ผลของการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพักฟื้นหลังออกกำลังกายในอุณหภูมิร้อนและเย็นของหญิงอ้วน

น.ส.ปริมล แก้วผลึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The effect of moderate-intensity exercise training on fat oxidation during exercise recovery in hot and cold environments of obese women

Miss Parimon Kaewpaluk

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Sports Medicine
Common Course
FACULTY OF MEDICINE
Chulalongkorn University
Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพักฟื้นหลังออกกำลังกายในอุณหภูมิร้อนและเย็นของหญิงอ้วน
โดย	น.ส.ปริมล แก้วผลึก
สาขาวิชา	เวชศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. แพทย์หญิงอรอนงค์ กุละพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ นายแพทย์สมพล สงวนรังศิริกุล

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีคณะแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์สุทธิพงศ์ วัชรสินธุ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. แพทย์หญิงอรอนงค์ กุละพัฒน์)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์สมพล สงวนรังศิริกุล)

---------- กรรมการ
(ศาสตราจารย์ แพทย์หญิงจุไรพร สมบุญวงค์)

---------- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บวรลักษณ์ ทองทวี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปริมล แก้วผลึก : ผลของการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพักฟื้นหลังออกกำลังกายในอุณหภูมิร้อนและเย็นของหญิงอ้วน. (The effect of moderate-intensity exercise training on fat oxidation during exercise recovery in hot and cold environments of obese women) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.ดร. พญ.อรอนงค์ กุละพัฒน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล

การออกกำลังกายเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดไขมันและน้ำหนักสำหรับคนอ้วน การเพิ่มการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นภายหลังเสร็จสิ้นการออกกำลังกายเป็นประเด็นที่น่าสนใจ และมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิแวดล้อมที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายเพียงหนึ่งครั้งในหญิงอ้วน แต่ยังไม่มีการศึกษาในหญิงอ้วนที่มีการฝึกออกกำลังกาย งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในเพศหญิงที่มีภาวะอ้วนจำนวน 16 คน อายุ 18-50 ปี มีดัชนีมวลกาย 27.5-40 กิโลกรัมต่อเมตร^2 มีประจำเดือนปกติ โดยทำการศึกษาในช่วง follicular phase ของประจำเดือนเท่านั้น ผู้เข้าร่วมวิจัยควบคุมอาหารเป็นเวลา 1 เดือน และเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายบนลู่วิ่งสายพานที่ความหนักระดับปานกลาง (50-60% heart rate reserve (HRR) ระยะเวลา 30-60 นาที) เป็นเวลา 1 เดือน จากนั้นทำการทดสอบการออกกำลังกาย 2 ครั้ง ที่ความหนัก 60%HRR เวลา 60 นาที และพักฟื้นนาน 60 นาที ในอุณหภูมิร้อน (HT; 31-32°C) ครั้งหนึ่ง และเย็น (CT; 22-23°C) อีกครั้งหนึ่ง ตามลำดับที่สุ่มไว้ มีการประเมินการออกซิเดชันของซับสเตรท และการใช้พลังงานรวมตลอดการทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าขณะพักฟื้นในที่เย็นมีการออกซิเดชันของไขมันสูงกว่าในที่ร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (CT; 56.0 ± 24.6 mg.kg^{-1}.h^{-1} vs. HT; 39.7 ± 27.5 mg.kg^{-1}.h^{-1}, $p < 0.001$) และขณะพักฟื้นในที่ร้อนมีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทมากกว่าในที่เย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT; 104.0 ± 46.9 mg.kg^{-1}.h^{-1} vs. CT; 64.6 ± 40.5 mg.kg^{-1}.h^{-1}, $p < 0.001$) ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของการใช้พลังงานรวมขณะพักฟื้นในทั้งสองอุณหภูมิ (HT; 70.5 ± 19.6 kcal.h^{-1} vs. CT; 71.3 ± 13.7 kcal.h^{-1}, $p = 0.846$) สรุปว่าปริมาณการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในอุณหภูมิเย็นมากกว่าในอุณหภูมิร้อน ดังนั้นการพักฟื้นในอุณหภูมิเย็นภายหลังการฝึกออกกำลังกายในระดับปานกลาง จึงควรเป็นทางเลือกที่ดีในการลดไขมันและน้ำหนักสำหรับคนอ้วน

สาขาวิชา เวชศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5974075530 : MAJOR SPORTS MEDICINE

KEYWORD: Recovery fat oxidation, Indirect calorimetry, Obesity, Moderate-intensity exercise training, Environmental temperature

Parimon Kaewpaluk : The effect of moderate-intensity exercise training on fat oxidation during exercise recovery in hot and cold environments of obese women. Advisor: Assoc. Prof. ONANONG KULAPUTANA, M.D., Ph.D. Co-advisor: Assoc. Prof. SOMPOL SAGUANRUNGSIRIKUL, M.D.

Exercise is an effective weight loss method in obese people. An increase in fat oxidation during recovery after the exercise session is interesting to study. A previous research study reported that environmental temperature affected fat oxidation during recovery after single bout of exercise in obese women. However, there was no research study investigating the recovery fat oxidation in obese women who participated in the exercise training program. Sixteen obese women (age; 18-50 y, BMI 27.5-40 kg/m^2) with regular menstruation participated in this study. All subjects stabilized their diet for one month and then underwent a one-month moderate-intensity exercise program on a treadmill. After that, the subjects underwent 2 identical exercise tests and recovered in 2 different environments for 60 minutes each; in hot (31-32°C; HT) and cool (22-23°C; CT) temperatures on separate occasions. Each exercise test was performed on a treadmill at 60%HRR for 60 minutes. All tests were conducted during the follicular phase of the menstrual cycle. The results showed that recovery fat oxidation in cool temperature was significantly greater than in hot temperature (CT; 56.0 ± 24.6 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$ vs. HT; 39.7 ± 27.5 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$, $p < 0.001$). The recovery carbohydrate oxidation in hot temperature was significantly greater than in cool temperature (HT; 104.0 ± 46.9 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$ vs. CT; 64.6 ± 40.5 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$, $p < 0.001$). There were no statistically significant differences between total energy expenditure in hot and cool temperatures (HT; 70.5 ± 19.6 $kcal.h^{-1}$ vs. CT; 71.3 ± 13.7 $kcal.h^{-1}$, $p = 0.846$). It is summarized that the recovery fat oxidation of trained obese women was greater in the cool temperature. Thus, obese people should be encouraged to recover in cool temperature after the moderate-intensity exercise training as it is likely the better choice to spend more energy on fat oxidation after exercise completion.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ (Clinical trials registration No. TCTR20191121003) สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.พญ.อรอนงค์ กุละพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่สละเวลาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือตลอดจนดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาอุปสรรคที่พบในงานวิจัยและปรับปรุงข้อบกพร่องในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ รศ.นพ.พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศ.พญ.จุไรพร สมบุญวงค์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.บวรลักษณ์ ทองทวี กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำปรึกษา แก้ไขปรับปรุงและให้ข้อคิดต่างๆ ที่มีประโยชน์มากระหว่างดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณทีมเจ้าหน้าที่เวชศาสตร์ชันสูตร โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ที่ช่วยเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อคัดกรองอาสาสมัคร ขอขอบคุณ คุณปรีดาภรณ์ รัตนเศียร และคุณวัลภา ส่วนแสวง นักโภชนาการ 5 ฝ่ายโภชนวิทยาและโภชนบำบัด โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย ที่ช่วยอบรมและให้ความรู้เกี่ยวกับโภชนาการเพื่อสุขภาพตลอดจนวิเคราะห์อาหารให้แก่อาสาสมัคร ขอขอบคุณ ดร.ญดา จองพิศาลและคุณวสันต์ ปัญญาแสง ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในการเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณนุชนาถ พรชัย เจ้าหน้าที่ธุรการหลักสูตรเวชศาสตร์การกีฬา ที่ช่วยดำเนินการเรื่องเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณทุนรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (RA62/028) และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (GCUGR1225623010M) ในการอุดหนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณอาสาสมัครทุกท่านที่เสียสละเวลาและแรงกายมาเข้าร่วมงานวิจัย ซึ่งงานวิจัยจะไม่สามารถสำเร็จได้หากขาดบุคคลเหล่านี้ ขอขอบคุณเพื่อน พี่และน้อง หลักสูตรเวชศาสตร์การกีฬา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือสำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดีตั้งแต่แรกจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ทั้งทางด้านวิชาการและการดำเนินชีวิต บิดามาดาและญาติพี่น้อง ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา ซึ่งผู้วิจัยรู้ซึ้งในความกรุณาของทุกท่าน จึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ปริมล แก้วผลึก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

สารบัญภาพ (ต่อ) ..... ฏ

สารบัญคำย่อ ..... ฐ

สารบัญคำย่อ (ต่อ) ..... ฑ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Background and Rationale) 1

1.2 คำถามงานวิจัย (Research question) 5

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย (Objective) 5

1.4 กรอบแนวความคิด (Conceptual framework) 6

1.5 สมมติฐานงานวิจัย (Research hypothesis) 7

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) 7

1.7 คำสำคัญ (Keywords) 7

1.8 คำนิยามเชิงปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัย (Operational definitions) 7

1.9 ข้อพิจารณาทางจริยธรรม (Ethical consideration) 8

1.10 ข้อจำกัดในการวิจัย (Limitation) 9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.11 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected benefit and application).....10
1.12 อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัยและมาตรการในการจัดการ 10
บทที่ 2.....12
การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....12
2.1 ภาวะอ้วนของประชากรทั่วโลกและในประเทศไทย 12
2.2 การออกซิเดชันของไขมันในขณะออกกำลังกาย 14
2.3 การออกซิเดชันของไขมันในขณะพักภายหลังจากการออกกำลังกาย (Recovery).....18
2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมัน 19
2.5 การวัดการออกซิเดชันของไขมัน 26
บทที่ 3.....28
ระเบียบวิธีการวิจัย 28
3.1 รูปแบบการวิจัย (Research design).....28
3.2 ตัวแปรต้น (Independent variable).....28
3.3 ตัวแปรตาม (Dependent variable).....28
3.4 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 28
3.5 เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria) 29
3.6 เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria).....29
3.7 กลุ่มตัวอย่าง (Sample size).....30
3.8 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....31
3.9 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....32
3.10 กระบวนการในการทดสอบและการวัดตัวแปร 37
3.11 เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย.....44
3.12 ผลลัพธ์ (Outcome).....44
3.13 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.14 สถานที่ทำการวิจัย 45
3.15 การรวบรวมข้อมูล (Data collection) 45
3.16 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) 47
บทที่ 4 48
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 48
คุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง 48
การควบคุมอาหาร (Diet stabilization) ช่วงก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายและระหว่างการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย 49
อุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายและขณะพักฟื้น และ อุณหภูมิร่างกายขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็น ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย 52
ผลของ Exercise training ต่อ substrate oxidation และ energy expenditure ในระหว่าง post-exercise recovery ในที่ร้อนและในที่เย็น 53
การเปรียบเทียบ Thermal sensation ขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย 55
การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำดื่มและปริมาณการดื่มน้ำ 56
การเปรียบเทียบ Resting substrate oxidation, resting energy expenditure, respiratory exchange ratio, resting heart rate และ body composition ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย 57
การเปรียบเทียบ Substrate oxidation และ energy expenditure ในขณะพักและขณะพักฟื้นก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย 59
การเปรียบเทียบ Substrate oxidation และ energy expenditure ในขณะออกกำลังกาย ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย 61
การเปรียบเทียบ Rate perceived of exertion หรือ RPE ขณะทดสอบออกกำลังกาย ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย 62
บทที่ 5 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 64
อภิปรายผลการวิจัย 65
สรุปผลการวิจัย 73
ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ.....73
Further research 74
บรรณานุกรม 75
ภาคผนวก 89
ประวัติผู้เขียน 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การจำแนกภาวะอ้วนโดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI).....12

ตารางที่ 2.2 คำแนะนำการออกกำลังกายตามหลักการของ American College of Sports Medicine ในผู้ที่มีน้ำหนักเกิน (Overweight) และอ้วน (Obese).....13

ตารางที่ 2.3 สรุปผลงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันในสภาวะต่างๆ.....25

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมงานวิจัย (N = 16).....49

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานและสัดส่วน macronutrients ที่บริโภคช่วงก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายและระหว่างการฝึกออกกำลังกาย.....50

ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ขณะทดสอบการออกกำลังกาย pre-training tests, post-training tests และขณะพักฟื้น.....52

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิร่างกายขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น.....53

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Recovery substrate oxidation และ Recovery energy expenditure หลังทดสอบการออกกำลังกาย ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16).....54

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Thermal sensation ขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16).....56

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำดื่มและปริมาณการดื่มน้ำ ขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16).....56

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Resting substrate oxidation, resting energy expenditure, respiratory exchange ratio, resting heart rate, body composition ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16).....58

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า Exercise substrate oxidation และ exercise energy expenditure ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16).....62

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า RPE ขณะทดสอบการออกกำลังกาย ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16).....63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 การสลายไตรกลีเซอไรด์ในเซลล์ไขมัน โดยผ่านกลไก cAMP.....15

ภาพที่ 2.2 โปรตีนขนส่งกรดไขมันอิสระเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อ (FAT/CD36, FABP-PM และ FATP) และการสลายไขมันไตรกลีเซอไรด์ภายในกล้ามเนื้อด้วยกระบวนการ hydrolysis.....16

ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนตัวของ long-chain acyl CoA ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไมโทคอนเดรีย.....16

ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของ fat oxidation rates กับ ความหนักของการออกกำลังกาย ($\%VO_2max$).....17

ภาพที่ 2.5 ระดับฮอร์โมน estrogen และ progesterone ในช่วง menstrual cycle.....23

ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ fat oxidation rates กับ ความหนักของการออกกำลังกาย ($\%VO_2max$) ระหว่าง moderately trained และ highly trained.....26

ภาพที่ 3.1 การทดสอบการออกกำลังกายและการนั่งพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกาย pre-training tests.....38

ภาพที่ 3.2 การทดสอบการออกกำลังกายและการนั่งพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกาย post-training tests.....39

ภาพที่ 3.3 การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากลมหายใจแบบพกพาขณะพัก.....40

ภาพที่ 3.4 การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากลมหายใจแบบพกพาขณะทดสอบการออกกำลังกาย.....41

ภาพที่ 3.5 การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากลมหายใจแบบพกพาขณะนั่งพักในอุณหภูมิร้อนและเย็นภายหลังการทดสอบการออกกำลังกาย.....41

ภาพที่ 4.1 แสดงค่าสัดส่วน carbohydrate, fat และ protein จาก total daily energy intake ในแต่ละวัน A) ช่วงก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย B) ช่วงระหว่างการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย.....51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.2 แสดงสัดส่วน substrate oxidation ขณะพักฟื้นในทั้งสองอุณหภูมิก่อนการเข้าโปรแกรมฝึกออกกำลังกาย A) อุณหภูมิร้อน (pre-training test) B) อุณหภูมิเย็น (pre-training test) และหลังการเข้าโปรแกรมฝึกออกกำลังกาย C) อุณหภูมิร้อน (post-training test) D) อุณหภูมิเย็น (post-training test).....55

ภาพที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบ substrate oxidation และ energy expenditure ขณะพักและขณะพักฟื้น A) Fat oxidation ช่วง pre-training test B) Carbohydrate oxidation ช่วง pre-training test C) Energy expenditure ช่วง pre-training D) Fat oxidation ช่วง post-training test E) Carbohydrate oxidation ช่วง post-training test F) Energy expenditure ช่วง post-training.....60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญคำย่อ

คำย่อ	คำเต็ม	ความหมาย
BIA	Bioelectrical Impedance Analysis	การวิเคราะห์องค์ประกอบร่างกายด้วยกระแสไฟฟ้า
BMI	Body Mass Index	ดัชนีมวลกาย
BP	Blood pressure	ความดันโลหิต
bpm	Beats per minute	ครั้งต่อนาที
°C	Degree Celsius	องศาเซลเซียส
dl	Deciliter	เดซิลิตร
EE	Energy expenditure	การใช้พลังงาน
Ex	Exercise	ออกกำลังกาย, การออกกำลังกาย
ExTr	Exercise training	การฝึกออกกำลังกาย
HR	Heart rate	อัตราการเต้นของหัวใจ
HR_{rest}	Resting heart rate	อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก
HRR	Heart rate reserve	อัตราการเต้นของหัวใจสำรอง
HR_{max}	Maximal heart rate	อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด
kcal	Kilocalories	กิโลแคลอรี่
mg	Milligram	มิลลิกรัม
mmHg	Millimeter of mercury	มิลลิเมตรปรอท
min	Minute	นาที
RMR	Resting metabolic rate	อัตราการใช้พลังงานในขณะพัก
RH	Relative humidity	ความชื้นสัมพัทธ์
RPE	Rating of Perceived Exertion	อัตราความรู้สึกเหนื่อย
T_{ax}	Skin temperature at axillary area	อุณหภูมิผิวหนังบริเวณรักแร้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญคำย่อ (ต่อ)

คำย่อ	คำเต็ม	ความหมาย
S_T	Thermal sensation	ความรู้สึกรับรู้อุณหภูมิร้อนเย็น
VO_2	Oxygen consumption	ปริมาณการใช้ออกซิเจนในร่างกาย
VCO_2	Carbon dioxide production	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายสร้างขึ้น
VO_2max	Maximum oxygen consumption	อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด
VO_2R	Oxygen consumption reserve	อัตราการใช้ออกซิเจนสำรอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Background and Rationale)

โดยคำนิยามมาตรฐานผู้ที่มีภาวะอ้วนคือผู้ที่มีค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index: BMI) มากกว่าหรือเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือในเอเชียมีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) มากกว่าหรือเท่ากับ 27.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ผู้ที่มีความอ้วนเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง[1] ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของระบบสาธารณสุขของประเทศไทยและองค์การอนามัยโลก ซึ่งมีอัตราการเสียชีวิตด้วยโรคดังกล่าวในประเทศไทย 393,000 คน จากประชากร 68,658,000 คน คิดเป็น 71% ในช่วงปี ค.ศ.2000-2017[2] และจากรายงานขององค์การอนามัยโลกพบว่ามีผู้เสียชีวิตทั่วโลกจากโรคดังกล่าวเนื่องมาจากมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนร่วมด้วยประมาณ 2.8 ล้านคนต่อปี[3] โดยพบเพศหญิงมีความชุกมากกว่าเพศชาย[4-7]

สาเหตุหลักของภาวะอ้วนนั้นมาจากความไม่สมดุลของพลังงานในร่างกาย การใช้วิถีชีวิตแบบไม่ค่อยขยับหรือออกกำลังกาย (sedentary lifestyle) และการรับประทานอาหารในปริมาณพลังงานที่มากเกินกว่าที่ร่างกายจำเป็นจะได้รับในแต่ละวัน (positive energy balance)[8, 9] ดังนั้นการลดไขมันหรือการลดความอ้วนโดยทั่วไปนั้นสามารถทำได้โดยการควบคุมอาหารร่วมกับการออกกำลังกาย ซึ่งได้ผลดีมาก และทำให้น้ำหนักที่ลดลงนั้นสามารถคงอยู่ได้อย่างยั่งยืนมากกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมอาหารแต่เพียงอย่างเดียว[10] ทั้งนี้ได้มีงานวิจัยสนับสนุนเกี่ยวกับการลดน้ำหนักโดยการควบคุมอาหารร่วมกับการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลาง โดยใช้ระยะเวลาในการเฝ้าติดตามเป็นเวลาประมาณ 5 ปี พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดน้ำหนักมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการออกซิเดชันของไขมัน (maximal fat oxidation) และปริมาณไขมันก็ลดลงตามน้ำหนักที่ลดลงเช่นกัน[11]

สำหรับรูปแบบการออกกำลังกายในการลดน้ำหนักเพื่อลดความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรังสำหรับคนอ้วน นั้น American College of Sports Medicine ได้แนะนำการสะสมระยะเวลาการออกกำลังกายประเภทแอโรบิกที่ระดับปานกลาง 40-59% oxygen consumption reserve (VO_2R) or heart rate reserve (HRR) หรือ 43–63% maximal oxygen consumption (VO_2max) ให้ได้

ประมาณ 150-300 นาทีต่อสัปดาห์ ใช้เวลา ≥5 วัน/สัปดาห์ โดยแต่ละวันสามารถใช้ระยะเวลาการออกกำลังกาย 30-60 นาที[12]

นอกจากจะมีการเพิ่มการใช้พลังงานในระหว่างที่มีการออกกำลังกายแล้ว ในช่วงเวลาหลังออกกำลังกายนั้นร่างกายยังมีการใช้พลังงาน (postexercise energy expenditure) เพิ่มขึ้นด้วย มีการวิจัยที่ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อ postexercise energy expenditure เช่น การศึกษาเกี่ยวกับผลของการออกกำลังกายในแง่ของ intensity และ duration ต่อ postexercise energy expenditure และ fat oxidation ในเพศหญิงสุขภาพดี พบว่า recovery ภายหลังการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลานานมีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่า recovery ภายหลังการออกกำลังกายในระยะเวลาสั้น[13] และการออกซิเดชันของไขมันในระหว่าง recovery ภายหลังการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลางเปรียบเทียบกับระดับหนัก พบว่า recovery ภายหลังการออกกำลังกายระดับหนักมีการออกซิเดชันของไขมันที่มากกว่า[14] และมีการศึกษาที่ได้ผลสอดคล้องกันในการศึกษาของชายที่มีภาวะน้ำหนักเกิน พบว่า recovery ภายหลังการออกกำลังกายระดับหนักมีการออกซิเดชันของไขมันที่มากกว่าระดับเบาเช่นกัน[15] อย่างไรก็ตามมีการศึกษาในชายอ้วนมาก พบว่าในขณะพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายที่ความหนักระดับเบาถึงปานกลางและที่ระดับหนัก ไม่มีความแตกต่างของการออกซิเดชันของไขมันอย่างมีนัยสำคัญ[16] ดังนั้นแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงออกซิเดชันของไขมันในช่วงพักฟื้นภายหลังจากการออกกำลังกาย (postexercise recovery fat oxidation) จะไม่ได้ผลสอดคล้องกันในบางการศึกษา แต่โดยภาพรวมจะมีค่ามากขึ้นภายหลังจากการออกกำลังกายในระดับหนักเมื่อเทียบกับการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลาง อย่างไรก็ตามการออกซิเดชันของไขมันรวมทั้งจากขณะออกกำลังกายและจากการพักฟื้นในการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลาง มีมากกว่าการออกซิเดชันรวมที่เกิดจากออกกำลังกายระดับหนัก[13, 14] และมีข้อมูลว่าการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลางจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในขณะออกกำลังกายที่นานมากขึ้น[13]

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันในร่างกายทั้งในขณะพัก และในขณะออกกำลังกาย มีการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งให้อาสาสมัครอ้วนนั่งพักในซาวน่า (60 °C) เป็นเวลา 30 นาที พบว่า การนั่งในซาวน่า มีการลดลงของ RQ บ่งว่า มีสัดส่วนการใช้พลังงานจากไขมันเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนเข้าซาวน่า[17] ในขณะที่การรับสัมผัสกับอุณหภูมิเย็น เช่น การศึกษาในชายและหญิงสุขภาพดีชาวแคนาดาและชายสุขภาพดีชาวอังกฤษ พบว่า การสัมผัสอุณหภูมิเย็นใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะเฉียบพลัน ที่อุณหภูมิ 7-18 ℃ มีการใช้พลังงานจากไขมันมากกว่าคาร์โบไฮเดรท โดยมีการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มเป็น 50-60% ของพลังงานทั้งหมด[18-20] ดังนั้นการพักในที่ร้อนมีรายงานผลเพิ่มอัตราการออกซิเดชันของไขมัน ในขณะที่การเผชิญกับความเย็น สามารถเพิ่มอัตราการออกซิเดชันของไขมันในขณะพักด้วยเช่นกัน และถึงแม้จะมีการออกกำลังกายจนเหนื่อยล้ามาแล้ว การออกซิเดชันของไขมันก็ยังมีการเพิ่มขึ้นได้ในขณะที่พักฟื้นในที่เย็นด้วย[20] ส่วนผลของอุณหภูมิต่อการออกซิเดชันของไขมันที่ประเมินในขณะออกกำลังกายนั้นมีรายงานว่า การออกซิเดชันของไขมันเพิ่มมากขึ้นในระหว่างการออกกำลังกายที่อุณหภูมิเย็น 0 ℃ ของอาสาสมัครชาวฟินแลนด์[21]

การรับสัมผัสกับความเย็นในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นเป็นเวลา 10 วัน – 6 สัปดาห์ (acclimation) ที่อุณหภูมิ 14-17 ℃ พบว่าสามารถลดมวลไขมันได้มากขึ้น ในเพศชายปกติ ชายอ้วน และในเพศหญิง[22-24] ทั้งนี้มีการศึกษาการนอนพัก (half-lying position) ในที่ร้อนของหญิงชาวโปแลนด์ที่มีสุขภาพดี ซึ่งให้นอนพัก (half-lying position) ในซาวน่า (80.1 ℃) ครั้งละ 30 นาที เมื่อผ่านไปเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าระดับ metabolism ขณะอยู่ในซาวน่ามีค่าเพิ่มขึ้น แต่การออกซิเดชันของไขมันยังคงเท่าเดิม[25] และมีการศึกษาในชายชาวสหรัฐอเมริกา ที่อาศัยในรัฐอินเดียน่าให้มีการออกกำลังกายระดับปานกลางที่อุณหภูมิ 39 ℃ เป็นเวลา 8 วัน (acclimation) เมื่อมีการทดสอบออกกำลังกายภายหลังสิ้นสุดโปรแกรม พบว่ามีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทลดลง โดยมีการเพิ่มขึ้นของการออกซิเดชันของไขมันเพียงเล็กน้อย[26] ดังนั้นการพักในที่ร้อนต่อเนื่องร่างกายดูเหมือนไม่ได้มีการปรับตัวอย่างชัดเจนในการเพิ่มการออกซิเดชันของไขมัน แต่การเผชิญกับความเย็นจนกระทั่งร่างกายเกิดการปรับตัว จะมีการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มได้อย่างชัดเจนมากกว่าการปรับตัวในที่ร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นอกจากระดับความหนัก ระยะเวลาในการออกกำลังกายต่อครั้ง และอุณหภูมิร้อนและเย็นที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันแล้ว (โดยเฉพาะอุณหภูมิเย็นที่มีผลต่อการออกซิเดชันของไขมันทั้งในขณะพัก การออกกำลังกาย การพักฟื้นตลอดจนการปรับตัว ในขณะที่อุณหภูมิร้อนจะมีผลไม่ชัดเจนเท่า) การฝึกออกกำลังกาย (exercise training) ยังส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันเช่นกัน โดยมีการศึกษาในคนอ้วนเพศชายและหญิงโดยให้ฝึกออกกำลังกายในระดับปานกลางที่ประมาณ 50% VO_2max เป็นระยะเวลา 2-12 สัปดาห์ พบว่าทำให้น้ำหนักและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายลดลง โดยมีอัตราการออกซิเดชันของไขมันในขณะออกกำลังกาย (exercise fat oxidation) เพิ่มขึ้น[27-31] ในขณะที่การใช้พลังงานรวมในขณะออกกำลังกาย (exercise energy expenditure ไม่

เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญภายหลังจากการฝึก[27] และมีการศึกษาการฝึกออกกำลังกายในระดับปานกลางเป็นเวลา 6-8 สัปดาห์ในชายที่มีภาวะน้ำหนักเกิน และในชายและหญิงที่มีภาวะอ้วน พบว่ามีการออกซิเดชันของไขมัน (resting fat oxidation)[32, 33] และการใช้พลังงานในขณะพัก (resting energy expenditure) เพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก[32] แสดงว่าการฝึกออกกำลังกายส่งผลต่อ exercise fat oxidation, resting fat oxidation และ resting energy expenditure

