ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของไขมันภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วน

นางสาวฐิติชญา สร้อยทอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The effect of environmental temperature on fat oxidation after exercise at moderate in tensity in obese women.

Miss Thitichaya Soythong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Sports Medicine
Faculty of Medicine
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของไขมันภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วน
โดย	นางสาวฐิติชญา สร้อยทอง
สาขาวิชา	เวชศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. แพทย์หญิง อรอนงค์ กุละพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะแพทยศาสตร์

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุทธิพงศ์ วัชรสินธุ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. แพทย์หญิง อรอนงค์ กุละพัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ แพทย์หญิง จุไรพร สมบุญวงค์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิไล อโนมะศิริ)

ฐิติชญา สร้อยทอง : ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของไขมันภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วน (The effect of environmental temperature on fat oxidation after exercise at moderate intensity in obese women.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. พญ. อรอนงค์ กุละพัฒน์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. นพ. สมพล สงวนรังศิริกุล, 93 หน้า.

ภาวะอ้วนเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ นอกจากการออกกำลังกายที่เป็นวิธีการลดความอ้วนที่ยอมรับ การเพิ่มการออกซิเดชันของไขมัน (Fat oxidation; FOX) ในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายเป็นที่น่าสนใจ และมีงานวิจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิแวดล้อมที่ส่งผลต่อ FOX แต่ก็ยังไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิที่ส่งผลต่อ FOX ภายหลังการออกกำลังกายในหญิงอ้วน

วัตถุประสงค์ : เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแวดล้อมในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายต่อการออกซิเดชันของไขมันในหญิงอ้วน

ระเบียบวิธีการวิจัย : อาสาสมัครหญิงอ้วนออกกำลังกายระดับปานกลางด้วยการเดินเร็วบนลู่วิ่งสายพานในห้องอุณหภูมิปกติ แล้วพักเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในที่ร้อน (31 - 32°C; Hot; HT) หรือที่อุณหภูมิปกติ (24 - 25°C; Thermoneutral; TN) ตามลำดับที่สุ่มได้ ขณะออกกำลังกายและขณะพักภายหลังการออกกำลังกายจะมีการเก็บข้อมูล FOX และ การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation; CHOX) และเก็บตัวอย่างเลือดขณะนั่งพักเพื่อนำมาวิเคราะห์ glucose และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid; FFA)

ผลการทดสอบ : หญิงอ้วนจำนวน 24 คน นั่งพักภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลางเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า การพักใน TN มี FOX รวมสูงกว่า HT (59.6 ± 18.9 mg/kg BW/hr vs 46.2 ± 13.2 mg/kg BW/hr, $p < 0.01$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมี CHOX ใน HT สูงกว่า TN (108.1 ± 21.6 mg/kg BW/hr vs 92.0 ± 33.0 mg/kg BW/hr, $p < 0.05$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ FFA กลับไม่มีความแตกต่างระหว่าง HT และ TN (HT; 6.0 ± 0.7 mmol/L vs TN; 6.4 ± 0.7 mmol/L, $P = 0.30$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปผลการทดลอง : หญิงอ้วนมี FOX ภายหลังการออกกำลังกายในที่ TN สูงกว่าใน HT ดังนั้นการพักภายหลังการออกกำลังกายใน TN เป็นทางเลือกที่ดีและเป็นประโยชน์ในการลดน้ำหนักของคนอ้วน

สาขาวิชา เวชศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5674028830 : MAJOR SPORTS MEDICINE
KEYWORDS: MODERATE INTENSITY EXERCISE / ENVIRONMENTAL TEMPERATURE / FAT OXIDATION / OBESE WOMEN

THITICHAYA SOYTHONG: The effect of environmental temperature on fat oxidation after exercise at moderate intensity in obese women.. ADVISOR: ASSOC. PROF. ONANONG KULAPUTANA, Ph.D.,M.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMPOL SAGUANRUNGSIRIKUL, M.D., 93 pp.

Obesity is a common risk factor for chronic diseases. Exercise is a well-accepted method for weight loss. Increasing fat oxidation (FOX) with exercise has been reported. There is evidence that environmental temperature affects fat oxidation. However, it is not known whether environmental temperature affects fat oxidation rate during exercise recovery in obese women.

Objective: To study the effects of environmental temperature on fat oxidation during recovery period after moderate intensity exercise in obese women.

Methods: Obese women performed 30 min of brisk walk exercise on a treadmill in thermoneutral environment followed by 1 hour recovery phase at hot (HT; 31 – 32°C) and thermoneutral (TN; 24 – 25°C) environments on 2 different randomized occasions. During exercise and recovery, data on fat and carbohydrate oxidation (CHOX) rates were collected. Blood samples were collected for plasma free fatty acid and glucose levels.

Results: Twenty – four obese women participated in this study. During recovery period, FOX was significantly higher in TN compared to HT (59.6 ± 18.9 mg/kg BW/hr vs 46.2 ± 13.2 mg/kg BW/hr, $p < 0.01$), but carbohydrate oxidation in TN was lower (CHOX) (108.1 ± 21.6 mg/kg BW/hr vs 92.0 ± 33.0 mg/kg BW/hr, $p < 0.05$) than in HT. However, plasma free fatty acid (FFA) was not significantly different between the 2 recovery conditions (HT; 6.0 ± 0.7 mmol/L vs TN; 6.4 ± 0.7 mmol/L, $P = 0.30$).

Conclusion: After a moderate exercise session, obese women had a higher fat oxidation rate during recovery in TN. This suggests that TN condition is a better choice for this population to recover from exercise in order to enhance effective weight loss.

Field of Study: Sports Medicine Student's Signature .....
Academic Year: 2016 Advisor's Signature .....
Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.พญ. อรอนงค์ กุละพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.นพ. สมพล สงวนรังศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่สละเวลาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือตลอดจนดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาอุปสรรคที่พบในงานวิจัยและปรับปรุงข้อบกพร่องในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ รศ.นพ.พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์ ประธานคณะกรรมสอบวิทยานิพนธ์ ศ.พญ. จุไรพร สมบุญวงค์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. วิไล อโนมะศิริ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำปรึกษา แก้ไขปรับปรุง และให้ข้อคิดต่างๆ ที่มีประโยชน์มากระหว่างดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ นพ. ธนวินทร์ สุขสิริวรบุตร ที่สละเวลาช่วยดูแลอาสาสมัครขณะทำการทดลอง และเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อคัดกรองอาสาสมัคร ขอขอบคุณ คุณนุชนาถ พรชัย เจ้าหน้าที่ธุรการหลักสูตรเวชศาสตร์การกีฬา ที่ช่วยดำเนินเรื่องเอกสารต่างๆที่เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณทุนรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์นิสิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการอุดหนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณอาสาสมัครทุกท่านที่เสียสละเวลาและแรงกายมาเข้าร่วมงานวิจัย ซึ่งงานวิจัยจะไม่สามารถสำเร็จได้หากขาดบุคคลเหล่านี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ หลักสูตรเวชศาสตร์การกีฬา คณะแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือ สำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดีตั้งแต่แรกจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ทั้งด้านวิชาการและการดำเนินชีวิต พ่อแม่และญาติพี่น้อง ที่คอยให้กำลังใจและสนับสุนนผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา ซึ่งผู้วิจัยรู้ซึ้งในความกรุณาของทุกท่าน จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญภาพ ..... ฐ
สารบัญคำย่อ ..... ฒ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
คำถามงานวิจัย 4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
กรอบแนวความคิดในการวิจัย 5
สมมติฐานการวิจัย 5
ขอบเขตของการวิจัย 6
ข้อตกลงเบื้องต้น 6
ข้อจำกัดของการวิจัย 6
คำนิยามเชิงปฏิบัติที่จะใช้ในการวิจัย 7
ผลหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
บทที่ 2 8
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 8
กลไกการออกซิเดชันของไขมันในเซลล์กล้ามเนื้อลาย (Mechanism of fat oxidation in skeletal muscle cell) 8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกซิเดชันของไขมัน (Factors affecting fat oxidation) 12
ภาวะอ้วนกับการออกซิเดชันของไขมัน (Obesity and fat oxidation) 17
การวัดการออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธีทางอ้อม (Indirect calorimetry of fat oxidation)..... 18
การออกกำลังกายกับ carbohydrate metabolism 18
บทที่ 3 23
วิธีดำเนินการวิจัย 23
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 23
เกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าในการศึกษา 24
เกณฑ์ในการคัดออกจากการศึกษา 24
การเลือกกลุ่มตัวอย่าง 25
การเข้าถึงอาสาสมัคร 25
การขอความยินยอมจากอาสาสมัคร 25
การคัดกรองอาสาสมัครและการวัดค่าพื้นฐานต่างๆ 25
การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง 26
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 27
วิธีการดำเนินการวิจัย 29
ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 30
การนัดอาสาสมัครเพื่อเข้ารับการทดสอบ 31
ขั้นตอนการสุ่ม (Randomization) 31
ขั้นตอนการทดสอบออกกำลังกาย 31
ขั้นตอนการออกกำลังกาย 32
การวัดค่าตัวชี้วัดขณะออกกำลังกาย 32
การวัดค่าขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย 33

หน้า

การดื่มน้ำ (Water Replacement) 33
วิธีการคำนวณการออกซิเดชันของไขมัน 33
วิธีการเปลี่ยนหน่วยเป็นกิโลแคลอรี่ 34
การวัดอุณหภูมิผิวหนัง 34
ข้อกำหนดในการหยุดการทดสอบออกกำลังกายและขณะพักในการศึกษาครั้งนี้ 35
การควบคุมอุณหภูมิแวดล้อม 35
การเก็บตัวอย่างเลือด 36
วิเคราะห์ตัวอย่างเลือด 36
การควบคุมอาหาร 37
การวิเคราะห์ข้อมูล 38
บทที่ 4 39
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 39
คุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง 39
อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยขณะออกกำลังกายและขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย . 40
ค่าเฉลี่ยของ Total fat oxidation, total CHO oxidation และ energy expenditure ขณะออกกำลังกายและขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย 41
เปรียบเทียบ Total fat oxidation, total CHO oxidation และ energy expenditure ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย 43
ค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือด (Blood Glucose) ขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย 46
ความสัมพันธ์ระหว่างการออกซิเดชันของไขมันกับกรดไขมันอิสระขณะพักในอุณหภูมิต่างๆ 47
กรดไขมันอิสระในเลือดขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย 48
บทที่ 5 49
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 49
อภิปรายผลการวิจัย 50

หน้า

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมขณะพักภายหลังการออกกำลังกายต่อการออกซิเดชันของไขมันในหญิงอ้วน 50

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมขณะพักภายหลังการออกกำลังกายต่อการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตในหญิงอ้วน 51

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อกรดไขมันอิสระขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย 52

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันไขมันและกรดไขมันอิสระในเลือดขณะพักหลังการออกกำลังกาย 53

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายต่อการใช้พลังงานรวมในหญิงอ้วน 54

สรุปผลการวิจัย 54

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ 55

รายการอ้างอิง 56

ภาคผนวก 64

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการ 40

ตารางที่ 2 แสดงสภาวะแวดล้อมขณะออกกำลังกายและขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย 41

ตารางที่ 3 แสดงการออกซิเดชันของไขมัน คาร์โบไฮเดรตและการใช้พลังงานรวมขณะออกกำลังกายเป็นเวลา 30 นาทีและขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย 42

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือดขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย 46

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือดขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทุก 20 นาที 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 Coordination of the regulation of fat deposition and fat mobilization in adipose tissue 8

ภาพที่ 2 Fatty acids movement across the muscle membrane 9

ภาพที่ 3 Hydrolysis of intramuscular Triacylglycerol 11

ภาพที่ 4 Fatty acid movement across mitochondria membrane 11

ภาพที่ 5 Plasma hormonal concentrations during female sexual cycle 13

ภาพที่ 6 Fat oxidation at relative intensities between trained and untrained women 15

ภาพที่ 7 Fat oxidation in cycling Vs. walking 16

ภาพที่ 8 Thermoregulation 19

ภาพที่ 9 แสดง timeline วันที่ทดสอบในช่วงก่อนออกกำลังกาย ขณะออกกำลังกาย และการนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย 31

ภาพที่ 10 แสดงการออกกำลังกาย ด้วยการเดินบนลู่วิ่งสายพาน เป็นเวลา 30 นาที 32

ภาพที่ 11 แสดงท่าทางขณะนั่งพักภายหลัง การออกกำลังกายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 32

ภาพที่ 12 แสดงการคา venous catheter บริเวณข้อพับแขน 36

ภาพที่ 13 แสดงการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในตัวอย่างพลาสมา 37

ภาพที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ย ของ fat oxidation ทุก 5 นาทีในขณะพักหลักจากออกกำลังกาย 43

ภาพที่ 15 แสดงค่า fat oxidation รวมขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย 44

ภาพที่ 16 แสดงค่า CHO oxidation รวมขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย 45

ภาพที่ 17 แสดงค่า Energy expenditure ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย 45

ภาพที่ 18 แสดงกราฟของ blood glucose ก่อนและหลังการออกกำลังกาย 47

ภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการออกซิเดชันของไขมันกับกรดไขมันอิสระในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ 47

Chulalongkorn University

ภาพที่ 20 แสดง AUC ปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ 48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญคำย่อ

คำย่อ	คำเต็ม	ความหมาย
AT	Adipose tissue	เนื้อเยื่อไขมัน
ATBF	Adipose tissue blood flow	การไหลเวียนเลือดบริเวณเนื้อเยื่อไขมัน
BMI	Body mass index	ค่าดัชนีมวลกาย
BP	Blood pressure	ความดันโลหิต
℃	Degree Celsius	องศาเซลเซียส
CHOOX	Carbohydrate oxidation (CHO oxidation)	การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต
CPT complex	Carnitine palmitoyl transferase complex	ช่องโปรตีนที่นำกรดไขมันอิสระเข้าสู่ไมโตคอนเดรีย
CPT I	Carnitine palmitoyl transferase I	ช่องโปรตีนที่นำกรดไขมันอิสระเข้าสู่เมมเบรนชั้นนอกของไมโตคอนเดรีย
CPT II	Carnitine palmitoyl transferase II	ช่องโปรตีนที่นำกรดไขมันอิสระเข้าสู่เมมเบรนชั้นในของไมโตคอนเดรีย
EE	Energy expenditure	การใช้พลังงานรวม
EPOC	Excess post – exercise oxygen consumption	การใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกาย
EXS	Exercise	การออกกำลังกาย
Fat_{max}	Maximum fat oxidation	การออกซิเดชันของไขมันสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

FFA	Plasma free fatty acid	กรดไขมันอิสระในเลือด
FOX	Fat oxidation	การออกซิเดชันของไขมัน
HR	Heart rate	อัตราการเต้นของหัวใจ
HR_{max}	Maximum heart rate	อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด
HR_{rest}	Resting heart rate	อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก
HRR	Maximum heart rate reserve	อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดสำรอง
HT	Hot condition	ที่ร้อน (31 - 32°C)
kcal	Kilo calorie	กิโลแคลอรี่
kg/m^2	Kilogram per square meter	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
mg	Milligram	มิลลิกรัม
mg/dL	Milligram per deciliter	มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
mmHg	Millimeter of Mercury	มิลลิเมตรปรอท
mg/min	Milligram per minute	มิลลิกรัมต่อนาที
min	minute	นาที
mL/min	Milliliter per minute	มิลลิลิตรต่อนาที
TAG	Triacylglycerol	ไขมันชนิดหนึ่งที่ถูกเก็บในเนื้อเยื่อไขมัน
T_{core}	Core temperature	อุณหภูมิแกนกลางร่างกาย
T_{skin}	Skin temperature	อุณหภูมิบริเวณผิวหนัง
TN	Thermoneutral condition	อุณหภูมิปกติ (24 - 25°C)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

RER	Respiratory exchange ratio	อัตราส่วนระหว่างการใช้ออกซิเจนและการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากลมหายใจ
RPE	Rating of perceived Exertion	อัตราความรู้สึกเหนื่อย
RH	Relative humid	ความชื้นสัมพัทธ์
VCO_2	Carbon dioxide produced rate	อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากลมหายใจ
VO_2	Oxygen consumption rate	อัตราการใช้ออกซิเจน
VO_{2max}	Maximum oxygen consumption	การใช้ออกซิเจนสูงสุด(แท้จริง)
WHO	World health organization	องค์การอนามัยโลก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันภาวะอ้วนเป็นสาเหตุของความเสี่ยงที่จะเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจและหลอดเลือด[3] สามารถจำแนกความอ้วนได้จากความเสี่ยงของการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังด้วยค่าดัชนีมวลกาย (body mass index; BMI) ซึ่งจะมี BMI มากกว่าหรือเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร จัดอยู่ในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง[4] จากการสำรวจปี 1980 – 2013 ในประเทศไทย พบเพศหญิงมีความชุกของภาวะอ้วนมากกว่าเพศชาย[5] โดยปกติแล้วเพศหญิงจะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันที่มากกว่าเพศชาย ทั้งในกลุ่มคนเอเชียและคนกลุ่มผิวขาว[6] ดังนั้นเพศหญิงจึงมีความน่าสนใจในการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ไขมันเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานด้วยความชุกที่มีมากกว่า และเป็นกลุ่มที่มีความต้องการลดความอ้วน

โดยทั่วไปกลุ่มคนอ้วนจะมีการนำไขมันที่สะสมมาเปลี่ยนเป็นพลังงานด้วยการออกซิเดชันของไขมัน (fat oxidation) ในขณะพักน้อยกว่าปกติ[2] และมีงานวิจัยในคนอ้วน พบว่า fat oxidation มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับน้ำหนักตัว หมายความว่า เมื่อมีน้ำหนักตัวมากขึ้นจะไม่ทำให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย[7] ซึ่งการออกซิเดชันของไขมันเกิดจากการนำเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) ที่กักเก็บไขมันไว้อยู่ในรูปของ triacylglycerol[8] ผ่าน adipose tissue blood flow (ATBF) ไปสลายเป็นพลังงานในไมโตคอนเดรียของเซลล์กล้ามเนื้อ[2] โดยมีรายงานว่า ในกลุ่มคนอ้วนมี ATBF น้อยกว่าคนปกติ[9] โดยที่ ATBF มีความสัมพันธ์ในการขนส่งกรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) ไป oxidize[10] เป็นเหตุผลที่ว่า คนอ้วนจะมี fat oxidation น้อยกว่าคนปกติ[11] ดังนั้นการเพิ่ม ATBF จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ โดยการเพิ่ม ATBF เพื่อเพิ่มการนำ FA ไป oxidize นั้น สามารถทำได้ด้วยการออกกำลังกาย ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับสำหรับการลดความอ้วนและการคุมน้ำหนัก มีรายงานเกี่ยวกับ ATBF ขณะออกกำลังกายระดับปานกลางและหลังการออกกำลังกายในคนสุขภาพดี พบว่า มี ATBF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย และยังพบอีกว่าหลังการออกกำลังกายก็ยังคงมี ATBF สูงกว่าก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[12] มีการศึกษาพบว่า ในขณะออกกำลังกายปริมาณของ FFA มีความสัมพันธ์กับ fat oxidation หมายถึง

เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ FFA ในเลือด fat oxidation ก็เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังลดการเกิด carbohydrate oxidation (CHO oxidation) จากการสลาย glycogen[13] และลดการ re – esterified FFA ตามไปด้วย[14] นอกจากนี้มีงานวิจัยที่พบว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ระดับปานกลางมีสัดส่วนของ fat oxidation ต่อ CHO oxidation มากกว่าการออกกำลังกายระดับหนัก[15] และสอดคล้องกับคำแนะนำของ American college of sports medicine (ACSM) ว่า คนอ้วนควรเริ่มต้นออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง[16] สรุปได้ว่าในคนอ้วนที่มี fat oxidation น้อยกว่าคนปกติ สามารถเพิ่ม fat oxidation ได้ด้วยการเพิ่ม ATBF ด้วยวิธีการออกกำลังกายที่ระดับปานกลาง

โดยทั่วไป fat oxidation จะเพิ่มสูงขึ้นขณะออกกำลังกายในสภาวะปกติ แล้วจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อหยุดออกกำลังกาย จนเท่ากับอัตรา fat oxidation ก่อนออกกำลังกาย[17] แต่ภายหลังการออกกำลังกายร่างกายจำเป็นต้องใช้กรดไขมันอิสระมาช่วยในกระบวนการ glycogen resynthesis จากการสูญเสีย glycogen ขณะออกกำลังกาย[18] มีการศึกษา glycogen resynthesis ภายหลังการออกกำลังกาย พบว่า ในช่วง 1 ชั่วโมงแรกของการพักภายหลังออกกำลังกายมี glycogen resynthesis rate สูงและพบ FFA ในเลือดไม่แตกต่างจากขณะออกกำลังกาย จึงเป็นไปได้ว่ามีการนำ FFA ในเลือดไปใช้ในการสังเคราะห์ไกลโคเจนในขณะพัก[19] เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า การออกกำลังกายจะช่วยเพิ่ม fat oxidation ได้ แต่ระยะเวลาการออกกำลังกายเป็นเพียงช่วงเวลาอันสั้น ดังนั้นการเพิ่ม fat oxidation ภายหลังการออกกำลังกายเป็นอีกตัวช่วยในการลดน้ำหนักของคนอ้วน ซึ่งมีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มอุณหภูมิของกล้ามเนื้อขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกล้ามเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับ excess post - exercise oxygen consumption (EPOC) โดยที่อุณหภูมิกล้ามเนื้อที่สูงขึ้นทำให้มี EPOC มากขึ้น แสดงถึงมีการนำออกซิเจนมา oxidize กับสารอาหารที่มากขึ้นตามไปด้วย[20] และยังพบอีกว่า ในขณะออกกำลังกายในที่ร้อนแล้วมีการพักในที่ร้อน ฮอร์โมน norepinephrine ซึ่งเป็นฮอร์โมนกระตุ้นให้เกิด fat oxidation สูงกว่าการออกกำลังกายในอุณหภูมิปกติและพักในอุณหภูมิปกติอย่างมีนัยสำคัญ[21] กล่าวโดยสรุปได้ว่า การออกกำลังกายเป็นวิธีที่ใช้เพิ่ม fat oxidation แต่สามารถทำได้เพียงระยะเวลาอันสั้น หากเพิ่ม fat oxidation ด้วยการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิแวดล้อมในช่วงของการพักภายหลังการออกกำลังกายที่เป็นช่วงของการสังเคราะห์ไกลโคเจนก็เป็นที่น่าสนใจ

อย่างไรก็ตามหลายงานวิจัยมีการรายงานผลเกี่ยวกับอุณหภูมิต่อการพักภายหลังการออกกำลังกายแตกต่างกันไป ซึ่งบางงานวิจัยพบว่า การพักในที่เย็น (10°C) จะมีความเข้มข้นของ FFA ใน

เลือดและมี fat oxidation มากกว่าการพักในที่ร้อน (28ºC)[22] และมีงานวิจัยในชายที่ออกกำลังกายเป็นประจำ ออกกำลังกายในที่ร้อน (32ºC) แล้วมีการพักในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่า การพักในอุณหภูมิปกติ (22ºC) จะมีการCHO oxidation น้อยกว่าในที่ร้อน(32ºC) [23] แต่ก็มีบางงานวิจัยที่พบว่า การให้ชายอ้วนนั่งพักในที่ร้อน (60ºC) จะทำให้มีสัดส่วนการใช้ไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับหลังออกกำลังกาย[24] และในหญิงสุขภาพดีจะมี FFA ในเลือดเพิ่มขึ้นในขณะพักในที่ร้อน[25] แต่งานวิจัยส่วนมากจะเป็นงานวิจัยที่ทำในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น ทำให้อาจมีผลของการปรับตัวต่อสภาพอากาศร้อน (heat acclimatization) เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งมีการศึกษาเกี่ยวกับ heat acclimatization ในชายสุขภาพดี พบว่า ในคนที่มี heat acclimatization จะมี fat oxidation ในขณะออกกำลังกายมากกว่าเมื่อเทียบกับก่อน heat acclimatization และหลังจากมี heat acclimatization แล้วยังมีการใช้ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อที่ลดลงตามไปด้วย[26] จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นเป็นไปได้ว่า มีปัจจัยหลายอย่างรวมถึงอุณหภูมิที่ศึกษาและการปรับตัวต่อสภาพอากาศร้อนอาจมีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงอาจทำให้ได้ผลที่แตกต่างกันออกไป

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ศึกษาผลของอากาศร้อนที่มีต่อ fat oxidation ในคนอ้วนมีงานวิจัยค่อนข้างน้อยและยังไม่ชัดเจน และมักเป็นงานวิจัยทำการศึกษาในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น ยังขาดข้อมูลที่แน่ชัดว่า หากผู้เข้าร่วมงานวิจัยอยู่ในประเทศเขตร้อน มีความคุ้นชินต่อสภาพอากาศร้อน และเลือกศึกษาอุณหภูมิแวดล้อมที่พบได้ในชีวิตประจำวัน (32ºC, ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5%[27] จะมีผลเป็นอย่างไร เป็นที่น่าสังเกตว่า การศึกษาในที่ร้อนส่วนใหญ่มักทำในคนน้ำหนักปกติและในเพศชาย แม้จะมีรายงานว่า เพศหญิงมีการออกซิเดชันของไขมันขณะออกกำลังกายมากกว่าเพศชาย[28],[29] แต่การที่เพศหญิงมีความชุกของภาวะอ้วนมากกว่าเพศชาย[5] จึงเป็นที่น่าสนใจว่า fat oxidation ภายหลังการออกกำลังกาย ในสภาพอากาศที่แตกต่างกันในคนอ้วนเพศหญิงอย่างไร และเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติตัวภายหลังการออกกำลังกายของกลุ่มคนอ้วนในประเทศเขตร้อน โดยเฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

คำถามงานวิจัย

คำถามหลัก ในหญิงอ้วนการออกซิเดชันของไขมันขณะพักในที่อากาศร้อนภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลางที่อุณหภูมิปกติ ต่างจากขณะพักในที่อุณหภูมิปกติหรือไม่ อย่างไร

คำถามรอง กรดไขมันอิสระในพลาสมามีความสัมพันธ์กันหรือไม่เพียงไรกับอัตราการออกซิเดชันของไขมันขณะพักภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลางในที่อากาศร้อนและที่อุณหภูมิปกติ

