทำให้สมรรถภาพทางกายเพิ่มขึ้นเมื่อ ออกกำลังกายที่ระดับน้ำทะเล ปาร์ค และคณะ (Park, Hwang, Park, Lee, & Lim, 2016) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกบนที่สูงต่อการขนส่งออกซิเจนในเลือด (Oxygen delivery capacity) และความสามารถในการออกกำลังกายแบบแอโรบิค (Aerobic exercise capacity) ในนักกีฬา พบว่า หลังการฝึกบนที่สูงและเมื่อนำมาทดสอบในระดับน้ำทะเล มีการเพิ่มขึ้นของการขนส่งออกซิเจนในเลือด เช่น ฮีโมโกลบิน ฮีมาโทรคริต อีริโทรโพอิติน รวมทั้งมีการเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ในกลุ่มที่ทำการฝึกบนที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ทำการฝึกที่ระดับน้ำทะเล ดังนั้นสรุปได้ว่าการฝึกในสภาวะที่สูงจะให้ผลในการขนส่งออกซิเจนในเลือดและความสามารถในการออกกำลังกายแอบแอโรบิคได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการฝึกที่ระดับน้ำทะเล ในขณะที่งานวิจัยบางส่วนพบว่า การฝึกในที่สูงกับสมรรถภาพที่ระดับน้ำทะเลนั้น ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถสูงสุดหรือประสิทธิภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด มอร์ทอน และเคเบิล (Morton & Cable, 2005) ได้ทำการศึกษาผลการฝึกในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพทางกายแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในกลุ่มนักกีฬาชายประเภทกีฬาทีม พบว่า การฝึกในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำจะมีการพัฒนาสมรรถสมรรถภาพทางกายแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการฝึกที่ระดับน้ำทะเล โบรชีรี และคณะ (Brocherie et al., 2015) ได้ทำการศึกษาการฝึกแบบหนักสลับพักที่ความหนักสูงภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำในนักกีฬาฟุตบอลชั้นยอด พบว่า หลังการฝึกไม่สามารถเพิ่มพลังระเบิดของขา ความเร็วสูงสุด และความสามารถในการวิ่งสปรินท์ได้ แม้ว่าวิธีการฝึกแบบหนักสลับพักจะยังเป็นปัญหาถกเถียงถึงผลของการฝึก จากความไม่เหมาะสมของปัจจัยในเรื่องความหนักในการออกกำลังกาย วิธีการออกกำลังกาย ระดับปริมาณของออกซิเจนในอากาศขณะออกกำลังกาย

กล่าวโดยสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปรับตัวในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ คือ ระดับของการขาดออกซิเจน, ระยะเวลาที่อยู่ในสภาวะพร่องออกซิเจน, ความหนักในการออกกำลังกาย, การตอบสนองของแต่ละคนในการปรับตัวในสภาวะขาดออกซิเจน ดังนั้น ก็จะสามารถช่วยให้ระดับความสามารถของนักกีฬาเพิ่มมากขึ้นได้

4.2.2 การฝึกสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric hypoxic training)

การฝึกนี้เป็นวิธีการฝึกที่พัฒนามาจากหลักการฝึกแบบพักอยู่ในที่ระดับน้ำทะเล และฝึกบนที่สูง (Live low –train high : LLTH) ซึ่งเป็นการฝึกนักกีฬาในสภาวะที่ในอากาศมีออกซิเจนน้อยกว่าปกติ ซึ่งโดยทั่วไปจะนิยมใช้วิธีการฝึกในภูมิประเทศที่มีความสูงระดับสูง (High altitude training camp) ซึ่งอาจมีข้อจำกัด เช่น ความไม่สะดวกในการเดินทาง และค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ในปัจจุบันจึงได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการสร้างระบบจำลองสภาวะความสูงที่เหมาะสม (Simulated altitude training) โดยให้นักกีฬาฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติหรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันอากาศต่ำในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาน้อยกว่า 3 ชั่วโมง 2-5 ครั้งต่อสัปดาห์ (Wilber et al., 2007) ซึ่งการฝึกแบบ LLTH นี้สามารถนำมาใช้ได้ทั้งเมื่อนักกีฬาอยู่ในช่วงพัก ซึ่งเรียกว่า การสัมผัสหรือการพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Intermittent hypoxic exposure: IHE) และช่วงที่นักกีฬาทำการฝึกซ้อม ซึ่งเรียกว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Intermittent hypoxic training: IHT)

ซึ่งจากการวิจัยพบว่าการฝึกในสภาวะจำลองที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำให้ผลการตอบสนองของตัวแปรทางสรีรวิทยาทั้งระยะสั้นและระยะยาว ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate), ปริมาณเลือดที่บีบออกจากหัวใจ จากการหดตัวแต่ละครั้ง (Stroke volume), ปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกไปภายใน 1 นาที (Cardiac output) ปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงยังกล้ามเนื้อ (Muscle blood flow) คล้ายกับการฝึกบนที่สูง (Natural altitude training) (Mazzeo, 2008) นอกจากนี้การฝึกในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของกล้ามเนื้อและสมรรถภาพทางกายได้ โดยมีการปรับตัวของยีนส์ การเพิ่มเอนไซม์ไกลโคไลติก การขนส่งกลูโคส และการควบคุมความเป็นกรดด่างในร่างกายได้

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

โบวเทล และคณะ (Bowtell, Cooke, Turner, Mileva, & Sumners, 2014) ได้ทำการศึกษาผลของการตอบสนองอย่างฉับพลันความสามารถในการวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว ใน

สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (F_iO_2: 12.0%, 13.0%, 14.0%, 15.0%, 21.0%) ในนักกีฬาชายจำนวน 9 คน โดยให้การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดในระยะเวลา 6 วินาที สลับกับการพัก 30 วินาที จำนวน 10 เที่ยว ที่สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำทั้ง 5 ระดับ ผลการวิจัยพบว่า ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ส่งผลให้ตัวแปรทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ การระบายอากาศ ปริมาณแลคเตทในเลือด เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง ปริมาณของฮีโมโกลบินที่ไม่ได้จับกับออกซิเจน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (F_iO_2 = 21%) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีค่าสูงที่สุดที่ F_iO_2 =13% นอกจากนี้ยังพบว่าความทนทานต่อการล้าและความเร็วลดลงมากที่สุดที่ F_iO_2 =12%

มูเนียร์ และคณะ (Mounier et al., 2009) ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีออกซิเจนที่มีต่อสารเคมีในเลือดในนักกีฬาที่มีความอดทนระดับสูง จำนวน 30 คน โดยทำการทดสอบการตอบสนองต่อการสัมผัสอากาศ ในห้องจำลองเทียบเท่าความสูงที่ 3,000 เมตร เป็นระเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าขณะพัก ระดับ mRNA ของโปรตีน HIF-1α (+57%) และ EPO ในเซรั่ม (+21%) เพิ่มขึ้น ขณะที่ระดับ VEGF (-38%) ในพลาสมาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่าการตอบสนองดังกล่าวมีความแตกต่างกันระหว่างบุคคลค่อนข้างสูงทั้งในขณะออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานและการสัมผัสอากาศเป็นระยะเวลานาน

5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกแบบหนักสลับพักในรูปแบบของการฝึกสปรินท์ซ้ำ

เบร็ชบูล และคณะ (Brechbuhl, Brocherie, Millet, & Schmitt, 2018) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำ 5 ครั้ง ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) และสภาวะที่มีออกซิเจนปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อสมรรถภาพของนักกีฬาเทนนิสจำนวน 18 คน โดยการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำเต็มความสามารถจำนวน 4 เซต ของการวิ่งสปรินท์สูงสุด 5 เที่ยว ๆ ละ 6 วินาที พักระหว่างเที่ยว 24 วินาที และพักระหว่างเซต 4.50 นาที โดยพบว่า ปริมาณแลคเตทในเลือดหลังการฝึกไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์พบว่ามีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดภายในกลุ่มของทั้ง 2 กลุ่ม

บอร์น และคณะ (Born, Zinner, Düking, & Sperlich, 2016) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกวิ่งสปรินท์หลายทิศทาง (Multi-directional sprint training) ควบคู่กับการฝึกการสปรินท์ซ้ำที่มีต่อความเร็วในการเปลี่ยนทิศทางและความคล่องตัวในนักกีฬาฟุตบอล 15 คน โดยทำการฝึกสปรินท์ 15 วินาที ทั้งหมด 20 ครั้ง สลับกับช่วงพัก 30 วินาที ทั้งหมดจำนวน 4 เซ็ท (4x20 repeated sprints: 15s sprint + 30s recovery) แต่ละเซ็ทพัก 5 นาที พบว่า การฝึกสปรินท์หลายทิศทาง (Multi-directional sprint training) ควบคู่กับการฝึกการสปรินท์ซ้ำสามารถพัฒนาความคล่องแคล่วในนักกีฬาฟุตบอลได้

จอนสตัน และแก็บเบ็ท (Johnston & Gabbett, 2011) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ

การทดสอบการสปรินท์ซ้ำแบบหนักสลับพักในนักกีฬารักบี้ จำนวน 12 คน โดยให้ทำการสปรินท์ 2 รูปแบบ แบบแรก ฝึกสปรินท์ 20 เมตร จำนวนทั้งหมด 12 เที่ยว แต่ละเที่ยวพัก 30 วินาที ทำทั้งหมด 4 เซ็ท แต่ละเซ็ทพัก 5 นาที และแบบที่สอง ฝึกสปรินท์ซ้ำ 20 เมตร จำนวนทั้งหมด 12 เที่ยว ร่วมกับการชน (Tacking) โดยเว้นระยะห่างกัน 7 วัน ผลการทดลองพบว่า การทดสอบการฝึกสปรินท์ซ้ำทั้ง 2 แบบมีความเชื่อมั่นค่อนข้างสูง สามารถใช้ในการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำของนักกีฬารักบี้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบแบบที่ 2 จะมีความใกล้เคียงกับการแข่งขันของนักกีฬารักบี้มากกว่าการทดสอบแบบที่ 1

บาร์โว และคณะ (Bravo et al., 2008) ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกสลับช่วงที่ความหนักสูงและการฝึกความสามารถในการวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาแบบแอโรบิคและแอนแอโรบิคในนักกีฬาฟุตบอล กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 42 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ฝึกสลับช่วง ฝึกวิ่งที่ความหนัก 90-95% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นเวลา 4 นาที จำนวน 4 เที่ยว และกลุ่มที่ 2 ฝึกวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดไปกลับระยะทาง 40 เมตร 6 เที่ยว จำนวน 3 ชุด เป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มฝึกวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว มีการพัฒนาของความอดทนจากการทดสอบด้วย Yo-Yo intermittent recovery test และความสามารถในการเร่งความเร็วแบบซ้ำดีกว่ากลุ่มฝึกสลับช่วง ส่วนสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เวลาในการวิ่ง 10 เมตร ความสูงในการกระโดดและพลังของทั้งสองกลุ่มมีการพัฒนาขึ้นในระดับใกล้เคียงกัน

เอดช์ และคณะ (Edge, Bishop, Goodman, & Dawson, 2005) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและการฝึกแบบต่อเนื่องความหนักปานกลางที่มีต่อความสามารถในการวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว (Repeated sprint ability) กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้หญิง 20 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง โดยทำการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 120-140% ของระดับกั้นแลคเตท 2 นาที จำนวน 6-10 เที่ยว กลุ่มที่ 2 ฝึกแบบต่อเนื่องความหนักปานกลางทำการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 80-95% ของระดับกั้นแลคเตท เป็นเวลา 20-30 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงสามารถพัฒนาความสามารถในการวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว 5x6 วินาที สลับพัก 30 วินาที ได้ดีกว่ากลุ่มฝึกแบบต่อเนื่องด้วยความหนักปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

ลี และคณะ (Lee, Miller, James, & Thake, 2016) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันต่อสมรรถภาพของการออกกำลังกาย โดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม 1) กลุ่มควบคุม ฝึกในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ 2) กลุ่มฝึกในสภาวะอากาศร้อน (40°C) และ3) กลุ่มฝึกในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (P_iO_2=14%) ทำการฝึก 10 วัน ๆ ละ 60 นาที ที่ความหนัก 50% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) หลังจากการฝึก พบว่า ค่าเฉลี่ยการ

ระบายอากาศสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ และระดับการรับรู้ความเหนื่อย ในกลุ่มฝึกในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คาไซด์ และคณะ (Kasai et al., 2015) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬาหญิง จำนวน 32 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2 14.5%, n=16) และกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2 20.9%, n=16) โดยทั้งสองกลุ่มทำการฝึกสปรินท์ซ้ำบนจักรยานที่ความหนัก 4% ของน้ำหนักตัว จำนวน 10 เที่ยวๆละ 6 วินาที พักระหว่างเที่ยว 30 วินาที คิดเป็น 1 เซ็ท จำนวน 2 เซ็ท ฝึกสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าหลังการฝึกความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint ability) และ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยกำลัง (Mean power output) ในการทดสอบการสปรินท์ซ้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่พบว่าค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการทดสอบในกลุ่มที่ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในทั้ง 2 กลุ่ม สรุปได้ว่าการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติช่วยพัฒนาความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬาหญิงได้

เฟสส์ และคณะ (Faiss et al., 2013) ได้ทำการศึกษาผลของการสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อความสามารถในการสปรินท์ซ้ำของนักกีฬาจักรยานที่ได้รับการฝึกฝนปานกลาง จำนวน 50 คน โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 1 (Hypoxic group, n=20) และ 2 (Normoxic group, n=20) และกลุ่มควบคุม (Control group, n=10) กลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่มทำการฝึกปั่นจักรยานด้วยการสปรินท์ซ้ำ ๆ เซ็ทละ 5 เที่ยว ๆ ละ 10 วินาที ที่ระดับความหนัก 120 วัตต์ จำนวน3 เซ็ทที่ระดับออกซิเจนเทียบเท่ากับความสูง 3,500 เมตรจากระดับน้ำทะเล และที่ระดับออกซิเจนปกติที่ระดับน้ำทะเล ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมไม่มีการฝึกซ้อมใด ผลการวิจัยพบว่าหลังการฝึกความสามารถในการสปรินท์ของทั้งสองกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แต่จำนวนรอบที่ทำการสปรินท์จนเกิดการล้าของกลุ่มทดลองที่ 1เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ในขณะที่กลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังพบว่าระดับ mRNA ของ HIF-1α Carbonic anhydrase และ Monocarboxylate transporter 4 รวมทั้ง tHb ตัวบ่งชี้ของ Muscle blood flow เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ในกลุ่มทดลองที่ 1 เท่านั้น จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการสปรินท์ซ้ำของนักกีฬาได้ดีกว่าการฝึกสปรินท์ซ้ำที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติทั้งนี้เกิดจากการปรับตัวทั้งในระดับโมเลกุลและการขนส่งออกซิเจนเพื่อใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อ

ชูบาร์ และคณะ (Czuba et al., 2011) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกในสภาวะจำลองบนที่สูงที่มีต่อความสามารถในการออกกำลังกายแบบแอโรบิคและสมรรถภาพความอดทนในนักกีฬาจักรยานชาย จำนวน 20 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มทดลอง (Hypoxia group: P_iO_2=15.2% เทียบเท่ากับความสูง 2,500-2,600 เมตร) และกลุ่มควบคุม (Control group) โดยทั้งสองกลุ่มทำการฝึกปั่นจักรยานเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ๆ ละ 3 ครั้ง ที่ความหนัก 95% ของจุดเริ่มล้า (Lactate threshold) เป็นเวลา 30, 35, และ 40 นาที ในช่วงที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยพบว่า ภายในกลุ่มทดลองมีการเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) VO_2ที่จุดเริ่มล้า (VO_2 at LT) และงานที่จุดเริ่มล้า (WR_{LT}) ในขณะทำการทดสอบ Incremental test และความสามารถในการปั่นจักรยาน (Time trial) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางโลหิตวิทยา ได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวภายในกลุ่มควบคุม สรุปได้ว่าการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักสูงเป็นระยะเวลา 30-40 นาทีในสภาวะจำลองบนที่สูงสามารถช่วยพัฒนาสมรรถภาพด้านแอโรบิคและความสามารถในการปั่นจักรยานได้

มอร์ทอน และเคเบิล (Morton & Cable, 2005) ได้ทำการศึกษาผลการฝึกในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพทางกายแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในกลุ่มนักกีฬาชายประเภทกีฬาทีม โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (Hypoxic group) ฝึกในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO2 = 15.0%) และกลุ่มที่ 2 (Normoxic group) ฝึกที่ระดับน้ำทะเล โดยทั้งสองกลุ่มทำการฝึกความอดทนด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 80% ของงานสูงสุด เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นปั่นที่ความหนัก 50% Wmax เป็นเวลา 2 นาที ทำสลับกันจำนวน 10 เที่ยว 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า หลังการฝึกทั้งสองกลุ่มมีค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด และ ค่าพลังสูงสุด (Peak power) และค่าพลังเฉลี่ย (Mean power) เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก แต่ในกลุ่มที่ 1 (Hypoxic group) จะมีการพัฒนาสมรรถสมรรถภาพทางกายแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 2 (Normoxic group)

คาทายาม่า และคณะ (Katayama et al., 2004) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hyperbaric hypoxia) ในระดับความสูงจากน้ำทะเลที่ 4500 เมตร ในนักกีฬาประเภทอดทน จำนวน 12 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง (Hypoxic group, n=6) และ กลุ่มควบคุม (Control group, n=6) โดยกลุ่มทดลองจะได้รับการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ เป็นเวลา 90 นาทีต่อครั้ง จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ขณะที่กลุ่มควบคุมไม่ได้รับการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ในช่วงการทดลองทั้งสองกลุ่มยังคงมีการฝึกซ้อมตามปกติก่อนและหลังการทดลอง ทำการวัดสมรรถภาพความอดทน โดยการวิ่ง

ระยะทาง 3,000 เมตร (Time trial) ตัวแปรทางสรีรวิทยาขณะออกกำลังกายสูงสุด (Incremental exercise test) และอัตราการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าจุดสูงสุด (Submaimal exercise) พบว่าเวลาในการวิ่ง 3000 เมตรดีขึ้น และอัตราการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายลดลง หลังการฝึกสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามการพัฒนาดังกล่าวจะกลับคืนสู่ภาวะปกติภายใน 3 สัปดาห์

โฟกท์ และคณะ (Vogt et al., 2001) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกความอดทนในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Normobaric hypoxia) ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลของกล้ามเนื้อในอาสาสมัครจำนวน 30 คน โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1. ฝึกที่ระดับความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Nor-High) กลุ่มที่ 2. ฝึกที่ระดับความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hyp-High) กลุ่มที่ 3. ฝึกที่ระดับความหนักต่ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (Nor-low) 4. ฝึกที่ระดับความหนักต่ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (Hyp-low) โดยแต่ละกลุ่มทำการฝึกโดยการปั่นจักรยานเป็นเวลา 30 นาที 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยกลุ่มที่ 1-2 ทำการฝึกที่ระดับความสูงโดยใช้ความหนักที่ระดับแลคเตทในเลือด 4-6 มิลลิโมล และกลุ่มที่ 3-4 ทำการฝึกที่ระดับความหนักต่ำโดยใช้ความหนักที่ ระดับแลคเตทในเลือด 2-3 มิลลิโมล ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังการฝึกสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max, 8.3-13.1%) และงานสูงสุด (Wmax, 14.4-20.8%) เพิ่มขึ้นทุกกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ mRNA ของยีนที่เกี่ยวข้องกับกาขนส่งออกซิเจน ได้แก่ HIF-1α เพิ่มขึ้นเฉพาะในกลุ่มที่ 2 และ 4 (Hypoxic group) ส่วน mRNA ของ VEGF (52.4%) และ Myoglobin (72.2%) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เฉพาะในกลุ่มที่ 2 (Hyp-High) เท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าออกซิเดทีฟเอ็นไซม์ (Oxidative enzymes)และ Phosphofructokinase เพิ่มขึ้นในการฝึกที่ระดับความหนักสูง (Hyp-High และ Nor-High) เท่านั้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของ HIF-1α ขึ้นอยู่กับสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ไม่ขึ้นอยู่กับระดับความหนักของการฝึก ขณะการฝึกที่ระดับความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถช่วยพัฒนาทั้งการขนส่งออกซิเจน (Oxygen delivery) และการใช้ออกซิเจน (Oxygen utilization)

5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

เค็น และคณะ (Caen et al., 2019) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกแอโรบิคแบบหนักสลับพักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนที่กล้ามเนื้อที่จุดเริ่มล้า ในกลุ่มตัวอย่างที่มีกิจกรรมทางกาย 11 คน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน ๆ ละ 4 เที่ยว โดยการปั่นจักรยาน ที่ระดับความหนัก 75, 85, 95 และ 105% ของพลังสูงสุด 4 นาที (Peak power output: PPO) สลับกับช่วงพัก 3 นาที ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ พบว่า ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน ก่อนและหลังการฝึกแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 ในขณะเดียวกันดัชนีการใช้ออกซิเจนที่กล้ามเนื้อ (TSI) ก่อนและหลังการฝึกไม่พบความแตกต่าง

จอนส์ และคณะ (Jones et al., 2015) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำหนักสลับพักโดยการปั่นจักรยาน ต่อจลนพลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและประสิทธิภาพในระหว่างการทดสอบสมรรถภาพทางกาย ในกลุ่มฮอกกี้หญิง 25 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1. กลุ่มทดลอง (EXP) 2. กลุ่มควบคุม (CON) โดยกลุ่มทดลองทำการฝึกหนักสลับพัก ซึ่งเป็นโปรแกรมเสริมจากโปรแกรมเดิม เป็นเวลา 6 ๆ สัปดาห์ละ 1 วัน พบว่า ภายในกลุ่มทดลองมีสมรรถภาพขณะทำการทดสอบเพิ่มขึ้น อีกทั้งหลังการฝึกในกลุ่มทดลองยังแสดงการเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจนที่ดีขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างในการเปลี่ยนแปลงฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน จากผลการเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจนแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย

มาร์ติน และคณะ (Martin et al., 2009) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนที่กล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย โดยใช้เครื่องวัดออกซิเจนที่กล้ามเนื้อ (Near-infrared spectroscopy: NIRS) ในอาสาสมัครจำนวน 24 คน ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ได้แก่ระดับน้ำทะเล (75 เมตร), 3,500 เมตร โดยทำการทดสอบโดยการปั่นจักรยานที่ความหนักเบาเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเพิ่มความหนัก 20-30 วัตต์ ทุก ๆ นาที จนกระทั่งล้า โดยทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อ Vastus Lateralis ขณะออกกำลังกาย หลังจากเกิดการล้าและ 3 นาที หลังจากนั้น พบว่า ค่าปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อ (StO_2) ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 สรุปงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง

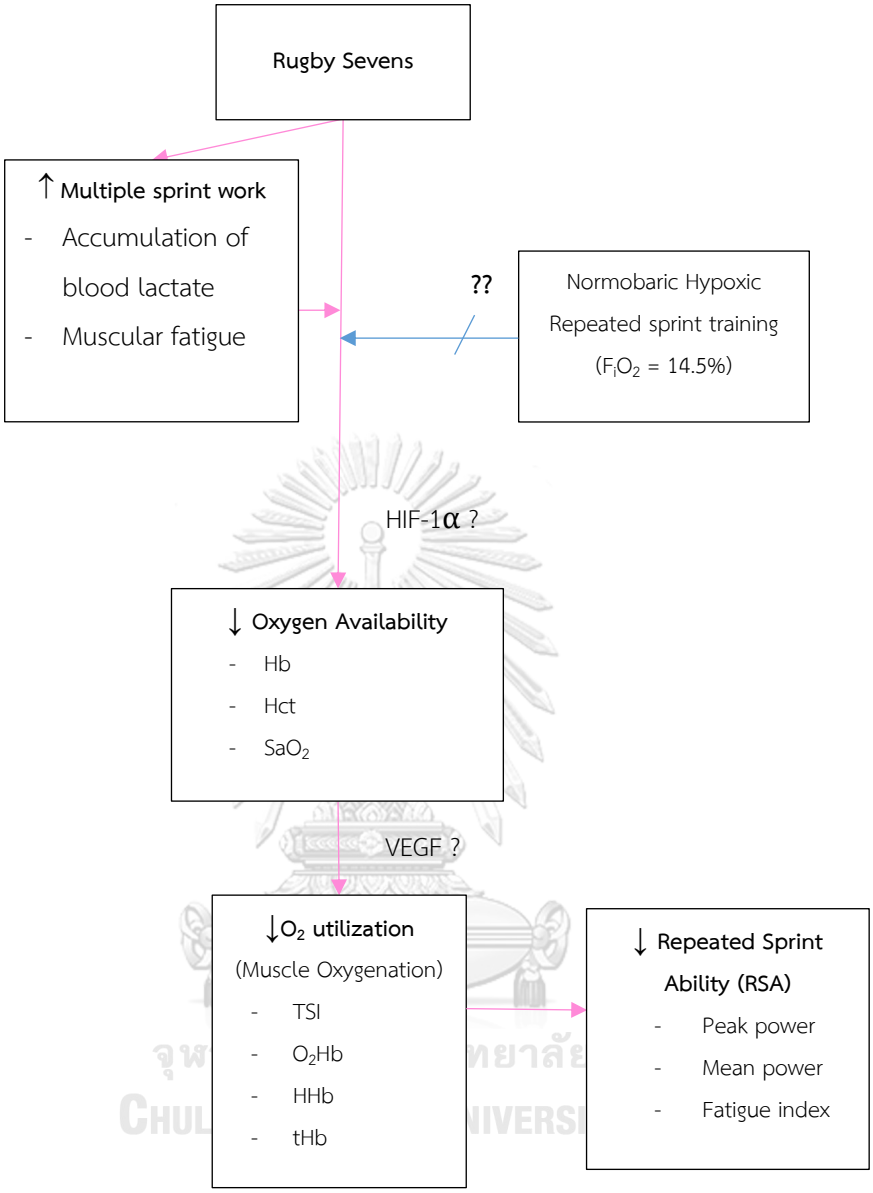
ผู้แต่ง (ปี)	**กลุ่มตัวอย่าง**	**รูปแบบการฝึก ระยะเวลา ชนิด ระดับออกซิเจน รูปแบบ**	**กลุ่ม**	**ผลการวิจัย**
Morton & Cable, 2005	นักกีฬาชาย ประเภททีม	การฝึกสลับช่วง 10 เที่ยวๆละ 1 นาที ที่ 80% ของงานสูงสุด และพักระหว่างเที่ยว 2 นาที ที่ 50% ของงานสูงสุด 4 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน โดยการปั่นจักรยาน F_iO_2 = 15.0 %	กลุ่มทดลอง = 8 คน กลุ่มควบคุม = 8 คน	กลุ่มทดลอง, กลุ่มควบคุม; ↑VO_2max (+7.2 , +8.0 %) ↑Peak power (+2.9, +9.3%) ↑Mean power (+8.0, +6.5 %)
Czuba et al., 2011	นักกีฬา จักรยานชาย	ฝึกหนักสลับพักที่ความหนัก 95% ของจุดเริ่มล้า 3 สัปดาห์ ๆ ละ 3 ครั้ง F_iO_2 = 15.2 %	กลุ่มทดลอง = 10 คน กลุ่มควบคุม = 10 คน	กลุ่มทดลอง; ↑ VO_2max (+4%) ↑ VEmax กลุ่มควบคุม; ไม่พบการเปลี่ยนแปลง
Faiss et al., 2013	นักกีฬาชาย ปั่นจักรยาน	การฝึกสปรินท์ซ้ำ (RST) 3 รอบ ๆ ละ 5 เที่ยวๆละ 10 วินาที พักระหว่างเที่ยว 20 วินาที 4 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน โดยการปั่นจักรยาน ที่ระดับความสูง 3000 เมตร	กลุมทดลอง = 20 กลุ่มควบคุม = 10	กลุ่มทดลอง, กลุ่มควบคุม ↑Mean sprint time (+6%, +7%)

ผู้แต่ง (ปี)	กลุ่มตัวอย่าง	รูปแบบการฝึก ระยะเวลา ชนิด ระดับออกซิเจน รูปแบบ	กลุ่ม	ผลการวิจัย
Brocherie et al., 2015	นักกีฬาฟุตบอลชาย	การฝึกแบบผสมผสาน (HITT + RST) 60 นาที รวม Warm-up 15 นาที 6 สัปดาห์ ๆ ละ 2 วัน F_iO_2 = 14.3 %	กลุ่มทดลอง= 8 คน กลุ่มควบคุม = 8 คน	กลุ่มทดลอง, กลุ่มควบคุม; ↔ Muscle power, ↔ Speed ↔ Repeated sprint ability (RSA)
Jones et al., 2015	นักกีฬาฮอกกี้หญิง	การฝึกสปรินท์ซ้ำหนักสลับพัก (SIT) 6 สัปดาห์ ๆ ละ 1 วัน โดยการปั่นจักรยาน F_iO_2 = 20.9 %	กลุ่มทดลอง = 10 คน กลุ่มควบคุม = 15 คน	กลุ่มทดลอง, ↑TSI (-7 ถึง -12%) ↑HHb (35 – 69 μM) กลุ่มควบคุม, ↔
Kasai et al., 2015	นักกีฬาหญิง	การฝึกสปรินท์ซ้ำ 2 รอบ ๆ ละ 10 เที่ยว ๆ ละ 7 วินาที พักระหว่างเที่ยว 30 วินาที 6 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน โดยการปั่นจักรยาน F_iO_2 = 14.5 %	กลุ่มทดลอง = 16 คน กลุ่มควบคุม = 16 คน	กลุ่มทดลอง, กลุ่มควบคุม; +5%, +1.5% peak power +9.7%, +6% mean power ไม่พบความแตกต่าง = VO_2 max
Lee et al., 2016	ผู้ชาย	ฝึกความหนัก 50% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) (MCIT) 10 วัน ๆ ละ 60 นาที โดยการปั่นจักรยาน F_iO_2 = 14.0 %	กลุ่มทดลอง = 7 กลุ่มควบคุม = 7	↔ HRmax, ↔ RER

ผู้แต่ง (ปี)	กลุ่มตัวอย่าง	รูปแบบการฝึก ระยะเวลา ชนิด ระดับออกซิเจน รูปแบบ	กลุ่ม	ผลการวิจัย
Caen et al., 2019	นักเรียนชาย	ฝึกหนักสลับพักระดับความหนัก 75, 85, 95 และ 105% ของพลังสูงสุด 4 นาที สลับพัก 3 นาที 6 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน โดยการปั่นจักรยาน F_iO_2 = 20.9 %	กลุ่มทดลอง = 11 คน	กลุ่มทดลอง, ↑HHb (+40.4%) ↑tHb ()+125.3% ↔ TOI

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ในนักกีฬารักบี้ 7 คน มีลักษณะการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ๆ ตลอดการแข่งขัน ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของแลคเตท และความล้าของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวและสมรรถภาพทางกายของนักรักบี้ลดลง (Higham et al., 2012) ส่งผลทำให้ความสามารถในการขนส่งออกซิเจนและสามารถในการใช้ออกซิเจนลดลง (Balsom, Gaitanos, Ekblom, & Sjödin, 1994) ดังนั้นจึงส่งผลทำให้ความสามารถในการสปรินท์ซ้ำลดลง การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำมาใช้ฝึกในนักกีฬารักบี้ 7 คน โดยอาศัยให้เกิดการกระตุ้นจากโปรตีน HIF-1α เพื่อให้เกิดการขนส่งและการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความสามารถในการสปรินท์ซ้ำขณะทำการแข่งขันของนักกีฬาดีขึ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research design) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลฉับพลันและผลของการฝึกด้วยการสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ในนักกีฬารักบี้ 7 คน ตัวแทนทีมชาติไทย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การศึกษา โดยมีวิธีดำเนินงานวิจัยดังนี้

การศึกษาที่ 1

เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา โปรตีน HIF-1α, VEGF ในเซรั่ม ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักกีฬารักบี้ 7 คน

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มอาสาสมัครในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน ตัวแทนทีมชาติไทย เพศชาย จำนวน 7 คน มีอายุระหว่าง 18-33 ปี ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยผู้วิจัยได้ทำการติดต่อประสานงานขออนุญาตกับหัวหน้าผู้ฝึกสอนของชมรมรักบี้ด้วยตนเอง จากนั้นทำการนัดวันเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และรายละเอียดระเบียบวิธีวิจัยให้กับนักกีฬารักบี้ จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมผู้วิจัยกรอกประวัติข้อมูลส่วนตัวเบื้องต้นและประวัติการฝึกซ้อมและการแข่งขัน หลังจากนั้นผู้วิจัยทำการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัยโดยใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเข้า

1. เป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน เพศชาย อายุ 18 – 33 ปี ตัวแทนทีมชาติไทย
2. มีการฝึกซ้อมสม่ำเสมอและมีประสบการณ์การแข่งขันไม่น้อยกว่า 1 ปี
3. มีสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่ต่ำกว่า 42 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (ml/min/kg)
4. ไม่มีถิ่นกำเนิดบนที่สูง ไม่เคยทำการฝึกหรือมีประวัติอยู่อาศัยในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ นานเกินกว่า 6 เดือน ก่อนเข้าร่วมโครงการ
5. ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง

6. ไม่มีโรคประจำตัวที่เป็นอุปสรรคต่อการทดลอง เช่น หอบหืด โลหิตจาง และโรคลมชัก

7. ไม่เคยได้รับการบาดเจ็บของกระดูกและกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง เช่น กระดูกหัก เอ็นฉีกขาด

8. สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดออก

1. เกิดอาการบาดเจ็บ ขณะทำการทดสอบ
2. ผู้เข้าทดสอบวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการดำเนินงานการเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. อธิบายวัตถุประสงค์ ชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัย วิธีวิจัย อุปกรณ์การวิจัย ตัวแปร และขั้นตอนการทดสอบด้วยตัวเอง รับทราบและเซ็นชื่อเข้าตอบรับเข้าร่วมการวิจัย

2. ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด ณ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจน คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที โดยผู้วิจัยเป็นผู้คัดกรองด้วยตนเอง ร่วมกับผู้ช่วยวิจัย 1 คนที่จะได้รับการฝึกอบรมการทดสอบสมรรถภาพทางกายมาเป็นอย่างดี โดยจะมีแบบสอบถามข้อมูลสุขภาพเบื้องต้น ได้แก่ น้ำหนัก, ส่วนสูง จากนั้นทำการวัดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และการทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการวิ่งบนลู่กล (Treadmill)

3. กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือกเข้าร่วมการวิจัยจะได้รับคำชี้แจงเกี่ยวกับรายละเอียดขั้นตอนของการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะได้รับและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมวิจัย พร้อมทั้งลงชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย จากนั้นผู้วิจัยจะทำการนัดกลุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบก่อนและหลังการทดลอง โดยก่อนการทดสอบผู้เข้ารับการทดสอบการวิจัยจะได้รับคำแนะนำต่าง ๆ ในการปฏิบัติตัวก่อนเข้ารับการทดสอบรวมทั้งการฝึก

4. ทำการทดสอบก่อนการทดลอง (Pre-test) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%) ดังนี้

ในวันแรกของการทดสอบ

ผู้เข้าร่วมวิจัยมารายงานตัวตามวันและเวลาที่ได้นัดหมาย (เวลา 9.00 น.) ณ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจน คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเลือดโดยนักเทคนิคการแพทย์และทำการทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ดังนี้

4.1 ทำการเก็บตัวอย่างปัสสาวะเพื่อตรวจความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ (Specific gravity of urine) ซึ่งจะให้กลุ่มตัวอย่างปัสสาวะใส่ลงในภาชนะที่แห้งและสะอาดประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. และวัดค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ ปกติจะอยู่ในช่วง (1.010 – 1.025) โดยผู้วิจัยทำการอ่านค่าด้วยเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ

4.2 ทำการเก็บตัวอย่างเลือดก่อนการทดสอบ โดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%) ที่บริเวณ Median cubital vein ปริมาณ 1 ช้อนชา (5 มิลลิลิตร) โดยจะแบ่งตัวอย่างเลือดออกเป็น 2 หลอด (2x2.5 ml. tube) โดยหลอด แรกจะใส่ EDTA (สารป้องกันการแข็งตัวของเลือด) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด หลอดนี้ใช้สำหรับตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นของ ฮีโมโกลบิน (Hb) และฮีมาโทคริต (Hct) โดยจะส่งตรวจที่ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนหลอด ที่สอง จะไม่ใส่ EDTA (Non-EDTA tube) แล้วนำไปปั่นเพื่อแยกเซรั่ม จากนั้นเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณภูมิ - 80 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างเลือดนี้จะใช้ในการวิเคราะห์โปรตีนที่ควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง (HIF-1α) และกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดแดงใหม่ (VEGF) โดยวิธี Sandwich ELISA (Pialoux et al., 2009) โดยภายหลังสิ้นสุดการวิจัยแล้วจะทำลายตัวอย่างเลือดและปัสสาวะโดยกระบวนการทางการแพทย์ของคณะสหเวชศาสตร์ทันที

4.3 ทำการทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 20.9%) โดยให้ผู้เข้าทดสอบวิจัยวิ่งบนลู่กล (Incremental running test) พร้อมกับใส่เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Cortex CPET) โดยใช้วิธีการทดสอบของ บูเช็ทและคณะ (Buchheit & Ufland, 2011) โดยมีรายละเอียดดังนี้ ผู้เข้ารับทดสอบทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินบนลู่วิ่ง ที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นให้ผู้เข้ารับทดสอบวิ่งที่ระดับความเร็วเริ่มต้นของการทดสอบที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชันที่ (1%) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการปรับความเร็วเพิ่มขึ้น 0.5 กิโลเมตร ทุก ๆ 1 นาที (ความชันคงที่) จนกระทั่งอาสาสมัครทำการทดสอบต่อไปไม่ไหว (Voluntary exhaustion) โดยประเมินจากเมื่อผู้เข้าทดสอบไม่สามารถรักษาความเร็วในการวิ่งที่กำหนด ได้ และการใช้สัญลักษณ์มือร่วมด้วย โดยใช้ระยะเวลาทดสอบประมาณ 20 นาที โดยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) คำนวณได้จากค่าเฉลี่ย VO_2 สูงสุดในช่วงเวลา 30 วินาทีก่อนที่จะหยุดทดสอบ ความเร็วที่ระดับการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVO_2peak) คือความเร็ว ณ จุดช่วงเวลาเกิดปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak)

คำนวณได้จากการ Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการการวิ่งและ VO_2 ที่วัดได้ในแต่ละช่วง

4.4 ในขณะออกกำลังกายทำการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) โดยใช้เครื่อง Near-infrared spectroscopy (NIRS) โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบติดเครื่องเซ็นเซอร์ (Sensor) ไว้ที่ตำแหน่งบริเวณจุดกึ่งกลางของกล้ามเนื้อต้นขาด้านข้าง (Left vastus lateralis) ของขาข้างซ้าย โดยใช้สายวัดวัดจากเข่าขึ้นมาในแนวดิ่ง 10-14 เซนติเมตร ทำการวัดตัวแปรปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ทุก ๆ 10 เฮิร์ต (10 Hz) ต่อวินาที ตลอดการทดสอบ (Kon et al., 2010; Shibuya & Tanaka, 2003) ทำการวิเคราะห์ตัวแปรปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 วินาที (Moving average 3 second) โดยค่าพื้นฐาน (Baseline) ถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย 30 วินาทีก่อนเริ่มการทดสอบ และคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อต่าง ๆ (TSI, O_2Hb, HHb และ tHb) จากค่าพื้นฐานลบด้วยค่าเฉลี่ยต่ำสุด 1 วินาที (TSI_{base}–TSI_{min}= ΔTSI) (Buchheit & Ufland, 2011; McManus, Collison, & Cooper, 2018)

4.5 วัดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย (Polar heart rate monitor) โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบติดไว้ที่บริเวณกึ่งกลางหน้าอก บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที จนสิ้นสุดการทดสอบ

4.6 วัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด โดยใช้เครื่อง Pulse oximetry ขณะทำการทดสอบ โดยการสวมเครื่องวิเคราะห์ที่นิ้วชี้ (Finger probe) ของผู้เข้าทดสอบ และบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีตลอดการทดสอบ (Kon et al., 2010)

4.7 วัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย โดยใช้ Borg's scale 6-20 เพื่อบอกระดับความเหนื่อยที่ตนเองรู้สึก (Borg, 1998) ขณะที่ทำการทดสอบ โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที

4.8 วัดความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด รุ่น Analog LM5 โดยการเก็บตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดฝอยที่บริเวณปลายนิ้วกลางและนิ้วนางของมือข้างที่ไม่ถนัด โดยใช้เข็มเจาะบริเวณปลายนิ้ว บีบเลือดหยดแรกทิ้งจากนั้นบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) และใช้หลอดแก้ว (Capillary tube) ในการเก็บตัวอย่างเลือด หลังสิ้นสุดการทดสอบ 3 นาที (Kon et al., 2010) จากนั้นนำไปอ่านค่าด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของแลคเตท บันทึกผลระดับแลคเตทในเลือดมีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

ในวันที่สองของการทดสอบ (หลังจากที่ผู้เข้าทดสอบได้พักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง)

ทำการทดสอบผลฉับพลัน (Acute test) ของการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 14.5%) โดยให้ผู้ถูกทดสอบนั่งพักบนเก้าอี้เฉย ๆ เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ในห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic room) จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมีในเลือด ได้แก่โปรตีนที่ควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(HIF-1 α), และกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดใหม่ (VEGF) ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hb) และฮีมาโทคริต (Hct) ดังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ข้อ 4.1-4.2

5. ทำการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของผู้เข้ารับการทดสอบด้วยลู่วิ่งกล ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 14.5%) อีกครั้งหนึ่งโดยมีขั้นตอนรายละเอียดการทดสอบเหมือนขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ข้อ 4.3

ข้อกำหนดในการทดสอบ

1. นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8 ชั่วโมง
2. รับประทานอาหารปกติที่เคยรับประทานเป็นประจำ
3. ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 3 ลิตรต่อวัน
4. รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง
5. ไม่รับประทาน ยา, ชา, กาแฟ และแอลกอฮอล์ ก่อนการทดสอบ
6. หลีกเลี่ยงการออกกำลังกายอื่น ๆ ในวันก่อนการทดสอบ
7. ผู้วิจัยจะทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าทดสอบวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้
    - 7.1 ก่อนการฝึกค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) ลดลงต่ำกว่า 80%
    - 7.2 หัวใจมีการเต้นผิดปกติและไม่เป็นจังหวะสม่ำเสมอ
    - 7.3 เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก
    - 7.4 เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษาที่ 2

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำ มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา โปรตีน HIF-1α, VEGF ในเซรั่ม ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติในนักกีฬารักบี้ 7 คนกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มอาสาสมัครในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน ตัวแทนทีมชาติไทย เพศชาย มีอายุระหว่าง 18-33 ปี จำนวน 14 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยการคำนวณกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G*3.1 power โดยกำหนดให้ Effect size = 1.5, Probability error ($\underline{\alpha}$) =0.05, Power of test (1-β) = 0.90 (Faul, F., 2007) ได้กลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 6 คน รวมทั้ง 2 กลุ่ม 12 คน โดยผู้วิจัยได้เผื่อการ drop out 10% ดังนั้นได้กลุ่มตัวอย่าง

ทั้งหมด 14 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 7 คน ด้วยวิธีการจับคู่ (Matched pair) โดยใช้สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) เป็นเกณฑ์ โดยการนำมาเรียงลำดับและแบ่งกลุ่มจนครบตามจำนวนกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ทำการฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำที่สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 14.5%) (Repeated sprint hypoxic group) และกลุ่มที่ 2 ทำการฝึกเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%) (Repeated sprint normoxic group) ซึ่งแต่ละกลุ่มทำการฝึกในห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจน คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างถูกคัดออก 2 คน (กลุ่มทดลอง 1 คน กลุ่มควบคุม 1 คน) ในการวิเคราะห์ตัวแปรโลหิตวิทยาและชีวเคมีในเลือด เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทั้งสองคนนอนหลับไม่เพียงพอตามข้อกำหนดในการทดสอบ (น้อยกว่า 8 ชั่วโมง) จึงเป็นเหตุทำให้ผู้วิจัยทำการคัดกลุ่มตัวอย่างออก

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเข้า

1. เป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน เพศชาย อายุ 18 – 33 ปี ตัวแทนทีมชาติไทย
2. มีการฝึกซ้อมสม่ำเสมอและมีประสบการณ์การแข่งขันไม่น้อยกว่า 1 ปี
3. มีสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่ต่ำกว่า 42 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (ml/min/kg)
4. ไม่มีถิ่นกำเนิดบนที่สูง ไม่เคยทำการฝึกหรือมีประวัติอยู่อาศัยในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ นานเกินกว่า 6 เดือน ก่อนเข้าร่วมโครงการ
5. ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง
6. ไม่มีโรคประจำตัวที่เป็นอุปสรรคต่อการทดลอง เช่น หอบหืด โลหิตจาง และโรคลมชัก
7. ไม่เคยได้รับการบาดเจ็บของกระดูกและกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง เช่น กระดูกหัก เอ็นฉีกขาด
8. สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดออก

1. เข้าร่วมการฝึกซ้อมน้อยกว่าร้อยละ 80 ของการฝึกซ้อม (จำนวน 15 ครั้ง จากทั้งหมด 18 ครั้ง)
2. มีอาการบาดเจ็บ จนไม่สามารถฝึกซ้อมต่อได้
3. ผู้เข้าทดสอบวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการดำเนินงานการเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. อธิบายวัตถุประสงค์ ชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัย วิธีวิจัย อุปกรณ์การวิจัย ตัวแปร และขั้นตอนการทดสอบด้วยตัวเอง รับทราบและเซ็นชื่อเข้าตอบรับเข้าร่วมการวิจัย

2. ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด ณ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจน คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที โดยผู้วิจัยเป็นผู้คัดกรองด้วยตนเอง ร่วมกับผู้ช่วยวิจัย 1 คนที่จะได้รับการฝึกอบรมการทดสอบสมรรถภาพทางกายมาเป็นอย่างดี โดยจะมีแบบสอบถามข้อมูลสุขภาพเบื้องต้น ได้แก่ น้ำหนัก, ส่วนสูง จากนั้นทำการวัดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และการทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการวิ่งบนลู่กล (Treadmill)

3. กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือกเข้าร่วมการวิจัยจะได้รับคำชี้แจงเกี่ยวกับรายละเอียดขั้นตอนของการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะได้รับและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมวิจัย พร้อมทั้งลงชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย จากนั้นผู้วิจัยจะทำการนัดกลุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบก่อนและหลังการทดลอง โดยก่อนการทดสอบผู้เข้ารับการทดสอบการวิจัยจะได้รับคำแนะนำต่าง ๆ ในการปฏิบัติตัวก่อนเข้ารับการทดสอบรวมทั้งการฝึก

4. ทำการทดสอบก่อนการทดลอง (Pre-test) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%)

ในวันแรกของการทดสอบ (หลังจากผู้เข้าทดสอบได้พักเป็นเวลา 1 เดือน)

ผู้เข้าร่วมวิจัยมารายงานตัวตามวันและเวลาที่ได้นัดหมาย (เวลา 9.00 น.) ณ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจน คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเลือดโดยนักเทคนิคการแพทย์และทำการทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ดังนี้

4.1 ทำการเก็บตัวอย่างปัสสาวะเพื่อตรวจความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ (Specific gravity of urine) ซึ่งจะให้กลุ่มตัวอย่างปัสสาวะใส่ลงในภาชนะที่แห้งและสะอาดประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. และวัดค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ ปกติจะอยู่ในช่วง (1.010 – 1.025) โดยผู้วิจัยทำการอ่านค่าด้วยเครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ

4.2 ทำการเก็บตัวอย่างเลือดก่อนการทดสอบ โดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%) ที่บริเวณ Median cubital vein ปริมาณ 1 ช้อนชา (5 มิลลิลิตร) โดยจะแบ่งตัวอย่างเลือดออกเป็น 2 หลอด (2x2.5 ml tube) โดยหลอด แรกจะใส่ EDTA (สารป้องกันการแข็งตัวของเลือด) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด หลอดนี้ใช้สำหรับตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นของ ฮีโมโกลบิน (Hb) และฮีมาโทคริต (Hct) โดยจะส่งตรวจที่ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนหลอด ที่สอง จะไม่ใส่ EDTA (Non-EDTA tube)

แล้วนำไปปั่นเพื่อแยกเซรั่ม จากนั้นเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณภูมิ - 80 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างเลือดนี้จะใช้ในการวิเคราะห์โปรตีนที่ควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง (HIF-1α) และกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดแดงใหม่ (VEGF) โดยวิธี Sandwich ELISA (Pialoux et al., 2009) โดยภายหลังสิ้นสุดการวิจัยแล้วจะทำลายตัวอย่างเลือดและปัสสาวะโดยกระบวนการทางการแพทย์ของคณะสหเวชศาสตร์ทันที

4.3 ทำการทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%) โดยให้ผู้เข้าทดสอบวิจัยวิ่งบนลู่กล (Incremental running test) พร้อมกับใส่เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Cortex CPET) โดยใช้วิธีการทดสอบของ บูเช็ทและคณะ (Buchheit & Ufland, 2011) โดยมีรายละเอียดดังนี้ ผู้เข้ารับทดสอบทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินบนลู่วิ่ง ที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นให้ผู้เข้ารับทดสอบวิ่งที่ระดับความเร็วเริ่มต้นของการทดสอบที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชันที่ (1%) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการปรับความเร็วเพิ่มขึ้น 0.5 กิโลเมตร ทุก ๆ 1 นาที (ความชันคงที่) จนกระทั่งอาสาสมัครทำการทดสอบต่อไปไม่ไหว (Voluntary exhaustion) โดยประเมินจากเมื่อผู้เข้าทดสอบไม่สามารถรักษาความเร็วในการวิ่งที่กำหนด ได้ และการใช้สัญลักษณ์มือร่วมด้วย โดยใช้ระยะเวลาทดสอบประมาณ 20 นาที โดยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) คำนวณได้จากค่าเฉลี่ย VO_2 สูงสุดในช่วงเวลา 30 วินาทีก่อนที่จะหยุดทดสอบ ความเร็วที่ระดับการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVO_2peak) คือความเร็ว ณ จุดช่วงเวลาเกิดปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) คำนวณได้จากการ Plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการการวิ่งและ VO_2 ที่วัดได้ในแต่ละช่วง

4.4 ในขณะออกกำลังกายทำการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) โดยใช้เครื่อง Near-infrared spectroscopy (NIRS) โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบติดเครื่องเซ็นเซอร์ (Sensor) ไว้ที่ตำแหน่งบริเวณจุดกึ่งกลางของกล้ามเนื้อต้นขาด้านข้าง (Left vastus lateralis) ของขาข้างซ้าย โดยใช้สายวัดวัดจากเข่าขึ้นมาในแนวดิ่ง 10-14 เซนติเมตร ทำการวัดตัวแปรปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ทุก ๆ 10 เฮิร์ต (10 Hz) ต่อวินาที ตลอดการทดสอบ (Kon et al., 2010; Shibuya & Tanaka, 2003) ทำการวิเคราะห์ตัวแปรปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 วินาที (Moving average 3 second) โดยค่าพื้นฐาน (Baseline) ถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย 30 วินาทีก่อนเริ่มการทดสอบ และคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อต่างๆ (TSI, O_2Hb, HHb และ tHb) จากค่าพื้นฐานลบด้วยค่าเฉลี่ยต่ำสุด 1 วินาที (TSI_{base}–TSI_{min}= ΔTSI) (Buchheit & Ufland, 2011; McManus et al., 2018)

4.5 วัดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย (Polar heart rate monitor) โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบติดไว้ที่บริเวณกึ่งกลางหน้าอก บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที จนสิ้นสุดการทดสอบ

4.6 วัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด โดยใช้เครื่อง Pulse oximetry ขณะทำการทดสอบ โดยการสวมเครื่องวิเคราะห์ที่นิ้วชี้ (Finger probe) ของผู้เข้าทดสอบ และบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีตลอดการทดสอบ (Kon et al., 2010)

4.7 วัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย โดยใช้ Borg's scale 6-20 เพื่อบอกระดับความเหนื่อยที่ตนเองรู้สึก (Borg, 1998) ขณะที่ทำการทดสอบ โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที

4.8 วัดความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด รุ่น Analog LM5 โดยการเก็บตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดฝอยที่บริเวณปลายนิ้วกลางและนิ้วนางของมือข้างที่ไม่ถนัด โดยใช้เข็มเจาะบริเวณปลายนิ้ว บีบเลือดหยดแรกทิ้งจากนั้นบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) และใช้หลอดแก้ว (Capillary tube) ในการเก็บตัวอย่างเลือด หลังสิ้นสุดการทดสอบ 3 นาที (Kon et al., 2010) จากนั้นนำไปอ่านค่าด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของแลคเตท บันทึกผลระดับแลคเตทในเลือดมีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

ในวันที่สองของการทดสอบ (หลังจากที่ผู้เข้าทดสอบได้พักเป็นเวลา 48 ชั่วโมง)

4.9 ทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ (RAST test) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกายก่อนการทดสอบเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นผู้วิจัยจะให้สัญญาณเริ่มต้น โดยใช้คำสั่ง "ไป" ให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดจากเส้นเริ่มต้นไปยังเส้นสิ้นสุดเป็นระยะทาง 35 เมตร แล้วต่อด้วยการวิ่งเหยาะเบา ๆ เพื่อพักฟื้นร่างกายอยู่บริเวณหลังเส้นสิ้นสุด เป็นเวลา 10 วินาที หลังจากนั้นให้วิ่งกลับด้วยความเร็วสูงที่สุดไปยังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง แล้ววิ่งเหยาะเบา ๆ เพื่อพักฟื้นร่างกายอยู่หลังเส้นเริ่มต้น เป็นเวลาอีก 10 วินาที ทำซ้ำลักษณะนี้รวมทั้งหมดจำนวน 6 เที่ยว เมื่อครบแล้วให้ผู้เข้ารับการทดสอบทำการคลายอุ่นร่างกาย เป็นเวลา 10 นาที เป็นอันสิ้นสุดการทดสอบ หลังจากนั้นคำนวณค่าพลังสูงสุด ค่าพลังเฉลี่ยและดัชนีการล้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยคำนวณค่าพลังกล้ามเนื้อได้จาก

พลัง (Power) (วัตต์ต่อน้ำหนักตัว) = น้ำหนักตัว (กก.) x ระยะทาง (ม.)^2 / เวลา^3 (วินาที)

พลังสูงสุด (Maximum power) (วัตต์ต่อน้ำหนักตัว) คือ

ค่าพลังกล้ามเนื้อที่ได้จากการคำนวณในเที่ยวที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด

พลังต่ำสุด (Minimum power) (วัตต์ต่อน้ำหนักตัว) คือ

ค่าพลังกล้ามเนื้อที่ได้จากการคำนวณในเที่ยวที่ใช้ระยะเวลามากที่สุด

พลังเฉลี่ย (Mean power) (วัตต์ต่อน้ำหนักตัว) คือ

ผลรวมของค่าพลังกล้ามเนื้อที่ได้จากการคำนวณทุกเที่ยว / 6

ค่าดัชนีความเมื่อยล้า (Fatigue index) (วัตต์ต่อวินาที) =

(ค่าพลังสูงสุด-ค่าพลังต่ำสุด) / เวลารวมที่วิ่งทั้ง 6 เที่ยว

4.10 ทำการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) โดยใช้เครื่อง Near-infrared spectroscopy (NIRS) โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบติดเครื่องเซ็นเซอร์ (Sensor) ไว้ที่ตำแหน่งบริเวณจุดกึ่งกลางของกล้ามเนื้อต้นขาด้านข้าง (Left vastus lateralis) ของขาข้างซ้าย โดยใช้สายวัดวัดจากเข่าขึ้นมาในแนวดิ่ง 10-14 เซนติเมตร วัดตัวแปรปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อในขณะทำการทดสอบวิ่งสปรินท์ซ้ำ โดยทำการบันทึกค่าตัวแปรการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อทุก ๆ 10 เฮิร์ต (10 Hz) ต่อวินาที (Kon et al., 2010; Shibuya & Tanaka, 2003) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 วินาที (Moving average 3 second) และคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (TSI, O_2Hb, HHb และ tHb) จากค่าเฉลี่ยสูงสุด ลบค่าเฉลี่ยต่ำสุด 1 วินาที ขณะทำการทดสอบวิ่งสปรินท์ในแต่ละเที่ยว (TSI_{max}– TSI_{min}= ΔTSI) (Jones et al., 2015)

ในวันแรกของการฝึก (หลังจากที่ผู้เข้าทดสอบได้พักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง)

5. ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 7 คนเท่ากัน ด้วยวิธีการจับคู่ (Matched pair) โดยใช้สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) เป็นเกณฑ์

5.1 ในกลุ่มทดลอง (Hypoxic group) จำนวน 7 คน ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (ดังรูปที่ 8 ขั้นตอนการฝึก) โดยผู้วิจัยทำการฝึกด้วยตนเอง ให้ผู้เข้าทดสอบวิจัยทำการฝึก ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 14.5%) โดยแต่ละช่วงของการฝึกจะมีการออกกำลังกายโดยใช้ความหนักสูงและช่วงของการผ่อนคลายเป็นการพักระหว่างการทำงาน จากการวิ่งบนลู่วิ่งด้วยความเร็วที่ 140% vVO_2peak, (Buchheit & Laursen, 2013) ความชัน 6% 3 เซ็ท ของการสปรินท์ 6 วินาที 10 เที่ยว (3 sets of 6-s × 10 sprints at 140% vVO_2peak, ความชัน 6%) โดยมีระยะพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ท 4 นาที และทำการวัดค่า Oxygen saturation (SpO_2) ที่บริเวณนิ้วชี้ ตลอดระยะเวลาการฝึก (Ponsot et al., 2006) จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (วันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ ช่วงเวลา 11.00-14.00 น. และ 14.00-17.00 น.) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยจะทำการฝึกที่ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

5.2 ในกลุ่มควบคุม (Normoxic group) จำนวน 7 คน ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%) ดังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ข้อ 5.1

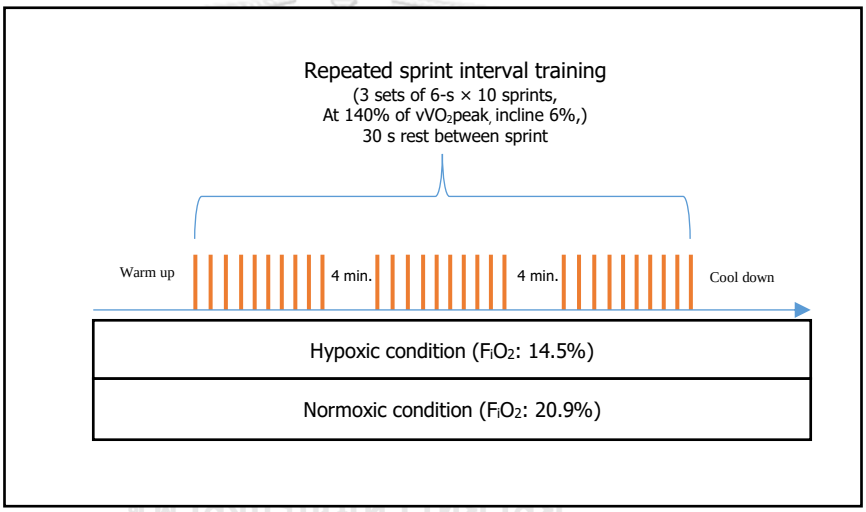
ในวันแรกของการทดสอบหลังการฝึก

6. ทำการทดสอบหลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 20.9%) (ดังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในข้อ 4) โดยการทดสอบแต่ละตัวแปรนั้นผู้วิจัยเป็นคนทดสอบด้วยตัวเองร่วมกับผู้วิจัยที่ได้รับการฝึกอบรมเรียบร้อยแล้ว

ในวันที่สองของการทดสอบหลังการฝึก (หลังจากที่ผู้เข้าทดสอบวิจัยได้พักเป็นเวลา 48 ชั่วโมง)

7. ทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ (RAST test) (ดังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในข้อ 4.9 - 4.10

8. นำข้อมูลจากการทดสอบไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 8 ขั้นตอนการฝึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

โปรแกรมการฝึกประกอบด้วย การฝึกสปรินท์ซ้ำ 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการฝึกวิ่งบนลู่วิ่งสายพานด้วยความเร็วที่ 140% vVO_2peak (ได้มาจากการคำนวณในการทดสอบ VO_2peak) ที่ความชัน 6% จำนวน 3 เซ็ต ในแต่ละเซ็ตประกอบด้วยการสปรินท์ 6 วินาที จำนวนทั้งหมด 10 เที่ยว (3 sets of 6-s × 10 sprints at 140% vVO_2peak, inclination 6%) โดยมีระยะพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 4 นาที โปรแกรมการฝึกนี้ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน โดยได้ค่า IOC เท่ากับ 0.89 (ภาคผนวก ค)

เครื่องมือสำหรับการทดสอบ

1. ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic room) ระบบเอทีเอส 5 เคเอช พี 750 (ATS-5KHP 750 SYSTEM) ประเทศออสเตรเลีย

2. สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Dragersorb 800 plus) ประเทศเยอรมัน

3. เครื่องชั่งน้ำหนักตัวและวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) ยี่ห้ออินบอดี้ (Inbody) ประเทศเกาหลีใต้

4. เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อ Polar H7 ประเทศฟินแลนด์

5. เครื่องวัดออกซิเจนในเลือด และอัตราการเต้นหัวใจ ดิจิตอล (Finger pulse oximeter) ยี่ห้อ โนนิน (Nonin) ประเทศสหรัฐอเมริกา

6. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ยี่ห้อ คอเท็กซ์ ซีพีอีที (Cortex CPET) รุ่น เมตาแม็ก 3 บี (MetaMax 3B) ประเทศอิตาลี

7. เครื่องวิเคราะห์ค่าแลคเตทในเลือด (Analog LM5) ประเทศอังกฤษ

8. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของโปรตีนในเซรั่ม ด้วยวิธี Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)

8.1 Hypoxic Inducible Factor (HIF-1α) ยี่ห้อ คูซ่า ไบโอ (Cusabio) ประเทศสหรัฐอเมริกา

8.2 Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) ยี่ห้อ ซิกม่า (Sigma) ประเทศเยอรมัน

9. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Near-infrared spectroscopy) ยี่ห้อ Portamon ประเทศเนเธอร์แลนด์

10. ลู่วิ่งกล (Treadmill) ยี่ห้อ เฮชพี คอสมอส รุ่น เมอร์คิวรี่ (h/p/cosmos, Mercury) ประเทศเยอรมัน

11. นาฬิกาจับเวลาอินฟาเรด (Timing gate) และโปรแกรม KMS (Kinematic measurement system) ยี่ห้อ Fitness technology ประเทศออสเตรเลีย

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้เก็บมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS version 23.0 ดังนี้

1. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน ($\bar{X}$±SD) ของตัวแปรตามทุกตัว

2. ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติโดยใช้ Shapiro-Wilk test

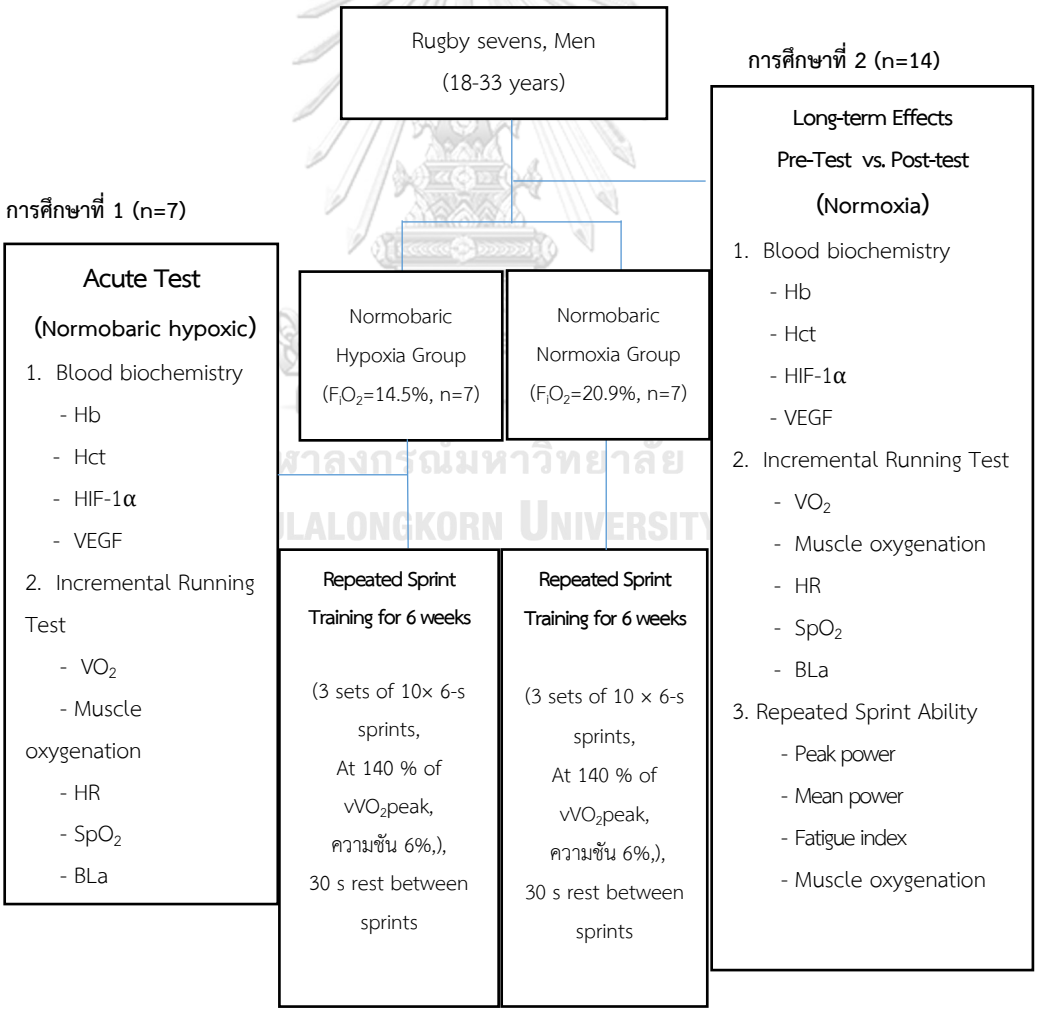
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. หากข้อมูลมีการกระจายตัวปกติ ทำเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกระหว่างกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ การทดสอบค่า “ที” *(Independent t-test)* และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกภายในกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ การทดสอบค่า “ที” *(Paired t-test)* (Ramos-Campo et al., 2018)

4. หากข้อมูลมีการกระจายตัวไม่ปกติ ทำการเปรียบเทียบผลโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Non- parametric test ทำเปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกภายในกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ Wilcoxon Signed Rank Test และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกระหว่างกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ The Mann-Whitney U Test

5. ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 9 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) ที่มีต่อ ระดับของโปรตีน HIF-1α, VEGF ในเซรั่ม การตอบสนองทางสรีรวิทยา และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกาย โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักรักบี้ชายตัวแทนทีมชาติไทยจำนวน 7 คน ทำการทดสอบผลฉับพลัน (Acute test) ของการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2 = 14.5%) เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ในห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และเพื่อศึกษาผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือดและความสามารถในการสปรินท์ซ้ำใน นักกีฬารักบี้ 7 คน โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักรักบี้ชายตัวแทนทีมชาติไทยจำนวน 14 คน ที่ทำการเก็บตัวฝึกซ้อมสำหรับการแข่งขันกีฬารักบี้ประเภท 7 คน ชิงชนะเลิศแห่งเอเชีย "Asia Rugby Sevens Series 2018 แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 7 คน ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ทำการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และกลุ่มควบคุมที่ทำการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) โดยทำการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (วันจันทร์ พุธ และศุกร์) ร่วมกับการฝึกซ้อมเกมส์และทักษะปกติภายใต้การควบคุมดูแลของผู้ฝึกสอนทีมชาติ เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนและหลังการฝึก ได้แก่ ข้อมูลทางสรีรวิทยาพื้นฐาน ผลฉับพลันของการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อในขณะพักและออกกำลังกายสูงสุด ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลตามระเบียบวิธีทางสถิติ และนำเสนอในรูปแบบตารางประกอบความเรียง และแผนภูมิ โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐาน ก่อนการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ตอนที่ 2 การศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทาง สารชีวเคมีในเลือดขณะพัก และการตอบสนองของตัวแปรทางสรีรวิทยาและปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ในขณะออกกำลังกายสูงสุด

2.1 การเปรียบเทียบผลทางโลหิตวิทยา ระดับสารชีวเคมีในเลือดและค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะขณะพักก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.2 การเปรียบเทียบการตอบสนองของตัวแปรทางสรีรวิทยา และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อกับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตอนที่ 3 การศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือดและความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน

3.1 การเปรียบเทียบผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางโลหิตวิทยา สารชีวเคมีในเลือดและค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ ระหว่างกลุ่มก่อนและหลังการทดลอง