มีการศึกษาที่น่าสนใจเปรียบเทียบอุณหภูมิร้อนและเย็นในระยะพักฟื้นภายหลังจากการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางของหญิงอ้วนที่อาศัยอยู่ในประเทศไทยซึ่งมีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น พบว่ามีการออกซิเดชันของไขมันและการใช้พลังงานจากไขมันในการพักฟื้นที่เย็นอุณหภูมิ 24-25 °C, RH 75±5% มากกว่าที่ร้อนอุณหภูมิ 31-32 °C, RH 75±5% (acute effect)[34] ข้อมูลนี้มีประโยชน์ในแง่การเลือกอุณหภูมิสำหรับพักฟื้นภายหลังออกกำลังกายเพื่อเพิ่มการออกซิเดชันของไขมัน อย่างไรก็ตามการออกกำลังกายในคนอ้วนควรมีการฝึกอย่างต่อเนื่อง จึงควรมีการศึกษาการฝึกออกกำลังกาย (training effect) ว่าเมื่อร่างกายมีการปรับตัว จะส่งผลอย่างไรต่อการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในที่ร้อนเปรียบเทียบกับพักฟื้นในที่เย็น

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการควบคุมอาหารและการออกกำลังกายมีผลต่อการลดไขมันของคนอ้วน โดยเฉพาะการออกกำลังกายในระดับปานกลาง ซึ่งส่งผลให้มีการสลายไขมันอย่างต่อเนื่องไปจนถึงช่วง recovery นอกจากนี้ทั้งอุณหภูมิร้อนและเย็นก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันเช่นกัน การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิโดยส่วนใหญ่ จะทำการศึกษาในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น ซึ่งอาจมีผลของการปรับตัวต่อสภาพอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น มีความคุ้นชินกับสภาพอากาศเย็น บริเวณผิวหนังมี vasoconstriction เป็นเกราะป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกายโดยธรรมชาติ (insulative cold adaptation) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะในผู้ที่มีภูมิลำเนาอยู่ในประเทศหนาวเย็น ทำให้ระบายความร้อนได้ไม่ดีเมื่อเจอกับสภาพอากาศที่ร้อน[35] พลังงานจากคาร์โบไฮเดรทถูกใช้จนลดลงอย่างรวดเร็ว และมีการใช้พลังงานจากไขมันเพิ่มมากขึ้น[36, 37] จึงอาจเป็นเหตุให้เห็นผลการออกซิเดชันของไขมันขณะพักในที่ร้อนได้อย่างชัดเจนมากกว่าคนในประเทศแถบร้อนชื้น[17, 34] ทั้งนี้หากทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยอยู่ในประเทศแถบร้อนชื้น เช่น ประเทศไทย ซึ่งอาจมีการปรับตัวกับสภาพอากาศที่แตกต่างออกไป ผลที่ได้จากการศึกษาในอุณหภูมิร้อนและเย็นจะเป็นอย่างไร อีกทั้งการศึกษาโดยส่วนใหญ่มักทำการศึกษาในเพศชายที่มีสุขภาพดี ทั้งที่ความชุกของโรคอ้วนมีมากกว่าในผู้หญิง ข้อมูลจากการศึกษาในเพศหญิงที่มีภาวะอ้วน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลับมีจำกัด นอกจากนี้คนที่มีภาวะอ้วนนั้นยังอาจมีความแตกต่างจากคนปกติในกลไกการระบายความร้อน *จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาในหญิงอ้วนว่าผลของการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 1 เดือน ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันในช่วง recovery ที่อุณหภูมิร้อนและเย็นอย่างไร* เพื่อที่ผลจากการศึกษาดังกล่าวนี้จะเป็นข้อมูลทางเลือกหนึ่งในการเลือกอุณหภูมิสำหรับพักฟื้นหลังออกกำลังกายเพื่อเพิ่มอัตราการใช้พลังงานจากไขมัน สำหรับประชากรเพศหญิงที่มีภาวะอ้วนในประเทศไทย เพื่อเป็นประโยชน์ในการลดน้ำหนัก อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลแนะนำให้กับคนอ้วนที่อาศัยในประเทศอื่นที่มีสภาพภูมิอากาศใกล้เคียงกันกับประเทศไทย

1.2 คำถามงานวิจัย (Research question)

คำถามงานวิจัยหลัก

การฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางมีผลอย่างไร ต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพักฟื้นในที่อุณหภูมิร้อน เปรียบเทียบกับพักฟื้นในที่อุณหภูมิเย็นในหญิงอ้วน

คำถามงานวิจัยรอง

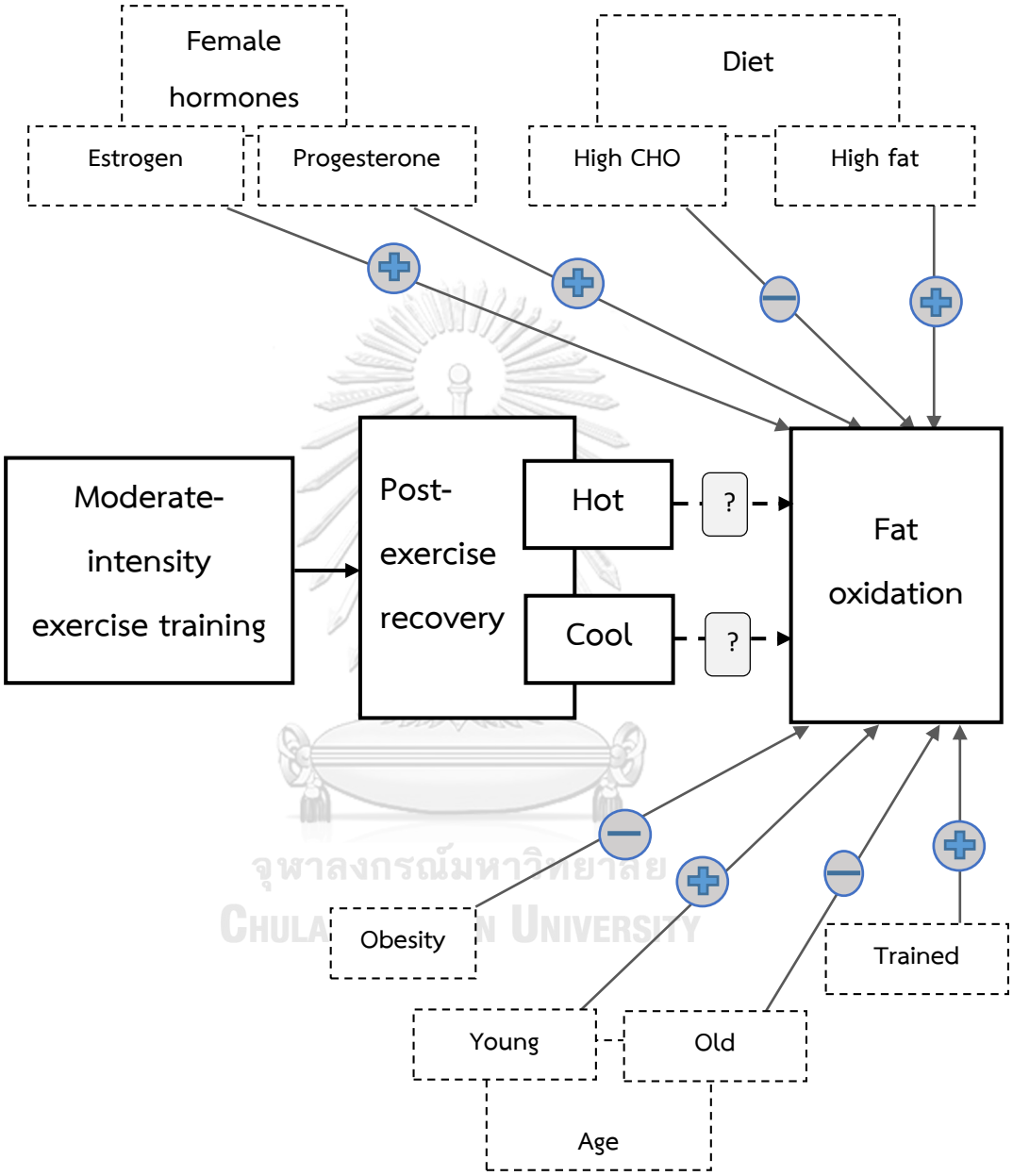
การฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางของหญิงอ้วน ส่งผลอย่างไรต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพัก (resting fat oxidation) และในขณะออกกำลังกาย (exercise fat oxidation)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย (Objective)

1. เพื่อศึกษาผลการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพักฟื้นในที่อุณหภูมิร้อนเปรียบเทียบกับการพักฟื้นในที่อุณหภูมิเย็นในหญิงอ้วน
2. เพื่อศึกษาผลการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพัก (resting fat oxidation) และในขณะออกกำลังกาย (exercise fat oxidation) ของหญิงอ้วน

1.4 กรอบแนวความคิด (Conceptual framework)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 สมมติฐานงานวิจัย (Research hypothesis)

สมมติฐานงานวิจัยหลัก

การฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางระยะเวลา 1 เดือนของหญิงอ้วนมีผลต่อการออกซิเดชันของไขมันในช่วงเวลาขณะพักฟื้น (recovery fat oxidation) ในที่อุณหภูมิเย็นและการพักฟื้นในที่อุณหภูมิร้อน

สมมติฐานงานวิจัยรอง

การฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางระยะเวลา 1 เดือนของหญิงอ้วนส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพัก (resting fat oxidation) และในขณะออกกำลังกาย (exercise fat oxidation) เมื่อเทียบกับก่อนการฝึกออกกำลังกาย

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption)

1. การวัด fat oxidation ด้วยวิธี indirect calorimetry สะท้อน fat oxidation ในร่างกายได้จริง
2. Exercise training protocol ส่งผลทัดเทียมกันในอาสาสมัครทุกคน
3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยเป็นเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงและความแม่นยำตามมาตรฐานการวิจัย

1.7 คำสำคัญ (Keywords)

Recovery Fat oxidation

Indirect calorimetry

Obesity

Moderate-intensity exercise training

Environmental temperature

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.8 คำนิยามเชิงปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัย (Operational definitions)

1. **การออกซิเดชันของไขมันในร่างกายขณะพักฟื้น (Recovery Fat oxidation)** หมายถึง การออกซิเดชันของไขมันทั่วทั้งร่างกายในขณะพักฟื้นระยะเวลา 60 นาที ภายหลังจากการออกกำลังกายระดับปานกลางในระยะเฉียบพลัน
2. **ภาวะอ้วน (Obesity)** หมายถึง ภาวะที่บุคคลที่มีค่าดัชนีมวลกาย (Body mass index-BMI) มากกว่าหรือเท่ากับ 27.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร[(1)]

3. **การฝึกออกกำลังกายในระดับปานกลาง (Moderate-intensity exercise training)** หมายถึง การออกกำลังกายบนลู่วิ่งสายพานที่ระดับความหนัก 50-60% HRR เป็นเวลา 30-60 นาที ในระยะเวลา 1 เดือน
4. **อุณหภูมิร้อน (Hot temperature)** หมายถึง อุณหภูมิเฉลี่ย 31-32 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 70± 5% ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยในเดือนมีนาคม-พฤษภาคม พ.ศ. 2561 (เทียบเคียงได้กับอุณหภูมิเฉลี่ยของภาคกลางในประเทศไทยในคาบ 30 ปี – มีนาคม-พฤษภาคม 2524-2553)[38]
5. **อุณหภูมิเย็น (Cool temperature)** หมายถึง อุณหภูมิ 22-23 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% อ้างอิงตามมาตรฐานสถานประกอบกิจการด้านการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข[39]

1.9 ข้อพิจารณาทางจริยธรรม (Ethical consideration)

หลักการเคารพในบุคคล (Respect for person)

1. อาสาสมัครทุกคนได้รับข้อมูลเกี่ยวกับคำชี้แจง และกระบวนการทำงานวิจัยอย่างถูกต้องและครบถ้วนก่อนลงนามยินยอมเข้าร่วมในการศึกษาวิจัย
2. อาสาสมัครทุกคนมีสิทธิในการตัดสินใจเข้าร่วมงานวิจัยอย่างอิสระและสามารถถอนตัวออกจากงานวิจัยได้ทุกกรณี
3. อาสาสมัครทุกคนมีสิทธิในการสอบถามและได้รับการอธิบายเกี่ยวกับงานวิจัยขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำวิจัย ตลอดจนความไม่สะดวกสบายและความเสี่ยงที่อาจจะได้รับจากงานวิจัยจนสามารถเข้าใจได้เป็นอย่างดี
4. ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยอาจถูกเปิดเผยต่อสาธารณะเพื่อประโยชน์ทางวิชาการ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลส่วนตัวของอาสาสมัครทุกคนถูกเก็บเป็นความลับทั้งในระหว่างการศึกษาและสิ้นสุดการศึกษาวิจัย โดยผู้วิจัยใช้รหัสประจำตัวในการเก็บบันทึกข้อมูลเท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลักผลประโยชน์ (Beneficence)

1. อาสาสมัครทุกคนได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สะดวกสบายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมในการศึกษาวิจัย

2. อาสาสมัครทุกคนได้รับการคัดกรองต่างๆ อย่างละเอียดและรัดกุม เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจจะเป็นผลจากการทดสอบและการฝึกออกกำลังกาย ในขณะเข้าร่วมการศึกษาวิจัย
3. อาสาสมัครทุกคนได้รับการกู้ชีพอย่างทันท่วงทีในกรณีที่มีภาวะการหยุดเต้นของหัวใจในระหว่างการออกกำลังกายด้วยเครื่อง Automated External Defibrillator (AED) ซึ่งตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการเวชศาสตร์การกีฬา (สถานที่ทำงานวิจัย) โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเวชศาสตร์การกีฬาและผู้วิจัยหลักซึ่งผ่านการฝึกอบรมการใช้เครื่องมือดังกล่าวจากศูนย์ฝึกการกู้ชีพและทักษะเสมือนจริง (Simulation & CPR Center) โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์
4. อาสาสมัครทุกคนได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ถูกต้องตามหลักวิชาการและได้ฝึกปฏิบัติในการรับประทานอาหารและการออกกำลังกายสำหรับการลดความอ้วนภายใต้การควบคุมอย่างใกล้ชิด ตลอดจนการปฐมพยาบาลและคำแนะนำในการดูแลตัวเองเบื้องต้นเมื่อมีภาวะความไม่สบายทางกายเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการออกกำลังกายตามโปรแกรมที่กำหนด ตลอดระยะเวลาที่เข้าร่วมในการศึกษาวิจัย

<u>หลักยุติธรรม (Justice)</u>

1. อาสาสมัครทุกคนได้รับความยุติธรรมในการคัดเลือกเข้าร่วมการศึกษาวิจัย ตามเกณฑ์การคัดเลือก ประชากรเข้าและออกจากศึกษาตามรายละเอียดที่แสดงไว้อย่างชัดเจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.10 ข้อจำกัดในการวิจัย (Limitation)

1. การศึกษานี้ คัดเลือกอาสาสมัครเพศหญิงอ้วนวัยเจริญพันธุ์ที่มีช่วงอายุ 18-50 ปี และผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจากที่กำหนดในงานวิจัย ดังนั้นผลการศึกษานี้อาจไม่สามารถอ้างอิงกลุ่มเพศหญิงที่มีอายุต่ำกว่า 18 ปี และอายุมากกว่า 50 ปีได้
2. การศึกษานี้ ทำการศึกษากับเพศหญิงจึงอาจไม่สามารถใช้อ้างอิงในกลุ่มเพศชายได้
3. อุณหภูมิร้อนที่ใช้ในงานวิจัยอาจมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ เพราะเป็นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พบได้ในประเทศไทยหรือกลุ่มประเทศที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงเท่านั้น

4. อุณหภูมิเย็นที่ใช้ในงานวิจัย ถูกควบคุมอย่างต่อเนื่องจากเครื่องปรับอากาศให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนดสำหรับสถานที่ออกกำลังกาย (20-25 °C) ซึ่งเป็นระเบียบควบคุมโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย[39] อาจมีความแตกต่างกันของข้อจำกัดนี้ในแต่ละประเทศ

1.11 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Expected benefit and application)

1. เพื่อทราบผลของการออกซิเดชันของไขมันหรือการใช้ไขมันเพื่อเป็นพลังงานต่อเนื่องขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ภายหลังจากการออกกำลังกายในระดับปานกลางที่อุณหภูมิเทียบเคียงกับสถานประกอบกิจการเพื่อสุขภาพ เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเพิ่มการใช้ไขมันในร่างกายหรือลดน้ำหนักของหญิงอ้วน โดยเฉพาะที่อาศัยอยู่ในประเทศแถบร้อนชื้น
2. เพื่อทราบการเปลี่ยนแปลงของการออกซิเดชันของไขมันขณะพัก และขณะออกกำลังกาย ที่เป็นผลมาจากการปรับตัวในการออกกำลังกายต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน 1 เดือน ในหญิงอ้วน
3. เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการศึกษาในอนาคต

1.12 อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัยและมาตรการในการจัดการ

1. ช่วงเวลาในการทำ pre-training tests และ post-training tests ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ fat oxidation ในเพศหญิง เรื่องของฮอร์โมนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่ได้ อาจมีความคลาดเคลื่อนและไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างแท้จริงหากทำการทดสอบในช่วง menstrual cycle phase ที่ต่างกัน ดังนั้นจึงได้จัดวันทดสอบ pre และ post-training tests ให้อยู่ในช่วงเดียวกันคือช่วง early follicular phase (วันที่ 1-7 ของรอบประจำเดือน)
2. อุณหภูมิร้อนและเย็นตลอดจนความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในงานวิจัย จะต้องมีการควบคุมเป็นอย่างดีให้ได้ตามอุณหภูมิที่กำหนดในการศึกษานี้
3. การจดบันทึกอาหารให้ถูกต้องและการเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยมิให้มีการรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรทและไขมันสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการออกซิเดชันของไขมัน ทั้งนี้มีการควบคุมเป็นอย่างดีโดยนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โภชนาการที่มาอบรมและทดสอบการจดบันทึกอาหารก่อนเริ่มปฏิบัติจริง พร้อมทั้งติดตามผลและทำการประเมินในแต่ละสัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาวะอ้วนของประชากรทั่วโลกและในประเทศไทย

ผู้ที่มีภาวะอ้วนหรือมีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) มากกว่าหรือเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือมีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) มากกว่าหรือเท่ากับ 27.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตรสำหรับประชากรในทวีปเอเชีย เป็นผู้ที่มีความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง[1] มีอัตราการเสียชีวิตในประเทศไทย 393,000 คน จากประชากร 68,658,000 คน คิดเป็น 71% ในปี ค.ศ.2000-2017[2] จากรายงานขององค์การอนามัยโลกพบว่ามีผู้เสียชีวิตทั่วโลกจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรังอันเนื่องมาจากมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนร่วมด้วยประมาณ 2.8 ล้านคนต่อปี[3] และจากการสำรวจประชากรทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยพบว่ามีอัตราเพิ่มขึ้นของภาวะอ้วนในระหว่างปี ค.ศ.1980-2013 มีความชุกในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย[4-7] สาเหตุหลักมาจากพฤติกรรมการรับประทานอาหาร ซึ่งมีการรับประทานอาหารจำพวกไขมัน (positive fat balance) และอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรทมากเกินไป ประกอบกับมีกิจกรรมทางกายน้อยลงหรือขาดการออกกำลังกาย[8, 9]

องค์การอนามัยโลกได้แบ่งเกณฑ์ความเสี่ยงโรคอ้วนโดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI) ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้สูตร น้ำหนักตัว (kg)/ส่วนสูง $(m)^2$ ดังตารางที่ 2.1

Weight Status	Body mass index (BMI), (kg/m^2)	Body mass index (BMI), Asian populations (kg/m^2)
Underweight	< 18.5	< 18.5
Normal range	18.5-24.9	18.5-22.9
Overweight	25.0-29.9	23.0-27.4
Obese	≥ 30	≥ 27.5
Obese class I	30.0-34.9	27.5-32.4
Obese class II	35.0-39.9	32.5-37.4
Obese class III	≥ 40	≥ 37.5

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การจำแนกภาวะอ้วนโดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI)[1]

นอกจากนี้ American College of Sports Medicine หรือ ACSM ในปี ค.ศ.2016 ได้มีการแนะนำการออกกำลังกายสำหรับผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน ในการลดน้ำหนักเพื่อลดความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ดังตารางที่ 2.2

	Aerobic
Frequency	≥ 5 days/week
Intensity	Initial intensity should be moderate (40-59% VO_2R or HRR); progress to vigorous (≥ 60% VO_2R or HRR) for greater health benefits.
Time	30 min/day (150 min/week); increase to 60 min/day or more (250-300 min/week)
Type	Prolonged, rhythmic activities using large muscle groups (e.g., walking, cycling, swimming)

ตารางที่ 2.2 คำแนะนำการออกกำลังกายตามหลักการของ American College of Sports Medicine ในผู้ที่มีน้ำหนักเกิน (overweight) และอ้วน (obese)[12]

โดยทั่วไปการลดไขมันหรือการลดความอ้วนนั้นสามารถทำควบคู่กันทั้งการควบคุมอาหารและการออกกำลังกาย ซึ่งสามารถทำให้ลดน้ำหนักได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมอาหารแต่เพียงอย่างเดียว เช่น ในการฝึก 10-52 สัปดาห์ ทำให้น้ำหนักยังคงมีการลดลงอย่างต่อเนื่องอีก 1 ปีภายหลังการฝึก[10] และมีงานวิจัยสนับสนุนเกี่ยวกับการลดน้ำหนักโดยการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลางและควบคุมอาหารร่วมด้วย โดยใช้ระยะเวลาในการเฝ้าติดตามเป็นเวลาประมาณ 5 ปี พบว่าเปอร์เซนต์การลดน้ำหนักมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการออกซิเดชันของไขมัน (maximal fat oxidation) และปริมาณไขมัน มวลไขมันก็ลดลงจากน้ำหนักที่ลดลงเช่นกัน[11] และเนื่องจากอาหารเป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญสำหรับการลดน้ำหนัก มีคำแนะนำในการควบคุมอาหารหรือการรับประทานอาหารในสัดส่วนที่เหมาะสมในแต่ละวันสำหรับวัยผู้ใหญ่ช่วงอายุ 19-60 ปี คือ คาร์โบไฮเดรท 45-65% ไขมัน 20-35% และโปรตีน 10-35%[40, 41]

2.2 การออกซิเดชันของไขมันในขณะออกกำลังกาย

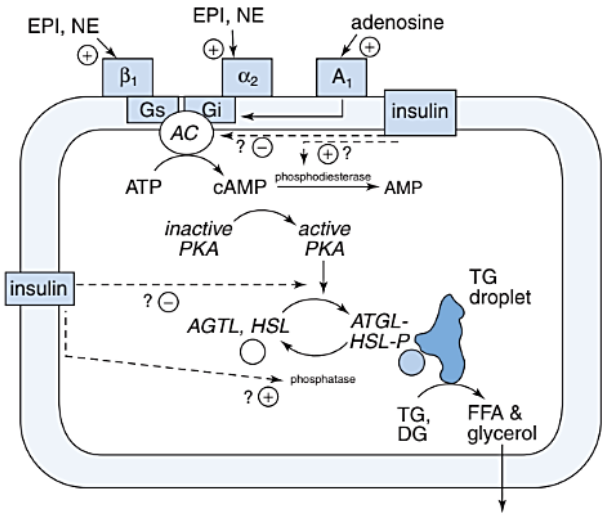
เนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) ประกอบด้วยเซลล์ไขมัน (fat cells) เส้นเลือดและสารประกอบโครงสร้าง (structural elements) เช่น คอลลาเจน เนื้อเยื่อไขมันเป็นแหล่งเก็บไขมันซึ่งอยู่ทั่วร่างกาย ตามบริเวณใต้ผิวหนัง (subcutaneous fat) และส่วนของอวัยวะภายใน (visceral fat) ร่างกายเก็บไขมันในเนื้อเยื่อไขมันไว้ได้มากกว่า 50 เท่าของสารให้พลังงานที่สะสมอยู่ในรูปไกลโคเจน ทั้งนี้ไขมันชนิด long-chain fatty acids เป็นแหล่งพลังงานหลัก ขณะออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลาง[42, 43] ซึ่งมีขั้นตอนการสลายไขมันเพื่อเป็นพลังงานในร่างกาย[43, 44] ดังต่อไปนี้

1. การสลายเนื้อเยื่อไขมัน (lipolysis) และการขนส่งกรดไขมันเข้าสู่กล้ามเนื้อ
2. การเคลื่อนตัวของกรดไขมันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ
3. การสลายไขมัน Triglyceride (TG) ภายในกล้ามเนื้อด้วยกระบวนการ hydrolysis
4. การเคลื่อนตัวของกรดไขมันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไมโทคอนเดรีย

<u>การสลายเนื้อเยื่อไขมันและการขนส่งกรดไขมันเข้าสู่กล้ามเนื้อ</u>

ฮอร์โมน Epinephrine และ Norepinephrine (NE) จะถูกกระตุ้นเมื่อมีการออกกำลังกายแบบ dynamic exercise โดยจะถูกกระตุ้นผ่านระบบประสาทซิมพาเทติก ให้มีการหลั่ง EPI และ NE ออกมาสู่เลือด ซึ่งส่วนใหญ่แล้ว EPI นั้นถูกหลั่งออกมาจาก adrenal medulla และ NE ถูกหลั่งมาจาก sympathetic nerve terminals ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกลุ่มฮอร์โมน catecholamines นั้นจะไปเพิ่มกระบวนการสลายไขมัน (lipolysis) มากขึ้นเมื่อเทียบกับในขณะพัก EPI และ NE จะไปจับกับ β-adrenergic receptors และกระตุ้น G protein ที่เมมเบรน เปลี่ยนรูปร่างและไปจับกับเอนไซม์ Adenylate cyclase (AC) ให้มีการสลาย TG โดยผ่านกลไกของ cAMP และทำให้เอนไซม์ Hormone sensitive lipase อยู่ในรูปที่ทำงานได้ (ดังภาพที่ 2.1) ทั้งนี้กรดไขมันอิสระ ที่ได้จากการสลาย TG จะจับกับอัลบูมินผ่านกระแสเลือดไปยังเซลล์กล้ามเนื้อ[42]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.1 การสลายไตรกลีเซอไรด์ในเซลล์ไขมัน โดยผ่านกลไก cAMP[42]

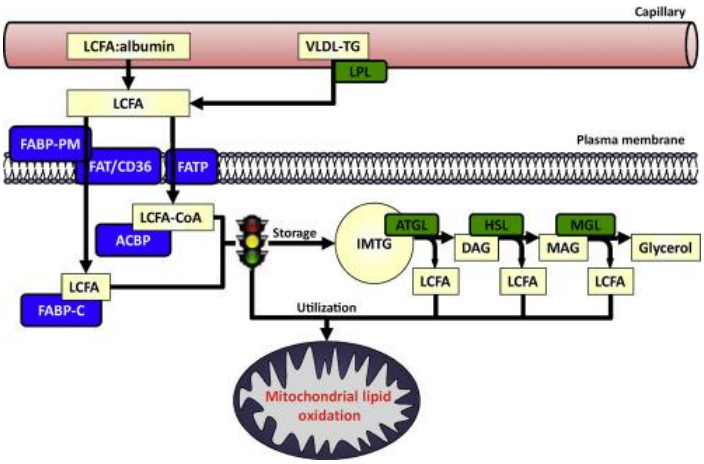
<u>การเคลื่อนตัวของกรดไขมันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ</u>

กรดไขมันที่ถูกขนส่งไปยังเซลล์กล้ามเนื้อผ่านกระแสเลือดซึ่งจับกับอัลบูมินนั้น เมื่อมาถึงเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ จะมีโปรตีนขนส่งที่ช่วยในการขนส่งกรดไขมันอิสระเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อ อยู่บริเวณเมมเบรนของเซลล์กล้ามเนื้อ ได้แก่ Fatty acid translocase (FAT/CD36) protein, Plasma membrane fatty acid-binding ($FABP_{PM}$) และ โปรตีนในกลุ่ม Fatty acids transport proteins (FATP) family ซึ่ง FATP สามารถขนส่งกรดไขมันเข้าสู่เซลล์ได้ด้วยตัวเอง ในขณะที่ FAT/CD36 และ $FABP_{PM}$ จะต้องทำงานร่วมกันในการขนส่งกรดไขมัน[45] (ดังภาพที่ 2.2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การสลายไขมัน Triglyceride (TG) ภายในกล้ามเนื้อด้วยกระบวนการ hydrolysis</u>