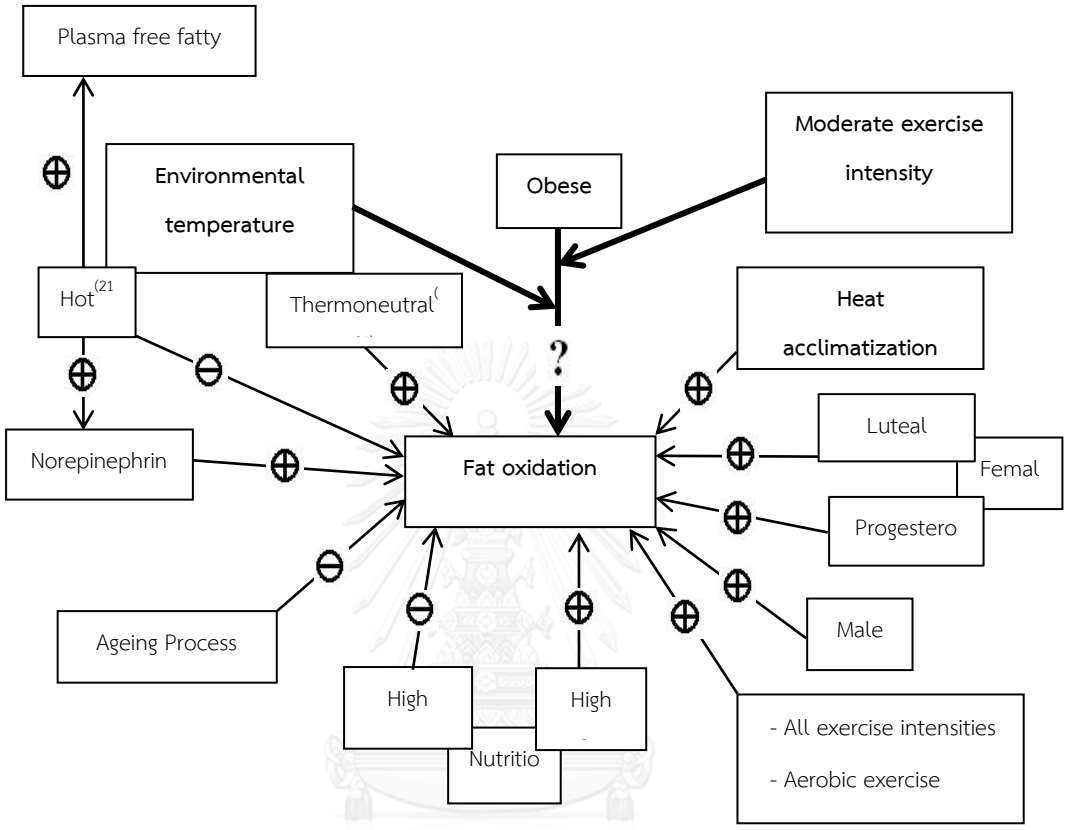
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแวดล้อมในขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย ต่อการออกซิเดชันของไขมันในหญิงอ้วน
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของกรดไขมันอิสระในพลาสมากับอัตราการออกซิเดชันของไขมันขณะพักภายหลังออกกำลังกายในที่อากาศร้อนและที่อุณหภูมิปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรอบแนวความคิดในการวิจัย

Fat oxidation during post – exercise recovery



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมมติฐานการวิจัย

1. ในคนอ้วนเพศหญิงการพักในที่อากาศร้อนภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลางที่อุณหภูมิปกติ มีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าการพักในที่อุณหภูมิปกติ
2. ภายหลังออกกำลังกายระดับปานกลางกรดไขมันอิสระในพลาสมาขณะพักในที่อากาศร้อนและที่อุณหภูมิปกติมีความสัมพันธ์กับอัตราการออกซิเดชันของไขมันในหญิงอ้วนประเทศอุณหภูมิร้อน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในมนุษย์แบบไขว้ (Human experimental study with cross over design) ในคนอ้วนเพศหญิง ที่มีอายุระหว่าง 18 – 35 ปี ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำที่ยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรม คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย IRB No.600/58 เนื่องจากเป็นการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นมนุษย์ ดังนั้นผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับทราบถึงวัตถุประสงค์ของโครงการ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยและเปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยได้ซักถามตามความต้องการก่อนที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยลงนามยินยอมเข้าร่วมการศึกษาเป็นลายลักษณ์อักษร และสามารถยกเลิกการเข้าร่วมโครงการช่วงใดก็ได้ ไม่ว่าด้วยเหตุผลใดก็ตาม

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องมือที่ผ่านการทดสอบความเที่ยงตรงและความแม่นยำตามมาตรฐาน
2. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องรับประทานอาหาร 3 มื้อที่ผู้วิจัยได้จัดเตรียมให้ก่อนเข้ารับการทดสอบเป็นเวลา 1 วัน
3. ก่อนเข้ารับการทดสอบ 2 ชั่วโมง ผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องดื่มน้ำปริมาณ 600 มิลลิลิตร

Chulalongkorn University

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้ทำในคนอ้วนเพศหญิงอายุ 18 – 35 ปี ที่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยและผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าผลที่ได้อาจจำเพาะต่อประชากรในกลุ่มตัวอย่าง
2. อุณหภูมิที่เลือกใช้ศึกษาเป็นอุณหภูมิที่พบบ่อยในสถานออกกำลังกายและอุณหภูมิเฉลี่ยโดยประมาณของประเทศไทย ผลที่ได้จึงอาจไม่ครอบคลุมทุกสภาพอากาศ
3. ผู้วิจัยไม่ได้ทำการวัดค่าพื้นฐานของการออกซิเดชันของไขมันก่อนการออกกำลังกาย จึงไม่สามารถนำค่าการออกซิเดชันของไขมันเปรียบเทียบก่อนออกกำลังกายกับระหว่างการนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายได้

คำนิยามเชิงปฏิบัติที่จะใช้ในการวิจัย

1. การออกซิเดชันของไขมัน (fat oxidation) หมายถึง การนำไขมันที่สะสมอยู่ในร่างกาย มาเปลี่ยนเป็นพลังงาน ซึ่งทำการวัดโดยใช้วิธี indirect calorimetry
2. กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) หมายถึง monocarboxylic acid โซ่ตรงที่เกิดจากการแตกตัวของ triacylglycerol ใน adipose tissue ด้วยวิธีการ hydrolysis ซึ่งทำการวัดโดยการตรวจความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในพลาสมา โดยวิธี colorimetry
3. Indirect calorimetry หมายถึง การวัดการใช้พลังงานโดยทางอ้อม สามารถคำนวณได้จากค่าของ ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจเข้า – ออก
4. ที่อากาศร้อน (hot environment) หมายถึง อุณหภูมิ 31 - 32ºC และมีความชื้นสัมพัทธ์ 75±5%
5. ที่อุณหภูมิปกติ (thermoneutral) หมายถึง อุณหภูมิ 24 - 25ºC และมีความชื้นสัมพัทธ์ 75±5%
6. การออกกำลังกายระดับปานกลาง (moderate intensity exercise) หมายถึง การออกกำลังกายด้วยการเดินที่ความหนัก 45 – 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองสูงสุด
7. ภาวะอ้วน หมายถึง การมีค่าดัชนีมวลกาย (body mass index; BMI) มากกว่าหรือเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงผลของการออกซิเดชันของไขมันภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลางในคนอ้วนเพศหญิงที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในคนที่อาศัยอยู่ในประเทศเขตร้อนที่มีการปรับตัวต่อสภาพอากาศร้อนแล้ว เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการปฏิบัติตัวภายหลังการออกกำลังกาย เพื่อเพิ่มการเผาผลาญไขมันในคนอ้วน
2. เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับทำการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตถึง สภาวะสำหรับการออกกำลังกายและการพักภายหลังออกกำลังกายเสร็จสิ้น ที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดในคนอ้วนที่ต้องการลดน้ำหนัก

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

กลไกการออกซิเดชันของไขมันในเซลล์กล้ามเนื้อลาย (Mechanism of fat oxidation in skeletal muscle cell)

เนื้อเยื่อไขมันหรือ adipose tissue (AT) เป็นคลังกักเก็บพลังงานและเป็นแหล่งพลังงานหลักที่นำมาใช้ในกระบวนการ metabolism ซึ่งพลังงานสำรองของมนุษย์ที่ถูกเก็บใน fat cell จะอยู่ในรูปของ triacylglycerol (TAG) ที่จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการออกซิเดชันของไขมัน (fat oxidation)[8] โดยมีขั้นตอนการควบคุม fat oxidation ดังนี้

1.) กระบวนการ lipolysis จาก AT และการขนส่ง free fatty acid (FFA) ไปที่เซลล์กล้ามเนื้อ

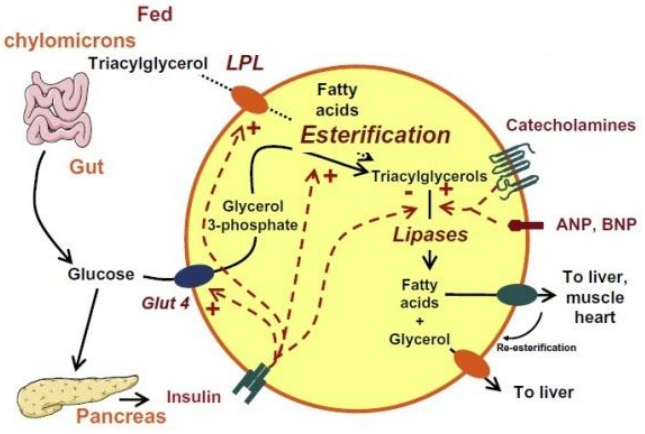
2.) การเคลื่อนที่ของ FFA ผ่าน sarcolemma

3.) การ hydrolysis ของ TAG ภายในเซลล์กล้ามเนื้อ

4.) การเคลื่อนที่ของ FFA ผ่าน membrane ของไมโตคอนเดรีย[2]

<u>กระบวนการ lipolysis จาก adipose tissue และการขนส่ง free fatty acid ไปที่เซลล์กล้ามเนื้อ</u>

ปัจจัยในการควบคุมการเก็บหรือเคลื่อนย้าย triacylglycerol (TAG) ออกมาจาก adipocyte คือ adipose tissue (AT) จะถูก buffer ด้วยการเพิ่มการกำจัด TAG ในพลาสมารวมถึงระงับการปล่อย FFA ในกระแสเลือด และ TAG จะขึ้นสูงใน adipocyte จาก 2 ปัจจัย



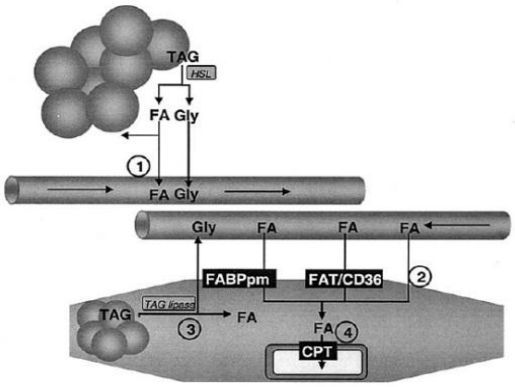
ภาพที่ 1 Coordination of the regulation of fat deposition and fat mobilization in adipose tissue.[1]

หลักๆ คือ การรับประทานอาหารที่มี FFA และการสร้างจากสิ่งที่ไม่ใช่ไขมัน ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ไขมัน (lipogenesis) จากสิ่งที่ไม่ใช่ไขมันหรือจากการรับประทานเข้าไปนั้น TAG ใน lipoprotein จะถูก hydrolyze ด้วยlipoprotein lipase (LPL) ที่มาจาก adipocyte โดย LPL จะถูกสังเคราะห์และหลั่งมาจาก adipocyte เคลื่อนที่ผ่าน lumen of capillary [1] ไปสลาย TAG ผ่าน endothelial lining ออกมาเป็น non – esterified fatty acid (NEFA) และ glycerol ซึ่ง NEFA ที่ได้จากการสลาย TAG บางตัวจะถูกจับโดย adipocyte[30],[31] และถูกขนส่งด้วย albumin ไปยังเนื้อเยื่ออื่นๆ เช่น skeletal muscle ตับ กล้ามเนื้อหัวใจ เป็นต้น แต่ NEFA บางส่วนจะถูก re – esterified กลับไปเป็น TAG ใน adipocyte เช่นเดิม[32],[33] ดังแสดงในภาพที่ 1 หากมีการออกกำลังกายและมีการพักในที่ร้อน จะทำให้มีฮอร์โมน norepinephrine สูงกว่าการออกกำลังกายและพักในที่อุณหภูมิปกติ เนื่องจากการลดลงของ plasma volume ซึ่งเกิดจากการเสียเหงื่อในที่ร้อน จะไปกระตุ้นการหลั่ง norepinephrine[21] ซึ่งมีการศึกษาด้วยการฉีดฮอร์โมน epinephrine ในชายและหญิงสุขภาพหลังการออกกำลังกายที่ระดับเบาและปานกลาง พบว่า ในครั้งที่ไม่ฉีดฮอร์โมน epinephrine จะมีฮอร์โมน norepinephrine ที่สูง และจะมี FFA oxidation สูงขึ้นตามไปด้วย[34] กล่าวโดยสรุปคือ ไขมันจะถูกเก็บอยู่ในรูปของ AT เมื่อมีการกระตุ้นจากฮอร์โมน norepinephrine ATจะถูกสลายด้วยเอ็นไซม์จาก lipolysis จนอยู่ในรูปของ FFA เพื่อเตรียมพร้อมที่จะเคลื่อนย้ายเข้าสู่เซลล์ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การเคลื่อนที่ของ FFA ผ่าน Sarcolemma</u>

ในช่วงของขณะพักไปจนถึงการออกกำลังกายระดับปานกลาง จะมีการเพิ่มขึ้นของ fat oxidation ด้วยการเพิ่มกระบวนการ lipolysis และลดการ re – esterified ของ FFA โดยมีการนำ FFA มา oxidize และการฝึกแบบทนทาน (endurance training) ทำให้การขนส่ง FFA ผ่าน sarcolemma ดีขึ้น อีกทั้ง endurance training เพิ่มการขนส่ง FFA



ภาพที่ 2 Fatty acids movement across the muscle membrane (Sarcolemma)[6]

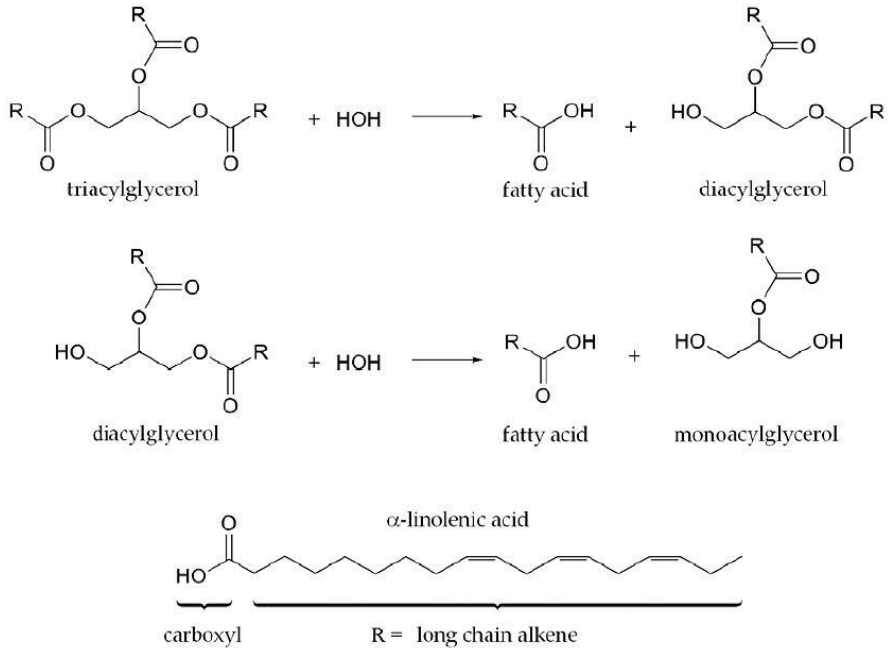
เพราะมีการเพิ่มของ mRNA และโปรตีนที่ทำหน้าที่ขนส่ง FFA คือ plasma membrane fatty acid binding protein (FABPpm) และ FAT/CD36 ดังแสดงในภาพที่ 2 จากงานวิจัยพบว่า โปรตีน FABPpm ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีหน้าที่นำ FFA เข้าสู่เซลล์ เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 49 หลังจากการออกกำลังกายเป็นประจำ 3 สัปดาห์ ส่วนโปรตีน FAT/CD36 เมื่อออกกำลังกายระดับปานกลางติดต่อกัน 9 วัน พบว่า ยีนที่แสดงถึงปริมาณของ FAT/CD36 เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 36 [35-37] และจากงานวิจัยของ Wolfe และคณะในปี 1990 พบว่า ก่อนออกกำลังกาย re – esterified FFA rate จะอยู่ที่ร้อยละ 70 แต่ในขณะออกกำลังกายระดับปานกลางเป็นเวลา 30 นาที re – esterified FFA rate จะลดลงเหลือรอยละ 25 และการเพิ่มขึ้นของ FFA ในเลือดขณะออกกำลังกาย พบว่า มีการเคลื่อนย้าย FFA จาก AT ไปยังกล้ามเนื้อมากขึ้น[14]

ในทางกลับกันการออกกำลังกายระดับหนักกลับมีกระบวนการ lipolysis ที่เท่าเดิมหรือลดลง[38] เนื่องจากการออกกำลังกายระดับหนักจะไปยับยั้ง carnitine palmitoyl transferase I (CPT I) ที่เป็นเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่นำ FFA เข้าสู่ไมโตคอนเดรีย ทำให้ต้องใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากขึ้นและเกิด lactate เพิ่มขึ้น[39] เมื่อ CPT I ลดลง การขนส่ง FFA จาก AT จะลดลง ทำให้ความเข้มข้นของ FFA ในพลาสมาไม่เปลี่ยนแปลงหรืออาจจะลดลง และการ fat oxidation ต่ำลงเมื่อออกกำลังกายแบบหนัก[15]

<u>การ hydrolysis ของ Triacylglycerol ภายในเซลล์กล้ามเนื้อ</u>

การ hydrolysis ของ triacylglycerol (TAG) ภายในเซลล์กล้ามเนื้อ ดังแสดงในภาพที่ 3 จะต้องมีการสลาย lipid binding protein ซึ่งเป็นโปรตีนส่วนที่ห่อหุ้มไขมัน มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) เพื่อให้เหลือแต่ส่วนของไขมัน พร้อมจะนำเข้าสู่กระบวนการ lipolysis ต่อไป และมีงานวิจัยพบว่า การออกกำลังกาย 3 เดือน จะมีการเพิ่มขึ้นของ fat oxidation และมีการเพิ่มขึ้นของ TAG ในเซลล์กล้ามเนื้อถึง 159% ซึ่งในขณะออกกำลังกาย TAG lipase จะเพิ่มขึ้นและจะลดลงหลังการออกกำลังกาย[40] กล่าวโดยสรุปคือ การออกกำลังกายเป็นการกระตุ้นให้มีการหลั่ง TAG lipase แต่เมื่อหยุดออกกำลังกายแล้ว TAG lipase ที่หลั่งออกมาเริ่มทำงาน มีการขนส่ง TAG ไปยังกล้ามเนื้อ ทำให้มี TAG ในเซลล์กล้ามเนื้อมากขึ้น

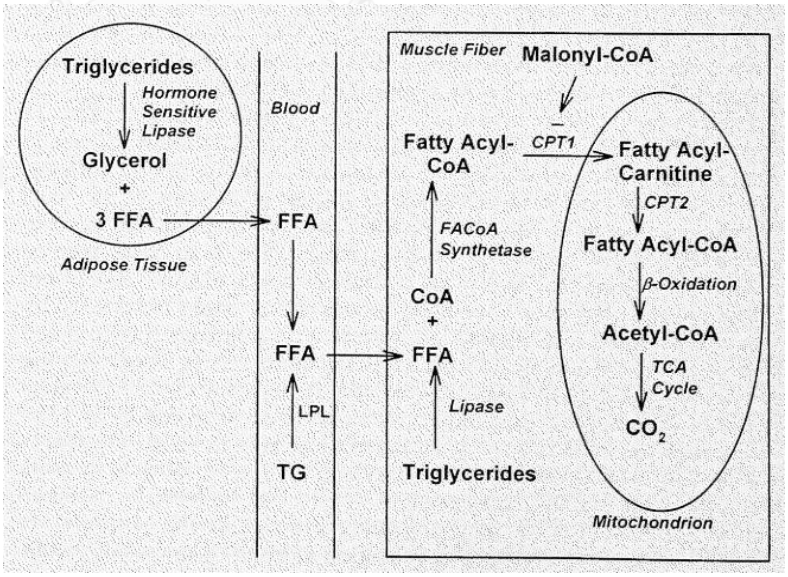
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3 Hydrolysis of intramuscular Triacylglycerol[40]

<u>การเคลื่อนที่ของ free fatty acid ผ่าน membrane ของไมโตคอนเดรีย</u>

การ oxidize ของ free fatty acid (FFA) ในแต่ละรูปแบบมีความแตกต่างกันทางการนำ FFA เข้าสู่ membrane ของไมโตคอนเดรีย ซึ่ง long – chain fatty acid (LCFA) จะมีข้อจำกัดมากกว่า medium – chain FA (MCFA)



ภาพที่ 4 Fatty acid movement across mitochondria membrane[43]

เพราะ LCFA จะผ่านเข้า membrane ของไมโตคอนเดรียได้ต้องมีเอนไซม์ที่รวมตัวกับ LCFA นั่นก็คือ carnitine palmitoyl transferase complex (CPT complex) แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ CPT – I และ CPT - II ส่วน MCFA จะสามารถเข้าสู่ไมโตคอนเดรียผ่านการแพร่ได้ทันที[41]

ในขณะพัก malonyl coenzyme A (CoA) จะเป็นตัวยับยั้งการทำงานของ CPT – I[42] และจากงานวิจัยของ Starritt และคณะในปี 2000 พบว่า CPT – I จะพบในกล้ามเนื้อลายในคนที่ออกกำลังกายเป็นประจำ และคนกลุ่มนี้จะไวต่อ malonyl - CoA มากกว่ากลุ่มคนที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ[43] และค่า pH ก็ส่งผลถึงความไวของ CPT – I ต่อ malonyl -CoA โดยที่ pH 6.8 CPT – I จะไวต่อ malonyl - CoA มากกว่าตอนที่ pH เป็นกลาง (pH = 7.0)[44] ในการออกกำลังกายแบบหนักจะมีการลดลงของค่า pH ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ CPT – I ไวต่อ malonyl - CoA มากจึงทำ fat oxidation ลดลง[43]

กล่าวโดยสรุป กลไกการเกิด fat oxidation เริ่มจากการสลาย TAG จาก AT โดยที่ lipoprotein lipase จะสลาย TAG ออกเป็น FFA และ glycerol ซึ่ง FFA จะถูกส่งไปยังกล้ามเนื้อตับ และกล้ามเนื้อหัวใจ ส่วน glycerol จะถูกส่งไปที่ตับผ่านระบบไหลเวียนโลหิต เมื่อ FFA ไปถึงเซลล์ของกล้ามเนื้อก็จะถูกนำเข้า sarcolemma ด้วยโปรตีนที่มีชื่อว่า FABPpm และ FAT/CD36 ดังแสดงในภาพที่ 4 เมื่อ FFA เข้าไปในเซลล์แล้วจะถูกเปลี่ยนจากFFA เป็น acyl – CoA และถูกนำเข้าไมโตคอนเดรียโดย CPT complex เพื่อเข้าสู่กระบวนการสร้าง ATP ต่อไป[1, 30, 31, 35, 41] ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะถูกกระตุ้นให้เกิดมากขึ้นได้จากฮอร์โมน norepinephine ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่มีความสัมพันธ์กับการขนส่ง FA ไป oxidize ที่ไมโตคอนเดรียและพบว่า การออกกำลังกายหรือการพักในที่ร้อน ซึ่งทำให้เกิดการหลั่งเหงื่อจนเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับ plasma volume จะไปกระตุ้นให้เกิดการหลั่งฮอร์โมน norepinephrine จากต่อมหมวกไต จะส่งผลให้ร่างกายมี fat oxidation สูงขึ้นตามไปด้วย[21, 34]

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกซิเดชันของไขมัน (Factors affecting fat oxidation)

<u>โภชนาการ (Nutrition)</u>

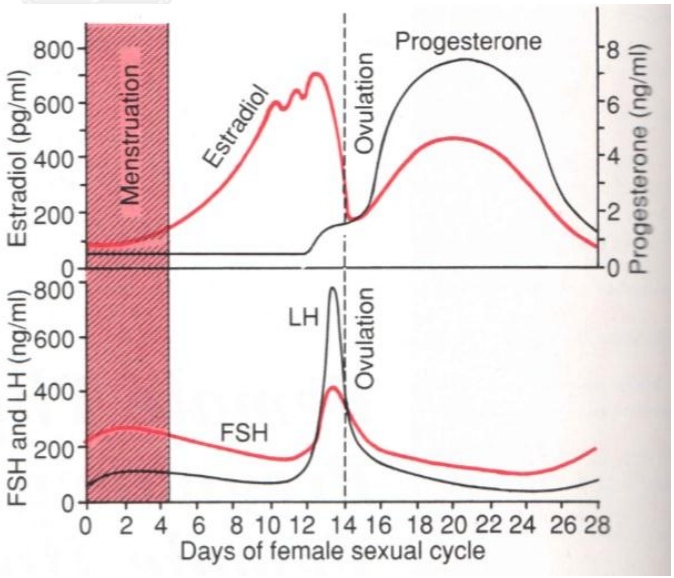
มีการศึกษาผลของการดื่มเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อการใช้พลังงาน พบว่า กลุ่มคนที่อดอาหารแล้วออกกำลังกายจะมีสัดส่วนการใช้ไขมันและมี free fatty acid (FFA) มากกว่ากลุ่มที่ดื่ม

เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และยังพบอีกว่า กลุ่มที่ดื่มเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลกลูโคส + ไขมัน มี FFA หลั่งออกมามากกว่ากลุ่มที่ดื่มคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[46] และงานวิจัยของ Stevenson และคณะในปี 2006 พบว่า ในขณะออกกำลังกายในกลุ่มที่รับประทานคาร์โบไฮเดรตชนิด low glycemic index มี fat oxidation สูงกว่ากลุ่มที่รับประทานคาร์โบไฮเดรตชนิด high glycemic index และกลุ่ม low GI มีความเข้มข้นของ FFA และ glycerol ในพลาสมาสูงกว่ากลุ่ม high GI[47] นอกจากนี้การรับประทานอาหารที่มีไขมันต่างชนิดกันก็ส่งผลต่อ fat oxidation เช่นกัน จากงานวิจัยของ Cooper และคณะในปี 2010 พบว่า ในกลุ่มที่ออกกำลังกายแล้วรับประทานไขมันอิ่มตัว ในช่วงแรกจะมี FFA ที่สูงกว่ากลุ่มที่ออกกำลังกายแล้วรับประทานไขมันไม่อิ่มตัว[48] อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสนใจว่าการรับประทานอาหารไขมันเพิ่มขึ้น กลับไม่ส่งผลเปลี่ยนแปลง substrate oxidation[49]

กล่าวโดยสรุป คือ การรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตจะทำให้มี fat oxidation ที่น้อยกว่าการรับประทานอาหารกลุ่มจำพวกไขมันและกลุ่มที่อดอาหาร และประเภทของไขมันที่ต่างชนิดกันก็ส่งผลต่อ fat oxidation เช่นกัน[46-48]

<u>เพศ (Gender)</u>

เพศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อ fat oxidation โดยมีงานวิจัยของ Mittendorfer และคณะในปี 2002 พบว่า เมื่อมีการออกกำลังกายระดับปานกลางนาน 90 นาที เพศหญิงจะมีกระบวนการ lipolysis จาก AT ออกมาเป็น TAG และ FFA ในพลาสมามากกว่าเพศชาย[28] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Carter และคณะในปี 1993 ที่พบว่า ขณะออกกำลังกาย เพศ



ภาพที่ 5 Plasma hormonal concentrations during female sexual cycle
ภาพจากหนังสือ Guyton: Textbook of Medical Physiology 8th edition

หญิงจะมีสัดส่วนการใช้ไขมันมากกว่าเพศชาย และมี FFA ในพลาสมามากกว่าเพศชายอย่างมีนัยสำคัญ[29] และช่วงของ menstrual phase มีผลต่อ fat oxidation โดย luteal phase จะมีค่า respiratory exchange ratio (RER) ต่ำกว่า นั่นแสดงถึงสัดส่วนการใช้ไขมันที่มากกว่า follicular phase[50] และ luteal phase จะมีฮอร์โมน progesterone สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 5 และมีความเข้มข้นของ FFA ในเลือดมากที่สุด[51] เพื่อลดผลกระทบของฮอร์โมน progesterone งานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบในช่วง follicular phase ด้วยการสอบถามวันแรกที่ประจำเดือนมาครั้งล่าสุด เพื่อนำไปคำนวณวันที่อาสาสมัครเข้ารับการทดสอบ โดยทำการทดสอบในช่วงวันที่ 1 – 14 นับจากวันแรกที่มีประจำเดือน