3.2 การเปรียบเทียบผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ในขณะออกกำลังกายสูงสุด ระหว่างกลุ่มก่อนและหลังการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การเปรียบเทียบผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำและปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ในขณะการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ระหว่างกลุ่มก่อนและหลังการทดลอง

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐาน ก่อนการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง

ตัวแปร	กลุ่มทดลอง (n=7)	กลุ่มควบคุม (n=7)
	$\bar{X}$±SD	$\bar{X}$± SD
อายุ (ปี)	24.14±4.38	23.43±4.86
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	80.37±5.65	78.06±15.35
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	179.29±3.95	176.29±6.13
ปริมาณไขมันในร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	18.84±4.86	19.14±5.01
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/นาที/กิโลกรัม)	47.09±2.67	50.40±4.38

จากตารางที่ 5 พบว่า กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ปริมาณไขมันในร่างกาย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ปริมาณไขมันและสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เท่ากับ 24.14±4.38 ปี 80.37±5.65 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 179.29±3.95 เซนติเมตร 18.84±4.86 เปอร์เซ็นต์ และ 47.09 ± 2.67 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ปริมาณไขมันและสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เท่ากับ 23.43±4.86 ปี 78.06 ± 15.35 กิโลกรัม 176.29 ± 6.13 เซนติเมตร 19.14 ± 5.01 เปอร์เซ็นต์ และ 50.40 ± 4.38 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

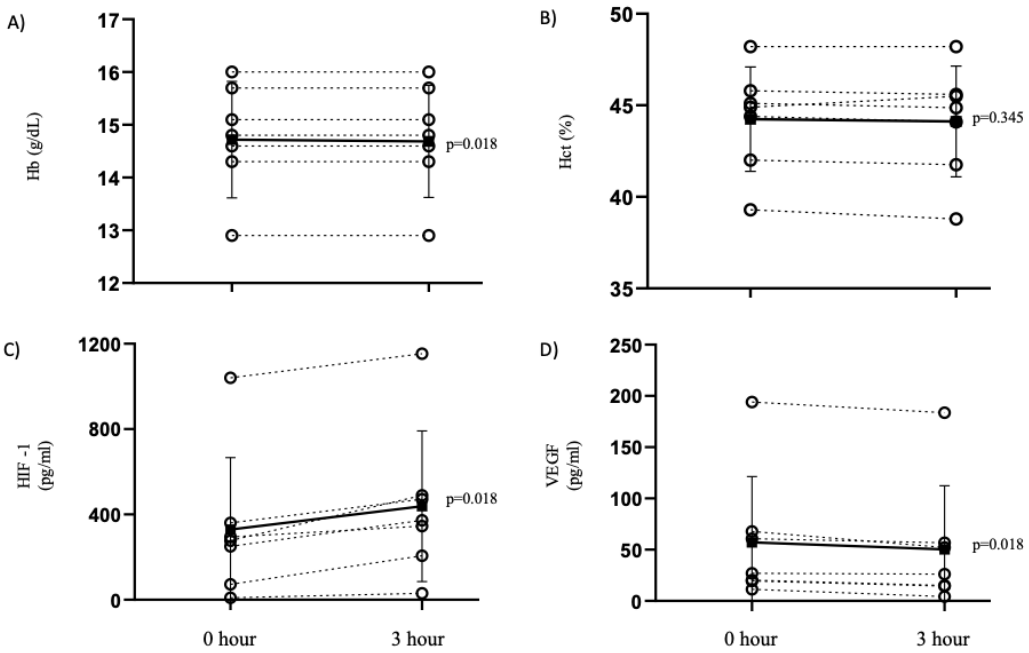
ตอนที่ 2 การศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (14.5%O_2) ที่มีต่อตัวแปรทางชีวเคมีในเลือดขณะพัก และการตอบสนองของตัวแปรทางสรีวิทยา และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกายสูงสุด

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยา สารชีวเคมีในเลือดและค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตัวแปร	ระยะเวลาที่สัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ n=7				
	0 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง		p-value
	$\bar{x}$±SD	95% CI	$\bar{x}$± SD	95% CI	
ปริมาณฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	14.77±1.02	13.83; 15.71	15.51±1.22*	14.39; 16.64	0.018
ปริมาณฮีมาโทคริต (เปอร์เซ็นต์)	44.24±2.85	41.61; 46.88	44.11±3.03	41.31; 46.92	0.345
ระดับโปรตีนในเลือด HIF-1α (พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร)	329.10±337.79	16.70; 641.50	438.38±352.89*	112.01; 764.75	0.018
ระดับโปรตีนในเลือด VEGF (พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร)	57.24±64.13	-2.08; 116.55	50.37±62.00*	-6.96; 107.71	0.018
ค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ	1.017±0.004	1.014; 1.021	1.022±0.003*	1.020; 1.025	0.020

*แตกต่างจากก่อนการทดลอง (0 ชั่วโมง); p<.05

จากตารางที่ 6 พบว่าการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณฮีโมโกลบิน ระดับโปรตีนในเลือด HIF-1α และระดับโปรตีนในเลือด VEGF แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยฮีมาโทคริต ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการสัมผัสอากาศ (F_iO_2=20.9%) โดยพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโทคริต ระดับโปรตีนในเลือด HIF-1α ระดับโปรตีนในเลือด VEGF และค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะก่อนการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (0 ชั่วโมง) มีค่าเท่ากับ 14.77±1.02 กรัม/เดซิลิตร, 44.24±2.85 เปอร์เซ็นต์, 329.10±337.79 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร, 57.24±64.13 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร และเท่ากับ 1.017±.004 ตามลำดับ ในขณะที่ภายหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (3 ชั่วโมง) ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโทคริต ระดับโปรตีนในเลือด HIF-1α ระดับโปรตีนในเลือด VEGF และค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ มีค่าเท่ากับ 15.51±1.22 กรัม/เดซิลิตร ,44.11±3.03 เปอร์เซ็นต์, 438.38±352.89 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร 50.37±62.00 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร และเท่ากับ 1.022±.002 ตามลำดับ



รูปที่ 10 แสดงผลฉับพลันเป็นรายบุคคล (เส้นประ) และค่าเฉลี่ย (เส้นทึบ) ของ (A) ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hb) (B) ปริมาณฮีมาโตรคริต (Hct) (C) ระดับโปรตีนในเลือด hypoxia-inducible factors-1 (HIF-1α) และ (D) ระดับโปรตีนในเลือด Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF), ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา *3* ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณฮีโมโกลบิน ระดับโปรตีนในเลือด HIF-1α เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และระดับโปรตีนในเลือด VEGF ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยฮีมาโทคริต ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการสัมผัสอากาศ (F_iO_2=20.9%)

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางสรีรวิทยาและสมรรถภาพทางกาย ขณะทำการทดสอบวิ่งบนลู่กลจนหมดแรง (Incremental running test) ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตัวแปร	ระยะเวลาที่สัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) n=7				
	0 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง		p-value
	$\bar{x}$± SD	95%CI	$\bar{x}$± SD	95%CI	
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ลิตร/นาที)	3.777±0.20	3.558; 3.966	2.920±0.31*	2.63; 3.21	0.000
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/นาที/น้ำหนักตัว)	47.09±2.67	44.63; 49.56	36.35±2.01*	34.49; 38.22	0.000
ความเร็วที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (กิโลเมตร/นาที)	14.36±0.56	13.84; 14.87	12.57±0.35*	12.25; 12.89	0.001
การระบายอากาศสูงสุด (ลิตร/นาที)	114.60±17.20	98.70; 130.50	108.21±17.02*	92.47; 123.95	0.016
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ครั้ง/นาที)	186.29±2.98	183.53; 189.05	169.29±9.11*	160.86; 177.71	0.002
สัดส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ (RER)	1.17±0.17	1.01; 1.32	1.14±0.10	1.05; 1.23	0.687
ระดับรับรู้ความเหนื่อย (6-20)	18.14±0.69	17.50; 18.78	18.29±0.49	17.83; 18.74	0.356
เวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรง (นาที)	10.17±0.89	9.35; 10.99	5.96±0.58*	5.42; 6.50	0.000
ความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือด (มิลลิโมล/ลิตร)	11.49±1.05	10.52; 12.45	12.27±0.96	11.38; 13.16	0.107
ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดงขณะออกกำลังกาย (เปอร์เซ็นต์)	88.00±4.58	83.76; 92.24	80.86±0.90*	80.03; 81.69	0.007

*แตกต่างจากก่อนการทดลอง (0 ชั่วโมง); p<.05

จากตารางที่ 7 แสดงผลฉับพลันของของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและสมรรถภาพทางกาย พบว่า หลังการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดขณะออกกำลังกาย (SaO_2 = 80.86%) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (SaO_2 = 88.00%) นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าเฉลี่ยสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ความเร็วที่จุดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด การระบายอากาศสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ ระดับรับรู้ความเหนื่อย และ ความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

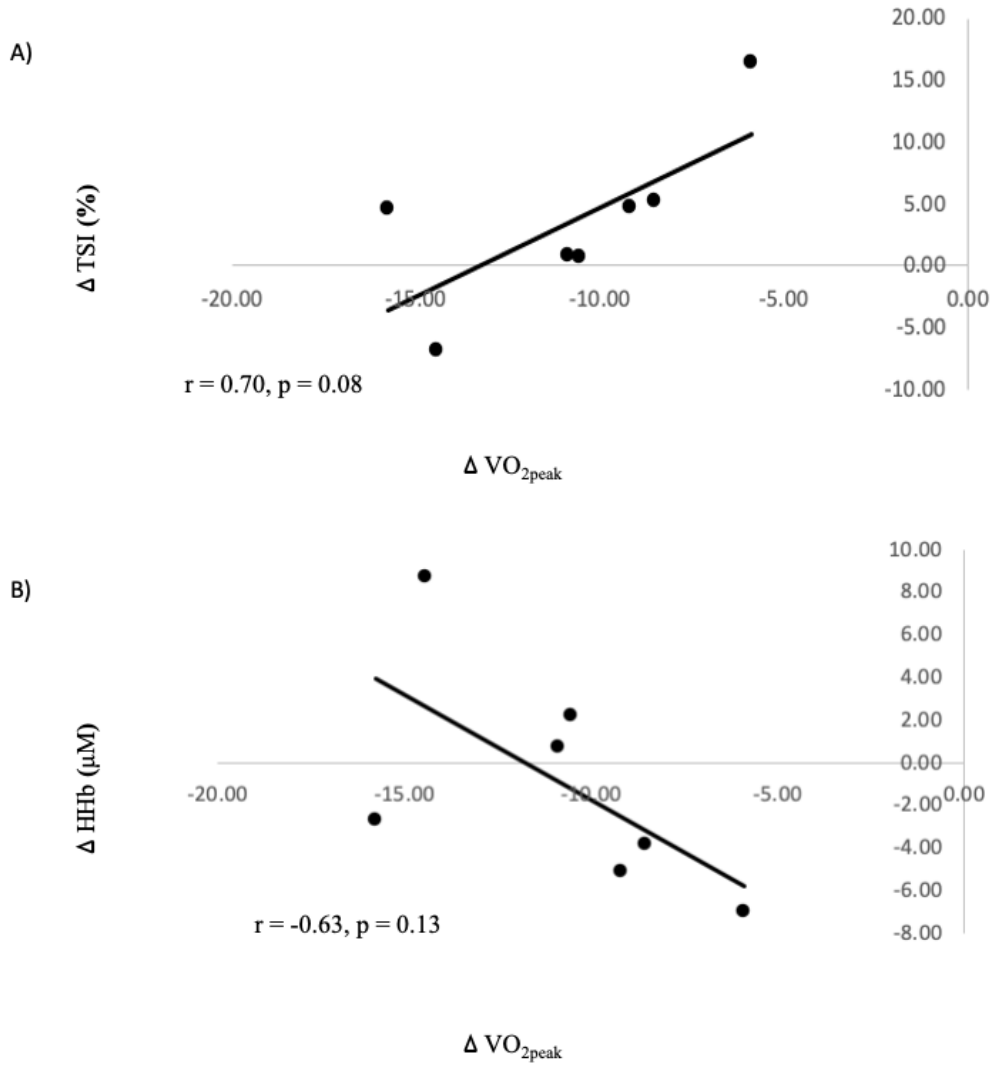
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะทำการทดสอบวิ่งบนลู่กล (Incremental running test) ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตัวแปร	ระยะเวลาที่สัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ(F_iO_2=14.5%) n=7				
	0 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง		p-value
	$\bar{x}$± SD	95%CI	$\bar{x}$± SD	95%CI	
การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI, %)	-21.75±7.05	-28.27; -15.23	-18.10±5.14	-22.86; -13.35	0.217
การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb, μM)	-11.28±4.70	-15.62; -6.94	-5.54±3.58*	-8.85; -2.22	0.003
การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb, μM)	15.21±3.16	12.29; 18.13	14.19±5.19	9.39; 18.99	0.633
การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของปริมาณฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบินรวม (ΔtHb, μM)	3.93±2.12	1.97; 5.89	8.65±3.35*	5.55; 11.75	0.024

*แตกต่างจากก่อนการทดลอง (0 ชั่วโมง); $p<.05$

จากตารางที่ 8 แสดงผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) ที่มีต่อตัวแปรปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะทำการทดสอบวิ่งบนลู่กล พบว่า ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) และปริมาณฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน (ΔtHb) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่ ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) และปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (F_iO_2=20.9%)



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ΔVO_2peak) และการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของตัวแปรการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI, ΔHHb) ก่อนและหลังสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ภายหลังการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) มีแนวโน้มมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (A, ΔTSI) (r=0.70, p=0.08) มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (B, ΔHHb) (r=-0.63, p=0.13) แม้ว่าจะไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ .05

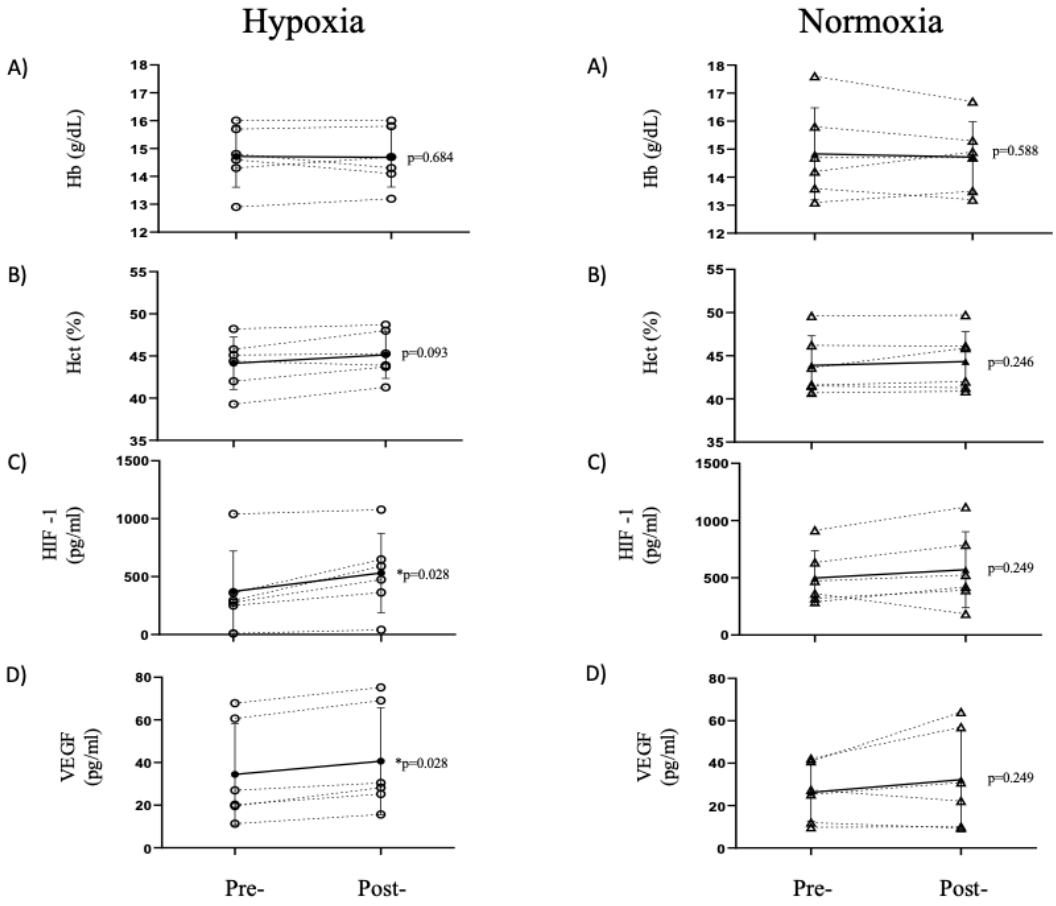
ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด และความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ

ตารางที่ 9 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางโลหิตวิทยา สารชีวเคมีในเลือดและค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์

ตัวแปรทางชีวเคมีในเลือด	กลุ่มทดลอง (n=6)			กลุ่มควบคุม (n=6)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value
	$\bar{X}$± SD	$\bar{X}$± SD		$\bar{X}$± SD	$\bar{X}$± SD	
ปริมาณฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	14.72±1.11	14.68±1.06	0.684	14.83±1.65	14.72±1.27	0.588
ปริมาณฮีมาโทคริต (เปอร์เซ็นต์)	44.13±3.11	45.15±2.80	0.093	43.87±3.44	44.32±3.49	0.246
ระดับโปรตีนในเลือด HIF-1α (พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร) †	371.86±348.65	532.28±343.00*	0.028	498.33±239.38	571.00±332.60	0.249
ระดับโปรตีนในเลือด VEGF (พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร)†	34.42±23.73	40.65±25.01*	0.028	26.23± 13.75	32.25±23.45	0.249
ค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ	1.017±0.004	1.014±0.011	0.581	1.017±0.004	1.019±0.004	0.083

† Non-parametric statistic (Wilcoxon Signed Rank Test และ Mann Whiney U Test)

* แตกต่างจากก่อนการทดลองภายในกลุ่ม (p<.05)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 12 แสดงการเปลี่ยนแปลงเป็นรายบุคคล (เส้นประ) และค่าเฉลี่ย (เส้นทึบ) ของ (A) ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hb), (B) ปริมาณฮีมาโตรคริต (Hct), (C) ระดับโปรตีน hypoxia-inducible factors-1 (HIF-1α) ในเลือด , และ (D) ระดับโปรตีน Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) ในเลือด, ก่อนและหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (Normoxia)

ตารางที่ 10 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาและระดับรับรู้ความเหนื่อย ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์

ตัวแปรทางสรีรวิทยา	กลุ่มทดลอง (n=7)			กลุ่มควบคุม (n=7)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value
	$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD	
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ลิตร/นาที)	3.777±0.20	4.032±0.32*	0.025	3.891±0.58	3.882±0.56	0.888
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/นาที/น้ำหนักตัว)	47.09±2.67	50.53±1.60*	0.030	50.40±4.38	50.23±3.61	0.861
ความเร็วที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (กิโลเมตร/นาที)	14.36±0.56	15.36±0.69*	0.027	14.00±1.26	14.29±1.19*	0.030
การระบายอากาศสูงสุด	114.60±17.20	115.61±18.48	0.521	109.17±19.09	113.60±16.63	0.281
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ครั้ง/นาที)	186.29±2.98	180.29±6.92*	0.047	190.57±5.62	187.57±5.19#	0.124
สัดส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ	1.17±0.17	1.09±0.14	0.113	1.12±0.10	1.16±0.02	0.352
ระดับรับรู้ความเหนื่อย (6-20)	18.14±0.69	18.00±1.00	0.736	17.86±0.69	17.57±1.27	0.356
เวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรง (นาที)	10.17±0.89	11.85±1.38	0.052	9.41±2.25	9.82±2.24	0.138
ความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือด (มิลลิโมล/ลิตร)	11.49±1.05	10.50±0.54*	0.020	10.67±0.40	10.07±0.63	0.057
ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดขณะออกกำลังกาย(เปอร์เซ็นต์)	88.00±4.58	86.00±3.83	0.183	85.86±4.95	86.29±3.35	0.843

*แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่ม (p<.05)

#แตกต่างจากหลังการฝึกระหว่างกลุ่ม (p<.05)

จากตารางที่ 9 พบว่า ก่อนการทดลองค่าเฉลี่ยของปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโทคริต และระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเลือด ของทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 อย่างไรก็ตามภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยของระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเซรั่ม เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน และปริมาณฮีมาโทคริต มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในทางตรงกันข้ามในกลุ่มควบคุม พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโทคริต และระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเซรั่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฮีโมโกลบิน ฮีมาโทคริต ระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเลือด หลังการฝึก 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่ากลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยของระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเลือด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน และปริมาณฮีมาโทคริต ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ.05 ขณะที่ในกลุ่มควบคุม พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโทคริต และระดับโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเลือดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ.05

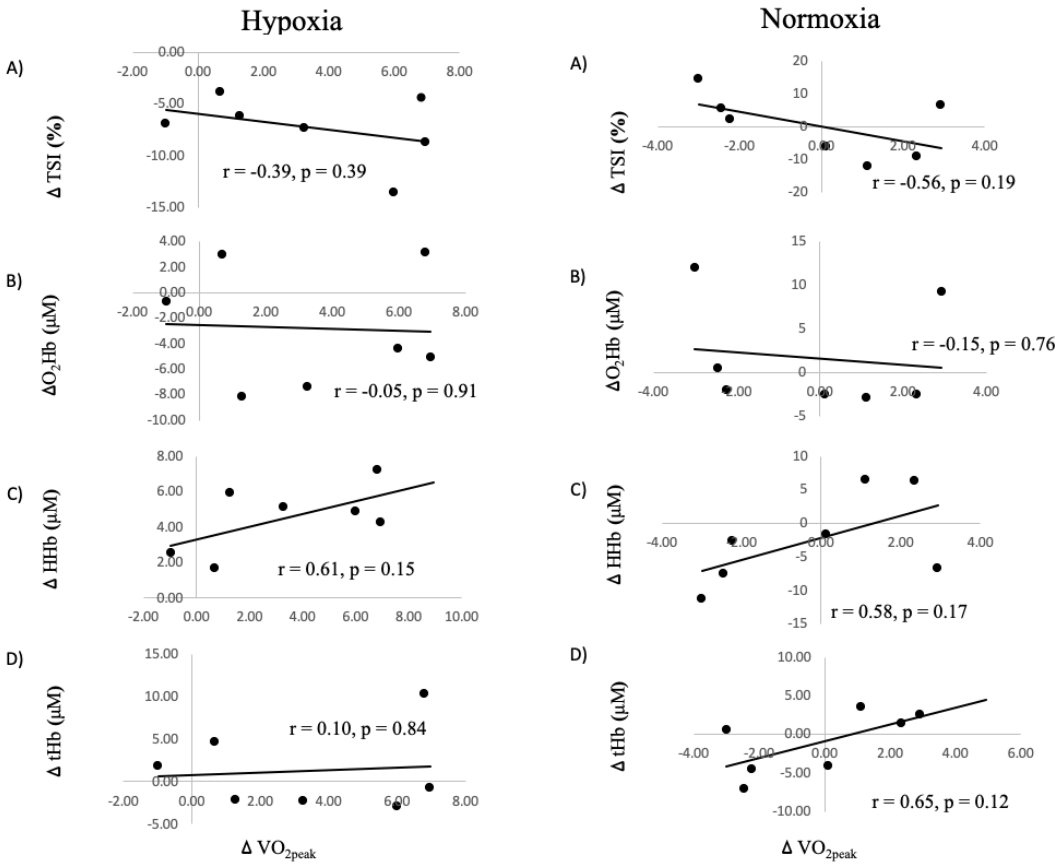
จากตารางที่ 10 พบว่า ก่อนการฝึกกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ความเร็วที่จุดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด การระบายอากาศสูงสุด สัดส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ ระดับรับรู้ความเหนื่อย เวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรง ความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือด และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 อย่างไรก็ตามภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และความเร็วที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก ในทางตรงกันข้ามในกลุ่มควบคุม พบว่ามีเพียงความเร็วที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่า หลังการฝึก 6 สัปดาห์ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดของกลุ่มทดลองลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของค่าตัวแปรทางสรีรวิทยาอื่นระหว่างระหว่างทั้งสองกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 11 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ขณะทำการทดสอบบนลู่กล **(Incremental Running Test)** ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม

ตัวแปรของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ	**กลุ่มทดลอง (n=7)**			**กลุ่มควบคุม (n=7)**		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value
	$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD	
การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI, %)	-21.75±7.05	-29.01±5.56*	0.001	-22.97±7.17	-22.52±8.56	0.906
การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb, μM)	-11.28±4.70	-14.07±2.09	0.165	-12.38±6.90	-10.71±5.19	0.507
การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb, μM)	15.21±3.16	19.74±3.75*	0.001	17.43±4.99	15.02±6.79	0.386
การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของปริมาณฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน (ΔtHb, μM)	3.93±2.12	5.19±3.40	0.516	5.05±3.33	3.99±2.93	0.523

*แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่ม (p<.05)



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ΔVO_2peak) และการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของตัวแปรปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI, ΔO_2Hb, ΔHHb, ΔtHb) ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำที่มีต่อตัวแปรความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการทดลอง

ตัวแปรความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ	**กลุ่มทดลอง (n=7)**			**กลุ่มควบคุม (n=7)**		
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	p-value	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	p-value
	$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD	
พลังสูงสุด (วัตต์ต่อน้ำหนักตัว)	10.43±1.30	10.69±1.41	0.205	10.52±1.20	10.64±1.07	0.335
พลังเฉลี่ย (วัตต์ต่อน้ำหนักตัว)	8.41±0.78	8.95±1.11	0.110	8.29±1.34	8.38±1.47	0.457
ดัชนีความเมื่อยล้า (วัตต์ต่อวินาที)	10.20±3.55	8.84±2.77*	0.010	10.05±1.84	9.73±1.64	0.374

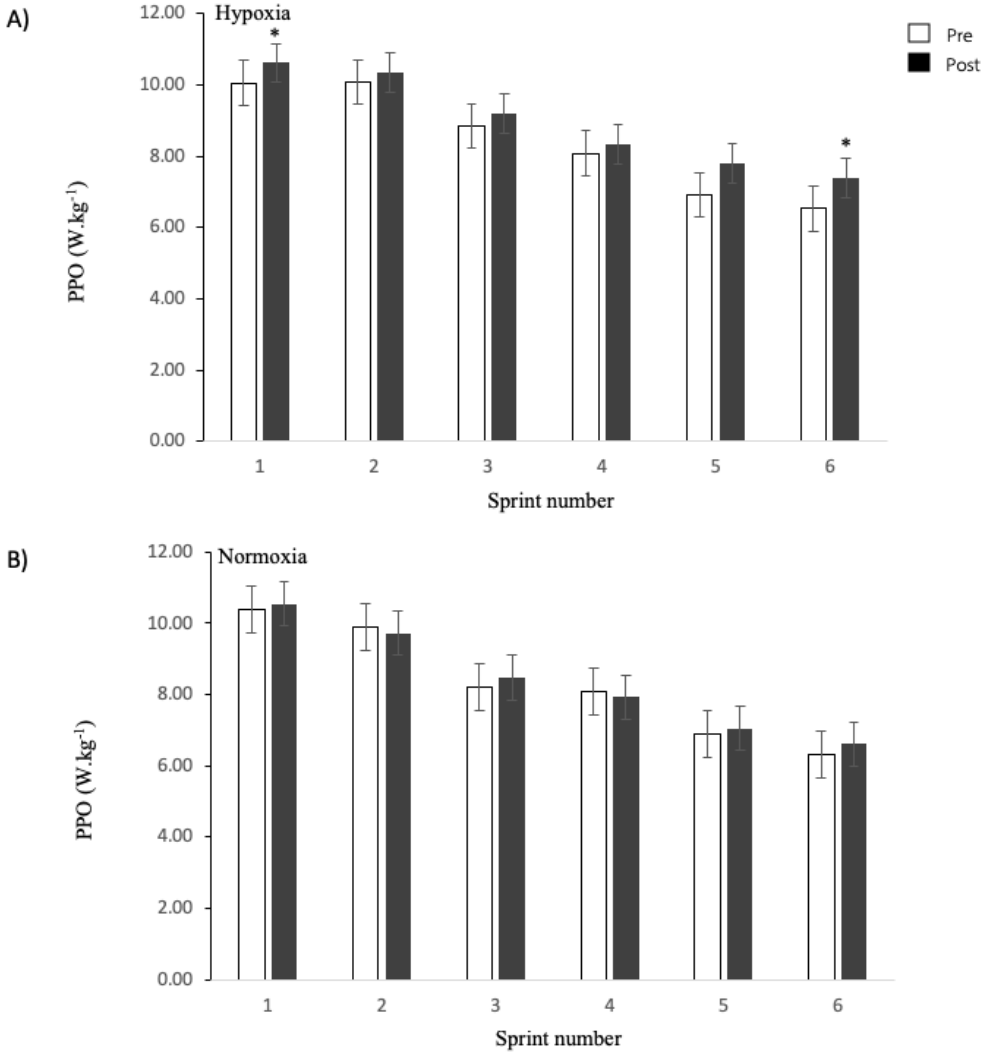
*แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่ม (p<.05)

จากตารางที่ 11 พบว่า หลังการฝึก 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจนขณะทำการทดสอบวิ่งบนลู่กล เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในทางตรงกันข้าม ในกลุ่มควบคุมไม่พบความแตกต่างของทุกตัวแปรก่อนและหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

จากรูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ΔVO_2peak) หลังการฝึก 6 สัปดาห์ มีแนวโน้มมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) และปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังการฝึก 6 สัปดาห์ มีแนวโน้มมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) และปริมาณฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน (ΔtHb) แม้ว่าจะไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ.05

จากตารางที่ 12 พบว่า ก่อนการฝึก ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยของตัวแปรความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ได้แก่ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความเมื่อยล้า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยของดัชนีความเมื่อยล้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในทางตรงกันข้ามในกลุ่มควบคุม พบว่าค่าเฉลี่ยพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความเมื่อยล้า ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าหลังการฝึก ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความเมื่อยล้า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

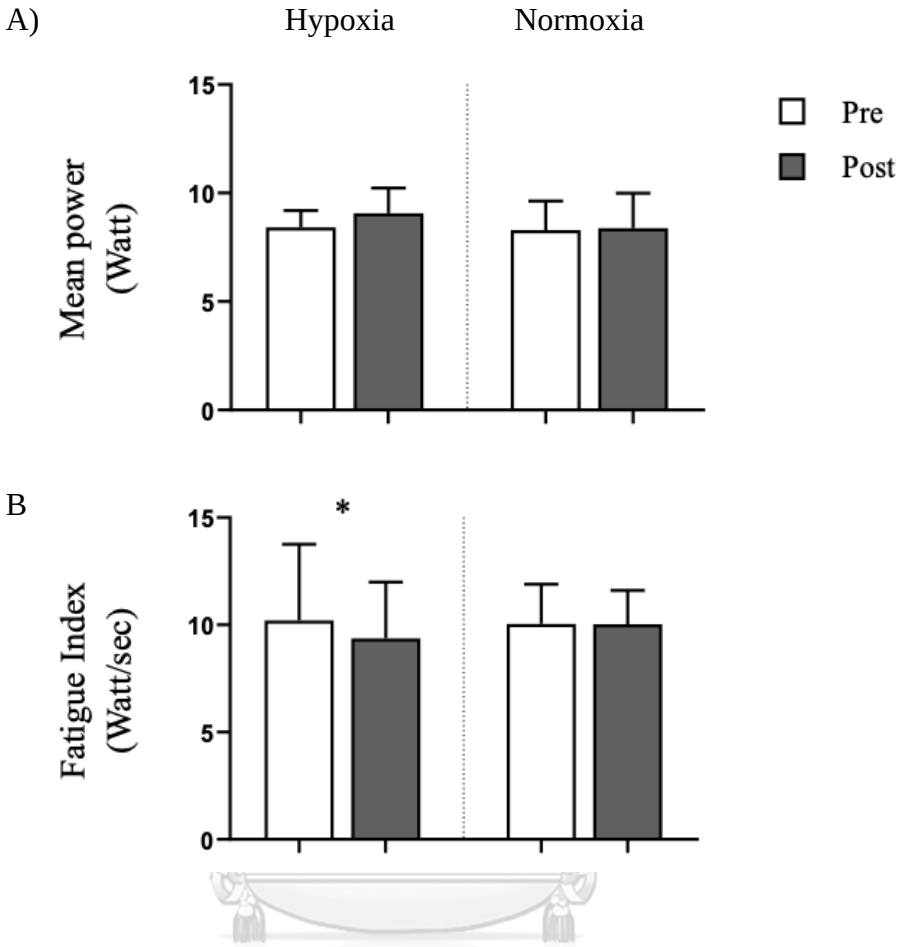
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 14 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดในแต่ละรอบ ขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (A) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (B)

*แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ($p<.05$)

จากรูปที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดในแต่ละรอบ ขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดในรอบที่ 1 และรอบที่ 6 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ขณะที่ในกลุ่มควบคุม พบว่ามีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดทุกรอบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 15 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ (A) พลังกล้ามเนื้อเฉลี่ยและ (B) ดัชนีความเมื่อยล้า ขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (Normoxia)
*แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ($p<.05$)

จากรูปที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยพลังพลังกล้ามเนื้อเฉลี่ยและดัชนีความเมื่อยล้า ขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยดัชนีความเมื่อยล้า ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ขณะที่ในกลุ่มควบคุมไม่ความแตกต่าง

ตารางที่ 13 ผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ขณะทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ **(RAST Test)** ภายในกลุ่มทดลอง

รอบการสปรินท์/ตัวแปรของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ	**กลุ่มทดลอง (n=7)**											
	TSI (%)			O2Hb (μM)			HHb (μM)			tHb (μM)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value
	$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD	
S1	-15.51±6.72	-20.05±9.00	0.409	-8.87±4.05	-9.52±5.27	0.839	6.66±5.52	9.95±6.13	0.258	-2.13±4.88	0.44±6.98	0.091
S2	-9.49±7.31	-19.39±5.06*	0.009	-5.73±6.84	-10.61±4.66	0.066	4.18±3.20	9.31±5.27	0.080	-0.65±7.56	-0.53±8.90	0.978
S3	-9.31±4.31	-14.45±7.39	0.086	-3.33±4.47	-6.61±5.78*	0.014	4.55±2.55	7.41±5.76	0.305	1.33±5.20	0.74±5.84	0.832
S4	-10.45±7.53	-14.70±6.66	0.220	-5.20±4.95	-4.55±2.86	0.472	4.42±3.95	8.73±3.74	0.098	-0.58±4.49	3.91±4.56	0.080
S5	-7.74±5.63	-9.80±4.82	0.270	-3.08±5.32	-5.54±2.97	0.221	3.29±1.20	4.46±3.23	0.331	0.11±5.22	-1.28±3.94	0.625
S6	-7.86±4.67	-14.21±7.33	0.096	-4.23±2.72	-7.20±4.72	0.142	2.92±3.07	7.92±4.54	0.059	-1.24±4.54	0.88±4.49	0.330
Mean±SD	**-10.06±3.63**	**-15.43±4.75***	**0.012**	**-5.08±2.83**	**-7.34±2.26***	**0.043**	**4.34±1.73**	**7.96±3.57***	**0.028**	**-0.53±2.71**	**0.69±2.86**	**0.439**

*แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่ม (p<.05)

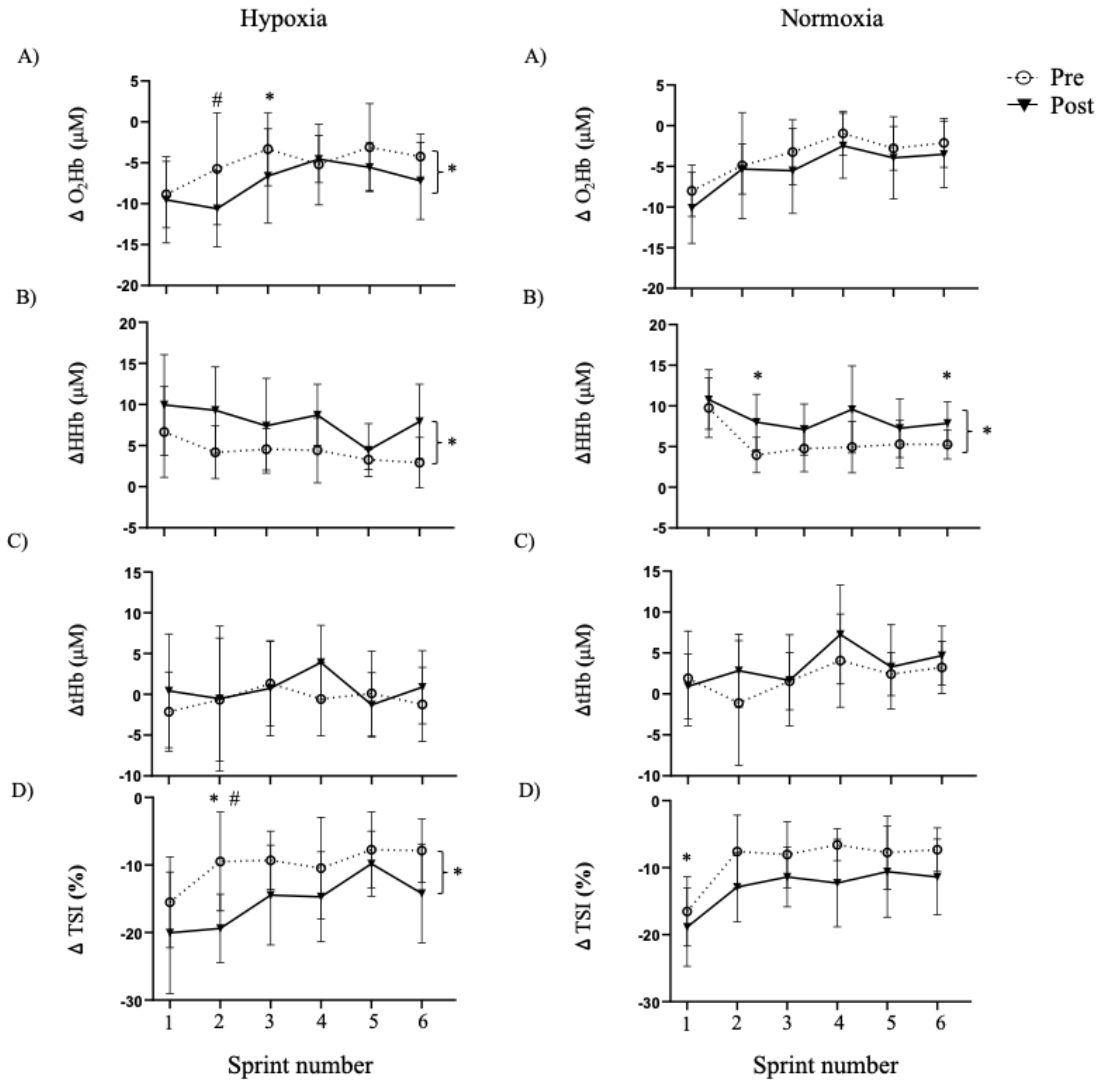
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 14 ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ขณะทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ **(RAST Test)** ภายในกลุ่มควบคุม

รอบการสปรินท์ /ตัวแปรของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ	**กลุ่มควบคุม (n=7)**											
	TSI (%)			O2Hb (μM)			HHb (μM)			tHb (μM)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value
	$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD		$\bar{x}$± SD	$\bar{x}$± SD	
S1	-16.53±5.17	-18.87±5.83*	0.029	-8.00±3.16	-10.10±4.36	0.283	9.76±3.65	10.79±3.66	0.212	1.90±5.78	0.93±3.95	0.634
S2	-7.59±5.42	-12.88±5.17#	0.054	-4.89±6.51	-5.32±3.09#	0.856	3.97±2.17	8.01±3.42*	0.027	-1.11±7.61	2.85±4.44	0.207
S3	-8.05±4.94	-11.38±4.47	0.186	-3.24±4.00	-5.54±5.24	0.332	4.76±2.83	7.10±3.14	0.088	1.56±3.48	1.65±5.56	0.965
S4	-6.58±2.36	-12.28±6.52	0.075	-0.94±2.73	-2.47±4.00	0.221	4.95±3.16	9.57±5.36	0.112	4.08±5.68	7.26±6.04	0.318
S5	-7.74±5.49	-10.60±6.79	0.224	-2.78±2.69	-3.95±5.06	0.545	5.30±2.92	7.26±3.62	0.129	2.42±2.63	3.31±5.14	0.614
S6	-7.32±3.25	-11.38±5.64	0.094	-2.11±3.03	-3.51±4.08	0.346	5.25±1.76	7.86±2.67*	0.023	3.24±3.18	4.68±3.61	0.332
Mean±SD	**-8.97±2.75**	**-12.90±3.98**	**0.058**	**-3.66±1.42**	**-5.15±2.95**	**0.357**	**5.66±1.68**	**8.43±2.19***	**0.033**	**2.02±2.22**	**3.45±2.24**	**0.388**

*แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่ม (p<.05)

#แตกต่างจากหลังการฝึกระหว่างกลุ่ม (p<.05)



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 16 แสดง (A) การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI), (B) การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb), (C) การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) และ (D) การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่และมัยโอโกลบิน (ΔtHb) ขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (Normoxia)

*แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ($p<.05$)

#แตกต่างจากหลังการฝึกระหว่างกลุ่ม ($p<.05$)

จากตารางที่ 13 แสดงผลของการฝึกวิ่งสปรินท์ซ้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ของออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะทำการทดสอบ RAST test พบว่า หลังการฝึก 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ในรอบที่ 2 (S2), ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน ในรอบที่ 3 (S3) และค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน ไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

จากตารางที่ 14 พบว่า หลังการฝึกกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อในรอบที่ 1 (S1), ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน ในรอบที่ 2 และ 6 (S2, S6) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน ไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

จากรูปที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดในแต่ละรอบ ขณะทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำ ก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ในรอบที่ 2 (S2), ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน ในรอบที่ 3 (S3) และค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในทางตรงกันข้ามในกลุ่มควบคุม พบว่าค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อในรอบที่ 1 (S1), ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน ในรอบที่ 2 และ 6 (S2, S6) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การศึกษา การศึกษาที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) หรือเทียบเท่ากับระดับความสูง 3,000 เมตรที่มีต่อระดับของโปรตีน HIF-1α, VEGF ในเซรั่ม การตอบสนองทางสรีรวิทยา และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย ในนักกีฬารักบี้ 7 คน และการศึกษาที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) ที่มีผลต่อระดับของโปรตีน HIF-1α VEGF ในเซรั่ม, การปรับตัวทางสรีรวิทยา และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ในนักกีฬารักบี้ 7 คน

นำข้อมูลที่เก็บได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน ($\bar{x}$±SD) ของตัวแปรตามทุกตัว และทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติโดยใช้ Shapiro-Wilk test หากข้อมูลมีการกระจายตัวปกติ ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกระหว่างกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ การทดสอบค่า “ที” *(Independent t-test)* และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกภายในกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์การทดสอบค่า “ที” *(Paired t-test)* หากข้อมูลมีการกระจายตัวไม่ปกติ ทำการเปรียบเทียบผลโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Non-parametric test ทำการเปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกภายในกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ Wilcoxon Signed Rank Test และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรก่อนการฝึกและหลังการฝึกระหว่างกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ The Mann-Whitney U Test โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัยการศึกษาที่ 1

การศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อระดับของโปรตีน HIF-1α, VEGF ในเซรั่ม การตอบสนองของตัวแปรทางสรีรวิทยา และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย ในนักกีฬารักบี้ 7 คน พบว่า

1. การสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) ทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน ระดับโปรตีน HIF-1α ในเซรั่ม เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 และและ VEGF ในเซรั่ม ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยฮีมาโทคริต ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (F_iO_2=20.9%)

2. การสัมผัสอากาศในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2= 14.5%) ทำให้ค่าเฉลี่ยสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2peak) อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HRpeak) การระบายอากาศสูงสุด (VEpeak) เวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรง (TE) และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SaO2) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 ในขณะที่ ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ (RER) ความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือด (Lapeak) และระดับรับรู้ความเหนื่อย (RPE) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (F_iO_2=20.9%)

3. การสัมผัสอากาศในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2= 14.5%) พบว่า มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และมีค่าเฉลี่ยของปริมาณของฮีโมโกลบินและมัยโอโกลบิน (ΔtHb) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) และปริมาณของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (F_iO_2=20.9%)

4. การเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ΔVO_2peak) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ (ΔTSI) (r=0.70, p=0.08) ขณะที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของฮีโมโกลบินที่ไม่ได้จับกับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔHHb) (r=-0.63, p=0.13)

สรุปผลการวิจัยในการศึกษาที่ 2

การศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=14.5%) และสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2=20.9%) ที่มีผลต่อระดับของโปรตีน HIF-1α, VEGF ในเซรั่ม ตัวแปรทางสรีรวิทยา ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ในนักกีฬารักบี้ 7 คน พบว่า

ตัวแปรทางสารชีวเคมีในเลือด

หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่ากลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยของระดับโปรตีน HIF-1α VEGF ในเซรั่ม เพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 แต่ค่าเฉลี่ยฮีโมโกลบินและค่าเฉลี่ยฮีมาโทคริต ไม่แตกต่างจากก่อนการทดลอง ในขณะที่กลุ่มควบคุมไม่พบความแตกต่าง

ตัวแปรสมรรถภาพทางแอโรบิค

หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่ากลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือด การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) และการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของ

ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) แตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 อีกทั้งกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในขณะที่กลุ่มควบคุมไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง นอกจากนี้กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยของความเร็วที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดแตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตัวแปรความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ

หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 พบว่ากลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยของดัชนีความเมื่อยล้า การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) เปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) และการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) แตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ค่าเฉลี่ยของพลังสูงสุดและค่าเฉลี่ยของพลังต่ำสุด ไม่แตกต่างจากก่อนการทดลอง ในขณะที่กลุ่มควบคุมพบว่ามีเพียงค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) แตกต่างจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

อภิปรายผลการวิจัยการศึกษาที่ 1

เมื่อร่างกายสัมผัสกับอากาศบนที่สูงหรือในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ร่างกายจะมีการปรับสมดุลของร่างกายต่อสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำโดยผ่านการกระตุ้นโปรตีน Hypoxic Inducible Factor (HIF-1α) ซึ่งจะมีความไวต่อภาวะที่เนื้อเยื่อในร่างกายขาดออกซิเจน (Tissue hypoxia) HIF-1α เป็นโปรตีนหลักที่ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง (Erythropoiesis) รวมทั้งการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่ (Angiogenesis) โดยจะกระตุ้นการทำงานผ่านโปรตีน Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการสร้างและการเจริญเติบโตของหลอดเลือดฝอยอีกทีหนึ่ง ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2 = 14.5%) เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ทั้งปริมาณฮีโมโกลบินและระดับโปรตีน Hypoxic Inducible Factor (HIF-1α) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างระหว่างบุคคลค่อนข้างสูง (Idriss, 2013) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรดังกล่าว อาจเกิดจากการปรับตัวของร่างกายเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยเซลล์จะมีการตอบสนองโดยการกระตุ้นการสร้างโปรตีนดังกล่าว (Semenza, 2003) เพื่อเพิ่มการขนส่งไปยังเซลล์กล้ามเนื้อให้เพียงพอกับความต้องการในการใช้ออกซิเจนของร่างกาย โดยกระตุ้นผ่านการสร้างฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน (Erythropoietin) จากไต ซึ่งจะไปเพิ่มการสร้างเม็ดเลือดแดงจากไขกระดูก ส่งผลให้ปริมาณฮีโมโกลบินและความสามารถในการขนส่งออกซิเจนเพิ่มขึ้น (Bunn & Poyton, 1996) ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับ มูเนียร์และคณะ (Mounier et al.,

2009) ที่ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสัมผัสอากาศในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (ความสูง 3,000 เมตร) ซึ่งเทียบเท่ากับระดับความสูงที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ที่มีต่อสารชีวเคมีในเลือดในนักกีฬาประเภทอดทนชั้นเลิศ พบว่า ความเข้มข้นของโปรตีน HIF-1α ในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามค่าฮีมาโทรคริตมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากทำการปรับด้วยค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าปริมาณโปรตีน VEGF ในเซรั่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองนี้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของโปรตีน HIF-1α สามารถกระตุ้นการสร้างโปรตีน VEGF อีกทีหนึ่ง ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าระดับโปรตีน VEGF ที่มีอยู่ในร่างกายอาจมีปริมาณเพียงพอในการตอบสนองในช่วงแรกของการสัมผัสอากาศ จึงยังไม่จำเป็นต้องมีการเพิ่มการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ (Oltmanns et al., 2006) นอกจากนี้เนื่องจากโปรตีน VEGF ส่วนใหญ่ถูกสังเคราะห์มาจากเซลล์เอ็นโดทีเรียล (Endothelial cell) โคลอมโบและคณะ (Colombo et al., 2012) พบว่าการสัมผัสอากาศในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ระดับความสูงที่ 4,100 ม.) เป็นเวลา 30 นาที ทำให้จำนวนเซลล์เอ็นโดทีเรียลลดลง จึงส่งผลให้ระดับโปรตีน VEGF ลดลง

นอกจากนี้การสัมผัสกับอากาศบนที่สูงหรือในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย ส่งผลทำให้สมรรถภาพร่างกายลดลง งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบตัวแปรสมรรถภาพทางแอโรบิคโดยการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ขณะวิ่งบนลู่กล ภายหลังการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) ความเร็วสูงสุดในการวิ่ง (vVO_2peak) และเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรง (Time to exhaustion) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (F_iO_2 = 20.9%) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SaO_2) ลดลงจาก 88% เหลือเพียง 80% ซึ่งอาจทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ขนส่งไปยังกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ ทำให้กล้ามเนื้อต้องมีการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้น การระบายอากาศเพิ่มขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการล้าเร็วขึ้น และสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดลดลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดสูงสุดมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ จึงอาจเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในเลือดที่ลดลงเพียงอย่างเดียวแต่อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ซูบุดดีและคณะ (Subudhi, Dimmen, & Roach, 2007) ที่ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพขณะการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักจนล้าพบว่า สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตราการระบายอากาศ อัตราการเต้นของหัวใจ และความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ในสภาวะที่มี

ปริมาณออกซิเจนต่ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ และสอดคล้องกับการศึกษาของ มาร์ตินและคณะ (Martin et al., 2009) ที่ได้ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ในอาสาสมัครที่มีสุขภาพดี จำนวน 24 คน ที่ระดับน้ำทะเล (75 เมตร) และ ที่ระดับความสูง (3,500 เมตร) โดยการปั่นจักรยานที่ จนกระทั่งล้า พบว่าเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรงในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำลดลง เมื่อเทียบกับสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ

เป็นที่ทราบกันดีว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของร่างกายขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ ความสามารถในการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อ (O_2 delivery) และปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (O_2 utilization) ดังนั้นการลดลงของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ อาจเกิดได้ทั้งจากการลดลงของ O_2 delivery หรือ O_2 utilization หรือการลดลงของทั้งสองปัจจัย ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยยังได้วัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยใช้เครื่อง NIRS ซึ่งหลังจากการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้ออกซิเจนที่กล้ามเนื้อขณะออกกำลังกายจนหมดแรง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงดัชนีการใช้ออกซิเจน (ΔTSI) ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการดึงออกซิเจนไปใช้ของกล้ามเนื้อและการเปลี่ยนแปลงฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) ที่เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการดึงออกซิเจนไปใช้ของกล้ามเนื้อ ไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่ฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (ΔO_2Hb) ลดลง ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อลดลง (Oxygen availability) ในขณะที่ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อไม่เปลี่ยนแปลง จากข้อมูลนี้สรุปได้ว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ลดลงหลังจากการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เกิดจากการลดลงของประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนมายังกล้ามเนื้อ โดยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำทำให้เกิดการลดลงของความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ส่งผลให้มีปริมาณฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจนลดลง ทำให้ความสามารถในการขนส่งออกซิเจนน้อยลงตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัยในการศึกษาที่ 2

ปัจจุบันแม้ว่าการฝึกซ้อมบนที่สูงมีหลายรูปแบบ แต่รูปแบบที่กำลังได้รับความนิยมมาก คือ การฝึกสปรินท์ซ้ำที่ระดับความหนักสูงโดยเป็นการฝึกแบบผสมผสานทั้งระบบพลังงานแบบแอโรบิคและการฝึกความแข็งแรง ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า จะช่วยพัฒนาทั้งความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ตลอดจนความสามารถในการทนต่อสภาพความเมื่อยล้าได้ดี นอกจากนี้การฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำยังสามารถกระตุ้นระบบพลังงานทั้งแอโรบิกและแอนแอโรบิก ด้วยการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว ส่งผลให้มีการ

พัฒนาทั้งสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬาประเภททีม (Balsom et al., 1992; Duffield et al., 2009) โดยสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการเปลี่ยนแปลงสารชีวเคมีในเลือด

หลังการฝึก 6 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มทดลองมีระดับโปรตีน HIF-1α และระดับโปรตีน VEGF ในเลือดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ จากการทบทวนวรรณกรรมของ โอโน่และคณะ (Ohno et al., 2012) พบว่าโปรตีน HIF-1α ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลัก (Master regulator) ที่กระตุ้นการทำงานของยีนส์จำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อการขาดออกซิเจนทำงานเพิ่มขึ้น โปรตีนที่สำคัญคือ VEGF ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นให้มีการสร้างเส้นเลือดใหม่ และอีริโทรโพอิตินซึ่งกระตุ้นให้ไขกระดูกสร้างเม็ดเลือดแดงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ฝึกภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ จึงอาจเป็นไปได้ว่าเกิดจากการเพิ่มปริมาณของโปรตีน HIF-1α และ VEGF ที่ร่างกายตอบสนองต่อสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เฟสส์ และคณะ (Faiss et al., 2013) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำต่อความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ โดยกลุ่มตัวอย่างทำการฝึกสปรินท์ซ้ำด้วยจักรยาน 8 ครั้ง (จำนวน 3 เซต ๆ ละ 5 เที่ยวๆละ 10 วินาที) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ๆ ละ 2 วัน ที่สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (ความสูงที่ 3,000 เมตร) และภายใต้สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนปกติ (ความสูงที่ 485 เมตร) โดยพบว่าหลังจากการฝึกสปรินท์ซ้ำ ระดับโปรตีนในเลือด HIF-1α และ VEGF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ผลต่อสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

จากสมการของฟิค (Fick's law) ที่กล่าวว่าอัตราการขนส่งออกซิเจน (Oxygen delivery) ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนในเลือดแดง (CaO_2) และปริมาณของเลือดที่บีบออกจากหัวใจในแต่ละนาที (Cardiac output) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวัดตัวแปรของฮีโมโกลบิน (Hb) ฮีมาโทรคริต (Hct) และความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SaO_2) แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเกิดจากระยะเวลาในการสัมผัสอากาศไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตัวแปรดังกล่าว เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน ในกระแสเลือดจะต้องใช้ระยะเวลา 90-120 นาที ของการสัมผัสอากาศในแต่ละครั้งของการฝึก (Czuba et al., 2011; Rodríguez et al., 2000) ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการฝึกในแต่ละครั้งเป็นเวลา 30 นาที จึงอาจมีระยะเวลาไม่เพียงพอในการกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน จึงอาจส่งผลให้ปริมาณของฮีโมโกลบิน ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการศึกษาต่อไปควรมีการวัดฮอร์โมนอีริโทรโพอิตินด้วย นอกจากนี้อัตราการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อ ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของเลือดที่บีบออกจากหัวใจในแต่ละนาที

(Cardiac output) ในการศึกษานี้พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดลดลงหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ สะท้อนว่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่เพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (Stroke volume) และความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ

นอกจากนี้ผลการวิจัยยังพบว่า เวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายจนหมดแรง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ทำการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ ฟอนาเซียร์และคณะ (Fornasier-Santos, Millet, & Woorons, 2018) ที่กล่าวว่าการฝึกสปรินท์ซ้ำภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถพัฒนาความทนทานต่อความเมื่อยล้าได้มากขึ้น ถึงแม้ว่ากลไกยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่อาจเป็นไปได้ว่าการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ จะกระตุ้นทำให้ร่างกายมีการสะสมปริมาณของแลคเตทในเลือดสูงขึ้น ทำให้ร่างกายมีการปรับตัวส่งผลให้มีการกำจัดแลคเตท (Lactate clearance) ได้ดีขึ้น นอกจากนี้เฟสส์และคณะ (Faiss et al., 2013) ยังพบว่าความสามารถในการบัฟเฟอร์ของร่างกายจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำ จึงทำให้สามารถควบคุม pH หรือ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการทำให้เกิดการล้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลต่อปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Near-infrared spectroscopy; NIRS) ซึ่งสะท้อนถึงความสมดุลในการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อ (Oxygen delivery) และการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ (Oxygen utilization) ในการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าในกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI) และค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่กลุ่มควบคุมไม่พบความแตกต่าง จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการดึงออกซิเจนไปใช้ในกล้ามเนื้อดีขึ้น เนื่องจากความสามารถในการใช้ออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับปริมาณการไหลของเลือด (Blood flow) ไปยังกล้ามเนื้อ โดยการศึกษาครั้งนี้จึงทำการวัดระดับโปรตีน VEGF ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการสร้างหลอดเลือดฝอย และพบว่ากลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยระดับโปรตีน VEGF เพิ่มขึ้นหลังจากการฝึก แสดงให้เห็นว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ สามารถเพิ่มจำนวนหลอดเลือดฝอยได้ แม้ว่าการศึกษาในครั้งนี้จะไม่ได้ทำการวัดการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อโดยตรง แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การฝึกสปรินท์ซ้ำในระยะเวลา 6 สัปดาห์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ทำให้การขยายหลอดเลือดเพิ่มมากขึ้น (Green, Hopman, Padilla, Laughlin, & Thijssen, 2017) ส่งผลให้ระยะทางในการแพร่ของออกซิเจนจากหลอดเลือดฝอยไปยังเซลล์กล้ามเนื้อดียิ่งขึ้น กล้ามเนื้อจึงสามารถดึงออกซิเจนไป

ใช้ได้มากขึ้น (Dinenno et al., 2001; Green et al., 2017; Rowley et al., 2011) นอกจากนี้ การศึกษาที่ผ่านมา พบว่า หลังการฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2 = 14.5%) สามารถเพิ่มจำนวนของไมโทรคอนเดรียในกล้ามเนื้อได้ ส่งผลให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยใช้ NIRS ที่พบว่าปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) เพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกายจนหมดแรง (Jacobs et al., 2013; Murias, Kowalchuk, & Paterson, 2010; Prieur & Mucci, 2013) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ อีกทั้งยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง VO_2peak และปริมาณของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (ΔHHb) ขณะทำการทดสอบการปั่นจักยานจนหมดแรง (Okushima et al., 2016) และ เค็นและคณะ (Caen et al., 2019) ได้ทำการศึกษาการฝึกแอโรบิคแบบหนักสลับพักที่มีผลต่อการตอบสนองของการใช้ออกซิเจนที่กล้ามเนื้อ ในกลุ่มตัวอย่างที่มีกิจกรรมทางกาย พบว่า ฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) ระหว่างก่อนและหลังการฝึกแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลต่อความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ

หลังการฝึก 6 สัปดาห์ กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยดัชนีความเมื่อยล้าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างในกลุ่มควบคุม ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ แฮมลินและคณะ (Hamlin, Marshall, Hellemans, Ainslie, & Anglem, 2010) ที่พบว่า การฝึกสปรินท์ซ้ำที่สภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของกล้ามเนื้อแบบแอนแอโรบิคได้ดีกว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ในนักกีฬารักบี้ 7 คน และการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการออกซิเจนสูงสุดหลังการฝึกอาจส่งผลให้กล้ามเนื้อมีการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอตินขึ้นมาใหม่ได้เร็วขึ้นในระหว่างการพักในการสปรินท์ซ้ำ จึงทำให้นักกีฬารักษาระดับความเร็วในการวิ่งสปรินท์ซ้ำได้ดีขึ้น (Ramos-Campo et al., 2018) นอกจากนี้ การศึกษาที่ผ่านมายังพบว่าการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงสามารถเพิ่มการสังเคราะห์ โปรตีนโมโนคาร์บอคซีเลต 1 และ 4 (MCT 1 และ MCT 4) ซึ่งทำหน้าที่ในการขนส่งแลคเตทเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยเปลี่ยนเป็นไพรูเวท (pyruvate) และขนส่งเข้าสู่ไมโทรคอนเดรีย เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ ATP ดังนั้นทำให้มีการสะสมแลคเตทในกล้ามเนื้อและเลือดลดลง ส่งผลให้ค่าดัชนีการล้าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก (Bickham, Bentley, Le Rossignol, & Cameron-Smith, 2006; Medbø & Burgers, 1990; Millet et al., 2014; Perry, Heigenhauser, Bonen, & Spriet, 2008; Ramos-Campo et al., 2018) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ กาลวินและคณะ (Galvin et al., 2013) ที่พบว่า การฝึกสปรินท์ซ้ำใน 4 สัปดาห์ภายใต้ปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=13.0%) สามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการสปรินท์ซ้ำได้ดีกว่ากลุ่มที่ทำการฝึกสปรินท์ซ้ำภายใต้ปริมาณออกซิเจนปกติ และ คาไซและคณะ (Kasai et al.,

2015) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกสปรินท์ในนักกีฬาหญิงด้วยการปั่นจักรยาน 4 สัปดาห์ ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (F_iO_2=14.5%) พบว่า ดัชนีความเมื่อยล้าของกลุ่มที่ทำการฝึกภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังพบว่า ในกลุ่มทดลองมีค่าดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (TSI) และค่าความแตกต่างของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) เพิ่มขึ้น หลังการฝึกสปรินท์ซ้ำภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การศึกษาที่ผ่านมายังพบว่า การออกกำลังกายที่มีความหนักสูงยังช่วยให้ปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวช้า (Type I) เพิ่มขึ้น (Essig, 1996) ซึ่งการปรับตัวของกล้ามเนื้อดังกล่าวอาจทำให้ดีขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ เพรียและคณะ (Prieur & Mucci, 2013) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกหนักสลับพักด้วยความหนักสูง พบว่า หลังการฝึก 6 สัปดาห์ มีการเพิ่มขึ้นของฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (HHb) และปริมาณเลือด (blood volume) อย่างมีนัยสำคัญ และเจคอปและคณะ (Jacobs et al., 2013) ที่พบว่า จำนวนไมโตรคอนเดรียเพิ่มขึ้นหลังการฝึกหนักสลับพักด้วยความหนักสูง โดยกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดในรอบที่ 1 และรอบที่ 6 เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เฟสส์และคณะ (Faiss et al., 2015) ยังพบว่าหลังการฝึกแบบหนักสลับพักปริมาณของโซเดียมโพแทสเซียมปั้มที่กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Na^+-K^+ pumps) ทำให้เกิดการสะสมของโพแทสเซียมในกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดการล้าของกล้ามเนื้อลดลง ส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดความล้าช้าลง (Nielsen et al., 2004) อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ไม่ได้ทำการวัดปริมาณของโปรตีนดังกล่าว ดังนั้นในการศึกษาต่อไป ควรมีการวัดปริมาณของโซเดียมโพแทสเซียมปั้ม (Na^+- K^+ pumps) ที่กล้ามเนื้อด้วย เพื่อจะช่วยให้เข้าใจกลไกในการชะลอการล้าหลังการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า การฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ บนลู่วิ่งด้วยความเร็วที่ 140% ที่ความเร็วที่อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVO2max), ที่ความชัน 6% จำนวน 3 เซ็ท ๆ ละ 10 เที่ยวๆละ 6 วินาที โดยมีระยะพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ท 4 นาที เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ร่วมกับการฝึกซ้อมปกติสามารถพัฒนาความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คนได้ จากการที่มีค่าดัชนีความเมื่อยล้าลดลง และมีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดในรอบที่ 1 และรอบที่ 6 เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทำให้ร่างกายหรือกล้ามเนื้อมีความสามารถในการสลายกรดแลคเตทได้ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดการสะสมความเข้มข้นสูงสุดของแลคเตทในเลือดน้อยลง อาจเป็นไปได้ว่าการพัฒนาของร่างกายในด้านต่าง ๆ ที่ดีขึ้นนี้ เกิดจากกลไกของการตอบสนองต่อสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ร่างกายมีการสร้างโปรตีน HIF-1α และ VEGF ในเลือด

เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการฝึกในสภาวะที่มีออกซิเจนปกติและความดันบรรยากาศปกติ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการฝึกซ้อมและเตรียมตัวเพื่อการแข่งขันของนักกีฬารักบี้ 7 คน ต่อไป

ข้อจำกัดในการวิจัย

1. จำนวนกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้มีจำนวนน้อย ทำให้ผลการทดลองที่ได้อาจไม่เป็นตัวแทนของประชากร ดังนั้นการศึกษาครั้งต่อไปอาจทำการเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. การศึกษาครั้งนี้ใช้ความหนักในฝึกเทียบเท่ากับการวิ่งสปรินท์ด้วยความเร็วสูงสุด เนื่องจากเครื่องมือในการฝึกไม่สามารถวิ่งสปรินท์ด้วยความเร็วสูงสุดได้ เพราะฉะนั้นการศึกษาครั้งต่อไปอาจทำการฝึกด้วยลู่วิ่งไม่ใช้ไฟฟ้า (Non-motorized treadmill) ซึ่งทำให้นักกีฬาสามารถใช้ความพยายามและเร็วสูงสุดที่แท้จริงได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. แบบฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกตินี้ สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสมรรถภาพด้านแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬารักบี้ 7 คน เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมให้นักกีฬารักบี้ 7 คน หรือนักกีฬาประเภททีมอื่น ๆ ที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวและความต้องการพลังงานที่ใกล้เคียงกันในการวางแผนการฝึกซ้อมและการแข่งขันได้

2. การศึกษาครั้งต่อไปควรทำการวัดตัวแปรทางชีวเคมีอื่น เช่น ปริมาณโปรตีนโซเดียมโพแทสเซียมปั๊มในกล้ามเนื้อ เพื่อจะช่วยให้เข้าใจกลไกในการชะลอการล้าของกล้ามเนื้อได้ดียิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ใบรับรองโครงการวิจัย

AF 01-12

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. 108/2561

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 080.1/61 : ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา, สารชีวเคมีในเลือดและความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน

ผู้วิจัยหลัก : นางสาววดี พราหมณ์กระโทก

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณา โดยใช้หลัก ของ The International Conference on Harmonization – Good Clinical Practice (ICH-GCP) อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทัศนประดิษฐ)
ประธาน

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 3 พฤษภาคม 2561 **วันหมดอายุ** : 2 พฤษภาคม 2562

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1) โครงการวิจัย
2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
3) ผู้วิจัย
4) แบบสอบถาม

เลขที่โครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง -3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ -2 พ.ค. 2562

เงื่อนไข

1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการผิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ
2. หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องหยุด เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย
3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
4. ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) **เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น**
5. หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 3 วันทำการ
6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ
7. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 03-12) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น

AF 02-12

The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University
Jamjuree 1 Building, 2nd Floor, Phyathai Rd., Patumwan district, Bangkok 10330, Thailand,
Tel/Fax: 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 108/2018

Certificate of Approval

Study Title No. 080.1/61 : EFFECTS OF REPEATED SPRINT TRAINING UNDER NORMOBARIC HYPOXIC CONDITION ON PHYSIOLOGY, BLOOD BIOCHEMISTRY AND REPEATED SPRINT ABILITY IN RUGBY SEVENS

Principal Investigator : MISS WADEE PRAMKRATOK

Place of Proposed Study/Institution : Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University

The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University, Thailand, has approved constituted in accordance with the International Conference on Harmonization – Good Clinical Practice (ICH-GCP).