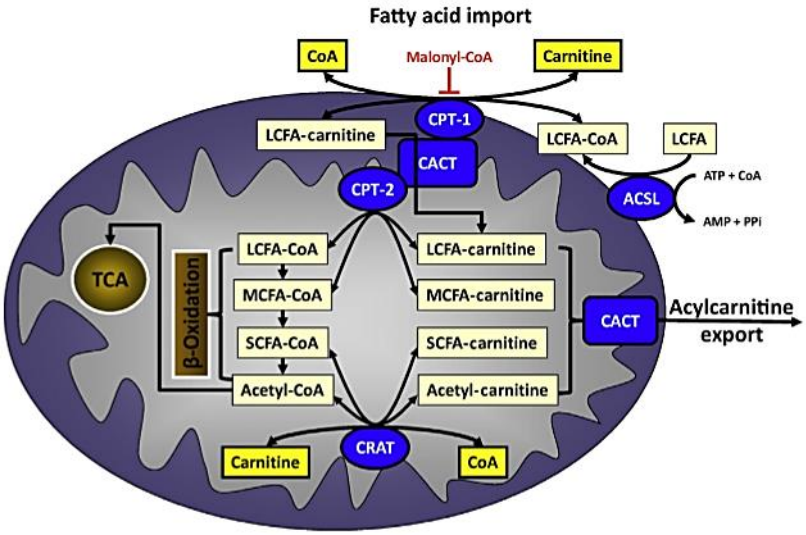
เมื่อกรดไขมันเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อและได้ถูกจัดเก็บอยู่ในเซลล์เป็น Intramuscular triglyceride (IMTG) และเมื่อมีการออกกำลังกายหรือต้องการใช้พลังงานจากไขมันภายในกล้ามเนื้อ IMTG จะถูกสลายโดยเอนไซม์ Adipose triglyceride lipase (ATGL) ได้ Diacylglycerol (DAG) และ Long-chain fatty acid (LCFA) 1 ตัว จากนั้น DAG จะถูกสลายต่อโดยเอนไซม์ Hormone-sensitive lipase (HSL) ได้เป็น Monoacylglycerol[46] และ LCFA 1 ตัว และต่อมา MAG จะถูกสลายโดยเอนไซม์ Monoacylglycerol lipase (MGL) ได้ glycerol และ LCFA 1 ตัว ซึ่งจากกระบวนการ hydrolysis การสลาย IMTG ได้ glycerol 1 ตัว และ LCFA ทั้งหมด 3 ตัว ซึ่ง LCFA เหล่านี้ก็จะถูกส่งต่อไปยังไมโทคอนเดรียเพื่อสลายเป็นพลังงานต่อไป[42, 45] (ดังภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 โปรตีนขนส่งกรดไขมันอิสระเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อ (FAT/CD36, FABP-PM และ FATP) และการสลายไขมันไตรกลีเซอไรด์ภายในกล้ามเนื้อด้วยกระบวนการ hydrolysis[45]

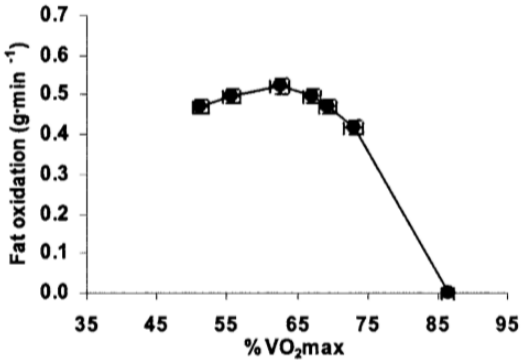
<u>การเคลื่อนตัวของกรดไขมันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไมโทคอนเดรีย</u>

กรดไขมันอิสระเมื่ออยู่ในรูป LCFA-CoA ผ่านเมมเบรนด้านนอกของไมโทคอนเดรียและเปลี่ยนเป็น LCFA-carnitine โดยเอนไซม์ Carnitine palmitoyl transferase-1 (CPT-1) จากนั้นจะเคลื่อนผ่านเมมเมรนด้านในของไมโทคอนเดรีย โดยอาศัย Carnitine-acylcarnitine translocase (CACT) และเอนไซม์ Carnitine palmitoyl transferase-2 (CPT-2) และกรดไขมันถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น Long-chain acyl CoA (LCFA-CoA) ซึ่งจะเข้าสู่ β-oxidation pathway ต่อไป[45] (ดังภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนตัวของ long-chain acyl CoA ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไมโทคอนเดรีย[45]

จาก pathway ของการสลายไขมันเพื่อเป็นพลังงานจากข้างต้นทั้งหมด จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องเป็นกิจกรรมหรือการออกกำลังกายประเภททนทานที่มีความหนักระดับปานกลางหรือ 55 – 70 % of maximal oxygen consumption; VO_2max[47] (ดังภาพที่ 2.4) และมีระยะเวลายาวนานต่อเนื่องมากกว่า 30 นาที[15, 48-52] ซึ่งสามารถเพิ่มกระบวนการสลายไขมันและลดอัตราการ re-esterification ของกรดไขมันอิสระได้ พบว่าสามารถลดได้ 25% ในขณะออกกำลังกายเป็นเวลา 30 นาที และมีกรดไขมันอิสระจากการสลายเนื้อเยื่อไขมันถูกส่งไปยังกล้ามเนื้อที่มีการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นด้วย[53]



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของ fat oxidation rates กับ ความหนักของการออกกำลังกาย ($\%VO_2max$)[47]

นอกจากนี้การฝึกออกกำลังกายประเภทแอโรบิกแบบทนทาน (endurance training) ทำให้การขนส่งกรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ (sarcolemma) ดีขึ้น การขนส่ง FFA เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการเพิ่มของ mRNA และโปรตีนขนส่ง FAT/CD36, FABP-PM ซึ่งพบว่าโปรตีน FABP-PM เพิ่มขึ้นได้ถึง 48-57% หลังจากการออกกำลังกาย 8 สัปดาห์[54] สำหรับโปรตีน FAT/CD36 นั้น เมื่อมีการทดสอบออกกำลังกายภายหลังการฝึกออกกำลังกายระดับปานกลางติดต่อกัน 9 วัน พบว่ายีนที่แสดงถึงปริมาณของ FAT/CD36 เพิ่มขึ้นถึง 36% ทั้งนี้ภายหลังการฝึกออกกำลังกายเป็นเวลา 9 วันดังกล่าว เอนไซม์ Carnitine palmitoyl transferase 1 (CPT-1) สามารถเพิ่มขึ้นถึง 57% ได้ด้วยเช่นกัน[55]

ในทางกลับกันการออกกำลังกายระดับหนักจะยับยั้งเอนไซม์ CPT-1 ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่นำ FFA เข้าสู่ไมโทคอนเดรีย ทำให้ร่างกายต้องใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรทมากขึ้น และทำให้เกิด lactate เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เมื่อ CPT-1 ลดลง จะทำให้การขนส่ง FFA จากเนื้อเยื่อไขมันลดลงเช่นกัน ทำให้ปริมาณ FFA ไม่เปลี่ยนแปลงหรือลดลง การออกซิเดชันของไขมันจึงลดต่ำลง[56]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 การออกซิเดชันของไขมันในขณะพักภายหลังจากการออกกำลังกาย (Recovery)

การเพิ่มการสลายไขมันยังคงมีต่อเนื่องได้อีก 1-2 ชั่วโมง ในช่วง recovery ภายหลังจากการออกกำลังกายประเภทแอโรบิกในระดับปานกลาง การสลายไขมันทำให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นและคงค้างอยู่ในกระแสเลือดปริมาณมากภายใน 1 ชั่วโมงแรกของช่วง recovery[57] ซึ่งพบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกับขณะออกกำลังกาย[58] เนื่องจาก catecholamine ที่หลั่งออกมาในระหว่างการออกกำลังกาย จะไปกระตุ้นประสาทซิมพาเทติก ทำให้มีการหลั่งฮอร์โมน epinephrine และ norepinephrine เพื่อสลายกรดไขมันเพิ่มมากขึ้นและผลดังกล่าวยังต่อเนื่องไปในช่วงแรกของ recovery ทั้งนี้เมื่อมีการออกกำลังกายในระยะเวลาที่นานมากขึ้น growth hormone จะมีการหลั่งเพื่อเพิ่มการสลายไขมันในช่วงการออกกำลังกายและต่อเนื่องในช่วง recovery เช่นเดียวกัน นอกเหนือจากฮอร์โมนข้างต้นแล้ว ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ยังคงค้างอยู่ในกระแสเลือดที่มากนั้น เกิดจากการลดลงของ plasma insulin concentration ในช่วง recovery ซึ่งเดิมทีนั้นปริมาณ plasma insulin concentration ที่มาก จะไปยับยั้งการสลายไขมัน[59] ทั้งนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระในเลือด (plasma FFA) ยังคงมีระดับสูงกว่าปกติอยู่ได้ถึง 12-24 ชั่วโมง และจะค่อย ๆ ลดลงไป[46, 60] ร่างกายใช้กรดไขมันอิสระที่คงค้างนั้นมาช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ไกลโคเจน (Glycogen resynthesis)[61] ซึ่งไกลโคเจนนั้นมีการสูญเสียไปในระหว่างการออกกำลังกาย[60, 62, 63]

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการ re-esterification กรดไขมันอิสระกลับไปเป็น triglyceride ใน adipocyte เพื่อป้องกันการเกิด lipotoxic จากการมีปริมาณ FA ที่คงค้างอยู่มากในกระแสเลือดนอกเหนือจากการใช้สังเคราะห์ไกลโคเจนไปแล้ว โดยปฏิกิริยานี้จะใช้เอนไซม์ ACSL และใช้พลังงาน 2 ATP เรียกกระบวนการนี้ว่า TG/FA cycling เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานค่อนข้างมากซึ่งเกิดขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย ดังนั้นปริมาณของกรดไขมันอิสระในเลือดจึงถูกพบว่ามีปริมาณที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านไปหลายชั่วโมง[64] ซึ่งจะแตกต่างกับปริมาณกลีเซอรอลในเลือด (plasma glycerol) ที่จะไม่ลดลงหรือเปลี่ยนกลับไปเป็น triglyceride ได้ เนื่องจากใน adipocyte ไม่มีเอนไซม์ glycerol kinase ในบางรายงานจึงใช้ plasma glycerol เป็นตัวชี้วัดถึงปริมาณการสลายไขมัน (lipolysis)[65, 66]

ในช่วง recovery phase ซึ่งเกิดภายหลังจากการหยุดออกกำลังกาย มีการใช้พลังงานจากไขมันทำให้ยังมีการเพิ่มอัตราการเมแทบอลิซึม และนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายมากขึ้น ซึ่งเรียกภาวะนี้ว่า Excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกการใช้

ออกซิเจนจะเพิ่มสูงขึ้นภายใน 2 ชั่วโมง และช่วงที่ 2 การใช้ออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นในปริมาณที่น้อยกว่าในช่วงแรกมาก แต่คงอยู่ได้นานถึง 48 ชั่วโมง[67-69] การใช้ออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นนั้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับการกำจัดกรดแลกติก (lactic acid) ออกไปจากกระแสเลือด ฟื้นฟูออกซิเจนสำรองในร่างกาย (oxygen reserve) ฟื้นคืนของปริมาณ ATP/Creatine phosphate ในร่างกาย ปรับอุณหภูมิในร่างกายและการสร้างสมดุลน้ำในร่างกายเข้าสู่สภาวะปกติ[64]

มีการศึกษาเกี่ยวกับการพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลานานเปรียบเทียบกับระยะเวลาสั้นในหญิงสุขภาพดี พบว่าการพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลานานมีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลาสั้น[13] มีการศึกษาเกี่ยวกับการพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลางเปรียบเทียบกับออกกำลังกายระดับหนัก พบว่าการพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายระดับหนักมีการออกซิเดชันของไขมันที่มากกว่า[14] และมีการศึกษาที่ได้ผลสอดคล้องกันในการศึกษาของชายที่มีภาวะน้ำหนักเกิน เกี่ยวกับการพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลางเปรียบเทียบกับระดับหนัก พบว่าการพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายระดับหนักมีการออกซิเดชันของไขมันที่มากกว่าเช่นกัน[15] แต่ทั้งนี้การออกซิเดชันของไขมันรวมในขณะออกกำลังกายและการพักฟื้น จากการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลางมีอัตรามากกว่าการออกกำลังกายระดับหนัก[13, 14]

นอกจากนี้มีการศึกษาการพักฟื้นในชายที่มีภาวะอ้วนมาก ภายหลังการออกกำลังกายที่ความหนักระดับเบาถึงปานกลางเปรียบเทียบกับระดับหนัก พบว่าในขณะพักฟื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองระดับความหนัก แต่การออกซิเดชันของไขมันรวมขณะออกกำลังกายและการพักฟื้น ในการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลางมีมากกว่า[16]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมัน

<u>อาหาร</u>

การรับประทานอาหารที่มีไขมันสูงสามารถเพิ่มการออกซิเดชันของไขมันได้ โดยเฉพาะการรับประทานไขมันชนิดสายปานกลาง (Medium-chain triacylglecerols-MCTs) เนื่องจากจะถูกดูดซึมและนำไปใช้ในร่างกายได้ง่ายกว่า มักจะอยู่ในรูปกรดไขมันอิสระ สามารถเข้าไมโทคอนเดรียได้โดยไม่ต้องใช้ Carnitine เป็นตัวนำเข้า มีอัตราการ β-Oxidation ได้เร็ว และไม่จับกับกลีเซอรอลเป็นไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ไม่เก็บสะสมเป็นไขมันในร่างกาย[43, 44]

มีการศึกษาให้รับประทานคาร์โบไฮเดรทก่อนเริ่มออกกำลังกาย ผลปรากฏว่า Respiratory exchange ratio (RER) เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าช่วงอดอาหาร บ่งถึงการมี fat oxidation ลดลง[70-72] และเมื่อรับประทานคาร์โบไฮเดรทในระหว่างการออกกำลังกายระดับเบา-ปานกลาง พบว่ามี fat oxidation ลดลงเมื่อเทียบกับภาวะอดอาหาร และได้ผลคล้ายคลึงกันกับการรับประทานคาร์โบไฮเดรทก่อนออกกำลังกาย[73, 74] อย่างไรก็ตามการออกกำลังกายในระดับที่หนัก พบว่าไม่มีความแตกต่างของ fat oxidation ในภาวะมีการอดอาหารและการรับประทานคาร์โบไฮเดรท[75, 76]

มีการศึกษาในระยะยาวเกี่ยวกับการรับประทานอาหารที่มีไขมันสูงและคาร์โบไฮเดรทต่ำ โดยทำการศึกษาในนักกีฬาปั่นจักรยานที่มีการออกกำลังกายทุกวัน พบว่าการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งการรับประทานอาหารที่มีไขมันสูง (65%Fat) หลังจาก 3 วัน RER ลดลงจาก 0.89 เป็น 0.79[77] ในขณะที่บางรายงานกลับพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกซิเดชันของไขมัน[78, 79] สำหรับการรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรทต่ำหรือลดลง ซึ่งมีการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่ออกกำลังกายหนักทุกวัน เป็นเวลา 5 และ 11 วัน พบว่าการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้น ในขณะที่ muscle glycogenolysis ลดลง เนื่องมาจาก glycogen ในกล้ามเนื้อลดลง[80, 81]

สำหรับการรับประทานอาหารที่มีไขมันสูงและสามารถเพิ่มการออกซิเดชันของไขมันได้นั้น เนื่องมาจากไปเพิ่มประสิทธิภาพของ β-hydroxyacyl CoA dehydrogenase (β-HAD) ซึ่งเป็นหนึ่งในเอนไซม์ในระบบ β-oxidation pathway[66] มีการศึกษาการรับประทานอาหารไขมันสูง เป็นเวลา 5 วัน พบว่า β-HAD และโปรตีนขนส่ง FAT/CD36 เพิ่มขึ้น[82] และมีการศึกษาให้รับประทานอาหารไขมันสูงเป็นเวลา 15 วัน มีการเพิ่มขึ้นของ CPT-I[83] ทั้งนี้การรับประทานอาหารไขมันสูงเป็นเวลา 7 สัปดาห์เปรียบเทียบกับการรับประทานอาหารคาร์โบไฮเดรทสูง พบว่า whole-body plasma FA oxidation เพิ่มขึ้นในกลุ่มที่รับประทานอาหารไขมันสูง[84] แต่ทั้งนี้ได้มีบางรายงานที่พบว่าการรับประทานอาหารไขมันสูงเป็นเวลา 7 สัปดาห์และตามด้วยอาหารคาร์โบไฮเดรทสูง 1 สัปดาห์ พบว่ามีการออกซิเดชันของไขมันลดลงภายหลัง 7 สัปดาห์ และไม่มีความแตกต่างของการออกซิเดชันของไขมันและคาร์โบไฮเดรทอย่างมีนัยสำคัญจากการรับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรทสูงตามภายหลังอีก 1 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบกับการรับประทานอาหารคาร์โบไฮเดรทสูงตลอด 8 สัปดาห์[85]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การออกกำลังกาย</u>

การออกกำลังกายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อ fat oxidation หากต้องการใช้พลังงานจากไขมันสูงสุดในระหว่างการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ความหนักของการออกกำลังกายจะอยู่ที่ประมาณ 65% VO_2max หรือในระดับ submaximal ซึ่งจะใช้ไขมันทั่วร่างกายเพิ่มขึ้น 2-3 เท่าเมื่อเทียบกับในขณะพัก[84, 86] ทั้งนี้การออกกำลังกายที่มีความหนัก ≥ 85% VO_2max พบว่าปริมาณ plasma FFA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีปริมาณที่ลดลง สัมพันธ์กับการออกซิเดชันของไขมัน (fat oxidation) ที่ลดลง และมีการทำงานของ CPT-1 ลดลง และมีการใช้ไกลโคเจนของกล้ามเนื้อมาเป็นพลังงานแทน[56, 87]

การออกกำลังกายในระดับ maximal fat oxidation มีประโยชน์ในแง่ของการใช้ไขมันเพื่อเป็นพลังงานหลักสูงสุดในขณะออกกำลังกายและช่วง recovery จึงเป็นประโยชน์สำหรับคนอ้วน ให้มีการใช้ไขมันที่สะสมในร่างกายให้มากที่สุดเพื่อการลดไขมันและน้ำหนัก มีการศึกษาในคนอ้วนเพศชายโดยให้ออกกำลังกายที่ความหนักประมาณ 50% VO_2max เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ สามารถเพิ่มอัตราการออกซิเดชันของไขมันได้มากถึง 44% เมื่อเทียบกับก่อนเข้าโปรแกรมการฝึก ในขณะที่การฝึกแบบ interval training ซึ่งออกกำลังกายที่ระดับความหนักต่ำกว่า maximal fat oxidation (ประมาณ 50% VO_2max) สลับกับที่ระดับความหนักสูงกว่า maximal fat oxidation พบว่าไม่มีการเพิ่มขึ้นของอัตราการออกซิเดชันของไขมัน[27] และมีการศึกษาในคนอ้วน class 2 และ 3 เพศชายโดยให้ฝึกออกกำลังกายที่ความหนักประมาณ 50% VO_2max เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าสามารถเพิ่ม maximal fat oxidation rate ได้จาก 0.43 g/min เป็น 0.46 g/min น้ำหนักตัวลดลงประมาณ 4 kg และ BMI ลดลงประมาณ 1 kg/m^2 [28] ในการศึกษาการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักประมาณ 50% VO_2max ของเพศหญิงน้ำหนักเกินเกณฑ์มาตรฐาน (overweight) ช่วงวัยรุ่นถึงวัยสูงอายุ เป็นระยะเวลา 8, 10 และ 12 สัปดาห์ พบว่า maximal fat oxidation rate สามารถเพิ่มได้ถึง 0.43-0.45 g/min จาก 0.38 g/min ลดน้ำหนักได้ประมาณ 3-4 kg, BMI ลดลง 1-2 kg/m^2 และเปอร์เซ็นต์ไขมันลดลง 2-3%[29-31] และมีการศึกษาการฝึกออกกำลังกายในระดับปานกลางเป็นเวลา 6-8 สัปดาห์ในชายที่มีภาวะน้ำหนักเกินและชายหญิงอ้วน พบว่ามีการออกซิเดชันของไขมัน (resting fat oxidation)[32, 33] และการใช้พลังงานในขณะพัก (resting energy expenditure) เพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก[32]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้รูปแบบการออกกำลังกายก็มีผลต่อ fat oxidation เช่นกัน จากการศึกษาพบว่าการออกกำลังกายตั้งแต่ที่ความหนักระดับปานกลางเท่ากัน การออกกำลังกายโดยการวิ่งมี fat oxidation มากกว่าการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[88-91]

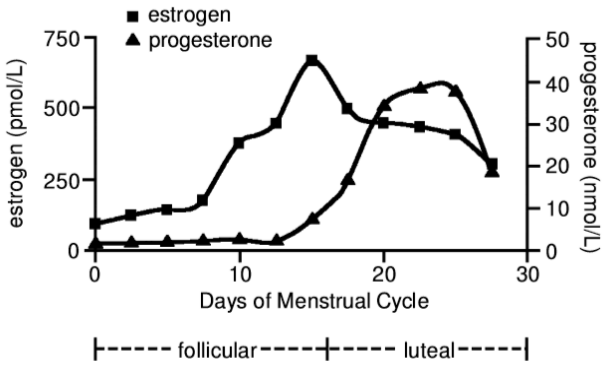
ลักษณะรูปร่างและน้ำหนัก

มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของ BMI และ fat oxidation พบว่ามีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ กล่าวคือ เมื่อมี BMI สูง fat oxidation จะต่ำ[92] โดยคนอ้วนจะมีการทำงานของ Carnitine palmitoyl transferase 1 (CPT-1) น้อยกว่าคนน้ำหนักตัวปกติ และความสามารถของการออกซิเดชันของไขมันลดต่ำลง[93]

เพศ

เพศเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อ fat oxidation พบว่าสัดส่วนไขมันในร่างกายของเพศหญิงมีมากกว่าในเพศชาย ซึ่งเพศหญิงจะมีชั้น subcutaneous adipose tissue ที่หนามากกว่าเพศชาย[94] และไขมันโดยส่วนใหญ่จะถูกจัดเก็บอยู่ในบริเวณดังกล่าวประมาณ 85% ทั่วทั้งร่างกาย[95] มีการศึกษาการออกกำลังกายระดับปานกลางในเพศชายและหญิง เป็นเวลา 90 นาที พบว่าเพศหญิงมีการใช้ไขมันเป็นพลังงานหรือมีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าเพศชายในการออกกำลังกายที่ระดับความหนักเท่ากัน[96] เมื่อเปรียบเทียบกันเพศหญิงมีการใช้ไขมันเป็นสัดส่วนมากกว่าเพศชายในขณะออกกำลังกาย ซึ่งสอดคล้องกับการมีปริมาณ intra-muscular triacylglycerol (IMTG) มากในเพศหญิง ร่วมกับการมี plasma FFA มาก ส่งผลให้มีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าเพศชาย[97] ทั้งนี้เพศหญิงยังมีภาวะของการมีประจำเดือนที่ส่งผลต่อ fat oxidation ในขณะออกกำลังกาย คือ ฮอร์โมน progesterone ที่มีมากในช่วง luteal phase ทำให้มีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าช่วง follicular phase[98] และมีการศึกษาการออกซิเดชันของไขมัน โดยเปรียบเทียบความหนักในการออกกำลังกายกับช่วงของประจำเดือนใน mid-follicular และ mid-luteal phase พบว่าความหนักในการออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลาง มีการออกซิเดชันของไขมันที่มากในช่วง mid-luteal phase[99] ซึ่งปริมาณฮอร์โมน progesterone ที่มากส่งผลให้มี fat oxidation ที่เพิ่มมากขึ้น จะอยู่ในช่วง luteal phase[100, 101] (ดังภาพที่ 2.5)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.5 ระดับฮอร์โมน estrogen และ progesterone ในช่วง menstrual cycle[101]

<u>อายุ</u>

อายุมีความสัมพันธ์กับการนำ FFA มาใช้เป็นพลังงานในกล้ามเนื้อลาย ซึ่งพบว่า FFA ในกล้ามเนื้อลายนั้นลดลงในผู้สูงอายุ ทำให้มี fat oxidation ที่ลดลง แม้แต่ในขณะหลับ fat oxidation ของผู้สูงอายุยังน้อยกว่าผู้ใหญ่วัยกลางคนอย่างมีนัยสำคัญ[102] ทั้งนี้ได้มีการศึกษาที่สอดคล้องโดยพบว่า fat oxidation มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอายุเช่นกัน และ fat oxidation ขณะพักนั้นลดลง 22% ในกลุ่มผู้สูงอายุที่อ้วน[103]

<u>สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิ</u>

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันในร่างกาย โดยมีการศึกษาในอุณหภูมิที่เย็นหรือต่ำกว่าอุณหภูมิปกติ 25 ℃ ซึ่งเมื่อผิวหนังรับสัมผัสกับความเย็น ร่างกายจะเกิด vasoconstriction บริเวณ peripheral blood vessels เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกาย[104, 105] และจะมีการหลั่งสาร catecholamine เพื่อกระตุ้นให้มีการสลาย glycogen เป็น glucose เพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับการ shivering และรักษาอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายในการรับสัมผัสกับความเย็นครั้งแรก และเมื่อพลังงานจาก glucose เริ่มลดลง ร่างกายมีการรับสัมผัสกับความเย็นอย่างต่อเนื่องและยาวนานมากขึ้น ร่างกายจะมีการสลาย triglyceride เป็น free fatty acids และ glycerol เพื่อใช้เป็นพลังงานต่อไป[36, 37] ทำให้มีการใช้ไขมันที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ภาวะ shivering ของกล้ามเนื้อเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในร่างกายขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยของร่างกายลดลง 3-4 ℃ นั้นพบว่าอัตราการเผาผลาญในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น 2.5 เท่าเมื่อเทียบกับในขณะพัก[106, 107] และเมื่อร่างกายรับสัมผัสหรืออยู่ในสภาวะอากาศที่หนาวมาก อัตราการเผาผลาญในร่างกายจะเพิ่มสูงถึง 5 เท่า[108, 109] เช่นเดียวกับผู้ที่มีภูมิลำเนาอยู่ในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น ซึ่งจะมีปริมาณ Brown

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

adipose tissue (BAT) มาก เพื่อสร้างความร้อนภายในร่างกาย และมีอัตราการเผาผลาญของร่างกายในขณะพักสูงกว่าผู้ที่อาศัยในประเทศเขตร้อน (metabolic cold adaptation) ทั้งนี้ลักษณะทางกายภาพโดยส่วนใหญ่ของประชากรในประเทศดังกล่าว บริเวณผิวหนังมี vasoconstriction เป็นเกราะป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกายโดยธรรมชาติ (insulative cold adaptation) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะในผู้ที่มีภูมิลำเนาอยู่ในประเทศหนาวเย็น[35]

ทั้งนี้อุณหภูมิที่ต่ำหรือความเย็นที่เหมาะสมที่ทำให้ร่างกายมีการใช้ไขมันเพื่อสลายเป็นพลังงานจะอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิ 10 ℃ และ 20 ℃ ในบางการศึกษา อยู่ที่ 11 ℃ และ 21 ℃ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ 0 ℃ และ -10 ℃ สาเหตุที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 ℃ มีการสลายไขมันเพื่อเป็นพลังงานลดน้อยลงนั้น เนื่องจากความเย็นทำให้ปริมาณ glycerol ในเลือดต่ำลงและการไหลเวียนของเลือดไปยัง subcutaneous adipose tissue ก็ลดน้อยลงเช่นกัน[110-113]

มีการศึกษาการนอนพักในที่ร้อนของหญิงชาวโปแลนด์ที่มีสุขภาพดี ซึ่งให้นอนพักในซาวน่า (80.1 ℃) 30 นาที เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ metabolism แต่การออกซิเดชันของไขมันยังคงเท่าเดิม[25] และการศึกษาในชายที่มีภาวะน้ำหนักเกินชาวอังกฤษให้รับสัมผัสความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 39 ℃ เวลา 1 ชั่วโมง จำนวน 10 ครั้ง ในเวลา 2 สัปดาห์ พบว่ามีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทเพิ่มขึ้น[114] ในขณะที่การรับสัมผัสกับอุณหภูมิเย็น เช่น การศึกษาในชายและหญิงสุขภาพดีชาวแคนาดาและชายสุขภาพดีชาวอังกฤษ พบว่า การสัมผัสอุณหภูมิเย็นในระยะเฉียบพลัน ที่อุณหภูมิ 7-18 ℃ มีการใช้พลังงานจากไขมันมากกว่าคาร์โบไฮเดรท และมีการออกซิเดชันของไขมัน 50-60% ของพลังงานทั้งหมด[18-20] ทั้งนี้การเผชิญกับความเย็น สามารถเพิ่มอัตราการออกซิเดชันของไขมัน ถึงแม้จะมีการออกกำลังกายจนเหนื่อยล้ามาแล้ว การออกซิเดชันของไขมันก็ยังมีการเพิ่มขึ้นในขณะที่พักฟื้นในที่เย็นด้วย[20]