การลดน้ำหนัก (Weight loss)

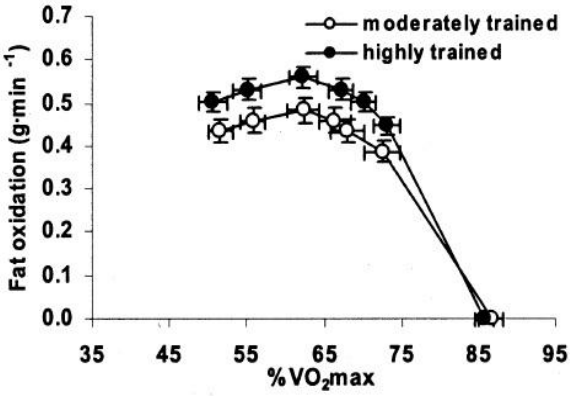
จากงานวิจัยของ Berggren และคณะในปี 2008 ในกลุ่มคนอ้วนที่มีการลดน้ำหนักด้วยวิธีการผ่าตัดกระเพาะและกลุ่มคนอ้วนปกติ พบว่า ในกลุ่มคนอ้วนที่ผ่าตัดกระเพาะจะมี fat oxidation ที่ต่ำกว่ากลุ่มคนอ้วนปกติและคนผอม แต่เมื่อมีการออกกำลังกายติดต่อกันเป็นเวลา 10 วัน กลับพบว่า กลุ่มคนอ้วนที่ผ่าตัดกระเพาะมี fat oxidation ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[7] และมีงานวิจัยที่ลดน้ำหนักด้วยวิธีการควบคุมอาหารในคนอ้วนเพศหญิง จะทำให้มี oxidative metabolism ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญและ fat oxidation ลดลงเพียงเล็กน้อย[52] จึงสามารถสรุปได้ว่า ถ้าคนอ้วนมีการลดน้ำหนักด้วยวิธีผ่าตัดกระเพาะหรือคุมอาหารเพียงอย่างเดียวโดยไม่ออกกำลังกายควบคู่ไปด้วยจะทำให้ fat oxidation ลดลง แต่ถ้าคนอ้วนมีการออกกำลังกายเพิ่มด้วย ทำให้คนอ้วนมี fat oxidation ที่เพิ่มขึ้นได้

อายุ (Age)

อายุมีความสัมพันธ์กับการลดลงของการเคลื่อนย้าย FFA และการนำ FFA มาใช้เป็นพลังงาน เนื่องจากมีการลดลงของ FFA ในกล้ามเนื้อลาย จึงทำให้มีการ oxidation ที่ลดลง[53] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Solomon และคณะในปี 2008 พบว่า basal fat oxidation ลดลงถึง 22% ในกลุ่มคนสูงวัย และ fat oxidation มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอายุ[54] และ fat oxidation ขณะนอนหลับในคนสูงวัยก็น้อยกว่ากลุ่มคนวัยกลางคนอย่างมีนัยสำคัญ[53]

สถานะการออกกำลังกาย (Training status)

สถานะในการออกกำลังกายของคนแต่ละคน มักมีความแตกต่างกัน ซึ่งผลของการฝึกออกกำลังกายมีผลต่อการออกซิเดชันของไขมันทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย จากงานวิจัยพบว่า ในกลุ่มที่มีการออกกำลังกายเป็นประจำ (trained) จะมี fat oxidation ขณะพักสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ (untrained) และมีกรดไขมันอิสระที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ออกกำลังกาย[55] สอดคล้องกับงานของ Coggan และคณะในปี 2000 ที่มีงานวิจัยในเพศชายวัยกลางคนพบว่า กลุ่ม trained มีค่า RER ต่ำกว่ากลุ่ม untrained นั่นแสดงถึงว่า กลุ่ม trained มีสัดส่วนการใช้ไขมันที่มากกว่ากลุ่ม untrained และในกลุ่ม trained มี rate of appearance ของ FFA และ glycerol ที่สูงกว่ากลุ่ม untrained แล้วในกลุ่ม trained ยังมีเปอร์เซ็นต์ของ fat oxidation ใน energy expenditure สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[56] และยังมีงานวิจัยของ Stisen และคณะในปี 2006 ทำการทดสอบในเพศหญิงที่มีการฝึกแบบ endurance training พบว่า ในกลุ่ม trained มี fat oxidation ในการออกกำลังกายระดับปานกลางถึงระดับหนักสูงกว่ากลุ่ม untrained อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[57] ดังแสดงในภาพที่ 6 สรุปได้ว่า ในช่วงของการออกกำลังกายระดับปานกลางถึงหนักในกลุ่ม trained มีการออกซิเดชันของไขมันที่สูงกว่ากลุ่ม untrained

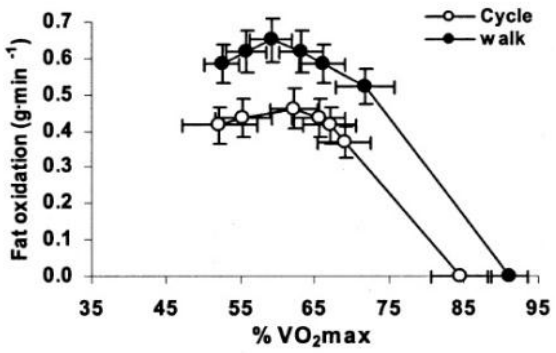


ภาพที่ 6 Fat oxidation at relative intensities (%VO_{2max}) between trained and untrained women.[2]

การออกกำลังกาย (Exercise)

การออกกำลังกายก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อ fat oxidation ไม่ว่าจะเป็นความหนักของการออกกำลังกายหรือประเภทของการออกกำลังกาย จากงานวิจัยของ Loon และคณะ ในปี 2001 พบว่า ในการออกกำลังกายที่ระดับ 40% และ 55% VO_{2max} จะมีการใช้พลังงานจากไขมันมากกว่าการออกกำลังกายที่ระดับ 75% VO_{2max} เนื่องจากการออกกำลังกายที่ระดับหนัก CPT – I จะมีการ

ทำงานลดลงและจะมีการใช้ไกลโคเจนจากกล้ามเนื้อมาเป็นพลังงานแทน[15] และในเพศหญิงความหนักของการออกกำลังกายที่มีการออกซิเดชันของไขมันสูงสุด (fat_{max}) ทั้งในกลุ่ม trained และ untrained อยู่ในช่วง 55 ± 3% VO_{2max} [57] ซึ่งก็สอดคล้องกับการออกกำลังกายระดับปานกลาง (65% VO_{2max}) จะมี fat oxidation สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายระดับเบา (25% VO_{2max}) และระดับหนัก (85% VO_{2max})[38]



ภาพที่ 7 Fat oxidation in cycling Vs. walking[2]

ประเภทของการออกกำลังกายก็ส่งผลต่อ fat oxidation เช่นกัน จากการศึกษาของ Achten และคณะในปี 2003 พบว่า การออกกำลังกายที่ความหนักเท่ากันระดับปานกลางขึ้นไป การออกกำลังกายด้วยโดยการวิ่ง จะมี fat oxidation ที่สูงกว่าการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 7 อธิบายจากการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง จะมีการใช้กล้ามเนื้อมากกว่าการปั่นจักรยาน[58]

นอกจากขณะออกกำลังกายยังส่งผลต่อ fat oxidation แล้ว ภายหลังการออกกำลังกายก็ยังคงมี fat oxidation ต่อไป จากงานวิจัยของ Kimber และคณะ ในปี 2003[59] ทำการศึกษาเกี่ยวกับ metabolism ของ ไขมันและคาร์โบไฮเดรตในขณะพัก พบว่า มีการ resynthesis ของ glycogen ในกล้ามเนื้อลายโดยสังเกตจาก muscle glycogen ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังจากออกกำลังกายทันทีไปจนถึง 18 ชั่วโมง และยังพบอีกว่า พลังงานหลักของกระบวนการ glycogen resynthesis คือ ไขมัน โดยเฉพาะ 1 ชั่วโมงแรกภายหลังการออกกำลังกาย ซึ่งค่า respiratory exchange ratio (RER) ต่ำกว่าก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมี FFA สูงกว่าก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[59]

สรุปได้ว่า การออกกำลังกายในระดับปานกลางจะทำให้มี fat oxidation มากกว่าการออกกำลังกายระดับหนัก อีกทั้งประเภทของการออกกำลังกายก็ยังส่งผลต่อ fat oxidation โดยการเดิน

หรือวิ่งจะมี fat oxidation ที่มากกว่าการปั่นจักรยาน และนอกจากขณะออกกำลังกายแล้ว ภายหลังการออกกำลังกายร่างกายยังต้องการพลังงานจากไขมันต่อเพื่อใช้ในกระบวนการ glycogen resynthesis

ภาวะอ้วนกับการออกซิเดชันของไขมัน (Obesity and fat oxidation)

จากการสำรวจปี 1980 – 2013 ในประเทศไทยและประเทศที่กำลังพัฒนา พบว่า เพศหญิงมีความชุกของภาวะอ้วนมากกว่าเพศชาย[5] และยังพบว่า ประชากรไทยมีแนวโน้มที่จะมีภาวะอ้วนสูงขึ้น และเป็นปัญหาสาธารณสุขมากยิ่งขึ้น[60] ซึ่งภาวะอ้วนสามารถแบ่งได้ตามความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular disease) โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) แบ่งเกณฑ์ความอ้วนตามค่า BMI ดังนี้

< 18.5 kg/m^2 คือ กลุ่มน้ำหนักต่ำกว่าเกณฑ์

18.5 – 24.99 kg/m^2 คือ กลุ่มน้ำหนักปกติ

25 – 29.99 kg/m^2 คือ กลุ่มน้ำหนักเกิน

≥ 30 kg/m^2 คือ กลุ่มอ้วน

สามารถคำนวณ BMI ได้ด้วยสูตร น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) / ส่วนสูง^2 (เมตร)[4] และเส้นรอบเอวก็เป็นตัวช่วยในการแบ่งภาวะอ้วนได้เช่นกัน โดยจะวัดด้วยสายวัดมาตรฐาน ให้สายวัดขนานกับพื้น ตำแหน่งของสายวัดจะอยู่กึ่งกลางระหว่างซี่โครงล่างสุดกับขอบบนของ iliac crest ซึ่งมีเกณฑ์การแบ่งความอ้วน ดังนี้ ในเพศชายที่มีเส้นรอบเอว ≥ 90 เซนติเมตร และในเพศหญิงที่มีเส้นรอบเอว ≥ 80 เซนติเมตร ถือว่าอ้วนลงพุง[61]

จากงานวิจัยพบว่า ความสัมพันธ์เป็นเชิงลบระหว่าง fat oxidation และ BMI แสดงถึงว่า ในคนที่มี BMI สูง จะมี fat oxidation ที่ต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัว[7] และมีงานวิจัยของ Weinsier และคณะในปี 1995 ศึกษาการใช้พลังงานขณะพักในคนอ้วนนาน 4 ปี พบว่า ในคนอ้วนเมื่อมีภาวะอ้วนแล้วยังคงอ้วนต่อไปเรื่อยๆ จะมีการใช้พลังงานขณะพักลดลง เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การใช้ไขมันลดลงและมีการใช้คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น เนื่องจากในคนอ้วนจะมีการทำงานของ carnitine palmitoyl transferase (CPT) น้อยกว่าคนน้ำหนักปกติ[62] ความสามารถของการ

ออกซิเดชันของไขมันที่ลดลงส่งผลทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นอีกด้วย [63] สรุปได้ว่า คนอ้วนจะมี fat oxidation ที่ต่ำลง มีอัตราการเผาผลาญขั้นพื้นฐานของร่างกายต่ำลง จึงมีผลให้คนอ้วนมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้

การวัดการออกซิเดชันของไขมันด้วยวิธีทางอ้อม (Indirect calorimetry of fat oxidation)

การวัดการออกซิเดชันของไขมันสามารถทำได้หลากหลายวิธี ทั้งการวัดแคลอรี่ทางตรง (direct calorimetry) ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการทำ muscle biopsy แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาสัดส่วนการใช้สารอาหารและกระบวนการสร้างพลังงานได้ และวิธีการวัดแคลอรี่ทางอ้อม (indirect calorimetry) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่จำเป็นต้องเจาะเข็มเข้าไปในกล้ามเนื้อโดยตรง ซึ่งวิธีนี้วัดได้ทางการหายใจของผู้เข้าร่วมงานวิจัย[64] การวัดการออกซิเดชันของไขมัน (Fat oxidation) และการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (CHO oxidation) ทางอ้อมสามารถคำนวณได้จากค่า VO_2 และ VCO_2 จากการหายในเข้า – ออก ด้วยเครื่อง gas analyzer โดยใช้สูตรของ Peronnet and Massicotte[65] 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)

การออกกำลังกายกับ carbohydrate metabolism

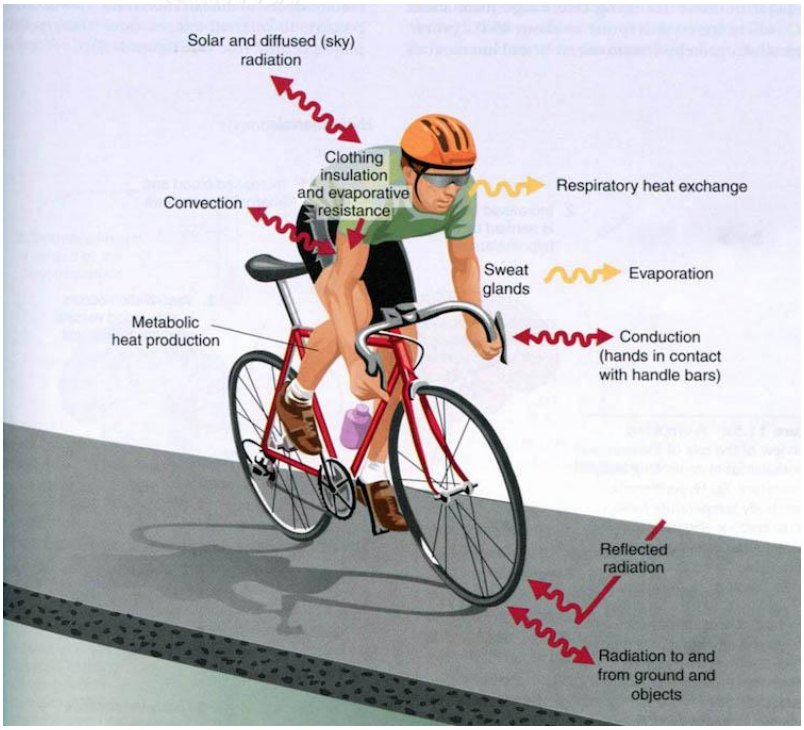
ปกติในการออกกำลังกายที่ความหนักต่างๆ ร่างกายมักใช้ไกลโคเจนเพิ่มขึ้นตามความหนักของการออกกำลังกาย แต่เนื่องจากไกลโคเจนสามารถนำมาใช้ได้อย่างจำกัด ร่างกายจึงต้องดึงสารอาหารอื่นมาเปลี่ยนเป็นพลังงานทดแทน ซึ่งคาร์โบไฮเดรตก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง จากงานวิจัยของ Valizadeh และคณะในปี 2011[66] ทำการศึกษาในเพศชาย ออกกำลังกายที่ระดับความหนักแตกต่างกัน (55%, 65%, 75%VO_{2max}) พบว่า ขณะออกกำลังกายที่ระดับ 75%VO_{2max} จะมี CHO oxidation สูงที่สุด แต่ในช่วง recovery ภายหลังการออกกำลังกายพบว่า การออกกำลังกายที่ 75%VO_{2max} จะมี CHO oxidation ในช่วง recovery ต่ำที่สุด และมีงานวิจัยของ Carper และคณะในปี 2013[67] ทำการศึกษาในนักปั่นจักรยานเพศชายและหญิง โดยออกกำลังกายที่ระดับความหนัก 70%VO_{2max} สลับกับ 125%VO_{2max} พบว่า ขณะออกกำลังกายระดับของ blood glucose ทั้งเพศชายและเพศหญิงไม่มีความแตกต่างจากค่า baseline แต่ในช่วง recovery ภายหลังการออกกำลัง

กาย blood glucose จะสูงขึ้นจากขณะออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญ และในช่วง recovery ฮอร์โมนอินซูลินจะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับขณะออกกำลังกาย[67]

สันนิษฐานได้ว่า CHO oxidation ที่ลดลงอย่างรวดเร็วจากการหยุดออกกำลังกาย ทำให้มีกลูโคสที่ยังไม่ได้นำไป oxidize คงค้างอยู่ในกระแสเลือด จึงพบกลูโคสในเลือดยังคงสูงอยู่ และเมื่อกลูโคสในเลือดสูงขึ้น จะทำให้มีการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินเพื่อช่วยลด blood glucose โดยการนำกลูโคสที่เหลือไปเก็บในส่วนต่างๆต่อไป[66, 67]

<u>สภาพแวดล้อมกับการออกซิเดชันของไขมัน (Environment and fat oxidation)</u>

การควบคุมอุณหภูมิของร่างกายขณะออกกำลังกายและขณะพักในที่ร้อนเป็นสิ่งสำคัญสำหรับมนุษย์ เพื่อลดการบาดเจ็บที่เกิดจากสภาวะอากาศที่ร้อน โดยร่างกายจะมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเข้าสู่ที่ที่มีอากาศร้อน โดยมีขั้นตอน คือ เมื่อผิวหนังสัมผัสกับอากาศร้อน และอุณหภูมิแกนกลางร่างกาย (core temperature; T_{core}) สูงขึ้น จะทำให้มีการส่งสัญญาณประสาทรับความรู้สึกไปที่สมองส่วน hypothalamus และ hypothalamus จะสั่งการไปยังต่อมเหงื่อเพื่อกระตุ้นการหลั่งเหงื่อ โดยการเพิ่มการไหลเวียนเลือดบริเวณผิวหนังเพื่อลดอุณหภูมิแกนกลางร่างกาย เมื่อมีการออกกำลังกายหรือการพักในที่ร้อน จะทำ



ภาพที่ 8 Thermoregulation
ภาพจากหนังสือ McGraw-Hill: Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance (2004)

ให้มี heart rate สูงขึ้น มีการหลั่งเหงื่อมากขึ้น[68] ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งถ้าร่างกายมีการปรับตัวต่อสภาพอากาศร้อน (heat acclimatization) ใช้เวลาในการปรับตัว 7 – 14 วัน จะทำให้มี T_{core} ต่ำลง อัตราการเต้นหัวใจที่ต่ำลง มีการหลั่งเหงื่อที่เร็วขึ้น plasma volume ลดลงน้อยกว่าก่อนมีการปรับตัว ลดการใช้ไกลโคเจนจากกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย นั่นหมายความว่า ในคนที่มี heat acclimatization จะมีสัดส่วนการใช้ไขมันมากขึ้น[69] และงานวิจัยของ Wakabayashi และคณะในปี 2011 ศึกษาเกี่ยวกับกลไกการระบายความร้อนเพศชายสุขภาพดีในกลุ่มคนประเทศเขตร้อนและประเทศเขตอบอุ่น พบว่า ในขณะพักก่อนออกกำลังกาย กลุ่มคนในประเทศเขตร้อนจะมี T_{core} ที่สูงกว่ากลุ่มคนประเทศเขตอบอุ่น แต่เมื่อมีการออกกำลังกายในที่ร้อนชื้น (32°C, RH70%) กลับพบว่ากลุ่มคนเขตอบอุ่นจะมี T_{core} สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับกลุ่มประเทศเขตร้อน และ skin temperature (T_{skin})ในกลุ่มคนเขตร้อนจะต่ำกว่ากลุ่มคนเขตอบอุ่น[70] และกลุ่มคนเขตอบอุ่นจะมีการหลั่งเหงื่อที่มากกว่ากลุ่มคนเขตร้อน[71] ซึ่งอธิบายได้ว่า จากปกติร่างกายจะระบายความร้อนผ่านการหลั่งเหงื่อเป็นหลัก แต่เมื่อออกกำลังกายในที่ร้อนชื้นและพักในที่ร้อนชื้นจะส่งผลทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนได้สะดวกเนื่องจากมีความชื้นสูง กลุ่มคนเขตร้อนจะได้เปรียบในการระบายความร้อนมากกว่า เพราะ การระบายความร้อนจะขึ้นอยู่กับ plasma volume ที่มีมากกว่าเนื่องจากสูญเสียน้ำจากการออกกำลังกายน้อยกว่ากลุ่มคนเขตอบอุ่น ทำให้มี heat dissipation แบบ convection แทนการหลั่งเหงื่อ[70, 71] และงานวิจัยของ Kirwan และคณะในปี 1987 พบว่า ในชายสุขภาพดีที่มี heat acclimatization จะมี fat oxidation ในขณะออกกำลังกายมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อน heat acclimatization และหลังจากมี heat acclimatization แล้วจะมีการใช้ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อที่ลดลงตามไปด้วย[26] งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า heat acclimatization ส่งผลต่อ fat oxidation ได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เป็นเพียงการวัดในขณะออกกำลังกายเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถสรุปได้ว่า fat oxidation ภายหลังการออกกำลังกาย (recovery) จะเป็นเช่นไร

ในการระบายความร้อนภายหลังการออกกำลังกายในอุณหภูมิปกติ (25ºC) ซึ่งมีสภาพอากาศเป็นตัวช่วยในการระบายความร้อน ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการระบายความร้อนอาจใช้น้อย และจากงานวิจัยของ Wendt และคณะในปี 2007 พบว่า การพักในที่ร้อนจะไม่มีสภาพอากาศเป็นตัวช่วยในการระบายความร้อน ร่างกายจึงต้องเพิ่มการระบายความร้อนและใช้พลังงานในการระบายความร้อน

มากกว่าปกติ ด้วยการเพิ่มการขยายหลอดเลือด เพื่อเพิ่ม cutaneous blood flow ขยายรูขุมขนเพื่อระบายความร้อนและหลั่งเหงื่อ[68] และภายหลังการออกกำลังกาย ร่างกายต้องการ resynthesis muscle glycogen ที่เสียไปจากการออกกำลังกาย ร่างกายจึงจำเป็นต้องดึงพลังงานจากสารอาหารมาใช้ในการ resynthesis ซึ่งจากงานวิจัยของ Valizadeh และคณะในปี 2011 ทำการศึกษาในเพศชายสุขภาพดี ที่ไม่ใช่นักกีฬา พบว่า ในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายที่ความหนักต่างกัน จะมีการออกซิเดชันของไขมันที่มากขึ้นตามความหนักของการออกกำลังกาย แต่จะมีการใช้คาร์โบไฮเดรตลดลง[66] และงานของ Brenner และคณะในปี 1997[21] ทำการศึกษาในเพศชายสุขภาพดี เกี่ยวกับฮอร์โมนในขณะออกกำลังกายและภายหลังการออกกำลังกายในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ พบว่าฮอร์โมน norepinephrine ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ของ FFA[72] ขณะออกกำลังกายในที่ร้อนและพักในที่ร้อนสูงกว่าการออกกำลังกายในที่อุณหภูมิปกติและพักในอุณหภูมิปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[21] และการมี norepinephrine มากในที่ร้อน เพราะว่า norepinephrine จะไวต่อระดับ plasma volume[73] ซึ่งการพักในที่ร้อนจะส่งผลให้มีระดับ plasma volume ลดลงกว่าการพักในอุณหภูมิปกติ

การใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นมาภายหลังการออกกำลังกาย (Excess post – exercise oxygen consumption; EPOC) บ่งว่ามีการใช้กรดไขมันอิสระในการเมตาบอลิซึม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ oxygen consumption ส่งผลกับกระบวนการ oxidative phosphorylation ในไมโตคอนเดรียของ AT[20] การที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกล้ามเนื้อซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของ EPOC นั่นแสดงถึงว่าการที่อุณหภูมิกล้ามเนื้อสูงขึ้นจะมีการใช้ออกซิเจนมากขึ้น และแสดงถึงว่ามี substrate oxidation ที่มากขึ้นตามไปด้วย[70]

เมื่อกล่าวถึงการออกกำลังกายหรือการพักในที่ร้อน การใช้พลังงานและสารอาหารที่ใช้เป็นพลังงานก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีงานวิจัยที่หลากหลายและงานส่วนใหญ่มักจะทำในประเทศที่มีอากาศเย็นซึ่งผลที่ได้อาจไม่ใช่การปรับตัวต่อสภาพอากาศร้อน ทำให้ผลงานวิจัยที่ออกมามีผลแตกต่างกันออกไป จากตัวอย่างงานวิจัยของ Pilch และคณะในปี 2010[25] ในเพศหญิงที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ ที่ซาวน่า (อุณหภูมิ 80.1 ºC, RH 5 – 26.6%) พบว่า เมื่อมีการพักในซาวน่า จะมีความเข้มข้นของ free fatty acid สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับก่อนซาวน่า สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในคนอ้วนเพศชายของ Katoh และคณะในปี 1996 โดยการพักซาวน่า

(อุณหภูมิ 60ºC, RH 20%) เปรียบเทียบกับหลังปั่นจักรยานแบบ graded exercise ทันที พบว่า การพักในซาวน่าเป็นเวลา 30 นาที ไม่ได้มี CHO oxidation เพียงอย่างเดียว แต่มี fat oxidation ด้วย และมีสัดส่วนการใช้ไขมันมากกว่าหลังการออกกำลังกายทันที[24] ในทางตรงกันข้ามงานวิจัยของ Naperalsky และคณะปี 2010 พบว่า ในเพศชายสุขภาพดีขณะพักภายหลังการออกกำลังกายจน fatigue การพักในที่ร้อนจะมี CHO oxidation ที่สูงกว่าการพักในอุณหภูมิปกติ[23] แต่ผลของงานวิจัยของ Katoh และ Naperalsky อาจเป็นผลจากการออกกำลังกาย เนื่องจากการออกกำลังกายในระดับหนักจะทำให้มีการใช้คาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน[23, 24]