Signature: Prida Tasanapradit (Associate Professor Prida Tasanapradit, M.D.) Chairman

Signature: Nuntaree Chaichanawongsaroj (Assistant Professor Nuntaree Chaichanawongsaroj, Ph.D.) Secretary

Date of Approval : 3 May 2018 Approval Expire date : 2 May 2019

The approval documents including

1) Research proposal
2) Patient/Participant Information Sheet and Informed Consent Form
3) Researcher
4) Questionnaire

Protocol No. 080.1/61
Date of Approval - 3 MAY 2018
Approval Expire Date - 2 MAY 2019

The approved investigator must comply with the following conditions:

1. *The research/project activities must end on the approval expired date of the Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University (RECCU). In case the research/project is unable to complete within that date, the project extension can be applied one month prior to the RECCU approval expired date.*
2. *Strictly conduct the research/project activities as written in the proposal.*
3. *Using only the documents that bearing the RECCU's seal of approval with the subjects/volunteers (including subject information sheet, consent form, invitation letter for project/research participation (if available).*
4. *Report to the RECCU for any serious adverse events within 5 working days*
5. *Report to the RECCU for any change of the research/project activities prior to conduct the activities.*
6. *Final report (AF 03-12) and abstract is required for a one year (or less) research/project and report within 30 days after the completion of the research/project. For thesis, abstract is required and report within 30 days after the completion of the research/project.*
7. *Annual progress report is needed for a two- year (or more) research/project and submit the progress report before the expire date of certificate. After the completion of the research/project processes as No. 6.*

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (กลุ่มทดลอง)

AF 04-07

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย *(กลุ่มทดลอง)*

(Patient/ Participant information Sheet)

ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 14.5%)

ชื่อโครงการวิจัย	ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา, สารชีวเคมีในเลือดและความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน
ชื่อผู้วิจัย	นางสาววดี พราหมณ์กระโทก ตำแหน่ง นิสิตระดับดุษฎีบัณฑิต
สถานที่ติดต่อผู้วิจัย	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
(ที่บ้าน)	บ้านเลขที่ 459 หมู่ 13 ต.ประทาย อ.ประทาย จ.นครราชสีมา 30180
โทรศัพท์มือถือ	087-2594066 E-mail: p_pang28@hotmail.com

ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

โครงการนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลฉับพลันและผลการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อ ระดับของโปรตีนในเลือดที่ควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง, การกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่, ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ในนักกีฬารักบี้ 7 คน เปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ โดยทุกขั้นตอนของการทดสอบ และการฝึกทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยผู้วิจัยเอง ซึ่งผู้วิจัยแบ่งเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

กลุ่มตัวอย่างเป็น นักกีฬารักบี้ 7 คน เพศชาย ของชมรมรักบี้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18-22 ปี ซึ่งได้มาจากการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 14 คน โดยจะแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม (กลุ่มละ 7 คนเท่ากัน) *ด้วยวิธีการจับคู่ (matched pair) โดยใช้ สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน เป็นเกณฑ์*

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย

1. เป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ทีมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเล่นกีฬารักบี้มีประสบการณ์การเล่นไม่น้อยกว่า 1 ปี
2. มีสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่ต่ำกว่า 42 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว
3. ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกอื่นใด ๆ ในช่วงของการทดลอง
4. ไม่เคยได้รับการบาดเจ็บของกระดูกและกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง เช่น กระดูกหัก เอ็นฉีกขาด เป็นต้น
5. ไม่มีโรคประจำตัวที่เป็นอุปสรรคต่อการทดลอง เช่น หอบหืด โลหิตจาง และโรคลมชัก เป็นต้น
6. สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย

1. เข้าร่วมการฝึกน้อยกว่าร้อยละ 80 (จำนวน 15 ครั้ง จากทั้งหมด 18 ครั้ง) ของช่วงระยะเวลาในการฝึกซ้อม
2. มีอาการบาดเจ็บ จนไม่สามารถเข้าร่วมการฝึกต่อได้
3. ผู้เข้าทดสอบวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

เลขที่โครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

AF 04-07

4. *ผู้ถูกทดสอบมีอาการไม่พึงประสงค์ เช่น ปวดศีรษะ หน้ามืด วิงเวียน คลื่นไส้ ขณะทำการทดสอบจนเป็นอุปสรรคต่อการฝึก*

เลขที่โครงการวิจัย 066.1/61
วันที่รับรอง - 3 ม.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 ม.ค. 2562

กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ขั้นตอนก่อนการทดลอง

1. *อธิบายวัตถุประสงค์ ชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัย วิธีวิจัย อุปกรณ์การวิจัย ตัวแปรและขั้นตอนการทดสอบด้วย*กรอกแบบบันทึกการทดสอบสมรรถภาพทางกายทั่วไป ได้แก่ ชั่งน้ำหนัก, วัดส่วนสูง, วัดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย เป็นต้น

2. *ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง แบบเฉพาะเจาะจง ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด ณ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจน คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที* โดยผู้วิจัยเป็นผู้คัดกรองด้วยตนเอง โดยกรอกแบบบันทึกการทดสอบสมรรถภาพทางกาย *(Physical Fitness Test)* ได้แก่ ชั่งน้ำหนัก, วัดส่วนสูง, วัดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย *และทำการทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด*

3. กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับคัดเลือกเข้าร่วมการวิจัยจะได้รับทราบรายละเอียดของการวิจัยทุกขั้นตอน รวมทั้งประโยชน์ที่จะได้รับและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมวิจัย พร้อมทั้งลงชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ก่อนการวิจัยผู้เข้าทดสอบการวิจัยจะได้รับคำแนะนำต่าง ๆ ในการปฏิบัติตัวก่อนเข้ารับการทดสอบและการฝึก

4. ทำการทดสอบก่อนการทดลอง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%) ดังนี้

ในวันแรกของการทดสอบ

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการเก็บตัวอย่างเลือด *(ปริมาณ 1 ช้อนชา)* จากบริเวณเส้นเลือดที่แขนพับ *โดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ* เพื่อวัดตัวแปรทางชีวเคมีในเลือด ได้แก่ ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต และโปรตีนที่ควบคุมการสร้างเม็ดเลือดแดงและการกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่ เก็บปัสสาวะ *(ปริมาณครึ่งถ้วย)* เพื่อวัดความถ่วงจำเพาะ *ใช้ระยะเวลา 10 นาที โดยจะส่งตรวจที่คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อสิ้นสุดการวิจัยแล้วจะทำลายเลือดโดยกระบวนการทางการแพทย์ของคณะสหเวชศาสตร์ทันที*

2) การทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยวิ่งบนลู่วิ่ง พร้อมกับใส่เครื่องวิเคราะห์แก๊ส โดยผู้เข้าทดสอบวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินบนลู่วิ่ง ที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยวิ่งที่ระดับความเร็วเริ่มต้นของการทดสอบที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 1% เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจะปรับความเร็วเพิ่มขึ้น 0.5 กิโลเมตร ทุก ๆ 1 นาที (ความชันคงที่) จนผู้เข้าร่วมวิจัยทำการทดสอบต่อไปไม่ไหวหรือหมดแรง

โดยในขณะวิ่งจะทำการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยการใช้เครื่องที่มีคลื่นอินฟราเรด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการติดเซ็นเซอร์ ที่บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านข้างในขณะออกกำลังกาย

ทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจและค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ขณะทำการทดสอบ *โดยการสวมสายรัดที่บริเวณรอบหน้าอกและตัวรับสัญญาณ (sensor) ของเครื่อง Oximeter ที่นิ้วชี้ของผู้เข้าทดสอบ* และวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย โดยใช้แผ่นวัดความเหนื่อยที่แสดงค่าตัวเลข (6-20) เพื่อบอกระดับความเหนื่อยที่ตนเองรู้สึก ขณะที่ทำการทดสอบ และวัดความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด โดยการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้วมือข้างที่ไม่ถนัด โดยการใช้เข็มสำหรับเจาะปลายนิ้วบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด *(ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) โดยนักเทคนิคการแพทย์* ทันทีหลังหยุดการทดสอบ โดยใช้ระยะเวลาทดสอบประมาณ 20 นาที

AF 04-07

ในวันที่สอง หลังจากที่ผู้เข้าทดสอบวิจัยได้พัก 48 ชั่วโมง

1) ทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ โดยการให้ผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกาย เป็นเวลา 10 นาที เมื่อพร้อมแล้วผู้วิจัยจะให้สัญญาณเริ่มต้น โดยใช้คำสั่ง "ไป" ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องทำการวิ่งด้วยความเร็วที่สูงสุดในระยะทาง 35 เมตร แล้ววิ่งเหยาะเบา ๆ เพื่อพักฟื้นร่างกายอยู่บริเวณหลังเส้นสิ้นสุด เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นให้วิ่งกลับด้วยความเร็วสูงที่สุดไปยังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง แล้ววิ่งเหยาะเบา ๆ เพื่อพักฟื้นร่างกายอยู่หลังเส้นเริ่มต้น เป็นเวลาอีก 10 วินาที ทำซ้ำลักษณะนี้รวมทั้งหมด 6 เที่ยว และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยคลายอุ่นร่างกาย เป็นเวลา 10 นาที ใช้ระยะเวลาทดสอบประมาณ 30 นาที

6. ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้เข้าร่วมวิจัย **กลุ่มทดลอง** จะทำการฝึกสปรินท์ซ้ำที่ปริมาณออกซิเจน 14.5% (Hypoxic group) จำนวน 7 คน

ก่อนการฝึก

1) ทำการทดสอบผลฉับพลันของการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพักเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic Training Room) จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเลือดที่บริเวณเส้นเลือดที่แขนพับ เพื่อวัดวัดโปรตีนที่ควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดงและการกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือด

2) ทำการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยบนลู่วิ่งอีกครั้งหนึ่ง *ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 14.5%)* โดยมีขั้นตอนรายละเอียดเช่นเดียวกับการทดสอบก่อนการทดลองในวันแรก

ใช้ระยะเวลาทดสอบก่อนการทดลองทั้งหมดประมาณ 4 ชั่วโมง ทั้งก่อนและหลังการทดลอง

ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการฝึกสปรินท์ซ้ำ ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 14.5%) โดยการวิ่งบนลู่วิ่งด้วยความเร็วที่ 140% ของความเร็วที่ระดับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ความชัน 6% เป็นเวลา 6 วินาที 10 เที่ยว จำนวน 3 เซ็ท โดยมีระยะพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ท 4 นาที โดยใช้ระเวลาในการฝึกสปรินท์ซ้ำประมาณ 30 นาที ต่อครั้ง โดยในขณะฝึกวิ่งผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ที่บริเวณนิ้วชี้ ทุกครั้งของการฝึกออกกำลังกาย *จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (วันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ เวลา 11.00-14.00 น.) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยทำการฝึกที่ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจน*

หลังการฝึก เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการทดสอบซ้ำอีกครั้งเช่นเดียวกับก่อนการฝึก ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 14.5%)

7. ทำการทดสอบซ้ำอีกครั้งเช่นเดียวกับก่อนการทดลอง ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%)

เลขที่โครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

ข้อกำหนดในการทดสอบ

- นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8 ชั่วโมง
- รับประทานอาหารปกติที่เคยรับประทานเป็นประจำ
- ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 3 ลิตรต่อวัน
- รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- ไม่รับประทาน ยา, ชา, กาแฟ และแอลกอฮอล์ ก่อนการทดสอบ
- ผู้วิจัยจะทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าทดสอบวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้
  - ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) ลดลงต่ำกว่า 80%
  - หัวใจมีการเต้นผิดปกติและไม่เป็นจังหวะสม่ำเสมอ
  - เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก
  - เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่

AF 04-07

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

ได้แบบฝึกสำหรับกีฬารักบี้ 7 คน ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการฝึกนักกีฬารักบี้ 7 คน เพื่อความเป็นเลิศได้ และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการเตรียมความพร้อมให้นักกีฬารักบี้ 7 คน *หรือนักกีฬาประเภททีมอื่น ๆ ที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวและความต้องการพลังงานที่ใกล้เคียงกัน* ในการวางแผนฝึกซ้อมโดยการใช้การฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมาช่วยในการฝึก

การพิทักษ์สิทธิ์ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์สายหยุดฉุกเฉิน (Safety key treadmill) เพื่อช่วยลดความเสี่ยงที่อาจทำให้เกิดอันตรายขณะวิ่งเพื่อหยุดความเร็วของสายพานลู่วิ่งทันทีในกรณีผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดการบาดเจ็บหรือไม่สามารถที่จะวิ่งต่อไปได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยจะยืนอยู่ด้านข้างของลู่วิ่งเพื่อช่วยป้องกันในกรณีที่เกิดการพลัดตกจากลู่วิ่ง *หากเกิดอาการบาดเจ็บจากการทดลอง จะได้รับการช่วยเหลือปฐมพยาบาลเบื้องต้น และนำส่งโรงพยาบาล โดยผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการออกค่ารักษาพยาบาลทั้งหมด และหากพบผลเลือดผิดปกติจะได้รับคำแนะนำเบื้องต้นและแนะนำให้ไปพบแพทย์ทันทีหรือหากเกิดภาวะขาดน้ำจะทำการแนะนำผู้เข้าร่วมวิจัยดื่มน้ำมาก เพิ่มกว่าปกติหรือการดื่มเกลือแร่กรณีเสียเหงื่อมาก ในการเจาะเลือดผู้วิจัยจะแนะนำวิธีป้องกันการเขียวช้ำหลังการเจาะเลือด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพับแขนไว้นิ่ง ๆ นานประมาณ 5-10 นาที หากมีการเขียวช้ำที่บริเวณผิวหนังซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้จะได้รับคำแนะนำการปฐมพยาบาลเบื้องต้นโดยภายใน 24 ชั่วโมงแรกโดยการประคบด้วยน้ำแข็งหรือความเย็นหลังจากนั้นให้ประคบด้วยความร้อนหรือหากมีอาการหน้ามืด เป็นลม จะได้รับการปฐมพยาบาลเบื้องต้นทันที โดยให้อยู่ในท่านอนและยกขาขึ้นให้อยู่ในระดับที่สูงกว่าหัวใจเพื่อเพิ่มการไหลเวียนเลือดไปเลี้ยงสมอง รวมถึงปลดเสื้อผ้าที่รัดแน่นจนเกินไป วางผ้าเย็นและให้ดื่มน้ำหวาน และเมื่อสิ้นสุดการวิจัยแล้วผู้วิจัยจะทำลายเลือดโดยกระบวนการทางการแพทย์ของคณะสหเวชศาสตร์ทันที*

การเข้าร่วมในการวิจัยของท่านเป็นโดย**สมัครใจ** และสามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือ**ถอนตัว**จากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว**เพื่อให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่**

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็น**ความลับ** หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

ผู้วิจัยจะมอบเงิน สำหรับการเดินทางมาที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นจำนวนเงินครั้งละ 300 บาท รวมทั้งเตรียมน้ำดื่ม ให้แก่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยในแต่ละครั้งด้วย

หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรม การวิจัยในคนกลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th"

ลงชื่อ.....
(นางสาววดี พราหมณ์กระโทก)
ผู้วิจัยหลัก

เอกสารที่โครงการวิจัย 080.1/61
รับที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (กลุ่มควบคุม)

AF 04-07

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย *(กลุ่มควบคุม)*

(Patient/ Participant information Sheet)

ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FIO_2: 20.9%)

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา, สารชีวเคมีในเลือดและความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน

ชื่อผู้วิจัย นางสาววดี พราหมณ์กระโทก ตำแหน่ง นิสิตระดับดุษฎีบัณฑิต

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ที่บ้าน) บ้านเลขที่ 459 หมู่ 13 ต.ประทาย อ.ประทาย จ.นครราชสีมา 30180

โทรศัพท์มือถือ 087-2594066 **E-mail:** p_pang28@hotmail.com

ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัยก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

โครงการนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลฉับพลันของสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อ ระดับของโปรตีนในเลือดที่ควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง, การกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่, ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ในนักกีฬารักบี้ 7 คน และเพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกรูปแบบดังกล่าว ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ โดยทุกขั้นตอนของการทดสอบ และการฝึกทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยผู้วิจัยเอง ซึ่งผู้วิจัยแบ่งเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

กลุ่มตัวอย่างเป็น นักกีฬารักบี้ 7 คน เพศชาย ของชมรมรักบี้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18-22 ปี ซึ่งได้มาจากการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 14 คน *ด้วยวิธีการจับคู่ (matched pair) โดยใช้ สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน เป็นเกณฑ์*

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย

1. เป็นนักกีฬารักบี้ 7 คน เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ทีมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเล่นกีฬารักบี้มีประสบการณ์การเล่นไม่น้อยกว่า 1 ปี
2. มีสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่ต่ำกว่า 42 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว
3. ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกอื่นใด ๆ ในช่วงของการทดลอง
4. ไม่เคยได้รับการบาดเจ็บของกระดูกและกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง เช่น กระดูกหัก เอ็นฉีกขาด เป็นต้น
5. ไม่มีโรคประจำตัวที่เป็นอุปสรรคต่อการทดลอง เช่น หอบหืด โลหิตจาง และโรคลมชัก เป็นต้น
6. สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย

1. เข้าร่วมการฝึกน้อยกว่าร้อยละ 80 (จำนวน 15 ครั้ง จากทั้งหมด 18 ครั้ง) ของช่วงระยะเวลาในการฝึกซ้อม
2. มีอาการบาดเจ็บ จนไม่สามารถเข้าร่วมการฝึกต่อได้
3. ผู้เข้าทดสอบวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

เลขที่โครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

4. ผู้ถูกทดสอบมีอาการไม่พึงประสงค์ เช่น ปวดศีรษะ หน้ามืด วิงเวียน คลื่นไส้ ขณะทำการทดสอบจนเป็นอุปสรรคต่อการฝึก

กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ขั้นตอนก่อนการทดลอง

1. *อธิบายวัตถุประสงค์ ชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัย วิธีวิจัย อุปกรณ์การวิจัย ตัวแปรและขั้นตอนการทดสอบด้วย*กรอกแบบบันทึกการทดสอบสมรรถภาพทางกายทั่วไป ได้แก่ ชั่งน้ำหนัก, วัดส่วนสูง, วัดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย เป็นต้น

2. *ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง แบบเฉพาะเจาะจง ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด ณ ห้องจำลองสภาวะบริมาณออกซิเจน คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที* โดยผู้วิจัยเป็นผู้คัดกรองด้วยตนเอง โดยกรอกแบบบันทึกการทดสอบสมรรถภาพทางกาย *(Physical Fitness Test)* ได้แก่ ชั่งน้ำหนัก, วัดส่วนสูง, วัดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และทำการทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

3. กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับคัดเลือกเข้าร่วมการวิจัยจะได้รับทราบรายละเอียดของการวิจัยทุกขั้นตอน รวมทั้งประโยชน์ที่จะได้รับและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมวิจัย พร้อมทั้งลงชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ก่อนการวิจัยผู้เข้าทดสอบการวิจัยจะได้รับคำแนะนำต่าง ๆ ในการปฏิบัติตัวก่อนเข้ารับการทดสอบและการฝึก

4. ทำการทดสอบก่อนการทดลอง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%) ดังนี้

ในวันแรก ของการทดสอบ

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการเก็บตัวอย่างเลือด *(ปริมาณ 1 ช้อนชา)* จากบริเวณเส้นเลือดที่แขนพับ *โดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ* เพื่อวัดตัวแปรทางชีวเคมีในเลือด ได้แก่ ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต และโปรตีนที่ควบคุมการสร้างเม็ดเลือดแดงและการกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่ เก็บปัสสาวะ *(ปริมาณครึ่งถ้วย)* เพื่อวัดความถ่วงจำเพาะ ***ใช้ระยะเวลา 10 นาที โดยจะส่งตรวจที่คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อสิ้นสุดการวิจัยแล้วจะทำลายเลือดโดยกระบวนการทางการแพทย์ของคณะสหเวชศาสตร์ศาสตร์ทันที***

2) การทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยวิ่งบนลู่วิ่ง พร้อมกับใส่เครื่องวิเคราะห์แก๊ส โดยผู้เข้าทดสอบวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินบนลู่วิ่ง ที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยวิ่งที่ระดับความเร็วเริ่มต้นของการทดสอบที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 1% เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจะปรับความเร็วเพิ่มขึ้น 0.5 กิโลเมตร ทุก ๆ 1 นาที (ความชันคงที่) จนผู้เข้าร่วมวิจัยทำการทดสอบต่อไปไม่ไหวหรือหมดแรง

โดยในขณะวิ่งจะทำการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ โดยการใช้เครื่องที่มีคลื่นอินฟราเรด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการติดเซ็นเซอร์ ที่บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านข้างในขณะออกกำลังกาย

ทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจและค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ขณะทำการทดสอบ *โดยการสวมสายรัดที่บริเวณรอบหน้าอกและตัวรับสัญญาณ (sensor) ของเครื่อง Oximeter ที่นิ้วชี้ของผู้เข้าทดสอบ* และวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย โดยใช้แผ่นวัดความเหนื่อยที่แสดงค่าตัวเลข (6-20) เพื่อบอกระดับความเหนื่อยที่ตนเองรู้สึก ขณะที่ทำการทดสอบ และ*วัดความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด* โดยการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้วมือข้างที่ไม่ถนัด โดยการใช้เข็มสำหรับเจาะปลายนิ้วปับให้ได้*หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) โดยนักเทคนิคการแพทย์* ทันทีหลังหยุดการทดสอบ โดยใช้ระยะเวลาทดสอบประมาณ 20 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เลขที่โครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
รับรองถึงวันที่ - 2 พ.ค. 2562

ในวันที่สอง หลังจากที่ผู้เข้าทดสอบวิจัยได้พัก 48 ชั่วโมง

1) ทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ โดยการให้ผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกาย เป็นเวลา 10 นาที เมื่อพร้อมแล้วผู้วิจัยจะให้สัญญาณเริ่มต้น โดยใช้คำสั่ง "ไป" ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องทำการวิ่งด้วยความเร็วที่สูงสุดในระยะทาง 35 เมตร แล้ววิ่งเหยาะเบา ๆ เพื่อพักฟื้นร่างกายอยู่บริเวณหลังเส้นสิ้นสุด เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นให้วิ่งกลับด้วยความเร็วสูงที่สุดไปยังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง แล้ววิ่งเหยาะเบา ๆ เพื่อพักฟื้นร่างกายอยู่หลังเส้นเริ่มต้น เป็นเวลาอีก 10 วินาที ทำซ้ำลักษณะนี้รวมทั้งหมด 6 เที่ยว และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยคลายอุ่นร่างกาย เป็นเวลา 10 นาที ใช้ระยะเวลาทดสอบประมาณ 30 นาที

6. ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้เข้าร่วมวิจัย **กลุ่มควบคุม** จะทำการฝึกสปรินท์ซ้ำที่ปริมาณออกซิเจน 20.9% (Normoxic group) จำนวน 7 คน

ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการฝึกสปรินท์ซ้ำ *ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%)* โดยการวิ่งบนลู่วิ่งด้วยความเร็วที่ 140% ของความเร็วที่ระดับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ความชัน 6% เป็นเวลา 6 วินาที 10 เที่ยว จำนวน 3 เซ็ท โดยมีระยะพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ท 4 นาที โดยใช้ระเวลาในการฝึกสปรินท์ซ้ำประมาณ 30 นาที ต่อครั้ง โดยในขณะฝึกวิ่งผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ที่บริเวณนิ้วชี้ ทุกครั้งของการฝึกออกกำลังกาย *จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (วันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ เวลา 14.00-17.00 น.) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยทำการฝึกที่ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจน*

7. ทำการทดสอบซ้ำอีกครั้งเช่นเดียวกับก่อนการทดลอง *ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ* (FiO_2: 20.9%)

ข้อกำหนดในการทดสอบ

- นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8 ชั่วโมง
- รับประทานอาหารปกติที่เคยรับประทานเป็นประจำ
- ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 3 ลิตรต่อวัน
- รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- ไม่รับประทาน ยา, ชา, กาแฟ และแอลกอฮอล์ ก่อนการทดสอบ
- ผู้วิจัยจะทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าทดสอบวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้
  - ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) ลดลงต่ำกว่า 80%
  - หัวใจมีการเต้นผิดปกติและไม่เป็นจังหวะสม่ำเสมอ
  - เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก
  - เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจลำ

สัญญาโครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

ได้แบบฝึกสำหรับกีฬารักบี้ 7 คน ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการฝึกนักกีฬารักบี้ 7 คน เพื่อความเป็นเลิศได้ และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการเตรียมความพร้อมให้นักกีฬารักบี้ 7 คน *หรือนักกีฬาประเภททีมอื่น ๆ ที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวและความต้องการพลังงานที่ใกล้เคียงกัน* ในการวางแผนฝึกซ้อมโดยการใช้การฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมาช่วยในการฝึก

การพิทักษ์สิทธิ์ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์สายหยุดฉุกเฉิน (Safety key treadmill) เพื่อช่วยลดความเสี่ยงที่อาจทำให้เกิดอันตรายขณะวิ่งเพื่อหยุดความเร็วของสายพานลู่วิ่งทันทีในกรณีผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดการบาดเจ็บหรือไม่สามารถที่จะวิ่งต่อไปได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยจะยืนอยู่ด้านข้างของลู่วิ่งเพื่อช่วยป้องกันในกรณีที่เกิดการพลัดตกจากลู่วิ่ง *หากเกิดอาการบาดเจ็บจากการทดลอง จะได้รับการช่วยเหลือปฐมพยาบาล*

AF 04-07

เบื้องต้น และนำส่งโรงพยาบาล โดยผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการออกค่ารักษาพยาบาลทั้งหมด และหากพบผลเลือดผิดปกติจะได้รับคำแนะนำเบื้องต้นและแนะนำให้ไปพบแพทย์ทันทีหรือหากเกิดภาวะขาดน้ำจะทำการแนะนำผู้เข้าร่วมวิจัยดื่มน้ำมาก เพิ่มกว่าปกติหรือการดื่มเกลือแร่กรณีเสียเหงื่อมาก ในการเจาะเลือดผู้วิจัยจะแนะนำวิธีป้องกันการเขียวช้ำหลังการเจาะเลือด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพับแขนไว้นิ่ง ๆ นานประมาณ 5-10 นาที หากมีการเขียวช้ำที่บริเวณผิวหนังซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้จะได้รับคำแนะนำการปฐมพยาบาลเบื้องต้นโดยภายใน 24 ชั่วโมงแรกโดยการประคบด้วยน้ำแข็งหรือความเย็นหลังจากนั้นให้ประคบด้วยความร้อนหรือหากมีอาการหน้ามืด เป็นลม จะได้รับการปฐมพยาบาลเบื้องต้นทันที โดยให้อยู่ในท่านอนและยกขาขึ้นให้อยู่ในระดับที่สูงกว่าหัวใจเพื่อเพิ่มการไหลเวียนเลือดไปเลี้ยงสมอง รวมถึงปลดเสื้อผ้าที่รัดแน่นจนเกินไป วางผ้าเย็นและให้ดื่มน้ำหวาน และเมื่อสิ้นสุดการวิจัยแล้วผู้วิจัยจะทำลายเลือดโดยกระบวนการทางการแพทย์ของคณะสหเวชศาสตร์ทันที

การเข้าร่วมในการวิจัยของท่านเป็นโดย**สมัครใจ** และสามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือ**ถอนตัว**จากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว**เพื่อให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่**

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็น**ความลับ** หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

ผู้วิจัยจะมอบเงิน สำหรับการเดินทางมาที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นจำนวนเงินครั้งละ 300 บาท รวมทั้งเตรียมน้ำดื่ม ให้แก่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยในแต่ละครั้งด้วย

หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรม การวิจัยในคนกลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th"

ลงชื่อ.....
(นางสาววดี พราหมณ์กระโทก)
ผู้วิจัยหลัก

เอกสารโครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (กลุ่มทดลอง)

AF05-07

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย *(กลุ่มทดลอง)*
ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 14.5%)

ทำที่.....
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....
ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา, สารชีวเคมีในเลือดและความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน

ชื่อผู้วิจัย นางสาววดี พราหมณ์กระโทก
ที่อยู่ที่ติดต่อ บ้านเลขที่ 459 หมู่ 13 ต.ประทาย อ.ประทาย จ.นครราชสีมา 30180 โทรศัพท์ 087-2594066

ข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่าง ๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยงอันตรายและประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอดและ***ได้รับคำอธิบาย***จากผู้วิจัย ***จนเข้าใจเป็นอย่างดี***แล้วข้าพเจ้าจึง***สมัครใจ***เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ *ตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย* โดยข้าพเจ้ายินยอมเข้ารับการคัดกรอง โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที และเข้ารับการทดสอบก่อนและหลังการทดลองภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ในวันแรก *เก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวัดสารชีวเคมีในเลือด, เก็บตัวอย่างปัสสาวะ โดยใช้ระยะเวลา 10 นาที และทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติใช้ระยะเวลา 20 นาที*

ในวันที่สอง *ทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติใช้ระยะเวลา 30 นาที โดย**ก่อนการฝึก**ทดสอบผลกับพลันของการสัมผัสอากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยการนั่งพักเฉย ๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างเลือดและปัสสาวะ โดยใช้ระยะเวลา 10 นาที และทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยใช้ระยะเวลา 20 นาที ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ*

*จากนั้น**ทำการฝึกสปรินท์ซ้ำ** ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 14.5%) โดยใช้ระยะเวลาในการฝึกวันละ 30 นาที* โดยหลังจากนั้นฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำการทดสอบอีกครั้งเหมือนกับก่อนการฝึก

ข้าพเจ้ามีสิทธิ**ถอนตัว**ออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใด ๆ เช่น ผลทางการศึกษา ต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะ**เก็บรักษาเป็นความลับ** โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า *และเมื่อสิ้นสุดการวิจัยแล้วจะทำลายเลือดโดยกระบวนการทางการแพทย์ของคณะสาธารณสุขศาสตร์ทันที*

เลขที่โครงการวิจัย COA.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

AF05-07

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.....
(นางสาววดี พราหมณ์กระโทก)
ผู้วิจัยหลัก

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน

เอกสารที่โครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (กลุ่มควบคุม)

AF05-07

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย *(กลุ่มควบคุม)*
ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%)

ทำที่.....
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....
ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกสปรินท์ซ้ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความประทาสรีรวิทยา, สารชีวเคมีในเลือดและความสามารถในการสปรินท์ซ้ำในนักกีฬารักบี้ 7 คน

เลขที่โครงการวิจัย 080.1/61
วันที่รับรอง - 3 พ.ค. 2561
วันหมดอายุ - 2 พ.ค. 2562

ชื่อผู้วิจัย นางสาววดี พราหมณ์กระโทก
ที่อยู่ที่ติดต่อ บ้านเลขที่ 459 หมู่ 13 ต.ประทาย อ.ประทาย จ.นครราชสีมา 30180 โทรศัพท์ 087-2594066

ข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่าง ๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยงอันตรายและประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอด *และ**ได้รับคำอธิบาย**จาก**ผู้วิจัย** **จนเข้าใจ**เป็นอย่างดี*แล้วข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ *ตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย* โดยข้าพเจ้ายินยอมเข้ารับการคัดกรอง โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที และเข้ารับการทดสอบก่อนและหลังการทดลองภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ในวันแรก *เก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวัดสารชีวเคมีในเลือด, เก็บตัวอย่างปัสสาวะ โดยใช้ระยะเวลา 10 นาที และทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติใช้ระยะเวลา 20 นาที*

ในวันที่สอง *ทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติใช้ระยะเวลา 30 นาที*

*จากนั้นทำการ**ฝึกสปรินท์ซ้ำ*** ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%) *โดยใช้ระยะเวลาในการฝึกวันละ 30 นาที* โดยหลังจากนั้นฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำการทดสอบอีกครั้งเหมือนกับก่อนการฝึก

ข้าพเจ้ามี**สิทธิถอนตัว**ออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใด ๆ เช่น ผลทางการศึกษา ต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะ**เก็บรักษาเป็นความลับ** โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า *และเมื่อสิ้นสุดการวิจัยแล้วจะทำลายเลือดโดยกระบวนการทางการแพทย์ของคณะสหเวชศาสตร์ทันที*

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**

AF05-07

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ.....
(นางสาววดี พราหมณ์กระโทก)
ผู้วิจัยหลัก

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน

เอกสารโครงการวิจัย 080.164
รับเมื่อวันที่ - 3 พ.ค. 2561
รับรองวันที่ - 2 พ.ค. 2562

ภาคผนวก ข

ใบประเมินโปรแกรมการฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training program)

ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 14.5%)

โดยอาศัยดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์

(Index of item objective congruence: IOC)

คำชี้แจงสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

โปรแกรมการฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training program) เป็นโปรแกรมที่มีความหนักสูงสลับช่วงพัก ที่ทำการฝึกภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 14.5%) ดังนั้น จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านผู้เชี่ยวชาญ พิจารณาเนื้อหาแต่ละข้อมีความสอดคล้องกับโปรแกรมการฝึกสปรินท์ซ้ำที่ต้องการฝึกว่ามีความเหมาะสมเพียงใด

- ✓ ลงในช่อง +1 ถ้าแน่ใจว่าเหมาะสม
- ✓ ลงในช่อง 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าเหมาะสม
- ✓ ลงในช่อง -1 ถ้าแน่ใจว่าไม่เหมาะสม

หากท่านผู้เชี่ยวชาญมีข้อเสนอแนะนอกเหนือจากนี้ ให้ท่านเขียนข้อเสนอแนะลงในช่องข้อเสนอแนะ

ลำดับ	รายการที่ประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะ
		แน่ใจว่าเหมาะสม (+1)	ไม่แน่ใจว่าเหมาะสม (0)	แน่ใจว่าไม่เหมาะสม (-1)	
1	ระยะเวลาสำหรับการฝึก 6 สัปดาห์				
2	ฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์				
3	ความหนักของการฝึก คือ ฝึกสปรินท์ที่ความเร็ว 140% ของความเร็วที่สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVo_2max ที่ F_iO_2: 14.5%) ที่ความชัน 6% ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 14.5%) บนลู่วิ่ง				
4	จำนวนที่ใช้ในการฝึก คือ 10 เที่ยวๆ ละ 6 วินาที ต่อ 1 เซ็ท				
5	ทำการฝึกทั้งหมด 3 เซ็ท				
6	ระยะเวลาพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที				
7	ระยะเวลาพักระหว่างเซ็ท 4 นาที				
8	ช่วงอบอุ่นร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองมีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 7 นาทีและวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที				
9	ช่วงคลายอุ่นร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 7 นาที				

ความคิดเห็นเพิ่มเติมและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ลงชื่อ.....ผู้เชี่ยวชาญ

(.....)

...../...../.....

ใบประเมินโปรแกรมการฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training program)
ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%)
โดยอาศัยดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์
(Index of item objective congruence: IOC)
คำชี้แจงสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

โปรแกรมการฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training program) เป็นโปรแกรมที่มีความหนักสูงสลับช่วงพัก ที่ทำการฝึกภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (FiO_2: 20.9%) ดังนั้น จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านผู้เชี่ยวชาญ พิจารณาเนื้อหาแต่ละข้อมีความสอดคล้องกับโปรแกรมการฝึกสปรินท์ซ้ำที่ต้องการฝึกว่ามีความเหมาะสมเพียงใด

- ✓ ลงในช่อง +1 ถ้าแน่ใจว่าเหมาะสม
- ✓ ลงในช่อง 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าเหมาะสม
- ✓ ลงในช่อง -1 ถ้าแน่ใจว่าไม่เหมาะสม

หากท่านผู้เชี่ยวชาญมีข้อเสนอแนะนอกเหนือจากนี้ ให้ท่านเขียนข้อเสนอแนะลงในช่องข้อเสนอแนะ

ลำ ดับ	รายการที่ประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะ
		แน่ใจว่าเหมาะสม (+1)	ไม่แน่ใจว่าเหมาะสม (0)	แน่ใจว่าไม่เหมาะสม (-1)	
1	ระยะเวลาสำหรับการฝึก 6 สัปดาห์				
2	ฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์				
3	ความหนักของการฝึก คือ ฝึกสปรินท์ที่ความเร็ว 140% ของความเร็วที่สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVo_2max ที่ F_iO_2: 20.9%) ที่ความชัน 6% ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 20.9%) บนลู่วิ่ง				
4	จำนวนที่ใช้ในการฝึก คือ 10 เที่ยวๆ ละ 6 วินาที ต่อ 1 เซ็ท				
5	ทำการฝึกทั้งหมด 3 เซ็ท				
6	ระยะเวลาพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที				
7	ระยะเวลาพักระหว่างเซ็ท 4 นาที				
8	ช่วงอบอุ่นร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองมีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 7 นาทีและวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที				
9	ช่วงคลายอุ่นร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 7 นาที				

ความคิดเห็นเพิ่มเติมและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ลงชื่อ.....ผู้เชี่ยวชาญ

(.....)

...../...../.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
ผลการประเมินในการตรวจสอบค่าความตรงเชิงเนื้อหา

เกณฑ์ในการตัดสินคือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence, IOC) ของผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งมีรายชื่อดังนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์
2. รองศาสตราจารย์ ดร. อภิลักษณ์ เทียนทอง
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ถาวร กมุทศรี
4. อาจารย์ ว่าที่ ร.ต.ธเนษฐ์พงษ์ สุขวงศ์
5. นายณัฏฐ์ปวินท์ ดวงแสงเหล็ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ใบประเมินโปรแกรมการฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training program)
ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 14.5%)
โดยอาศัยดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์
(Index of item objective congruence: IOC)

ลำดับ	รายการที่ประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ					รวม	ค่า IOC
		1	2	3	4	5		
1	ระยะเวลาสำหรับการฝึก 6 สัปดาห์	+1	+1	+1	+1	+1	5	1
2	ฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์	+1	+1	+1	+1	+1	5	1
3	ความหนักของการฝึก คือ ฝึกสปรินท์ที่ความเร็ว 140% ของความเร็วที่สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVo_2max ที่ F_iO_2: 14.5%) ที่ความชัน 6% ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 14.5%) บนลู่วิ่ง	+1	+1	+1	+1	0	4	0.8
4	จำนวนที่ใช้ในการฝึก คือ 10 เที่ยวๆ ละ 6 วินาที ต่อ 1 เซ็ท	+1	+1	+1	0	+1	4	0.8
5	ทำการฝึกทั้งหมด 3 เซ็ท	+1	+1	+1	0	+1	4	0.8
6	ระยะเวลาพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที	+1	+1	0	+1	+1	4	0.8
7	ระยะเวลาพักระหว่างเซ็ท 4 นาที	+1	+1	+1	+1	+1	5	1
8	ช่วงอบอุ่นร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองมีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 7 นาทีและวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที	+1	+1	0	+1	+1	4	0.8
9	ช่วงคลายอุ่นร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 7 นาที	+1	+1	+1	+1	+1	5	1
เฉลี่ยรวม								**0.89**

จากตารางแสดงผลการตรวจสอบ พบว่า ไม่มีข้อรายการใดที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องต่ำกว่า 0.5 (Cox and Vargas, 1996) และมีคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.89 แสดงว่ามีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ฝึกนักกีฬาได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลงชื่อ.....ผู้วิจัย

(.....)

...../...../.....

ใบประเมินโปรแกรมการฝึกสปรินท์ซ้ำ (Repeated sprint training program)
ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 20.9%)
โดยอาศัยดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์

(Index of item objective congruence: IOC)

ลำดับ	รายการที่ประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ					รวม	ค่า IOC
		1	2	3	4	5		
1	ระยะเวลาสำหรับการฝึก 6 สัปดาห์	+1	+1	+1	+1	+1	5	1
2	ฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์	+1	+1	+1	+1	+1	5	1
3	ความหนักของการฝึก คือ ฝึกสปรินท์ที่ความเร็ว 140% ของความเร็วที่สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVo_2max ที่ F_iO_2: 20.9%) ที่ความชัน 6% ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 20.9%) บนลู่วิ่ง	+1	+1	+1	+1	0	4	0.8
4	จำนวนที่ใช้ในการฝึก คือ 10 เที่ยวๆ ละ 6 วินาที ต่อ 1 เซ็ท	+1	+1	+1	0	+1	4	0.8
5	ทำการฝึกทั้งหมด 3 เซ็ท	+1	+1	+1	0	+1	4	0.8
6	ระยะเวลาพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที	+1	+1	0	+1	+1	4	0.8
7	ระยะเวลาพักระหว่างเซ็ท 4 นาที	+1	+1	+1	+1	+1	5	1
8	ช่วงอบอุ่นร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองมีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 7 นาที และวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที	+1	+1	0	+1	+1	4	0.8
9	ช่วงคลายอุ่นร่างกายผู้เข้าร่วมการทดลองวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 7 นาที	+1	+1	+1	+1	+1	5	1
เฉลี่ยรวม								**0.89**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางแสดงผลการตรวจสอบ พบว่า ไม่มีข้อรายการใดที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องต่ำกว่า 0.5 (Cox and Vargas, 1996) และมีคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.89 แสดงว่ามีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ฝึกนักกีฬาได้

ลงชื่อ.....ผู้วิจัย

(.....)

...../...../.....

ภาคผนวก ง

การทดสอบหาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) โดยใช้วิธี Incremental running test (Buchheit, 2011)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อ h/p/cosmos
2. เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate Monitor)
3. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ยี่ห้อ คอเท็กซ์ ซีพีอีที (Cortex CPET)
4. เครื่องวัดออกซิเจนในเลือด ดิจิตอล (Finger Pulse Oximeter)

วิธีการทดสอบ

1. บันทึกค่าชีพจรขณะพัก (Resting Heart Rate) ของอาสาสมัครก่อนการทดสอบ
2. ผู้เข้าร่วมวิจัย ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินบนลู่วิ่ง ที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) เป็นเวลา 3 นาที
3. ภายหลังการอบอุ่นร่างกาย อาสาสมัครยืนแยกขาบนลู่วิ่ง โดยปรับระดับความเร็วเริ่มต้นของการทดสอบที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) ความชัน 1% อาสามสมัครเริ่มทำการทดสอบ
4. ปรับความเร็วเพิ่มขึ้นที่ 0.5 กิโลเมตร ทุก ๆ 1 นาที (โดยไม่เปลี่ยนแปลงค่าความชัน) จนอาสาสมัครทำการทดสอบต่อไปไม่ไหว และบันทึกข้อมูล ทุก ๆ 1 วินาทีลงในบันทึกผลการทดสอบ
5. ในขณะทำการทดสอบ วัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate, HR) โดยเครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate Monitor) วัดอัตราการใช้ออกซิเจน (oxygen consumption, VO_2) และ อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ (Respiratory exchange ratio, RER) โดยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส ยี่ห้อ คอเท็กซ์ ซีพีอีที (Cortex CPET) วัดออกซิเจนในเลือด โดยเครื่องวัดออกซิเจนในเลือดดิจิตอล (Finger Pulse Oximeter) และความหนักของการออกกำลังกาย โดยแบบวัดระดับความเหนื่อย (Borg Rating of Perceived Exertion, RPE)

ภาพการแสดงสวมใส่เครื่องวิเคราะห์แก๊ซ

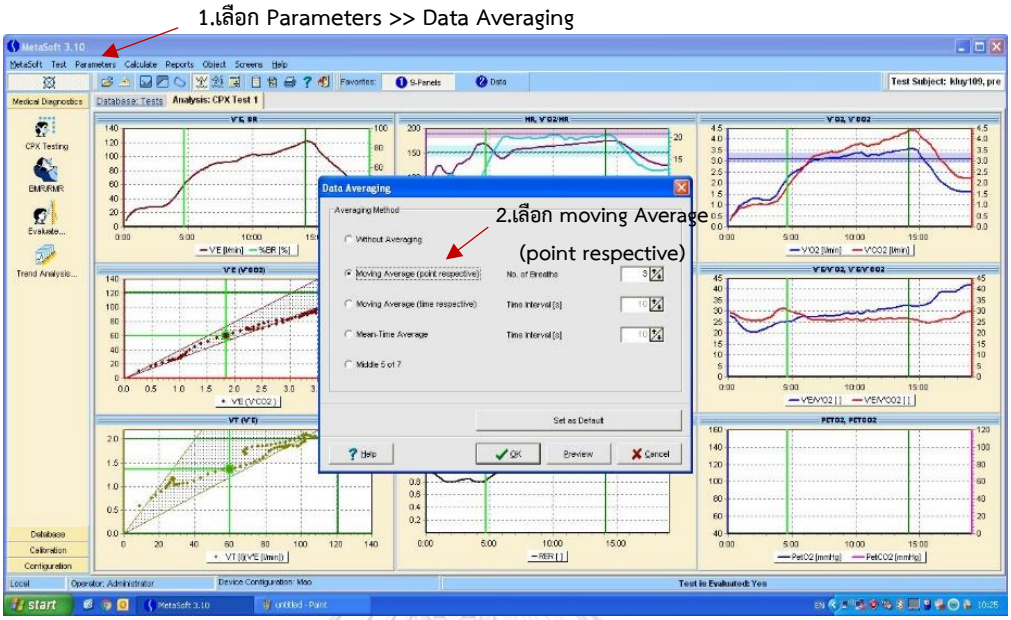
ภาพแสดงการทดสอบวิ่งบนลู่วิ่งกล

ภาพการแสดงผลของโปรแกรม Oxysoft และ โปรแกรม MetaMax บนเครื่องคอมพิวเตอร์

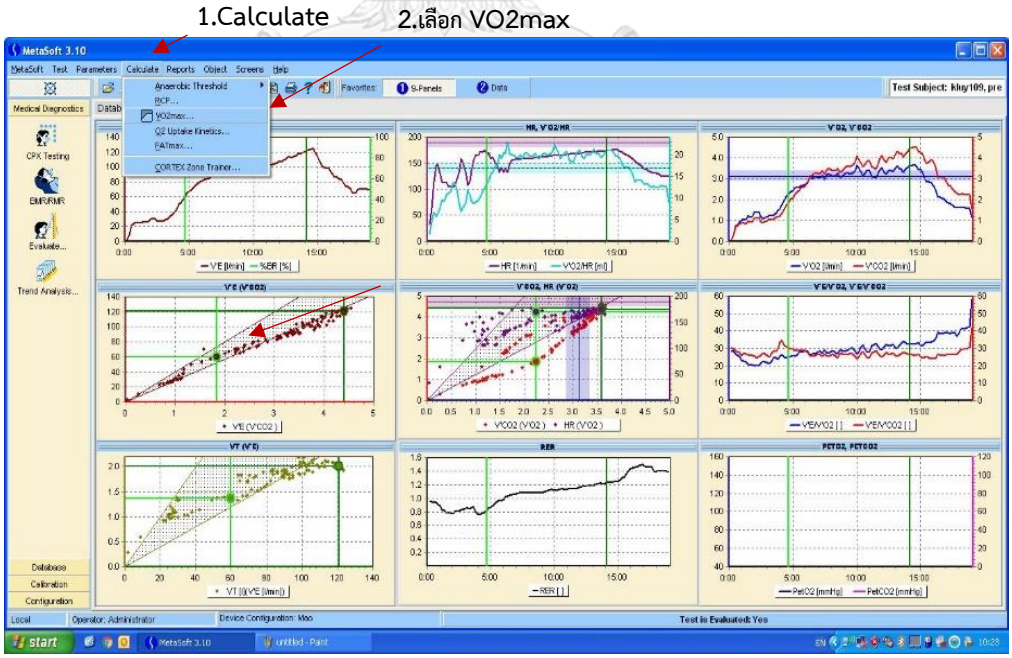
ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

- อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate), การระบายอากาศสูงสุด (VEpeak), อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ (RER) = ค่าเฉลี่ยสูงสุด 10 วินาที
- อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) = ค่าเฉลี่ยสูงสุด 30 วินาที
- เวลาสิ้นสุดที่จุดออกกำลังกายจนหมดแรง (time to exhaust), ระดับรับรู้ความเหนื่อย (PRE), ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SaO_2) = ค่าเวลาที่ใช้ทดสอบจนหมดแรง

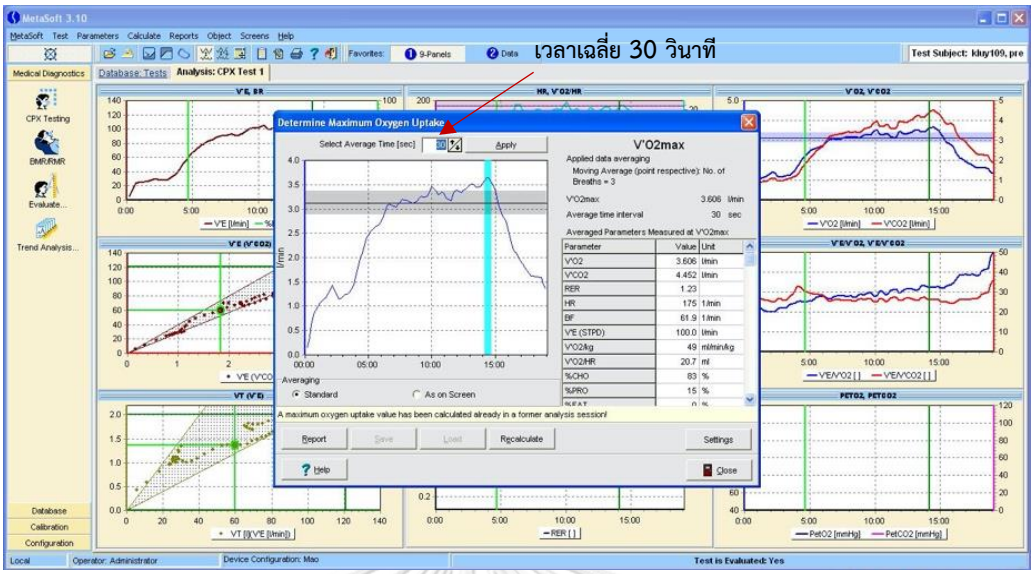
1. เลือกวิธีการกรองข้อมูล



2. ขั้นตอนการคำนวณ

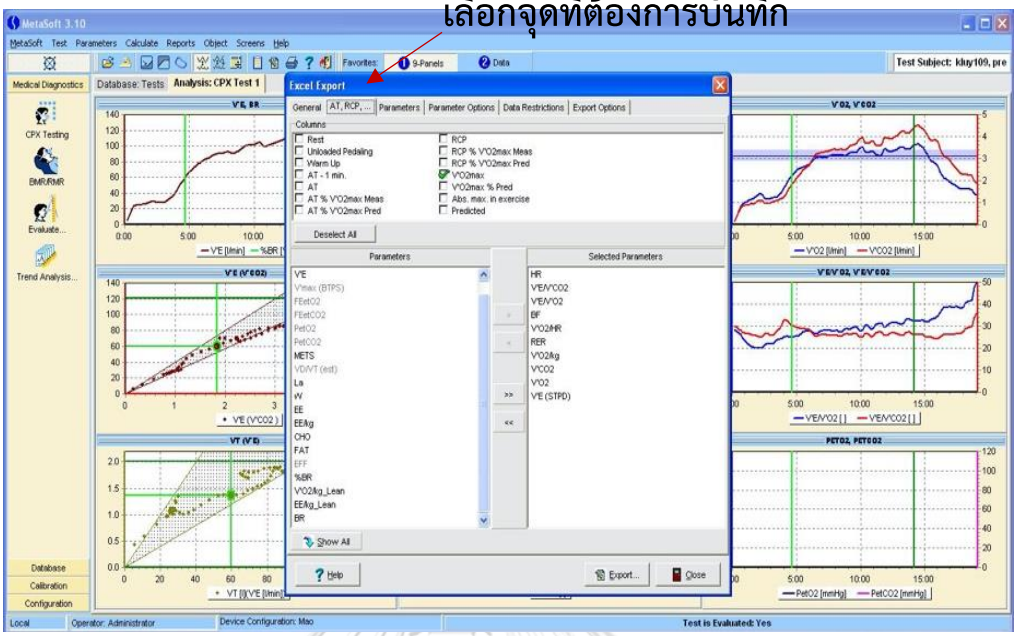


3. เลือกช่วงเวลาของการคำนวณ

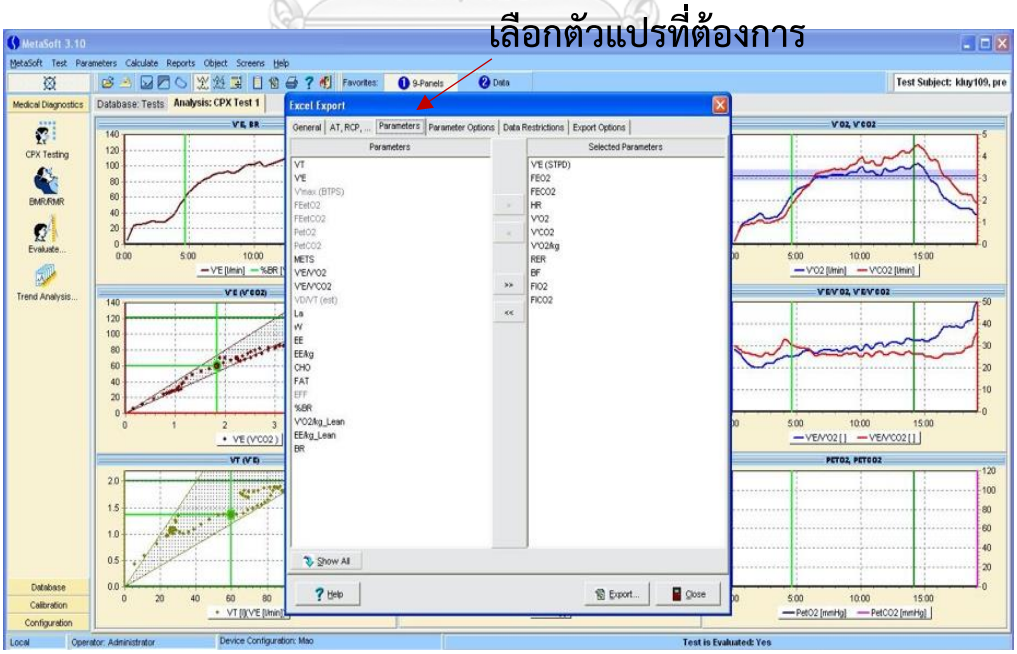


4. ดึงข้อมูล

5. เลือกข้อมูลที่ต้องการจะดึงข้อมูล

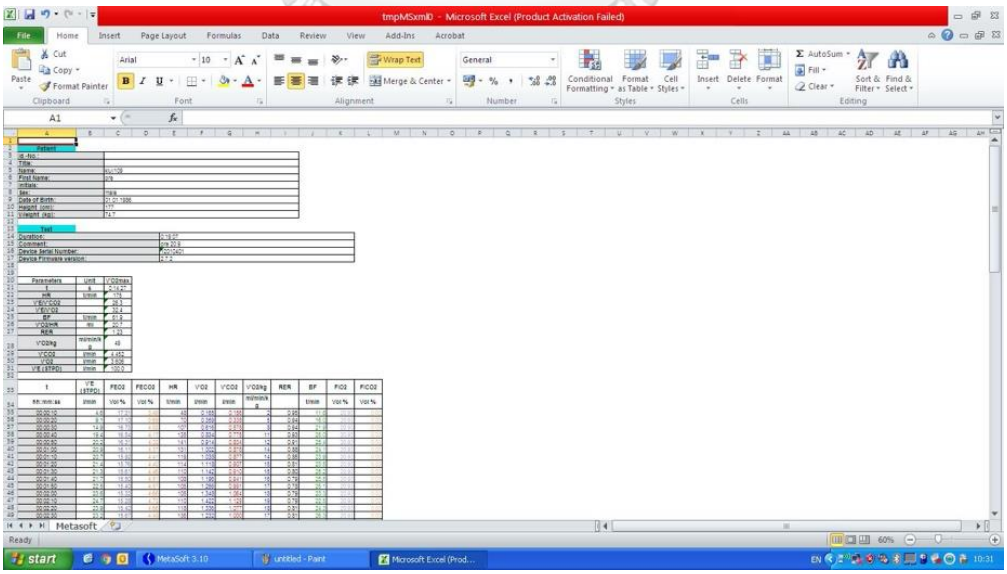


6. เลือกตัวแปรที่ต้องการจะบันทึก



7. ใส่ช่วงเวลาที่ต้องการจะบันทึกข้อมูล

8. ตัวอย่างไฟล์ Excel ที่ถูกดึงข้อมูล



ภาคผนวก จ
การทดสอบวิ่งเร็ว 35 เมตร 6 เที่ยว
Running – based Anaerobic Sprint Test: RAST TEST

เป็นการทดสอบถึงความสามารถของพลังงานที่สะสมในกล้ามเนื้อในการทำงานอย่างรวดเร็วและในเวลาจำกัดให้ได้งานมากที่สุด

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เทปวัดระยะทาง
- นาฬิกาจับเวลาอินฟาเรด
- กรวยยาง 2 อัน

วิธีการทดสอบ

1. นักกีฬาอบอุ่นร่างกายแล้วยืนพร้อมวิ่ง
2. เมื่อพร้อมแล้วผู้ปล่อยตัวสั่ง “ไป” ผู้เข้ารับการทดสอบจะต้องทำการวิ่งเร็วที่สุดในระยะทาง 35 เมตร แล้ววิ่งผ่อนความเร็วและหยุดพักฟื้นร่างกายอยู่แถวบริเวณที่ตั้งกรวย ใช้เวลา 10 วินาที
3. วิ่งกลับให้เร็วที่สุดอีก 35 เมตร แล้ววิ่งผ่อนความเร็วและหยุดพักฟื้นร่างกายอยู่แถวบริเวณที่ตั้งกรวย ใช้เวลา 10 วินาที
4. โดยวิ่งลักษณะนี้รวมทั้งหมด 6 เที่ยว
5. การบันทึกเวลาของการวิ่งเร็วตั้งแต่การปล่อยตัวสั่ง “ไป” นั้น จนถึง 35 เมตรของแต่ละเที่ยว ให้บันทึกเวลาทุกเที่ยวอย่างละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่งของวินาที

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

พลัง (Power) = น้ำหนักตัว (กก.) x ระยะทาง (ม.)^2 / เวลา^3 (วินาที)

พลังสูงสุด (Maximum power) คือ ค่าพลังกล้ามเนื้อที่ได้จากการคำนวณในเที่ยวที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด

พลังต่ำสุด (Minimum power) คือ ค่าพลังกล้ามเนื้อที่ได้จากการคำนวณในเที่ยวที่ใช้ระยะเวลามากที่สุด

พลังเฉลี่ย (mean power) คือ ผลรวมของค่าพลังกล้ามเนื้อที่ได้จากการคำนวณทุกเที่ยว / 6

ค่าดัชนีความเมื่อยล้า (Fatigue index) = (ค่าพลังสูงสุด-ค่าพลังต่ำสุด)/ เวลารวมที่วิ่งทั้ง 6 เที่ยว

Chulalongkorn University

ภาพแผนผังการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ

ภาพการการเตรียมความพร้อมและทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ

ภาคผนวก ฉ
การวัดระดับสารทางชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry)

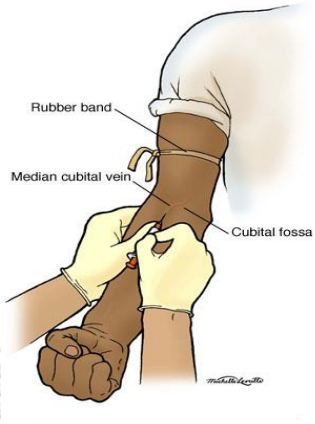
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเลือด Blood biochemistry (enzyme-linked immunosorbent assay: ELISA)
2. เข็มและหลอดที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างเลือด

วิธีการที่ทดสอบ

1. ทำการเก็บตัวอย่างเลือด ที่บริเวณ Median cubital vein ใน EDTA tube ปริมาณ 5 มิลลิลิตร โดยแบ่งออกเป็น 2 หลอด (2x2.5 มิลลิลิตร tube) โดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ
2. สำหรับการเก็บตัวอย่างเลือดนี้จะเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการตรวจวิเคราะห์ (ไม่เกิน 3 เดือน)
3. ตัวอย่างเลือด tube ที่ 1 (EDTA tube) จะใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางโลหิตวิทยา ได้แก่ ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hb) และฮีมาโตคริต (Hct) ที่ *คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย* ทันที
4. ตัวอย่างเลือด Tube ที่ 2 (Non-EDTA tube) จะนำไปปั่นเพื่อแยกเซรั่ม จากนั้นเก็บไว้อุณภูมิที่ - 80 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างเลือดจะใช้ในการวิเคราะห์หาระดับโปรตีนที่ควบคุมกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง (HIF-1α) และสารที่มีฤทธิ์กระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดใหม่ (VEGF) โดยวิธี Sandwich ELISA (Pialoux et al., 2009) คือ เป็นการใช้แอนติบอดี (Antibody) ตรึงลงในถาดหลุม (Microplate) จากนั้นเติมตัวอย่าง (Sample) ที่มีแอนติเจน (Antigen) ที่ต้องการตรวจลงในถาดหลุม ปล่อยให้ทำปฏิกิริยากับแอนติบอดี้ที่ตรึงอยู่ หลังจากล้างออก (Wash) เติมแอนติบอดี้จำเพาะต่ออิพิโทป (2nd antibody) ของแอนติเจนบริเวณที่ต่างจากอิพิโทปแอนติบอดีตัวแรก (1st antibody) จับอยู่และติดฉลากด้วยเอ็นไซม์ หลังจากล้างแอนติบอดีอิสระออก เติมซับสเตรท (Substrate) และวัดผลิตภัณฑ์ (Product) ที่เกิดขึ้น จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนคลื่นแสง (Spectrophotometer)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



เก็บตัวอย่างเลือด ที่บริเวณ Median cubital vein

ภาพการเก็บตัวอย่างเลือด โดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ

ขั้นตอนการวัดระดับโปรตีน (HIF-1α)

1. ปิเปต น้ำยามาตรฐานและตัวอย่าง (100μl ต่อหลุม) ใส่ในหลุม ปิดคลุมถาดด้วยแถบกาว พักไว้ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

2. เทของเหลวในแต่ละหลุม <u>โดยที่ไม่ต้องล้างออก</u>

3. ปิเปตไบโอตินแอนติบอดี (Biotinated antibody) (100 ไมโครลิตรต่อหลุม) ใส่ในหลุม ปิดคลุมด้วยแถบกาว แล้วพักไว้ 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

4. ล้างด้วยการเติม Wash Buffer (200μl) ในแต่ละหลุมด้วย โดยใช้ปิเปตแบบหลายช่อง ทิ้งไว้ 2 นาที ทำทั้งหมด 2 ครั้ง

5. ปิเปต HRP-avidin (1x) ลงในแต่ละหลุม ปิดแผ่น Microtiter ด้วยแถบกาวใหม่ พัก 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

6. ทำซ้ำขั้นตอนการล้าง 5 ครั้งในขั้นตอนที่ 4

7. เพิ่ม 90 μlของ TMB Substrate ให้กับแต่ละหลุม พัก 15-30 นาทีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และป้องกันจากแสง

8. เพิ่ม Stop Solution 50μl ให้กับแต่ละหลุม และ ภายใน 5 นาที นำไปอ่านที่ 450 นาโนเมตรทันที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการวัดระดับโปรตีน (VEGF)

1. นำน้ำยาและตัวอย่างพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ก่อนการใช้งาน

2. ปิเปตสารละลาย 100 μL ลงในหลุม ปิดคลุมถาดหลุมและพักไว้ 2.5 ชั่วโมงที่ อุณหภูมิห้อง พร้อมเขย่าเบา ๆ

3. เทสารละลายในหลุมออก จากนั้นทำการล้างด้วยสารละลาย (Wash buffer) 300 μl จำนวน 4 ครั้งด้วย ล้างด้วยการเติมแต่ละหลุมด้วย Wash Buffer หลังจากการล้างครั้งสุดท้ายให้ซับสารละลาย ที่เหลือออกโดยใช้กระดาษดูดซับที่สะอาด

4. ปิเปต 100 μLแอนติบอดีใส่ในแต่ละหลุม และพักไว้เวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องพร้อมเขย่าเบา ๆ

5. เทสารละลายในหลุมทิ้ง ทำซ้ำเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 3

6. ปิเปต 100 μLของสารละลาย Streptavidin ใส่ในแต่ละหลุมและพักไว้อีกเวลา 45 นาทีที่อุณหภูมิห้องพร้อมเขย่าเบา ๆ

7. เทสารละลายในหลุมทิ้ง ทำซ้ำเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 3

8. ปิเปต 100 μLของน้ำยาทดสอบ ใส่ในแต่ละหลุม และพักไว้อีกเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้องในห้องมืดพร้อมเขย่าเบา ๆ

9. ปิเปต 50 μLของสารละลาย Stop Solution ใส่ในแต่ละหลุม และนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ช

การวัดค่าแลคเตทในเลือด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์แลคเตทในเลือด (Blood lactate Analyzer) รุ่น LM5
2. แผ่นสตริปส์ตรวจวัดแลคเตท (Lactate strip)
3. ปากกาเจาะเลือด
4. สำลีและแอลกอฮอล์
5. ถุงมือยาง

วิธีการที่ทดสอบ

1. กดปุ่มเปิดการทำงานของเครื่องและปรับตั้งค่าเริ่มต้นการทำงานของเครื่อง (Calibration)

2. ใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์ เช็ดท่าความสะอาดบริเวณปลายนิ้วที่จะเจาะเลือดของมือข้างซ้ายทุกครั้งที่ทำการเก็บข้อมูล

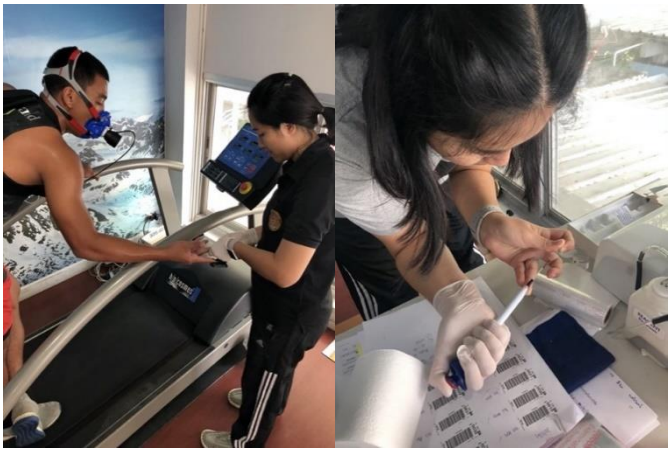
3. เจาะเลือดจากปลายนิ้วบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 5 ไมโครลิตร) นำหลอดเก็บเลือด (Capillary tube) รับเลือดจากปลายนิ้ว ดูดเลือดจากหลอดแล้วนำไปหยดลงในเครื่องวิเคราะห์เลือด รออ่านผลการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. เครื่องจะเริ่มการวิเคราะห์ค่ากรดแลคติกในเลือด โดยใช้เวลาประมาณ 30 วินาที จะได้ค่าความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด มีหน่วยเป็น มิลลิโมลต่อลิตร

5. บันทึกผลค่าระดับแลคเตทในเลือดที่มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

เครื่องวิเคราะห์แลคเตทในเลือด (Blood lactate Analyzer) รุ่น LM5



ภาพการเจาะเลือดเพื่อวัดความเข้มข้นของแลคเตท

ภาพการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของแลคเตท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ซ

การวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse oximetry)

วิธีการที่ทดสอบ

1. กดเปิดการทำงานของเครื่อง
2. สวมเครื่องวิเคราะห์ที่นิ้วชี้ของผู้เข้าทดสอบ
3. เครื่องจะเริ่มทำการวิเคราะห์ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด
4. บันทึกผลค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดที่มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

เครื่องวิเคราะห์ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse oximetry)

ภาคผนวก ฌ

การวัดค่าความถ่วงจำเพาะปัสสาวะ

เครื่องมือที่ใช้

1. Urine Specific Gravity Refractometer
2. กล่องพลาสติกบรรจุน้ำปัสสาวะ
3. หลอดน้ำ

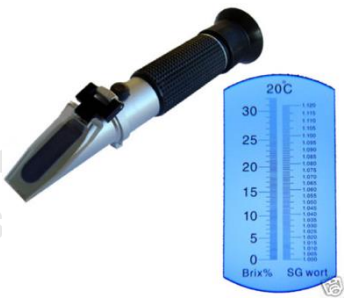
วิธีทดสอบ

1. เก็บตัวอย่างปัสสาวะที่ต้องการทำการทดสอบ ใส่ลงในภาชนะที่แห้ง และสะอาดประมาณ 30 - 50 ซี.ซี.
2. เปิดฝาและเช็ดทำความสะอาดบริเวณแผ่นอ่าน
3. หยดตัวอย่างลงบนบริเวณแผ่นอ่าน 2 หยด พร้อมกับปิดฝาเบา ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงฟองอากาศ
4. สังเกตค่าความช่วงจำเพาะผ่านช่องมองภาพ และใช้มือหมุนปรับช่องมองภาพ
5. บันทึกค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะโดยสังเกตจากแถบสเกลความเข้มข้นของสาร

การแปลผลการทดสอบ

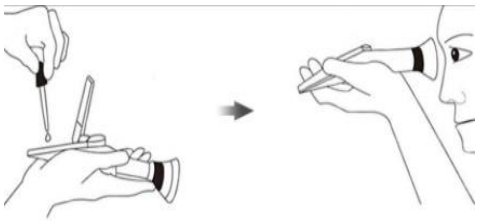
Specific gravity (ความถ่วงจำเพาะ) เป็นตัววัดแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ

- โดยระดับปกติจะอยู่ในช่วง 1.010 – 1.025
- ในภาวะขาดน้ำจะมีระดับความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น



ภาพ Urine Specific Gravity Refractometer และแถบสเกลความเข้มข้นของสาร

รูปการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะปัสสาวะ



รูปขั้นตอนการหยดตัวอย่างลงบนบริเวณแผ่นอ่าน 2 หยด พร้อมกับปิดฝาเบา ๆ และสังเกตค่าความช่วงจำเพาะผ่านช่องมองภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn Universe

ภาคผนวก ญ

Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)

การวัดดัชนีการใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อ ที่บริเวณกล้ามเนื้อ left vastus lateralis โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Infrared Spectroscopy: NIRS) ในขณะทำการทดสอบวิ่งบนลู่กล และขณะทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์การใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Infrared Spectroscopy: NIRS)
2. อุปกรณ์เซ็นเซอร์ และคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค
3. สำลีและแอลกอฮอล์