นอกจากนี้มีการศึกษาในบุคคลที่มีการออกกำลังกายเป็นประจำโดยให้ออกกำลังกายระดับปานกลางในที่ร้อน 33 ℃ ซึ่งเป็นอุณหภูมิแวดล้อมโดยปกติของเมืองออสติน ในรัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิปกติ 23 ℃ พบว่าการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทและไขมันในขณะออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกันทั้งสองอุณหภูมิ[115] และมีการศึกษาเปรียบเทียบการออกกำลังกายความหนักระดับปานกลางและระดับหนักในที่ร้อน 35 ℃ ของชายชาวอังกฤษ พบว่ามีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทเพิ่มขึ้นทั้งสองระดับความหนัก แต่ไม่มีการศึกษาถึงผลของการออกซิเดชันของไขมันในการศึกษานี้[116] ทั้งนี้มีการศึกษาการออกกำลังกายในที่เย็นของชายชาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฟินแลนด์ โดยเปรียบเทียบการออกกำลังกายในระดับปานกลางที่อุณหภูมิ 0 ℃ และ 22 ℃ (neutral) พบว่ามีการออกซิเดชันของไขมันและมีการใช้พลังงาน (energy expenditure; EE) จากไขมันเพิ่มมากขึ้นในระหว่างการออกกำลังกายที่อุณหภูมิเย็น 0 ℃[21]

ทั้งนี้มีการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิร้อนและเย็นในระยะพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางของหญิงอ้วนที่อาศัยอยู่ในประเทศไทย พบว่ามีการออกซิเดชันของไขมันและการใช้พลังงานจากไขมันในการพักฟื้นที่เย็นมากกว่าที่ร้อน (acute effect)[34] และมีการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งให้ผู้ป่วยโรคอ้วนปั่นจักรยานที่ความหนักระดับเบาในอุณหภูมิปกติและนั่งพัก (recovery) ในซาวน่า (60 ℃) เป็นเวลา 30 นาที พบว่าในช่วง recovery มีการสลายไขมันเพื่อเป็นพลังงานเพิ่มมากขึ้น[17]

นอกจากนี้การรับสัมผัสกับความเย็นในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นเป็นเวลา 10 วัน – 6 สัปดาห์ (acclimation) ที่อุณหภูมิ 14-17 ℃ ในเพศชายปกติและอ้วนรวมถึงเพศหญิง พบว่าสามารถลดมวลไขมันได้มากขึ้น[22-24] และมีการศึกษาในชายชาวสหรัฐอเมริกา ที่อาศัยในรัฐอินเดียน่า ให้รับสัมผัสกับความร้อน 39 ℃ โดยการออกกำลังกายระดับปานกลางเป็นเวลา 8 วัน (acclimation) พบว่ามีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของการออกซิเดชันของไขมันเพียงเล็กน้อย[26]

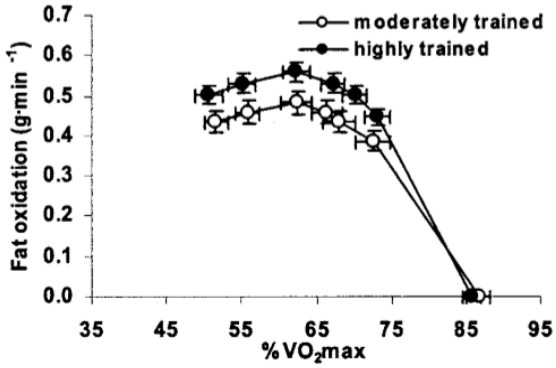
กล่าวโดยสรุป ผลงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันในสภาวะต่างๆนั้น มีผลคล้ายคลึงและแตกต่างกันไป ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

Condition	Fat oxidation	
	Hot	Cold
Rest	↔ (25)	↑ (18-20)
Exercise	↔ (115)	↑ (21)
Recovery	↑ (17) (after acute exercise)	↑ (34) (after acute exercise)
Acclimation	↑ (26) (Slightly)	↑ (22, 23)

ตารางที่ 2.3 สรุปผลงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการออกซิเดชันของไขมันในสภาวะต่างๆ

สถานะการออกกำลังกาย

มีการศึกษาในเพศชายวัยกลางคนกลุ่มที่ออกกำลังกายและไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ พบว่า กลุ่มที่ออกกำลังกายมี RER ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ แสดงถึงการใช้ไขมันเป็นพลังงานที่มีมากกว่า ทั้งนี้พบ Rate of appearance (RA) ของ FFA และ glycerol ในพลาสมามากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ออกกำลังกายเช่นกัน[117] นอกจากนี้มีการศึกษาในเพศหญิงที่มีการฝึกออกกำลังกายแบบทนทานเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ ให้ทำการออกกำลังกายในระดับปานกลางถึงหนัก พบว่ากลุ่มที่มีการฝึกออกกำลังกายอยู่เดิมนั้นมี fat oxidation มากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ออกกำลังกายอยู่เป็นประจำ[118] ทั้งนี้กลุ่มที่ได้รับการฝึกระดับปานกลาง (moderate trained) มี fat oxidation ต่ำกว่ากลุ่มที่มีการฝึกมาอย่างยาวนาน (high trained) ในการออกกำลังกายที่ระดับความหนักเท่ากัน[47]



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ fat oxidation rates กับ ความหนักของการออกกำลังกาย (%VO_2max) ระหว่าง moderately trained และ highly trained[47]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 การวัดการออกซิเดชันของไขมัน

การวัด fat oxidation สามารถทำได้หลายวิธีทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งการวัดแคลอรีทางตรง (direct calorimetry) นั้นจะทำด้วยวิธีการอยู่ใน chamber แล้วดูปริมาณการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น เช่น chamber ผนังสองชั้นที่มีการใส่น้ำแข็งเข้าไป แล้วดูปริมาณน้ำแข็งที่ละลายนั่นคือความร้อนที่สูญเสียหรือแผ่ออกมาจากร่างกายของบุคคลนั้น ในส่วนของการวัดแคลอรีทางอ้อม (indirect calorimetry) นั้นทำได้ง่าย สะดวกกว่าและค่าใช้จ่ายถูกกว่าวิธีทางตรง คือการวัดทางลมหายใจของผู้เข้าร่วมงานวิจัยแทน ซึ่งวิธีแบบ indirect method นั้นมีหลากหลายวิธี เช่น Canopy method ที่ใช้ hood คลุมทั้งศีรษะแทน face mask วิธี Douglas bag method โดยการหายใจเข้าไปในถุงเก็บอากาศ เป็นต้น ซึ่งวิธี indirect method ถือว่าเป็น gold standard สำหรับการวัดค่า energy

expenditure จาก oxygen consumption และ carbon dioxide production ผ่านทางลมหายใจ [119, 120] สำหรับในบางงานวิจัย มีการเลือกใช้เครื่องมือ gas analyzer โดยเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ เช่น face mask เพื่อหาค่า VO_2 และ VCO_2 จากลมหายใจ และนำไปคำนวณโดยใช้สูตร Peronnet and Massicotte[121] ดังนี้

Fat oxidation (mg/min) = 1.6946 VO_2 (mL/min) – 1.7012 VCO_2 (mL/min)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย (Research design)

การศึกษานี้เป็นการศึกษารูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (experimental design) ซึ่งประเมินผลก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยการประเมินผลจะเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิแวดล้อมที่มีผลต่อการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในคนอ้วนเพศหญิงทั้งก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย โดยส่วนของการทดสอบการพักในที่ร้อนและเย็นเป็นการศึกษาแบบไขว้กลุ่ม (crossover design) โดยผู้เข้าร่วมวิจัยที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจะได้รับอาหารที่ผู้วิจัยจัดเตรียมไว้ให้ไปรับประทาน 1 วันก่อนวันทำการทดสอบ และก่อนการทดสอบจะมีการสุ่มอุณหภูมิแวดล้อมที่จะนั่งพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายในระดับปานกลาง 50% HRR เป็นเวลา 30 นาที (pre-training tests) และภายหลังการออกกำลังกายในระดับปานกลาง 60% HRR เป็นเวลา 60 นาที (post-training tests) และนั่งพักเป็นเวลา 60 นาทีในห้องที่จัดเตรียมอุณหภูมิแวดล้อมตามที่สุ่มไว้ ตลอดการทดสอบการออกกำลังกายและนั่งพักฟื้นจะมีการติดเครื่องวัดและวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากลมหายใจที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัย และผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนจะกลับมาทดสอบอีกครั้งเหมือนเดิมแต่ในอุณหภูมิแวดล้อมที่แตกต่างกันไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 ตัวแปรต้น (Independent variable)

1. การฝึกออกกำลังกายในระดับปานกลาง
2. อุณหภูมิร้อนและเย็นในขณะพักฟื้น

3.3 ตัวแปรตาม (Dependent variable)

อัตราการออกซิเดชันของไขมันในร่างกายขณะพักฟื้น (Recovery fat oxidation)

3.4 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

<u>ประชากรเป้าหมาย</u>

เพศหญิงที่มีภาวะอ้วน วัยเจริญพันธุ์อายุ 18-50 ปี

ประชากรที่ศึกษา

เพศหญิงที่มีภาวะอ้วน วัยเจริญพันธุ์อายุ 18-50 ปี ที่ยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

เพศหญิงที่มีภาวะอ้วน วัยเจริญพันธุ์อายุ 18-50 ปี ที่ยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำและผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าและคัดออกของงานวิจัย

3.5 เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. เพศหญิง
2. วัยเจริญพันธุ์อายุ 18-50 ปี
3. ค่าดัชนีมวลกายหรือ BMI ≥ 27.5 kg/m^2 แต่ไม่เกิน 40 kg/m^2 [(1)]
4. มีประจำเดือนปกติในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา[(122)]
5. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมากกว่า 3 kg ในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา[(123, 124)]

3.6 เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

1. มีการออกกำลังกาย ≥ 2 ครั้ง/สัปดาห์ขึ้นไป ครั้งละ ≥ 10 นาที ขึ้นไป ในระยะเวลา 1 เดือนก่อนเข้าร่วมวิจัย[(12)]
2. มีการเดินทางไปประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นหรือร้อนจัดเกินกว่า 7 วัน ในระยะเวลา 1 เดือนก่อนการทดสอบ[(12, 42)]
3. มีรอบประจำเดือนที่น้อยกว่า 21 วัน หรือมากกว่า 35 วัน[(125)]
4. มีประวัติเจ็บป่วยจากอากาศร้อนและเย็น
5. ไม่สามารถเดินหรือวิ่งบนลู่วิ่งสายพานตามกำหนดได้
6. มีอาการบาดเจ็บที่เป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังกาย
7. มีประวัติโรคหัวใจ หรือตรวจพบความผิดปกติของ Resting EKG
8. มีประวัติเป็นโรคต่อมไทรอยด์
9. ความดันโลหิต ≥ 140/90 mmHg[(12)]
10. มีระดับ LDL-C ≥ 160 mg/dL หรือ HDL-C < 40 mg/dL[(12)]
11. รับประทานยาหรืออาหารเสริมเพื่อลดความอ้วนทุกชนิด เช่น กาแฟลดความอ้วน ยาลดความอ้วน หรืออาหารเสริมที่มีส่วนผสมของ L-carnitine
12. รับประทานยาที่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ เช่น Beta-blockers

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

13. รับประทานยาเพื่อลดไขมันในเลือด ได้แก่ ยากลุ่ม Statin เช่น Lovastatin, Simvastatin, Fluvastatin และ Atrovastatin
14. รับประทานยากลุ่มที่มีผลต่อการหลั่งเหงื่อ ได้แก่ ยากลุ่ม Anticholinergic, Glycopyrrolate และ Oxybutynin
15. รับประทานยา ฉีดยาหรือฮอร์โมนที่มีผลต่อเมตาบอลิซึม ได้แก่ ยาคุมกำเนิด อินซูลิน ยารักษาโรคต่อมไทรอยด์ ยารักษาโรคเบาหวาน
16. ค่าน้ำตาลในเลือดตอนเช้าหลังอดอาหารตั้งแต่ 126 mg/dL หรือได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคเบาหวาน
17. หญิงตั้งครรภ์

3.7 กลุ่มตัวอย่าง (Sample size)

คำนวณกลุ่มตัวอย่างจากงานวิจัยของฐิติชญา, 2559 ที่ทำการศึกษากลุ่มคนอ้วนเพศหญิง BMI ≥ 30 kg/m^2 ในประเทศไทย โดยให้ออกกำลังกายที่ระดับ 45-50% HRR ในอุณหภูมิปกติ 24-25 °C จากนั้นพักในที่ร้อน (31-32 °C, RH 75±5%) และในอุณหภูมิปกติ (24-25 °C, RH 75±5%) ได้ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ fat oxidation ระหว่างการพักในที่ร้อน 46.2±13.2 mg/min และการพักในอุณหภูมิปกติ 59.6±18.9 mg/min การศึกษานี้มีกลุ่มตัวอย่าง 25 คน ทำการศึกษาทั้งสองสภาวะ (cross over) ซึ่งมีระยะเวลาห่างกัน 5-7 วัน[126] สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำหนดค่า Alpha (α) = 0.05

Beta (β) = 0.1 (power 90 %)

คำนวณหาค่า Variance of difference (σ^2) จากสูตร

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2r\sigma_1\sigma_2$$

กำหนด $\sigma_1 = 13.2$ $\sigma_2 = 18.9$ $r = 0$

หมายเหตุ เนื่องจากไม่สามารถประมาณค่า r ได้ ให้ใช้ r = 0 จะได้ค่า n มากที่สุด

แทนค่า $\sigma^2 = (13.2)^2 + (18.9)^2 - 2(0)(13.2)(18.9)$

ดังนั้น $\sigma^2 = 174.24 + 357.21 - 0$

$= 531.45$

คำนวณหาจำนวนกลุ่มตัวอย่าง (n) จากสูตร Sample size for crossover design

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2} + Z\beta)^2 \, \sigma^2}{2(\mu_1-\mu_2)^2}$$

กำหนด ตั้งเป็นสมมติฐานสองทาง $Z_{\alpha/2} = 1.96$, $Z\beta = 1.28$, $\mu_1 = 46.2$, $\mu_2 = 59.6$

แทนค่า

$$n = \frac{(1.96 + 1.28)^2 \, (531.45)}{2(46.2-59.6)^2}$$

$$= 15.56 \text{ หรือ } 16$$

Dropout 25% จากกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณ เท่ากับ 16

$$\frac{16 \times 25}{100} = 4$$

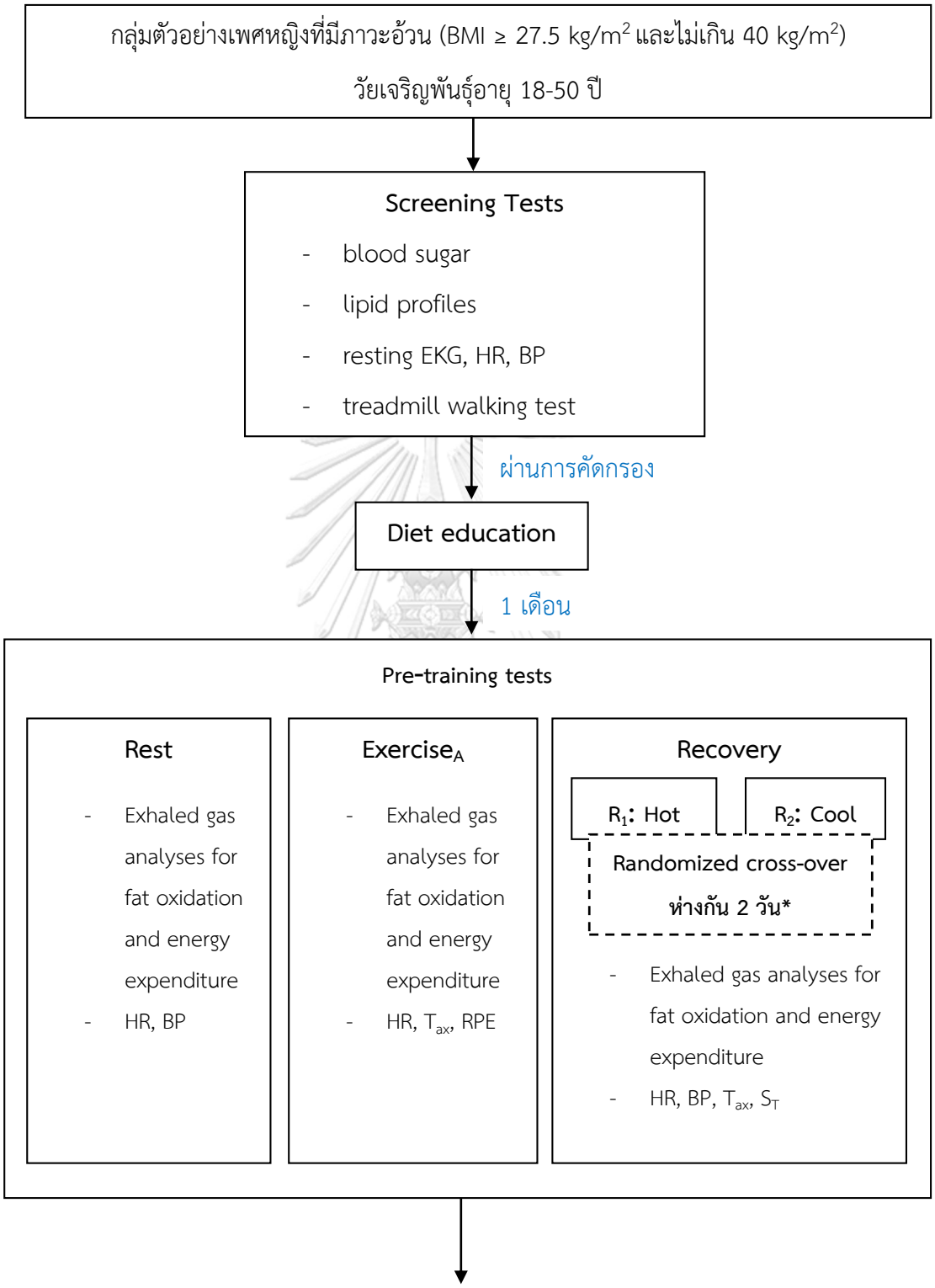
ดังนั้น จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 16 + 4 = 20 คน

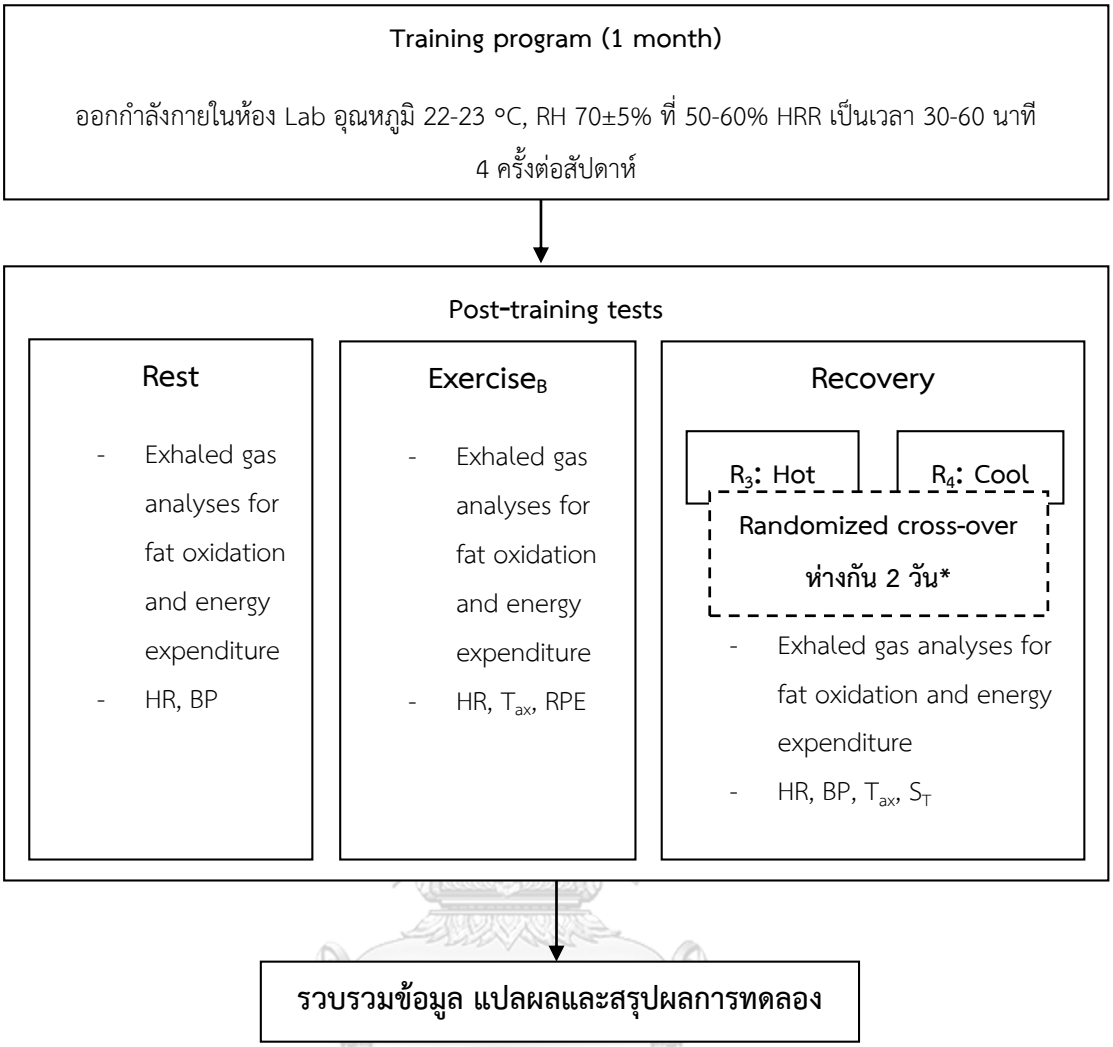
3.8 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างตามจุดมุ่งหมาย (Purposive Sampling) ตามเกณฑ์การคัดเลือกเข้าโดยสมัครใจของอาสาสมัคร หลังจากนั้นจะถูกสุ่มลำดับอุณหภูมิร้อนและเย็นที่ใช้พักหลังจากการออกกำลังกายในการทดสอบ ด้วยวิธีการสุ่มแบบ Simple randomization ทั้งการทดสอบก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

เนื่องจากอาสาสมัครมิได้เข้าโครงการวิจัยโดยพร้อมเพรียงกัน การทำการสุ่มลำดับอุณหภูมิร้อนและเย็นสำหรับพักภายหลังจากการออกกำลังกายในการทดสอบ จึงใช้การสุ่มแบบ simple randomization ด้วยวิธีการจับฉลาก (lottery) โดยไม่ใส่คืนเป็นจำนวน 20 ใบต่อช่วงของการทดสอบ (pre and post-training tests) ทั้งนี้อาสาสมัครได้ทำการจับฉลาก 2 รอบ กล่าวคือ ก่อนเริ่มทำการทดสอบ pre-training tests และก่อนเริ่มทำการทดสอบ post-training tests เมื่ออาสาสมัครบุคคลใด ไม่ผ่านเกณฑ์ระหว่างการฝึกและทดสอบ ฉลากที่จับไปนั้น ได้ถูกใส่คืนสำหรับอาสาสมัครบุคคลใหม่ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเป็นลำดับถัดไป

3.9 วิธีการดำเนินงานวิจัย





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมายเหตุ * เนื่องจากมีหลักฐานว่าปริมาณ Plasma free fatty acids ยังคงสูงกว่าระดับปกติใน 24-48 ชั่วโมงภายหลังเสร็จสิ้นการออกกำลังกาย[42]

$Exercise_A$ การทดสอบออกกำลังกายระดับปานกลางที่ 50%HRR เป็นเวลา 30 นาที

$Exercise_B$ การทดสอบออกกำลังกายระดับปานกลางที่ 60%HRR เป็นเวลา 60 นาที

R_1 การพักฟื้นภายหลังการทดสอบออกกำลังกาย pre-training test ครั้งที่ 1

R_2 การพักฟื้นภายหลังการทดสอบออกกำลังกาย pre-training test ครั้งที่ 2

R_3 การพักฟื้นภายหลังการทดสอบออกกำลังกาย post-training test ครั้งที่ 1

R_4 การพักฟื้นภายหลังการทดสอบออกกำลังกาย post-training test ครั้งที่ 2

Hot การพักฟื้นที่อุณหภูมิร้อน 31-32 ℃, RH 70±5%

Cool การพักฟื้นที่อุณหภูมิเย็น 22-23 ℃, RH 70± 5%

มีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

<u>การเข้าถึงอาสาสมัคร</u>

ผู้วิจัยติดประกาศพร้อมข้อมูลการเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครงานวิจัยโดยย่อที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คลินิกโรคอ้วนของโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ บริษัทเอกชน และประชาสัมพันธ์ผ่านทาง social network เช่น Facebook, Instagram, LINE เป็นต้น

<u>การขอความยินยอมจากอาสาสมัคร</u>

ในวันทำการคัดกรอง ผู้วิจัยนัดอาสาสมัครมาพบที่ห้องปฏิบัติการทางเวชศาสตร์การกีฬา ชั้น 4 อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยให้ข้อมูลพร้อมทั้งอธิบายถึงวิธีการปฏิบัติต่ออาสาสมัคร รวมถึงตอบข้อสงสัยจนอาสาสมัครเข้าใจ และให้เวลาการตัดสินใจอย่างอิสระ ก่อนลงนามให้ความยินยอมเข้าร่วมในงานวิจัย

<u>การคัดกรองอาสาสมัครและการวัดค่าพื้นฐานต่างๆ</u>

1. ก่อนวันนัดการคัดกรอง ทำการติดต่ออาสาสมัครทางโทรศัพท์เพื่ออธิบายขั้นตอนการวิจัย และตอบข้อซักถามของอาสาสมัครทั้งหมด โดยผู้วิจัยสอบถามถึงกิจวัตรประจำวัน อาชีพหรือลักษณะงาน การออกกำลังกาย ประวัติการเจ็บป่วยและโรคประจำตัว เพื่อคัดกรองในเบื้องต้นด้วยแบบสอบถาม
2. อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์คัดกรองจากแบบสอบถามเบื้องต้น ได้รับการนัดมาเพื่อตรวจคัดกรองทางห้องปฏิบัติการ
3. อาสาสมัครที่ได้รับการนัดมาเพื่อตรวจคัดกรองทางห้องปฏิบัติการ ต้องงดรับประทานอาหารและเครื่องดื่ม ยกเว้น น้ำเปล่า เป็นเวลา 12 ชั่วโมงก่อนเวลาเจาะเลือดเพื่อคัดกรองโรคเบาหวาน (blood glucose) และไขมันในเลือดสูง (lipid profile) หากมีผลการตรวจเลือดจากการตรวจสุขภาพประจำปีภายใน 1 ปี สามารถดูผลจากใบตรวจสุขภาพแทนได้
4. อาสาสมัครพักในท่านอน ในห้องอุณหภูมิประมาณ 22-23 ℃, RH 70± 5% เป็นเวลา 30 นาที เพื่อวัด EKG, BP และ HR ในขณะพักท่านอน
5. วัดองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่อง Bioelectrical Impedance Analysis (Inbody 770, Korea) โดยให้อาสาสมัครดื่มน้ำเป็นปริมาณ 600 มิลลิลิตร ก่อนมาถึงห้องปฏิบัติการ 2 ชั่วโมงและถ่ายปัสสาวะก่อนชั่งน้ำหนัก และทำการตรวจวัดองค์ประกอบของร่างกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. ทดลองออกกำลังกายบน treadmill ประมาณ 10 นาที เพื่อให้อาสาสมัครคุ้นเคยและตรวจสอบความสามารถในการออกกำลังกายบน treadmill โดยไม่มีอาการผิดปกติที่อาจก่อให้เกิดอันตราย และเพื่อกำหนดความหนักที่ 50%HRR ที่จะใช้สำหรับการทดสอบออกกำลังกายก่อนเข้าโปรแกรมการฝึก หากผ่านการคัดเลือก