จากการทบทวนวรรณกรรมขณะพักในที่ร้อนร่างกายจะใช้พลังงานในการระบายความร้อนมากกว่าในอุณหภูมิปกติ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจหากผู้เข้าร่วมงานวิจัยอยู่ในประเทศเขตร้อน โดยที่อุณหภูมิแวดล้อมในงานวิจัยก็จะเป็นอุณหภูมิที่คนอ้วนในประเทศเขตร้อนคุ้นเคย ประกอบกับการศึกษาผลของอากาศร้อนที่มีต่อ fat oxidation ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายในคนอ้วนมีงานวิจัยค่อนข้างน้อยและยังไม่ชัดเจน เนื่องจากความคุ้นเคยต่อสภาพอากาศร้อนที่ต่างกัน เพราะงานวิจัยก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่ทำในประชากรของประเทศที่มีอากาศเย็น จึงทำให้ผลของงานวิจัยอาจไม่สามารถเข้าได้กับประชากรเขตร้อน โดยคาดว่า ประชากรในเขตร้อนน่าจะมีการออกซิเดชันของไขมันในที่อากาศร้อนได้มากกว่า ซึ่งต่างจากผลการวิจัยในประชากรเขตหนาว นอกจากนี้การศึกษาในช่วง recovery อาจได้ผลแตกต่างจากการศึกษาขณะพัก (resting) เนื่องจากอิทธิพลของการออกกำลังกายที่เกิดขึ้นก่อนหน้า นอกจากนี้การศึกษาในที่อุณหภูมิสูงส่วนใหญ่มักทำในคนน้ำหนักปกติและเป็นเพศชาย แต่เพศหญิงกลับมีความชุกของภาวะอ้วนมากกว่าเพศชาย เป็นที่น่าสนใจหากมีการศึกษาเพศหญิงที่เป็นคนอ้วนในกลุ่มประเทศเขตร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการนำมาแนะนำการพักภายหลังการออกกำลังกาย ให้มีการออกซิเดชันของไขมันสูงขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อคนอ้วนที่ต้องการลดน้ำหนักต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบ crossover design เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิแวดล้อมที่มีต่อการออกซิเดชันของไขมันขณะพักภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในคนอ้วนเพศหญิง โดยที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนจะได้มาตรวจตามเกณฑ์การคัดเข้าและทดลองเดินบนลู่วิ่งสายพานเพื่อสร้างความคุ้นชินกับเครื่องมือ หากผ่านเกณฑ์การคัดเข้าแล้วผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับอาหารที่ผู้วิจัยจัดเตรียมไว้ให้ไปรับประทานก่อน 1 วันก่อนเริ่มการทดสอบ และก่อนการทดสอบจะมีการสุ่มอุณหภูมิแวดล้อมที่จะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย ในวันที่ทดสอบจริงจะให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเดินบนลู่วิ่งสายพานที่ความหนักระดับปานกลางเป็นเวลา 30 นาที แล้วไปนั่งพักเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในห้องที่จัดเตรียมอุณหภูมิแวดล้อมให้ตามที่สุ่มไว้ ตลอดการออกกำลังกายและนั่งพักจะมีการติดเครื่องวัดแก๊สจากลมหายใจ ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนจะกลับมาทดสอบอีกครั้งเหมือนเดิม แต่ในอุณหภูมิแวดล้อมที่แตกต่างกันไป ระยะเวลาเว้นระหว่างการเข้ารับการทดสอบทั้งสองครั้งจะใช้เวลา 5 – 7 วัน

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรม คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย IRB NO.600/58 เนื่องจากเป็นการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นมนุษย์ ดังนั้นผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับทราบถึงวัตถุประสงค์ของโครงการและประโยชน์ที่จะได้รับ โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยลงนามยินยอมเข้าร่วมงานวิจัยเป็นลายลักษณ์อักษร และสามารถบอกยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัยเมื่อได้ก็ได้ด้วยเหตุผลใดๆก็ตาม

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมาย

หญิงมีภาวะอ้วน อายุระหว่าง 18 – 35 ปี

ประชากรที่ศึกษา

หญิงมีภาวะอ้วน ที่ยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย อายุระหว่าง 18 – 35 ปี

กลุ่มตัวอย่าง

หญิงมีภาวะอ้วน ที่ยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย อายุระหว่าง 18 – 35 ปี ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำและผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าและคัดออกของงานวิจัย

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนจะได้รับการตอบแบบสอบถามทางโทรศัพท์ เพื่อคัดกรองเบื้องต้นก่อนที่จะเข้ามารับการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อตรวจคัดกรองในวันที่คัดกรองต่อไป

เกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าในการศึกษา

1. เพศหญิง
2. มีอายุระหว่าง 18 – 35 ปี
3. มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ≥ 30 กิโลกรัม/ตารางเมตร
4. มีค่าความดันโลหิตปกติ (BP < 140/90 mmHg)
5. มีประจำเดือนปกติ

เกณฑ์ในการคัดออกจากการศึกษา

1. มีประวัติการเจ็บป่วยจากอากาศร้อน
2. มีการออกกำลังกาย ≥ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ครั้งละอย่างน้อย 10 นาที นานอย่างน้อย 1 เดือน
3. มีการเดินทางไปประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นเกินกว่า 7 วัน ในระยะเวลา 1 เดือนก่อนการทดสอบ
4. ไม่สามารถเดินบนลู่วิ่งสายพานตามกำหนดได้
5. ไม่สามารถรับประทานอาหารที่กำหนดให้ได้
6. มีอาการบาดเจ็บที่เป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังกาย
7. มีประวัติเป็นโรคหัวใจชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือตรวจพบ resting EKG ผิดปกติ
8. มีประวัติเป็นโรคต่อมไทรอยด์
9. มีระดับไตรกลีเซอไรด์ไม่เกิน 400 mg/dL
10. รับประทานยาที่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ เช่น β – blockers
11. รับประทานยาหรืออาหารเสริมเพื่อลดความอ้วนทุกชนิด เช่น กาแฟลดความอ้วน ยาลดความอ้วน อาหารเสริมที่มีส่วนผสมของ L – carnitine เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

12. รับประทานยาเพื่อลดไขมันในเลือด ได้แก่ ยากลุ่ม statin เช่น Lovastatin, Simvastatin, Fluvastatin, Atrovastatin
13. รับประทานยากลุ่มที่มีผลต่อการหลั่งเหงื่อ ได้แก่ ยากลุ่ม Anticholinergic, Glycopyrrolate, Oxybutynin
14. รับประทานยา ฉีดยาหรือฮอร์โมนที่มีผลต่อเมตาบอลิซึม ได้แก่ ยาคุมกำเนิด อินซูลิน ยารักษาโรคต่อมไทรอยด์ ยารักษาโรคเบาหวาน
15. ค่าน้ำตาลในเลือดตอนเช้าหลังอดอาหาร > 126 mg/dL หรือได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคเบาหวาน
16. หญิงตั้งครรภ์

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ใช้วิธีการเลือกตัวอย่างตามจุดมุ่งหมาย (Purposive Sampling) ตามเกณฑ์การคัดเลือกเข้าโดยสมัครใจของอาสาสมัคร

การเข้าถึงอาสาสมัคร

ผู้วิจัยติดประกาศพร้อมข้อมูลการเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครโดยย่อ ตามบริษัท มหาวิทยาลัย และประชาสัมพันธ์ทาง Social network เช่น Facebook, Instagram, Line เป็นต้น

การขอความยินยอมจากอาสาสมัคร

ผู้วิจัยนัดให้อาสาสมัครมาพบที่ ห้องปฏิบัติการเวชศาสตร์การกีฬา ชั้น 4 อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยให้ข้อมูลคำอธิบายถึงวิธีการปฏิบัติต่ออาสาสมัคร รวมถึงตอบข้อสงสัยจนอาสาสมัครเข้าใจ และให้เวลาการตัดสินใจอย่างอิสระ ก่อนลงนามให้ความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย

การคัดกรองอาสาสมัครและการวัดค่าพื้นฐานต่างๆ

1. ติดต่ออาสาสมัครทางโทรศัพท์เพื่ออธิบายขั้นตอนการวิจัยและตอบข้อซักถามของอาสาสมัครทั้งหมด โดยที่ผู้วิจัยจะสอบถามถึงกิจวัตรประจำวันอาชีพ การออกกำลังกาย ประวัติการเจ็บป่วย และโรคประจำตัว เพื่อคัดกรองอาสาสมัคร

2. แจ้งให้อาสาสมัครงดรับประทานอาหารและเครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำเปล่า เป็นเวลา 12 ชั่วโมงก่อนวันนัดเพื่อคัดกรอง แล้วนัดอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์ตามแบบสอบถามมาที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจคัดกรองทางห้องปฏิบัติการต่อไป

3. ให้อาสาสมัครนอนพัก ในห้องอุณหภูมิ 24 – 25ºC เป็นเวลา 30 นาที เพื่อวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจขณะพัก วัดความดันและอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก

4. วัดองค์ประกอบของร่างกายเพื่อคัดกรอง ด้วยเครื่อง Bioelectrical Impedance Analysis โดยให้อาสาสมัครถ่ายปัสสาวะก่อนทำการวัด

เจาะเลือดสำหรับ lipid profile และ blood glucose เพื่อคัดกรองโรคเบาหวาน ไขมันในเลือดสูง (เจาะเมื่อผ่านการตอบแบบสอบถามทางโทรศัพท์แล้ว)

5. นำค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักมาคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย โดยให้ความหนักระดับปานกลาง ที่ 45 – 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองสูงสุด (heart rate reserve; HRR) คำนวณได้จากสูตรของ Karvonen = [(Age predicted HRmax – HRrest) x % intensity] + HRrest โดยแทนค่า %intensity ด้วย 45 และ 50 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปกำหนดความหนักของการออกกำลังกายที่เหมาะสมของแต่ละคน

6. เมื่อได้ค่า Heart rate เป้าหมายแล้ว ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทดสอบความเร็วของลู่วิ่งเป็นเวลา 10 นาที ตามความหนักของการออกกำลังกายเฉพาะแต่ละบุคคล เพื่อสร้างความคุ้นเคยกับลู่วิ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างจากการทำ pilot study ในอาสาสมัครกลุ่มคนอ้วนเพศหญิง 4 คน ที่มี BMI ≥ 30 kg/m2 ออกกำลังกายที่ระดับ 45 – 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองสูงสุด (HRR) แล้วพักในที่ร้อน (32ºC, RH 75±5%) และในอุณหภูมิปกติ (25 ºC, RH 75±5%) คำนวณค่า VO_2 และ VCO_2 โดยใช้สูตรการคำนวณ fat oxidation จากวิธี indirect calorimetry แล้วเปรียบเทียบค่า fat oxidation ระหว่างการพักในที่ร้อนและการพักในอุณหภูมิปกติ ซึ่งค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการพักในที่ร้อน คือ 118.74 ± 10.11 mg/min และ การพักในอุณหภูมิปกติ คือ 104.85 ± 15.20 mg/min

จากนั้น นำมาคำนวณหาขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตร $n\ pair = (Z_{\alpha/2} + Z\beta)2\ \sigma^2 / d^2$

กำหนด α = 0.05

$Z_{\alpha/2} = Z_{0.05/2}$ = 1.96 (two tail)

β = 0.10

$Z_{\beta} = Z_{0.10}$ = 1.28

σ^2 = Variance of difference = $\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\, r\, \sigma_1\, \sigma_2$

เมื่อ σ_1^2 = Variance ของ fat oxidation ขณะพักในที่ร้อน

σ_2^2 = Variance ของ fat oxidation ขณะพักในอุณหภูมิปกติ

d = Difference of mean

หมายเหตุ ถ้าไม่สามารถประมาณค่า r ได้ ให้ใช้ค่า r = 0 จะได้ค่า n มากที่สุด

σ^2 = (10.11181)2 + (15.20415)2 – 2 (0) (10.11181) (15.20415)

= 102.2487 + 231.1662 – 0

= 333.415

n pair = $(1.96 + 1.28)^2 (333.415) / (13.8965)^2$

= 18.1245 ~ 19 คน

เพราะฉะนั้น จำนวนของกลุ่มตัวอย่างคือ 19 คน และเพิ่มจำนวนอีก 30% เพื่อป้องกันการขาดหาย จึงคิดเป็น 25 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

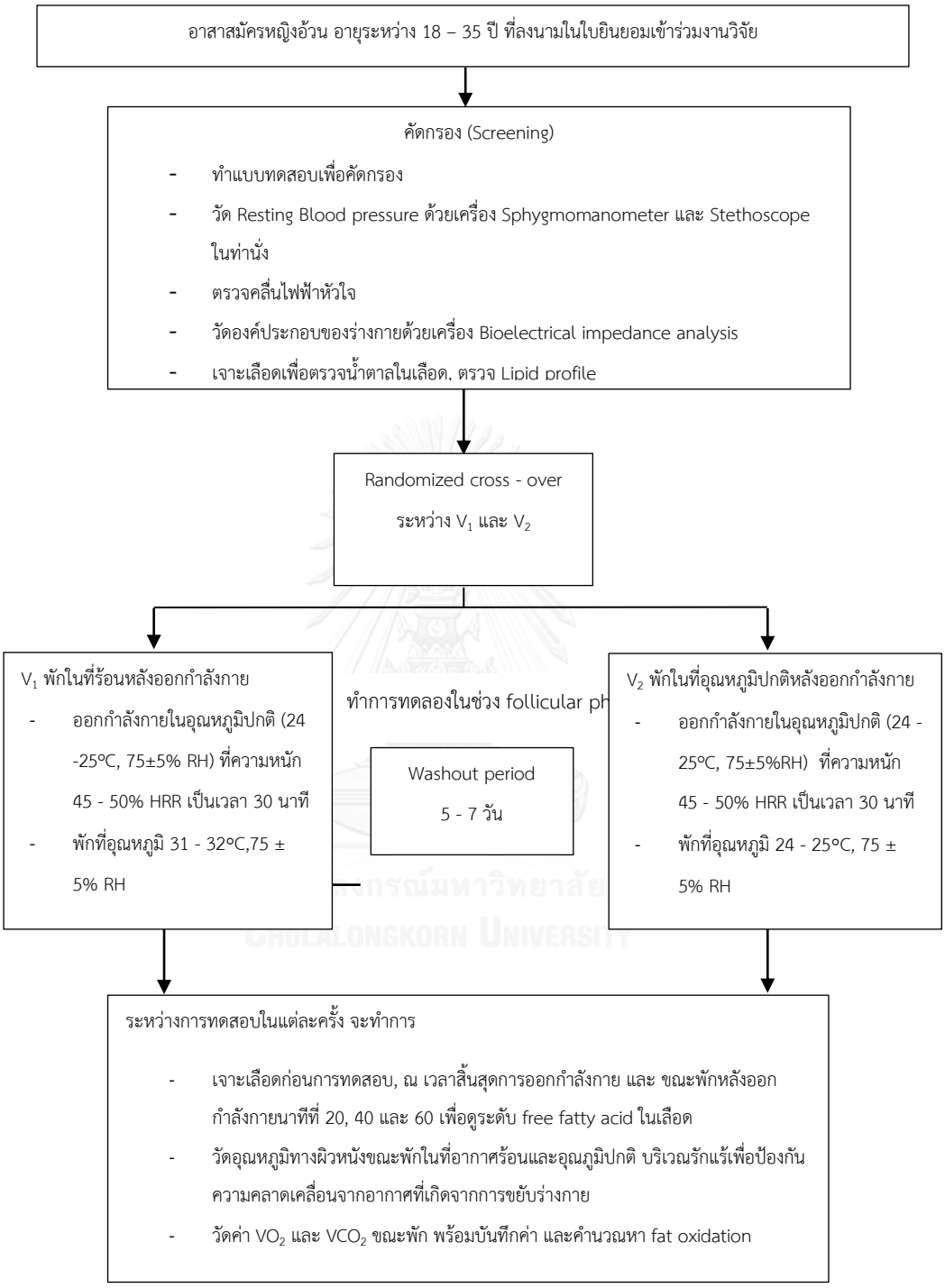
1. แบบบันทึกข้อมูล
2. ที่วัดส่วนสูง
3. สายวัดรอบเอวมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 230, Korea)
8. Gas analyzer (Jaeger, Oxycon mobile, Germany) พร้อมอุปกรณ์
9. ชุดทดสอบหาปริมาณของกรดไขมันอิสระในเลือด (Free Fatty Acid Quantification Kit, Abcam, Biomed Diagnostics Co., Ltd., Bangkok, Thailand)
10. Treadmill (Nautilus T518LC, USA)
11. ชุดวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย (Polar T31, Sweden)
12. เครื่องวัดความดันโลหิต (OMRON HEM – 7130, OMRON Healthcare Co., Ltd., Japan)
13. เครื่องวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง (YSI Tele-Thermometer, Yellow Springs Instrument Co., Inc., USA)
14. สายวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง (YSI 400 Series, Yellow Springs Instrument Co., Inc., USA)
15. เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (FLUKE ® 52 II THERMOMETER,©2004-2011 Fluke Corporation, China)
16. เครื่องวัดการดูดกลืนคลื่นแสง (Thermo Scientific Multiskan GO Microplate Spectrophotometer, Thermo Fisher Scientific Oy, Finland)
17. พลาสติกหุ้มสายวัดอุณหภูมิ
18. เครื่องตรวจน้ำตาลในเลือด (Accu – Chek รุ่น Performa)
19. แผ่น test strips สำหรับวัดน้ำตาลในเลือด (Accu – Chek Performa test strips)
20. ถุงมือสำหรับตรวจโรค (Sempermed®, Sri Trang Group, Thailand)
21. อุปกรณ์เจาะเลือด
22. คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผล (MSI, GP62 7QF – 1813XTH (Leopard Pro), Taiwan)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการดำเนินการวิจัย



*หมายเหตุ HRR = [(Age predicted maximum heart rate – Resting heart rate) x %intensity] + Resting heart rate

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

คำแนะนำสำหรับอาสาสมัคร

เมื่ออาสาสมัครยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย อาสาสมัครถูกขอร้องให้

- งดอาหารเป็นเวลา 10 ชั่วโมงก่อนการออกกำลังกายในตอนเช้า แต่สามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามปกติ
- งดอาหารเสริมทุกชนิด ยกเว้นที่มีหลักฐานว่าไม่มีคุณสมบัติในการเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน ก่อนการทดสอบ
- ผู้วิจัยให้คำแนะนำเรื่องการงดอาหารไขมันสูงก่อนมาทำการทดสอบ 3 วัน ด้วยการยกตัวอย่างอาหารประเภทไขมันสูง และก่อนหน้าทำการทดสอบ 1 วัน ผู้วิจัยมีการสอบถามถึงอาหารที่รับประทานพร้อมทั้งให้คำแนะนำเกี่ยวกับอาหารทางโทรศัพท์หรือติดต่อผ่านทางข้อความ line, facebook ทั้งสอง visit
- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะต้องรับประทานอาหารที่จัดเตรียมไว้ให้ 3 มื้อก่อนการทดสอบ
- งดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์อย่างน้อย 48 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
- งดเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน เช่น กาแฟ ชาต่างๆ เป็นต้น อย่างน้อย 8 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
- งดกิจกรรมหรือการออกกำลังกายอย่างหนัก อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบเพื่อรักษาระดับการเผาผลาญของร่างกายให้คงที่
- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องไม่ผ่านการบริจาคเลือดอย่างน้อย 1 เดือนก่อนการทดสอบ
- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเตรียมรองเท้าผ้าใบ ถุงเท้า เสื้อผ้าที่เหมาะสมกับการออกกำลังกายมาเองทุกครั้ง เพื่อสุขอนามัยที่ดี

หากอาสาสมัครไม่สามารถทำได้ตามข้อตกลงข้อใดข้อหนึ่งผู้วิจัยจะพิจารณาเลื่อนวันทำการทดสอบออกกำลังกายออกไป

การนัดอาสาสมัครเพื่อเข้ารับการทดสอบ

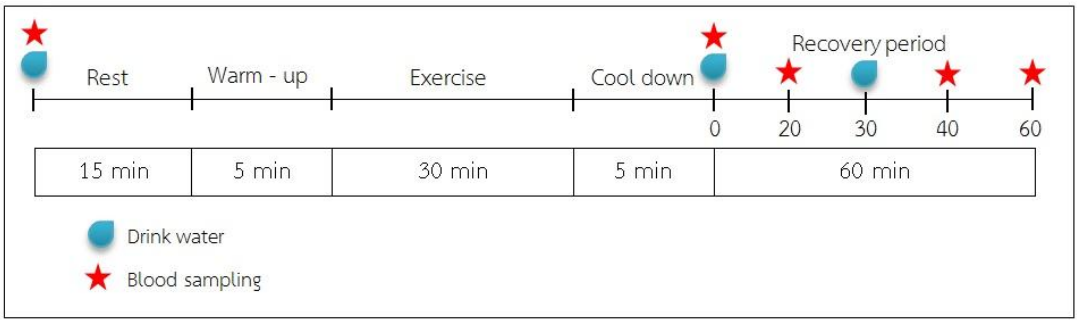
ในวันที่คัดกรองผู้วิจัยได้มีการสอบถามวันแรกที่ประจำเดือนมาครั้งล่าสุด พร้อมทั้งประมาณเวลาไว้ว่า ครั้งหน้าประจำเดือนมาวันที่เท่าไหร่ และให้อาสาสมัครโทรศัพท์ติดต่อกลับมาบอกว่าประจำเดือนมาเมื่อไหร่ แล้วผู้วิจัยจะนัดมาวันที่ 3 – 4 ของวันที่ประจำเดือนมา เพื่อหลีกเลี่ยงช่วง luteal phase ที่อาจมีผลต่อ fat oxidation

ขั้นตอนการสุ่ม (Randomization)

ผู้วิจัยทำการสุ่มลำดับของอุณหภูมิที่ใช้ในขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย (ที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ) จากวิธีสุ่มแต่ละครั้งด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2010 ในฟังก์ชัน Randombetween โดยไม่ซ้ำเลขเดิม

ขั้นตอนการทดสอบออกกำลังกาย

1. ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกกำลังกายระดับปานกลางที่ความหนัก 45 – 50% HRR บนลู่วิ่งที่จัดเตรียมไว้ให้ในที่อุณหภูมิปกติ (24 - 25°C, RH75±5%) เป็นเวลา 30 นาที ในทั้งสอง Visits
2. เมื่อออกกำลังกายเสร็จ ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยนั่งพักในห้องควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทำทั้งหมด 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 5 – 7 วัน นั่งพักในอุณหภูมิที่กำหนดโดยการสุ่ม ดังนี้
   a. อุณหภูมิร้อน (31 - 32°C, RH75±5%)
   b. อุณหภูมิปกติ (24 - 25°C, RH75±5%)



ภาพที่ 9 แสดง timeline วันที่ทดสอบในช่วงก่อนออกกำลังกาย ขณะออกกำลังกาย และการนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการออกกำลังกาย

1. ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายบนลู่วิ่งเป็นเวลา 5 นาที โดยผู้วิจัยทำการปรับเพิ่มความเร็วอย่างช้าๆ ซึ่งจะเป็นความเร็วที่อาสาสมัครสามารถเดินเร็วแบบเต็มฝีก้าวและเพิ่มความชันของลู่วิ่ง ครั้งละ 1% ทุกๆ 1 นาที จนกว่าอัตราการเต้นของหัวใจจะถึง 45% HRR

ภาพที่ 10 แสดงการออกกำลังกาย ด้วยการเดินบนลู่วิ่งสายพาน เป็นเวลา 30 นาที

2. ผู้วิจัยสามารถปรับเพิ่ม – ลดความชันได้เมื่ออัตราการเต้นของหัวใจมีค่าไม่อยู่ในช่วง 45 – 50% HRR

3. เมื่อผู้เข้าร่วมงานวิจัยเดินบนลู่วิ่งครบ 30 นาที ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทำการ cool down บนลู่วิ่งเป็นเวลา 5 นาที ถือเป็นการสิ้นสุดการออกกำลังกาย

การวัดค่าตัวชี้วัดขณะออกกำลังกาย

1. ขณะออกกำลังกายผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดค่า VO_2 และ VCO_2 ด้วยเครื่อง gas analyzer

2. ผู้วิจัยถามค่าความเหนื่อย (RPE) และบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ (HR) ค่าความเร็วของการเดิน (km/h) ค่าความชันของลู่วิ่ง ใน 15 วินาทีสุดท้ายก่อนสิ้นสุดการอบอุ่นร่างกายและ ทุกๆ 2 นาทีของการออกกำลังกาย

ภาพที่ 11 แสดงท่าทางขณะนั่งพักภายหลัง การออกกำลังกายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การวัดค่าขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย

1. เมื่อสิ้นสุดการออกกำลังกายผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดค่า VO_2 และ VCO_2 ด้วยเครื่อง gas analyzer
2. ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยนั่งนิ่งอยู่บนเก้าอี้ หลังพิงพนักเก้าอี้ วางแขนทั้งสองข้างไว้บริเวณที่พักแขน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ผู้วิจัยบันทึกข้อมูลค่า VO_2, VCO_2, RER เฉลี่ยทุกๆ 5 นาที เพื่อนำมาคำนวณหาค่า fat oxidation และ CHO oxidation

4. ผู้วิจัยจะทำการวัดและบันทึกข้อมูล heart rate, blood pressure ทุกๆ 2 นาที

การดื่มน้ำ (Water Replacement)

1. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องดื่มน้ำโดยค่อยๆจิบทีละน้อย 600 มิลลิลิตร ก่อนมาถึงห้องปฏิบัติการ 2 ชั่วโมง
2. เมื่อสิ้นสุดขั้นตอน cool down ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยดื่มน้ำ 200 มิลลิลิตร ก่อนเข้าห้องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อทดแทนน้ำที่อาจสูญเสียไปขณะออกกำลังกายและป้องกันการขาดน้ำขณะพักภายหลังออกกำลังกาย
3. พักในห้องควบคุมอุณหภูมิ จะให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยดื่มน้ำได้ 200 มิลลิลิตรอีกครั้งในนาทีที่ 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการคำนวณการออกซิเดชันของไขมัน

ผู้วิจัยคำนวณ fat oxidation จากค่าเฉลี่ยของ VO_2 และ VCO_2 ที่วัดในขณะพัก ด้วยสูตรของ Peronnet and Massicotte[65] 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)

ซึ่งค่า VO_2 และ VCO_2 ที่ได้ เป็นค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที แล้วผู้วิจัยจะนำค่ามาเฉลี่ยทุกๆ 5 นาทีอีกครั้งหนึ่ง และนำค่าที่ได้คำนวณด้วยสูตรของ Peronnet and Massicotte แล้วจึงนำค่าเฉลี่ย fat oxidation และ CHO oxidation เพื่อหา area under the curve ของการออก

กำลังกาย 30 นาที และการพักภายหลังการออกกำลังกาย 60 นาทีอีกครั้งหนึ่ง ค่าที่ได้จะถูกหารด้วยน้ำหนักตัวของอาสาสมัคร เพื่อให้มีหน่วยเป็น mg per kg of body weight (mg/kg BW)

Fat oxidation rate และ CHO oxidation ขณะออกกำลังกายนำค่าที่ได้ x 2 หน่วยแสดงเป็น mg per kg of body weight per hour (mg/kg BW/hr)

วิธีการเปลี่ยนหน่วยเป็นกิโลแคลอรี่

เมื่อได้ค่า fat oxidation และ CHO oxidation แล้ว นำค่าจากการคำนวณ ทำวิธีเปลี่ยนหน่วยดังนี้

fat oxidation (mg) / 1000 = fat oxidation (g) ; fat 1 g = 9 kcal

ดังนั้น fat oxidation (g) x 9 = fat oxidation (kcal)

CHO oxidation (mg) / 1000 = CHO oxidation (g) ; carbohydrate 1 g = 4 kcal

ดังนั้น CHO oxidation (g) x 4 = CHO oxidation (kcal)

เพราะฉะนั้นการใช้พลังงานรวม คือ fat oxidation (kcal) + CHO oxidation (kcal) = Energy expenditure (kcal) หากต้องการหา fat oxidation rate และ CHO oxidation rate ให้นำค่าที่ได้หารด้วย 60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวัดอุณหภูมิผิวหนัง

การวัดอุณหภูมิทางผิวหนังทำการวัดด้วยการนำสาย thermometer probe ที่หุ้มพลาสติกสอดเหน็บไว้บริเวณรักแร้ข้างใดข้างหนึ่งเพื่อดูอุณหภูมิทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง (YSI Tele-Thermometer, Yellow Springs Instrument Co., Inc., USA) พร้อมทั้งจดบันทึกอุณหภูมิผิวหนังลงในแบบฟอร์ม และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ข้อกำหนดในการหยุดการทดสอบออกกำลังกายและขณะพักในการศึกษาครั้งนี้

1. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกกำลังกายได้ครบตามเวลาที่กำหนดในการทดสอบออกกำลังกาย
2. มีอาการผิดปกติทางด้านร่างกาย เช่น หน้ามืด วิงเวียนศีรษะ เจ็บแน่นหน้าอก สีของผิวหนังซีดจางผิดไปจากปกติ เจ็บข้อเข่า ข้อเท้าจนทนไม่ไหว มีอาการเจ็บปวดที่กล้ามเนื้อจนเดินต่อไม่ไหว
3. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่สามารถควบคุมการเดินในความเร็วที่กำหนดให้ได้
4. ค่าความเหนื่อยในขณะออกกำลังกาย (RPE) ถึง 17 (6 – 20 scale)
5. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบขัดข้องขณะทำการทดสอบ
6. อุณหภูมิบริเวณผิวหนังที่สูงถึง 38°C
7. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยขอหยุดการทดสอบ

การควบคุมอุณหภูมิแวดล้อม

1. ผู้วิจัยทำการควบคุมอุณหภูมิแวดล้อมแบ่งเป็น 2 อุณหภูมิ คือ
    a. ที่อากาศร้อนอุณหภูมิ 31 – 32°C โดยใช้เครื่องทำความร้อน Infrared heater ในห้องจำลองสภาพอากาศ โดยทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ ทุกๆ 1 นาที เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามเกณฑ์ที่กำหนด
    b. ที่อุณหภูมิปกติ 24 - 25°C โดยใช้เครื่องปรับอากาศ ในห้องจำลองสภาพอากาศ โดยทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ ทุกๆ 1 นาที เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามเกณฑ์ที่กำหนด
2. การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ทำโดยการ
    a. หากความชื้นสัมพัทธ์สูงไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด ผู้วิจัยจะทำการเปิดน้ำใส่อ่างและวางฟองน้ำชุบน้ำหรือฉีดพ่นละอองน้ำในห้องจำลองสภาพอากาศ เพื่อให้ความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
    b. ทำการทดลองในเวลาเดียวกันของวัน และระยะเวลาห่างกันไม่เกิน 7 วัน

การเก็บตัวอย่างเลือด

1. ทำการสุ่มผู้เข้าร่วมงานวิจัยจำนวน 7 คน จาก 25 คน เพื่อตรวจหาความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในเลือด แต่การตรวจน้ำตาลในเลือดต้องตรวจทุกคน

2. เจาะเก็บตัวอย่างเลือดผู้เข้าร่วมงานวิจัยปริมาณ 3 ซีซี จากหลอดเลือดดำบริเวณข้อพับแขนข้างที่ไม่ถนัด ด้วยการคา venous catheter ไว้เพื่อนำมาหาความเข้มข้นของ free fatty acid และ blood glucose

ภาพที่ 12 แสดงการคา venous catheter บริเวณข้อพับแขน

3. ทำการเก็บตัวอย่างเลือดทั้งหมด 5 ครั้ง ได้แก่ ก่อนทำการทดสอบเพื่อเป็นค่า baseline ณ เวลาสิ้นสุดการออกกำลังกาย และขณะพัก นาทีที่ 20, 40 และ 60 นาที

4. ตัวอย่างเลือดที่เก็บต้องอยู่ในอุณหภูมิปกติ (25ºC) เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปปั่นที่ 4000 rpm เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4ºC แล้วทำการแยกพลาสมาใส่ microtube และนำตัวอย่างพลาสมาไปเก็บที่อุณหภูมิ -80ºC เพื่อเตรียมที่จะนำไปตรวจวิเคราะห์ค่า free fatty acid ในพลาสมา

5. blood glucose ทดสอบด้วยวิธีหยดเลือดลงบน Test strips พร้อมกับบันทึกค่า

วิเคราะห์ตัวอย่างเลือด

1. วิเคราะห์ค่า plasma free fatty acid โดยใช้ Free Fatty Acid Quantification Kit (Abcam, Biomed Diagnostics Co., Ltd., UK.) ด้วยวิธีดังนี้
    a. ละลายเลือดที่ปั่นแล้วให้อยู่ในอุณหภูมิห้อง แยกเฉพาะส่วนที่เป็นพลาสมาออกมา 50 µL
    b. หยดสารทำปฏิกิริยา Acyl – CoA Synthetase 2 µL ลงในพลาสมาที่แยกไว้
    c. ผสมให้เข้ากันและพักไว้ที่อุณหภูมิ 37ºC เป็นเวลา 30 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

d. 30 นาทีหลังจากพักสาร ให้หยดสาร reaction mix 50 µL ลงในพลาสมา แล้วผสมให้เข้ากันและพักในที่มืดสนิทที่อุณหภูมิ 37ºC เป็นเวลา 30 นาที

e. วัดความเข้มข้นด้วยวิธี Colorimetric ที่ OD 570 nm

f. คำนวณความเข้มข้นของ plasma free fatty acid

g. ค่าที่ได้นำมาคำนวณ Area under the curve ด้วยสูตร ½ x (ผลบวกของด้านคู่ขนาน) x สูง

2. ค่า blood glucose สามารถอ่านค่าโดยตรงได้จากเครื่องตรวจน้ำตาลในเลือด (Accu – Chek รุ่น Performa)

ภาพที่ 13 แสดงการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในตัวอย่างพลาสมา

การควบคุมอาหาร

เพื่อควบคุมให้งานวิจัยมีผลกระทบจากอาหารน้อยที่สุด โดยผู้วิจัยกำหนดมื้ออาหารให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคน ล่วงหน้า 1 วันก่อนที่จะมีการทดสอบทุกครั้ง โดยอาหารประกอบด้วย

มื้อเช้า: ข้าวมันไก่ (ตรา 7 – Fresh (619 kcal))

มื้อกลางวัน: เส้นใหญ่ผัดซีอิ๊ว (ตรา 7 - Fresh(633 kcal)) + นมถั่วเหลือง 1 กล่อง (200 kcal)

อาหารว่างระหว่างมื้อ: แอปเปิ้ล 1 ผล (63 kcal)

มื้อเย็น: ข้าวผัดกุ้งใส่ไข่ (ตรา 7 – Fresh (595 kcal)) + นมรสจืด 1 กล่อง 225 ml (ตราโฟร์โมสต์ (150 kcal))

อาหารหลังจากออกกำลังกาย: ข้าวกะเพราหมู (ตรา 7 – Fresh (370 kcal))

การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลครบถ้วนข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติแบบ independent T – test ขณะออกกำลังกายและขณะพักภายหลังการออกกำลังกายในที่ร้อนและในอุณหภูมิปกติ เพื่อทดสอบดังต่อไปนี้

1. ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการออกซิเดชันของไขมันรวม (total fat oxidation)
2. ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตรวม (total carbohydrate oxidation)

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง fat oxidation กับ plasma free fatty acid ขณะพักภายหลังการออกกำลังกายด้วยวิธี Pearson’s correlation วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย fat oxidation ทุก 5 นาทีด้วยวิธีทางสถิติแบบ repeated measure ANOVA เพื่อดูความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย fat oxidation แต่ละนาทีและความแตกต่างระหว่างสภาวะแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS statistic version 22 ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูลในเบื้องต้น นำเสนอข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) โดยมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($p < 0.05$)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในระหว่างพักภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางต่อการออกซิเดชันของไขมันในหญิงอ้วน โดยเปรียบเทียบระหว่างการนั่งพักในอุณหภูมิปกติและในที่ร้อน

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนได้มาทำการทดสอบสองครั้ง ลำดับการทดสอบแต่ละคนทำโดยการสุ่ม (Randomization) อุณหภูมิที่ใช้ในขณะพักหลังการออกกำลังกาย เพื่อที่จะได้กลุ่มตัวอย่างเท่าๆกันและได้แบ่งอุณหภูมิขณะพักอย่างเท่าเทียม และเข้ารับการทดสอบตามลำดับจนครบ 25 คน ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนสามารถออกกำลังกายที่ระดับปานกลาง (45 – 50% Heart rate reserve) จนครบเวลา 30 นาทีได้ทุกคน และนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายทั้งสองสภาวะแวดล้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมงได้ครบทุกคนตามเวลาที่ผู้วิจัยกำหนด

คุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

อาสาสมัครเป็นคนอ้วนเพศหญิงทั้งหมด 25 คนและมีอาสาสมัครขอถอนตัว 1 คน เนื่องจากเดินทางไปศึกษาต่อต่างประเทศ จึงเหลืออาสาสมัคร 24 คน มีอายุเฉลี่ย 26.9 ± 3.9 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 96.0 ± 19.9 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 161.9 ± 4.9 เซนติเมตร ดัชนีมวลกายเฉลี่ย 36.5 ± 7.3 กิโลกรัมต่อเมตร^2 เปอร์เซ็นต์ไขมันเฉลี่ย 47.3 ± 3.9 เปอร์เซ็นต์ ไตรกลีเซอร์ไรด์เฉลี่ย 122.2 ± 54.0 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร HDL เฉลี่ย 44.9 ± 8.0 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร LDL เฉลี่ย 117.4 ± 35.7 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร โคเลสเตอรอลเฉลี่ย 183.2 ± 35.9 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ระดับน้ำตาลในเลือดเฉลี่ย 91.0 ± 8.2 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 1

ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายอาสาสมัครมีอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยในที่ร้อน 36.5 ± 0.6°C และในอุณหภูมิปกติ 36.2 ± 0.6°C ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิผิวหนังขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายระหว่างสองสภาวะแวดล้อม ($p = 0.07$)

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการ (N = 24)

คุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	Mean ± SD	Range
อายุ (ปี)	26.9 ± 3.9	21.0 – 35.0
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	96.0 ± 19.9	74.0 – 158.2
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	161.9 ± 4.9	153.0 – 170.0
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อเมตร^2)	36.5 ± 7.3	30.2 – 61.8
เปอร์เซ็นต์ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	47.3 ± 3.9	39.4 – 56.0
มวลกล้ามเนื้อ (กิโลกรัม)	27.9 ± 4.7	20.6 – 40.6
ไตรกลีเซอร์ไรด์ (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	122.2 ± 54.0	45.0 – 263.0
HDL (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	44.9 ± 8.0	33.0 – 61.0
LDL (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	117.4 ± 35.7	48.0 – 195.0
โคเลสเตอรอล (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	183.2 ± 35.9	99.0 – 259.0
Fasting blood glucose (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	91.0 ± 8.2	80.0 – 111.0

อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยขณะออกกำลังกายและขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย

อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ขณะออกกำลังกาย มีอุณหภูมิขณะออกกำลังกายก่อนพักในที่ร้อน(HT) เฉลี่ย 24.3 ± 0.4°C และก่อนพักในที่อุณหภูมิปกติ (TN) เฉลี่ย 24.3 ± 0.4°C ความชื้นสัมพัทธ์ของที่ร้อนและ อุณหภูมิปกติเฉลี่ย 75.2 ± 1.1% และ 75.3 ± 0.8% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายระหว่างทำการศึกษาในที่ร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.6 ± 0.2°C และในที่อุณหภูมิปกติมีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.5 ± 0.2°C ความชื้นสัมพัทธ์ในที่ร้อนและในที่อุณหภูมิปกติเฉลี่ย 76.3 ± 2.4% และ 76.3 ± 2.4% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงสภาวะแวดล้อมขณะออกกำลังกายและขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย

สภาวะแวดล้อมขณะออกกำลังกาย	อุณหภูมิห้อง (°c)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	สภาวะแวดล้อมขณะพักหลังออกกำลังกาย	อุณหภูมิห้อง (°c)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
HT	24.3 ± 0.4	75.2 ± 1.1	**HT**	31.6 ± 0.2	76.3 ± 2.4
TN	24.3 ± 0.4	75.3 ± 0.8	**TN**	24.5 ± 0.2	75.4 ± 0.8

HT (พักในที่ร้อน)

TN (พักในที่อุณหภูมิปกติ)

ค่าเฉลี่ยของ Total fat oxidation, total CHO oxidation และ energy expenditure ขณะออกกำลังกายและขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย

จากการศึกษา fat oxidation ขณะออกกำลังกายเป็นเวลา 30 นาทีของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองครั้ง พบว่า fat oxidation rate ขณะออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT: 128.3 ± 76.1 mg/kg BW/hr vs TN: 113.5 ± 55.1 mg/kg BW/hr, p = 0.44) ดังแสดงในตารางที่ 3

จากการศึกษา total fat oxidation, total CHO oxidation และ Energy expenditure ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ โดยใช้สถิติ independent T - test พบว่า recovery fat oxidation rate ในที่อุณหภูมิปกติสูงกว่าในที่ร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (TN; 59.6 ± 18.9 mg/kg BW/hr vs HT; 46.2 ± 13.2 mg/kg BW/hr, p = 0.007) และ recovery CHO oxidation rate ในที่ร้อนสูงกว่าในที่อุณหภูมิปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT; 108.1 ± 21.6 mg/kg BW/hr vs TN; 92.0 ± 33.0 mg/kg BW/hr, p = 0.05) แต่ recovery energy expenditure rate ในที่ร้อนและในอุณหภูมิปกติไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT; 81.0 ± 16.5 kcal/hr vs TN; 87.0 ± 21.3 kcal/hr, p =0.29) ดังแสดงในตารางที่ 3

จากการศึกษาค่าเฉลี่ยทุกๆ 5 นาทีของ fat oxidation ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย ด้วยสถิติ paired T - test พบว่า ค่าเฉลี่ยของ fat oxidation ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย ตั้งแต่นาทีที่ 5 ถึงนาทีที่ 40 ในที่อุณหภูมิปกติมากกว่าในที่ร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 14

ตารางที่ 3 แสดงการออกซิเดชันของไขมัน คาร์โบไฮเดรตและการใช้พลังงานรวมขณะออกกำลังกายเป็นเวลา 30 นาทีและขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย 1 ชั่วโมง

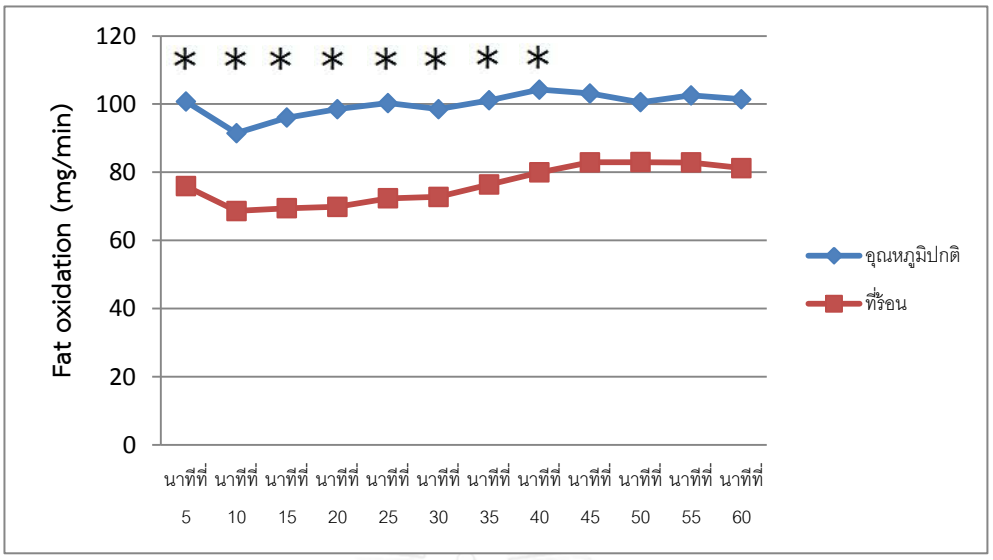
	HT	TN	P - Value
Fat oxidation rate			
- Exercise (mg/kg BW/hr)	128.3 ± 76.1	113.5 ± 55.1	0.44
- Recovery (mg/kg BW/hr)	46.2 ± 13.2	59.6 ± 18.9	0.007*
CHO Oxidation rate			
- Exercise (mg/kg BW/hr)	679.6 ± 187.5	704.5 ± 187.8	0.65
- Recovery (mg/kg BW/hr)	108.1 ± 21.6	92.0 ± 33.0	0.05*
Energy expenditure rate			
- Exercise (kcal/hr)	365.1 ± 55.8	362.3 ± 63.5	0.87
- Recovery (kcal/hr)	81.0 ± 16.5	87.0 ± 21.3	0.29

HT (พักในที่ร้อน)

TN (พักในที่อุณหภูมิปกติ)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพักในที่ร้อนและที่อุณหภูมิปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ย ของ fat oxidation (mg/min) ทุก 5 นาทีในขณะพักหลักจากออกกำลังกาย

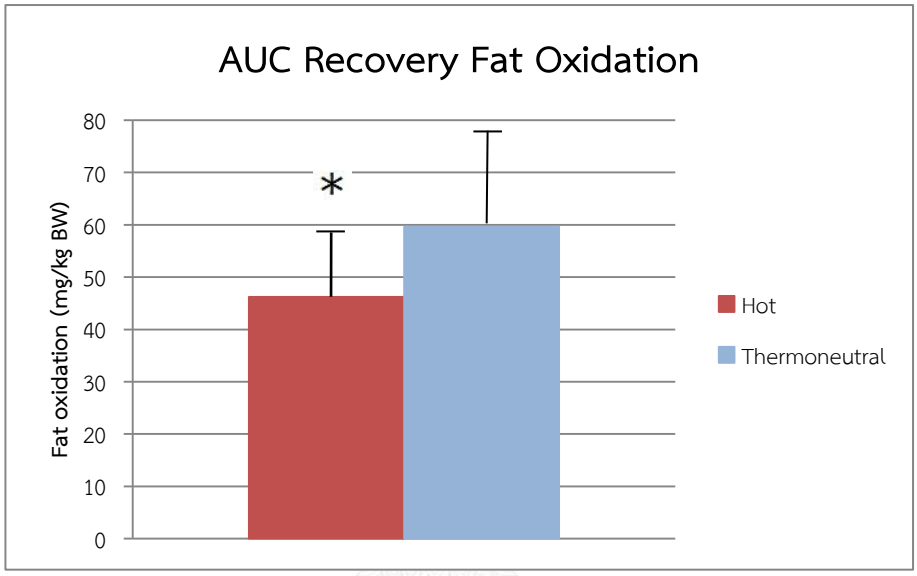
* $p < 0.05$ ระหว่างที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ (paired T- test)

เปรียบเทียบ Total fat oxidation, total CHO oxidation และ energy expenditure ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกาย

จากการเปรียบเทียบการ total fat oxidation และ total CHO oxidation ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายของทั้งสองสภาวะแวดล้อม (HT vs TN) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลที่ได้ดังนี้

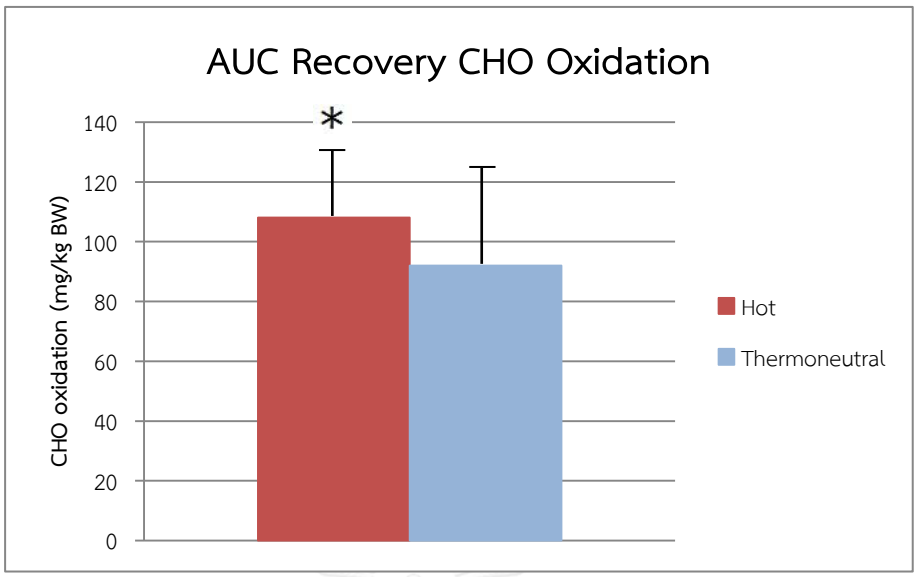
1. Total recovery fat oxidation ในอุณหภูมิปกติมากกว่าในที่ร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (TN; 59.6 ± 18.9 mg/kg BW vs HT; 46.2 ± 13.2 mg/kg BW, $p = 0.007$) ดังแสดงในภาพที่ 4.2
2. Total recovery CHO oxidation ในที่ร้อนมากกว่าในอุณหภูมิปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT; 108.1 ± 21.6 mg/kg BW vs TN; 92.0 ± 33.0 mg/kg BW, $p = 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 16
3. Recovery energy expenditure ระหว่างในที่ร้อนและในอุณหภูมิปกติไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HT; 81.0 ± 16.5 kcal vs TN; 87.0 ± 21.3 kcal) ดังแสดงในภาพที่ 17

4. สัดส่วนของ fat oxidation ในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายในที่อุณหภูมิปกติสูงกว่าในที่ร้อน(อุณหภูมิปกติ; ไขมัน:คาร์โบไฮเดรต = 40:60 และ ที่ร้อน; ไขมัน:คาร์โบไฮเดรต = 30:70) ดังแสดงในภาพที่ 17



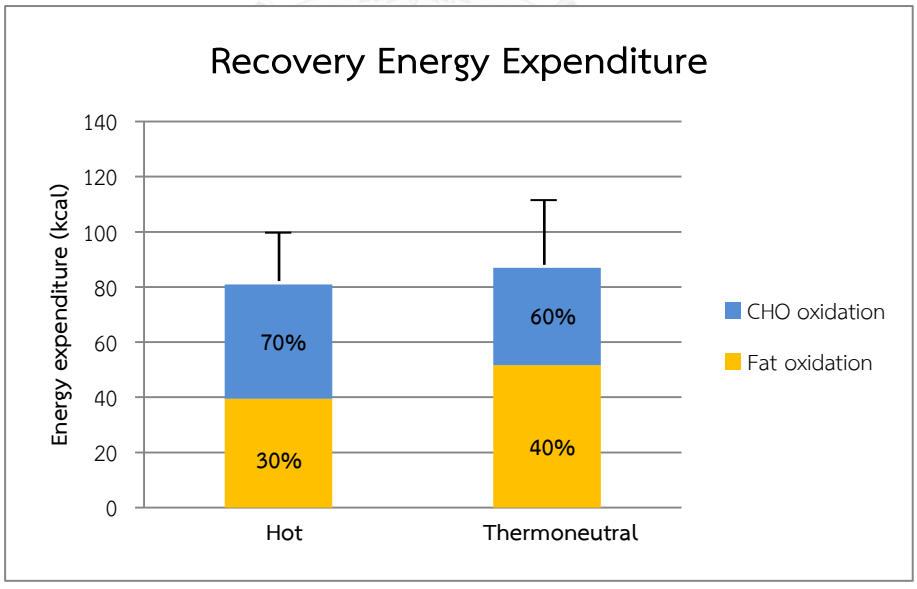
ภาพที่ 15 แสดงค่า fat oxidation รวมขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 16 แสดงค่า CHO oxidation รวมขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 17 แสดงค่า Energy expenditure ขณะนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือด (Blood Glucose) ขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย

จากการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับน้ำตาลในเลือดขณะพักภายหลังการอออกกำลังกายในเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ระดับน้ำตาลในเลือดขณะพักภายหลังการออกกำลังกายเป็นเวลา 1 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ (ที่ร้อน: 88.6 ± 7.7 mg/dL vs อุณหภูมิปกติ: 90.0 ± 7.8 mg/dL, p = 0.24) ดังแสดงในตารางที่ 4

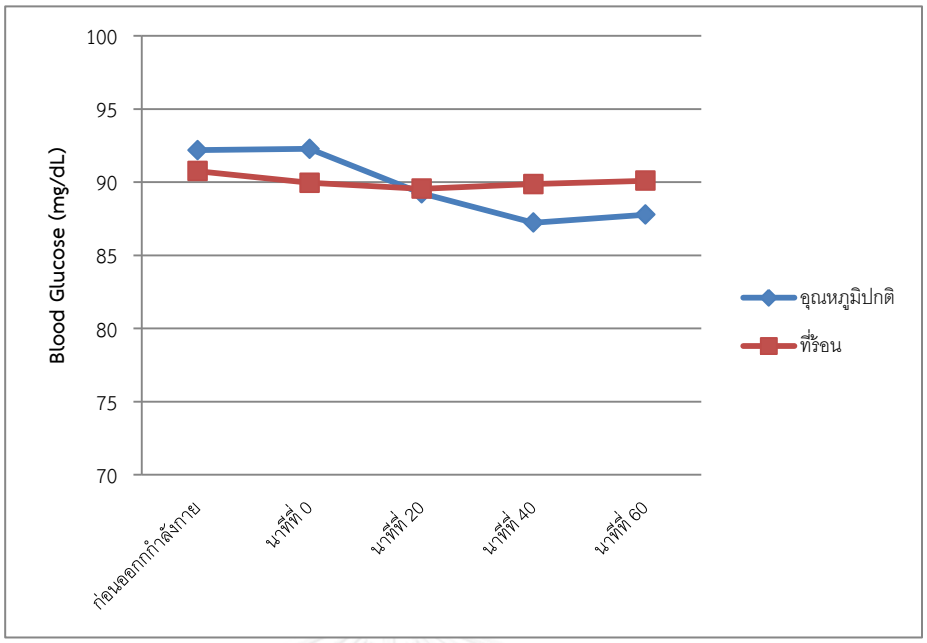
จากการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับน้ำตาลในเลือดทุก 20 นาที ในขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย โดยใช้สถิติแบบ repeated measure ANOVA พบว่า ระดับน้ำตาลในเลือดที่ทำการตรวจทุก 20 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 18

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือดขณะพักภายหลังการออกกำลังกายในเวลา 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิแวดล้อม	ค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	P - Value
ที่ร้อน	88.6 ± 7.7	0.24
อุณหภูมิปกติ	90.0 ± 7.8	

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในเลือดขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทุกๆ 20 นาที

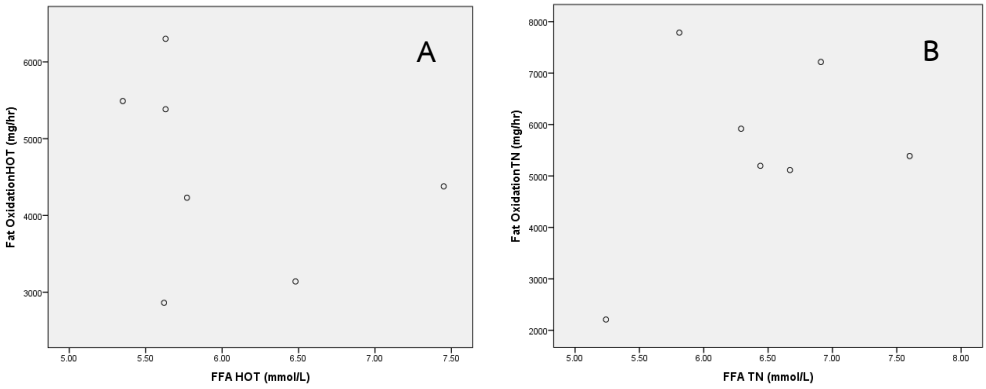
อุณหภูมิแวดล้อม	ก่อนออกกำลังกาย (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	นาทีที่ 0 (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	นาทีที่ 20 (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	นาทีที่ 40 (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	นาทีที่ 60 (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)
ที่ร้อน	90.8 ± 7.3	90.0 ± 8.5	89.6 ± 8.3	89.9 ± 7.8	90.1 ± 9.0
อุณหภูมิปกติ	92.2 ± 9.6	92.3 ± 13	89.2 ± 8.5	87.2 ± 6.9	87.8 ± 7.7