วิธีการที่ทดสอบ

1. หุ้มอุปกรณ์ NIRS ด้วยพลาสติกสุญญากาศกันเหงื่อ
2. ใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์เช็ดที่ขาข้างที่จะทำการวัด และติด Sensor ของเครื่อง NIRS บนจุดกึ่งกลางของกล้ามเนื้อบริเวณ Left vastus lateralis
3. ใช้ผ้าสีดำคลุมทับเพื่อป้องกันการรบกวนจากรังสี UV จากนั้นใช้ผ้าพันแผลหรือผ้าเทปพันทับยึดอุปกรณ์ให้แนบสนิทกับกล้ามเนื้อเพื่อป้องกันการขยับในขณะที่ทำการทดสอบ
4. ทำการวัดดัชนีการใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Tissue saturation index, TSI) ที่บริเวณ Left vastus lateralis ขณะที่ทำการทดสอบผ่านระบบไร้สาย
5. บันทึกค่าดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อตลอดการทดสอบ ใช้ Sampling rate = 10 Hzs โดยอาศัยการคำนวณจากการดูดซับคลื่นแสงที่แตกต่างกันของฮีโมโกลบิน ที่จับกับออกซิเจน (Oxyhemoglobin, O_2Hb) และฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (Deoxyhemoglobin, HHb) ซึ่งแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ดัชนีการใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อที่กล้ามเนื้อ Vastus lateralis คำนวณได้จาก

$$TSI\% = \frac{\text{Oxygenated hemoglobin + myoglobin}}{\text{Total amount of hemoglobin+ myoglobin}} \times 100$$

6. คำนวณค่าตัวแปรการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ได้แก่TSI, O_2Hb, HHb และ tHb โดยใช้โปรแกรม OxySoft v. 3.0.103.3 (Protamon, Artinis Medical System, The Netherland) โดยค่าพื้นฐาน (Baseline) จะคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย 30 วินาทีก่อนเริ่มการทดสอบ และการคำนวณการเปลี่ยนแปลงการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI, ΔO_2Hb, ΔHHb และ ΔtHb) จะคำนวณจากค่าพื้นฐานลบด้วยค่าเฉลี่ยต่ำสุด 1 วินาที (TSI_{base}–TSI_{min}= ΔTSI) (Buchheit M, 2011 และ McManus CJ, 2018)

7. การคำนวณการเปลี่ยนแปลงการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (ΔTSI, ΔO_2Hb, ΔHHb และ ΔtHb) ขณะทำการทดสอบความสามารถในการสปรินท์ซ้ำ จะคำนวณจากค่าเฉลี่ยสูงสุด ลบค่าเฉลี่ยต่ำสุด 1 วินาที ขณะทำการทดสอบแต่ละสปรินท์ (Ben Jones, 2015)

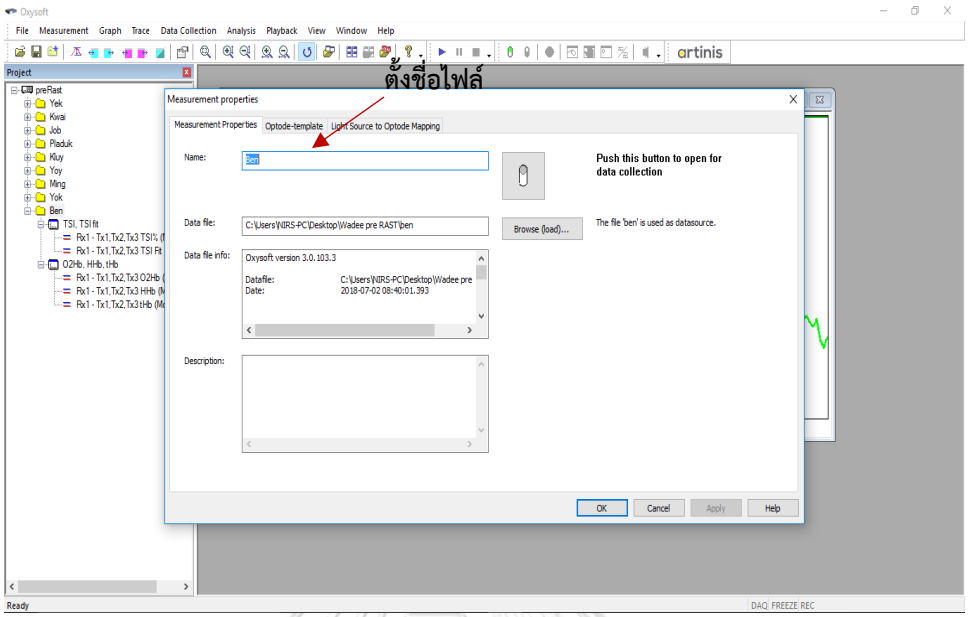
รูปเครื่องวิเคราะห์และอุปกรณ์เซ็นเซอร์ การใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Infrared Spectroscopy: NIRS)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

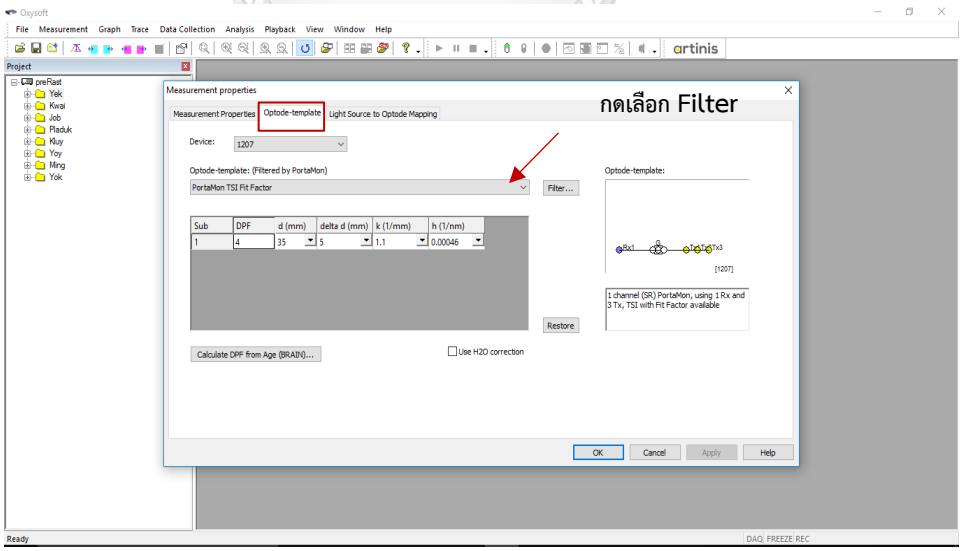
รูปการติดตั้งเครื่องเครื่องวิเคราะห์ อุปกรณ์เซ็นเซอร์ และคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

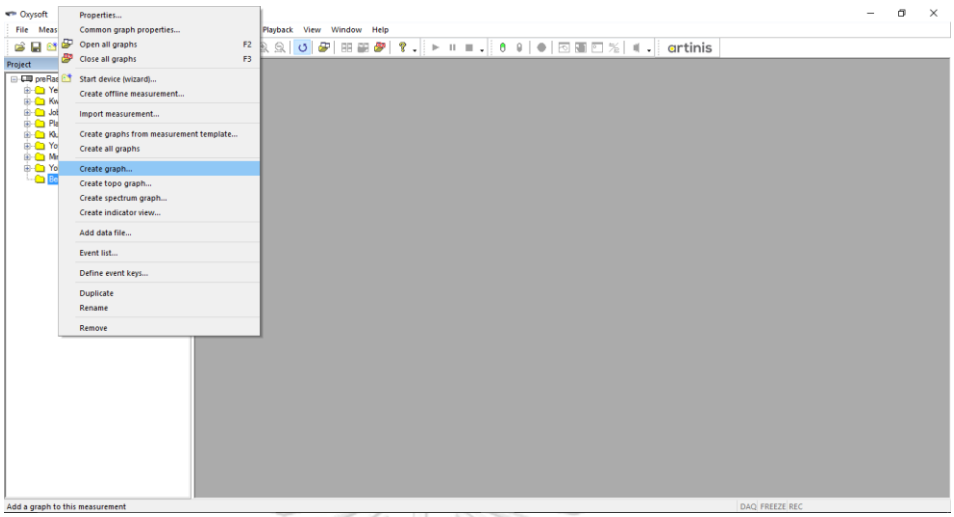
1. เลือก Measurement properties



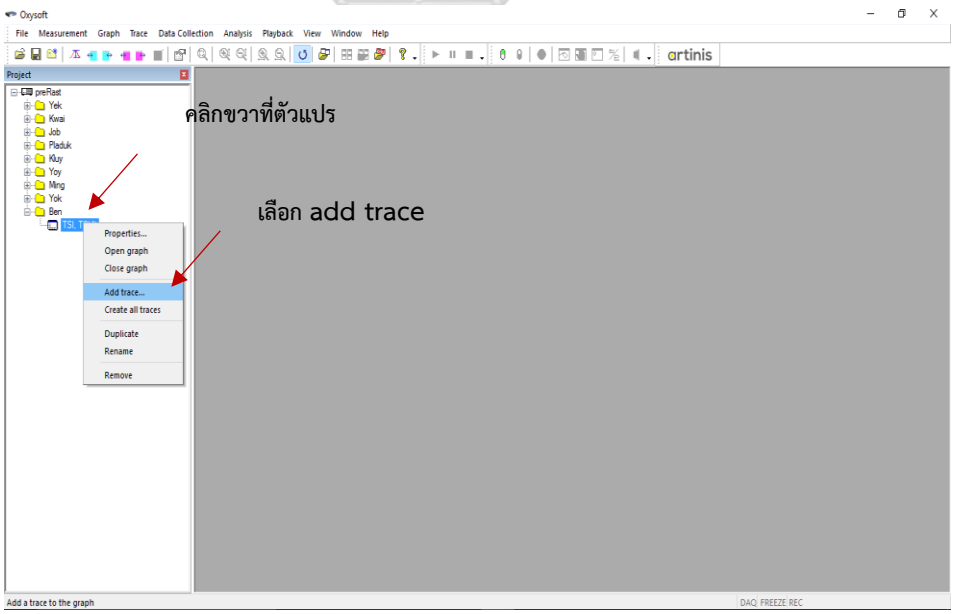
2. เลือก Optode-template เพื่อเลือก Filter เป็น PortaMon TSI Fit Factor กด OK



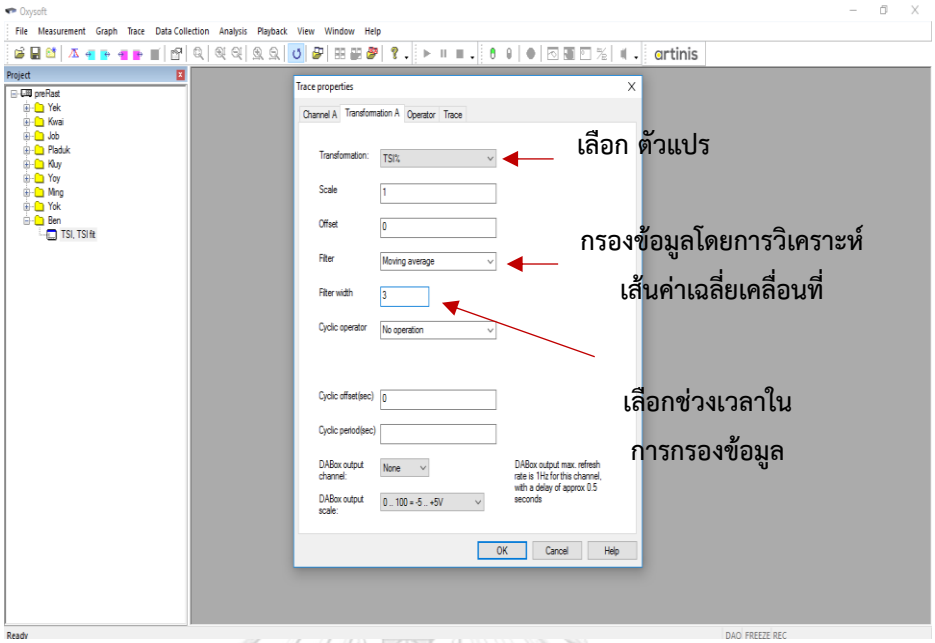
3. คลิกขวาที่ชื่อเพื่อ Create graph



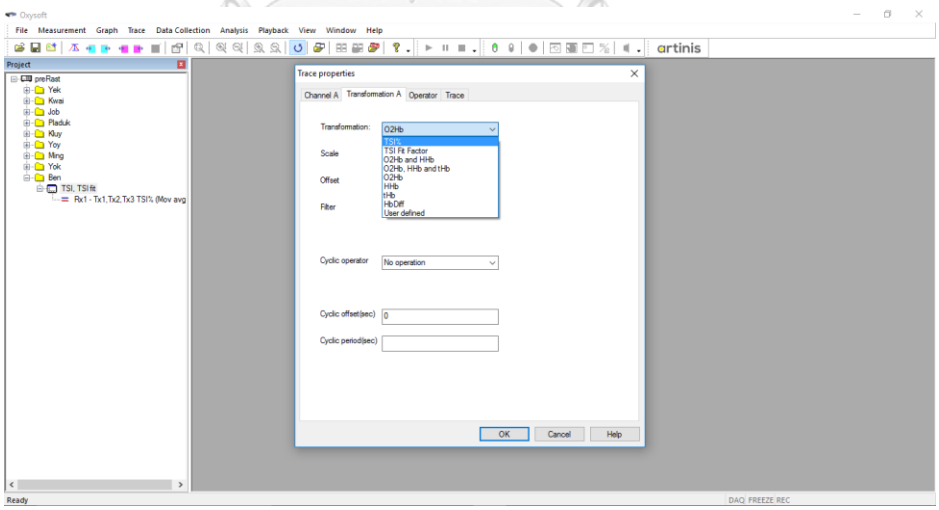
4. เพิ่มคุณสมบัติการติดตามของตัวแปร



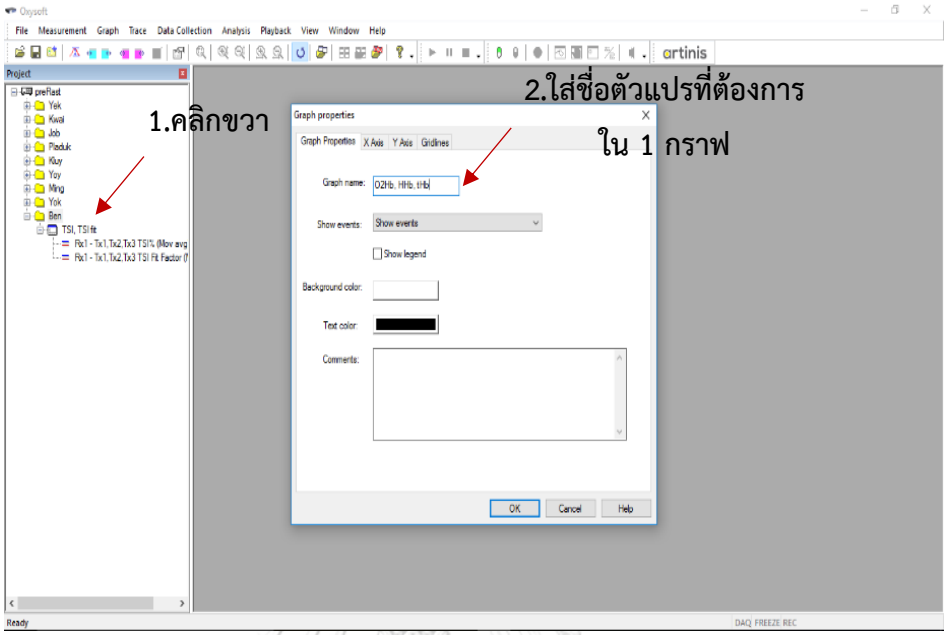
5. ใส่ข้อมูลการติดตาม (Transformation A) โดยการเลือกทำข้อมูลทีละตัวแปร



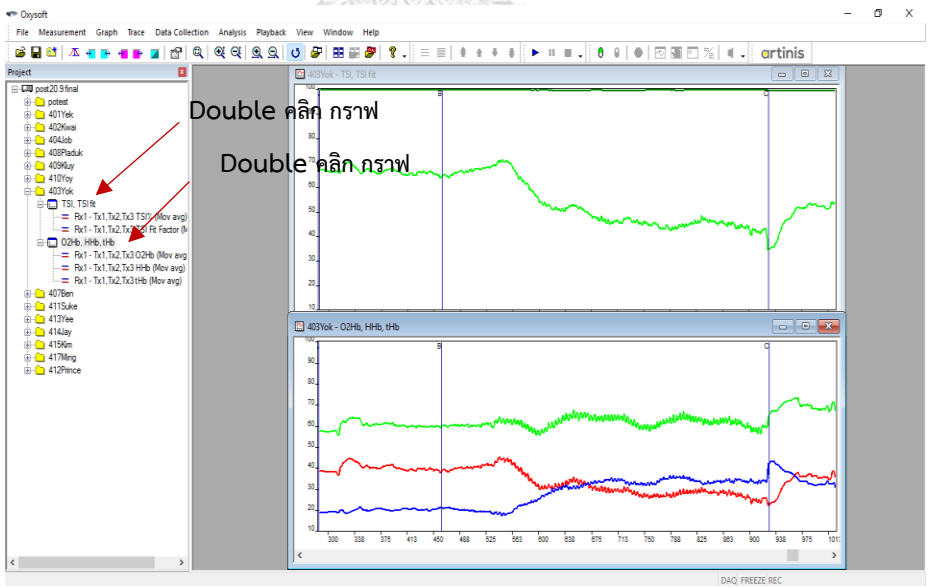
6. เลือกตัวแปรที่ต้องการวิเคราะห์เพิ่ม โดยทำตามขั้นตอนที่ 5 และ 6



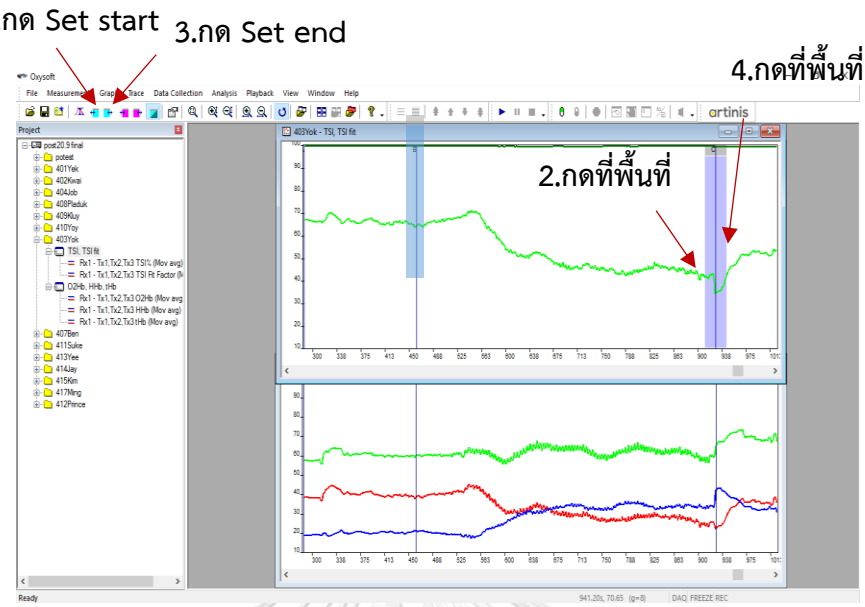
7. หลังจากที่เพิ่มกราฟและข้อมูลเสร็จแล้วสามารถเปลี่ยนการตั้งชื่อกราฟ ในช่อง Graph name



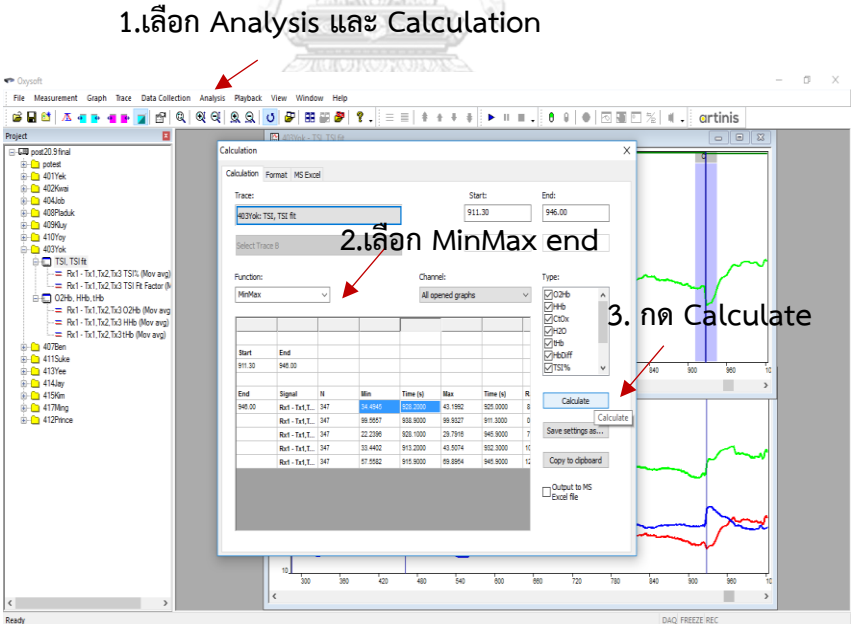
8. แสดงกราฟที่ต้องการจะวิเคราะห์



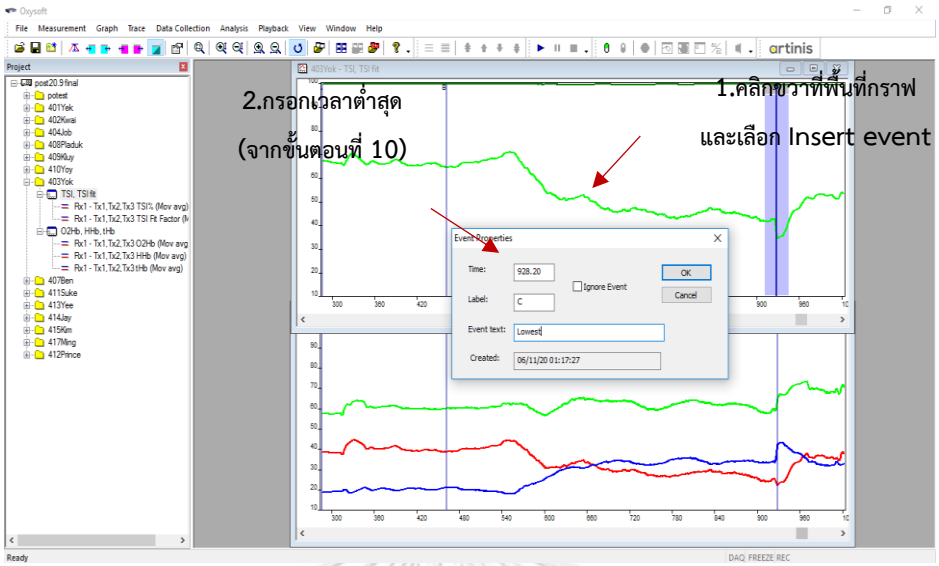
9. ลากคลุมพื้นที่ที่ต้องการจะวิเคราะห์ของจุดขณะก่อนออกกำลังกายจุดต่ำสุดและ



10. ทำการคำนวณจุดต่ำสุด เพื่อจะ Insert event

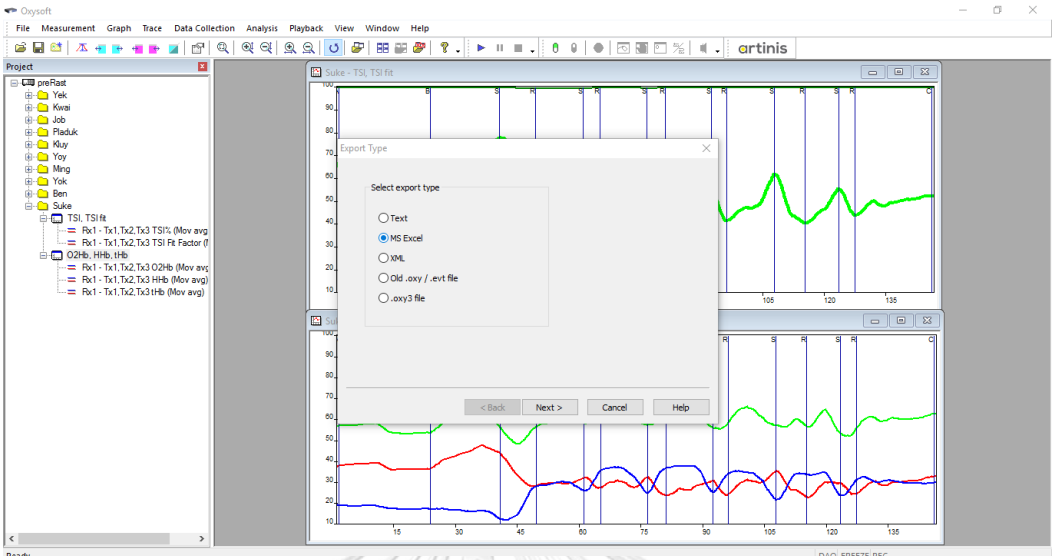


11. ทำการ Insert event และ Mark event

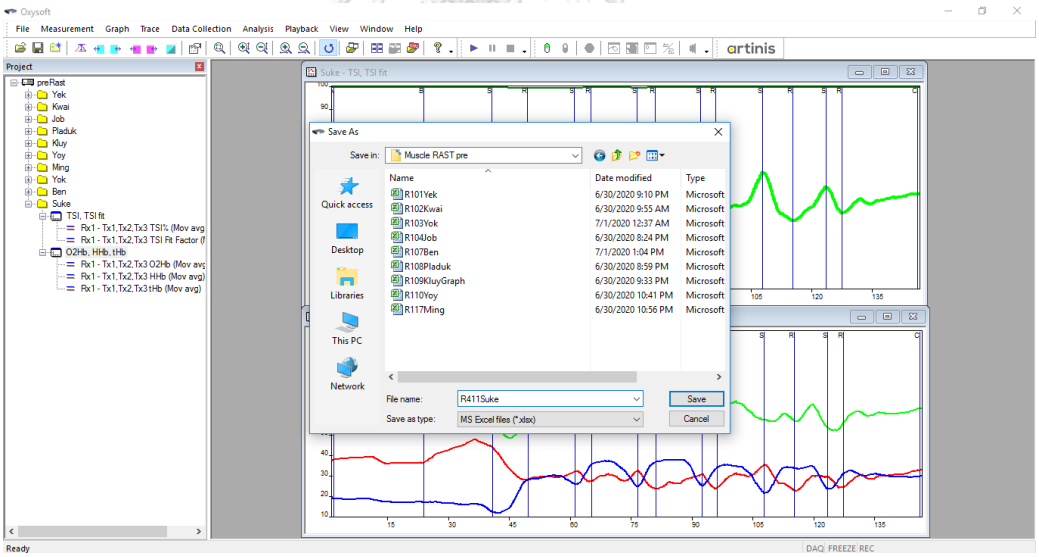


12. ทำการ Export ข้อมูลดิบ

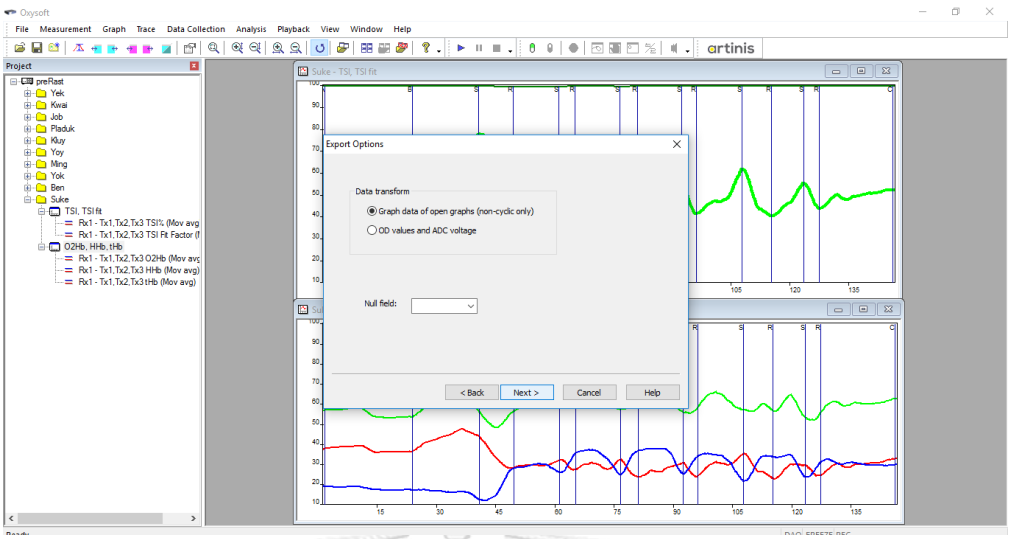
13. เลือกชนิดของไฟล์ที่ต้องการ



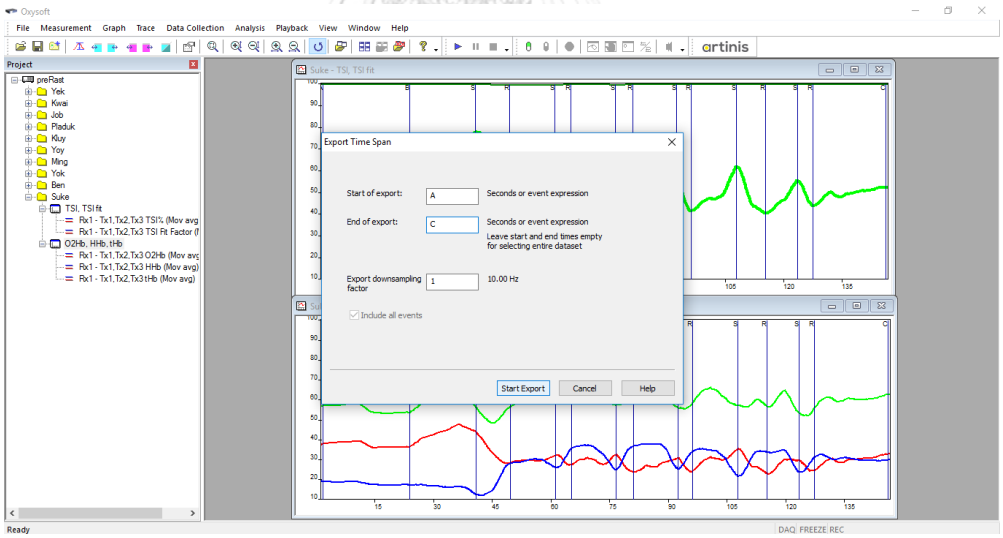
14. จัดตั้ง Folder เพื่อเก็บเอกสาร



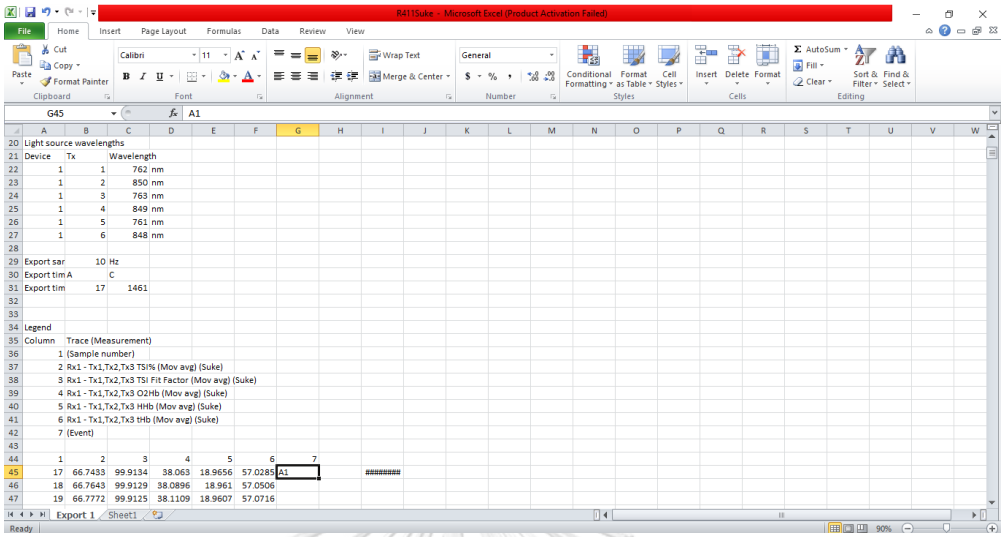
15. เลือกข้อมูลที่ต้องการส่งออก



16. กำหนดช่วงที่ต้องการดึงข้อมูล (โดยดูจากการ Insert event)

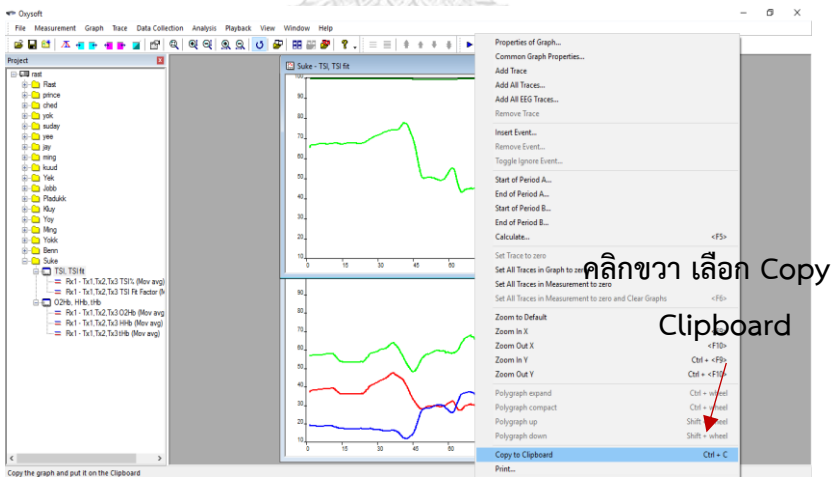


17. ตัวอย่างไฟล์ Excel ที่ถูกดึงข้อมูล



	A	B	C	D	E	F	G
20	Light source wavelengths						
21	Device	Tx	Wavelength				
22	1	1	762	nm			
23	1	2	850	nm			
24	1	3	763	nm			
25	1	4	849	nm			
26	1	5	761	nm			
27	1	6	848	nm			
28							
29	Export sar	10	Hz				
30	Export tim A		C				
31	Export tim	17	1461				
32							
33							
34	Legend						
35	Column	Trace (Measurement)					
36	1	(Sample number)					
37	2	Rx1 - Tx1,Tx2,Tx3 TSI% (Mov avg) (Suke)					
38	3	Rx1 - Tx1,Tx2,Tx3 TSI Fit Factor (Mov avg) (Suke)					
39	4	Rx1 - Tx1,Tx2,Tx3 O2Hb (Mov avg) (Suke)					
40	5	Rx1 - Tx1,Tx2,Tx3 HHb (Mov avg) (Suke)					
41	6	Rx1 - Tx1,Tx2,Tx3 tHb (Mov avg) (Suke)					
42	7	(Event)					
43							
44	1	2	3	4	5	6	7
45	17	66.7433	99.9134	38.063	18.9656	57.0285	A1
46	18	66.7643	99.9129	38.0896	18.961	57.0506	
47	19	66.7772	99.9125	38.1109	18.9607	57.0716	