<u>ข้อปฏิบัติของอาสาสมัครกรณีผ่านเกณฑ์การคัดเลือก</u>

1. อาสาสมัครได้รับการชี้แจงเรื่องอาหารสุขภาพโดยนักโภชนาการ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พร้อมแนะนำในภาคการปฏิบัติ เรียนรู้และทดลองการจดบันทึกปริมาณอาหารประจำวัน (daily food log)
2. อาสาสมัครทำการจดบันทึกปริมาณอาหารประจำวันเป็นเวลา 3 วัน/สัปดาห์ ในระยะเวลา 1 เดือน และบันทึกอาหารได้ถูกนำไปวิเคราะห์ macronutrients และ micronutrients ที่บริโภคไปเป็นพลังงานต่อวัน รวมถึงสัดส่วนเปอร์เซนต์ของ macronutrients ที่บริโภคโดยเฉลี่ยต่อวันโดยนักโภชนาการด้วยโปรแกรม Inmucal (version 3, 2013) ของสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล
3. ปริมาณพลังงานที่บริโภครวมถึงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของ macronutrients ถูกสรุปเป็นค่าเฉลี่ยของทั้ง 1 เดือนต่อบุคคล
4. เมื่อครบกำหนด 1 เดือนในการ stabilize อาหารแล้ว จึงทำ pre-training tests ในช่วง 7 วันแรกของรอบเดือน
5. อาสาสมัครมีน้ำหนักตัวคงที่ (เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2% ของน้ำหนักเริ่มต้นในระยะเวลา 3 สัปดาห์) ก่อนเข้าร่วมการฝึกออกกำลังกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>โปรแกรมการอบรมเรื่องอาหารเพื่อสุขภาพโดยนักโภชนาการ (diet education)</u>

การอบรมใช้เวลาทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง มีเนื้อหา ดังต่อไปนี้

- แนวทางการเลือกรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ 90 นาที
    - สารอาหารหลักประเภทคาร์โบไฮเดรท ไขมัน และโปรตีน
    - สารอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น วิตามินและเกลือแร่
    - การลดหวาน มัน เค็มในอาหารแต่ละมื้อ
    - อาหารที่ควรหลีกเลี่ยงหรือระมัดระวังในการรับประทาน
    - การเลือกซื้อและอ่านฉลากอาหาร

- การคำนวณปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับในแต่ละวัน 30 นาที
- การจดบันทึกปริมาณอาหารประจำวัน (daily food log) 30 นาที
- ทดสอบการจดบันทึกปริมาณอาหารประจำวัน (daily food log) 30 นาที

ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับแจกเอกสารการเรียนและแบบบันทึกปริมาณอาหารประจำวัน (daily food log) คนละ 1 ชุด

<u>คำแนะนำก่อนเริ่มทำการทดสอบ pre-training test และ post-training test</u>

อาสาสมัครปฏิบัติตามคำแนะนำก่อนทำการทดสอบทั้ง pre และ post-training test ดังนี้

1. รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพตามที่ได้รับการอบรม และรับประทานอาหารตามสัดส่วนที่คำนวณได้ตามน้ำหนักของแต่ละบุคคลโดยนักโภชนาการ (diet stabilization) รวมถึงงดการเข้าโปรแกรมออกกำลังกายอื่น ๆ เป็นเวลา 1 เดือนก่อนเข้าทำการทดสอบ
2. งดอาหารเป็นเวลา 8 ชั่วโมงก่อนเข้าทำการทดสอบ แต่สามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามปกติ
3. งดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
4. งดเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน เช่น ชา กาแฟ น้ำอัดลมอย่างน้อย 8 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
5. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องไม่บริจาคเลือดมาก่อนอย่างน้อย 1 เดือนก่อนทำการทดสอบ และตลอดระยะเวลาที่เข้าร่วมการวิจัย
6. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเตรียมเสื้อผ้า รองเท้า และถุงเท้าที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบมาเองทุกครั้ง เพื่อสุขอนามัยที่ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>คำแนะนำระหว่างเข้าร่วมการวิจัย</u>

1. รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพตามที่ได้รับการอบรม และรับประทานอาหารตามสัดส่วนที่คำนวณได้ตามน้ำหนักของแต่ละบุคคลโดยนักโภชนาการ
2. งดการเข้าโปรแกรมออกกำลังกายอื่นๆ
3. งดการบริจาคเลือด
4. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเตรียมเสื้อผ้า รองเท้า และถุงเท้าที่เหมาะสมสำหรับการออกกำลังกายมาเองทุกครั้ง เพื่อสุขอนามัยที่ดี

3.10 กระบวนการในการทดสอบและการวัดตัวแปร

<u>การทดสอบก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (pre-training tests)</u>

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับอาหาร 3 มื้อจากผู้วิจัย เพื่อรับประทาน ในวันก่อนทำการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง และเป็นอาหารที่เหมือนกันทุกครั้ง เพื่อลดความผันแปรของอาหารที่ส่งผลต่อ metabolism
2. การทดสอบทำภายในช่วง 7 วันแรกของรอบประจำเดือน (early follicular phase)
3. ก่อนเริ่มทำการทดสอบ ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนพักบนเตียง ในห้องอุณหภูมิ 22-23 °C, RH 70± 5% ติดอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ ไว้ที่ลำตัวส่วนอกซึ่งมีสายยางยืดรัดไว้ และสวมอุปกรณ์คล้ายนาฬิกาที่เป็นตัวรับสัญญาณไว้ที่ข้อมือ เพื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจที่ต่ำที่สุด รวมถึงวัดความดันโลหิต ภายหลังจากนอนพัก 10 นาที ทั้งนี้มีการวัด substrate oxidation และ energy expenditure ในช่วงที่นอนพัก 30 นาที และจะวิเคราะห์ผลดังกล่าวจาก 15 นาทีสุดท้าย
4. ทำการทดสอบโดยกำหนดความหนักในการออกกำลังกายจาก HR_{rest} ที่วัดจากวันทำการคัดกรอง (screening) และคำนวณจากสูตรของ Karvonen ดังนี้

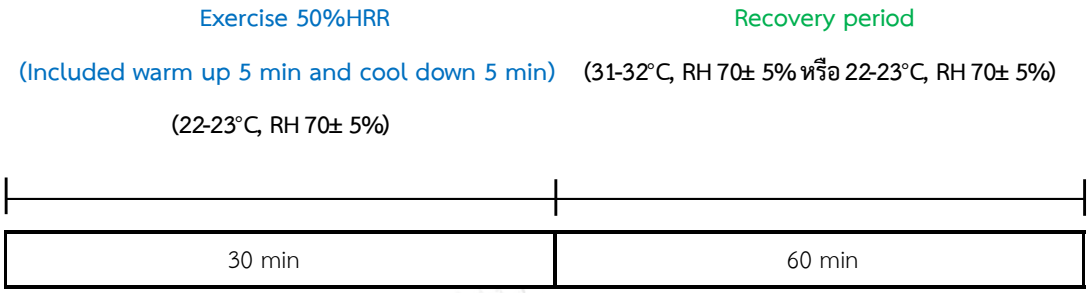
Target heart rate (THR) = [(Age predicted HRmax – HRrest) x %intensity] + HRrest

โดย HRmax มาจาก 220-อายุ[127] และแทนค่า %intensity ด้วย 50% ในการทดสอบซึ่ง speed และ grade ที่ใช้นั้นอ้างอิงมาจากวันที่ทำการทดสอบบน treadmill ในวันคัดกรอง (screening) และทำการออกกำลังกายเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 22-23 °C, RH 70±5% ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สถานประกอบกิจการด้านการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพใช้โดยส่วนใหญ่[39] ดังภาพที่ 3.1

5. ภายหลังจากการออกกำลังกายเสร็จ มีการนั่งพักฟื้นในอุณหภูมิ (31-32°C, RH 70± 5%[38] และ 22-23°C, RH 70±5%[39]) เป็นเวลา 60 นาทีที่ถูกสุ่มไว้ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.1 และผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนกลับมาทดสอบอีกครั้งเหมือนเดิมแต่ในอุณหภูมิแวดล้อมที่แตกต่างกันไป โดยเว้นระยะเวลาระหว่างการทดสอบทั้งสองครั้งเป็นเวลา 2 วัน
6. ระหว่างการทดสอบมีการติดอุปกรณ์เพื่อวัดแก๊สจากลมหายใจชนิดพกพาให้กับผู้เข้าร่วมงานวิจัยตลอดระยะเวลาการออกกำลังกายและการนั่งพักฟื้น โดยเครื่องวัดแก๊สจากลม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หายใจจะ calibrate แก๊สด้วย standard gas (O_2 16%, CO_2 4% และ N_2 80%) ก่อนทำการทดสอบทุกครั้ง



ภาพที่ 3.1 การทดสอบการออกกำลังกายและการนั่งพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกาย pre-training tests

<u>การเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย</u>

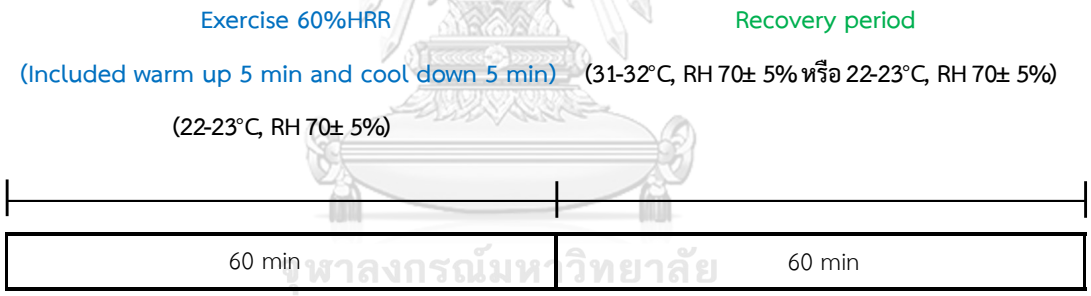
1. เริ่มเข้าโปรแกรมการฝึก หลังจากการทดสอบ pre-training tests โดยการกำหนดความหนักในการฝึก ดังนี้

   นำค่า HR_{rest} ที่วัดจากวันทำการคัดกรอง (screening) มาคำนวณหาความหนักของการออกกำลังกายบนลู่วิ่งสายพานจากสูตรของ Karvonen ที่ระดับ 50-60% HRR[12]
2. การฝึกออกกำลังกายเริ่มที่เวลา 30 นาที โดยเพิ่มสัปดาห์ละ 10 นาทีจนครบ 60 นาที[27]
3. ความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มสัปดาห์ละ 5% จนครบ 60% HRR
4. ออกกำลังกายระดับปานกลางที่ความหนักระดับ 50-60% HRR ในห้องอุณหภูมิ 22-23 °C, RH 70±5% เป็นเวลา 30-60 นาที (นับรวม Warm up 5 นาที และ Cool down 5 นาที) เป็นระยะเวลา 1 เดือน (ออกกำลังกาย 4 วัน/สัปดาห์)
5. เมื่อออกกำลังกายเสร็จ ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพักต่อในอุณหภูมิ 22-23 °C, RH 70±5% จนกว่าอัตราการเต้นของหัวใจจะลดลงต่ำกว่า 100 bpm[12] และความดันเลือดลดลงเข้าสู่ภาวะปกติ จึงเสร็จสิ้นการฝึกในแต่ละครั้ง
6. ตลอดการฝึกออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมวิจัยติดอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Polar T31, Sweden) เพื่อช่วยควบคุมการฝึกให้อยู่ในช่วง heart rate ที่กำหนดไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การทดสอบหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (post-training tests)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับอาหาร 3 มื้อจากผู้วิจัย เพื่อรับประทาน ในวันก่อนทำการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง และเป็นอาหารที่เหมือนกันทุกครั้ง เช่นเดียวกับ pre-training tests
2. การทดสอบทำห่างจากวันสุดท้ายที่มีการฝึกออกกำลังกาย 2 วันและทำภายในช่วง 7 วันแรกของรอบประจำเดือน (early follicular phase)
3. ทำการทดสอบโดยกำหนดความหนัก 60% HRR และทำการออกกำลังกายเป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 22-23 °C, RH 70±5% ดังภาพที่ 3.2
4. ภายหลังจากการออกกำลังกายเสร็จ มีการนั่งพักฟื้นในอุณหภูมิ (31-32°C, RH 70± 5%[38] และ 22-23°C, RH 70±5%[39]) เป็นเวลา 60 นาทีที่ถูกสุ่มไว้ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.2 โดยเว้นระยะเวลาระหว่างการทดสอบทั้งสองครั้งเป็นเวลา 2 วัน
5. ระหว่างการทดสอบมีการติดอุปกรณ์เพื่อวัดแก๊สจากลมหายใจชนิดพกพาให้กับผู้เข้าร่วมงานวิจัยตลอดระยะเวลาการออกกำลังกายและการนั่งพักฟื้น



ภาพที่ 3.2 การทดสอบการออกกำลังกายและการนั่งพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกาย post-training tests

การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ขณะพัก

1. ทำการวัดก่อนเริ่มทำการทดสอบ pre-training test และ post-training test
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนพักบนเตียงในห้องอุณหภูมิ 22-23 °C, RH 70± 5% เป็นเวลา 30 นาที
3. ผู้วิจัยทำการวัดแก๊สจากลมหายใจของผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นเวลา 15 นาทีด้วยเครื่อง gas analyzer ในท่านอน[128] ดังภาพที่ 3.3
4. ค่า substrate oxidation และ energy expenditure ต้องนำค่า VO_2 และ VCO_2 บนหน้าจอแสดงผล ไปคำนวณตามสูตร Peronnet and Massicotte[121]

สูตรการคำนวณ substrate oxidation

Fat oxidation (mg/min) = 1.6946 VO_2 (mL/min) – 1.7012 VCO_2 (mL/min)

CHO oxidation (mg/min) = 4.585 VCO_2 (ml/min) – 3.2255 VO_2 (ml/min)

สูตรการคำนวณ energy expenditure

Energy expenditure (kJ/min) = 16.89 VO_2 (L/min) + 4.84 VCO_2 (L/min)

ภาพที่ 3.3 การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากลมหายใจแบบพกพาขณะพัก

การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ขณะทดสอบการออกกำลังกาย

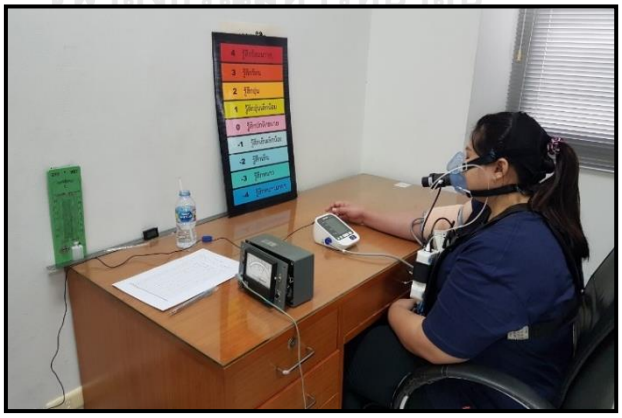
1. ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องวัดแก๊สชนิดพกพาไว้ที่ตัวขณะทดสอบออกกำลังกายที่อุณหภูมิ 22-23 °C, RH 70± 5% เป็นเวลา 30 นาที (pre-training tests) และ 60 นาที (post-training tests) ดังภาพที่ 3.4
2. ค่า substrate oxidation และ energy expenditure ต้องนำค่า VO_2 และ VCO_2 บนหน้าจอแสดงผล ไปคำนวณตามสูตร Peronnet and Massicotte[121]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 3.4 การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากลมหายใจแบบพกพาขณะทดสอบการออกกำลังกาย

<u>การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ขณะนั่งพักหลังทดสอบการออกกำลังกาย</u>

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องวัดแก๊สชนิดพกพาไว้ที่ตัวขณะนั่งพักที่อุณหภูมิร้อนและเย็นตามลำดับการสุ่ม (อุณหภูมิร้อน; 31-32 °C, RH 70± 5% และอุณหภูมิเย็น; 22-23 °C, RH 70± 5%) เป็นเวลา 60 นาที ภายหลังการทดสอบการออกกำลังกาย pre และ post-training tests ดังภาพที่ 3.5
2. ค่า substrate oxidation และ energy expenditure ต้องนำค่า VO_2 และ VCO_2 บนหน้าจอแสดงผล ไปคำนวณตามสูตร Peronnet and Massicotte[121]



ภาพที่ 3.5 การวัด substrate oxidation และ energy expenditure ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากลมหายใจแบบพกพาขณะนั่งพักในอุณหภูมิร้อนและเย็นภายหลังการทดสอบการออกกำลังกาย

การวัดระดับความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE)

ผู้เข้าร่วมวิจัยบอกระดับความเหนื่อยในขณะทดสอบการออกกำลังกายทุก 2 นาทีโดยใช้ RPE Borg scale 6-20 ซึ่งเป็นตัวเลข 15 ระดับ คือ 6 รู้สึกสบายมาก ๆ ตัวเลขจะสูงขึ้นตามระดับความรู้สึกเหนื่อยจนถึงตัวเลข 20 คือ รู้สึกเหนื่อยมากที่สุด[129]

การวัดความรู้สึกรับรู้ต่ออุณหภูมิ (Thermal sensation)

ผู้เข้าร่วมวิจัยบอกระดับความรู้สึกร้อนเย็นขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็นทุก 5 นาทีเพื่อเป็นการเฝ้าระวังผลกระทบต่อความร้อนเย็นของผู้เข้าร่วมงานวิจัยโดยใช้ scale -4 ถึง 4 ซึ่งเป็นตัวเลข 9 ระดับ คือ -4 รู้สึกหนาวมาก ๆ ตัวเลขจะสูงขึ้นตามระดับความรู้สึกร้อนจนถึงตัวเลข 4 คือ รู้สึกร้อนมาก ๆ[130]

การวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง (Axillary temperature; T_{axil})

แม้เป็นการออกกำลังกายในที่เย็น เพื่อเป็นการเฝ้าระวังเรื่องความปลอดภัย อุณหภูมิของร่างกาย ได้ทำการวัดขณะทดสอบการออกกำลังกายและขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น โดยการนำสาย thermometer probe ที่หุ้มพลาสติกสอดเหน็บไว้บริเวณรักแร้ข้างใดข้างหนึ่งภายในร่มผ้าเพื่อมิให้สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอกและดูอุณหภูมิทุก 2 และ 5 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง (YSI Tele-Thermometer, Yellow Springs Instrument Co., Inc., USA)[126] ทั้งนี้ในขณะพักฟื้น ได้นำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวหนังทุก 5 นาทีจนถึง 60 นาทีมาเปรียบเทียบเทียบระหว่างการพักฟื้นในทั้งสองอุณหภูมิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การควบคุมอาหาร

เพื่อควบคุมให้อาหารมีผลกระทบต่องานวิจัยน้อยที่สุด ผู้วิจัยมีการควบคุมอาหารในผู้เข้าร่วมวิจัยดังนี้

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยจดบันทึกปริมาณอาหารประจำวัน (daily food log) ช่วงก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายจำนวน 3 วัน/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยจดบันทึกปริมาณอาหารประจำวัน (daily food log) ช่วงเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายจำนวน 1 วัน/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน
3. บันทึกปริมาณอาหารประจำวัน (daily food log) ของผู้เข้าร่วมวิจัยในข้อ 1 และ 2 ได้ถูกนำส่งให้แก่ผู้ทำวิจัยทุกสัปดาห์ เพื่อประเมินผลพลังงานที่บริโภค รวมถึงวิเคราะห์สัดส่วน

เปอร์เซนต์ของ macronutrients ที่บริโภคโดยเฉลี่ยต่อวัน โดยนักโภชนาการด้วยโปรแกรม Inmucal ของสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

4. ในช่วงการทดสอบ pre และ post-training tests ผู้วิจัยได้ควบคุมอาหารให้แก่ผู้เข้าร่วมวิจัย โดยแจกอาหารให้แก่ผู้เข้าร่วมวิจัย 1 วัน (3 มื้อ) ก่อนวันทดสอบ[27] ดังนี้

มื้อเช้า	ข้าวมันไก่ (7-Fresh)	619 kcal
	นมรสช็อกโกแลตมอลต์ (ไมโล) 250 ml	210 kcal
มื้อเที่ยง	ผัดมักกะโรนีไก่ (Easy choice)	410 kcal
	นมถั่วเหลือง (Lactasoy) 300 ml	260 kcal
อาหารว่างระหว่างมื้อ	แอปเปิ้ล 1 ผล	63 kcal
มื้อเย็น	ข้าวผัดกุ้ง (7-Fresh)	595 kcal
	นมรสจืด (Foremost) 225 ml	150 kcal
	รวมเป็น	**2,307 kcal**

<u>การดื่มน้ำ (Water replacement)</u>

1. ขณะออกกำลังกายและขณะพักฟื้นในวันทดสอบ ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถถอด mask ที่วัดแก๊สออกเพื่อดื่มน้ำได้เป็นระยะทุก 20 นาที ในปริมาณตามความต้องการ และปริมาณน้ำที่ดื่มจะถูกจดบันทึกไว้ทุกครั้ง
2. ช่วงเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถดื่มน้ำได้เป็นระยะๆ ในปริมาณตามความต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การควบคุมอุณหภูมิแวดล้อม</u>

1. ที่อุณหภูมิร้อน 31-32 °C, โดยใช้เครื่องทำความร้อน Infrared heater ในห้องจำลองสภาพอากาศ โดยทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศทุก 1 นาที และจดบันทึกเป็นค่าเฉลี่ยทุก 5 นาทีจนครบ 60 นาที
2. ที่อุณหภูมิเย็น 22-23 °C, โดยใช้เครื่องปรับอากาศ ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศทุก 1 นาที และจดบันทึกเป็นค่าเฉลี่ยทุก 5 นาทีจนครบ 60 นาที

การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดเป็นความชื้นสัมพัทธ์ของประเทศไทยในช่วงฤดูร้อนที่ 70±5%[38] วัดได้จากเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (wet and dry thermometer) มีการจดบันทึกเป็นค่าเฉลี่ยทุก 5 นาที

3.11 เกณฑ์ยุติการเข้าร่วมวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเข้าร่วมการฝึกน้อยกว่า 12 ครั้ง
2. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยมีอาการผิดปกติทางด้านร่างกาย เช่น หน้ามืด วิงเวียนศีรษะ เจ็บแน่นหน้าอก ผิวหนังซีดจางผิดไปจากปกติ เจ็บข้อเข่า ข้อเท้าจนทนไม่ไหว มีอาการเจ็บปวดที่กล้ามเนื้อจนเดินต่อไปไม่ไหว
3. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่สามารถควบคุมการเดินหรือวิ่งในความเร็วที่กำหนดไว้ได้
4. อุณหภูมิของร่างกายสูงเกินกว่า 38 °C ขณะทำการทดสอบออกกำลังกายและพักฟื้น
5. ระดับความเหนื่อยในขณะออกกำลังกาย หรือ RPE อยู่ที่ระดับ 17 (6-20 scale) ขึ้นไป
6. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการออกกำลังกายหรือทดสอบขัดข้อง
7. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยขอหยุดการออกกำลังกายหรือทดสอบ
8. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่สามารถทำตามข้อตกลงในงานวิจัยได้

3.12 ผลลัพธ์ (Outcome)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Primary outcome

Recovery fat oxidation วัดขณะนั่งพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็นหลังจากเสร็จการทดสอบการออกกำลังกายระดับปานกลาง

Secondary outcomes

- Resting fat oxidation ได้จากการวัดขณะพักในท่านอนก่อนทำ pre และ post-training tests
- Exercise fat oxidation ได้จากการวัดขณะทดสอบออกกำลังกาย pre-training และ post-training tests

3.13 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. แบบบันทึกข้อมูล

2. ที่วัดส่วนสูง
3. สายวัดรอบเอวมาตรฐาน
4. RPE Borg scale และ Thermal Sensation scale
5. เครื่องปรับอากาศ (Trane® MCX518 EBOTBA,Thailand)
6. เครื่องทำความร้อน (Infrared heater, SL Heater Co., Ltd., Bangkok, Thailand)
7. เครื่อง Bioelectrical impedance analysis (Inbody 770, Korea)
8. Gas analyzer (Jaeger, Oxycon mobile, Germany) พร้อมอุปกรณ์
9. Treadmill (Nautilus T518LC, USA)
10. ชุดวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย (Polar T31, Sweden)
11. เครื่องวัดความดันโลหิต (OMRON HEM – 7130, OMRON Healthcare Co., Ltd., Japan)
12. เครื่องวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง สายวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง (YSI Tele-Thermometer and YSI 400 Series, Yellow Springs Instrument Co., Inc., USA) และพลาสติกหุ้มสายวัดอุณหภูมิ
13. เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (FLUKE ® 52 II THERMOMETER,©2004-2011 Fluke Corporation, China)
14. คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผล (MSI, GP62 7QF – 1813XTH (Leopard Pro), Taiwan)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.14 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ สาขาเวชศาสตร์การกีฬา อาคารแพทยพัฒน์ ชั้น 4 คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.15 การรวบรวมข้อมูล (Data collection)

การรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

<u>การคำนวณ substrate oxidation</u>

ข้อมูลทั้งหมดได้มาจากการวัดลมหายใจ (breath by breath) ผ่าน mask ที่มีสายเชื่อมต่อกับ mobile gas analyzer และจะแสดงผลของ VO_2 และ VCO_2 บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นบันทึกค่าเฉลี่ยทุก 5 นาที (ใน 1 นาที มีการหายใจโดยเฉลี่ย 12 ครั้ง

จะได้ข้อมูลทั้งหมด 60 time points/5 นาที) นำค่าเฉลี่ยของ VO_2 และ VCO_2 ไปคำนวณหาค่า Fat oxidation และ Carbohydrate oxidation โดยใช้สูตร Peronnet and Massicotte[121] ดังนี้

Fat oxidation (mg/min) = 1.6946 VO_2 (mL/min) – 1.7012 VCO_2 (mL/min)

CHO oxidation (mg/min) = 4.585 VCO_2 (ml/min) – 3.2255 VO_2 (ml/min)

ต่อมานำค่า Fat oxidation และ Carbohydrate oxidation ที่คำนวณได้ในทุก 5 นาทีไป plot graph และหาค่า Area under curve และนำข้อมูลดังกล่าวไปคำนวณทางสถิติต่อไป

<u>การคำนวณ energy expenditure</u>

คำนวณจากค่า VO_2 และ VCO_2 ที่บันทึกค่าทุก 1 นาทีและนำมาเฉลี่ย จากนั้นนำไปคำนวณโดยใช้สูตร Peronnet and Massicotte[121] ดังนี้

Energy expenditure (kJ/min) = 16.89 VO_2 (L/min) + 4.84 VCO_2 (L/min)

ซึ่งสามารถแปลงหน่วยจาก kJ/min เป็น kcal/min โดยนำค่า kJ ไปคูณกับ 0.239006 kcal[131]

<u>Primary outcome</u>

Recovery fat oxidation ทำการวัดขณะนั่งพักฟื้นในที่อุณหภูมิร้อน 31-32 ℃, RH 70±5% และเย็น 22-23 ℃, RH 70±5% จะรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เวลาที่ 0-60 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>Secondary outcomes</u>

- Resting fat oxidation ทำการวัดในท่านอนในห้องอุณหภูมิ 22-23 ℃, RH 70±5% จะรวบรวมข้อมูลเป็นเวลา 15 นาที ก่อนทำ pre และ post-training tests
- Exercise fat oxidation ทำการวัดขณะทดสอบการออกกำลังกายระดับปานกลางที่ 50 %HRR เป็นเวลา 30 นาที (pre-training tests) และ 60% HRR เป็นเวลา 60 นาที (post-training tests) จะรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เวลาที่ 10-25 นาที (pre-training tests) และ 10-55 นาที (post-training tests)

3.16 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis)