ภาพที่ 18 แสดงกราฟของ blood glucose ก่อนและหลังการออกกำลังกาย

ความสัมพันธ์ระหว่างการออกซิเดชันของไขมันกับกรดไขมันอิสระขณะพักในอุณหภูมิต่างๆ

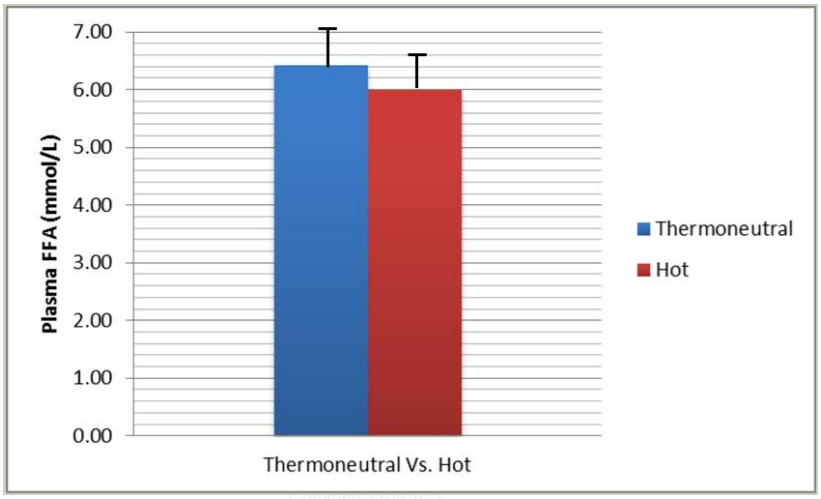
จากการทดสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างการออกซิเดชันของไขมันกับกรดไขมันอิสระทั้งสองอุณหภูมิ พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบตรงกันข้ามระดับต่ำในที่ร้อน และมีความสัมพันธ์กันแบบทิศทางเดียวกันระดับต่ำในที่อุณหภูมิปติ (ที่ร้อน; r = - 0.32, p = 0.49 และอุณหภูมิปกติ; r = 0.37, p = 0.41) ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการออกซิเดชันของไขมันกับกรดไขมันอิสระในที่ร้อน (r = - 0.32, p = 0.49; ภาพ A) และอุณหภูมิปกติ (r = 0.37, p = 0.41; ภาพ B)

กรดไขมันอิสระในเลือดขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย

จากการวิเคราะห์ผลความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันอิสระที่ปรากฏในเลือดระหว่างพักภายหลังการออกกำลังกายในที่อุณหภูมิร้อนและอุณหภูมิปกติ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระของทั้งสองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อุณหภูมิปกติ; 6.4 ± 0.7 มิลลิโมล/ลิตร, ที่ร้อน; 6.0 ± 0.7 มิลลิโมล/ลิตร; P = 0.30) ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดง AUC ปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแวดล้อมในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลาง ต่อการออกซิเดชันของไขมันในหญิงอ้วน ระหว่างอุณหภูมิร้อนและอุณหภูมิปกติ จากอาสาสมัคร 24 คน ซึ่งผ่านการคัดกรองตามเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าสู่งานวิจัยเป็นอย่างดี

การดำเนินงานวิจัยและเก็บข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเก็บข้อมูลที่ห้องปฏิบัติการเวชศาสตร์การกีฬา ชั้น4 อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้วิจัยได้เริ่มเก็บข้อมูลเมื่ออาสาสมัครทุกคนหลังจากได้ให้คำแนะนำและสร้างความเข้าใจให้กับอาสาสมัครอย่างครบถ้วนแล้ว โดยที่ผลการวิจัยหลักมีดังนี้

1. การพักในที่อุณหภูมิปกติภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วนมีการออกซิเดชันของไขมันรวม (total fat oxidation) มากกว่าการพักในที่ร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. การพักในที่ร้อนภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วนมีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตรวม (total CHO oxidation) มากกว่าการพักในอุณหภูมิปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. ความสัมพันธ์ของการออกซิเดชันของไขมันกับกรดไขมันอิสระไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองอุณหภูมิแวดล้อม
4. ปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในเลือดขณะพักของทั้งสองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมขณะพักภายหลังการออกกำลังกายต่อการออกซิเดชันของไขมันในหญิงอ้วน

การออกซิเดชันของไขมันขณะพักภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในอาสาสมัครหญิงอ้วนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า การพักในที่อุณหภูมิปกติเฉลี่ย 24.5 ± 0.2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75.4 ± 0.8% มีการออกซิเดชันของไขมันรวมที่มากกว่าการพักในที่ร้อนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.6 ± 0.2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 76.3 ± 2.4% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อุณหภูมิปกติ; 59.6 ± 18.9 mg/kg BW/hr และ ที่ร้อน; 46.2 ± 13.2 mg/kg BW/hr, p = 0.007) เนื่องจากมีการวิจัยของ Loon และคณะปี 2001 พบว่า เมื่อ fat oxidation เพิ่มขึ้น ทำให้มีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตลดลง การใช้ไกลโคเจนลดลง และลดการ re – esterified ของ free fatty acid (FFA)[15] ซึ่งหลังการออกกำลังกายร่างกายจำเป็นต้องใช้พลังงานในกระบวนการ glycogen resynthesis โดยมีการศึกษาของ Kimber และคณะ ปี 2003 ทำในชายที่ฝึกแบบ endurance เป็นประจำ พบว่าภายหลังการออกกำลังกายทันทีร่างกายมีการสูญเสียไกลโคเจน แต่เมื่อมีการพักภายหลังการออกกำลังกายเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในอุณหภูมิปกติ ร่างกายมีไกลโคเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบอีกว่า ในช่วง 1 ชั่วโมงแรกหลังการออกกำลังกายมีค่า RER ต่ำกว่าก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งยังมี FFA และ glycerol สูงกว่าก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงถึงการใช้ไขมันเป็นหลักเพื่อกระบวนการ glycogen resynthesis ภายหลังการออกกำลังกาย[59] แต่ในการศึกษาครั้งนี้มีผลของอุณหภูมิแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ร่างกายต้องมีการระบายความร้อนที่เกิดจากการออกกำลังกายและการนั่งพักในที่ร้อนภายหลังการออกกำลังกาย โดยมีงานวิจัยของ Wendt และคณะในปี 2007 รายงานว่า การพักในที่ร้อนจะไม่มีสภาพอากาศเป็นตัวช่วยในการระบายความร้อน ร่างกายจึงต้องเพิ่มการระบายความร้อนและใช้พลังงานในการระบายความร้อนมากกว่าปกติ[68] แต่ด้วยสภาวะในงานวิจัยนี้มีความชื้นสัมพัทธ์สูง (ที่ร้อน; 76.3 ± 2.4% และอุณหภูมิปกติ; 75.4 ± 0.8%) ทำให้การระบายความร้อนด้วยการหลั่งเหงื่อเป็นไปได้ยาก จึงต้องอาศัยการระบายความร้อนแบบ convection แทน จากการศึกษาของ Wakabayashi และคณะ ในปี 2011 ในกลุ่มคนประเทศเขตร้อน พบว่า คนประเทศเขตร้อนจะมีการระบายความร้อนแบบ convection ดีกว่าคนประเทศเขตอบอุ่น เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนจากแกนกลาง (core) ไปยังบริเวณผิวหนัง (skin) ได้ดีกว่าคนประเทศเขตอบอุ่น มีหลอดเลือดฝอยบริเวณมากกว่าคนในประเทศ

เขตอบอุ่น[70] และในงานวิจัยครั้งนี้ให้อาสาสมัครดื่มน้ำอย่างเพียงพอและเหมือนกันทุกสภาวะแวดล้อมทำให้ไม่มี dehydration และก็มีงานวิจัยพบว่า การอยู่ในที่ร้อนทำให้มีการสูญเสียไกลโคเจนเพิ่มมากขึ้น และทำให้กระบวนการสังเคราะห์ไกลโคเจนแย่ลง[74] ดังนั้นในที่อุณหภูมิปกติร่างกายใช้พลังงานในการระบายความร้อนที่เกิดจากการออกกำลังกายน้อย เพราะอุณหภูมิภายนอก (24 - 25°C) ง่ายต่อการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ร่างกายจึงเลือกใช้พลังงานจากไขมันซึ่งให้พลังงานมากกว่าแต่มี pathway ที่ยาวกว่าการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตหรือไกลโคเจน โดยการศึกษาของ Wagner และคณะในปี 1985[75] พบว่า ในกลุ่มเพศหญิงที่มีไขมันมากกว่าจะสามารถคุมอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายจากการเพิ่มขึ้นของความร้อนจากกระบวนการ metabolism[75] และเมื่อพักในอุณหภูมิปกติ ไม่ต้องใช้พลังงานในการระบายความร้อนมากนัก จึงสามารถนำพลังงานไปใช้ในกระบวนการ glycogen resynthesis ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งต่างจากการพักในที่ร้อน (31 - 32°C) ที่ระบายความร้อนในร่างกายยากกว่า ร่างกายจำเป็นต้องใช้พลังงานในการระบายความร้อนที่รวดเร็ว ดังนั้นการนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายในอุณหภูมิปกติของหญิงอ้วนมี fat oxidation จึงสูงกว่าการนั่งพักในที่ร้อน

ผู้วิจัยมีการควบคุม factor ที่จะส่งผลต่อ fat oxidation ได้แก่ การออกกำลังกายที่ความหนักเท่ากัน และมีการงดอาหารก่อนการออกกำลังกายเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ให้อาสาสมัครรับประทานอาหารเหมือนกันทุกครั้งที่ก่อนทำการทดลอง เพื่อควบคุมให้สารอาหารที่ได้รับเท่ากันทั้งสองการทดลอง และให้อาสาสมัครดื่มน้ำอย่างเพียงพอเท่ากันทุกคนทั้งสองการทดลอง เพื่อป้องกันภาวะ dehydration ทำให้ระดับ plasma volume เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อฮอร์โมน Norepinephrine และจะกระทบต่อ fat oxidation รวมถึงสูตรคำนวณ fat oxidation ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นสูตรมาตรฐาน สามารถใช้คำนวณได้ในกลุ่มคนที่มีภาวะอ้วน โดยไม่มีการคำนวณการออกซิเดชันของโปรตีน เนื่องจากในสภาวะปกติร่างกายจะมีการนำโปรตีนมาใช้น้อยมาก

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมขณะพักภายหลังการออกกำลังกายต่อการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตในหญิงอ้วน

จากการศึกษาการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตขณะพักภายหลังออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ พบว่า การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตรวมในที่ร้อนมากกว่าที่อุณหภูมิปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ร้อน; 108.1 ± 21.6 mg/kg BW/hr และ ที่อุณหภูมิปกติ;

92.0 ± 33.0 mg/kg BW/hr, p = 0.05) ซึ่งสอดคล้องกับของ Naperalsky และคณะในปี 2010 ที่ทำการศึกษาในชายสุขภาพดีที่ออกกำลังกายเป็นประจำ พบว่า การพักในที่ร้อนมีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตมากกว่าที่อุณหภูมิปกติ[23] ตามที่กล่าวไปข้างต้น แต่ก็ขัดแย้งกับงานของ Katoh และคณะในปี 1996 ที่ให้คนอ้วนออกกำลังกายแล้วไปนั่งพักในที่ร้อน (60°C) กลับพบว่า คนอ้วนมีสัดส่วนการใช้ไขมันเพิ่มมากขึ้นจากขณะออกกำลังกาย[24] อาจเป็นผลจากการนั่งพักในที่มีความร้อนสูงระดับซาวน่าและออกกำลังกายในระดับหนัก และมีการศึกษาของ Valizadeh และคณะในปี 2011 ได้ทำการศึกษาในเพศชายสุขภาพดี ที่ไม่ใช่นักกีฬา พบว่า ในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายที่ความหนักต่างกัน แต่จะมี CHO oxidation ขณะพักภายหลังการออกกำลังกายไม่แตกต่างกัน[66] เพราะร่างกายสูญเสียไกลโคเจนขณะออกกำลังกาย ทำให้ร่างกายต้องใช้พลังงานสูงเพื่อสังเคราะห์ไกลโคเจนขึ้นมาใหม่[18] แต่เมื่องานวิจัยครั้งนี้มีผลของอุณหภูมิมาเกี่ยวข้องทำให้ CHO oxidation สูงกว่าในอุณหภูมิปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีงานวิจัยของ Febbraio และคณะในปี 1994[76] และ 1996[77] พบว่า เมื่ออุณหภูมิแกนกลางของร่างกายสูงขึ้น ร่างกายจะมี CHO oxidation สูงขึ้น เพื่อเพิ่มพลังงานไปช่วยในการระบายความร้อน[76, 77] ทำให้คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายกักเก็บไว้ในรูปไกลโคเจนและรูปแบบอื่นๆ ถูกนำมาออกซิไดซ์เพื่อช่วยในกระบวนการระบายความร้อนแทนการสังเคราะห์เป็นไกลโคเจน[78] จึงเป็นเหตุผลที่ว่าการอยู่ในที่ร้อนทำให้มีการสูญเสียไกลโคเจนเพิ่มมากขึ้น[72] ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการวิจัยครั้งนี้ที่พบว่า การพักภายหลังการออกกำลังกายของหญิงอ้วนในที่ร้อนมีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตที่สูงกว่าอุณหภูมิปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อกรดไขมันอิสระขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ปริมาณของกรดไขมันอิสระในเลือดขณะพักภายหลังการออกกำลังกายในที่อุณหภูมิร้อนและอุณหภูมิปกติไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อุณหภูมิปกติ; 6.4 ± 0.7 mmol/L, ที่ร้อน; 6.0 ± 0.7 mmol/L; P = 0.30) ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Plich และคณะในปี 2010 พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระในเลือดขณะนั่งพักในที่ร้อนสูงกว่าในที่อุณหภูมิปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[25] แต่การศึกษาของ Pilch และคณะเป็นเพียงการนั่งพักในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติ โดยไม่ได้มีการออกกำลังกาย จึงทำให้ผลที่ได้แตกต่างจากงานวิจัยนี้คือปัจจัยจากการออกกำลังกาย ซึ่งอาจเป็นเพราะการออกกำลังกายกระตุ้นให้มีการสร้างพลังงานจากสารอาหารที่เก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆของร่างกาย โดยมีการศึกษาของ McGarry และคณะ ปี 1977

พบว่า malonyl – CoA ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการนำกรดไขมันอิสระเข้าสู่ไมโตคอนเดรียมีเพิ่มมากขึ้นหลังจากมีกระบวนการสร้างพลังงานจากกลูโคส[79] และสภาวะแวดล้อมในงานวิจัยนี้มีความชื้นสัมพัทธ์สูง (ที่ร้อน; 76.3 ± 2.4% และอุณหภูมิปกติ; 75.4 ± 0.8%) โดยมีงานวิจัยของ Saat และคณะ ในปี 2005 ศึกษาความแตกต่างของการระบายความร้อนในคนกลุ่มประเทศเขตร้อนและคนกลุ่มประเทศเขตอบอุ่นขณะออกกำลังกายและพักในที่ร้อน พบว่า คนกลุ่มประเทศเขตร้อนจะมีการระบายความร้อนด้วยการหลั่งเหงื่อน้อยกว่าคนกลุ่มประเทศเขตอบอุ่น[71] โดยจะไปเพิ่มการระบายความร้อนแบบ radiation ผ่านทางผิวหนังแทนเมื่ออยู่ในที่ร้อน[70] ด้วยเหตุผลนี้อาจทำให้การเสียเหงื่อในที่ร้อนอาจจะไม่แตกต่างจากอุณหภูมิปกติ อีกทั้งอาสาสมัครมีการดื่มน้ำอย่างเพียงพอ ทำให้ไม่ส่งผลต่อ plasma volume โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับฮอร์โมน norepinephrine พบว่า norepinephrine จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับ plasma volume[73] ซึ่งฮอร์โมน norepinephrine ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของ FFA ในเลือด[72] ด้วยปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้งานวิจัยนี้ให้ผลที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่นโดยมีปัจจัยที่อาจส่งผลต่อ FFA ทำให้ FFA ในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติไม่มีความแตกต่างกัน

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันไขมันและกรดไขมันอิสระในเลือดขณะพักหลังการออกกำลังกาย

จากการทดสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างการออกซิเดชันของไขมันกับกรดไขมันอิสระทั้งสองอุณหภูมิ พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ร้อน; r = - 0.32, p = 0.49 และอุณหภูมิปกติ; r = 0.37, p = 0.41) ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Romijn และคณะ ปี 1995 ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมันอิสระในเลือดกับการออกซิเดชันของไขมันขณะออกกำลังกายระดับหนัก พบว่า ในขณะออกกำลังกายในกลุ่มที่ให้ไขมันผ่านทางหลอดเลือดมีการออกซิเดชันของไขมันสูงกว่ากลุ่มควบคุม และมีกรดไขมันอิสระในเลือดสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในขณะพักก่อนออกกำลังกายกลับพบว่า กรดไขมันอิสระในเลือดของกลุ่มที่ให้ไขมันผ่านทางหลอดเลือดสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การออกซิเดชันของไขมันกลับไม่แตกต่าง แสดงถึงว่า ในขณะที่ร่างกายมีการพักการออกซิเดชันของไขมันไม่มีความสัมพันธ์กับกรดไขมันอิสระในเลือด[13] สามารถอธิบายได้ว่า malonyl - CoA จะไปยับยั้ง CPT ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งกรดไขมันอิสระเข้าสู่ไมโตคอนเดรียเพื่อเข้าสู่กระบวนการออกซิเดชันของไขมัน ซึ่ง

malonyl – CoA นี้เป็นผลผลิตเกิดขึ้นได้จากกระบวนการสร้างพลังงานจากกลูโคส ซึ่งเป็นไปได้ว่าในขณะออกกำลังกายนั้นร่างกายมีการนำกลูโคสมาเปลี่ยนเป็นพลังงานมาก จึงทำให้เกิด malonyl – CoA[79] แต่เมื่อมีการพักภายหลังการออกกำลังกาย ร่างกายจึงสามารถนำกรดไขมันอิสระที่อยู่ในเลือดมาใช้ได้น้อยเนื่องจากมี malonyl – CoA มายับยั้งกระบวนการนำกรดไขมันอิสระเข้ามาออกซิเดชันในไมโตคอนเดรีย

ผลของอุณหภูมิแวดล้อมในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายต่อการใช้พลังงานรวมในหญิงอ้วน

การใช้พลังงานรวมขณะพักภายหลังการออกกำลังกายในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นหญิงอ้วน พบว่า การใช้พลังงานรวมของหญิงอ้วนในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ร้อน; 81.0 ± 16.5 kcal/hr และอุณหภูมิปกติ; 87.0 ± 21.3 kcal/hr, p = 0.29) แต่เมื่อเทียบสัดส่วนของการใช้พลังงานจากไขมันขณะพักในที่อุณหภูมิปกติ พบว่า มีสัดส่วนการใช้ไขมันมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการพักภายหลังการออกกำลังกายในที่ร้อน (อุณหภูมิปกติ; ไขมัน:คาร์โบไฮเดรต = 40:60 และ ที่ร้อน; ไขมัน:คาร์โบไฮเดรต = 30:70) ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ Naperalsky และคณะในปี 2010 ที่พบว่า การพักในอุณหภูมิปกติภายหลังการออกกำลังกายมีการใช้คาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[23] โดยในที่ร้อนจะมีการใช้พลังงานมากกว่าในอุณหภูมิปกติ จึงมีการดึงเอาคาร์โบไฮเดรตมาใช้มากเพราะสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งในที่ร้อนยังพบคาร์โบไฮเดรตในรูปของกลูโคสที่เตรียมนำไปใช้ในเซลล์กล้ามเนื้อมากกว่าในที่อุณหภูมิปกติ[80] และสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตในที่ร้อนมากกว่าในที่อุณหภูมิปกติ (ที่ร้อน; ไขมัน:คาร์โบไฮเดรต = 30:70 และ อุณหภูมิปกติ; ไขมัน:คาร์โบไฮเดรต = 40:60)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การพักในที่อุณหภูมิปกติภายหลังการออกกำลังกายในหญิงอ้วนมีการออกซิเดชันของไขมันมากกว่าในที่ร้อน ส่วนการพักในที่ร้อนมีการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตมากกว่าการพักในที่อุณหภูมิปกติ แต่ในการพักภายหลังการออกกำลังกายในหญิงอ้วนไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมันอิสระในเลือดกับการออกซิเดชันของไขมัน แล้วยังพบอีกว่า ในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติกรดไขมันอิสระในเลือดของหญิงอ้วนไม่มีความแตกต่างกัน รวมถึงการใช้พลังงาน

รวมของหญิงอ้วนในที่ร้อนและอุณหภูมิปกติไม่แตกต่างกัน แต่ต่างกันตรงสัดส่วนการใช้ไขมันและคาร์โบไฮเดรต โดยที่ร้อนมีการใช้คาร์โบไฮเดรตมากกว่า ส่วนที่อุณหภูมิปกติมีการใช้ไขมันมากกว่า และการนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายในที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 1 ชั่วโมงให้ผลการออกซิเดชันของไขมันไม่แตกต่างกับการออกกำลังกาย 30 นาที ดังนั้นการนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายในที่อุณหภูมิปกติ (24 – 25 ℃) จึงเหมาะสมกับคนอ้วนที่ต้องการลดน้ำหนักด้วยวิธีการลดไขมัน ทั้งยังเป็นการลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บที่จะเกิดจากอากาศร้อนอีกด้วย

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. ทางผู้วิจัยไม่ได้ทำการวัดค่าพื้นฐานของการออกซิเดชันของไขมันก่อนการออกกำลังกาย จึงไม่สามารถนำค่าการออกซิเดชันของไขมันเปรียบเทียบก่อนออกกำลังกายกับระหว่างการนั่งพักภายหลังการออกกำลังกายได้ ดังนั้นควรมีการวัดค่าพื้นฐานก่อนออกกำลังกาย
2. อุณหภูมิแวดล้อมที่ใช้ในงานวิจัยอาจมีข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้ เพราะเป็นอุณหภูมิและความชื้นที่พบได้ในประเทศไทยหรือกลุ่มประเทศที่มีภูมิอากาศใกล้เคียงเท่านั้น ดังนั้นควรปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความชื้นให้สอดคล้องกับภูมิอากาศของประเทศที่จะนำไปประยุกต์ใช้ก่อน
3. งานวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงผลแบบเฉียบพลัน ผลการวิจัยที่ได้อาจจะแตกต่างกันหากออกกำลังกายในระยะยาว จึงเป็นที่น่าสนใจหากมีการทดสอบผลของอุณหภูมิต่อการออกซิเดชันของไขมันในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายในระยะยาว

รายการอ้างอิง

1. Lafontan M, Langin D. Lipolysis and lipid mobilization in human adipose tissue. Progress in lipid research. 2009;48(5):275-97.

2. Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. Nutrition. 2004;20(7-8):716-27.

3. Lopez AD, Mathers CD, Ezzati M, Jamison DT, Murray CJ. Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: systematic analysis of population health data. Lancet (London, England). 2006;367(9524):1747-57.

4. Consultation WE. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. Lancet (London, England). 2004;363(9403):157-63.

5. 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. Lancet (London, England). 2014;384(9945):766-81.

6. Wang J, Thornton JC, Russell M, Burastero S, Heymsfield S, Pierson RN, Jr. Asians have lower body mass index (BMI) but higher percent body fat than do whites: comparisons of anthropometric measurements. The American journal of clinical nutrition. 1994;60(1):23-8.

7. Berggren JR, Boyle KE, Chapman WH, Houmard JA. Skeletal muscle lipid oxidation and obesity: influence of weight loss and exercise. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2008;294(4):E726-32.

8. Bouchard C, Despres JP, Mauriege P. Genetic and nongenetic determinants of regional fat distribution. Endocrine reviews. 1993;14(1):72-93.

9. Ardilouze JL, Fielding BA, Currie JM, Frayn KN, Karpe F. Nitric oxide and beta-adrenergic stimulation are major regulators of preprandial and postprandial subcutaneous adipose tissue blood flow in humans. Circulation. 2004;109(1):47-52.

10. Frayn KN, Karpe F. Regulation of human subcutaneous adipose tissue blood flow. International journal of obesity. 2014;38(8):1019-26.

Chulalongkorn University

11. Blaak EE, van Baak MA, Kemerink GJ, Pakbiers MT, Heidendal GA, Saris WH. Beta-adrenergic stimulation and abdominal subcutaneous fat blood flow in lean, obese, and reduced-obese subjects. Metabolism: clinical and experimental. 1995;44(2):183-7.

12. Bulow J, Madsen J. Human adipose tissue blood flow during prolonged exercise II. Pflugers Archiv : European journal of physiology. 1978;376(1):41-5.

13. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Zhang XJ, Wolfe RR. Relationship between fatty acid delivery and fatty acid oxidation during strenuous exercise. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1995;79(6):1939-45.

14. Wolfe RR, Klein S, Carraro F, Weber JM. Role of triglyceride-fatty acid cycle in controlling fat metabolism in humans during and after exercise. The American journal of physiology. 1990;258(2 Pt 1):E382-9.

15. van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. The Journal of physiology. 2001;536(Pt 1):295-304.

16. Jonas S, Philips E. ACSM's exercise is medicine: A clinician's guide to exercise prescription2009. 201-2 p.

17. 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. European journal of applied physiology. 2010;108(2):383-91.

18. Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1988;64(4):1480-5.

19. Price TB, Rothman DL, Taylor R, Avison MJ, Shulman GI, Shulman RG. Human muscle glycogen resynthesis after exercise: insulin-dependent and -independent phases. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1994;76(1):104-11.

20. Claremont AD, Nagle F, Reddan WD, Brooks GA. Comparison of metabolic, temperature, heart rate and ventilatory responses to exercise at extreme ambient temperatures (0 degrees and 35 degrees C.). Medicine and science in sports. 1975;7(2):150-4.

21. Brenner IK, Zamecnik J, Shek PN, Shephard RJ. The impact of heat exposure and repeated exercise on circulating stress hormones. European journal of applied physiology and occupational physiology. 1997;76(5):445-54.

22. 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. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 2002;93(1):77-84.

23. Naperalsky M, Ruby B, Slivka D. Environmental temperature and glycogen resynthesis. International journal of sports medicine. 2010;31(8):561-6.

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

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. International journal of occupational medicine and environmental health. 2010;23(2):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. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1987;63(1):31-5.

27. กรมอุตุนิยมวิทยา. วารสารอุตุนิยมวิทยา ประจำเดือน มกราคม - เมษายน 2558. วารสารอุตุนิยมวิทยา. 2015;15(1):1-89.

28. Mittendorfer B, Horowitz JF, Klein S. Effect of gender on lipid kinetics during endurance exercise of moderate intensity in untrained subjects. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2002;283(1):E58-65.

29. Carter SL, Rennie C, Tarnopolsky MA. Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2001;280(6):E898-907.

30. Schaffer JE. Fatty acid transport: the roads taken. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2002;282(2):E239-46.

31. Hamilton JA, Guo W, Kamp F. Mechanism of cellular uptake of long-chain fatty acids: Do we need cellular proteins? Molecular and cellular biochemistry. 2002;239(1-2):17-23.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

32. Frohnert BI, Bernlohr DA. Regulation of fatty acid transporters in mammalian cells. Progress in lipid research. 2000;39:83-107.

33. Hajri T, Abumrad NA. Fatty acid transport across membranes: relevance to nutrition and metabolic pathology. Annual review of nutrition. 2002;22:383-415.

34. Mora-Rodriguez R, Coyle EF. Effects of plasma epinephrine on fat metabolism during exercise: interactions with exercise intensity. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2000;278(4):E669-76.

35. Turcotte LP, Swenberger JR, Tucker MZ, Yee AJ, Trump G, Luiken JJ, et al. Muscle palmitate uptake and binding are saturable and inhibited by antibodies to FABP(PM). Molecular and cellular biochemistry. 2000;210(1-2):53-63.