18. วิธีการ คัดลอก Clipboard



ภาคผนวก ฎ

แบบวัดระดับรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE) (Borg, 1998)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตารางวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE)

วิธีการ

1. อธิบายหลักการวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อยอย่างละเอียด กำหนดให้ระดับ 6-20
2. บอกระดับความเหนื่อยที่ตนเองรู้สึก แล้วจดบันทึกผล

Rating	Perceived Exertion
6	No exertion
7	Extremely light
8	
9	Very light
10	
11	Light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Extremely hard
20	Maximal exertion

บอร์กสเกล	ความหนัก (% ของความพยายามสูงสุด)	ความรู้สึก	กิจกรรมเปรียบเทียบ
๖	๒๐%		
๗	๓๐%	ไม่เหนื่อยเลย	นอนพัก
๘	๔๐%		
๙	๕๐%	แทบไม่เหนื่อยเลย	เดินปกติ
๑๐	๕๕%		
๑๑	๖๐%	เหนื่อยเล็กน้อย	
๑๒	๖๕%		
๑๓	๗๐%	เหนื่อยปานกลาง	วิ่งเหยาะ
๑๔	๗๕%		
๑๕	๘๐%	เหนื่อย	ออกกำลังแบบแอโรบิก
๑๖	๘๕%		
๑๗	๙๐ %	เหนื่อยมาก	
๑๘	๙๕%		
๑๙	๑๐๐%	เหนื่อยมากที่สุด	
๒๐	หมดแรง		

ตารางวัดระดับการรับรู้ความเหนื่อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฏ

การฝึกรูปแบบเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำ

เครื่องมือและอุปกรณ์

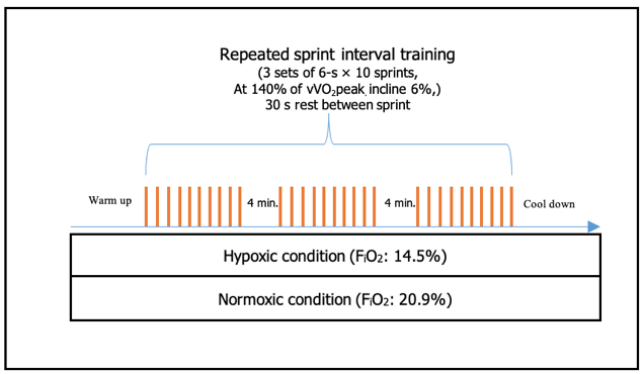
1. ลู่วิ่งกล (Treadmill) ยี่ห้อ เฮดพี คอสมอส รุ่น เมอร์คิวรี่ (h/p/cosmos, Mercury) ประเทศเยอรมัน

วิธีการที่ฝึก

1. ผู้เข้าร่วมการทดลองทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm-up) โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 7 นาที และวิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่ออบอุ่นร่างกายเป็นเวลา 3 นาที
2. จากนั้นผู้เข้าร่วมการทดลองทำการฝึก การออกกำลังกายโดยใช้ความหนักสูงสลับช่วงของการผ่อนคลายเป็นการพักระหว่างการทำงาน จากการวิ่งบนลู่วิ่งด้วยความเร็วที่ 140% vVO_2peak ที่ความชัน 6% จำนวน 3 เซ็ท ของการสปรินท์ 6 วินาที 10 เที่ยว (3 sets of 6-s × 10 sprints at 140% vVO_2peak, ความชัน 6%) โดยมีระยะพักระหว่างเที่ยว 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ท 4 นาที รวมใช้เวลาทั้งสิ้น 30 นาที
3. ผู้เข้าร่วมการทดลองทำการคลายอุ่น (Cool-down) โดยวิ่งที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 3 นาที เพื่ออบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเวลา 7 นาที
4. ผู้เข้าร่วมการทดลองทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ในวันจันทร์ พุธ ศุกร์ ช่วงเวลา 07.00-14.00 น. เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

หมายเหตุ: กลุ่มทดลอง ทำการฝึกสปรินท์ที่ความเร็ว 140% ของความเร็วที่สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVO_2max ที่ F_iO_2: 14.5%) ที่ความชัน 6% ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 14.5%) บนลู่วิ่ง

กลุ่มควบคุม ทำการฝึกสปรินท์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (F_iO_2: 20.9%) บนลู่วิ่ง



รูปโปรแกรมฝึกสปรินท์ซ้ำ

ภาคผนวก ฐ

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบหาปริมาณออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) และความเร็วที่อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVO_2peak) ทางตรง โดยใช้วิธี Incremental running test (Hypoxia condition / Normoxia condition)

Start 10 and increases 0.5 every 1 min and slope 1%	Warm - up			Incremental maximum exercise												Cool-down		
Time	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Speed (km/h)	4			10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	4		
HR																		
VO_2																		
RER																		
RPE																		
Spo2																		
ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด																		

Total Incremental maximum exercise		
Speed to exhaustion		กิโลเมตรต่อชั่วโมง, (km/h)
Heart rate max		ครั้งต่อนาที (bpm.)
VO_{2peak}		มิลลิลิตรของออกซิเจนต่อน้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัมต่อนาที, (ml/kg/min)
.....vVO_{2peak}		กิโลเมตรต่อชั่วโมง, (km/h)
Time to exhaustion		นาที
Respiratory exchange ratio, RER		
Rating of perceived exertion, RPE		
ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด		มิลลิโมลต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ฑ

แบบบันทึกข้อมูลโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงโดยทำการฝึกรูปแบบเสริมด้วยการสปรินท์ซ้ำ

Repeated sprint training (treadmill)	Warm – Up (Min.)			Sprint (6 s) set 1 and recovery (30 s)											
at 140 % vVO_{2peak} = ……... km/h ความชัน.....% ระดับ O_2.....% rest 1: 30 s, rest 2: 4 min	1	2	3	1S	1R	2S	2R	3S	3R	4S	4R	5S	5R	6S	6R
HR															
SpO_2															

	Rest between set (Min.)				Sprint (6 s) set 2 and recovery (30 s)											
	1	2	3	4	1S	1R	2S	2R	3S	3R	4S	4R	5S	5R	6S	6R
HR																
SpO_2																

	Rest between set (Min.)				Sprint (6 s) set 3 and recovery (30 s)												Cool – down (Min.)		
	1	2	3	4	1S	1R	2S	2R	3S	3R	4S	4R	5S	5R	6S	6R	1	2	3
HR																			
SpO_2																			

ภาคผนวก ฒ

แบบคัดกรองข้อมูลสำหรับประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

(Patient/Participant Information Form)

วันที่.....

เลขที่กลุ่มตัวอย่าง.....

อายุ..... น้ำหนัก.....กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ไขมัน.....

ส่วนสูง.....เซนติเมตร ประสบการณ์ในการเล่นกีฬารักบี้.....ปี

มีสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด.....มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (ml/min/kg)

มีอาการบาดเจ็บของกระดูกและกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง เช่น กระดูกหัก เอ็นฉีกขาด หรือไม่

.....

เคยทำการฝึกหรืออยู่อาศัยนานเกินกว่า 6 เดือน ในระยะ 3 เดือนก่อนเข้าร่วมโครงการ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำหรือไม่.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มีโรคประจำตัวที่เป็นอุปสรรคต่อการทดลอง เช่น หอบหืด โลหิตจาง และโรคลมชักหรือไม่

.....

ภาคผนวก ณ
ข้อมูลโปรแกรมการฝึกซ้อมปกติของนักกีฬารักบี้

เป้าหมาย พัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (จำนวนครั้งxชุด) 3 วันต่อสัปดาห์		
วันจันทร์ เน้นกล้ามเนื้อส่วนบน	วันพุธ เน้นกล้ามเนื้อส่วนบน	วันศุกร์ เน้นกล้ามเนื้อส่วนล่าง
Dumbbell snatch (8x4)	Hang clean pull below knee (8-8-6-6)	High pull (12x3)
Lateral box jump (8x4)	Squat jump with band (10x4)	Push press (12x3)
Deadlift (8-8-6-6)	Standing long jump with band (10x4)	Single leg deadlift (12x3) (each)
Box jump (8x4)	Crawl walk with band (10x4)	Front squat (12x3)
Hip thrust (8x4)	One-arm bench press (8-8-6-6)	Mountain climbers (60 วินาที)
Lying one leg curl (8x4)	One-arm bent-over row (8-8-6-6)	Deadlift (12x3)
Barbell bench press (6x3)	One-arm inclined press (8-8-6-6)	Lying leg curls (12x3) (each)
Push up (6x3)	Weighted pull-up (8-8-6-6)	Hip thrust (12x3)
medicine ball chest throw (6x3)	Half-kneeling shoulder press (8-8-6-6)	Back Lunge (20x3)
Barbell bent-over row (8x4)	Half-kneeling low to high band (10x4)	Side Lunge (20x3)
Reverse fly (8x4)	Bird dog (20x5)	300 m. Row (ทำแบบต่อเนื่องไม่จำกัดเวลา)
Crawl plank (20x5)	Shoulder tap (20x5)	300 m. Run (ทำแบบต่อเนื่องไม่จำกัดเวลา)
Back up (20x5)	Mountain climbers (30x5)	300 m. AirBike (ทำแบบต่อเนื่องไม่จำกัดเวลา)
Russian twists (20x5)	V-sit (20x5)	
Weighted crunch (20x5)	Dead bug (20x5)	
ฝึกทักษะ 3 วัน (วันอังคาร พฤหัสบดี เสาร์)		
พัก 1 วัน (วันอาทิตย์)		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมายเหตุ :

โปรแกรมการฝึกซ้อมปกติของนักกีฬารักบี้ ทำการฝึกความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อ 3 วันต่อสัปดาห์ โดยการฝึกความแข็งแรงในแต่ละท่าจะเรียงตามลำดับ และมีระยะเวลาในการพักระหว่างเซท 1-2 นาที พักระหว่างท่า 2-4 นาที

ในการฝึกความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อในแต่ละวันจะทำการฝึกเป็นระยะเวลารวม 1 ชั่วโมง 30 นาที หลังจากนั้นกลุ่มตัวอย่างจะเข้าทำการฝึกเสริมโดยการฝึกสปรินท์ซ้ำ เป็นระยะเวลา 30 นาที

บรรณานุกรม

Austin, K. G., Daigle, K. A., Patterson, P., Cowman, J., Chelland, S., & Haymes, E. M. (2005). Reliability of near-infrared spectroscopy for determining muscle oxygen saturation during exercise. Research Quarterly for Exercise and Sport, 76(4), 440-449. doi:10.1080/02701367.2005.10599317

Balsom, P. D., Gaitanos, G. C., Ekblom, B., & Sjödin, B. (1994). Reduced oxygen availability during high intensity intermittent exercise impairs performance. Acta Physiologica Scandinavica, 152(3), 279-285. doi:10.1111/j.1748-1716.1994.tb09807.x

Balsom, P. D., Seger, J. Y., Sjödin, B., & Ekblom, B. (1992). Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. International Journal of Sports Medicine, 13(7), 528-533. doi:10.1055/s-2007-1021311

Bangsbo, J. (2000). Physiology of intermittent exercise. In Exercise and Sport Science (pp. 53-65): Lippincott Williams & Wilkins.

Bärtsch, P., Saltin, B., & Dvorak, J. (2008). Consensus statement on playing football at different altitude. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 18 Suppl 1, 96-99. doi:10.1111/j.1600-0838.2008.00837.x

Beard, A., Ashby, J., Chambers, R., Brocherie, F., & Millet, G. (2018). Repeated-Sprint Training in Hypoxia in International Rugby Union Players. International Journal of Sports Physiology and Performance, 14, 1-15. doi:10.1123/ijspp.2018-0170

Bhambhani, Y., Maikala, R., & Esmail, S. (2001). Oxygenation trends in vastus lateralis muscle during incremental and intense anaerobic cycle exercise in young men and women. European journal of applied physiology, 84(6), 547-556. doi:10.1007/s004210000372

Bickham, D. C., Bentley, D. J., Le Rossignol, P. F., & Cameron-Smith, D. (2006). The effects of short-term sprint training on MCT expression in moderately endurance-trained runners. Eur J Appl Physiol, 96(6), 636-643. doi:10.1007/s00421-005-0100-x

Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., Lakomy, H. K., & Nevill, A. M. (1995). Recovery

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. The Journal of Physiology, 482 (Pt 2)(Pt 2), 467-480. doi:10.1113/jphysiol.1995.sp020533

Bompa, T. (1993). Periodization of Strength: The New Wave in Strength Training. Toronto: Veritas Publications.

Bompa, T., & Claro, F. (2009). Periodization in rugby: British library cataloguing: World Sports Publishers Association.

Bompa, T., & Haff, G. (2009). Periodization: Theory and Methodology of Training: Human Kinetics.

Borg, G. (1998). Borg's Perceived Exertion And Pain Scales.

Born, D.-P., Zinner, C., Düking, P., & Sperlich, B. (2016). Multi-Directional Sprint Training Improves Change-Of-Direction Speed and Reactive Agility in Young Highly Trained Soccer Players. Journal of sports science & medicine, 15(2), 314-319. Retrieved from https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27274670

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4879446/

Bowtell, J. L., Cooke, K., Turner, R., Mileva, K. N., & Sumners, D. P. (2014). Acute physiological and performance responses to repeated sprints in varying degrees of hypoxia. Journal of Science and Medicine in Sport, 17(4), 399-403. doi:10.1016/j.jsams.2013.05.016

Bravo, D. F., Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., & Wisloff, U. (2008). Sprint vs. interval training in football. International Journal of Sports Medicine, 29(8), 668-674. doi:10.1055/s-2007-989371

Brechbuhl, C., Brocherie, F., Millet, G. P., & Schmitt, L. (2018). Effects of Repeated-Sprint Training in Hypoxia on Tennis-Specific Performance in Well-Trained Players. Sports Medicine International Open, 2(5), E123-e132. doi:10.1055/a-0719-4797

Brocherie, F., Girard, O., Faiss, R., & Millet, G. P. (2015). High-intensity intermittent training in hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled field study in youth football players. Journal of Strength and Conditioning Research, 29(1), 226-237. doi:10.1519/jsc.0000000000000590

Brodie, D. (1986). Physiology of exercise and sport. British Journal of Sport Medicine, 20.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

doi:10.1136/bjsm.20.4.186

Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. (2005). Exercise Physiology : Human Bioenergetics and Its Applications 4TH EDITION. Boston: McGraw-Hill.

Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. Sports Medicine, 43(5), 313-338. doi:10.1007/s40279-013-0029-x

Buchheit, M., & Ufland, P. (2011). Effect of endurance training on performance and muscle reoxygenation rate during repeated-sprint running. European journal of applied physiology, 111(2), 293-301. doi:10.1007/s00421-010-1654-9

Bunn, H. F., & Poyton, R. O. (1996). Oxygen sensing and molecular adaptation to hypoxia. Physiological Reviews, 76(3), 839-885. doi:10.1152/physrev.1996.76.3.839

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. doi:10.3389/fphys.2019.01195

Colombo, E., Marconi, C., Taddeo, A., Cappelletti, M., Villa, M. L., Marzorati, M., . . . Della Bella, S. (2012). Fast reduction of peripheral blood endothelial progenitor cells in healthy humans exposed to acute systemic hypoxia. J Physiol, 590(3), 519-532. doi:10.1113/jphysiol.2011.223032

Czuba, M., Waskiewicz, Z., Zajac, A., Poprzecki, S., Cholewa, J., & Roczniok, R. (2011). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. Journal of Sports Science and Medicine, 10(1), 175-183.

Daussin, F., Ponsot, E., Dufour, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Geny, B., . . . Richard, R. (2007). Improvement of VO2 max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. European journal of applied physiology, 101, 377-383. doi:10.1007/s00421-007-0499-3

Demarle, A. P., Heugas, A. M., Slawinski, J. J., Tricot, V. M., Koralsztein, J. P., & Billat, V. L. (2003). Whichever the initial training status, any increase in velocity at lactate

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

threshold appears as a major factor in improved time to exhaustion at the same severe velocity after training. Archives of Physiology and Biochemistry, 111(2), 167-176. doi:10.1076/apab.111.2.167.14003

Dinenno, F. A., Tanaka, H., Monahan, K. D., Clevenger, C. M., Eskurza, I., DeSouza, C. A., & Seals, D. R. (2001). Regular endurance exercise induces expansive arterial remodelling in the trained limbs of healthy men. Journal of Physiology, 534(Pt 1), 287-295. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.00287.x

Dollery, S., & Dalgleish, J. (2001). Health and Fitness Handbook. Edinburgh, Scotland: Pearson Higher Education.

Duffield, R., King, M., & Skein, M. (2009). Recovery of voluntary and evoked muscle performance following intermittent-sprint exercise in the heat. International Journal of Sports Physiology and Performance, 4(2), 254-268. doi:10.1123/ijspp.4.2.254

Edge, J., Bishop, D., Goodman, C., & Dawson, B. (2005). Effects of high- and moderate-intensity training on metabolism and repeated sprints. Medicine & Science in Sports & Exercise, 37(11), 1975-1982. doi:10.1249/01.mss.0000175855.35403.4c

Essig, D. A. (1996). Contractile activity-induced mitochondrial biogenesis in skeletal muscle. Exercise and Sport Sciences Reviews, 24, 289-319.

Faiss, R., Léger, B., Vesin, J. M., Fournier, P. E., Eggel, Y., Dériaz, O., & Millet, G. P. (2013). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. PLoS One, 8(2), e56522. doi:10.1371/journal.pone.0056522

Faiss, R., Willis, S., Born, D. P., Sperlich, B., Vesin, J. M., Holmberg, H. C., & Millet, G. P. (2015). Repeated double-poling sprint training in hypoxia by competitive cross-country skiers. Med Sci Sports Exerc, 47(4), 809-817. doi:10.1249/mss.0000000000000464

Fornasier-Santos, C., Millet, G. P., & Woorons, X. (2018). Repeated-sprint training in hypoxia induced by voluntary hypoventilation improves running repeated-sprint ability in rugby players. European journal of applied physiology, 18(4), 504-512. doi:10.1080/17461391.2018.1431312

Frisancho, A. R., Velásquez, T., & Sanchez, J. (1973). Influence of developmental

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

adaptation on lung function at high altitude. Human Biology, 45(4), 583-594.

Galvin, H. M., Cooke, K., Sumners, D. P., Mileva, K. N., & Bowtell, J. L. (2013). Repeated sprint training in normobaric hypoxia. British Journal of Sports Medicine, 47(Suppl 1), i74-i79. doi:10.1136/bjsports-2013-092826

Gambetta, V. (2007). Athletic Development: The Art & Science of Functional Sports Conditioning: Human Kinetics.

Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. J. (2011). Repeated-Sprint Ability Part I: Factors Contributing to Fatigue. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 41, 673-694. doi:10.2165/11590550-000000000-00000

Glaister, M. (2005). Multiple sprint work : physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. Sports Medicine, 35(9), 757-777. doi:10.2165/00007256-200535090-00003

Green, D. J., Hopman, M. T., Padilla, J., Laughlin, M. H., & Thijssen, D. H. (2017). Vascular Adaptation to Exercise in Humans: Role of Hemodynamic Stimuli. Physiological Reviews, 97(2), 495-528. doi:10.1152/physrev.00014.2016

Hamlin, M. J., Marshall, H. C., Hellemans, J., Ainslie, P. N., & Anglem, N. (2010). Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 20(4), 651-661. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00946.x

Hazell, T., MacPherson, R., Gravelle, B., & Lemon, P. (2010). 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. European journal of applied physiology, 110, 153-160. doi:10.1007/s00421-010-1474-y

Hetlelid, K., Herold, E., & Seiler, S. (2009). Comparison Of Metabolic Responses To High Intensity Interval Training In Trained And Well-trained Males (Vol. 41).

Hickin, S., Renshaw, J., Chapman, R., Horton-Szar, D., & Usmani, O. (2013). Crash Course Respiratory System - E-Book: Elsevier Health Sciences UK.

Higham, D. G., Pyne, D. B., Anson, J. M., & Eddy, A. (2012). Movement patterns in rugby sevens: effects of tournament level, fatigue and substitute players. Journal of Science and Medicine in Sport, 15(3), 277-282. doi:10.1016/j.jsams.2011.11.256

Hoffman, J. R. (2002). Physiological aspects of sport training and performance.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Champaign: Human Kinetics.

Hyttel-Sorensen, S., Sorensen, L. C., Riera, J., & Greisen, G. (2011). Tissue oximetry: a comparison of mean values of regional tissue saturation, reproducibility and dynamic range of four NIRS-instruments on the human forearm. Biomedical optics express, 2(11), 3047-3057. doi:10.1364/BOE.2.003047

Idriss, N. (2013). Plasma Levels of Soluble Receptors of Advanced Glycation End Products, Angiogenin, and Hypoxia Inducible Factor-1 Alpha in Acute Coronary Syndrome.

Jacobs, R. A., Flück, D., Bonne, T. C., Bürgi, S., Christensen, P. M., Toigo, M., & Lundby, C. (2013). Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. Journal of applied physiology, 115(6), 785-793. doi:10.1152/japplphysiol.00445.2013

Johnston, R. D., & Gabbett, T. J. (2011). Repeated-sprint and effort ability in rugby league players. Journal of Strength and Conditioning Research, 25(10), 2789-2795. doi:10.1519/JSC.0b013e31820f5023

Jones, B., Hamilton, D. K., & Cooper, C. E. (2015). Muscle oxygen changes following Sprint Interval Cycling training in elite field hockey players. PLoS One, 10(3), e0120338. doi:10.1371/journal.pone.0120338

Karpovich, P. V. (1971). Physiology of Muscular Activity: Saunders.

Kasai, N., Mizuno, S., Ishimoto, S., Sakamoto, E., Maruta, M., & Goto, K. (2015). Effect of training in hypoxia on repeated sprint performance in female athletes. SpringerPlus, 4, 310-310. doi:10.1186/s40064-015-1041-4

Katayama, K., Sato, K., Matsuo, H., Ishida, K., Iwasaki, K., & Miyamura, M. (2004). Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. European journal of applied physiology, 92(1-2), 75-83. doi:10.1007/s00421-004-1054-0

Kell, R. T., Farag, M., & Bhambhani, Y. (2004). Reliability of erector spinae oxygenation and blood volume responses using near-infrared spectroscopy in healthy males. European journal of applied physiology, 91(5-6), 499-507. doi:10.1007/s00421-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

003-1014-0

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012). Physiology of sport and exercise 5th Ed. Champaign, United States: Human Kinetics.

King, J., Broeder, C., Browder, K., & Panton, L. (2002). A Comparison of Interval Vs. Steady-State Exercise on Substrate Utilization in Overweight Women. Medicine & Science in Sports & Exercise, 34, S130. doi:10.1097/00005768-200205001-00726

Kon, M., Ikeda, T., Homma, T., Akimoto, T., Suzuki, Y., & Kawahara, T. (2010). Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise, 42(7), 1279-1285. doi:10.1249/MSS.0b013e3181ce61a5

Kon, M., Ohiwa, N., Honda, A., Matsubayashi, T., Ikeda, T., Akimoto, T., . . . Russell, A. P. (2014). Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training

. Physiological Reports, 2(6). doi:10.14814/phy2.12033

Lee, B. J., Miller, A., James, R. S., & Thake, C. D. (2016). Cross Acclimation between Heat and Hypoxia: Heat Acclimation Improves Cellular Tolerance and Exercise Performance in Acute Normobaric Hypoxia. Frontiers in Physiology, 7, 78. doi:10.3389/fphys.2016.00078

Lemus-Varela, M. L., Flores-Soto, M. E., Cervantes-Munguía, R., Torres-Mendoza, B. M., Gudiño-Cabrera, G., Chaparro-Huerta, V., . . . Beas-Zárate, C. (2010). Expression of HIF-1 alpha, VEGF and EPO in peripheral blood from patients with two cardiac abnormalities associated with hypoxia. Clinical Biochemistry, 43(3), 234-239. doi:10.1016/j.clinbiochem.2009.09.022

MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. Journal of Physiology, 595(9), 2915-2930. doi:10.1113/jp273196

Macpherson, R. E., Hazell, T. J., Olver, T. D., Paterson, D. H., & Lemon, P. W. (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. Medicine & Science in Sports & Exercise, 43(1), 115-122. doi:10.1249/MSS.0b013e3181e5eacd

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Martin, D. S., Levett, D. Z., Mythen, M., & Grocott, M. P. (2009). Changes in skeletal muscle oxygenation during exercise measured by near-infrared spectroscopy on ascent to altitude. Critical Care, 13 Suppl 5(Suppl 5), S7. doi:10.1186/cc8005

Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude : an update. Sports Medicine, 38(1), 1-8. doi:10.2165/00007256-200838010-00001

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2007). Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance: Lippincott Williams & Wilkins.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance: Lippincott Williams & Wilkins.

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. Journal of biomedical optics, 23(1), 1-14. doi:10.1117/1.Jbo.23.1.015007

Medbø, J. I., & Burgers, S. (1990). Effect of training on the anaerobic capacity. Medicine & Science in Sports & Exercise, 22(4), 501-507.

Millet, G., Bentley, D. J., Roels, B., Mc Naughton, L. R., Mercier, J., & Cameron-Smith, D. (2014). Effects of intermittent training on anaerobic performance and MCT transporters in athletes. PLoS One, 9(5), e95092. doi:10.1371/journal.pone.0095092

Morton, J. P., & Cable, N. T. (2005). Effects of intermittent hypoxic training on aerobic and anaerobic performance. Ergonomics, 48(11-14), 1535-1546. doi:10.1080/00140130500100959

Mounier, R., Pialoux, V., Schmitt, L., Richalet, J. P., Robach, P., Coudert, J., . . . Fellmann, N. (2009). Effects of acute hypoxia tests on blood markers in high-level endurance athletes. European journal of applied physiology, 106(5), 713-720. doi:10.1007/s00421-009-1072-z

Murias, J. M., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. (2010). Time course and mechanisms of adaptations in cardiorespiratory fitness with endurance training in older and young men. Journal of applied physiology, 108(3), 621-627. doi:10.1152/japplphysiol.01152.2009

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Nielsen, J. J., Mohr, M., Klarskov, C., Kristensen, M., Krustrup, P., Juel, C., & Bangsbo, J. (2004). Effects of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. Journal of Physiology, 554(Pt 3), 857-870. doi:10.1113/jphysiol.2003.050658

Ohno, H., Shirato, K., Sakurai, T., Ogasawara, J., Sumitani, Y., Sato, S., . . . Kizaki, T. (2012). Effect of exercise on HIF-1 and VEGF signaling. Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 1(1), 5-16. doi:10.7600/jpfsm.1.5

Okushima, D., Poole, D. C., Barstow, T. J., Rossiter, H. B., Kondo, N., Bowen, T. S., . . . Koga, S. (2016). Greater $\dot{V}O_2$peak is correlated with greater skeletal muscle deoxygenation amplitude and hemoglobin concentration within individual muscles during ramp-incremental cycle exercise. Physiological Reports, 4(23), e13065. doi:10.14814/phy2.13065

Oltmanns, K. M., Gehring, H., Rudolf, S., Schultes, B., Hackenberg, C., Schweiger, U., . . . Peters, A. (2006). Acute hypoxia decreases plasma VEGF concentration in healthy humans. The American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism, 290(3), E434-439. doi:10.1152/ajpendo.00508.2004

Park, H. Y., Hwang, H., Park, J., Lee, S., & Lim, K. (2016). The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes - a meta-analysis. Journal of Exercise Nutrition and Biochemistry, 20(1), 15-22. doi:10.20463/jenb.2016.03.20.1.3

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. Appl Physiol Nutr Metab, 33(6), 1112-1123. doi:10.1139/h08-097

Pialoux, V., Brugniaux, J. V., Fellmann, N., Richalet, J. P., Robach, P., Schmitt, L., . . . Mounier, R. (2009). Oxidative stress and HIF-1 alpha modulate hypoxic ventilatory responses after hypoxic training on athletes. Respiratory Physiology & Neurobiology, 167(2), 217-220. doi:10.1016/j.resp.2009.04.012

Ponsot, E., Dufour, S. P., Zoll, J., Doutrelau, S., N'Guessan, B., Geny, B., . . . Richard, R. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. Journal of applied

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

physiology, 100(4), 1249-1257. doi:10.1152/japplphysiol.00361.2005

Prieur, F., & Mucci, P. (2013). Effect of high-intensity interval training on the profile of muscle deoxygenation heterogeneity during incremental exercise. European journal of applied physiology, 113(1), 249-257. doi:10.1007/s00421-012-2430-9

Puype, J., Van Proeyen, K., Raymackers, J. M., Deldicque, L., & Hespel, P. (2013). Sprint interval training in hypoxia stimulates glycolytic enzyme activity. Medicine & Science in Sports & Exercise, 45(11), 2166-2174. doi:10.1249/MSS.0b013e31829734ae

Ramos-Campo, D. J., Martínez-Guardado, I., Olcina, G., Marín-Pagán, C., Martínez-Noguera, F. J., Carlos-Vivas, J., . . . Rubio, J. (2018). Effect of high-intensity resistance circuit-based training in hypoxia on aerobic performance and repeat sprint ability. Scand J Med Sci Sports, 28(10), 2135-2143. doi:10.1111/sms.13223

Reilly, T., Secher, N., Snell, P., Williams, C., & Williams, D. C. (1991). Physiology of Sports (1st Edition ed.). London: Routledge.

Robergs, R. A., & Roberts, S. O. (1997). Exercise Physiology: Exercise, Performance, and Clinical Applications: William C Brown Pub.

Rodríguez, F. A., Ventura, J. L., Casas, M., Casas, H., Pagés, T., Rama, R., . . . Viscor, G. (2000). Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. European journal of applied physiology, 82(3), 170-177. doi:10.1007/s004210050669

Ross, A., Gill, N., & Cronin, J. (2014). Match analysis and player characteristics in rugby sevens. Sports Medicine, 44(3), 357-367. doi:10.1007/s40279-013-0123-0

Rowley, N., Dawson, E., Birk, G., Cable, N., George, K., Whyte, G., . . . Green, D. (2011). Exercise and arterial adaptation in humans: Uncoupling localized and systemic effects. Journal of applied physiology, 110, 1190-1195. doi:10.1152/japplphysiol.01371.2010

Semenza, G. L. (2003). Targeting HIF-1 for cancer therapy. Nature Reviews Cancer, 3(10), 721-732. doi:10.1038/nrc1187

Sharma, H. B., & Kailashiya, J. (2016). Gender Difference in Aerobic Capacity and the Contribution by Body Composition and Haemoglobin Concentration: A Study in

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Young Indian National Hockey Players. Journal of clinical and diagnostic research : JCDR, 10(11), CC09-CC13. doi:10.7860/JCDR/2016/20873.8831

Shephard, R. J., & Astrand, P. O. (1992). Endurance in Sport: Wiley.

Shibuya, K.-i., & Tanaka, J. (2003). Skeletal Muscle Oxygenation During Incremental Exercise. Archives of Physiology and Biochemistry, 111(5), 475-478. doi:10.3109/13813450312331342355

Siahkouhian, M., Khodadadi, D., & Shahmoradi, K. (2013). Effects of high-intensity interval training on aerobic and anaerobic indices: Comparison of physically active and inactive men. Science & Sports, 28, e119–e125. doi:10.1016/j.scispo.2012.11.006

Sinex, J. A., & Chapman, R. F. (2015). Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. Journal of Sport and Health Science, 4, 325-332.

Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., Goodman, C., & Duffield, R. (2006). Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery. Medicine & Science in Sports & Exercise, 38(8), 1492-1499. doi:10.1249/01.mss.0000228944.62776.a7

Strauss, R. H. (1984). Ergogenic Aids in Sports. Journal of the American Medical Association, 252(4), 555-555. doi:10.1001/jama.1984.03350040077033

Suarez-Arrones, L. J., Nuñez, F. J., Portillo, J., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Running demands and heart rate responses in men Rugby Sevens. Journal of Strength and Conditioning Research, 26(11), 3155-3159. doi:10.1519/JSC.0b013e318243fff7

Subudhi, A. W., Dimmen, A. C., & Roach, R. C. (2007). Effects of acute hypoxia on cerebral and muscle oxygenation during incremental exercise. Journal of applied physiology, 103(1), 177-183. doi:10.1152/japplphysiol.01460.2006

Tseung, J. (2005). Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease: 7th Edition. Pathology - Journal of the RCPA, 37(2), 190. doi:10.1080/00313020500059191

Vogt, M., Puntschart, A., Geiser, J., Zuleger, C., Billeter, R., & Hoppeler, H. (2001). Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. Journal of applied physiology, 91(1), 173-182. doi:10.1152/jappl.2001.91.1.173

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wasserman, K., Stringer, W. W., Casaburi, R., Koike, A., & Cooper, C. B. (1994). Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. Zeitschrift fur Kardiologie, 83 Suppl 3, 1-12.

West, J. B. (1996). Prediction of barometric pressures at high altitude with the use of model atmospheres. Journal of applied physiology, 81(4), 1850-1854. doi:10.1152/jappl.1996.81.4.1850

Whyte, G. (2006). Preface. In G. Whyte, N. Spurway, D. MacLaren, & J. Cracknell (Eds.), The Physiology of Training (pp. xiii-xiv). Edinburgh: Churchill Livingstone.

Wilber, R. L., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (2007). Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance. Medicine & Science in Sports & Exercise, 39(9), 1590-1599. doi:10.1249/mss.0b013e3180de49bd

Zacharogiannis, E., Tziortzis, S., & Paradisis, G. (2003). EFFECTS OF CONTINUOUS, INTERVAL AND SPEED TRAINING ON ANAEROBIC CAPACITY. Medicine and Science in Sports and Exercise - MED SCI SPORT EXERCISE, 35. doi:10.1097/00005768-200305001-02066

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วดี พราหมณ์กระโทก
วัน เดือน ปี เกิด	28 ตุลาคม 2530
สถานที่เกิด	นครราชสีมา
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)
ที่อยู่ปัจจุบัน	888/169 คอนโดยูดิไลน์รัชวิภา ถ.วิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
รางวัลที่ได้รับ	The Best Poster Presentation, "Effects of Repeated Sprint Training in Normobaric Hypoxia on Aerobic Capacity and Tolerance to Fatigue in Rugby Sevens Players" 9th Institute of Physical Education International Conference "Creative Innovations in Sports for Sustainable Development" May 19-21, 2019 The Emerald Hotel, Bangkok, Thailand

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University