1. การประเมินการกระจายตัวปกติของข้อมูลใช้ Shapiro – Wilk test (จำนวนกลุ่มตัวอย่างน้อยกว่า 50)
2. ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) เพื่ออธิบายลักษณะกลุ่มตัวอย่าง (characteristics of subjects) จะได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน (Mean and standard deviations)
3. ใช้สถิติ Linear mixed-model for cross-over design ในการวิเคราะห์ข้อมูล recovery fat oxidation ขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นภายหลังการทดสอบออกกำลังกายในระดับปานกลาง เพื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายหลังเสร็จสิ้นการเข้าโปรแกรมการฝึกมา 1 เดือน
4. ใช้สถิติ Paired t-test ในการวิเคราะห์ข้อมูล resting fat oxidation และ exercise fat oxidation เปรียบเทียบก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายในระดับปานกลาง
5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรม SPSS Version 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางต่อการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็นหลังการทดสอบการออกกำลังกายในหญิงอ้วน โดยการเปรียบเทียบผลการพักฟื้นระหว่างในที่ร้อนและเย็นเป็นเวลา 60 นาที

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเข้ามาทำการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนัก 50% HRR, เป็นเวลา 30 นาที และเข้าพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็นอีก 60 นาที ก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (pre-training tests) เป็นจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งจะเข้าพักฟื้นในอุณหภูมิที่แตกต่างกันจากการสุ่มลำดับอย่างเท่าเทียมจนครบจำนวน 20 คน

ภายหลังจากการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 1 เดือน ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะเข้ามาทำการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนัก 60% HRR, เป็นเวลา 60 นาที (post-training tests) จำนวน 2 ครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งจะสุ่มลำดับการเข้าพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็นเป็นเวลา 60 นาทีเช่นเดียวกันกับการทดสอบ pre-training tests

คุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิงที่มีภาวะอ้วนจำนวน 20 คน ถูกถอนตัวจากงานวิจัยจำนวน 4 คน เนื่องจากมีความผิดปกติของประจำเดือนที่มาเร็วกว่ากำหนด 1 คน และประจำเดือนมาช้าเกินกว่ากำหนด 1 คน ทั้งนี้มีข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่พบปัญหาเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินชำรุดขณะใช้เก็บตัวอย่างอีกจำนวน 2 คน ดังนั้นคงเหลือข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่เสร็จสมบูรณ์จำนวนทั้งสิ้น 16 คน ซึ่งคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

กลุ่มตัวอย่างทั้ง 16 คน ได้เข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายระดับปานกลางในระยะเวลา 1 เดือน และมีการเข้าฝึกโดยเฉลี่ย 12.8 ± 1.3 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมงานวิจัย (N = 16)

คุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	Mean ± SD	Range
อายุ (ปี)	33.5 ± 6.7	23 - 43
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	86.0 ± 13.3	68.0 – 107.4
ส่วนสูง (เมตร)	1.6 ± 0.1	1.51 – 1.68
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อเมตร^2)	33.4 ± 3.7	28.9 – 39.7
เปอร์เซ็นต์ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	45.4 ± 4.6	37.2 - 51.3
Fasting blood glucose (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	90.8 ± 5.8	81 - 98
HDL-C (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	48.1 ± 5.5	40 - 60
LDL-C (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	119.7 ± 14.6	89.0 – 156.0
Triglycerides (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	102.9 ± 28.6	48 - 150

HDL-C = High-density lipoprotein cholesterol, LDL-C = Low-density lipoprotein cholesterol

การควบคุมอาหาร (Diet stabilization) ช่วงก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายและระหว่างการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

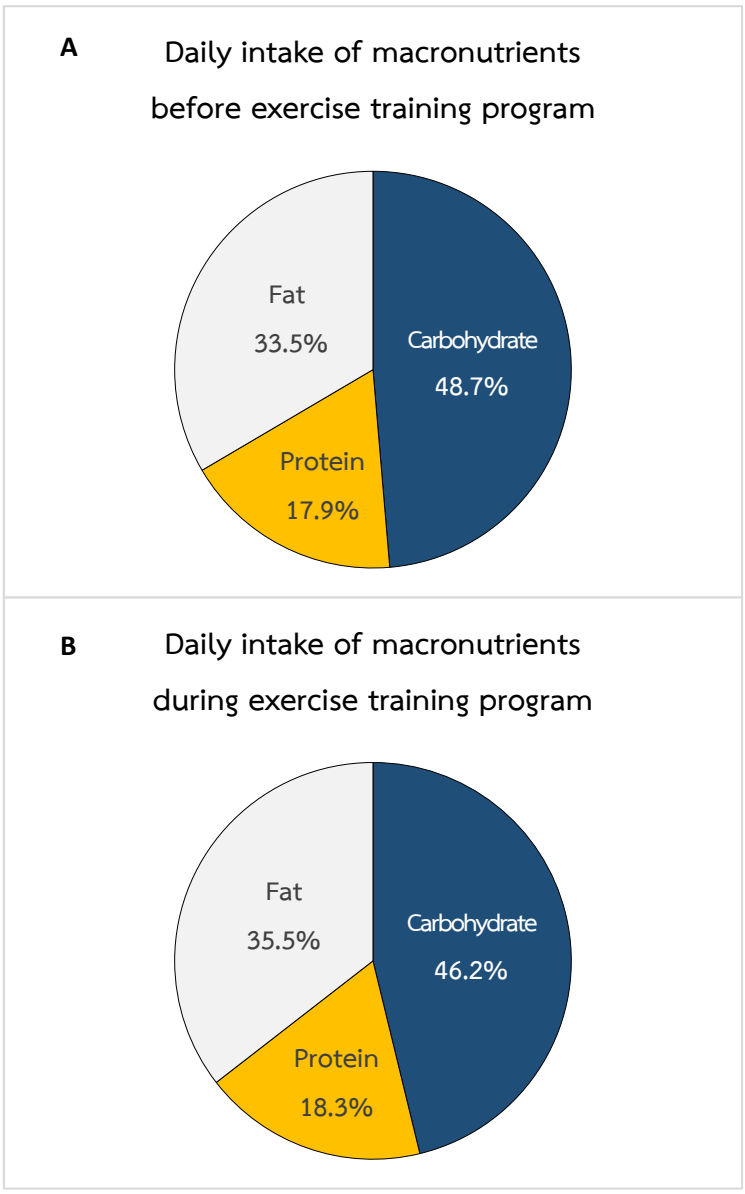
การควบคุมอาหารหรือ diet stabilization เป็นระยะเวลา 1 เดือนก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายและระหว่างการฝึกออกกำลังกายเป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานและสัดส่วน macronutrients โดยเฉลี่ยที่ได้รับในทั้ง 2 ช่วง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานและสัดส่วน macronutrients ที่บริโภคช่วงก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายและระหว่างการฝึกออกกำลังกาย

	Before Exercise training program	During exercise training program	p-value
Diet stabilization			
Energy (kcal.day^{-1})	1822.3 ± 479.6	1805.7 ± 294.5	0.837
Carbohydrate (g.day^{-1})	227.3 ± 106.6	204.4 ± 47.4	0.288
Protein (g.day^{-1})	79.1 ± 14.1	77.9 ± 13.8	0.791
Fat (g.day^{-1})	65.2 ± 12.6	67.5 ± 13.6	0.431

มีสัดส่วนการบริโภค Macronutrients โดยเฉลี่ยในแต่ละวันของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ในแต่ละช่วง ดังภาพที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ค่าปกติ Thai DRI 2546: Carbohydrate 45-65%, Protein 10-15% และ Fat 20-35%

ภาพที่ 4.1 แสดงค่าสัดส่วน carbohydrate, fat และ protein จาก total daily energy intake ในแต่ละวัน A) ช่วงก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย B) ช่วงระหว่างการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

อุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายและขณะพักฟื้น และ อุณหภูมิร่างกายขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็น ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

อุณหภูมิแวดล้อมและค่าความชื้นสัมพัทธ์ขณะทำการทดสอบการออกกำลังกายช่วง pre-training tests (50% HRR, 30 นาที) และ post training tests (60% HRR, 60 นาที) รวมถึงช่วงพักฟื้นในที่ร้อนและเย็น 60 นาที มีค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 4.3 และอุณหภูมิร่างกายซึ่งวัดบริเวณใต้รักแร้ ขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นภายหลังการทดสอบการออกกำลังกาย pre-training tests และ post-training tests แม้จะมีแนวโน้มของความแตกต่างของอุณหภูมิร่างกาย แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ขณะทดสอบการออกกำลังกาย pre-training tests, post-training tests และขณะพักฟื้น

	ขณะออกกำลังกาย		ขณะพักฟื้น	
	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	Relative humidity (%)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	Relative humidity (%)
Pre-training test				
HT	22.7 ± 0.4	69.6 ± 3.8	31.8 ± 0.5	69.5 ± 3.8
CT	22.6 ± 0.4	69.7 ± 4.0	22.5 ± 0.3	69.2 ± 2.7
Post-training test				
HT	22.7 ± 0.3	68.4 ± 2.4	31.6 ± 0.4	69.5 ± 3.3
CT	22.6 ± 0.4	70.5 ± 3.3	22.6 ± 0.2	70.8 ± 2.3

HT = การพักฟื้นในที่ร้อน ภายหลังจากการทดสอบการออกกำลังกาย

CT = การพักฟื้นในที่เย็น ภายหลังจากการทดสอบการออกกำลังกาย

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิร่างกายขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น

	Body temperature (°C)	p-value
Pre-training test		
HT	36.0 ± 0.9	0.106
CT	35.5 ± 0.9	
Post-training test		
HT	36.1 ± 0.4	0.058
CT	35.7 ± 0.8	

HT = การพักฟื้นในอุณหภูมิร้อน

CT = การพักฟื้นในอุณหภูมิเย็น

ผลของ Exercise training ต่อ substrate oxidation และ energy expenditure ในระหว่าง post-exercise recovery ในที่ร้อนและในที่เย็น

การเปรียบเทียบ substrate oxidation และ energy expenditure ขณะพักฟื้นที่อุณหภูมิร้อนและเย็นวิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติ Linear mixed-model for cross-over design โดยการพักฟื้นในที่เย็นมี fat oxidation เพิ่มขึ้น 38.9% ซึ่งมีผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 และสัดส่วนของ substrate oxidation ดังแสดงในภาพที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทั้งนี้ผลของ substrate oxidation และ energy expenditure เปรียบเทียบระหว่างสองอุณหภูมิในแต่ละช่วง ไม่มี carryover effect ระหว่างกัน กล่าวคือ ไม่มีผลของการพักฟื้นในอุณหภูมิก่อนหน้ามากระทบผลของการพักฟื้นในอุณหภูมิลำดับถัดไป

Pre-training tests

1. Fat oxidation ในที่เย็นมากกว่าในที่ร้อน
2. Carbohydrate oxidation ในที่ร้อนมากกว่าในที่เย็น
3. Energy expenditure ในที่ร้อนและเย็นไม่มีความแตกต่างกัน

Post-training tests

1. Fat oxidation ในที่เย็นมากกว่าในที่ร้อน

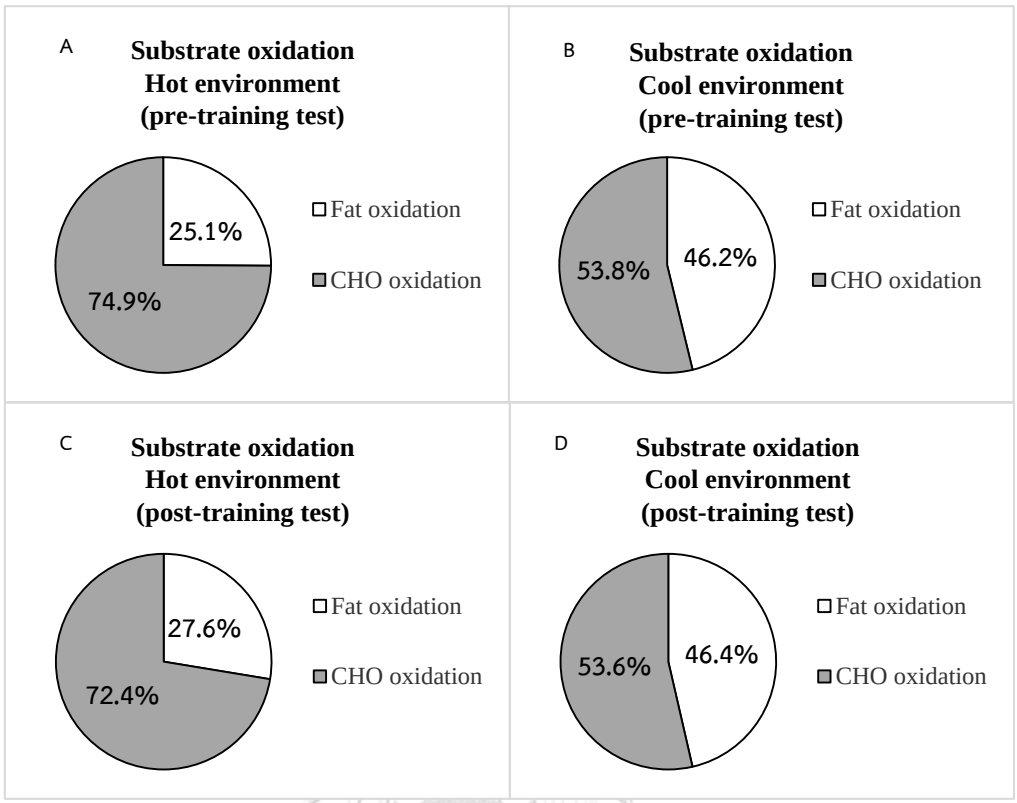
2. Carbohydrate oxidation ในที่ร้อนมากกว่าในที่เย็น
3. Energy expenditure ในที่ร้อนและเย็นไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Recovery substrate oxidation และ Recovery energy expenditure หลังทดสอบการออกกำลังกาย ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16)

	Hot environment	Cool environment	p-value	Carryover effect
Pre-training test				
Recovery Fat oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	38.0 ± 18.4	52.8 ± 27.4	0.01*	0.570
Recovery CHO oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	113.4 ± 48.3	61.6 ± 35.4	< 0.001*	0.102
Energy Expenditure ($kcal.h^{-1}$)	73.3 ± 12.5	68.7 ± 16.5	0.314	0.696
Post-training test				
Recovery Fat oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	39.7 ± 27.5	56.0 ± 24.6	< 0.001*	0.969
Recovery CHO oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	104.0 ± 46.9	64.6 ± 40.5	< 0.001*	0.773
Energy Expenditure ($kcal.h^{-1}$)	70.5 ± 19.6	71.3 ± 13.7	0.846	0.272

***** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการพักฟื้นในที่ร้อนและเย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.2 แสดงสัดส่วน substrate oxidation ขณะพักฟื้นในทั้งสองอุณหภูมิก่อนการเข้าโปรแกรมฝึกออกกำลังกาย A) อุณหภูมิร้อน (pre-training test) B) อุณหภูมิเย็น (pre-training test) และหลังการเข้าโปรแกรมฝึกออกกำลังกาย C) อุณหภูมิร้อน (post-training test) D) อุณหภูมิเย็น (post-training test)

หมายเหตุ: CHO oxidation หมายถึง carbohydrate oxidation

Total energy from substrate oxidation คำนวณจาก energy from fat oxidation + energy from carbohydrate oxidation (energy equivalent; fat = 9 kcal/gram และ carbohydrate = 4 kcal/gram)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบ Thermal sensation ขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

การเปรียบเทียบการประเมิน thermal sensation (scale -4 ถึง 4) ขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย ดังแสดงในตารางที่ 4.6 โดยขณะพักฟื้นในที่ร้อนทั้ง pre และ post-training tests มีการประเมินระดับ 1.9 คือ รู้สึกอุ่นเล็กน้อย – อุ่น ในขณะพักฟื้นในที่เย็นทั้ง pre และ post-training tests มีการประเมินระดับ -1.2 ถึง -1.3 คือ รู้สึกเย็นเล็กน้อย – เย็น

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Thermal sensation ขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16)

	Hot environment	Cool environment	p-value
Pre-training test			
Thermal sensation	1.9 ± 1.0	-1.3 ± 0.7	< 0.001*
Post-training test			
Thermal sensation	1.9 ± 1.1	-1.2 ± 0.9	< 0.001*

***** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการพักฟื้นในที่ร้อนและเย็น

การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำดื่มและปริมาณการดื่มน้ำ

อุณหภูมิน้ำดื่มและปริมาณการดื่มน้ำ ขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย ดังแสดงในตารางที่ 4.7

จากผลที่แสดงในตารางพบว่า อุณหภูมิของน้ำดื่มไม่มีผลต่อปริมาณการดื่มน้ำ ปริมาณน้ำที่ดื่มอาจอาจแปรผันตามระยะเวลาหรือระดับความหนักของการออกกำลังกาย

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำดื่มและปริมาณการดื่มน้ำ ขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็น ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16)

	Hot environment	Cool environment	p-value
Pre-training test			
Water temperature (°C)	30.1 ± 0.3	23.1 ± 0.3	< 0.001*
Drinking of water (ml)	109.3 ± 49.1	107.1 ± 81.2	0.889
Post-training test			
Water temperature (°C)	30.2 ± 0.5	23.1 ± 0.2	< 0.001*
Drinking of water (ml)	138.7 ± 45.8	144.8 ± 63.6	0.596

***** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการพักฟื้นในที่ร้อนและเย็น

การเปรียบเทียบ Resting substrate oxidation, resting energy expenditure, respiratory exchange ratio, resting heart rate และ body composition ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

ผลของการฝึกออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 1 เดือน ต่อ resting substrate oxidation, resting energy expenditure, respiratory exchange ratio, resting heart rate และ body composition ซึ่งวิเคราะห์ด้วยสถิติ Paired t-test (ตารางที่ 4.8) เป็นดังนี้

1. Fat oxidation ไม่มีความแตกต่างกัน
2. Carbohydrate oxidation ไม่มีความแตกต่างกัน
3. Energy expenditure ไม่มีความแตกต่างกัน
4. Respiratory exchange ratio ไม่มีความแตกต่างกัน
5. Resting heart rate ไม่มีความแตกต่างกัน
6. Body weight ไม่มีความแตกต่างกัน
7. Muscle mass ไม่มีความแตกต่างกัน
8. Fat mass ลดลง
9. Visceral fat area ลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Resting substrate oxidation, resting energy expenditure, respiratory exchange ratio, resting heart rate, body composition ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16)

	Pre-Training test	Post-training test	p-value
Resting Fat oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	27.7 ± 17.4	23.6 ± 12.9	0.367
Resting CHO oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	61.4 ± 35.8	57.7 ± 43.1	0.708
Energy Expenditure ($kcal.h^{-1}$)	63.7 ± 17.1	54.9 ± 12.3	0.185
Respiratory exchange ratio (RER)	0.83 ± 0.06	0.83 ± 0.07	0.709
Resting heart rate (bpm)	66.4 ± 10.6	62.7 ± 6.9	0.168
Body weight (kg)	85.5 ± 13.4	84.9 ± 13.1	0.100
Muscle mass (kg)	25.9 ± 3.8	25.9 ± 3.7	0.878
Fat mass (kg)	38.6 ± 8.4	38.0 ± 8.6	0.016*
Visceral fat area (cm^2)	186.1 ± 37.8	181.1 ± 38.4	< 0.001*

***** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การเปรียบเทียบ Substrate oxidation และ energy expenditure ในขณะพักและขณะพักฟื้น ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

การเปรียบเทียบ Substrate oxidation และ energy expenditure ในขณะพักและขณะพักฟื้น วิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติ Paired t-test ดังแสดงในภาพที่ 4.3

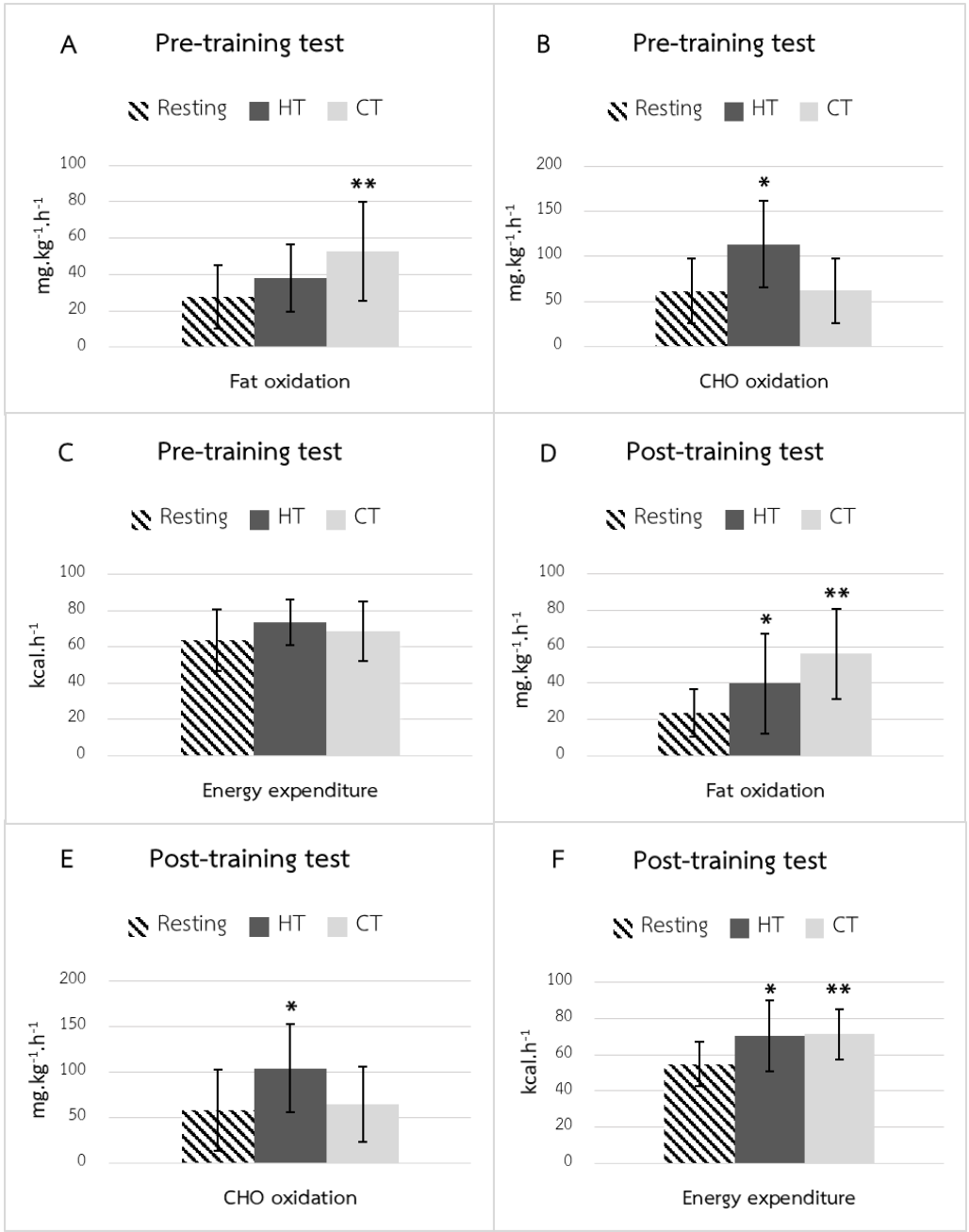
ก่อนเข้าโปรแกรมการออกกำลังกาย (จากภาพที่ 4.3A-4.3C)

- การออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในที่เย็นมากกว่าขณะพัก
- การออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในที่ร้อนมีแนวโน้มมากกว่าขณะพัก
- การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทขณะพักฟื้นในที่ร้อนมากกว่าขณะพัก
- การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทขณะพักฟื้นในที่เย็นมีแนวโน้มมากกว่าขณะพัก
- การใช้พลังงานรวมขณะพักและพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นไม่มีความแตกต่างกัน

ภายหลังการเข้าโปรแกรมการออกกำลังกาย (จากภาพที่ 4.3D-4.3F)

- การออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นมากกว่าขณะพัก
- การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทขณะพักฟื้นในที่ร้อนมากกว่าขณะพัก
- การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทขณะพักฟื้นในที่เย็นมากกว่าขณะพัก
- การใช้พลังงานรวมขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นมากกว่าขณะพัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบ substrate oxidation และ energy expenditure ขณะพักและขณะพักฟื้น A) Fat oxidation ช่วง pre-training test B) Carbohydrate oxidation ช่วง pre-training test C) Energy expenditure ช่วง pre-training D) Fat oxidation ช่วง post-training test E) Carbohydrate oxidation ช่วง post-training test F) Energy expenditure ช่วง post-training

***** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการพักกับขณะพักฟื้นในที่ร้อน ($p < 0.05$)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการพักกับขณะพักฟื้นในที่เย็น ($p < 0.05$)

การเปรียบเทียบ Substrate oxidation และ energy expenditure ในขณะออกกำลังกาย ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

Exercise substrate oxidation และ exercise energy expenditure ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย วิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติ Paired t-test ซึ่งมีผลดังแสดงในตารางที่ 4.9

Pre-training test

1. Exercise fat oxidation ในการทดสอบ 2 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกัน
2. Exercise carbohydrate oxidation ในการทดสอบ 2 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกัน
3. Exercise energy expenditure ในการทดสอบ 2 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกัน

Post-training test

1. Exercise fat oxidation ในการทดสอบ 2 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกัน
2. Exercise carbohydrate oxidation ในการทดสอบ 2 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกัน
3. Exercise energy expenditure ในการทดสอบ 2 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า Exercise substrate oxidation และ exercise energy expenditure ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16)

	HT	CT	p-value
Pre-training test			
Exercise Fat oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	122.2 ± 82.2	112.1 ± 89.5	0.414
Exercise CHO oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	782.8 ± 215.5	852.0 ± 191.2	0.146
Energy Expenditure ($kcal.h^{-1}$)	345.7 ± 38.3	360.9 ± 55.6	0.109
Post-training test			
Exercise Fat oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	151.9 ± 117.2	150.8 ± 92.2	0.919
Exercise CHO oxidation ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$)	777.0 ± 276.9	767.1 ± 233.5	0.767
Energy Expenditure ($kcal.h^{-1}$)	365.5 ± 64.7	373.4 ± 52.5	0.307

HT = ที่มีการพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนภายหลังการทดสอบการออกกำลังกาย

CT = ที่มีการพักฟื้นในอุณหภูมิเย็นภายหลังการทดสอบการออกกำลังกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบ Rate perceived of exertion หรือ RPE ขณะทดสอบออกกำลังกาย ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

Rate perceived of exertion หรือ RPE (Borg scale 6-20) ขณะทดสอบออกกำลังกาย ก่อนและหลังเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสองช่วง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 โดยในช่วง pre-training tests มีการประเมิน ในระดับ 12-13 คือ somewhat hard และในช่วง post-training tests มีการประเมินในระดับ 14-15 คือ hard

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า RPE ขณะทดสอบการออกกำลังกาย ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (N = 16)

	HT	CT	p-value
Pre-training test			
RPE	12.6 ± 1.9	12.9 ± 1.8	0.337
Post-training test			
RPE	14.0 ± 1.6	14.2 ± 1.5	0.108

HT = ที่มีการพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนภายหลังการทดสอบการออกกำลังกาย

CT = ที่มีการพักฟื้นในอุณหภูมิเย็นภายหลังการทดสอบการออกกำลังกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางในระยะเวลา 1 เดือนต่อการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นหลังการออกกำลังกายในระดับปานกลางของเพศหญิงที่มีภาวะอ้วนจำนวน 16 คน ซึ่งผ่านเกณฑ์การคัดกรอง มีความเข้าใจและปฏิบัติตามระเบียบวิธีวิจัยเป็นอย่างดี

การดำเนินงานวิจัยและการฝึกออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่าง ได้ดำเนินการภายในห้องปฏิบัติการเวชศาสตร์การกีฬา ชั้น 4 อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีผลการวิจัยหลัก ดังต่อไปนี้

ภายหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางเป็นเวลา 1 เดือน

1. การออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในที่เย็นหลังจากการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง สูงกว่าขณะพักฟื้นในที่ร้อน
2. การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทขณะพักฟื้นในที่ร้อนหลังจากการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง สูงกว่าขณะพักฟื้นในที่เย็น
3. การใช้พลังงานขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นหลังจากการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง ไม่แตกต่างกัน
4. การฝึกออกกำลังกายระดับปานกลางไม่มีผลต่อการออกซิเดชันของไขมัน การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทและการใช้พลังงานขณะพัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อภิปรายผลการวิจัย

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นจากออกกำลังกายภายหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย ในหญิงอ้วน