36. Turcotte LP, Swenberger JR, Tucker MZ, Yee AJ. Training-induced elevation in FABP(PM) is associated with increased palmitate use in contracting muscle. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1999;87(1):285-93.

37. 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. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2002;283(1):E66-72.

38. 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. The American journal of physiology. 1993;265(3 Pt 1):E380-91.

39. Coyle EF, Jeukendrup AE, Wagenmakers AJ, Saris WH. Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. The American journal of physiology. 1997;273(2 Pt 1):E268-75.

40. Hurley BF, Nemeth PM, Martin WH, 3rd, Hagberg JM, Dalsky GP, Holloszy JO. Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1986;60(2):562-7.

41. Saggerson ED, Carpenter CA. Carnitine palmitoyltransferase and carnitine octanoyltransferase activities in liver, kidney cortex, adipocyte, lactating mammary gland, skeletal muscle and heart. FEBS Letters. 1981;129(2):229-32.

42. Winder WW. Malonyl-CoA--regulator of fatty acid oxidation in muscle during exercise. Exercise and sport sciences reviews. 1998;26:117-32.

43. Starritt EC, Howlett RA, Heigenhauser GJ, Spriet LL. Sensitivity of CPT I to malonyl-CoA in trained and untrained human skeletal muscle. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2000;278(3):E462-8.

44. Mills SE, Foster DW, McGarry JD. Effects of pH on the interaction of substrates and malonyl-CoA with mitochondrial carnitine palmitoyltransferase I. The Biochemical journal. 1984;219(2):601-8.

45. Kiens B. Skeletal muscle lipid metabolism in exercise and insulin resistance. Physiol Rev. 2006;86(1):205-43.

46. Horowitz JF, Mora-Rodriguez R, Byerley LO, Coyle EF. Lipolytic suppression following carbohydrate ingestion limits fat oxidation during exercise. The American journal of physiology. 1997;273(4 Pt 1):E768-75.

47. Stevenson EJ, Williams C, Mash LE, Phillips B, Nute ML. Influence of high-carbohydrate mixed meals with different glycemic indexes on substrate utilization during subsequent exercise in women. The American journal of clinical nutrition. 2006;84(2):354-60.

48. Cooper JA, Watras AC, Shriver T, Adams AK, Schoeller DA. Influence of dietary fatty acid composition and exercise on changes in fat oxidation from a high-fat diet. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 2010;109(4):1011-8.

49. Schutz Y, Flatt JP, Jequier E. Failure of dietary fat intake to promote fat oxidation: a factor favoring the development of obesity. The American journal of clinical nutrition. 1989;50(2):307-14.

50. Ashley C, Bishop P, Smith J, Reneau P, Perkins C. Menstrual phase effects on fat and carbohydrate oxidation during prolonged exercise in active females.pdf. Journal of Exercise Physiology online. 2000;3:67-73.

51. Reinke U, Ansah B, Voigt KD. Effect of the menstrual cycle on carbohydrate and lipid metabolism in normal females. Acta endocrinologica. 1972;69(4):762-8.

52. Simoneau JA, Veerkamp JH, Turcotte LP, Kelley DE. Markers of capacity to utilize fatty acids in human skeletal muscle: relation to insulin resistance and obesity and effects of weight loss. FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology. 1999;13(14):2051-60.

53. Blaak EE. Adrenergically stimulated fat utilization and ageing. Annals of Medicine. 2009;32(6):380-2.

54. Solomon TP, Marchetti CM, Krishnan RK, Gonzalez F, Kirwan JP. Effects of aging on basal fat oxidation in obese humans. Metabolism: clinical and experimental. 2008;57(8):1141-7.

55. Djelic M, Mazic S, Lazovic B, Zikic D, Sumarac-Dumanovic M, Micic D. Carbohydrate and fatty acid metabolism responses to a graded maximal exercise test and recovery period in athletes and sedentary subjects. Science & Sports. 2015;30(6):321-7.

56. Coggan AR, Raguso CA, Gastaldelli A, Sidossis LS, Yeckel CW. Fat metabolism during high-intensity exercise in endurance-trained and untrained men. Metabolism: clinical and experimental. 2000;49(1):122-8.

57. Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. European journal of applied physiology. 2006;98(5):497-506.

58. Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. Metabolism: clinical and experimental. 2003;52(6):747-52.

59. Kimber NE, Heigenhauser GJ, Spriet LL, Dyck DJ. Skeletal muscle fat and carbohydrate metabolism during recovery from glycogen-depleting exercise in humans. The Journal of physiology. 2003;548(Pt 3):919-27.

60. Aekplakorn W, Mo-Suwan L. Prevalence of obesity in Thailand. Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity. 2009;10(6):589-92.

61. ลัดดา เหมาะสุวรรณ, วิชัย เอกพลากร, นิชรา เรืองดารกานนท์, ปราณี ชาญณรงค์, ภาสุรี แสงศุภวนิช, วราภรณ์ เสถียรนพเก้า, et al. รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย. สสท กระทรวงสาธารณสุข. 2009;4:1-226.

62. Weinsier RL, Nelson KM, Hensrud DD, Darnell BE, Hunter GR, Schutz Y. Metabolic predictors of obesity. Contribution of resting energy expenditure, thermic effect of food, and fuel utilization to four-year weight gain of post-obese and never-obese women. The Journal of clinical investigation. 1995;95(3):980-5.

63. Kim JY, Hickner RC, Cortright RL, Dohm GL, Houmard JA. Lipid oxidation is reduced in obese human skeletal muscle. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2000;279(5):E1039-44.

64. Jequier E, Acheson K, Schutz Y. Assessment of energy expenditure and fuel utilization in man. Annual review of nutrition. 1987;7:187-208.

65. Peronnet F, Massicotte D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. Canadian journal of sport sciences = Journal canadien des sciences du sport. 1991;16(1):23-9.

66. A V, A K, R. AH. fat oxidation rate during and after three exercise intensities in non athlete young men. World Applied Sciences Journal. 2011;15(9):1260-6.

67. Carper MJ, Richmond SR, Whitman SA, Acree LS, Godard MP. muscle glycogen restoration in females and males following moderate intensity cycling exercise in differing ambient temperatures Journal of Exercise Physiology online. 2013;16(4):1-18.

68. Wendt D, van Loon LJ, Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. Sports medicine (Auckland, NZ). 2007;37(8):669-82.

69. Jeukendrup AE. Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. Biochemical Society transactions. 2003;31(Pt 6):1270-3.

70. Wakabayashi H, Wijayanto T, Lee JY, Hashiguchi N, Saat M, Tochihara Y. Comparison of heat dissipation response between Malaysian and Japanese males during exercise in humid heat stress. International journal of biometeorology. 2011;55(4):509-17.

71. Saat M, Tochihara Y, Hashiguchi N, Sirisinghe RG, Fujita M, Chou CM. Effects of Exercise in the Heat on Thermoregulation of Japanese and Malaysian Males. Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science. 2005;24(4):267-75.

72. Steinberg D, Nestel PJ, Buskirk ER, Thompson RH. Calorigenic dffect of norepinephrine correlated with plasma free fatty acid turnover and oxidation. The Journal of clinical investigation. 1964;43:167-76.

73. Barret KE, Boitano S, Barman S, Brooks H. Ganong's Review of Medical Physiology. 23 ed2010. 715 p.

74. Neufer PD, Sawka MN, Young AJ, Quigley MD, Latzka WA, Levine L. Hypohydration does not impair skeletal muscle glycogen resynthesis after exercise. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1991;70(4):1490-4.

75. Wagner JA, Horvath SM. Influences of age and gender on human thermoregulatory responses to cold exposures. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1985;58(1):180-6.

76. Febbraio MA, Snow RJ, Stathis CG, Hargreaves M, Carey MF. Effect of heat stress on muscle energy metabolism during exercise. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 1994;77(6):2827-31.

77. Febbraio MA, Carey MF, Snow RJ, Stathis CG, Hargreaves M. Influence of elevated muscle temperature on metabolism during intense, dynamic exercise. The American journal of physiology. 1996;271(5 Pt 2):R1251-5.

78. Casey A, Mann R, Banister K, Fox J, Morris PG, Macdonald IA, et al. Effect of carbohydrate ingestion on glycogen resynthesis in human liver and skeletal muscle, measured by (13)C MRS. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. 2000;278(1):E65-75.

79. McGarry JD, Mannaerts GP, Foster DW. A possible role for malonyl-CoA in the regulation of hepatic fatty acid oxidation and ketogenesis. The Journal of clinical investigation. 1977;60(1):265-70.

80. Edwards RHT, Harris RC, Hultman E, Kaijser L, Koh D, Nordesjö LO. Effect of temperature on muscle energy metabolism and endurance during successive isometric contractions, sustained to fatigue, of the quadriceps muscle in man. The Journal of physiology. 1972;220(2):335-52.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง

(Screening Questionnaire)

ตอนที่ 1 เกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

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

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ

โปรดตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่าง (ถ้ามี)

1.) ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี โปรดระบุ

.....

2.) ท่านมีประวัติการเจ็บป่วยจากความร้อนหรือไม่ (เช่น เป็นลมแดด, Heat stroke เป็นต้น)

☐ ไม่มี ☐ มี โปรดระบุ

.....

3.) ภายในระยะเวลา 1 เดือนที่ผ่านมา ท่านมีประวัติการบาดเจ็บที่ข้อต่อหรือกล้ามเนื้อที่เป็นอุปสรรคต่อการเดินหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี โปรดระบุ

.....

4.) ท่านเคยเดินบนลู่วิ่งสายพานหรือไม่

☐ ไม่เคย ☐ เคย

5.) ท่านออกกำลังกายชนิดใด

☐ เดิน ☐ วิ่ง ☐ ว่ายน้ำ ☐ ปั่นจักรยาน

☐ อื่นๆ .....

6.) ท่านออกกำลังกายกี่ครั้งต่อสัปดาห์

☐ ≤ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ☐ ≥ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ☐ ไม่ออกกำลังกายเลย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.) ถ้าท่านออกกำลังกาย ท่านออกกำลังกายเป็นระยะเวลาเท่าไหร่ต่อครั้ง

☐ < 10 นาที ☐ ≥ 10 นาที

8.) ใน 1 เดือนที่ผ่านมา ท่านได้เดินทางไปประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นเกินกว่า 7 วันหรือไม่

☐ ไม่ ☐ ใช่

9.) ท่านใช้ชีวิตประจำวันในที่อากาศร้อนกี่ชั่วโมงต่อวัน (โดยประมาณ)

..... ชั่วโมง

10.)ปัจจุบันท่านเป็นโรคต่อมไทรอยด์หรือไม่

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

11.)ปัจจุบันท่านเป็นโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดหรือไม่

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

12.)ปัจจุบันท่านเป็นโรคความดันโลหิตสูงหรือไม่

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

13.)ปัจจุบันท่านเป็นโรคเบาหวานหรือไม่ ตรวจมานานแล้วกี่ปี

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

14.)ปัจจุบันประจำเดือนของท่านมาสม่ำเสมอทุกเดือนหรือไม่

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

วันแรกของประจำเดือนครั้งล่าสุด .....

15.)ปัจจุบันท่านฉีดยาคุมกำเนิดหรือไม่

☐ ไม่ฉีด ☐ ฉีด ระบุชื่อยาคุมกำเนิด.....

16.)ปัจจุบันท่านรับประทานยาและอาหารเสริมหรือไม่

☐ ไม่ใช่ ☐ ใช่ โปรดระบุ (ชื่อยาหรืออาหารเสริม)

.....

Exercise Report

Participant Number_____Date_____Time _____Age _____BMI_____

Height_____ Weight_____Resting HR_____ Resting BP_____

Condition_____45 - 50% HRR _____

Time	Speed (km/h)	Grade (%)	HR (bpm)	RPE	Room Temp (°C)	RH (%)
0:00						
2:00						
4:00						
6:00						
8:00						
10:00						
12:00						
14:00						
16:00						
18:00						
20:00						
22:00						
24:00						
26:00						
28:00						
30:00						

Maximum HR during exercise _____

Post – exercise HR_____

Post – exercise BP_____

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Exercise Report for Screening

Participant Number_____Date_____Time _____Age _____BMI____

Height_____ Weight_____Resting HR_____ Resting BP_____

45 - 50% HRR _____

Time	Speed (km/h)	Grade (%)	HR (bpm)	RPE
0:00				
2:00				
4:00				
6:00				
8:00				
10:00				

☐ สามารถเดินได้ตามความเร็วที่กำหนด

☐ ไม่สามารถเดินได้ตามความเร็วที่กำหนด เพราะ .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบบันทึกค่าขณะพัก

Participant Number_____Date_____Time _____Age _____BMI____

Height_____ Weight_____Resting HR_____Resting BP_____Condition____

Time	HR (bpm)	Blood Pressure (mmHg)	Thermal Sensation	Room Temp (°C)	RH (%)	Skin temp (°C)
0:00						
2:00						
4:00						
6:00						
8:00						
10:00						
12:00						
14:00						
16:00						
18:00						
20:00						
22:00						
24:00						
26:00						
28:00						
30:00						
32:00						
34:00						
36:00						
38:00						
40:00						
42:00						
44:00						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

46:00						
48:00						
50:00						
52:00						
54:00						
56:00						
58:00						
60:00						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบฟอร์มบันทึกการคัดกรอง

(Screening form)

Participant Number_____Date_____

Age _____BMI_____Height_____Weight_____

- Resting HR_____ bpm
- Resting BP_____ mmHg
- Resting EKG result

  ☐ Normal ☐ Abnormal Heart rate variability .....

- DTX _____ mg%
- Triglyceride _____mg/dL

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการคัดกรอง

☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน

ใบบันทึกผลการเก็บตัวอย่างเลือด

(Blood sample form)

Participant Number_____Date_____Time _____

Age _____BMI_____Height_____ Weight_____Condition_____

_____

เวลา/สารที่ตรวจ	**Plasma free fatty acid (mmol/l)**	**Blood glucose (mg%)**
Baseline		
นาทีที่ 0		
นาทีที่ 20		
นาทีที่ 40		
นาทีที่ 60		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รับสมัครผู้เข้าร่วมงานวิจัย

1. เพศหญิง อายุระหว่าง 18 – 35 ปี
2. มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) มากกว่าหรือเท่ากับ 30 กิโลกรัม/ตารางเมตร โดยสามารถคำนวณได้จาก
    a. น้ำหนัก (กิโลกรัม) / ส่วนสูง^2 (เมตร)
3. สามารถเดินบนลู่วิ่งสายพานได้
4. จะมีการนัดมา 2 ครั้ง โดยมีขั้นตอนการทำวิจัย ดังนี้
    a. เดินออกกำลังกายระดับปานกลางบนลู่วิ่ง 30 นาที
    b. นั่งพักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมกับวัดการเผาผลาญไขมัน
    c. โดยการทดสอบแต่ละครั้งจะเว้นระยะห่างกัน 5 – 7 วัน
    d. มีการเจาะเลือดด้วยการคาเข็มไว้บริเวณหลังมือข้างที่ไม่ถนัด โดยพยาบาลวิชาชีพชำนาญการ
5. อาสาสมัครจะมาทำวิจัยเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีค่าชดเชย ค่าเสียเวลา ค่าเดินทาง ครั้งละ 1000 บาท และในแต่ละครั้งจะมีอาหารให้รับประทานก่อนและหลังการทดสอบ
6. ข้อมูลของอาสาสมัครทุกคนจะถูกเก็บเป็นความลับ <u>เว้นแต่</u>การเผยแพร่ผลการวิจัยเท่านั้น ซึ่งการเผยแพร่จะ<u>ไม่มี</u> การระบุเป็นรายบุคคล
7. ทำการทดสอบที่ ห้องปฏิบัติการเวชศาสตร์การกีฬา ชั้น 4 อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพระราม4 แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

ติดต่อเข้าร่วมโครงการ 087 – 111 – 9989 ฐิติชญา

หรือ http://facebook.com/thitichaya.soythong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	AF 10-05/4.0 **เอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย**

การวิจัยเรื่อง ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของไขมันภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วน

วันให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ข้าพเจ้า นาง/นางสาว.....

ที่อยู่.....

ได้อ่านรายละเอียดจากเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยวิจัยที่แนบมาฉบับวันที่ ..... และข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยโดยสมัครใจ

ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ลงนามและ วันที่ พร้อมด้วยเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ทั้งนี้ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระยะเวลาของการทำวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย และแนวทางรักษาโดยวิธีอื่นอย่างละเอียด ข้าพเจ้ามีเวลาและโอกาสเพียงพอในการซักถามข้อสงสัยจนมีความเข้าใจอย่างดีแล้ว โดยผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่าง ๆ ด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ารับทราบจากผู้วิจัยว่าหากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกเข้าร่วมในโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผลและการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคหรือสิทธิอื่น ๆ ที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะเมื่อได้รับการยินยอมจากข้าพเจ้าเท่านั้น บุคคลอื่นในนามของบริษัทผู้สนับสนุนการวิจัย คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนอาจได้รับอนุญาตให้เข้ามาตรวจและประมวลข้อมูลของข้าพเจ้า ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้น โดยการตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษานี้ข้าพเจ้าได้ให้คำยินยอมที่จะให้มีการตรวจสอบข้อมูลประวัติทางการแพทย์ของข้าพเจ้าได้

ผู้วิจัยรับรองว่าจะไม่มีการเก็บข้อมูลใด ๆ เพิ่มเติม หลังจากที่ข้าพเจ้าขอยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัยและต้องการให้ทำลายเอกสารและ/หรือ ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมดที่สามารถสืบค้นถึงตัวข้าพเจ้าได้

ข้าพเจ้าเข้าใจว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าและสามารถยกเลิกการให้สิทธิในการใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าได้ โดยต้องแจ้งให้ผู้วิจัยรับทราบ

ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าข้อมูลในการวิจัยรวมถึงข้อมูลทางการแพทย์ของข้าพเจ้าที่ไม่มีการเปิดเผยชื่อ จะผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกและในคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการรายงานข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการ รวมทั้งการใช้ข้อมูลทางการแพทย์ในอนาคตหรือการวิจัยทางด้านเภสัชภัณฑ์ เท่านั้น

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการแล้ว ยินดีเข้าร่วมในการวิจัยด้วยความเต็มใจ จึงได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมนี้

.....ลงนามผู้ให้ความยินยอม

(.....) ชื่อผู้ยินยอมตัวบรรจง

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ..... .....

การจัดการกับตัวอย่างทางชีวภาพ

☐ไม่มีตัวอย่างชีวภาพ

☑ มีแต่ไม่มีการขอเก็บ

☐ มีและขอเก็บตัวอย่างชีวภาพที่เหลือไว้เพื่อการวิจัยในอนาคต

ข้าพเจ้า ☐ ยินยอม

☐ ไม่ยินยอม

ให้เก็บตัวอย่างชีวภาพที่เหลือไว้เพื่อการวิจัยในอนาคต

.....ลงนามผู้ให้ความยินยอม

(.....) ชื่อผู้ยินยอมตัวบรรจง

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้าพเจ้าได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการไม่พึงประสงค์ หรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย หรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย อย่างละเอียด ให้ผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยตามนามข้างต้นได้ทราบและมีความเข้าใจดีแล้ว พร้อมลงนามลงในเอกสารแสดงความยินยอมด้วยความเต็มใจ

.....ลงนามผู้ทำวิจัย

(.....) ชื่อผู้ทำวิจัย ตัวบรรจง

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

.....ลงนามพยาน

(.....) ชื่อพยาน ตัวบรรจง

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ..... .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คณะแพทยศาสตร์ **จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**	**AF 10-04/4.0** **เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย** **(Information sheet for research participant)**

ชื่อโครงการวิจัย ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของไขมันภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วน

ผู้สนับสนุนการวิจัย อยู่ระหว่างเตรียมการขอทุน

<u>ผู้ทำวิจัย</u>

ชื่อ นางสาว ฐิติชญา สร้อยทอง

ที่อยู่ อาคาร แพทยพัฒน์ ชั้น4 คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

เบอร์โทรศัพท์ 087 – 111 – 9989

<u>แพทย์ผู้ร่วมในโครงการวิจัย</u>

ชื่อ รองศาสตราจารย์ ดร. แพทย์หญิง อรอนงค์ กุละพัฒน์

ที่อยู่ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

เบอร์โทรศัพท์ 089 – 641 – 0331

ชื่อ รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล

ที่อยู่ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

เบอร์โทรศัพท์ 081 – 492 – 3552

ชื่อ นายแพทย์ ธนวินทร์ สุขสิริวรบุตร

ที่อยู่ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

เบอร์โทรศัพท์ 084 – 680 – 9882

เรียน ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เนื่องจากท่านเป็นคนอ้วนเพศหญิง อายุระหว่าง 18 – 35 ปี ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการศึกษาวิจัยดังกล่าว ขอให้ท่านอ่านเอกสารฉบับนี้อย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียดของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เพิ่มเติม กรุณาซักถามจากทีมงานของแพทย์ผู้ทำวิจัย หรือแพทย์ผู้ร่วมทำวิจัยซึ่งจะเป็นผู้สามารถตอบคำถามและให้ความกระจ่างแก่ท่านได้

ท่านสามารถขอคำแนะนำในการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จากครอบครัว เพื่อน หรือแพทย์ประจำตัวของท่านได้ ท่านมีเวลาอย่างเพียงพอในการตัดสินใจโดยอิสระ ถ้าท่านตัดสินใจแล้วว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้

<u>เหตุผลความเป็นมา</u>

ปัจจุบันภาวะอ้วนเป็นสาเหตุของความเสี่ยงที่จะเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจและหลอดเลือด ดังนั้นการลดความอ้วนจึงมีความสำคัญต่อสุขภาพอย่างยิ่ง แม้จะมีวิธีการลดน้ำหนักหลายวิธีแต่ การออกกำลังกายซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับสูงสำหรับการลดความอ้วนและควบคุมน้ำหนัก

การนำไขมันสะสมไปใช้เป็นพลังงานเป็นเหตุผลหนึ่งที่การออกกำลังกายสามารถลดน้ำหนักได้ เนื่องด้วยระยะเวลาในการออกกำลังกายที่สั้นกว่าระยะเวลาพักหลังออกกำลังกาย ดังนั้น การเพิ่มการนำไขมันไปใช้หลังการออกกำลังกายจึงมีความสำคัญ โดยมีการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกล้ามเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้น แสดงถึง การใช้ไขมันภายหลังการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

อย่างไรก็ตามยังมีหลายการศึกษาที่รายงานผลเกี่ยวกับการใช้ไขมันภายหลังการออกกำลังกายในอุณหภูมิต่างๆแตกต่างกันไป เนื่องจากการศึกษาในส่วนใหญ่ทำการศึกษาในประเทศเขตหนาว ทำให้มีผลของการปรับตัวต่อสภาพอากาศร้อนที่ไม่เหมือนกัน จึงทำให้ไม่สามารถนำผลที่ได้มาปรับใช้ในคนที่อยู่ในประเทศเขตร้อนได้ ประกอบกับการศึกษาในคนอ้วนเพศหญิงเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิแวดล้อมภายหลังการออกกำลังกายมีค่อนข้างน้อย ในขณะที่เพศหญิงมีความชุกของภาวะอ้วนอยู่มาก จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะ

ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิแวดล้อมภายหลังการออกกำลังกาย เพื่อเป็นแนวทางในการพักภายหลังการออกกำลังกาย มีการใช้ไขมันขณะพักสูงขึ้นและเป็นประโยชน์ต่อการลดความอ้วนต่อไป

<u>วัตถุประสงค์ของการศึกษา</u>

วัตถุประสงค์หลักจากการศึกษาในครั้งนี้คือ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแวดล้อมในขณะพักภายหลังเสร็จสิ้นจากการออกกำลังกาย ต่อการใช้ไขมัน (การออกซิเดชันของไขมัน หรือ fat oxidation) ในหญิงอ้วน

<u>วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย</u>

หลังจากท่านให้ความยินยอมที่จะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะขอให้ท่านกรอกแบบสอบถามเพื่อคัดกรอง ซึ่งได้แก่ คำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ประวัติสุขภาพในอดีตและปัจจุบัน ว่าท่านมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะเข้าร่วมในงานวิจัยนี้หรือไม่ และท่านจะได้รับการตรวจร่างกายอย่างละเอียด ได้แก่ วัดองค์ประกอบของร่างกายเพื่อประเมินสัดส่วนไขมันในร่างกาย ความดันโลหิต คลื่นไฟฟ้าหัวใจ เจาะตรวจน้ำตาลในเลือด เจาะเลือดเพื่อตรวจไขมันในเลือด โดยแพทย์หรือพยาบาล หากท่านมีคุณสมบัติเบื้องต้นที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้า ในขั้นตอนถัดไปท่านจะได้รับการอธิบายอย่างละเอียดเกี่ยวกับวิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ พร้อมทั้งทำความคุ้นเคยกับลู่วิ่งสายพาน โดยตลอดระยะเวลาที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัยท่านจะมาพบผู้วิจัยหรือผู้ร่วมทำวิจัยทั้งสิ้น 3 ครั้ง โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยมีจำนวนทั้งสิ้น 25 คน

<u>ครั้งที่ 1 เพื่อตรวจคัดกรอง</u>

1. งดรับประทานอาหารหลัง 2 ทุ่ม แต่สามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามปกติ เพื่อเข้ารับการตรวจร่างกายเบื้องต้น
2. เมื่อท่านมาถึงห้องปฏิบัติการจะให้ท่านนั่งพัก และตอบแบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง แล้วเริ่มวัดค่าต่างๆ ดังนี้
    a. วัดความดันโลหิต
    b. วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจและอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก
    c. เจาะเลือดเพื่อหาไตรกลีเซอไรด์และน้ำตาลในเลือด ปริมาณ 4 ซีซี (4/5 ช้อนชา หรือน้อยกว่าหนึ่งช้อนชาเล็กน้อย)

    ใช้เวลาทั้งสิ้น 30 นาที
2. ให้ท่านทำความคุ้นเคยกับลู่วิ่งสายพานและทำการเดินด้วยความเร็วตามความหนักที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นเวลา 10 นาที
3. เปิดโอกาสให้ท่านซักถามข้อสงสัยต่างๆ พร้อมทั้งรับอาหารที่ต้องรับประทานก่อนวันทดสอบจริงและอาหารที่เตรียมให้ ท่านจะไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ทั้งสิ้น

<u>ครั้งที่ 2 และ 3 ทดสอบการใช้ไขมันเป็นพลังงานจากการออกกำลังกาย</u>

1. ท่านจะต้องรับประทานอาหารที่ผู้วิจัยให้ก่อนหน้ามาทำการทดสอบ 1 วัน โดยที่ไม่รับประทานอย่างอื่นนอกเหนือจากที่ผู้วิจัยให้ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ความผันแปรจากอาหารที่รับประทานที่แตกต่างกันมารบกวนผลการวิจัย
2. ในวันทดสอบจริง เมื่อท่านมาถึงห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 24 - 25 องศาเซลเซียส และได้นั่งพักเป็นเวลา 10 นาที เพื่อวัดความดันโลหิต
3. แล้วจะเริ่มวัดค่าพื้นฐาน คือ ระดับกรดไขมันอิสระในพลาสมา และน้ำตาลในเลือด โดยการเจาะเก็บตัวอย่างเลือดท่านปริมาณ 3 ซีซี (3/5 ช้อนชา หรือมากกว่าครึ่งช้อนชาเล็กน้อย) จากหลอดเลือดดำบริเวณหลังมือ โดยมีการคาเข็มไว้ตลอดการทดสอบ และวัดอุณหภูมิทางผิวหนังบริเวณรักแร้ตลอดจนสิ้นสุดการทำวิจัยในวันนั้น
4. ให้ท่านออกกำลังกายที่ความหนัก 45 – 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองสูงสุด ในที่อุณหภูมิ 24 - 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และ ณ เวลาสิ้นสุดการออกกำลังกาย จะมีการเจาะเก็บตัวอย่างระดับกรดไขมันอิสระในพลาสมาและระดับน้ำตาลในเลือด
5. ให้ท่านนั่งพักในอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทำทั้งหมด 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 5 – 7 วัน ตามอุณหภูมิที่กำหนดโดยการสุ่ม ดังนี้
    a. อุณหภูมิร้อน (31 – 32 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5%)
    b. อุณหภูมิปกติ (24 - 25 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5%)
6. เจาะเลือดเก็บตัวอย่างระดับกรดไขมันอิสระในพลาสมาและระดับน้ำตาลในเลือด หลังออกกำลังกาย นาทีที่ 0, 20, 40 และ 60 โดยการเจาะเลือดแต่ละครั้งจะเจาะครั้งละ 3 ซีซี (3/5 ช้อนชาหรือมากกว่าครึ่งช้อนชาเล็กน้อย)
7. การเจาะเลือดในการมาพบครั้งที่ 2 และ 3 จะเก็บตัวอย่างเลือด 15 ซีซี (3 ช้อนชา) ต่อครั้ง รวม 2 ครั้ง 30 ซีซี (6 ช้อนชา)
8. ท่านจะสามารถหยุดพัก 5 – 7 วัน และกลับมาทดสอบอีกครั้งโดยจะนั่งพักในอุณหภูมิที่ต่างออกไปทุกครั้ง จนครบทั้งหมด 2 ครั้ง

<u>รายละเอียดการรับอาหารที่เตรียมไว้ให้อาสาสมัคร</u>

1. อาสาสมัครแต่ละท่านจะได้รับอาหาร 2 ชุดที่เหมือนกัน
    a. อาหารชุดที่ 1 ท่านจะได้รับในวันที่ท่านมารับการตรวจคัดกรอง ซึ่งจะให้กับท่านที่ผ่านเกณฑ์การคัดกรองเท่านั้น
    b. อาหารชุดที่ 2 ท่านจะได้รับในวันที่มาพบตามนัดครั้งที่ 2

ความรับผิดชอบของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ ผู้ทำวิจัยใคร่ขอความความร่วมมือจากท่าน โดยจะขอให้ท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัยอย่างเคร่งครัด รวมทั้งแจ้งอาการผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับท่านระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัยให้ผู้ทำวิจัยได้รับทราบ ผู้วิจัยจะรับผิดชอบค่ารักษาพยาบาลที่เกิดขึ้นทั้งหมดหากมีเหตุการณ์ฉุกเฉินหรือได้รับอันตรายที่เกิดจากการเข้าร่วมโครงการ

ความเสี่ยงที่อาจได้รับ

1. ความเสี่ยงจากการเดินบนลู่วิ่งสายพาน ท่านอาจมีการบาดเจ็บจากการพลัดตกหรือหกล้มบนลู่วิ่งสายพาน ซึ่งผู้วิจัยจะอธิบายขั้นตอนการใช้งานอย่างละเอียด พร้อมทั้งมีแพทย์และเจ้าหน้าที่คอยดูแลอย่างใกล้ชิด หากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินจะมีการปฐมพยาบาลเบื้องต้นอย่างถูกต้อง

2. ความเสี่ยงจากการออกกำลังกาย ท่านอาจมีอาการไม่พึงประสงค์ เช่น หน้ามืด วิงเวียน เป็นลม ใจสั่น เป็นต้น ทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจคัดกรองตามที่ระบุไว้ในเกณฑ์การคัดออกอย่างชัดเจน เพื่อป้องกันอาการไม่พึงประสงค์ดังกล่าว

3. ความเสี่ยงที่เกิดจากอากาศร้อน ท่านอาจมีอาการไม่พึงประสงค์ เช่น หน้ามืด วิงเวียน เป็นลม ใจสั่น เป็นต้น ซึ่งทางผู้วิจัยได้มีข้อกำหนดในการหยุดการทดสอบอย่างชัดเจน และมีเจ้าหน้าที่ดูแลอย่างใกล้ชิดขณะผู้วิจัยนั่งพักในที่ร้อน

4. ท่านอาจรู้สึกหิวเนื่องจากอดอาหารก่อนมาออกกำลังกายและมีการพักอีก 1 ชั่วโมง ภายหลังเสร็จสิ้นการออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะจัดเตรียมอาหารให้ท่านรับประทานอีก 1 มื้อ ก่อนอนุญาตให้ท่านออกจากห้องปฏิบัติการ

กรุณาแจ้งผู้ทำวิจัยในกรณีที่พบอาการดังกล่าวข้างต้น หรืออาการอื่น ๆ ที่พบร่วมด้วยระหว่างที่อยู่ในโครงการวิจัย ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสุขภาพของท่าน ขอให้ท่านรายงานให้ผู้ทำวิจัยทราบโดยเร็ว

เสี่ยงที่ได้รับจากการเจาะเลือด

ท่านมีโอกาสที่จะเกิดอาการเจ็บ เลือดออก ช้ำจากการเจาะเลือด อาการบวมบริเวณที่เจาะเลือดหรือหน้ามืด และโอกาสที่จะเกิดการติดเชื้อบริเวณที่เจาะเลือดพบได้น้อยมาก

ความเสี่ยงที่ไม่ทราบแน่นอน

ท่านอาจเกิดอาการข้างเคียง หรือความไม่สบาย นอกเหนือจากที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้ ซึ่งอาการข้างเคียงเหล่านี้เป็นอาการที่ไม่เคยพบมาก่อน เพื่อความปลอดภัยของท่าน ควรแจ้งผู้ทำวิจัยให้ทราบทันทีเมื่อเกิดความผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น

หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจได้รับจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านสามารถสอบถามจากผู้ทำวิจัยได้ตลอดเวลา

หากมีการค้นพบข้อมูลใหม่ ๆ ที่อาจมีผลต่อความปลอดภัยของท่านในระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัย ผู้ทำวิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบทันที เพื่อให้ท่านตัดสินใจว่าจะอยู่ในโครงการวิจัยต่อไป หรือจะขอถอนตัวออกจากการวิจัย

การจัดเก็บตัวอย่างทางชีวภาพ

เลือดและพลาสมาที่เหลือจากการวิเคราะห์ผลจะไม่มีการจัดเก็บ จะถูกนำไปทำลายตามมาตรฐาน

การพบแพทย์นอกตารางนัดหมายในกรณีที่เกิดอาการข้างเคียง

หากมีอาการข้างเคียงใด ๆ เกิดขึ้นกับท่าน ขอให้ท่านรีบมาพบแพทย์ที่สถานพยาบาลทันที ถึงแม้ว่าจะอยู่นอกตารางการนัดหมาย เพื่อแพทย์จะได้ประเมินอาการข้างเคียงของท่าน และให้การรักษาที่เหมาะสมทันที หากอาการดังกล่าวเป็นผลจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะไม่เสียค่าใช้จ่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประโยชน์ที่อาจได้รับ

ท่านอาจจะไม่ได้รับประโยชน์ใดๆจากการเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ แต่ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลและแนวทางในการปฏิบัติตัวภายหลังการออกกำลังกาย เพื่อเพิ่มการเผาผลาญไขมันในคนอ้วนที่อาศัยอยู่ใน

ประเทศเขตร้อนที่มีการปรับตัวต่อสภาพอากาศร้อน และเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตถึง อุณหภูมิในการพัก ที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดในประชากรกลุ่มอื่นต่อไป

<u>ข้อปฏิบัติของท่านขณะที่ร่วมในโครงการวิจัย</u>

ขอให้ท่านปฏิบัติดังนี้

- ขอให้ท่านให้ข้อมูลทางการแพทย์ของท่านทั้งในอดีต และปัจจุบัน แก่ผู้ทำวิจัยด้วยความสัตย์จริง
- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างที่ท่านร่วมในโครงการวิจัย
- งดอาหารเป็นเวลา 8 ชั่วโมงก่อนการออกกำลังกายในตอนเช้า แต่สามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามปกติ
- งดอาหารเสริมทุกชนิด ยกเว้นที่มีหลักฐานว่าไม่มีคุณสมบัติในการเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน ก่อนการทดสอบ
- งดอาหารที่มีสัดส่วนของไขมันสูง (มากกว่า 1 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน) อย่างน้อย 3 วันก่อนการทดสอบ เช่น น้ำหนักตัว 80 กิโลกรัม รับประทานไขมันได้ไม่เกิน 80 กรัมต่อวัน (ท่านจะได้รับคำแนะนำเรื่องวิธีปฏิบัติและชนิดอาหารที่ควรหลีกเลี่ยงอีกครั้งหนึ่ง)
- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะต้องรับประทานอาหารที่จัดเตรียมไว้ให้ 3 มื้อก่อนการทดสอบ
    - มื้อเช้า ข้าวมันไก่
    - มื้อกลางวัน เส้นใหญ่ผัดซีอิ๊ว + นมถั่วเหลือง 1 กล่อง
    - อาหารว่างระหว่างมื้อ แอปเปิ้ล 1 ผล
    - มื้อเย็น ข้าวผัดกุ้งใส่ไข่ + นมรสจืด 1 กล่อง
    - อาหารหลังจากออกกำลังกาย ข้าวกะเพราหมู
- งดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์อย่างน้อย 48 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
- งดเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน เช่น กาแฟ ชาต่างๆ เป็นต้น อย่างน้อย 6 – 8 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
- งดกิจกรรมหรือการออกกำลังกายอย่างหนัก อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบเพื่อรักษาระดับการเผาผลาญของร่างกายให้คงที่

- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องไม่ผ่านการบริจาคเลือดอย่างน้อย 1 เดือนก่อนการทดสอบ
- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเตรียมรองเท้าผ้าใบ ถุงเท้า เสื้อผ้าที่เหมาะสมกับการออกกำลังกายมาเองทุกครั้ง เพื่อสุขอนามัยที่ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัยและความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัย</u>

หากพบอันตรายที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ท่านจะได้รับการรักษาอย่างเหมาะสมทันที และท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของทีมผู้ทำวิจัยแล้ว ผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัยยินดีจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของท่าน และการลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี

ในกรณีที่ท่านได้รับอันตรายใด ๆ หรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ท่านสามารถ
ติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ นางสาวฐิติชญา สร้อยทอง ที่เบอร์ 087 – 111 – 9989 ได้ตลอด 24 ชั่วโมง

<u>ค่าใช้จ่ายของท่านในการเข้าร่วมการวิจัย</u>

ท่านไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย เช่น ค่าวิเคราะห์ผลเลือดทางห้องปฏิบัติการ ค่าตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ค่าอาหาร ผู้วิจัยจะเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายทั้งหมดให้ท่าน

<u>ค่าตอบแทนสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี)</u>

ท่านจะไม่ได้รับเงินค่าตอบแทนจากการเข้าร่วมในการวิจัย แต่ท่านจะได้รับค่าเดินทางและเงินชดเชยการสูญเสียรายได้ หรือความไม่สะดวก ไม่สบาย ในการมาเข้าร่วมการวิจัย ครั้งแรก 400 บาท และอีกสองครั้งถัดมา ครั้งละ 800 บาท โดยอาสาสมัครที่ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดกรองจะมีค่าชดเชยการเดินทางให้ท่านละ 400 บาท

<u>เข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมโครงการวิจัย</u>

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจ หากท่านไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการศึกษาแล้ว ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา การขอถอนตัวออกจากโครงการวิจัยจะไม่มีผลต่อการดูแลรักษาโรคของท่านแต่อย่างใด

ผู้ทำวิจัยอาจถอนท่านออกจากการเข้าร่วมการวิจัย เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัยของท่าน หรือเมื่อผู้สนับสนุนการวิจัยยุติการดำเนินงานวิจัย หรือ ในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่านไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย
- ท่านใช้ยาที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในการศึกษา

<u>การปกป้องรักษาข้อมูลความลับของอาสาสมัคร</u>

ข้อมูลที่อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่ผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำโครงการวิจัยของท่าน

จากการลงนามยินยอมของท่านผู้ทำวิจัย และผู้สนับสนุนการวิจัยสามารถเข้าไปตรวจสอบบันทึกข้อมูลทางการแพทย์ของท่านได้แม้จะสิ้นสุดโครงการวิจัยแล้วก็ตาม หากท่านต้องการยกเลิกการให้สิทธิ์ดังกล่าว ท่านสามารถแจ้ง หรือเขียนบันทึกขอยกเลิกการให้คำยินยอม โดยส่งไปที่ นางสาว ฐิติชญา สร้อยทอง สาขาเวชศาสตร์การกีฬา อาคาร แพทยพัฒน์ ชั้น 4 คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

หากท่านขอยกเลิกการให้คำยินยอมหลังจากที่ท่านได้เข้าร่วมโครงการวิจัยแล้ว ข้อมูลส่วนตัวของท่านจะไม่ถูกบันทึกเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามข้อมูลอื่น ๆ ของท่านอาจถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลการวิจัย และท่านจะไม่สามารถกลับมาเข้าร่วมในโครงการนี้ได้อีก ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลของท่านที่จำเป็นสำหรับใช้เพื่อการวิจัยไม่ได้ถูกบันทึก

จากการลงนามยินยอมของท่านแพทย์ผู้ทำวิจัยสามารถบอกรายละเอียดของท่านที่เกี่ยวกับการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ให้แก่แพทย์ผู้รักษาท่านได้

<u>สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย</u>

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิ์ดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับระเบียบวิธีการของการวิจัยทางการแพทย์ รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านอาจจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
6. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการโดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น
7. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่
8. ท่านมีสิทธิ์ในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้ โดยปราศจากการใช้อิทธิพลบังคับข่มขู่ หรือการหลอกลวง

หากท่านไม่ได้รับการชดเชยอันควรต่อการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการวิจัย หรือท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามที่ปรากฏในเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในการวิจัย ท่านสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตึกอานันทมหิดลชั้น 3 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 0-2256-4493 ในเวลาราชการ

ขอขอบคุณในการร่วมมือของท่านมา ณ ที่นี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โครงการวิจัยฉบับย่อ

(Protocol Synopsis)

1. ชื่อโครงการ (Title,ภาษาไทย)

- ผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการออกซิเดชันของไขมันภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับปานกลางในหญิงอ้วน

2. ชื่อผู้วิจัยหลัก (Principal Investigator)

- นางสาว ฐิติชญา สร้อยทอง รหัสประจำตัว 567 40288 30

นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเวชศาสตร์การกีฬา ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. สถานที่ทำวิจัย และ Address (Study centers & Address)

- ห้องปฏิบัติการเวชศาสตร์การกีฬา ชั้น 4 อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ระยะเวลาที่ทำการวิจัย (study period)

- 12 เดือน

5. คำถามวิจัย/วัตถุประสงค์ (Objectives) :

- คำถามหลัก/วัตถุประสงค์หลัก (primary objective): ในหญิงอ้วนการออกซิเดชันของไขมันขณะพักในที่อากาศร้อนภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลางที่อุณหภูมิปกติ ต่างจากขณะพักในที่อุณหภูมิปกติหรือไม่ อย่างไร
- คำถามรอง/วัตถุประสงค์รอง (secondary objective): กรดไขมันอิสระในพลาสมามีความสัมพันธ์กันหรือไม่เพียงไรกับอัตราการออกซิเดชันของไขมันขณะพักภายหลังการออกกำลังกายระดับปานกลางในที่อากาศร้อนและที่อุณหภูมิปกติ

6. รูปแบบการวิจัย (study design)

- การวิจัยเชิงทดลองในมนุษย์แบบไขว้ (Human experimental study with cross over design)

7. ประชากรที่ศึกษาและขนาดตัวอย่างเฉพาะที่คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Study population and Sample size at Faculty of Medicine, Chulalongkorn University)

- ประชากรเป้าหมาย (target population): หญิงมีภาวะอ้วน อายุระหว่าง 18 – 35 ปี

- ขนาดตัวอย่าง (sample size): 25 คน

8. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้วิจัย ขนาดที่ใช้และวิธีการบริหาร (Investigational product, dosage & route of administration)

- เครื่องวิเคราะห์ก๊าซผ่านทางลมหายใจ (Gas analyzer) เครื่องหมายการค้า Jaeger รุ่น Oxycon mobile จากประเทศเยอรมัน

9. สารหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบ ขนาด และวิธีการบริหาร (Comparator, dosage & mode of administration)

- ชุดทดสอบหาปริมาณของกรดไขมันอิสระในเลือด (Free Fatty Acid Quantification Kit) เครื่องหมายการค้า Abcam บริษัท Biomed Diagnostics จำกัด (มหาชน)

10. ระยะเวลาที่อาสาสมัครแต่ละคนต้องอยู่ในโครงการ (Duration of participation for each volunteer)

- 1 สัปดาห์

11. ตัวแปรต่อผลลัพธ์ (Outcome variables)

- primary: Fat oxidation
- secondary: Plasma free fatty acid

12. สถิติที่ใช้วิเคราะห์ (Statistical method)

- Repeated measure analysis of variance (ANOVA)

13. ข้อพิจารณาด้านจริยธรรม

<u>หลักการเคารพในบุคคล (Respect for person)</u>

1. อาสาสมัครทุกคนจะได้รับคำชี้แจง และข้อมูลอย่างครบถ้วนเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ จนอาสาสมัครเข้าใจเป็นอย่างดี ก่อนการลงนามยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย
2. อาสาสมัครทุกคนมีสิทธิ์ในการตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยได้โดยอิสระ และสามารถขอถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกเมื่อ ไม่ว่าด้วยเหตุผลใดๆ ก็ตาม
3. อาสาสมัครทุกคนมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยจนอาสาสมัครเข้าใจเป็นอย่างดี
4. ข้อมูลส่วนตัวของอาสาสมัครทุกคนจะเป็นความลับ โดยไม่มีการระบุข้อมูลส่วนบุคคลลงในแบบบันทึก หรือแบบสอบถามใดๆ นอกจากรหัสประจำตัวที่ผู้วิจัยใช้แทนตัวอาสาสมัครในงานวิจัยนี้เท่านั้น แต่อาจถูกเปิดเผยต่อสาธารณะ เพื่อประโยชน์ทางวิชาการ โดยไม่ระบุข้อมูลส่วนตัวของอาสาสมัคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หลักผลประโยชน์ (Beneficence)

1. อาสาสมัครทุกคนได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยง และความไม่สบายที่อาจจะได้รับจากการวิจัย
2. อาสาสมัครทุกคนจะได้รับการคัดกรองต่างๆ เพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในขณะทำการวิจัยและมีการวัดอุณหภูมิทางผิวหนังเพื่อป้องกันการเกิดการบาดเจ็บจากอากาศร้อน
3. การวิจัยจะกระทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อลดความเสี่ยงจากการได้รับบาดเจ็บ อาสาสมัครทุกคนจะได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดโดยผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยตลอดการทดสอบ และมีอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้นพร้อมใช้งาน เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น
4. เจาะเลือดโดยคาสายสวนไว้ที่หลอดเลือดดำหลังมือ เพื่อลดความเจ็บปวดจากการเจาะหลายครั้ง และลดความเสี่ยงของการติดเชื้อและเป็นจ้ำเขียวจากการเจาะเลือดโดยใช้อุปกรณ์ปลอดเชื้อและเจาะโดยพยาบาลหรือแพทย์ผู้ชำนาญ

หลักยุติธรรม (Justice)

1. ไม่มีอคติในการรับอาสาสมัคร อาสาสมัครจะถูกคัดเลือกด้วยเกณฑ์การคัดเข้าและคัดออกอย่างชัดเจน และทำการทดสอบทั้งสองสภาวะอุณหภูมิเท่าเทียมกันทุกคน

14. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. คัดเลือกอาสาสมัครตามเกณฑ์คัดเข้า อธิบายจุดประสงค์ของการวิจัยให้อาสาสมัครทราบอย่างละเอียด พร้อมตอบคำถามทุกกรณีอย่างชัดเจน และขอความยินยอมจากอาสาสมัคร
2. หลังจากอาสาสมัครให้ความยินยอมที่จะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะขอให้ท่านกรอกแบบสอบถามเพื่อคัดกรอง
3. อาสาสมัครจะถูกขอร้องให้ปฏิบัติตามข้อตกลงในการปฏิบัติตน พร้อมทั้งรับอาหารเพื่อรับประทานก่อน 1 วันที่จะเข้ารับการทดสอบ
4. เมื่ออาสาสมัครมาถึงห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 24 - 25 ºC และได้นอนพักเป็นเวลา 30 นาที เพื่อวัดความดันโลหิต คลื่นไฟฟ้าหัวใจ อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และระดับน้ำตาลในเลือด
5. แล้วจะเริ่มวัดค่า Baseline คือ ระดับ plasma free fatty acid โดยการเจาะเก็บตัวอย่างเลือดอาสาสมัครปริมาณ 3 cc. จากหลอดเลือดดำบริเวณหลังมือ โดยมีการคาเข็มไว้ตลอดการทดสอบ และวัดอุณหภูมิทางผิวหนังบริเวณรักแร้ตลอดจนสิ้นสุดการทำวิจัยในวันนั้น

6. ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกกำลังกายที่ความหนัก 45 – 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองสูงสุด ในที่อุณหภูมิ 24 - 25 ºC เป็นเวลา 30 นาที และ ณ เวลาสิ้นสุดการออกกำลังกาย จะมีการเจาะเก็บตัวอย่างระดับ plasma free fatty acid และระดับน้ำตาลในเลือด
7. ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยนั่งพักในอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยทำทั้งหมด 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 5 – 7 วัน ตามอุณหภูมิที่กำหนดโดยการสุ่ม ดังนี้
    7.1 อุณหภูมิร้อน (31 - 32 ºC, RH 75±5%)
    7.2 อุณหภูมิปกติ (24 - 25 ºC, RH 75±5%)
8. เจาะเก็บตัวอย่างระดับ plasma free fatty acid และระดับน้ำตาลในเลือด ในนาทีที่ 0, 20, 40 และ 60
9. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยหยุดพัก 5 – 7 วัน และกลับมาทดสอบอีกครั้งโดยจะนั่งพักในอุณหภูมิที่ต่างออกไปทุกครั้ง จนครบทั้งหมด 2 ครั้ง
10. ข้อกำหนดในการหยุดการทดสอบออกกำลังกายและการพักในที่ร้อนในการศึกษาครั้งนี้
    1) ผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกกำลังกายได้ครบตามเวลาที่กำหนดในการทดสอบออกกำลังกาย
    2) มีอาการผิดปกติทางด้านร่างกาย เช่น หน้ามืด วิงเวียนศีรษะ เจ็บแน่นหน้าอก สีของผิวหนังซีดจาง
    ผิดไปจากปกติ เจ็บข้อเข่า ข้อเท้าจนทนไม่ไหว มีอาการเจ็บปวดที่กล้ามเนื้อจนเดินต่อไม่ไหว
    3) ผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่สามารถควบคุมการเดินในความเร็วที่กำหนดให้ได้
    4) ค่าความเหนื่อยในขณะออกกำลังกาย (RPE) ถึง 17 (6 – 20 scale)
    5) อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบขัดข้องขณะทำการทดสอบ
    6) อุณหภูมิบริเวณผิวหนังที่สูงถึง 38 ºC
    7) ผู้เข้าร่วมงานวิจัยขอหยุดการทดสอบ

หมายเหตุ

1. เขียนโครงการวิจัยฉบับย่อเป็นภาษาไทย
2. ความยาวโครงการฉบับย่อไม่ควรเกิน 3 หน้ากระดาษ ขนาด A4 .
3. ระบุ version และเลขที่หน้า ของเอกสารด้วย

Script สอบถามและแนะนำอาสาสมัคร

สอบถามเพื่อคัดกรองทางโทรศัพท์และอธิบาย process ของงานวิจัย

สอบถามชื่อ..... นามสกุล..... น้ำหนัก ส่วนสูงพอสังเขป และสอบถามเป็นข้อๆ ตามแบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง และคุณ.....จะถูกเจาะเลือดบริเวณข้อพับแขน และจะคา catheter บริเวณข้อพับแขน อาสาสมัครกลัวเข็มหรือไม่

งานวิจัยนี้จะเกี่ยวกับการใช้ไขมันขณะออกกำลังกายที่ระดับปานกลาง โดยจะใส่หน้ากากวัดก๊าซจากลมหายใจทั้งในขณะออกกำลังกายและขณะนั่งพัก จะมีการเจาะเลือดทั้งหมด 5 ครั้งที่บริเวณข้อพับแขน และมีอาหารให้รับประทานในวันก่อนหน้าที่จะมาทดสอบจริงทั้งหมด 3 มื้อ แล้วจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัยอย่างละเอียดพร้อมทั้งวิธีการปฏิบัติให้ในวันที่เข้ามาทำการเจาะเลือดคัดกรอง และงดการบริจาคเลือดเป็นเวลาอย่างน้อย 1 เดือนก่อนการทดสอบ หากมีอยากสอบถามเพิ่มเติมสามารถโทรมาถามได้ที่เบอร์ 087-1119989

การให้คำแนะนำอาสาสมัครก่อนวันทดสอบ

- ให้คุณ.....โทรหรือไลน์มาบอกว่าประจำเดือนวันแรกของครั้งล่าสุดมาวันที่เท่าไหร่
- ให้คุณ.....งดอาหารอย่างน้อย 8 ชั่วโมง เช่น รับประทานข้าวไม่เกิน 3 ทุ่ม แล้วมาพบกัน 8 โมงเช้า แต่สามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามปกติ
- ให้งดชา กาแฟหรือเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีนก่อน 1 วัน
- งดดื่มน้ำหวาน น้ำอัดลม 1 วันก่อนการทดสอบ เพราะให้รับประทานอาหารเฉพาะที่เตรียมให้ แต่ดื่มน้ำเปล่าได้ตามปกติ
- ให้รับประทานอาหารตามที่ให้ไป และรับประทานให้หมด เวลาเดิม เช่น ข้าวเช้ารับประทาน 9 โมง ครั้งต่อไปก็ให้รับประทาน 9 โมงเหมือนเดิม
- งดออกกำลังกายหรือทำกิจกรรมหนักๆ อย่างน้อย 2 วันก่อนมาทดสอบจริง
- งดดื่มแอลกอฮอล์อย่างน้อย 48 ชั่วโมง
- งดรับประทานอาหารไขมันสูง เช่น บุฟเฟ่ต์หมู/เนื้อย่างติดมัน อาหารทะเล อาหารมันๆ เนื้อสัตว์ติดมันเยอะๆ ข้าวมันไก่ ข้าวขาหมู เป็นต้น

- ให้เตรียมรองเท้าผ้าใบ และเสื้อผ้าที่ใช้ใส่ออกกำลังกายมาด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

รายละเอียดเกี่ยวกับผู้วิจัย

ชื่อผู้วิจัยหลัก

ภาษาไทย นางสาว ฐิติชญา สร้อยทอง ตำแหน่งทางวิชาการ ไม่มี

ภาษาอังกฤษ Ms. Thitichaya Soythong

หลักสูตรเวชศาสตร์การกีฬา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 087-111-9989

ที่อยู่ปัจจุบัน 406/714 คอนโดยูดีไลท์แอทอ่อนนุชสเตชัน ถ.อ่อนนุช แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กทม 10250

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถาบันการศึกษา และประเทศ
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)	2556	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย

ผลงานวิจัยในอดีต (ในระยะเวลา 2 ปี)

ยังไม่มีผลงานวิจัย เนื่องจากกำลังศึกษาอยู่ในระดับปริญญามหาบัณฑิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University