เมื่อผ่านการเข้าฝึกออกกำลังกายเป็นเวลา 1 เดือน การออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นภายหลังการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง 60%HRR ระยะเวลา 60 นาที ในหญิงอ้วนและอาศัยอยู่ในประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น พบว่าการพักฟื้นในที่เย็นซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 22.6 ± 0.2°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70.8 ± 2.3% มีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าการพักฟื้นในที่ร้อนซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.6 ± 0.4°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 69.5 ± 3.3% ทั้งนี้การพักฟื้นในทั้งสองอุณหภูมิไม่มี carryover effect ระหว่างกัน (p = 0.969) กล่าวคือผลจากการพักฟื้นในอุณหภูมิแรกที่สุ่มลำดับเข้าพักฟื้น ไม่มีผลต่อการเข้าพักฟื้นในอุณหภูมิที่สุ่มเข้าพักฟื้นในลำดับถัดไป ดังนั้นระยะห่าง 2 วันที่กำหนดสำหรับการทำการทดสอบ 2 ครั้ง มี washout period ที่เพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่มีการศึกษาการพักฟื้นในอุณหภูมิปกติ (24-25°C) ที่มีอุณหภูมิสูงกว่างานวิจัยปัจจุบันเพียง 1-2°C เปรียบเทียบกับการพักฟื้นในอุณหภูมิร้อน (31-32°C) ภายหลังการออกกำลังกายในระดับปานกลางเพียงครั้งเดียวหรือ acute affect (45-50%HRR, 30 นาที) พบว่าการศึกษาดังกล่าวมีการออกซิเดชันของไขมันในอุณหภูมิปกติสูงกว่าในที่ร้อน[34]

การออกซิเดชันของไขมันยังคงเพิ่มสูงขึ้นภายหลังการออกกำลังกายในระดับปานกลางนั้นอาจเกิดจากการใช้กรดไขมันอิสระเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ glycogen resynthesis เพื่อสังเคราะห์ไกลโคเจนกลับคืนสู่กล้ามเนื้อที่มีการสูญเสียไกลโคเจนไปในระหว่างการออกกำลังกาย[57, 60, 62, 63] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในเพศชายที่มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนพบว่าการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้นขณะพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายในระดับเบา ปานกลางถึงหนัก ซึ่งปริมาณการออกซิเดชันของไขมันที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันไปในแต่ละความหนักของการออกกำลังกาย[15, 16] แต่ในงานวิจัยปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องในขณะพักฟื้น การนั่งพักในที่ร้อนภายหลังการออกกำลังกาย ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง (ที่ร้อน; 69.5 ± 3.3% และ ที่เย็น; 70.8 ± 2.3%) ทำให้การระบายความร้อนผ่านทางเหงื่อที่ผิวหนังเป็นไปได้ยาก ดังนั้นร่างกายจึงมีการเพิ่ม heart rate และ cardiac output จึงอาจช่วยเร่งส่งผ่านเลือดที่มีอุณหภูมิสูงเนื่องจากการพาความร้อนจากภายในกล้ามเนื้อ มาทางหลอดเลือดที่มีการขยายตัวบริเวณผิวหนัง เพื่อระบายความ

ร้อนแบบ radiation ออกสู่สิ่งแวดล้อม[132] ในขณะที่การพักฟื้นในที่เย็น การระบายความร้อนที่เกิดจากการออกกำลังกายนั้นง่ายกว่า เนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อมทำให้ง่ายต่อการระบายความร้อน การพักฟื้นในที่เย็นอาจมีความเหมาะสมให้ร่างกายเลือกใช้พลังงานจากไขมัน ดังนั้นการนั่งพักฟื้นในที่เย็นจึงมีการออกซิเดชันของไขมันที่สูงกว่าในที่ร้อน

ทั้งนี้ในการศึกษาปัจจุบันมีการควบคุมตัวแปรที่อาจส่งผลต่อ fat oxidation เป็นอย่างดี กล่าวคือมีการกำหนดระยะเวลาการทดสอบให้อยู่ในช่วง follicular phase เพื่อป้องกันผลจากความผันแปรของฮอร์โมนเพศหญิงตามรอบประจำเดือนที่อาจกระทบต่อ metabolism ทั้งนี้การทดสอบในแต่ละช่วง จะเว้นระยะห่างกันอย่างน้อย 2 วัน เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของ fat metabolism ที่เกิดจากการออกกำลังกาย เนื่องจากมีรายงานว่า plasma free fatty acids ยังคงสูงกว่าระดับปกติใน 24-48 ชั่วโมงภายหลังเสร็จสิ้นการออกกำลังกาย[42] และยังคำนึงถึงผลกระทบที่อาจเกิดจากการเข้าพักฟื้นในอุณหภูมิก่อนหน้า จึงกำหนดให้ระยะห่างของการทดสอบอย่างน้อย 2 วัน การทดสอบในแต่ละครั้งจะทำในช่วงเวลาเดียวกันคือช่วงเช้าเพื่อป้องกัน circadian effect ทั้งนี้ก่อนเข้าทำการทดสอบในแต่ละครั้ง ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับอาหารชนิดเดียวกันในปริมาณที่เท่ากันรับประทานก่อนวันทดสอบ 1 วัน เพื่อป้องกันผลกระทบจากอาหารต่อกระบวนการ metabolism ในร่างกาย และการคำนวณ fat oxidation ในงานวิจัยนี้ ใช้สูตรการคำนวณของ Peronnet and Massicotte[121] ซึ่งเป็นสูตรมาตรฐานที่มีการคำนวณจากค่า oxygen consumption และ carbon dioxide production ผ่านทางลมหายใจจากการวัดแบบ indirect calorimetry ซึ่งเป็น gold standard[119, 120] และการคำนวณข้างต้น จะไม่มีการคำนวณการออกซิเดชันของโปรตีน เนื่องจากร่างกายมีการใช้โปรตีนในสภาวะปกติน้อยมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้การศึกษาปัจจุบัน มีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการฝึกออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 1 เดือนในอุณหภูมิสถานประกอบกิจการออกกำลังกาย (22-23°C) ซึ่งเป็นอุณหภูมิเดียวกันกับขณะพักฟื้นในที่เย็นของงานวิจัยนี้ พบว่าการรับสัมผัสกับสภาพอากาศเย็นขณะออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 1 เดือน ผลของการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในที่เย็นภายหลังการทดสอบการออกกำลังกายยังคงมากกว่าการพักฟื้นในที่ร้อนสำหรับเพศหญิงที่มีภาวะอ้วนซึ่งอาศัยอยู่ในประเทศแถบร้อนชื้น ผลที่ได้สอดคล้องกันกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ศึกษาการออกซิเดชันของไขมันขณะพักฟื้นในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ ภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลางเพียง 1 ครั้ง[34, 126] ซึ่งการควบคุมปัจจัยรบกวนต่างๆ มีความคล้ายคลึงกับการศึกษาปัจจุบันเช่นเดียวกัน ดังนั้นเพศหญิงอ้วนที่อาศัยใน

ประเทศแถบร้อนชื้น มีการออกกำลังกายในอุณหภูมิเย็นมากกว่า 1 ครั้งหรือระยะเวลา 1 เดือน การพักฟื้นในที่เย็นยังคงเพิ่มการออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าในที่ร้อน

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทขณะพักฟื้นจากออกกำลังกาย ภายหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายในหญิงอ้วน

เมื่อเสร็จสิ้นโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายนาน 1 เดือน แล้วทำการศึกษาการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทขณะพักฟื้นภายหลังการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง 60%HRR ระยะเวลา 60 นาที พบว่าการพักฟื้นในที่ร้อน มีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทมากกว่าการพักฟื้นในที่เย็น และการพักฟื้นในทั้งสองอุณหภูมิไม่มี carryover effect ระหว่างกัน ($p = 0.773$) ผลวิจัยจากการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการศึกษาการพักฟื้นในอุณหภูมิปกติ (24-25°C) เปรียบเทียบกับการพักฟื้นในอุณหภูมิร้อน (31-32°C) ภายหลังการออกกำลังกายในระดับปานกลางเพียงครั้งเดียว (45-50%HRR, 30 นาที) พบว่ามีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทในอุณหภูมิร้อนสูงกว่าในอุณหภูมิปกติ[34] และสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการศึกษาในชายที่มีภาวะน้ำหนักเกิน โดยให้แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 39°C เวลา 1 ชั่วโมง จำนวน 10 ครั้ง ในเวลา 2 สัปดาห์ พบว่ามีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทเพิ่มขึ้น[114] แต่ทั้งนี้มีผลขัดแย้งกับการศึกษาในผู้ป่วยโรคอ้วนซึ่งให้ปั่นจักรยานที่ความหนักระดับเบาในอุณหภูมิปกติและนั่งพักฟื้นในซาวน่าอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าช่วงพักฟื้นมีการสลายไขมันเพื่อเป็นพลังงานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงก่อนเข้าพักฟื้นหรือเสร็จสิ้นจากการออกกำลังกายในอุณหภูมิปกติ[17] สาเหตุของความแตกต่างของผลการทดลองไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่อาจเกี่ยวข้องกับกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาดังกล่าว อาศัยอยู่ในประเทศญี่ปุ่นซึ่งจัดเป็นเขตอบอุ่น ซึ่งไม่คุ้นชินกับสภาพอากาศร้อน จึงได้ผลที่แตกต่างกับการศึกษาปัจจุบันของผู้วิจัยซึ่งทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยในประเทศเขตร้อนชื้น อีกทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาดังกล่าวสูงถึง 60°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าการศึกษาปัจจุบันมาก (31-32°C) ดังนั้น ปริมาณการใช้พลังงานรวมในการรักษาสมดุลการทำงานของร่างกายอาจสูงขึ้นและอาจส่งผลต่ออัตรา fat oxidation ได้

ทั้งนี้การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทที่เพิ่มขึ้นขณะพักฟื้นในที่ร้อน อาจอธิบายได้จากร่างกายต้องใช้พลังงานในการระบายความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คาร์โบไฮเดรทจึงถูกออกซิไดส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แทนที่จะสังเคราะห์ไกลโคเจนกลับคืนสู่กล้ามเนื้อที่ออกกำลังกาย[133, 134] ดังนั้นการพักฟื้นในที่ร้อนจึงมีการสูญเสียไกลโคเจนและการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทมากกว่าการพักฟื้นในที่เย็น ทั้งนี้การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทที่เพิ่มขึ้นขณะพักฟื้นในที่ร้อนนั้น อาจมีประโยชน์สำหรับผู้ป่วยหรือผู้ที่มีภาวะเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน หากมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

อุณหภูมิแวดล้อมต่อการใช้พลังงานรวมขณะพักฟื้นหลังจากการทดสอบการออกกำลังกาย ภายหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

การใช้พลังงานรวมขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นหลังจากการทดสอบการออกกำลังกาย (60%HRR, 60 นาที) ภายหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายเป็นเวลา 1 เดือน ไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้สัดส่วนการใช้ไขมันขณะพักฟื้นในที่เย็นมากกว่าเมื่อเทียบกับการพักฟื้นในที่ร้อน ภายหลังจากการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย (CT; ไขมัน 46.4%, คาร์โบไฮเดรท 53.6% และ HT; ไขมัน 27.6%, คาร์โบไฮเดรท 72.4%) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการศึกษาการพักฟื้นในอุณหภูมิปกติ (24-25°C) เปรียบเทียบกับการพักฟื้นในอุณหภูมิร้อน (31-32°C) ภายหลังการออกกำลังกายในระดับปานกลางเพียงครั้งเดียวหรือ acute affect (45-50%HRR, 30 นาที) พบว่าการใช้พลังงานรวมขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและในอุณหภูมิปกติ ไม่มีความแตกต่างกัน และสัดส่วนการใช้ไขมันเป็นพลังงานในอุณหภูมิปกติมีมากกว่าในอุณหภูมิร้อน[34] และสอดคล้องเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาในเพศชายโดยออกกำลังกายและพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและอุณหภูมิปกติ พบว่าการพักฟื้นในอุณหภูมิปกติ มีการใช้คาร์โบไฮเดรทที่น้อยกว่า[135]

ช่วงพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกาย มีการใช้พลังงานจากไขมัน ทำให้ยังมีการเพิ่มเมแทบอลิซึมและนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายมากขึ้น ซึ่งเรียกภาวะนี้ว่า excess post-exercise oxygen consumption หรือ EPOC ซึ่งจะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับในขณะพัก การใช้ออกซิเจนจะเพิ่มสูงขึ้นใน 2 ชั่วโมงแรก เพื่อกำจัดกรดแลกติกออกไปจากกระแสเลือด ฟื้นฟูออกซิเจนสำรองในร่างกาย ฟื้นคืนปริมาณ ATP/creatine phosphate ในร่างกายตลอดจนปรับอุณหภูมิในร่างกายและสร้างสมดุลน้ำในร่างกายเข้าสู่สภาวะปกติ[64, 67-69]

ในงานวิจัยปัจจุบันพบว่าการใช้พลังงานรวมขณะพักฟื้นภายหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย ยังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากการใช้พลังงานใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระหว่างการออกกำลังกาย ถูกกำหนดให้ทำเท่ากันทั้ง 2 ครั้งก่อนเข้าพักฟื้นในแต่ละอุณหภูมิ และอุณหภูมิที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ มิได้เป็นอุณหภูมิที่ร้อนหรือเย็นมากและระยะเวลาที่ใช้พักฟื้นมิได้ยาวนานมากเช่นกัน ทั้งยังเป็นอุณหภูมิทั่วไปที่คนส่วนใหญ่รับสัมผัสในชีวิตประจำวัน เช่น ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงาน สถานที่ออกกำลังกาย เป็นต้น จึงทำให้พบความแตกต่างไม่ชัดเจน

การออกซิเดชันของไขมันขณะพัก ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

การออกซิเดชันของไขมันขณะพักก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ทำการศึกษาในชายที่มีภาวะน้ำหนักเกินเกณฑ์มาตรฐานและชายหญิงอ้วน โดยฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 6-8 สัปดาห์ พบว่ามีการออกซิเดชันของไขมันขณะพักเพิ่มขึ้นภายหลังการฝึกออกกำลังกาย[32, 33] ซึ่งในงานวิจัยปัจจุบัน อาจใช้ระยะเวลาการฝึกออกกำลังกายเพียงแค่ 1 เดือนหรือ 4 สัปดาห์ หากมีการฝึกออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น อาจเห็นผลความแตกต่างได้ชัดเจนมากขึ้นเช่นกัน

ทั้งนี้ resting energy expenditure (REE) และ resting respiratory exchange ratio (RER) พบว่าก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการศึกษาถึงค่า resting metabolic rate (RMR) และ respiratory quotient (RQ) ต่อการลดลงของไขมันภายหลังการฝึกออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ พบว่า RMR ซึ่งมีการวัดในขณะนอนพักเช่นเดียวกับงานวิจัยปัจจุบัน (REE) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ RQ มีค่าลดลงและมีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของไขมัน[136] แต่ในงานปัจจุบัน RER ซึ่งเป็นผลที่ใกล้เคียงกับ RQ เนื่องจากมีการคำนวณจากอัตรา VCO_2 ต่อ VO_2 เช่นเดียวกันนั้น พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึกออกกำลังกายระยะเวลา 1 เดือน

นอกจากนี้ในการศึกษาปัจจุบัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ muscle mass เช่นเดียวกับการศึกษาการฝึกออกกำลังกายในระดับความหนัก moderate-high intensity เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ในเพศหญิงอ้วน[137] แต่ทั้งนี้การฝึกในรูปแบบปัจจุบันมีการลดลงของ fat mass (FM_{pre}; 38.6 ± 8.4 kg vs. FM_{post}; 38.0 ± 8.6 kg, $p = 0.016$) และ visceral fat area (VFA_{pre}; 186.1 ± 37.8 cm^2 vs. VFA_{post}; 181.1 ± 38.4 cm^2, $p < 0.001$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการศึกษาใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คนอ้วนเพศหญิง โดยให้ฝึกออกกำลังกายระดับความหนัก moderate-high intensity เป็นระยะเวลา 12-16 สัปดาห์ พบว่า fat mass และ visceral fat area ลดลง[137, 138] และถึงแม้ในงานปัจจุบันไม่มีการลดลงของน้ำหนักอย่างชัดเจน (BW_{pre}; 85.5 ± 13.4 kg vs. BW_{post}; 84.9 ± 13.1 kg, p = 0.100) เช่นการศึกษาดังกล่าว แต่เห็นแนวโน้มที่ดี ซึ่งหากมีการฝึกในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น อาจเห็นผลได้อย่างชัดเจน

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกระดับปานกลางประมาณ 1 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($HRrest_{pre}$; 66.4 ± 10.6 bpm vs. $HRrest_{post}$; 62.7 ± 6.9 bpm, p = 0.168) แต่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการศึกษาก่อนหน้านี้ในหญิงอ้วนที่ประเทศอังกฤษ โดยให้ออกกำลังกายประเภทแอโรบิกแบบผสมผสานเป็นเวลา 3 เดือน เช่น การเดิน การออกกำลังกายในน้ำ การออกกำลังกายโดยหมุนวงล้อด้วยมือ เป็นต้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักเช่นเดียวกัน[139] แต่ทั้งนี้ในงานวิจัยของประเทศญี่ปุ่นที่มีการศึกษาในคนอ้วน โดยให้ออกกำลังกายแบบแอโรบิกและ strength training ผสมผสานกันเป็นเวลา 3 เดือนพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการฝึกลดลงจากก่อนฝึกออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[140] ดังนั้นหากโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายนานขึ้นและความหนักสามารถทำได้สูงขึ้นอาจจะส่งผลเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นหัวใจขณะพักได้ชัดเจนขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การออกซิเดชันของไขมันขณะออกกำลังกาย ก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

การออกซิเดชันของไขมันขณะทดสอบการออกกำลังกาย 2 ครั้งที่ความหนัก 50%HRR ระยะเวลา 30 นาทีก่อนเข้าพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็นตามลำดับการสุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT; 122.2 ± 82.2 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$ vs. CT; 112.1 ± 89.5 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$, p = 0.414) เช่นเดียวกับการออกซิเดชันของไขมันขณะทดสอบการออกกำลังกาย 2 ครั้งที่ความหนัก

60%HRR ระยะเวลา 60 นาทีเช่นกัน (HT; 151.9 ± 117.2 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$ vs. CT; 150.8 ± 92.2 $mg.kg^{-1}.h^{-1}$, p = 0.919) การออกซิเดชันของไขมันขณะทำการทดสอบการออกกำลังกายในแต่ละช่วงไม่มีความแตกต่างกัน ถือเป็นแง่ที่ดีต่อขณะพักฟื้น ที่จะไม่มีผลจากขณะออกกำลังกายเข้ามามีอิทธิพลต่อความแตกต่างของการออกซิเดชันของไขมันที่เกิดขึ้นในขณะพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกายในแต่ละครั้ง

ทั้งนี้ผลจากงานวิจัยข้างต้นไม่สามารถเปรียบเทียบก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมฝึกออกกำลังกายได้โดยตรง เนื่องจากความหนักและระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบการออกกำลังกายในแต่ละช่วงนั้นต่างกัน แต่เมื่อสังเกตจะพบว่าการฝึกออกกำลังกายในเพศหญิงอ้วนที่ความหนักระดับปานกลางตั้งแต่ 50%HRR 30 นาทีจนถึงความหนักระดับ maximal fat oxidation (60%HRR) 60 นาทีนั้น กลุ่มตัวอย่างสามารถฝึกได้จนครบตามเป้าหมายและสามารถทำการทดสอบ post-training tests ที่ระดับความหนัก 60%HRR ระยะเวลา 60 นาทีได้โดยไม่มีอาการผิดปกติแต่อย่างใด ทั้งนี้เนื่องมาจากร่างกายมีการปรับตัวทาง metabolic adaptation[55] ซึ่งสามารถออกกำลังกายได้นานมากขึ้น ดังนั้นความหนัก 60%HRR ใช้ระยะเวลาออกกำลังกาย 60 นาทีสำหรับหญิงอ้วนในการฝึก 1 เดือนนั้นเป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่เหมาะสม ไม่หนักเกินไปและมีประสิทธิภาพสำหรับการลดน้ำหนักตามแนวทางแนะนำโดย ACSM

การควบคุมอาหารหรือ Diet stabilization 1 เดือนก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายและระหว่างการฝึกออกกำลังกายประมาณ 1 เดือน

การควบคุมอาหารหรือ diet stabilization 1 เดือนก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายและระหว่างการฝึกออกกำลังกายประมาณ 1 เดือนนั้น ปริมาณพลังงานที่ได้รับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Before exercise training; 1822.3 ± 479.6 $kcal.day^{-1}$ vs. During exercise training; 1805.7 ± 294.5 $kcal.day^{-1}$, p = 0.837) ทั้งนี้น้ำหนักภายหลังจากเสร็จสิ้นโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($Weight_{pre}$; 85.5 ± 13.4 kg vs. $Weight_{post}$; 84.9 ± 13.1 kg, p = 0.100) แต่มีแนวโน้มลดลง ดังนั้นน้ำหนักที่มีแนวโน้มลดลง มิได้เป็นผลมาจากการ

รับประทานอาหาร แต่เป็นผลจากการฝึกออกกำลังกาย นอกจากนี้การไม่เปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเป็นการยืนยันว่าผลของ substrate oxidation ที่เกิดขึ้น ไม่ได้ถูกกระทบจากผลของน้ำหนักเช่นกัน

สำหรับการควบคุมอาหารช่วงก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่มิให้มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมากกว่า 2% จากน้ำหนักเริ่มต้นนั้นพบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดสามารถทำได้ดี กล่าวคือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด น้ำหนักตัวค่อนข้างคงที่ ทำให้น้ำหนักเริ่มต้นก่อนเข้าโครงการวิจัยและก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Diet stabilization$_{pre}$; 85.8 ± 13.4 kg vs. Diet stabilization$_{post}$; 85.5 ± 13.4 kg, p = 0.491)

นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดสามารถควบคุมอาหารได้ดีตลอดการเข้าร่วมวิจัย เนื่องจากไม่มีการรับประทานอาหารที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรทและไขมันสูง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการออกซิเดชันของไขมัน[70-72, 77]

อุณหภูมิน้ำดื่ม และปริมาณน้ำที่ดื่มขณะพักฟื้นในอุณหภูมิร้อนและเย็นหลังการทดสอบการออกกำลังกาย ภายหลังเสร็จสิ้นโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย

อุณหภูมิน้ำดื่มขณะพักฟื้นในที่ร้อนและเย็น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT; 30.2 ± 0.5°C vs. CT; 23.1 ± 0.2°C, p < 0.001*) ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่ดื่มขณะนั่งพักฟื้นทั้งสองอุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT; 138.7 ± 45.8 ml vs. CT; 144.8 ± 63.6 ml, p = 0.596) ซึ่งจากงานวิจัยที่มีการศึกษาก่อนหน้านี้เกี่ยวกับการดื่มน้ำเย็นก่อนการออกกำลังกายในที่ร้อนของเพศชายอ้วนนั้นมีผลต่อกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในร่างกาย ทำให้มีการหลั่งเหงื่อน้อยลง และการบริโภคน้ำน้อยลงกว่าการบริโภคน้ำอุณหภูมิปกติ[130] แต่ในงานวิจัยปัจจุบันไม่พบความแตกต่างดังกล่าว อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิน้ำเย็นที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องเพียงเล็กน้อย อีกทั้งงานนี้ไม่ได้มีการออกกำลังกายในที่ร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ในหญิงอ้วนภายหลังจากการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง เป็นระยะเวลา 1 เดือน เมื่อทำการพักฟื้นในที่เย็นภายหลังจากการออกกำลังกาย มีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าการพักฟื้นในที่ร้อน ดังนั้นการฝึกออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 1 เดือนและพักฟื้นในที่เย็นในทุกครั้งที่มีการออกกำลังกาย น่าจะเป็นทางเลือกในการใช้พลังงานจากไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่งสำหรับคนอ้วนเพศหญิงที่อาศัยอยู่ในประเทศแถบร้อนชื้น หรือสภาพภูมิอากาศใกล้เคียงกับประเทศไทย

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาในหญิงอ้วนที่มีช่วงอายุ 18-50 ปี ดังนั้นผลการศึกษานี้อาจไม่สามารถอ้างอิงกลุ่มอื่น เช่น หญิงที่มีอายุต่ำกว่า 18 ปี และอายุมากกว่า 50 ปี หรือในเพศชายได้
2. อุณหภูมิร้อนที่ใช้ในงานวิจัยอาจมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ เพราะเป็นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พบได้ในประเทศไทยหรือกลุ่มประเทศที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงเท่านั้น
3. อุณหภูมิเย็นที่ใช้ในงานวิจัย จะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนดสำหรับสถานที่ออกกำลังกาย ซึ่งเป็นระเบียบควบคุมโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย อาจมีความแตกต่างกันของข้อจำกัดนี้ในแต่ละประเทศ
4. ในงานวิจัยนี้ ทำการทดสอบในช่วง follicular phase ผลที่ได้จึงไม่สามารถอ้างอิงในช่วง luteal phase ได้
5. งานวิจัยนี้มีการฝึกออกกำลังกายในระยะเวลา 1 เดือนหรือ 4 สัปดาห์ (moderately-trained) อาจได้ผลการวิจัยที่แตกต่างกันหากมีการฝึกออกกำลังกายในระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น (highly-trained)
6. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเพศชายอ้วนที่อาศัยอยู่ในสภาพอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีรูปแบบการฝึกและสภาพแวดล้อมในขณะพักฟื้นแบบเดียวกับการศึกษาในเพศหญิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในงานวิจัยนี้ ซึ่งยังไม่เป็นที่ทราบว่า metabolic adaptation จะมีความแตกต่างออกไปหรือไม่

Further research

1. ควรมีการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับ Maximal fat oxidation หรือ Fat_{max} เปรียบเทียบก่อนและหลังการเข้าโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายของหญิงอ้วน เพื่อเป็นอีกหนึ่ง indicator ในการวัดผล metabolic adaptation ที่เกิดขึ้นจากการฝึกออกกำลังกาย
2. ควรมีการศึกษาการฝึกออกกำลังกายในระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น และพักฟื้นในที่ร้อนและเย็นเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่าการพักฟื้นในที่เย็นยังคงมีประสิทธิภาพของการออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่าในที่ร้อนหรือไม่
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของ carbohydrate oxidation กับการฝึกออกกำลังกายและพักฟื้นในที่ร้อนและเย็น เพื่อประโยชน์สำหรับคนอ้วนที่มีภาวะเสี่ยงต่อโรคเบาหวานต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. World Health Organization. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. Lancet 2004;363:157.

2. World Health Organization. Noncommunicable diseases: progress monitor 2017 [Internet]. 2017 [cited 2018 June 5]. Available from: https://ncdalliance.org/sites/default/files/resource_files/WHOProgressMonitor2017.pdf.

3. World Health Organization. Global status report on noncommunicable diseases 2010 [Internet]. 2011 [cited 2018 June 5]. Available from: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44579/9789240686458_eng.pdf?sequence=1.

4. Ng M, Fleming T, Robinson M, Thomson B, Graetz N, Margono C, et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. The lancet 2014;384:766-81.

5. World Health Organization. Global status report on noncommunicable diseases 2014: attaining the nine global noncommunicable diseases targets; a shared responsability [Internet]. 2014 [cited 2018 June 5]. Available from: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/148114/9789241564854_eng.pdf?sequence=1.

6. Yatsuya H, Li Y, Hilawe EH, Ota A, Wang C, Chiang C, et al. Global trend in overweight and obesity and its association with cardiovascular disease incidence. Circ J 2014;78:2807-18.

7. Aekplakorn W, Mo-Suwan L. Prevalence of obesity in Thailand: See editorial on pp. 587–588. Obes Rev 2009;10:589-92.

8. Levadoux E, Morio B, Montaurier C, Puissant V, Boirie Y, Fellmann N, et al. Reduced whole-body fat oxidation in women and in the elderly. Int J Obes (Lond) 2001;25:39.

9. Purkart B, Šimunič B, Gerževič M. An overview of training methods that promote the highest lipid oxidation during and after a single exercise session. Ann Kinesiol 2016;6:93-118.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

10. Curioni CC, Lourenco PM. Long-term weight loss after diet and exercise: a systematic review. Int J Obes (Lond) 2005;29:1168-74.

11. Dandanell S, Husted K, Amdisen S, Vigelso A, Dela F, Larsen S, et al. Influence of maximal fat oxidation on long-term weight loss maintenance in humans. J Appl Physiol (1985) 2017;123:267-74.

12. American College of sports medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. China: Wolters Kluwer; 2016.

13. Warren A, Howden EJ, Williams AD, Fell JW, Johnson NA. Postexercise fat oxidation: effect of exercise duration, intensity, and modality. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2009;19:607-23.

14. Phelain JF, Reinke E, Harris MA, Melby CL. Postexercise energy expenditure and substrate oxidation in young women resulting from exercise bouts of different intensity. J Am Coll Nutr 1997;16:140-6.

15. Pillard F, Van Wymelbeke V, Garrigue E, Moro C, Crampes F, Guilland JC, et al. Lipid oxidation in overweight men after exercise and food intake. Metab 2010;59:267-74.

16. Lazzer S, Lafortuna C, Busti C, Galli R, Tinozzi T, Agosti F, et al. Fat oxidation rate during and after a low- or high-intensity exercise in severely obese Caucasian adolescents. Eur J Appl Physiol 2010;108:383-91.

17. Katoh J, Hara Y, Kurusu M, Miyaji J, Ishihara K, Tutoh A, et al. Respiratory effects on exercise and whole thermotolerance (sauna) stress in obese patients. J Phys Ther Sci 1996;8:25-7.

18. Tikuisis P, Jacobs I, Moroz D, Vallerand AL, Martineau L. Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water. J Appl Physiol (1985) 2000;89:1403-11.

19. Haman F, Peronnet F, Kenny GP, Massicotte D, Lavoie C, Scott C, et al. Effect of cold exposure on fuel utilization in humans: plasma glucose, muscle glycogen, and lipids. J Appl Physiol (1985) 2002;93:77-84.

20. Weller AS, Greenhaff PL, Macdonald IA. Physiological responses to moderate cold stress in man and the influence of prior prolonged exhaustive exercise. Exp Physiol 1998;83:679-95.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

21. Gagnon DD, Rintamaki H, Gagnon SS, Cheung SS, Herzig KH, Porvari K, et al. Cold exposure enhances fat utilization but not non-esterified fatty acids, glycerol or catecholamines availability during submaximal walking and running. Front Physiol 2013;4:99.

22. Yoneshiro T, Aita S, Matsushita M, Kayahara T, Kameya T, Kawai Y, et al. Recruited brown adipose tissue as an antiobesity agent in humans. J Clin Invest 2013;123:3404-8.

23. van der Lans AA, Hoeks J, Brans B, Vijgen GH, Visser MG, Vosselman MJ, et al. Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis. J Clin Invest 2013;123:3395-403.

24. Hanssen MJ, van der Lans AA, Brans B, Hoeks J, Jardon KM, Schaart G, et al. Short-term cold acclimation recruits brown adipose tissue in obese humans. Diabetes 2016;65:1179-89.

25. Pilch W, Szygula Z, Klimek AT, Palka T, Cison T, Pilch P, et al. Changes in the lipid profile of blood serum in women taking sauna baths of various duration. Int J Occup Med Environ Health 2010;23:167-74.

26. Kirwan JP, Costill DL, Kuipers H, Burrell MJ, Fink WJ, Kovaleski JE, et al. Substrate utilization in leg muscle of men after heat acclimation. J Appl Physiol (1985) 1987;63:31-5.

27. Venables MC, Jeukendrup AE. Endurance training and obesity: effect on substrate metabolism and insulin sensitivity. Med Sci Sports Exerc 2008;40:495-502.

28. Lanzi S, Codecasa F, Cornacchia M, Maestrini S, Capodaglio P, Brunani A, et al. Short-term HIIT and Fat max training increase aerobic and metabolic fitness in men with class II and III obesity. Obesity (Silver Spring, Md) 2015;23:1987-94.

29. Tan S, Wang X, Wang J. Effects of supervised exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in overweight young women. J Exerc Sci Fit 2012;10:64-9.

30. Tan S, Wang J, Cao L, Guo Z, Wang Y. Positive effect of exercise training at maximal fat oxidation intensity on body composition and lipid metabolism in overweight middle-aged women. Clin Physiol Funct Imaging 2016;36:225-30.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

31. Botero JP, Prado WL, Guerra RL, Speretta GF, Leite RD, Prestes J, et al. Does aerobic exercise intensity affect health-related parameters in overweight women? Clin Physiol Funct Imaging 2014;34:138-42.

32. Lefai E, Blanc S, Momken I, Antoun E, Chery I, Zahariev A, et al. Exercise training improves fat metabolism independent of total energy expenditure in sedentary overweight men, but does not restore lean metabolic phenotype. Int J Obes (Lond) 2017;41:1728-36.

33. Jabbour G, Mauriege P, Joanisse D, Iancu HD. Effect of supramaximal exercise training on metabolic outcomes in obese adults. J Sports Sci 2017;35:1975-81.

34. Kulaputana O, Soythong T, Sanguanrangsirikul S, Sooksirivoraboot T. Environmental temperature affects fat and carbohydrate oxidations during recovery period after moderate intensity exercise in obese women. J Med Assoc Thai 2020;103:240-7.

35. Daanen HA, Van Marken Lichtenbelt WD. Human whole body cold adaptation. Temperature (Austin, Tex) 2016;3:104-18.

36. Himms-Hagen J. Sympathetic regulation of metabolism. Pharmacol Rev 1967;19:367-461.

37. Young AJ, Muza SR, Sawka MN, Gonzalez RR, Pandolf KB. Human thermoregulatory responses to cold air are altered by repeated cold water immersion. J Appl Physiol (1985) 1986;60:1542-8.

38. กรมอุตุนิยมวิทยา. การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน เดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2561 [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 19 ตุลาคม 2561]. เข้าถึงได้จาก: https://www.tmd.go.th/programs/uploads/Tmddocuments/climate-0050.pdf.

39. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือข้อแนะนำมาตรฐานสถานประกอบกิจการด้านการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ ฉบับที่ 1 [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 19 ตุลาคม 2561]. เข้าถึงได้จาก: http://dopah.anamai.moph.go.th/wp-content/uploads/2016/01/F02Manual.pdf.

40. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. กินตามวัยให้พอดี. กรุงเทพฯ: องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2546.

41. United States Department of Agriculture (USDA). 8th ed. Dietary guidelines for Americans 2015-2020 [Internet]. 2015 [cited 2018 July 19]. Available from: https://health.gov/sites/default/files/2019-09/2015-2020_Dietary_Guidelines.pdf

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

42. Farrell PA, Joyner MJ, Caiozzo VJ. ACSM's advanced exercise physiology. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012.

43. Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. Nutrition 2004;20:716-27.

44. นัยนา บุญทวียุวัฒน์. ชีวเคมีทางโภชนาการ. กรุงเทพฯ: เจริญดีมั่นคงการพิมพ์; 2553.

45. Noland RC. Exercise and Regulation of Lipid Metabolism. Prog Mol Biol Transl Sci 2015;135:39-74.

46. Magkos F, Mohammed BS, Patterson BW, Mittendorfer B. Free fatty acid kinetics in the late phase of postexercise recovery: importance of resting fatty acid metabolism and exercise-induced energy deficit. Metab 2009;58:1248-55.

47. Achten J, Jeukendrup AE. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. Int J Sports Med 2003;24:603-8.

48. Jansson E, Kaijser L. Substrate utilization and enzymes in skeletal muscle of extremely endurance-trained men. J Appl Physiol (1985) 1987;62:999-1005.

49. Turcotte LP, Richter EA, Kiens B. Increased plasma FFA uptake and oxidation during prolonged exercise in trained vs. untrained humans. Am J Physiol 1992;262:E791-9.

50. Klein S, Coyle EF, Wolfe RR. Fat metabolism during low-intensity exercise in endurance-trained and untrained men. Am J Physiol 1994;267:E934-40.

51. Horowitz JF, Leone TC, Feng W, Kelly DP, Klein S. Effect of endurance training on lipid metabolism in women: a potential role for PPARalpha in the metabolic response to training. Am J Physiol Endocrinol Metab 2000;279:E348-55.

52. Costill DL, Coyle E, Dalsky G, Evans W, Fink W, Hoopes D. Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 1977;43:695-9.

53. Wolfe RR, Klein S, Carraro F, Weber JM. Role of triglyceride-fatty acid cycle in controlling fat metabolism in humans during and after exercise. Am J Physiol 1990;258:E382-9.

54. Turcotte LP, Swenberger JR, Tucker MZ, Yee AJ. Training-induced elevation in FABP(PM) is associated with increased palmitate use in contracting muscle. J Appl Physiol (1985) 1999;87:285-93.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

55. Tunstall RJ, Mehan KA, Wadley GD, Collier GR, Bonen A, Hargreaves M, et al. Exercise training increases lipid metabolism gene expression in human skeletal muscle. Am J Physiol Endocrinol Metab 2002;283:E66-72.

56. van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. J Physiol 2001;536:295-304.

57. Mulla NA, Simonsen L, Bulow J. Post-exercise adipose tissue and skeletal muscle lipid metabolism in humans: the effects of exercise intensity. J Physiol 2000;524 Pt 3:919-28.

58. Price TB, Rothman DL, Taylor R, Avison MJ, Shulman GI, Shulman RG. Human muscle glycogen resynthesis after exercise: insulin-dependent and -independent phases. J Appl Physiol (1985) 1994;76:104-11.

59. Lundsgaard AM, Fritzen AM, Kiens B. The Importance of Fatty Acids as Nutrients during Post-Exercise Recovery. Nutrients 2020;12:1-14.

60. Nielsen JN, Richter EA. Regulation of glycogen synthase in skeletal muscle during exercise. Acta Physiol Scand 2003;178:309-19.

61. Egan B, Zierath JR. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. Cell Metab 2013;17:162-84.

62. Kiens B, Richter EA. Utilization of skeletal muscle triacylglycerol during postexercise recovery in humans. Am J Physiol 1998;275:E332-7.

63. Tsao JP, Liao SF, Korivi M, Hou CW, Kuo CH, Wang HF, et al. Oral conjugated linoleic acid supplementation enhanced glycogen resynthesis in exercised human skeletal muscle. J Sports Sci 2015;33:915-23.

64. Borsheim E, Bahr R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. Sports Med 2003;33:1037-60.

65. van Hall G, Sacchetti M, Radegran G, Saltin B. Human skeletal muscle fatty acid and glycerol metabolism during rest, exercise and recovery. J Physiol 2002;543:1047-58.

66. Guo Z, Jensen MD. Blood glycerol is an important precursor for intramuscular triacylglycerol synthesis. J Biol Chem 1999;274:23702-6.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

67. Speakman JR, Selman C. Physical activity and resting metabolic rate. Proc Nutr Soc 2003;62:621-34.

68. Gaesser GA, Brooks GA. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. Med Sci Sports Exerc 1984;16:29-43.

69. Horton TJ, Pagliassotti MJ, Hobbs K, Hill JO. Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. J Appl Physiol (1985) 1998;85:1823-32.

70. Kirwan JP, O'Gorman D, Evans WJ. A moderate glycemic meal before endurance exercise can enhance performance. J Appl Physiol (1985) 1998;84:53-9.

71. Sparks MJ, Selig SS, Febbraio MA. Pre-exercise carbohydrate ingestion: effect of the glycemic index on endurance exercise performance. Med Sci Sports Exerc 1998;30:844-9.

72. Horowitz JF, Mora-Rodriguez R, Byerley LO, Coyle EF. Lipolytic suppression following carbohydrate ingestion limits fat oxidation during exercise. Am J Physiol 1997;273:E768-75.

73. Ivy JL, Miller W, Dover V, Goodyear LG, Sherman WM, Farrell S, et al. Endurance improved by ingestion of a glucose polymer supplement. Med Sci Sports Exerc 1983;15:466-71.

74. Ahlborg G, Felig P. Influence of glucose ingestion on fuel-hormone response during prolonged exercise. J Appl Physiol 1976;41:683-8.

75. Coyle EF, Hagberg JM, Hurley BF, Martin WH, Ehsani AA, Holloszy JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 1983;55:230-5.

76. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. J Appl Physiol (1985) 1986;61:165-72.

77. Stepto NK, Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK, Burke LM, Hawley JA. Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training. Med Sci Sports Exerc 2002;34:449-55.

78. Pogliaghi S, Veicsteinas A. Influence of low and high dietary fat on physical performance in untrained males. Med Sci Sports Exerc 1999;31:149-55.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

79. Schrauwen P, Wagenmakers AJ, van Marken Lichtenbelt WD, Saris WH, Westerterp KR. Increase in fat oxidation on a high-fat diet is accompanied by an increase in triglyceride-derived fatty acid oxidation. Diabetes 2000;49:640-6.

80. Kirwan JP, Costill DL, Mitchell JB, Houmard JA, Flynn MG, Fink WJ, et al. Carbohydrate balance in competitive runners during successive days of intense training. J Appl Physiol (1985) 1988;65:2601-6.

81. Achten J, Halson SL, Moseley L, Rayson MP, Casey A, Jeukendrup AE. Higher dietary carbohydrate content during intensified running training results in better maintenance of performance and mood state. J Appl Physiol (1985) 2004;96:1331-40.

82. Cameron-Smith D, Burke LM, Angus DJ, Tunstall RJ, Cox GR, Bonen A, et al. A short-term, high-fat diet up-regulates lipid metabolism and gene expression in human skeletal muscle. Am J Clin Nutr 2003;77:313-8.

83. Goedecke JH, Christie C, Wilson G, Dennis SC, Noakes TD, Hopkins WG, et al. Metabolic adaptations to a high-fat diet in endurance cyclists. Metab 1999;48:1509-17.

84. Helge JW, Watt PW, Richter EA, Rennie MJ, Kiens B. Fat utilization during exercise: adaptation to a fat-rich diet increases utilization of plasma fatty acids and very low density lipoprotein-triacylglycerol in humans. J Physiol 2001;537:1009-20.

85. Helge JW, Watt PW, Richter EA, Rennie MJ, Kiens B. Partial restoration of dietary fat induced metabolic adaptations to training by 7 days of carbohydrate diet. J Appl Physiol (1985) 2002;93:1797-805.

86. Roepstorff C, Steffensen CH, Madsen M, Stallknecht B, Kanstrup IL, Richter EA, et al. Gender differences in substrate utilization during submaximal exercise in endurance-trained subjects. Am J Physiol Endocrinol Metab 2002;282:E435-47.

87. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. Am J Physiol 1993;265:E380-91.

88. Snyder AC, O'Hagan KP, Clifford PS, Hoffman MD, Foster C. Exercise responses to in-line skating: comparisons to running and cycling. Int J Sports Med 1993;14:38-42.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

89. Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. Metab 2003;52:747-52.

90. Knechtle B, Muller G, Willmann F, Kotteck K, Eser P, Knecht H. Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. Int J Sports Med 2004;25:38-44.

91. Cheneviere X, Malatesta D, Gojanovic B, Borrani F. Differences in whole-body fat oxidation kinetics between cycling and running. Eur J Appl Physiol 2010;109:1037-45.

92. Berggren JR, Boyle KE, Chapman WH, Houmard JA. Skeletal muscle lipid oxidation and obesity: influence of weight loss and exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab 2008;294:E726-32.

93. Kim JY, Hickner RC, Cortright RL, Dohm GL, Houmard JA. Lipid oxidation is reduced in obese human skeletal muscle. Am J Physiol Endocrinol Metab 2000;279:E1039-44.

94. Blaak E. Gender differences in fat metabolism. Curr Opin Clin Nutr Metab Care 2001;4:499-502.

95. Palmer BF, Clegg DJ. The sexual dimorphism of obesity. Mol Cell Endocrinol 2015;402:113-9.

96. Carter SL, Rennie C, Tarnopolsky MA. Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training. Am J Physiol Endocrinol Metab 2001;280:E898-907.

97. Tarnopolsky MA. Gender differences in substrate metabolism during endurance exercise. Can J Appl Physiol 2000;25:312-27.

98. Zderic TW, Coggan AR, Ruby BC. Glucose kinetics and substrate oxidation during exercise in the follicular and luteal phases. J Appl Physiol (1985) 2001;90:447-53.

99. Hackney AC, McCracken-Compton MA, Ainsworth B. Substrate responses to submaximal exercise in the midfollicular and midluteal phases of the menstrual cycle. Int J Sport Nutr 1994;4:299-308.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

100. Oosthuyse T, Bosch AN. The effect of the menstrual cycle on exercise metabolism: implications for exercise performance in eumenorrhoeic women. Sports Med 2010;40:207-27.

101. D'Eon T, Braun B. The roles of estrogen and progesterone in regulating carbohydrate and fat utilization at rest and during exercise. J Womens Health Gend Based Med 2002;11:225-37.

102. Blaak EE. Adrenergically stimulated fat utilization and ageing. Ann Med 2000;32:380-2.

103. Solomon TP, Marchetti CM, Krishnan RK, Gonzalez F, Kirwan JP. Effects of aging on basal fat oxidation in obese humans. Metabolism 2008;57:1141-7.

104. Manou-Stathopoulou V, Goodwin CD, Patterson T, Redwood SR, Marber MS, Williams RP. The effects of cold and exercise on the cardiovascular system. Heart 2015;101:808-20.

105. Cui J, Durand S, Levine BD, Crandall CG. Effect of skin surface cooling on central venous pressure during orthostatic challenge. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2005;289:H2429-33.

106. Vallerand AL, Jacobs I. Rates of energy substrates utilization during human cold exposure. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1989;58:873-8.

107. Vallerand AL, Jacobs I. Influence of cold exposure on plasma triglyceride clearance in humans. Metab 1990;39:1211-8.

108. Tikuisis P, Gonzalez RR, Oster RA, Pandolf KB. Role of body fat in the prediction of the metabolic response for immersion in cold water. Undersea Biomed Res 1988;15:123-34.

109. Tikuisis P, Bell DG, Jacobs I. Shivering onset, metabolic response, and convective heat transfer during cold air exposure. J Appl Physiol (1985) 1991;70:1996-2002.

110. Layden JD, Patterson MJ, Nimmo MA. Effects of reduced ambient temperature on fat utilization during submaximal exercise. Med Sci Sports Exerc 2002;34:774-9.

111. Layden JD, Malkova D, Nimmo MA. During exercise in the cold increased availability of plasma nonesterified fatty acids does not affect the pattern of substrate oxidation. Metab 2004;53:203-8.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

112. Doubt TJ, Hsieh SS. Additive effects of caffeine and cold water during submaximal leg exercise. Med Sci Sports Exerc 1991;23:435-42.

113. Galloway SD, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. Med Sci Sports Exerc 1997;29:1240-9.

114. Hoekstra SP, Bishop NC, Faulkner SH, Bailey SJ, Leicht CA. Acute and chronic effects of hot water immersion on inflammation and metabolism in sedentary, overweight adults. J Appl Physiol (1985) 2018;125:2008-18.

115. Yaspelkis III BB, Scroop GC, Wilmore KM, Ivy JL. Carbohydrate metabolism during exercise in hot and thermoneutral environments. Int J Sports Med 1993;14:13-9.

116. Carter J, Jeukendrup AE, Mundel T, Jones DA. Carbohydrate supplementation improves moderate and high-intensity exercise in the heat. Pflugers Arch 2003;446:211-9.

117. Coggan AR, Raguso CA, Gastaldelli A, Sidossis LS, Yeckel CW. Fat metabolism during high-intensity exercise in endurance-trained and untrained men. Metab 2000;49:122-8.

118. Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. Eur J Appl Physiol 2006;98:497-506.

119. Jequier E, Acheson K, Schutz Y. Assessment of energy expenditure and fuel utilization in man. Annu Rev Nutr 1987;7:187-208.

120. Ferrannini E. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. Metab 1988;37:287-301.

121. Peronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. Can J Sport Sci 1991;16:23-9.

122. Santoro N, Lasley B, McConnell D, Allsworth J, Crawford S, Gold EB, et al. Body size and ethnicity are associated with menstrual cycle alterations in women in the early menopausal transition: The Study of Women's Health across the Nation (SWAN) Daily Hormone Study. J Clin Endocrinol Metab 2004;89:2622-31.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

123. Keller JL, Casson PR, Toth MJ. Relationship of androgens to body composition, energy and substrate metabolism and aerobic capacity in healthy, young women. Steroids 2011;76:1247-51.

124. Ferreira TDS, Fernandes JFR, Araújo LDS, Nogueira LP, Leal PM, Antunes VP, et al. Serum Uric Acid Levels are Associated with Cardiometabolic Risk Factors in Healthy Young and Middle-Aged Adults. Arq Bras Cardiol 2018;111:833-40.

125. Jukic AM, Weinberg CR, Wilcox AJ, McConnaughey DR, Hornsby P, Baird DD. Accuracy of reporting of menstrual cycle length. Am J Epidemiol 2008;167:25-33.

126. ฐิติชญา สร้อยทอง. ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของไขมันภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วน [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2559.

127. Fox SM, Naughton JP. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. Prev Med 1972;1:92-120.

128. Ostendorf DM, Melanson EL, Caldwell AE, Creasy SA, Pan Z, MacLean PS, et al. No consistent evidence of a disproportionately low resting energy expenditure in long-term successful weight-loss maintainers. Am J Clin Nutr 2018;108:658-66.

129. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc 1982;14:377-81.

130. Tasing P, Kulaputana O, Sanguanrungsirikul S, Kaikaew K. Effects of precooling with cold water ingestion on thermoregulatory response of obese men during moderate intensity exercise in hot and humid environment. J Med Assoc Thai 2016;99:197-205.

131. Kipp S, Byrnes W, Kram R. Calculating metabolic energy expenditure across a wide range of exercise intensities: The equation matters. Appl Physiol Nutr Metab 2018;43.

132. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance. 6th ed. USA.: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.

133. Febbraio MA, Snow RJ, Stathis CG, Hargreaves M, Carey MF. Effect of heat stress on muscle energy metabolism during exercise. J Appl Physiol (1985) 1994;77:2827-31.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

134. Febbraio MA, Carey MF, Snow RJ, Stathis CG, Hargreaves M. Influence of elevated muscle temperature on metabolism during intense, dynamic exercise. Am J Physiol 1996;271:R1251-5.

135. Naperalsky M, Ruby B, Slivka D. Environmental temperature and glycogen resynthesis. Int J Sports Med 2010;31:561-6.

136. Barwell ND, Malkova D, Leggate M, Gill JM. Individual responsiveness to exercise-induced fat loss is associated with change in resting substrate utilization. Metab 2009;58:1320-8.

137. Irving BA, Davis CK, Brock DW, Weltman JY, Swift D, Barrett EJ, et al. Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition. Med Sci Sports Exerc 2008;40:1863-72.

138. Zhang H, Tong TK, Qiu W, Zhang X, Zhou S, Liu Y, et al. Comparable Effects of High-Intensity Interval Training and Prolonged Continuous Exercise Training on Abdominal Visceral Fat Reduction in Obese Young Women. J Diabetes Res 2017;2017:5071740.

139. Carroll S, Marshall P, Ingle L, Borkoles E. Cardiorespiratory fitness and heart rate recovery in obese premenopausal women. Scand J Med Sci Sports 2012;22:e133-9.

140. Nagashima J, Musha H, Takada H, Takagi K, Mita T, Mochida T, et al. Three-month exercise and weight loss program improves heart rate recovery in obese persons along with cardiopulmonary function. J Cardiol 2010;56:79-84.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสอบถามเพื่อคัดกรอง

(Screening Questionaire)

ตอนที่ 1 เกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

1. อายุ .....ปี อาชีพ .....
2. น้ำหนัก .....กิโลกรัม ส่วนสูง .....เมตร
3. BMI .....กิโลกรัม/ตารางเมตร

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ

โปรดตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่าง (ถ้ามี)

1) ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี ☐ โปรดระบุ .....

2) ท่านมีประวัติการเจ็บป่วยจากอากาศร้อนหรือไม่ (เช่น เป็นลมแดด Heat stroke เป็นต้น)

☐ ไม่มี ☐ มี ☐ โปรดระบุ .....

3) ท่านมีประวัติการเจ็บป่วยจากอากาศเย็นหรือไม่ (เช่น เป็นไข้หวัด มีน้ำมูก เป็นต้น)

☐ ไม่มี ☐ มี ☐ โปรดระบุ .....

4) ภายในระยะเวลา 1 เดือนที่ผ่านมา ท่านมีประวัติการบาดเจ็บที่ข้อต่อหรือกล้ามเนื้อที่เป็นอุปสรรคต่อการเดิน/วิ่งหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี ☐ โปรดระบุ .....

5) ท่านเคยเดิน/วิ่งบนลู่วิ่งสายพานหรือไม่

☐ เคย ☐ ไม่เคย

6) ท่านออกกำลังกายชนิดใด ในช่วงเวลา 1 เดือน ที่ผ่านมา

☐ เดิน ☐ วิ่ง ☐ ว่ายน้ำ ☐ ปั่นจักรยาน

☐ อื่นๆ .....

7) ท่านออกกำลังกายกี่ครั้งต่อสัปดาห์

☐ ≤1 ครั้งต่อสัปดาห์ ☐ ≥ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ☐ ไม่ออกกำลังกายเลย

8) ถ้าท่านออกกำลังกาย ท่านออกกำลังกายเป็นระยะเวลาเท่าไหร่ต่อครั้ง

☐ < 10 นาที ☐ ≥ 10 นาที

9) ใน 1 เดือนที่ผ่านมา ท่านได้เดินทางไปประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นเกินกว่า 7 วันหรือไม่

☐ ไม่ ☐ ใช่

10) ท่านใช้ชีวิตประจำวันในที่อากาศร้อนกี่ชั่วโมงต่อวัน (โดยประมาณ) .....ชั่วโมง

11) ท่านใช้ชีวิตประจำวันในที่อากาศเย็นกี่ชั่วโมงต่อวัน (โดยประมาณ) .....ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

12) ปัจจุบันท่านเป็นโรคต่อมไทรอยด์หรือไม่

☐ ไม่เป็น ☐ ไม่ทราบ เพราะ..... ☐ เป็น .....ปี → ☐ รักษา
☐ ไม่รักษา

หากเป็น โปรดระบุชื่อยาที่ใช้

รักษา.....

13) ปัจจุบันท่านเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดหรือไม่

☐ ไม่เป็น ☐ ไม่ทราบ เพราะ..... ☐ เป็น .....ปี → ☐ รักษา
☐ ไม่รักษา

หากเป็น โปรดระบุชื่อยาที่ใช้

รักษา.....

14) ปัจจุบันท่านเป็นโรคความดันโลหิตสูงหรือไม่

☐ ไม่เป็น ☐ ไม่ทราบ เพราะ..... ☐ เป็น .....ปี → ☐ รักษา
☐ ไม่รักษา

หากเป็น โปรดระบุชื่อยาที่ใช้

รักษา.....

15) ปัจจุบันท่านเป็นโรคเบาหวานหรือไม่ ตรวจมานานแล้วกี่ปี.....ปี

☐ ไม่เป็น ☐ ไม่ทราบ เพราะ..... ☐ เป็น .....ปี → ☐ รักษา
☐ ไม่รักษา

หากเป็น โปรดระบุชื่อยาที่ใช้

รักษา.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

16) ปัจจุบันประจำเดือนของท่านมาสม่ำเสมอทุกเดือนหรือไม่

☐ สม่ำเสมอ ☐ ไม่สม่ำเสมอ นาน .....เดือน → ☐ รักษา
☐ ไม่รักษา

วันแรกของประจำเดือนครั้งล่าสุด ..... ระยะห่างของรอบประจำเดือน .....วัน

17) ปัจจุบันท่านฉีดยาคุมกำเนิดหรือไม่

☐ ไม่ฉีด ☐ ฉีด ระบุชื่อยาคุมกำเนิด .....

18) ปัจจุบันท่านรับประทานยาและอาหารเสริมหรือไม่

☐ ไม่ใช่ ☐ ใช่ โปรดระบุ (ชื่อยาหรืออาหารเสริม)

1).....

2).....

3).....

19) ปัจจุบันท่านมีการใช้ยา ดังต่อไปนี้หรือไม่

☐ Lovastatin ☐ Simvastatin ☐ Fluvastatin ☐ Atrovastatin

☐ Anticholinergic ☐ Glycopyrrolate ☐ Oxybutynin ☐ Beta-blockers

☐ ไม่มีการใช้ยาใดๆ ดังที่กล่าวมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวปริมล แก้วผลึก
วัน เดือน ปี เกิด	2 มิถุนายน 2530
สถานที่เกิด	สุราษฎร์ธานี, ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2549-2552) วิทยาศาสตรบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์)
ที่อยู่ปัจจุบัน	442/326-327 ถ.ตลาดใหม่ ต.ตลาด อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี 84000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY