การศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางต่อการตอบสนองของระบบหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วน

น.ส.อรนรี เชาว์นะรัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A comparative study of the effect of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on ventilatory responses in obesity

Miss Onnaree Chownarang

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Sports Medicine
FACULTY OF MEDICINE
Chulalongkorn University
Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางต่อการตอบสนองของระบบหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วน
โดย	น.ส.อรนรี เชาว์นะรัง
สาขาวิชา	เวชศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.แพทย์หญิงอรอนงค์ กุละพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์(พิเศษ) แพทย์หญิงวรวรรณ ศิริชนะ

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีคณะแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉันชาย สิทธิพันธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์(พิเศษ) แพทย์หญิงวรวรรณ ศิริชนะ)

---------- กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์สมพล สงวนรังศิริกุล)

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อรนรี เชาว์นะรัง : การศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางต่อการตอบสนองของระบบหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วน . (A comparative study of the effect of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on ventilatory responses in obesity) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.พญ.อรอนงค์ กุละพัฒน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.(พิเศษ) พญ.วรวรรณ ศิริชนะ

เพื่อศึกษาการตอบสนองของระบบหายใจต่อการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (HIIE) และความหนักระดับปานกลาง (MICE) ในผู้ที่มีภาวะอ้วน โดยอาสาสมัครจะได้รับการทดสอบออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบข้างต้น คือปั่นจักรยานที่ความหนักสูง 90% peak power output (PPO) 1 นาทีสลับกับความหนักเบา 15% PPO 1 นาที เป็นระยะเวลา 20 นาที (HIIE) และปั่นจักรยานที่ความหนักปานกลาง 50% PPO เป็นระยะเวลา 20 นาที (MICE) วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจก่อนและหลังออกกำลังกายและวัดการตอบสนองของระบบหายใจขณะออกกำลังกาย ผลการศึกษาในอาสาสมัคร 27 ราย พบว่าค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจเข้า (MIP) และออก (MEP) มีค่าลดลงหลังออกกำลังกาย ($p < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ค่า VO_2 ของ HIIE ช่วง high intensity มีค่ามากกว่า MICE ($p<0.01$) ค่า VCO_2 ของ HIIE ตลอดการออกกำลังกาย 20 นาทีมีค่ามากกว่า MICE อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่า VE มีแนวโน้มสูงขึ้นขณะออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ โดยใน HIIE มีค่ามากกว่า MICE ($p<0.001$) และมีความแตกต่างกันหลังเสร็จสิ้นการ cool down ($p<0.05$) ไม่พบความแตกต่างกันของค่า IC ขณะพักและหลังเสร็จสิ้นการ cool down ในการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ แต่เมื่อเทียบภายในกลุ่มพบว่าค่า IC หลังเสร็จสิ้นการ cool down มีค่าสูงกว่าค่าขณะพักอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าการออกกำลังกายทั้งสองแบบส่งผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ ทำให้ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจลดลงหลังออกกำลังกาย และการออกกำลังกายแบบ HIIE มี respiratory demand มากกว่าการออกกำลังกายแบบ MICE

สาขาวิชา เวชศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2565 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

6174034330 : MAJOR SPORTS MEDICINE

KEYWORD: High-intensity interval exercise, Moderate-intensity continuous exercise, Obesity, Ventilatory response, Respiratory muscle strength, Pulmonary function, Inspiratory capacity, End-expiratory lung volume, Maximal inspiratory pressure, Maximal expiratory pressure, Blood lactate

Onnaree Chownarang : A comparative study of the effect of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on ventilatory responses in obesity. Advisor: Assoc. Prof. ONANONG KULAPUTANA, M.D.,Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. WORAWAN SIRICHANA, M.D.,MSc.

The purpose of this study was to compare the effect of high-intensity interval exercise (HIIE) and moderate-intensity continuous exercise (MICE) on ventilatory responses in obese subjects. Each participant was tested for both 20-minute exercises which consisted of HIIE (10×1-min at 90% PPO with 1-min active recovery at 15% PPO) and MICE (50% PPO). Respiratory muscle strength was assessed before and after exercise. Ventilatory responses were measured during 20-minute exercises. The results from 27 participants showed that after HIIE and MICE, maximal inspiratory and expiratory pressure were significantly reduced ($p < 0.05$ for both exercises). VO_2 in high-intensity stages of HIIE was significantly higher than MICE ($p<0.01$). VCO_2 throughout 20 minutes of HIIE was higher than MICE ($p<0.05$). VE tended to increase during both exercises and was significantly higher in HIIE ($p<0.001$). Inspiratory capacity (IC) measured after cooldown was higher than IC at rest within each exercise but there was no difference in IC between the two exercises when compared at rest and after cooldown. In conclusion, both HIIE and MICE affect respiratory muscle strength as reflected by the decreased MIP and MEP after exercises. Moreover, HIIE has a higher respiratory demand during exercise than MICE.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Sports Medicine	Student's Signature .....
Academic Year:	2022	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.พญ.อรอนงค์ กุละพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.(พิเศษ) พญ.วรวรรณ ศิริชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่สละเวลาให้คำปรึกษาและคำแนะนำช่วยเหลือตลอดจนดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาอุปสรรคที่พบในงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ รศ.นพ.พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.บวรลักษณ์ ทองทวี กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำปรึกษาแก้ไขปรับปรุงและให้ข้อคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ระหว่างดำเนินการวิจัยและระหว่างการแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณ อ.นพ.วีรภัทร โฆษิตานุฤทธิ์ และ อ.พญ.ณัฐวรรณ สงวนวงษ์ ที่ช่วยทดสอบคัดกรองอาสาสมัคร ขอขอบคุณทีมเจ้าหน้าที่แลปหน่วยโรคปอด โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์สภากาชาดไทย ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลอาสาสมัครวิจัย ขอขอบคุณ คุณพงศ์ธนา โรจนรัตนางกูร ผู้ช่วยวิจัยที่ช่วยเก็บข้อมูลให้งานผ่านพ้นไปอย่างราบรื่น ขอขอบคุณ คุณวสันต์ ปัญญาแสง ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในการเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณนุชนาถ พรชัย เจ้าหน้าที่ธุรการหลักสูตรเวชศาสตร์การกีฬา ที่ให้การช่วยเหลือในขั้นตอนการทำเอกสารต่างๆ และขอขอบคุณ คุณกิตติกร สีหาบุตร เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ด้านการเดินและการเคลื่อนไหว ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณทุนรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (GA64/24) ในการอุดหนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณอาสาสมัครทุกท่านที่เสียสละเวลาและแรงกายมาเข้าร่วมงานวิจัย ซึ่งงานวิจัยจะไม่สามารถสำเร็จได้หากขาดบุคคลเหล่านี้ ขอขอบคุณเพื่อน พี่และน้องเวชศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือสำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดีตั้งแต่แรกจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ทั้งทางด้านวิชาการและการดำเนินชีวิต บิดามารดาและญาติพี่น้องที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา ซึ่งผู้วิจัยรู้ซึ้งในความกรุณาของทุกท่าน จึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

อรนรี เชาว์นะรัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญคำย่อ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (background and rationale) 1

1.2 คำถามงานวิจัย (research question) 3

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย (objective) 3

1.4 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย (conceptual framework) 3

1.5 สมมติฐานงานวิจัย (research hypothesis) 4

1.6 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.7 คำสำคัญ (keywords) 4

1.8 คำนิยามเชิงปฏิบัติที่จะใช้ในการวิจัย (operational definition) 5

1.9 ข้อพิจารณาทางจริยธรรม (ethical consideration) 5

1.10 ข้อจำกัดในงานวิจัย (limitation) 6

1.11 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย (expected benefits and application) 6

1.12 อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัยและมาตรการในการแก้ไข (obstacle and strategies to solve the problem) 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 ลักษณะการกระจายตัวของไขมัน (fat distribution) 7
2.2 ระบบหายใจ (respiratory system) 8
2.3 การออกกำลังกายและการตอบสนองระบบหายใจในคนอ้วน 10
2.4 ปริมาตรอากาศที่เหลือค้างในปอดขณะออกกำลังกาย (end-expiratory lung volume; EELV) 13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 15
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 15
3.2 เกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าในการศึกษา (Inclusion criteria) 15
3.3 เกณฑ์ในการคัดออกจากการศึกษา (Exclusion criteria) 15
3.4 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง 17
3.5 การคำนวณขนาดตัวอย่าง 17
3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 19
3.7 วิธีการดำเนินงานวิจัย 20
3.8 แผนภูมิการทดลอง 22
3.9 การเตรียมตัวของอาสาสมัคร 22
3.10 การวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ (respiratory muscle strength; RMS) 23
3.11 การวัด pulmonary parameters ขณะพัก 25
3.12 การวัด Pulmonary parameters ขณะออกกำลังกาย 26
3.13 การทดสอบออกกำลังกายเพื่อการคัดกรอง 27
3.14 การทดสอบการออกกำลังกาย 29
3.15 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis) 33
3.16 Data processing 33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 คุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร 35
4.2 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ.....36
4.3 ผลการตอบสนองของระบบหายใจขณะออกกำลังกาย 37
4.4 เปรียบเทียบค่า VO_2, VCO_2, VE และ workload ขณะออกกำลังกายเป็นเวลา 20 นาที.....44
4.5 ค่า blood lactate หลังออกกำลังกาย 44
4.6 ระดับอาการหอบเหนื่อย (RPB) และระดับความเมื่อยของขา (RPE) ขณะออกกำลังกาย 2 รูปแบบ 46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....48
อภิปรายผลการวิจัย 48
5.1 ผลของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจกับการออกกำลังกายในคนอ้วน.....48
5.2 การตอบสนองของระบบหายใจกับการออกกำลังกายในคนอ้วน 50
5.3 Blood lactate กับการออกกำลังกายในคนอ้วน 51
สรุปผลการวิจัย 51
ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ.....52
บรรณานุกรม 53
ภาคผนวก 59
ประวัติผู้เขียน 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงระดับความหอบเหนื่อยและความเมื่อยของขา.....31

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) คุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร 27 คน แบ่งเป็นเพศหญิง 13 คน เพศชาย 14 คน.....35

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจก่อนและหลังออกกำลังกาย 36

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจระหว่างการออกกำลังกายแบบ HIIE และ MICE 36

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของแรงดันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออก ($PETCO_2$) ขณะพักและหลัง cooldown 43

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของพื้นที่ใต้กราฟ.....44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 รูปแบบการกระจายตัวของไขมัน 7

ภาพที่ 2 แสดงปริมาตรและความจุปอด 9

ภาพที่ 3 แสดงการ calibrate อุปกรณ์วัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ 23

ภาพที่ 4 อุปกรณ์วัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ 24

ภาพที่ 5 แสดงการทดสอบ cardiopulmonary exercise testing 27

ภาพที่ 6 ตำแหน่งการติด EKG electrode 10 จุด 28

ภาพที่ 7 แสดงการทดสอบออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับเบา (HIIE) 29

ภาพที่ 8 แสดงการทดสอบออกกำลังกายความหนักระดับปานกลาง (MICE) 30

ภาพที่ 9 อุปกรณ์วัด blood lactate 32

ภาพที่ 10 Consort flow diagram 34

ภาพที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ VO_2 ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที 38

ภาพที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ VCO_2 ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที 38

ภาพที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ RR ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที 39

ภาพที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ VT ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที 40

ภาพที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ VE ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที 41

ภาพที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ IC ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที (n=23) 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ $PETCO_2$ ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที 43

ภาพที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ blood lactate ที่เจาะใน HIIE นาทีที่ 19 และ HIIE นาทีที่ 20 (n=20) 45

ภาพที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ blood lactate ที่เจาะหลังสิ้นสุดการออกกำลังกายทั้งสองแบบ (n=27) 45

ภาพที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ RPB ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที 47

ภาพที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ RPE ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญคำย่อ

คำย่อ	คำเต็ม	ความหมาย
BIA	Bioelectrical impedance analysis	การวิเคราะห์องค์ประกอบร่างกายด้วยกระแสไฟฟ้า
BMI	Body mass index	ดัชนีมวลกาย
BP	Blood pressure	ความดันโลหิต
CPET	Cardiopulmonary exercise testing	การทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอด
DBP	Diastolic blood pressure	ความดันเลือดต่ำสุดขณะหัวใจห้องล่างคลายตัว
EELV	End-expiratory lung volume	ปริมาตรอากาศค้างปอด
EKG	Electrocardiogram	การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
ERV	Expiratory reserve volume	ปริมาตรอากาศที่หายใจออกได้อีกจนเต็มที่ต่อจากการหายใจออกปกติ
FBS	Fasting blood sugar	ระดับน้ำตาลในเลือดหลังงดอาหาร 8 ชั่วโมง
FEV_1	Forced expiratory volume in one second	ปริมาตรอากาศที่ถูกขับออกในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่
FRC	Functional residual capacity	ปริมาตรอากาศที่เหลือในปอดหลังการหายใจออกปกติ
FVC	Forced vital capacity	ปริมาตรอากาศสูงสุดที่หายใจเข้าและออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่
HIIE	High-intensity interval exercise	การออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับเบา
HR	Heart rate	อัตราการเต้นหัวใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

IC	Inspiratory capacity	ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าจนเต็มที่หลังการหายใจออกปกติ
IRV	Inspiratory reserve volume	ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าได้อีกจนเต็มที่ต่อจากการหายใจเข้าปกติ
MICE	Moderate-intensity continuous exercise	การออกกำลังกายความหนักระดับปานกลาง
MIP	Maximal inspiratory pressure	แรงดันสูงสุดของการหายใจเข้า
MEP	Maximal expiratory pressure	แรงดันสูงสุดของการหายใจออก
MVV	Maximal voluntary ventilation	ปริมาตรอากาศจากการหายใจเข้าออกเต็มที่ในเวลา 1 นาที
PPO	Peak power output	กำลังที่ทำได้สูงสุด
RER	Respiratory exchange ratio	อัตราส่วนการใช้ออกซิเจนต่อการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากลมหายใจ
$PETCO_2$	Partial pressure of end-tidal carbon dioxide	แรงดันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออก
RMS	Respiratory muscle strength	ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ
RPB	Rating of perceived breathless	ระดับความหอบเหนื่อย
RPE	Rating of perceived exertion	ระดับความเมื่อยของขา
RR	Respiratory rate	อัตราการหายใจ
RV	Residual volume	ปริมาตรอากาศที่เหลือค้างในปอดหลังการหายใจออกอย่างแรงเต็มที่
SBP	Systolic blood pressure	ความดันเลือดสูงสุดขณะหัวใจห้องล่างบีบตัว
SpO_2	Oxygen saturation	ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด
TLC	Total lung capacity	ความจุปอดรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

VC	Vital capacity	ปริมาตรอากาศหายใจออกเต็มที่หลังการหายใจเข้าเต็มที่
VCO_2	Carbon dioxide output	ปริมาณการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์
VE	Minute ventilation	ปริมาตรอากาศที่ใช้หายใจใน 1 นาที
VO_2	Oxygen uptake	ปริมาณการใช้ออกซิเจน
VO_{2max}	Maximum oxygen uptake	อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด
VT	Tidal volume	ปริมาตรการหายใจปกติ
WHO	World Health Organization	องค์การอนามัยโลก
WHR	Waist to hip circumference ratio	อัตราส่วนเส้นรอบเอวต่อรอบสะโพก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (background and rationale)

ภาวะอ้วนเป็นปัญหาสุขภาพที่พบได้มากขึ้นในสังคมปัจจุบันทั้งในต่างประเทศและประเทศไทยเนื่องจากวิถีชีวิตที่เปลี่ยนไปจากรูปแบบของการทำงานและการคมนาคมในปัจจุบัน ขาดกิจกรรมทางกาย บริโภคอาหารที่มีไขมันและน้ำตาลสูงส่งผลให้มีผู้ที่น้ำหนักเกินและอ้วนมากขึ้น จากรายงานขององค์การอนามัยโลกพบว่า แนวโน้มของประชากรที่มีภาวะอ้วนเพิ่มขึ้นจาก 9 เปอร์เซ็นต์ในปีพ.ศ. 2543 เป็น 13 เปอร์เซ็นต์ในปี พ.ศ. 2559 โดยในปี พ.ศ. 2559 พบว่า ประชากรอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไปจำนวน 1.9 พันล้านคนเป็นผู้มีน้ำหนักเกิน โดย 650 ล้านคนในนั้นยังเป็นผู้ที่มีภาวะอ้วนอีกด้วย (1) สอดคล้องกับผลสำรวจของกระทรวงสาธารณสุขในแผนพัฒนาสุขภาพแห่งชาติปีพ.ศ. 2559 ที่พบว่าความชุกของประชากรไทยอายุ 15 ปีขึ้นไปที่มีภาวะอ้วนมี 37.5 เปอร์เซ็นต์ (คิดเป็นเพศชาย 32.9 เปอร์เซ็นต์และเพศหญิง 41.8 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการสำรวจครั้งที่ 4 เมื่อปีพ.ศ. 2552 ความชุกของการเกิดภาวะอ้วนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (2)

ภาวะอ้วนเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจและโรคหลอดเลือดสมอง โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน เกิดความผิดปกติของระบบเมเทบอลิซึม (1) นอกจากนั้นการสะสมของไขมันที่เพิ่มขึ้นจากภาวะอ้วนยังส่งผลกระทบต่อระบบหายใจ ทำให้กลศาสตร์การหายใจ สรีรวิทยาของการหายใจเปลี่ยนแปลงไป สมรรถภาพปอดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจลดลง (3) เกิดความผิดปกติของการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอด ความต้านทานของทางเดินหายใจส่วนบนเพิ่มขึ้น (4) เกิดการหายใจที่ผิดปกติขณะหลับ (Sleep disordered breathing) จนเป็นอันตรายถึงชีวิตได้จากการหยุดหายใจขณะหลับ (Obstructive sleep apnea) (4) หรือ เป็นโรคเกี่ยวกับปอดที่เกิดจากภาวะอ้วนได้ เช่น โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease; COPD) และดัชนีมวลกายที่มากขึ้นจะยิ่งทำให้ความเสี่ยงในการเป็นโรคหอบหืด (Asthma) เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย (5)

การเพิ่มกิจกรรมทางกายหรือการออกกำลังกายเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยควบคุมน้ำหนักได้ American College of Sports Medicine (ACSM) ได้แนะนำให้ผู้ที่มีน้ำหนักเกินหรือมีภาวะอ้วนออกกำลังกายแบบแอโรบิกความหนักระดับปานกลาง 40-59% Heart rate reserve (HRR) , Oxygen uptake reserve (VO_2R) เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีต่อวัน ให้ได้ระยะเวลาสะสม

อย่างน้อย 150 นาทีต่อสัปดาห์เพื่อลดน้ำหนัก หรือให้ได้ระยะเวลาสะสมอย่างน้อย 250-300 นาทีต่อสัปดาห์เพื่อควบคุมน้ำหนักที่ลดให้คงที่ (6) นอกจากนั้นการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (High intensity interval exercise ; HIIE) ยังเป็นการออกการกำลังกายอีกรูปแบบหนึ่งที่มีรายงานว่าช่วยควบคุมน้ำหนักได้ โดยเป็นการออกกำลังกายที่ประกอบไปด้วยช่วงเวลาฝึกที่เป็นชุด ใช้ความหนักระดับสูงสลับกับช่วงเวลาของการพัก ซึ่งช่วงเวลาในการพักจะใช้ความหนักที่เบากว่า มีผลการวิจัยที่สนับสนุนว่าเป็นการออกกำลังกายที่มีประสิทธิภาพ ช่วยลดมวลไขมันรวมและไขมันในช่องท้องได้ (7) ช่วยลดระยะเวลาในการออกกำลังกายได้ น่าจะเป็นการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับสภาพสังคมในปัจจุบันที่ผู้คนมีเวลาไม่เพียงพอในการทำกิจกรรมทางกายและการออกกำลังกาย (8)

Mehdi Chlif และคณะ (9) ได้ศึกษาการตอบสนองการหายใจขณะออกกำลังกายเพิ่มความหนักในผู้ที่มีภาวะอ้วนพบว่าในกลุ่มผู้ที่มีภาวะอ้วนระดับที่ 3 (BMI=53.4 ± 6.8 kg/m^2) มีการเพิ่มของปริมาตรอากาศที่ใช้หายใจใน 1 นาที (minute ventilation) น้อยที่สุดในขณะออกกำลังกายสูงสุด (peak exercise) และเมื่อออกกำลังกายเพิ่มระดับความหนักมากขึ้น คนอ้วนมีการเพิ่มปริมาตรอากาศค้างปอด (end-expiratory lung volume) มากกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่มีดัชนีมวลกายน้อยกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Gibson และคณะ (10) ที่พบว่าผู้ที่มีภาวะอ้วนมีโอกาสเกิดข้อจำกัดในการหายใจขณะออกกำลังกายได้มากกว่าเมื่อเทียบกับผู้ที่มีดัชนีมวลกายน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการทำงานของระบบหายใจเป็นหนึ่งข้อจำกัดที่ส่งผลต่อความสามารถในการออกกำลังกายในผู้ที่มีภาวะอ้วน

ในปัจจุบันแม้ว่าจะมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายต่อการตอบสนองของการหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วนหลายการศึกษา (11-16) แต่ยังขาดการศึกษาที่เปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายสองรูปแบบซึ่งกำลังเป็นที่สนใจ (7, 17-21) คือการออกกำลังกายความหนักปานกลางต่อเนื่องและการออกกำลังกายความหนักสูงสลับเบาต่อการตอบสนองของระบบหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วน อีกทั้งงานวิจัยที่ทำการศึกษาการออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับเบาในผู้ที่มีภาวะอ้วน มักมุ่งความสนใจศึกษาในด้านการเพิ่มสมรรถภาพของร่างกาย (22) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด (23) แต่ยังมีการศึกษาน้อยในด้านการทำงานของปอดในขณะออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับเบา ดังนั้นจุดประสงค์ของวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของระบบหายใจขณะออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับเบาและการออกกำลังกายความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 คำถามงานวิจัย (research question)

คำถามหลัก

การตอบสนองของปริมาตรอากาศค้างปอดในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาแตกต่างจากการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางหรือไม่อย่างไรในผู้ที่มีภาวะอ้วน

คำถามรอง

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจหลังการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาแตกต่างจากการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางหรือไม่อย่างไรในผู้ที่มีภาวะอ้วน

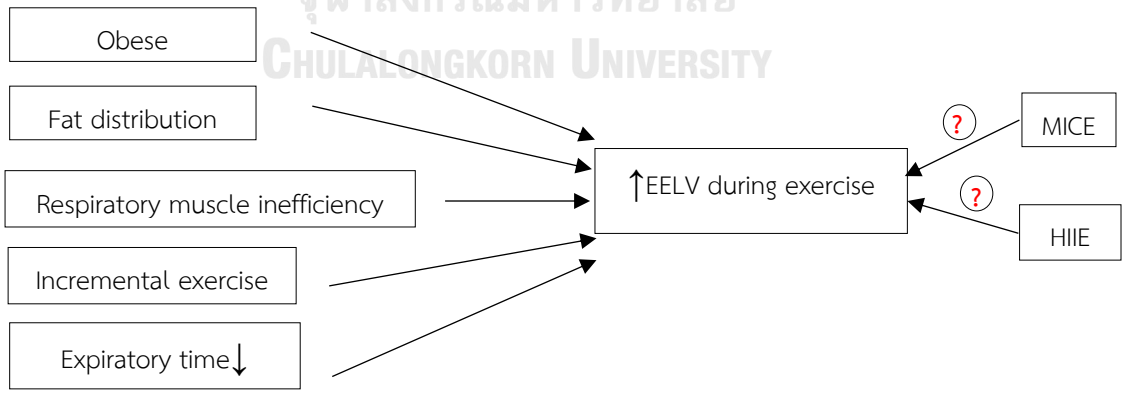
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย (objective)

1. เพื่อศึกษาการตอบสนองของปริมาตรอากาศค้างปอดต่อการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วน

2. เพื่อศึกษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจหลังการออกกำลังกายในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วน

1.4 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย (conceptual framework)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



หมายเหตุ HIIE : High intensity interval exercise, MICE : Moderate intensity continuous exercise, EELV : End-expiratory lung volume

1.5 สมมติฐานงานวิจัย (research hypothesis)

1. การตอบสนองของปริมาตรอากาศค้างปอดในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาแตกต่างจากการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วน

2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจหลังออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาแตกต่างจากการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วน

1.6 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในมนุษย์แบบไขว้ (human experimental study with cross over design) ในผู้ที่มีภาวะอ้วน ที่มีอายุระหว่าง 18 – 40 ปี ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำที่ยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรม คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย COA no. 0348/2022 เนื่องจากเป็นการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นมนุษย์ ดังนั้นผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับทราบถึงวัตถุประสงค์ของโครงการ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยและเปิดโอกาสให้อาสาสมัครได้ซักถามตามความต้องการก่อนที่อาสาสมัครลงนามยินยอมเข้าร่วมการศึกษาเป็นลายลักษณ์อักษร และสามารถยกเลิกการเข้าร่วมโครงการช่วงใดก็ได้ ไม่ว่าด้วยเหตุผลใดก็ตาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 คำสำคัญ (keywords)

High-intensity interval exercise

Moderate-intensity continuous exercise

Inspiratory capacity

End-expiratory lung volume

Respiratory muscle strength

Pulmonary function

Obesity

1.8 คำนิยามเชิงปฏิบัติที่จะใช้ในการวิจัย (operational definition)

1. High-intensity interval exercise หมายถึง การออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับกับความหนักเบา ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การปั่นจักรยานที่ความหนัก 90% peak power output เป็นระยะเวลา 1 นาทีสลับกับปั่นจักรยานที่ความหนัก 15% peak power output เป็นระยะเวลา 1 นาที ทำทั้งหมด 10 รอบ เป็นเวลา 20 นาที

2. Moderate-intensity continuous exercise หมายถึง การออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การปั่นจักรยานที่ความหนัก 50% peak power output เป็นระยะเวลา 20 นาที

3. Cardiopulmonary exercise testing หมายถึง การทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอด

4. Inspiratory capacity หมายถึง ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าจนเต็มที่หลังการหายใจออกปกติซึ่งเป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาตรอากาศค้างปอด (end-expiratory lung volume) โดยวัดจากปริมาตรอากาศที่อาสาสมัครสามารถสูดหายใจเข้าลึกเต็มที่ได้หลังจากการหายใจออกปกติ มีหน่วยเป็นลิตร (L)

5. Respiratory muscle strength หมายถึง ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจซึ่งแบ่งได้เป็นความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้าและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจออก โดยวัดจากค่าแรงดันสูงสุดที่สามารถหายใจเข้า (maximal inspiratory pressure; MIP) และค่าแรงดันสูงสุดที่สามารถหายใจออกได้ (maximal expiratory pressure; MEP) มีหน่วยเป็นเซนติเมตรน้ำ (cmH_2O)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.9 ข้อพิจารณาทางจริยธรรม (ethical consideration)

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรม คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย IRB เลขที่ 0348/2022 ซึ่งคำนึงถึงข้อพิจารณาทางจริยธรรมดังนี้

1. หลักความเคารพในบุคคล (respect for person) โดยการให้ข้อมูลอย่างครบถ้วนจนอาสาสมัครเข้าใจเป็นอย่างดีและตัดสินใจอย่างอิสระในการให้ความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย

2. หลักการให้ประโยชน์ ไม่ก่อให้เกิดอันตราย (beneficence/non-maleficence)

อาสาสมัครจะได้รับประโยชน์คือจะได้ทราบผลการตรวจคัดกรองระดับน้ำตาลในเลือด โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและได้รับความรู้ในการออกกำลังกาย อาสาสมัครจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่อาจจะได้รับจากการวิจัย ส่วนประเด็นเรื่องการรักษาความลับของอาสาสมัคร ข้อมูลส่วนตัวของอาสาสมัครทุกคนจะถูกเก็บเป็นความลับ ไม่ระบุข้อมูลส่วนบุคคลลงในแบบบันทึก และการตีพิมพ์ผลงานวิจัยจะเป็นการรายงานภาพรวมไม่มีการระบุตัวอาสาสมัคร

3. หลักความยุติธรรม (justice) คือมีเกณฑ์การคัดเข้าและออกชัดเจน มีการกระจายความเสี่ยงและผลประโยชน์อย่างเท่าเทียมกัน ไม่มีการเลือกปฏิบัติ

1.10 ข้อจำกัดในงานวิจัย (limitation)

การศึกษาในครั้งนี้ทำในผู้ที่มีภาวะอ้วนอายุ 18-40 ปี ที่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยและผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าผลที่ได้อาจจำเพาะต่อประชากรในกลุ่มตัวอย่าง

1.11 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย (expected benefits and application)

เพื่อให้ทราบถึงผลของการตอบสนองของระบบหายใจต่อการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาว่าแตกต่างจากการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วนหรือไม่ เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการป้องกันและลดความเสี่ยงในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาในผู้ที่มีภาวะอ้วนต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

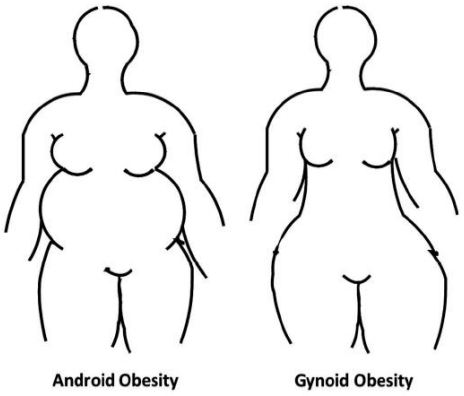
1.12 อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัยและมาตรการในการแก้ไข (obstacle and strategies to solve the problem)

อาสาสมัครอาจยังไม่คุ้นเคยกับการทดสอบชนิดต่างๆ ว่าจะต้องทำการทดสอบอย่างไร ดังนั้นจึงจะมีการอธิบายและสาธิตวิธีทำการทดสอบให้ผู้รับการทดสอบเข้าใจวิธีการและคุ้นเคยกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำสอบมากขึ้น

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะการกระจายตัวของไขมัน (fat distribution)

การกระจายตัวของไขมันมี 2 รูปแบบหลัก (4) คือ



ภาพที่ 1 รูปแบบการกระจายตัวของไขมัน

1) Central obesity (abdominal หรือ android) ลักษณะคือมีการสะสมของไขมันในช่องอก ช่องท้อง และในอวัยวะภายในต่างๆ รูปร่างของผู้ที่มีรูปแบบการกระจายตัวของไขมันแบบนี้จะคล้ายผลแอปเปิ้ล
2) Peripheral obesity (gynoid) ลักษณะคือมีการสะสมของไขมันที่สะโพก ต้นขา รยางค์ส่วนล่าง และใต้ชั้นผิวหนัง รูปร่างของผู้ที่มีรูปแบบการกระจายตัวของไขมันแบบนี้จะคล้ายลูกแพร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวัดการกระจายตัวของไขมันวัดโดยใช้อัตราส่วนเส้นรอบเอวต่อรอบสะโพก (waist to hip ratio: WHR) การมีอัตราส่วนเส้นรอบเอวต่อรอบสะโพกที่สูงบ่งบอกถึงการมีไขมันสะสมภายในช่องท้องที่สูงหรือมีลักษณะการสะสมไขมันแบบ android obesity (24) โดยผู้ที่มีการสะสมไขมันลักษณะนี้จะส่งผลกับ pulmonary mechanics มากกว่าผู้ที่มีการสะสมไขมันแบบ gynoid obesity (25) สอดคล้องกับการศึกษาของ Emel และคณะ (26) ที่ทำการศึกษา lung volume ในกลุ่มผู้ที่มีภาวะอ้วนและน้ำหนักเกิน พบว่าการการลดลงของ static lung volume มีความสัมพันธ์กับระดับความอ้วนในคนอ้วนทั้งเพศหญิงและเพศชาย โดยในเพศหญิงพบว่าการเพิ่มขึ้นของไขมันใต้ผิวหนังบริเวณ subscapular มีความสัมพันธ์กับการลดลงของ functional residual capacity อัตราส่วนรอบเอวต่อรอบสะโพกและค่าดัชนีมวลกายที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการลดลง expiratory reserve volume นอกจากนี้ในคนอ้วนเพศชายยังพบว่า อัตราส่วนเส้นรอบเอวต่อรอบสะโพกที่เพิ่มขึ้นมี

ความสัมพันธ์กับการลดลง forced vital capacity, total lung capacity และ functional residual capacity อีกด้วย แสดงให้เห็นว่าการสะสมของไขมันในช่องอกและช่องท้องส่งผลต่อ pulmonary function ทำให้ lung volume ลดลงได้

2.2 ระบบหายใจ (respiratory system)

<u>กลศาสตร์ของการหายใจ</u> (27)

กลศาสตร์ของการหายใจมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและความดัน

1) การหายใจเข้า-ออกปกติ

1.1 การหายใจเข้า : ช่องทรวงอกประกอบด้วยกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครง (intercostal muscle) และกล้ามเนื้อกะบังลม (diaphragm) เมื่อหายใจเข้าปริมาตรช่องทรวงอกจะเพิ่มขึ้นในแนวตั้ง (vertical dimension) ทางด้านหน้า-หลัง (front-to-back dimension) และทางด้านข้าง (side-to-side dimension) จากการหดตัวของกล้ามเนื้อกะบังลมที่เคลื่อนที่ลงและการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านนอก (external intercostal muscle) ความดันภายในปอดลดลงอากาศภายนอกไหลเข้ามาในปอด เกิดเป็นการหายใจเข้าซึ่งต้องอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อจึงถือเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงาน (active process)

1.2 การหายใจออก : เกิดเมื่อกล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านนอกคลายตัวทำให้ปริมาตรช่องทรวงอกลดลง ความดันภายในปอดเพิ่มขึ้นอากาศภายในปอดไหลออกสู่ภายนอก เกิดเป็นการหายใจออกซึ่งอาศัยแค่การคลายตัวของกล้ามเนื้อหายใจเข้าจึงถือเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้พลังงาน (passive process)

2) การหายใจออกแบบใช้พลังงาน

การหายใจออกแรงๆ (forced expiration) พบได้ในการหายใจขณะออกกำลังกาย หรือในผู้ป่วยที่ทางเดินอากาศตีบตัน จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อหน้าท้อง (abdominal muscles) และกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านใน (internal intercostal muscles) ในการช่วยหายใจออก จึงถือเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาตรและความจุปอด (27)

1) ปริมาตรของปอด แบ่งเป็น 4 ส่วน คือ

1.1 ปริมาตรหายใจปกติ (tidal volume: VT) คือ ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าหรือออกในการหายใจปกติ 1 ครั้ง มีค่าปกติประมาณ 500 มิลลิลิตร

1.2 ปริมาตรหายใจเข้าสำรอง (inspiratory reserve volume: IRV) คือ ปริมาตรอากาศที่สามารถหายใจเข้าได้อีกจนเต็มที่ต่อจากการหายใจเข้าตามปกติ มีค่าปกติระมาณ 3,000 มิลลิลิตร

1.3 ปริมาตรหายใจออกสำรอง (expiratory reserve volume: ERV) คือปริมาตรอากาศที่สามารถหายใจออกได้อีกจนเต็มที่ต่อจากการหายใจออกตามปกติ มีค่าปกติประมาณ 1,300 มิลลิลิตร

1.4 ปริมาตรตกค้าง (residual volume: RV) คือ ปริมาตรอากาศที่ยังเหลือค้างอยู่ในปอดหลังจากการหายใจออกอย่างแรงเต็มที่ มีค่าปกติประมาณ 1,200 มิลลิลิตร

2) ความจุของปอด แบ่งเป็น 4 ส่วน คือ

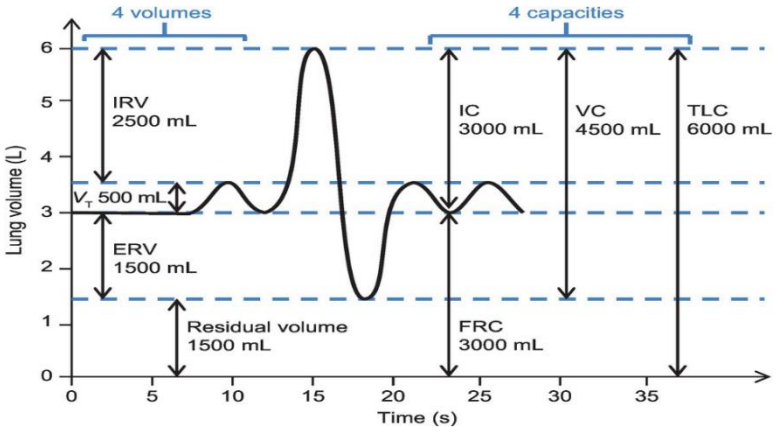
2.1 ความจุหายใจเข้า (inspiratory capacity: IC) คือ ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าไปได้จนเต็มที่หลังจากการหายใจออกตามปกติ เป็นผลรวมของ tidal volume และ inspiratory reserve volume

2.2 ความจุปอดตกค้าง (functional residual capacity: FRC) คือ ปริมาตรอากาศที่เหลืออยู่ในปอดหลังจากการหายใจออก

2.3 ความจุปอดปกติ (vital capacity: VC) คือ ปริมาตรอากาศที่หายใจออกเต็มที่หลังจากการหายใจเข้าเต็มที่ เป็นผลรวมของ inspiratory reserve volume, tidal volume และ expiratory reserve volume

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4 ความจุปอดรวม (total lung capacity: TLC) คือ ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ปอดจุได้ เป็นผลรวมของ vital capacity และ residual volume



ภาพที่ 2 แสดงปริมาตรและความจุปอด

ผู้ใหญ่ปกติจะมีอัตราการหายใจ (respiratory rate: RR) ประมาณ 12-15 ครั้งต่อนาที ผลคูณของอัตราการหายใจ (RR) และปริมาตรการหายใจปกติ (VT) คือปริมาตรที่หายใจเข้าหรือออกจากปอดได้ใน 1 นาที เรียกว่า ปริมาตรหายใจต่อนาทีหรืออัตราการระบายอากาศต่อนาที (minute ventilation: VE) มีค่าประมาณ 12 × 500 = 6,000 mL/min

สรีรวิทยาการหายใจของคนอ้วน

ภาวะอ้วนส่งผลต่อสรีรวิทยาการหายใจขณะพักหลายด้าน เช่น ลดความสามารถในการขยายปริมาตรของปอด (Lung distensibility) จากการสะสมของไขมันในร่างกาย ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจลดลงจากการที่กล้ามเนื้อหายใจต้องเอาชนะแรงต้านในการหายใจที่มากขึ้น โดยมีการศึกษาที่ยืนยันว่าผู้ที่มีภาวะอ้วนมีความเสี่ยงในการเกิดการล้าของกล้ามเนื้อหายใจขณะพักและขณะออกกำลังกายมากกว่ากลุ่มคนทั่วไป (28) งานที่ใช้ในการหายใจเพิ่มขึ้นจากการที่ความสามารถในการขยายปริมาตรของปอดและประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจลดลง ทำให้มีการใช้ออกซิเจนในการหายใจเพิ่มขึ้น มีการลดลงของปริมาตรอากาศที่เหลืออยู่ในปอดหลังหายใจออกปกติ (functional residual capacity; FRC) และปริมาตรอากาศที่หายใจออกได้อีกจนเต็มที่หลังการหายใจออกปกติ (expiratory reserve volume; ERV) โดยพบว่ายิ่งมีดัชนีมวลกายเพิ่มขึ้นค่า FRC และค่า ERV ยิ่งลดลงเร็วขึ้น (29) มีการเพิ่มขึ้นของความต้านทานทางเดินอากาศ (30) มีสัดส่วนของการระบายอากาศ เลือดที่มาถุงลมปอดสูงกว่าปกติ ทำให้มีปริมาตรอากาศที่ใช้หายใจใน 1 นาที (VE) มากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 การออกกำลังกายและการตอบสนองระบบหายใจในคนอ้วน

ผลของการออกกำลังกายต่อระบบการหายใจของคนอ้วน

การที่มีการสะสมของไขมันตามช่องอก ผนังหน้าท้อง และช่องท้องจากภาวะอ้วนนอกจากจะทำให้มีความเสี่ยงในการเป็นโรคต่างๆเพิ่มขึ้น เช่น หลอดเลือดหัวใจ ความดันโลหิตสูง โรคที่เกี่ยวกับความผิดปกติของระบบเผาผลาญ ทำให้สรีรวิทยาของการหายใจขณะพักเปลี่ยนแปลงไป ยังส่งผลกระทบถึงความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนและประสิทธิภาพการทำงานของปอดขณะออกกำลังกายอีกด้วย

Jing LI และคณะ (12) ได้ทำการศึกษาการใช้ออกซิเจนและการตอบสนองของระบบหายใจในคนอ้วนเพศหญิง 2 กลุ่มขณะที่ออกกำลังกายเพิ่มความหนัก โดยแบ่งเป็นกลุ่มคนอ้วนที่มี upper body fat distribution อัตราส่วนเส้นรอบเอวต่อสะโพก 0.89 ± 0.11 และกลุ่มคนอ้วนที่มี lower body fat distribution อัตราส่วนเส้นรอบเอวต่อสะโพก 0.77 ± 0.03 พบว่ากลุ่มคนอ้วนที่มี upper body fat distribution มีจุด anaerobic threshold ที่ต่ำกว่าอีกกลุ่ม มีการใช้ออกซิเจน (VO_2) และผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (VCO_2) รวมทั้งมี minute ventilation และอัตราการหายใจที่สูงกว่ากลุ่มคนอ้วนที่มี lower body fat distribution อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาของ Dror Ofir และคณะ (15) ที่พบว่าขณะออกกำลังกายเพิ่มความหนักคนอ้วนมีการเพิ่มของ minute ventilation โดยเป็นการเพิ่มอัตราการหายใจมากกว่าการเพิ่มปริมาตรการหายใจเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มคนที่น้ำหนักปกติ นอกจากนั้นพบว่าขณะเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายคนอ้วนจะมี inspiratory capacity (IC) ลดลง 0.39 ลิตรหรือ 16 เปอร์เซ็นต์จากขณะพัก ส่งผลให้ end-expiratory lung volume (EELV) เพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกาย มีอาการหอบเหนื่อยมากกว่ากลุ่มคนที่มีน้ำหนักปกติ

นอกจากนั้นจากการศึกษาการตอบสนองของระบบหายใจขณะออกกำลังกายในเด็กอ้วนของ Gibson และคณะ (10) พบว่าในกลุ่มเด็กอ้วนมีโอกาสเกิด expiratory flow limit ขณะออกกำลังกายจากการที่ EELV เพิ่มขึ้นจากขณะพัก (40.05 ± 8.51 vs 40.96 ± 9.45 %TLC) มากกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่น้ำหนักปกติที่มี EELV ลดลงจากขณะพัก (48.46 ± 6.46 vs 48.22 ± 7.31 %TLC) สอดคล้องกับการศึกษาการตอบสนองของระบบหายใจขณะออกกำลังกายเพิ่มความหนักในคนอ้วนเพศชายและเพศหญิง (31, 32) โดยในกลุ่มเพศชายพบว่าที่ peak exercise คนอ้วนมี EELV สูงขึ้นกว่าขณะพักในขณะที่กลุ่มควบคุมมีการลดลงของ EELV อย่างต่อเนื่องจากขณะพัก และในขณะออกกำลังกายที่จุด ventilatory threshold และ peak exercise พบว่าในกลุ่มคนอ้วนมีการเกิด expiratory flow limit มากกว่ากลุ่มควบคุม 2 vs 1 คนและ 6 vs 4 คนตามลำดับจากจำนวนคนอ้วนทั้งหมด 10 คนและจำนวนกลุ่มควบคุมทั้งหมด 9 คน เช่นเดียวกับกลุ่มคนอ้วนเพศหญิงที่มี EELV ในขณะออกกำลังกายที่จุด peak exercise สูงกว่าขณะพัก เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเพศเดียวกันที่ถึงแม้ EELV ที่จุด peak exercise จะเพิ่มขึ้นจากจุด ventilator threshold แต่ยังน้อยกว่า EELV ขณะพัก และในขณะออกกำลังกายที่จุด ventilatory threshold และ peak exercise พบว่าในกลุ่มคนอ้วนเพศหญิงมีการเกิด expiratory flow limit จำนวน 3 และ 4 คนตามลำดับจากทั้งหมด

9 คน ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีแค่ 1 คนที่พบ expiratory flow limit ขณะออกกำลังกายที่จุด peak exercise

ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าขณะเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายผู้ที่มีภาวะอ้วนจะมีความต้องการใช้ออกซิเจนที่สูงขึ้น มีการหายใจที่เร็วขึ้นเนื่องจากต้องการการระบายอากาศที่มากขึ้น มีแนวโน้มที่จะเกิด expiratory flow limit และไม่สามารถที่จะลด EELV เมื่อออกกำลังกายที่ความหนักสูงได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และเพื่อที่จะไม่ทำให้เกิดข้อจำกัดของการหายใจจาก end-expiratory lung volume ที่เพิ่มขึ้นจึงแนะนำว่าควรเลือกความหนักให้เหมาะสมกับความต้องการของการหายใจ เพื่อลดการเกิดอาการหอบเหนื่อยมากเกินไปขณะออกกำลังกาย

<u>การออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงสลับเบาและที่ระดับความหนักปานกลาง</u>

จากการศึกษาก่อนหน้ามีการศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงสลับเบาเปรียบเทียบกับการฝึกออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลางในคนอ้วนหลายการศึกษา โดยมักจะศึกษาผลทางพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด และในด้านการเพิ่มสมรรถภาพของร่างกาย (22, 23) ซึ่งพบว่าการออกกำลังกายทั้งสองแบบสามารถ ลดน้ำหนัก มวลไขมัน คอเลสเตอรอล และเพิ่ม VO_{2max} ได้ โดยการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงสลับเบาใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการศึกษาผลการตอบสนองของระบบหายใจในการออกกำลังกายทั้งสองแบบเทียบกัน โดย Pierros และคณะ (33) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองของระบบหายใจต่อการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง โดยเป็นการศึกษาในนักกีฬา พบว่าเมื่อให้ออกกำลังกายที่ระดับความหนักเดียวกัน การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมีอัตราการเต้นของหัวใจและมีการระบายอากาศมากกว่าการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา มีการกระตุ้นการตอบสนองของกล้ามเนื้อหายใจในขณะออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมากกว่าการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา แต่จากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่พบมีการวิจัยที่ศึกษาผลทางด้านการทำงานของปอดขณะออกกำลังกายทั้งสองแบบเปรียบเทียบกันในคนอ้วน

2.4 ปริมาตรอากาศที่เหลือค้างในปอดขณะออกกำลังกาย (end-expiratory lung volume; EELV)

ผลของการมีปริมาตรอากาศที่เหลือค้างในปอดขณะออกกำลังกาย

จากการสะสมของไขมันบริเวณช่องอกและช่องท้องของผู้ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งทำให้ FRC ขณะพักลดลง ส่งผลให้การทำงานของระบบหายใจขณะออกกำลังกายในผู้ที่มีภาวะอ้วนเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยทำให้การหายใจขณะออกกำลังกายเกิดขึ้นที่ low lung volume หรือ residual volume ซึ่งเป็นผลให้มีการเพิ่มขึ้นของ resistive loading (4, 34) มีค่า EELV สูงขึ้นในขณะออกกำลังกาย (31, 32) ซึ่งค่า end-expiratory lung volume (EELV) หรือ dynamic functional residual capacity เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาตรอากาศที่เหลืออยู่ในปอดหลังจากการหายใจออกขณะที่มีการเคลื่อนไหวหรือขณะออกกำลังกาย มีการเพิ่มงานของกล้ามเนื้อหายใจเข้าเพื่อพยายามขยายปอดและผนังทรวงอกต้านกับมวลไขมัน ทำให้ใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น งานในการหายใจเพิ่มขึ้นในขณะที่ออกกำลังกาย (28, 35) นอกจากนี้ผลที่ตามมาของการมี EELV ที่เพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกายคือมีความเสี่ยงที่จะเกิด expiratory flow limit ได้มากกว่าผู้ที่ไม่มีภาวะอ้วน ซึ่งการที่เกิด expiratory flow limit นั้นทำให้มีอาการของการหายใจหอบเหนื่อยเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย (31, 32)

นอกจากนั้นยังมีการศึกษาผลของการที่ EELV เพิ่มขึ้นในในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) โดยพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ elastic loads และ threshold loads ของกล้ามเนื้อหายใจเข้า มีการใช้ออกซิเจนในการหายใจเพิ่มมากขึ้น งานของการหายใจเพิ่มขึ้นจากการที่ inspiratory threshold load (ITL) เพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงถึงการที่กล้ามเนื้อหายใจเข้าต้องออกแรงมากขึ้นเพื่อต้านแรง recoil ของปอดและผนังทรวงอกในการเริ่มหายใจเข้า (36) กล้ามเนื้อหายใจเข้าอ่อนแรงจากการหดตัวสั้นลงของเส้นใยกล้ามเนื้อกะบังลม ซึ่งผลจากกลไกการทำงานและความเร็วของการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เปลี่ยนไปอาจทำให้เกิดการล้าได้ (37) ลดความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซและ tidal volume ในการเพิ่มปริมาตรขึ้นให้เหมาะสมในขณะออกกำลังกาย ซึ่งนำไปสู่การเกิดข้อจำกัดในการหายใจได้ (38)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาตรอากาศที่เหลือค้างในปอดขณะออกกำลังกายและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ

จากการสะสมของไขมันบริเวณช่องอกและช่องท้องในผู้ที่มีภาวะอ้วนส่งผลให้กลไกการทำงานของระบบหายใจเปลี่ยนแปลงไป Mehdi Chlif และคณะ (39) จึงต้องการที่จะศึกษาผลของความอ้วนต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจ โดยให้ผู้ที่มีภาวะอ้วนเพศชายวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจขณะพัก พบว่ากลุ่มผู้ที่มีภาวะอ้วนมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ในขณะที่มี Tension-time index of inspiratory muscles (T_{Tmus}) มากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่ง T_{Tmus} ใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินความล้าของกล้ามเนื้อหายใจขณะพัก และพบความสัมพันธ์ของค่าดัชนีมวลกายกับความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ กล่าวคือยิ่งมีดัชนีมวลกายเพิ่มมากขึ้น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจจะยิ่งลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Pamela และคณะ (35) ที่ทำการศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจของผู้ที่มีภาวะอ้วนในขณะจำลองการออกกำลังกาย พบว่า ผู้ที่มีภาวะอ้วนมีความถี่การหายใจ (respiratory frequency) มากกว่า ใช้เวลาในการหายใจออกสั้นกว่า และมี inspiratory muscle effort มากกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จึงสามารถสรุปได้ว่าผู้ที่มีภาวะอ้วนมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจลดลง ประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อหายใจถูกลดลง ต้องใช้ความพยายามมากขึ้น ทำให้ใช้งานในการหายใจมากกว่าคนที่มีน้ำหนักปกติ

การวัดปริมาตรอากาศที่เหลือค้างในปอดขณะออกกำลังกาย (End-expiratory lung volume; EELV)

เนื่องจาก total lung capacity (TLC) จะไม่เปลี่ยนแปลงขณะที่ออกกำลังกายถือเป็นค่าคงที่ (40) จึงสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า EELV ได้จากการทำ inspiratory capacity (IC) maneuver เปรียบเทียบค่าขณะพัก ขณะออกกำลังกายที่ความหนักต่างๆกันได้ ซึ่งถือเป็นวิธีการวัดที่สะดวกและน่าเชื่อถือ (41) โดยการเปลี่ยนแปลงของค่า EELV จะแปรผกผันกับการเปลี่ยนแปลงของค่า IC จากสูตรคำนวณ

End-expiratory lung volume (EELV) = Total lung capacity (TLC) - Inspiratory capacity (IC)

กล่าวคือเมื่อค่า IC เพิ่มขึ้นค่า EELV จะลดลง และเมื่อค่า IC ลดลงค่า EELV จะเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมาย (target population) คือ ผู้ที่มีภาวะอ้วนอายุระหว่าง 18-40 ปี

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา (study population) คือ ผู้ที่มีภาวะอ้วนอายุระหว่าง 18-40 ปี ที่ผ่านเกณฑ์การศึกษาวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง (sample) คือ ผู้ที่มีภาวะอ้วนและไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ อายุระหว่าง 18-40 ปี ที่ผ่านเกณฑ์การศึกษาวิจัยและยินยอมเข้าร่วมการศึกษาวิจัย

3.2 เกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าในการศึกษา (Inclusion criteria)

1) ผู้ที่มีอายุระหว่าง 18-40 ปี
2) มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ระหว่าง 30-40 kg/m^2

3.3 เกณฑ์ในการคัดออกจากการศึกษา (Exclusion criteria)

1) เป็นโรคหลอดเลือดหัวใจและโรคหัวใจอื่นๆที่อาจเป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังกาย อาทิ valvular heart disease, congestive heart failure หรือตรวจพบความผิดปกติของ resting EKG

2) มีประวัติการเป็นโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง หรือโรคหอบหืด หรือ exercise-induced asthma

3) มีความผิดปกติหรือมีการบาดเจ็บที่เป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังกาย เช่น โรคทางระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

4) ออกกำลังกายมากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ครั้งละมากกว่า 10 นาที เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัย

5) รับประทานยาที่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ เช่น beta-blocker

6) มีภาวะความดันโลหิตสูง (SBP ≥ 140 หรือ DBP ≥ 90 mmHg)

7) เป็นโรคเบาหวาน (fasting blood sugar ≥ 126 mg/dl)

8) ไม่ผ่านการทดสอบ cardiopulmonary exercise test (CPET) โดยพิจารณาตามเกณฑ์ (42) ดังนี้

8.1) ST-segment elevation (>1.0 mm) in leads without preexisting Q waves

8.2) Marked ST displacement (horizontal or down sloping of >2 mm, measured 60 to 80 ms after the J point [the end of the QRS complex])

8.3) Drop in systolic blood pressure >10 mm Hg, despite an increase in workload

8.4) Exaggerated hypertensive response (systolic blood pressure >250 mm Hg or diastolic blood pressure >115 mm Hg)

8.5) Moderate-to-severe angina

8.6) Central nervous system symptoms (e.g. ataxia, dizziness, near syncope)

8.7) Signs of poor perfusion (cyanosis or pallor)

8.8) Sustained ventricular tachycardia (VT) or other arrhythmia, including second- or third-degree atrioventricular (AV) block, that interferes with normal maintenance of cardiac output during exercise

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

8.9) Increasing chest pain, claudication, wheezing

8.10) Arrhythmias other than sustained VT, including multifocal ectopy, ventricular triplets, supraventricular tachycardia, and bradyarrhythmia that have the potential to become more complex or to interfere with hemodynamic stability

3.4 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างตามจุดมุ่งหมาย (purposive Sampling) ตามเกณฑ์การคัดเข้าโดยสมัครใจของอาสาสมัคร หลังจากนั้นจะทำการสุ่มลำดับการทดสอบการออกกำลังกาย โดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (จับฉลาก) โดยอาสาสมัครแต่ละคนจะได้รับการทดสอบการออกกำลังกายทั้งสองแบบ คือ การทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (HIIE) และ การทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง (MICE) มี washout period 7 วัน

3.5 การคำนวณขนาดตัวอย่าง

คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างจากการทำ pilot study ในอาสาสมัครที่มี BMI ระหว่าง 30-40 kg/m^2 จำนวน4 คน โดยคำนวณจากการทำ inspiratory capacity maneuver ทุกๆ 1 นาทีขณะออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง (Moderate - intensity continuous exercise) เป็นเวลา 20 นาที และการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (High – intensity interval exercise) เป็นเวลา 20 นาที เพื่อหาขนาดกลุ่มตัวอย่างจากค่า parameter ต่างๆ ในเบื้องต้นพบค่า inspiratory capacity มีการเปลี่ยนแปลงเด่นชัด โดยค่า TLC - IC = EELV จึงนำค่า IC มาใช้ในการคำนวณเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ EELV (ค่า EELV จะแปรผกผันกับค่า IC) เปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกาย 2 แบบ ซึ่งค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม MICE คือ 2.55 ± 0.12 ลิตร และกลุ่ม HIIE คือ 2.47 ± 0.09 ลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำหนดค่า Alpha (α) = 0.05

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

Beta (ß) = 0.10

$Z_{\beta} = Z_{0.01}$ = 0.84 (power 80%)

คำนวณหาค่า Variance of difference (σ^2) จากสูตร

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

กำหนด $\sigma_1 = 0.12$ $\sigma_2 = 0.09$ r = 0 เนื่องจากไม่สามารถประมาณค่า r ได้ ใช้ r = 0 จะได้ค่า n มากที่สุด

σ^2 = $(0.12)^2 + (0.09)^2 - 2\ (0)\ (0.12)\ (0.09)$

σ^2 = 0.02

คำนวณหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตร

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2\ \sigma^2}{(X_1 - X_2)^2}$$

x_1 = ค่าเฉลี่ย (mean) ของ Inspiratory capacity ในขณะออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง (MICE) เป็นเวลา 20 นาที

x_2 = ค่าเฉลี่ย (mean) ของ Inspiratory capacity ในขณะออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (HIIE) เป็นเวลา 20 นาที

$$n = \frac{(1.96 + 0.84)^2 \times 0.02}{(2.55 - 2.47)^2}$$

= 24.5 ~ 25 คน

คำนวณ Drop out 15% จากกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณ เท่ากับ 25

$$= \frac{25 \times 15}{100}$$

= 3.75

เพราะฉะนั้นจะต้องใช้กลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 25+4 = 29 คน รวมทั้งสิ้นจำนวน 29 คน

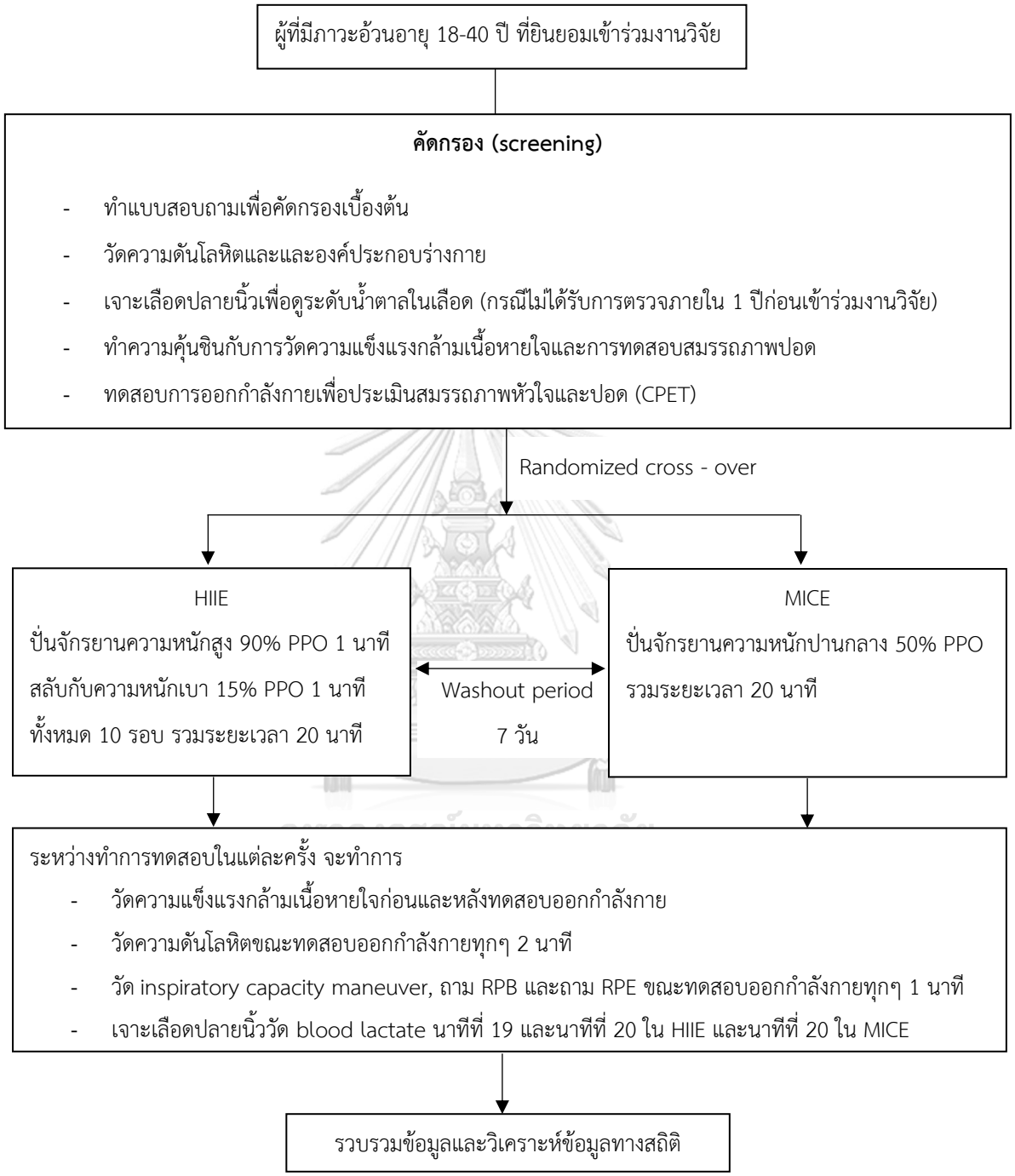
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบบันทึกข้อมูล
2. ที่วัดส่วนสูง
3. สายวัดรอบเอว
4. เครื่องวัดความดันโลหิต (OMRON HEM 7130, OMRON Healthcare Co., Ltd., Japan)
5. เครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย Bioelectrical impedance analysis (Inbody 770, Korea)
6. RPB and RPE Borg scale
7. Ultima™ CardiO_2® gas exchange and 12-Lead ECG (MGC Diagnostics, Medical Graphics, USA)
8. Mask Kits (Hans Rudolph, Medical Graphics, USA)
9. Prevent Flow Sensors (Medical Graphics, USA)
10. Prevent Filter (Medical Graphics, USA)
11. Nose Clip
12. Blue sensor electrode (Ambu® รุ่น P, Denmark)
13. Corival CPET ergometer (MGC Diagnostics, Medical Graphics, USA)
14. Accutrend® Plus (cobas®, Roche Diagnostics, Thailand)
15. น้ำยา BM control lactate 2×4 ML (cobas®, Roche Diagnostics, Thailand)
16. แผ่น test strips สำหรับวัด blood lactate (cobas®, Roche Diagnostics, Thailand)
17. Respiratory pressure meter (MicroRPM, CareFusion, United Kingdom)
18. เครื่องตรวจน้ำตาลชนิดปลายนิ้ว (Accu – Chek® รุ่น Performa, Roche Diagnostics)
19. แผ่น test strips สำหรับวัด blood sugar (Accu – Chek®, Performa, Roche Diagnostics)
20. อุปกรณ์เจาะเลือด
21. Covid-19 Antigen Self Test (Fora® VTrust, Taiwan)
22. คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.7 วิธีการดำเนินงานวิจัย



หมายเหตุ PPO = peak power output ที่ได้มาจากการทดสอบ CPET, อาสาสมัครจะถูกขอร้องให้ทำแบบสอบถามประเมินความเสี่ยงโรคโควิด-19 ก่อนมาสถานที่ทดสอบและถูกตรวจ ATK ก่อนการทดสอบคัดกรอง CPET และทดสอบออกกำลังกายทั้งสองครั้ง

มีรายละเอียดดังนี้

การเข้าถึงอาสาสมัคร

ผู้วิจัยติดประกาศพร้อมข้อมูลการเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครงานวิจัยโดยย่อที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยผ่านทางบอร์ดประชาสัมพันธ์ที่ได้รับอนุญาตและประชาสัมพันธ์ในอินเตอร์เน็ตผ่านช่องทางต่างๆ เช่น Line, Facebook และ Instagram

การขอความยินยอมจากอาสาสมัคร

ในวันทำการคัดกรอง ผู้วิจัยนัดอาสาสมัครมาที่ห้องปฏิบัติการทางเวชศาสตร์การกีฬา ชั้น 4 อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ โดยให้ข้อมูลและวิธีการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย รวมทั้งตอบข้อสงสัยของอาสาสมัครจนเข้าใจ ให้เวลาในการตัดสินใจอย่างอิสระก่อนลงนามยินยอมเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ

การคัดกรองอาสาสมัคร

1. ก่อนวันนัดคัดกรอง ผู้วิจัยติดต่ออาสาสมัครทางโทรศัพท์เพื่ออธิบายขั้นตอนการวิจัยและตอบข้อสงสัยของอาสาสมัคร โดยผู้วิจัยจะสอบถามถึงกิจวัตรประจำวัน การออกกำลังกาย โรคประจำตัว ประวัติการเจ็บป่วย ยาที่กำลังใช้ในปัจจุบันเพื่อทำการคัดกรองอาสาสมัครเบื้องต้นด้วยแบบสอบถาม

2. อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดกรองเบื้องต้นด้วยแบบสอบถาม จะได้รับการนัดพบเพื่อตรวจคัดกรองเพิ่มเติมและทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอด (CPET)

3. อาสาสมัครที่ได้รับการนัดพบเพื่อตรวจคัดกรองเพิ่มเติมและทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอด จะได้รับการแจ้งให้งดรับประทานอาหารและเครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำเปล่า เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงก่อนการเจาะเลือดปลายนิ้วเพื่อวัดระดับน้ำตาลในเลือด (ในกรณีที่มีผลการตรวจเลือดภายใน 1 ปีสามารถใช้แทนได้)

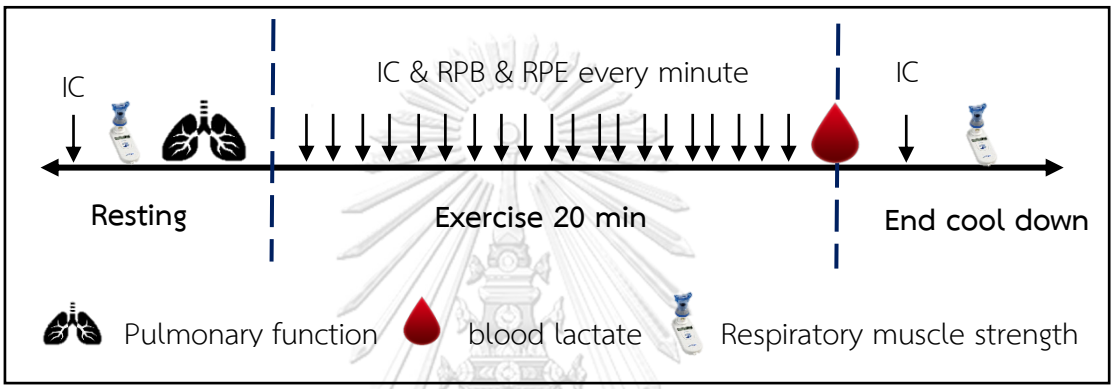
4. เมื่ออาสาสมัครมาถึงห้องปฏิบัติการ ให้อาสาสมัครนั่งพักประมาณ 15 นาทีก่อนวัดความดันโลหิต (BP) อัตราการเต้นหัวใจ (HR) ขณะพักและวัดอัตราส่วนรอบเอวต่อรอบสะโพก

5. ให้อาสาสมัครวัดส่วนสูงและวัดองค์ประกอบร่างกายด้วยเครื่อง Bioelectrical Impedance Analysis (Inbody 770, Korea) โดยให้อาสาสมัครถ่ายปัสสาวะก่อนทำการวัด

6. อาสาสมัครจะได้ทำความคุ้นเคยกับอุปกรณ์และวิธีการทดสอบต่างๆคือการวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ (respiratory muscle strength) และการทดสอบสมรรถภาพปอด (spirometry test)

7. เปิดโอกาสให้อาสาสมัครซักถามข้อสงสัยต่างๆ

3.8 แผนภูมิการทดลอง



3.9 การเตรียมตัวของอาสาสมัคร

เมื่ออาสาสมัครยินยอมเข้าร่วมวิจัย อาสาสมัครจะถูกขอร้องให้

1. งดรับประทานอาหารและเครื่องดื่ม ยกเว้นน้ำเปล่า เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงก่อนการเจาะเลือดปลายนิ้วเพื่อวัดระดับน้ำตาลในเลือด (ในกรณีที่มีผลการตรวจเลือดภายใน 1 ปีสามารถใช้แทนได้) ในวันที่นัดคัดกรอง

2. งดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์อย่างน้อย 48 ชั่วโมงในวันที่นัดคัดกรองและนัดทดสอบออกกำลังกาย

3. งดเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนอย่างน้อย 8 ชั่วโมงในวันที่นัดคัดกรองและนัดทดสอบออกกำลังกาย

4. งดกิจกรรมหรือการออกกำลังกายหนัก (vigorous activity) อย่างน้อย 24 ชั่วโมงในวันที่นัดคัดกรองและนัดทดสอบออกกำลังกาย

5. เตรียมชุดและรองเท้าที่สะดวกกับการออกกำลังกายมาในวันที่นัดคัดกรองและนัดทดสอบออกกำลังกาย

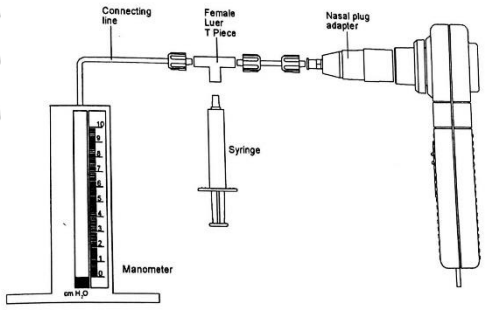
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.10 การวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ (respiratory muscle strength; RMS)

เป็นการประเมินค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้า (maximal inspiratory pressure; MIP) และค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจออก (maximal expiratory pressure; MEP) การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจใช้เครื่องมือ Respiratory pressure meter (RPM)

<u>การ calibrate อุปกรณ์</u>

1. เปิดเครื่อง RPM มาที่ตำแหน่ง SNIP
2. ค่อยๆฉีด syringe เข้าไปจนกระทั่งเกิดเป็นแรงดันลบช่วงระหว่าง 200-300 cmH_2O โดยดูค่าจาก manometer
3. อ่านค่าจากเครื่อง RPM โดยค่าต้องอยู่ที่ 3% ของค่าที่อ่านได้จาก manometer



ภาพที่ 3 แสดงการ calibrate อุปกรณ์วัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

วิธีการทดสอบจะอ้างอิงวิธีการของ ATS/ERS statement on respiratory muscle testing (43) ขั้นตอนการทดสอบ มีดังนี้

1. อาสาสมัครนั่งบนเก้าอี้ เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น
2. ทดลองหายใจออกจนถึง residual volume ในกรณีทดสอบ MIP หรือ หายใจเข้าให้ลึกจนถึง total lung capacity (TLC) ในกรณีทดสอบ MEP
3. สวม nose clip
4. อาสาสมัครอมอุปกรณ์ทดสอบ
5. หายใจเข้าหรือออกผ่านเครื่องให้แรงและเร็วที่สุด ค้างไว้ 1.5 วินาที เพื่อทำการวัดค่า maximal inspiratory pressure (MIP), maximal expiratory pressure (MEP)

6. วัดซ้ำ 3-5 ครั้ง บันทึกค่าที่สูงที่สุดที่วัดได้ 3 ค่า ซึ่งต่างกันไม่เกิน 5-10% หรือ 5-10 cmH_2O แล้วบันทึก ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้า (Maximal static inspiratory pressure; MIP) และค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจออก (Maximal static expiratory pressure; MEP)

โดยการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจจะทำการวัดก่อนและหลัง การทดสอบคัดกรอง cardiopulmonary exercise test with 12 lead EKG (CPET) และการทดสอบการออกกำลังกายสองแบบ โดยหลังออกกำลังกายจะทำการวัดทันทีหลังจากเสร็จสิ้นระยะเวลา 2 นาทีของการ cool down

ภาพที่ 4 อุปกรณ์วัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.11 การวัด pulmonary parameters ขณะพัก

การ calibrate อุปกรณ์

มี flow sensor calibration และ O_2&CO_2 calibration ก่อนการทดสอบทุกครั้ง โดยดูให้ค่าอุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นและปริมาตรอากาศที่ calibrate ได้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และใช้ gas concentration ในการ calibrate แก๊สที่ 12%O_2 และ 5%CO_2

การทดสอบ Forced Vital Capacity (FVC)

มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ให้อาสาสมัครนั่งบนเก้าอี้ เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น
2. ผู้วิจัยอธิบายวิธีการทดสอบและสาธิตตัวอย่างให้อาสาสมัครเข้าใจก่อนทำการทดสอบจริง
3. สวม nose clip
4. อาสาสมัครอมอุปกรณ์แล้วหายใจเข้าออกปกติทางปากเพื่อเก็บค่า tidal volume
5. อาสาสมัครหายใจเข้าให้ลึกเต็มที่แล้วเป่าลมกระแทกออกมาให้เร็วและแรงที่สุด เป่าลมต่อเนื่องนานอย่างน้อย 6 วินาทีหรือจนกว่าปริมาตรอากาศที่เปลี่ยนแปลงจะคงที่ แล้วหายใจเข้าให้ลึกเต็มที่

การทดสอบ Maximal Voluntary Ventilation (MVV)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เป็นการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการทำงานของปอดจากปริมาตรอากาศทั้งหมดที่สามารถหายใจได้ใน 1 นาที มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

1. ให้อาสาสมัครนั่งบนเก้าอี้ เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น
2. ผู้วิจัยอธิบายวิธีการทดสอบและสาธิตตัวอย่างให้อาสาสมัครเข้าใจก่อนทำการทดสอบจริง
3. สวม nose clip
4. อาสาสมัครอมอุปกรณ์แล้วหายใจเข้าออกปกติทางปาก
5. อาสาสมัครหายใจเข้าและออกให้ลึกและเร็วตามจังหวะที่ผู้วิจัยบอก ต่อเนื่องนาน 12 วินาที

3.12 การวัด Pulmonary parameters ขณะออกกำลังกาย

<u>การวัดปริมาตรอากาศที่เหลือค้างในปอดขณะออกกำลังกาย (End-expiratory lung volume; EELV)</u>

End-expiratory lung volume (EELV) สามารถคำนวณได้จาก Total lung capacity (TLC) - Inspiratory capacity (IC) เนื่องจากค่า TLC จะไม่เปลี่ยนแปลงขณะออกกำลังกาย การเปลี่ยนแปลงของค่า IC จึงส่งผลต่อค่า EELV โดยตรงคือ เมื่อค่า IC ลดลง ค่า EELV จะเพิ่มขึ้น หรือเมื่อค่า IC เพิ่มขึ้น ค่า EELV จะลดลง

วัด End-expiratory lung volume โดยให้อาสาสมัครทำ inspiratory capacity (IC) maneuver ขณะพักเป็นค่าพื้นฐานไว้ และทำ inspiratory capacity (IC) maneuver ขณะออกกำลังกายทุกๆ 1 นาทีเพื่อดู End-expiratory lung volume ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะให้อาสาสมัครสูดหายใจเข้าลึกให้เต็มที่หลังจากการหายใจออกปกติ

<u>การวัดพารามิเตอร์การหายใจ</u>

1) ปริมาตรการหายใจปกติ (Tidal volume; VT)
2) ปริมาตรอากาศที่ใช้หายใจใน 1 นาที (Minute ventilation; VE)
3) อัตราการหายใจ (Respiratory rate; RR)
4) ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Oxygen saturation; SpO_2) วัดโดยใช้ Pulse oximeter
5) Respiratory exchange ratio (RER)
6) Oxygen uptake (VO_2) และ Carbon dioxide output (VCO_2)
7) Partial pressure of end-tidal CO_2 ($PETCO_2$)
8) Intrabreath flow-volume curve

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.13 การทดสอบออกกำลังกายเพื่อการคัดกรอง

การทดสอบ Graded exercise test with 12 lead EKG

เป็นการทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอด (cardiopulmonary exercise testing; CPET) พร้อมกับติด 12 lead EKG ขณะทดสอบเพื่อคัดกรองผู้ที่มีภาวะ ischemic heart disease และ exercise induced arrhythmias and asthma ออกจากการวิจัย โดยให้หายใจเข้าออกปกติผ่านหน้ากากที่ครอบไว้ให้คงที่อย่างน้อย 3 นาที เพื่อเก็บข้อมูลค่าพื้นฐาน ปรับเบาะนั่งให้ความสูงพอดีกับความยาวขาของอาสาสมัคร (บันทึกระดับความสูงของเบาะนั่ง) ปั่นจักรยาน warm-up 3 นาที ไม่ใส่น้ำหนักถ่วง หลังจากนั้นเพิ่มความหนัก ตามสูตรที่คำนวณได้ โดยในแต่ละนาทีจะเพิ่มวัตต์ขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าที่คำนวณได้ ตลอดการทดสอบให้ปั่นจักรยานด้วยรอบปั่นที่คงที่ 65-75 รอบต่อนาที การทดสอบจะสิ้นสุดเมื่ออาสาสมัครไม่สามารถคงรอบปั่นไว้ได้ หรือเหนื่อยจนไม่สามารถปั่นต่อได้ (volitional exhaustion) หรือมีความผิดปกติของ EKG หรือของการตอบสนองของระบบหายใจ หรือหัวใจหลอดเลือด

ภาพที่ 5 แสดงการทดสอบ cardiopulmonary exercise testing

สูตรคำนวณ work rate increase (44)

predicted peak VO_2 (ml/min) = (height - age) × 20 (men) หรือ

(height - age) × 14 (women)

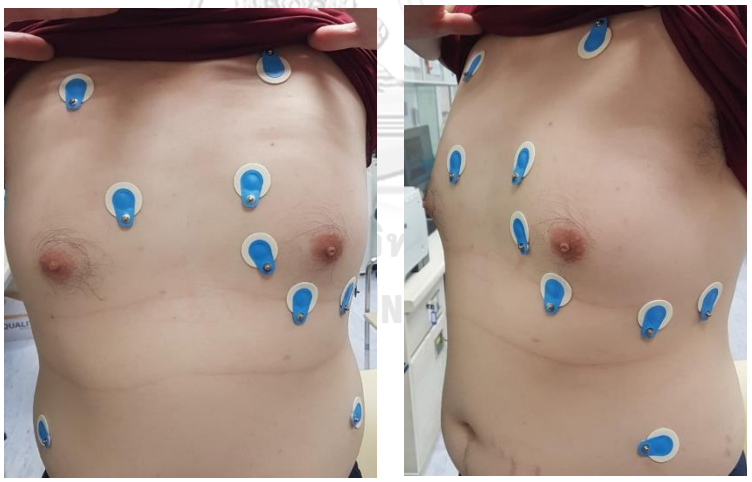
VO_2 unloaded (ml/min) = 150 + (6×weight)

$$\text{work rate increase (Watts/min)} = \frac{\text{peak } VO_2 - VO_2 \text{ unloaded}}{10 \text{ min} \times 10.3}$$

หมายเหตุ height (cm), age (year), weight (Kg)

บันทึกค่า ventilatory threshold (VT), minute ventilation (VE), heart rate peak , peak oxygen uptake (VO_2 peak), peak power output (PPO) เพื่อใช้กำหนดความหนักของการออกกำลังกายต่อไป

การทดสอบ CPET นี้จะมีระยะเวลาห่างจากการทดสอบการออกกำลังกายอย่างน้อย 7 วัน



ภาพที่ 6 ตำแหน่งการติด EKG electrode 10 จุด

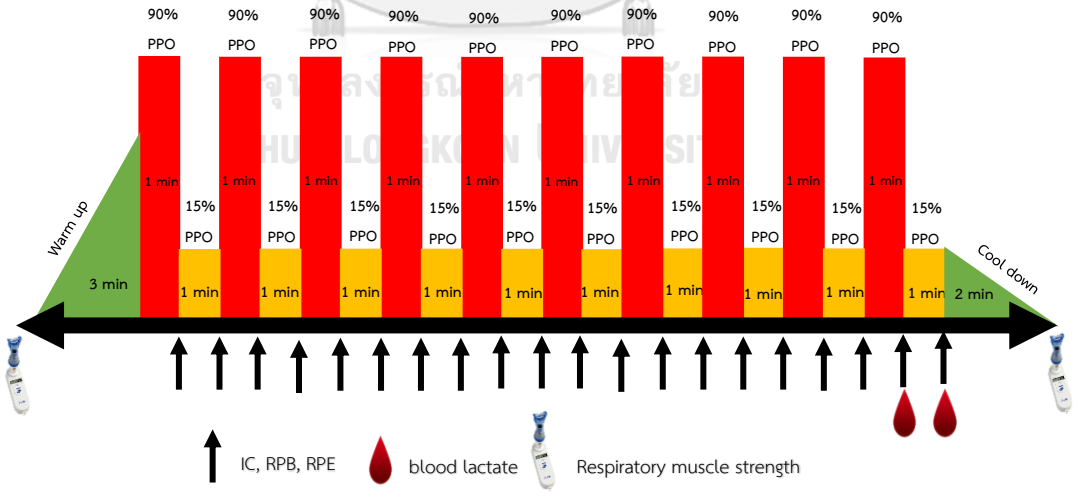
3.14 การทดสอบการออกกำลังกาย

อาสาสมัครแต่ละคนจะได้รับการทดสอบการออกกำลังกายทั้ง 2 แบบ คือ การออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง (moderate - intensity continuous exercise) และการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (high – intensity interval exercise) โดยมีช่วง washout period ระหว่างการทดสอบทั้งสองครั้ง 7 วัน (45)

การทดสอบการออกกำลังกายทั้ง 2 แบบเป็นการออกกำลังกายที่ใช้งาน (work output) เท่ากัน

High – intensity interval exercise (HIIE)

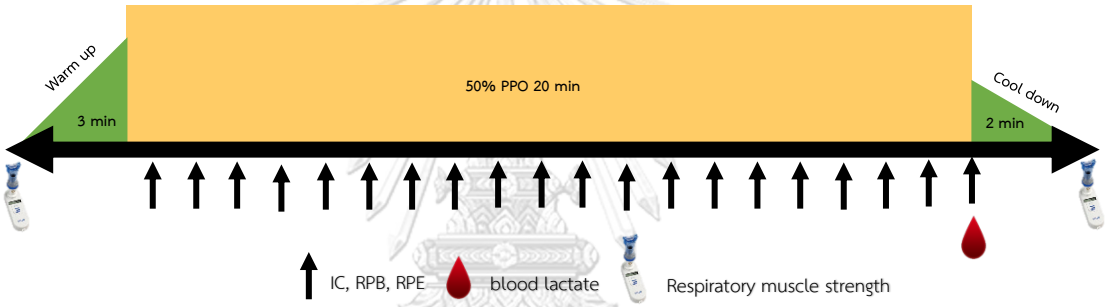
อาสาสมัครทำการ warm-up โดยปั่นจักรยานวัดงานเป็นระยะเวลา 3 นาที เมื่อครบระยะเวลา ผู้วิจัยจะเพิ่มความหนักการออกกำลังกายให้อาสาสมัครปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนักสูงประมาณ 90% peak power output เป็นระยะเวลา 1 นาที หลังจากนั้นปั่นจักรยานที่ความหนักเบา (active recovery) 15% peak power output เป็นระยะเวลา 1 นาที อาสาสมัครจะทำการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงสลับเบาซ้ำกันทั้งหมด 10 ครั้ง รวมระยะเวลา 20 นาที แล้วจึงทำการ cool down ที่ความหนักเบา 15% peak power output เป็นระยะเวลา 2 นาทีก่อนจบการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (HIIE) (45, 46) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 7 แสดงการทดสอบออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับเบา (HIIE)

Moderate - intensity continuous exercise (MICE)

อาสาสมัครทำการ warm-up โดยปั่นจักรยานวัดงานเป็นระยะเวลา 3 นาที เมื่อครบระยะเวลา ผู้วิจัยจะเพิ่มความหนักการออกกำลังกายให้อาสาสมัครปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนักระดับปานกลาง ประมาณ 50% peak power output เป็นระยะเวลา 20 นาที ซึ่งเป็นความหนักที่เทียบเท่ากับความหนักที่ American College of Sports Medicine (ACSM) ได้แนะนำให้ผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรือมีภาวะอ้วนออกกำลังกายคือออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง 45-50% heart rate reserve เป็นระยะเวลา 30 นาที (6, 47) แล้วจึงทำการ cool down ที่ความหนักเบา 15% peak power output เป็นระยะเวลา 2 นาทีก่อนจบการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง (MICE) (45, 46) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 8 แสดงการทดสอบออกกำลังกายความหนักระดับปานกลาง (MICE)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวัดระดับความหอบเหนื่อย (rating of perceived breathless; RPB)

อาสาสมัครบอกระดับความหอบเหนื่อยในขณะทดสอบออกกำลังกายทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Borg's CR 10 scale 0-10 ตัวเลข (48)

การวัดระดับความเมื่อยของขา (rating of perceived exertion; RPE)

อาสาสมัครบอกระดับอาการเมื่อยของขาในขณะทดสอบออกกำลังกายทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Borg's RPE 20 scale 6-20 ตัวเลข (48)

ตารางที่ 1 แสดงระดับความหอบเหนื่อยและความเมื่อยของขา

ความหมาย	ระดับความหอบเหนื่อย (RPB)	ระดับความเมื่อยของขา (RPE)
มากที่สุด	10	20
	9	19
	8	18
มากๆ	7	17
	6	16
มาก	5	15
ค่อนข้างมาก	4	13
ปานกลาง	3	12
น้อย	2	11
น้อยมาก	1	9
เริ่มรู้สึกเหนื่อย/เมื่อย	0.5	7
ไม่มีอาการเลย	0	6

การวัด blood lactate

ก่อนทำการทดสอบมีการ calibrate อุปกรณ์ดังนี้

1. ใส่แถบทดสอบในเครื่อง Accutrend Plus
2. กดปุ่ม M เพื่อทำการทดสอบใน mode ของการตรวจสอบคุณภาพ
3. หยดสารละลายควบคุมคุณภาพ (BM-Control-Lactate) 1 หยด
4. ค่าที่อ่านได้จากเครื่องต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยค่าที่อ่านได้จากสารละลายควบคุมคุณภาพ 1 (ฝาน้ำเงิน) จะอยู่ในช่วง 0.9-2.4 mmol/L (low lactate range) และค่าที่อ่านได้จากสารละลายควบคุมคุณภาพ 2 (ฝาแดง) จะอยู่ในช่วง 4.6-8.1 mmol/L (high lactate range)

เมื่อสิ้นสุดการออกกำลังกายแต่ละชนิด ทำการเจาะเลือดปลายนิ้ว 1 หยด และตรวจระดับ lactate ด้วยวิธี enzymatic colorimetric assay (Accutrend Plus) โดยในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (HIIE) จะทำการเจาะเลือด 2 ครั้งคือสิ้นสุดนาทีที่ 19 (high intensity) และสิ้นสุดนาทีที่ 20 (low intensity) ส่วนในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง (MICE) จะทำการเจาะเลือดเมื่อสิ้นสุดนาทีที่ 20 ครั้งเดียว

ภาพที่ 9 อุปกรณ์วัด blood lactate

<u>สถานที่ทำการวิจัย</u>

ห้องปฏิบัติการทางเวชศาสตร์การกีฬา ชั้น 4 อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ Exercise lab หน่วยโรคปอด อาคารภูมิสิริฯ ชั้น 10 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.15 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis)

1. แสดงผลข้อมูลน้ำหนัก, ส่วนสูง, รอบเอวต่อรอบสะโพก, pulmonary function, ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ, blood lactate และความดันโลหิต ด้วยค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

2. วิเคราะห์ตัวแปรทางสถิติ
    1) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มในช่วงเวลาเดียวกันโดยใช้สถิติ 2 factor repeated ANOVA
    2) วิเคราะห์ความแตกต่างก่อนและหลังการออกกำลังกายในกลุ่มเดียวกันโดยใช้สถิติ paired T-test
3. ทดสอบสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.16 Data processing

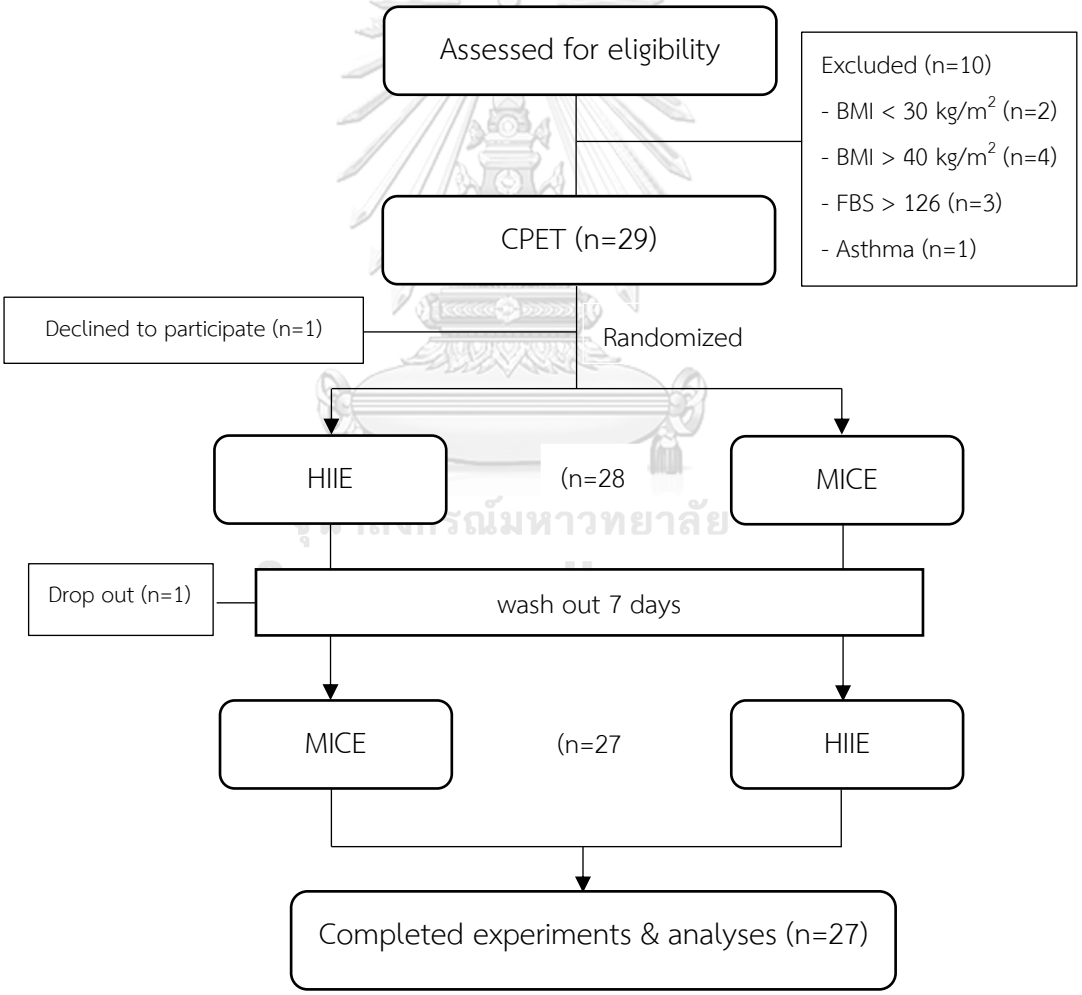
ค่าตัวแปรต่างๆในแต่ละนาทีได้มาจากการเฉลี่ย 6 ค่าสุดท้ายของแต่ละนาทีเป็นค่าในนาทีนั้นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตอบสนองของระบบหายใจต่อการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาเปรียบเทียบกับความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วน มีอาสาสมัครสนใจเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 39 คน ไม่ผ่านเกณฑ์คัดเข้า 10 คน เหลืออาสาสมัครผ่านเข้ารับการคัดกรองทดสอบ CPET 29 คน ขอถอนตัวออกจากโครงการหลังจากผ่านการคัดกรอง 1 คน จึงเหลืออาสาสมัครเข้าร่วมการทดสอบออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบจำนวน 28 คน ระหว่างเก็บข้อมูลอาสาสมัครขอถอนตัวออกจากโครงการ 1 คน จึงเหลืออาสาสมัคร 27 คน (ดังภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 Consort flow diagram

4.1 คุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) คุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร 27 คน แบ่งเป็นเพศหญิง 13 คน เพศชาย 14 คน

คุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร	Mean ± S.D.
Age (yrs)	29.11 ± 6.84
Weight (kg)	97.19 ± 11.44
Height (cm)	167.52 ± 7.89
BMI (kg/m^2)	34.57 ± 2.61
Body fat (%)	41.87 ± 6.56
Fat free mass (%)	58.14 ± 6.56
Visceral fat area (cm^2)	187.63 ± 34.46
Waist (cm)	110.67 ± 10.31
Hip (cm)	118.15 ± 7.38
Waist hip circumference ratio	0.94 ± 0.05
FBS (mg/dl)	98.15 ± 11.07
SBP (mmHg)	123.44 ± 9.84
DBP (mmHg)	78.78 ± 9.85
VO_2 max (ml/kg/min)	18.87 ± 3.71
FVC (% predicted)	96.44 ± 15.62
FEV_1 (% predicted)	96.52 ± 17.32
FEV_1/FVC (% predicted)	86.30 ± 5.22
MVV (% predicted)	88.93 ± 22.16

BMI: body mass index, FBS: fasting blood sugar, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, VO_2: oxygen uptake, FVC: forced vital capacity, FEV_1: forced expiratory volume in 1s, MVV: measured maximal voluntary

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ

จากการศึกษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเทียบก่อนและหลังออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ โดยใช้สถิติ Paired T-test พบว่าค่าแรงดันสูงสุดของการหายใจเข้า (MIP) และค่าแรงดันสูงสุดของการหายใจออก (MEP) หลังออกกำลังกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายในการออกกำลังกายสองแบบ ดังแสดงในตารางที่ 3 แต่ไม่พบความแตกต่างของค่า MIP และ MEP ทั้งก่อนและหลังการออกกำลังกายเมื่อเทียบระหว่างกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจก่อนและหลังออกกำลังกาย

ความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ	**HIIE**			**MICE**		
	pre	**post**	**p-value**	**pre**	**post**	**p-value**
แรงดันสูงสุดของการหายใจเข้า (cmH_20)	108.7 ± 34.0	97.0 ± 29.9	<0.001	109.9 ± 31.7	101.0 ± 31.0	<0.001
แรงดันสูงสุดของการหายใจออก (cmH_20)	109.1 ± 33.8	97.0 ± 30.1	0.001	107.0 ± 31.3	98.8 ± 31.9	0.004

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจระหว่างการออกกำลังกายแบบ HIIE และ MICE

		HIIE	**MICE**	**p-value**
แรงดันสูงสุดของการหายใจเข้า (cmH_20)	**pre**	108.7 ± 34.0	109.9 ± 31.7	0.528
	post	97.0 ± 29.9	101.0 ± 31.0	0.279
แรงดันสูงสุดของการหายใจออก (cmH_20)	**pre**	109.1 ± 33.8	107.0 ± 31.3	0.483
	post	97.0 ± 30.1	98.8 ± 31.9	0.563

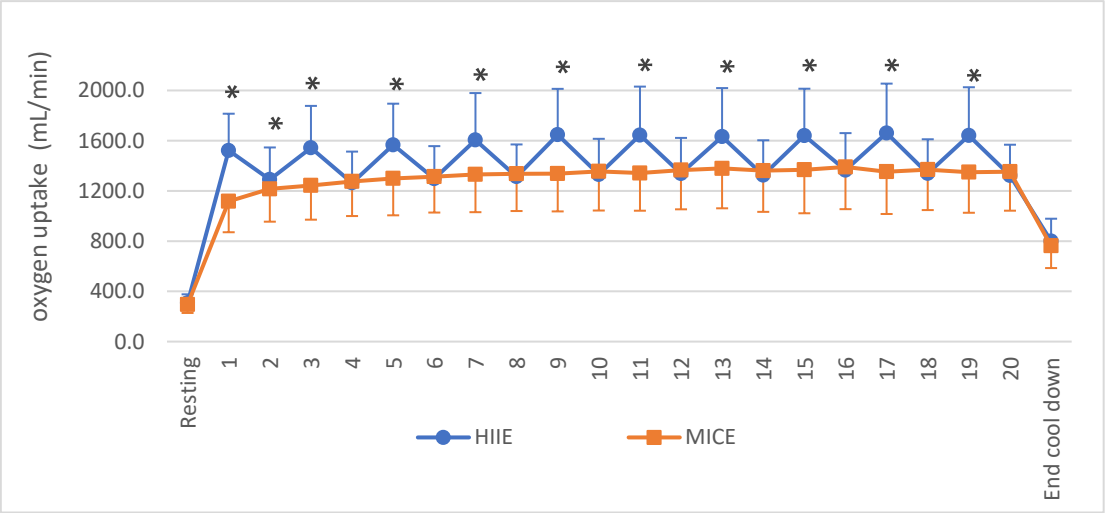
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 ผลการตอบสนองของระบบหายใจขณะออกกำลังกาย

จากการศึกษาผลการตอบสนองของ VO_2 และ VCO_2 ขณะออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ เป็นระยะเวลา 20 นาที เปรียบเทียบโดยใช้ repeated ANOVA พบว่า VO_2 และ VCO_2 ค่อนข้างคงที่ขณะออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ โดยค่าเฉลี่ย VO_2 ขณะออกกำลังกายของ HIIE ช่วง low intensity มีค่าใกล้เคียงกับ VO_2 ของ MICE พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินาทีที่ 2 และค่าเฉลี่ย VCO_2 ขณะออกกำลังกายของ HIIE ช่วง low intensity มีค่ามากกว่า VCO_2 ของ MICE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดช่วง low intensity ส่วนค่า VO_2 และ VCO_2 ช่วง high intensity ของ HIIE มีค่ามากกว่า MICE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบที่ช่วงเวลาเดียวกัน

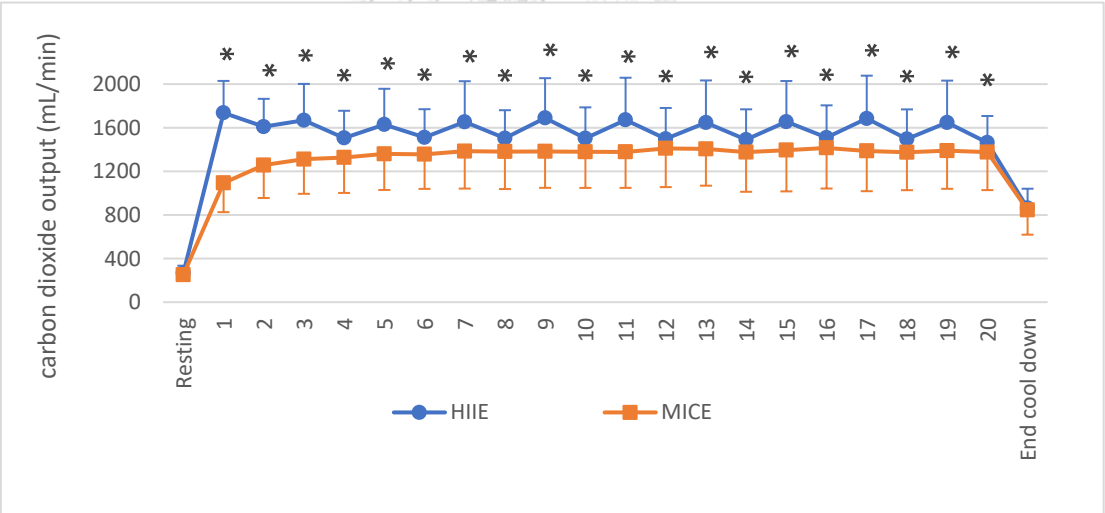
ค่าเฉลี่ย VO_2 ของ HIIE และ MICE มีค่าสูงสุดที่นาทีที่ 17 และ 16 ตามลำดับ (HIIE: 1,661.0 ± 393 mL/min, MICE: 1,390.6 ± 336.0 mL/min) ส่วนค่าเฉลี่ย VCO_2 ของ HIIE และ MICE มีค่าสูงสุดที่นาทีที่ 1 และ 16 ตามลำดับ (HIIE: 1,736.3 ± 404.9 mL/min, MICE: 1,414.4 ± 372.3 mL/min) ดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ VO_2 ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE และ MICE ($p<0.05$)

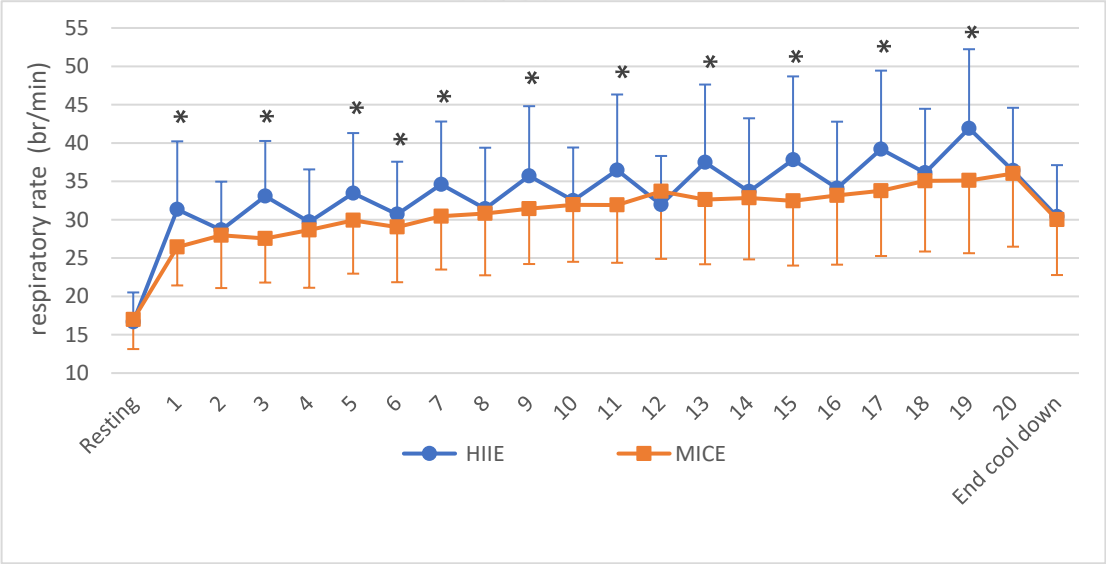


ภาพที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ VCO_2 ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE กับ MICE ($p<0.05$)

ค่า RR มีแนวโน้มสูงขึ้นขณะออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ โดยมีค่าเฉลี่ยขณะพัก 16.7 ± 3.9 br/min หลังเสร็จสิ้น cool down มีค่าเฉลี่ย 36.4 ± 6.7 br/min ในการออกกำลังกายแบบ HIIE และมีค่าเฉลี่ยขณะพัก 17.0 ± 3.8 br/min หลังเสร็จสิ้น cool down มีค่าเฉลี่ย 30.0 ± 7.2 br/min ในการออกกำลังกายแบบ MICE และไม่พบความแตกต่างกันของค่า RR ขณะพักและหลังเสร็จสิ้นการ cool down ในการออกกำลังกายสองรูปแบบ

ค่าเฉลี่ย RR ของ HIIE และ MICE มีค่าสูงสุดที่นาทีที่ 19 และ 20 โดยมีค่า 41.9 ± 10.3 br/min และ 36.0 ± 9.5 br/min ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 13



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

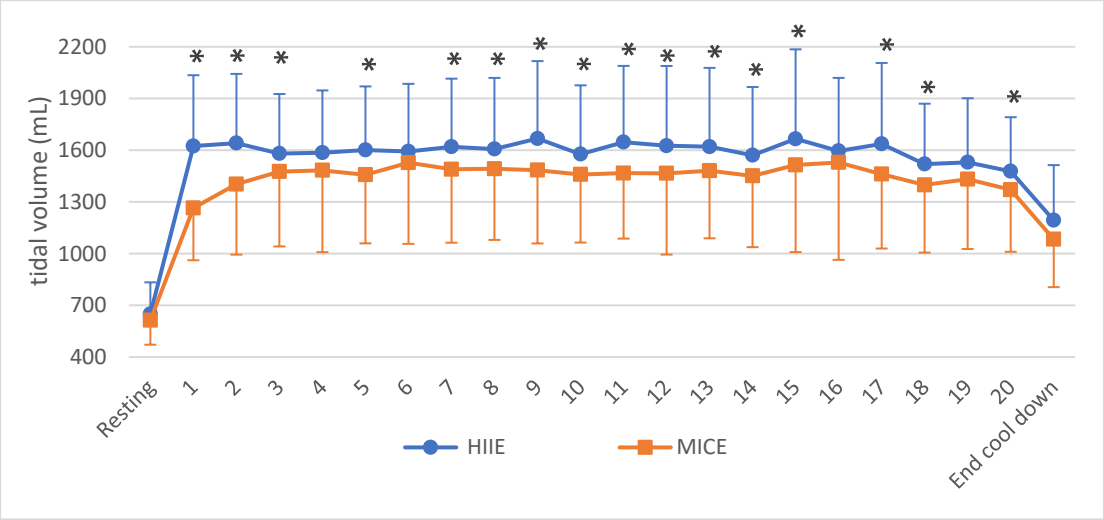
ภาพที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ RR ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE กับ MICE ($p<0.05$)

ค่า VT ค่อนข้างคงที่ขณะออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบจนถึงนาทีที่ 17 ที่เริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบในการออกกำลังกายรูปแบบเดียวกัน ($p<0.05$)

มีค่าเฉลี่ยขณะพัก 650.2 ± 183.5 mL/min หลังเสร็จสิ้น cool down มีค่าเฉลี่ย 1,193.8 ± 319.9 mL/min ในการออกกำลังกายแบบ HIIE และมีค่าเฉลี่ยขณะพัก 613.6 ± 141.7 mL/min หลังเสร็จสิ้น cool down มีค่าเฉลี่ย 1,083.8 ± 278.0 mL/min ในการออกกำลังกายแบบ MICE และไม่พบความแตกต่างกันของค่า VT ขณะพักและหลังเสร็จสิ้นการ cool down ในการออกกำลังกายสองรูปแบบ

ค่าเฉลี่ย VT ของ HIIE และ MICE มีค่าสูงสุดที่นาทีที่ 9 และ 16 โดยมีค่า 1,667.7 ± 449.3 mL/min และ 1,528.7 ± 564.8 mL/min ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 14



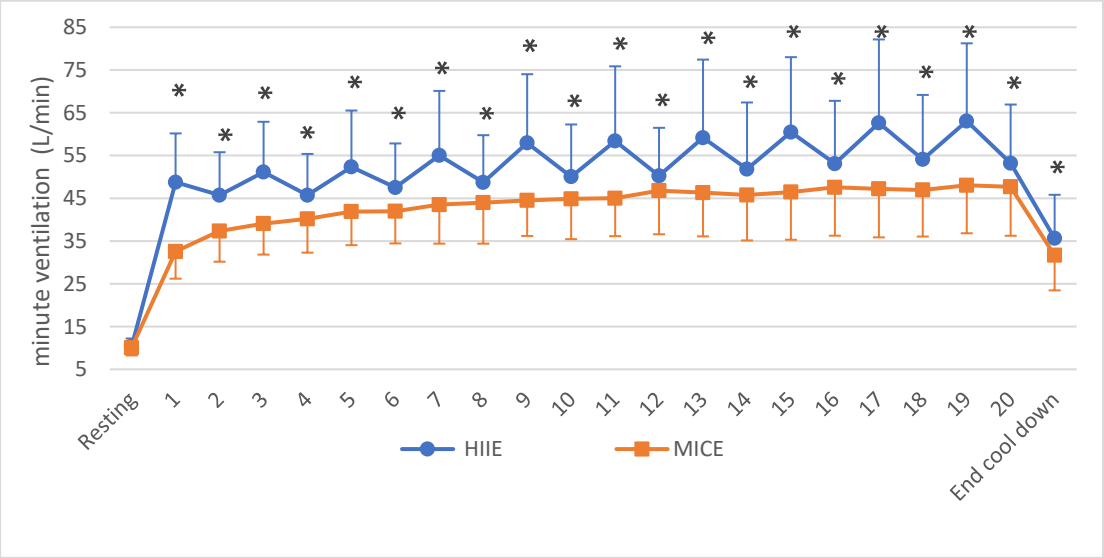
Chulalongkorn University

ภาพที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ VT ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE กับ MICE ($p<0.05$)

ค่า VE มีแนวโน้มสูงขึ้นขณะออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ โดยมีค่าเฉลี่ยขณะพัก 10.4 ± 1.8 L/min หลังเสร็จสิ้น cool down มีค่าเฉลี่ย 35.6 ± 10.2 L/min ในการออกกำลังกายแบบ HIIE และมีค่าเฉลี่ยขณะพัก 10.1 ± 1.8 L/min หลังเสร็จสิ้น cool down มีค่าเฉลี่ย 31.7 ± 8.2 L/min ในการออกกำลังกายแบบ MICE พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย VE ขณะออกกำลังกายทั้ง 2 รูปแบบ 20 นาที ($p<0.001$) และหลังเสร็จสิ้น cool down ($p<0.05$)

ค่าเฉลี่ย VE ของ HIIE และ MICE มีค่าสูงสุดที่นาทีที่ 19 โดยมีค่า 63.1 ± 18.2 L/min และ 48.0 ± 11.2 L/min ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 15



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

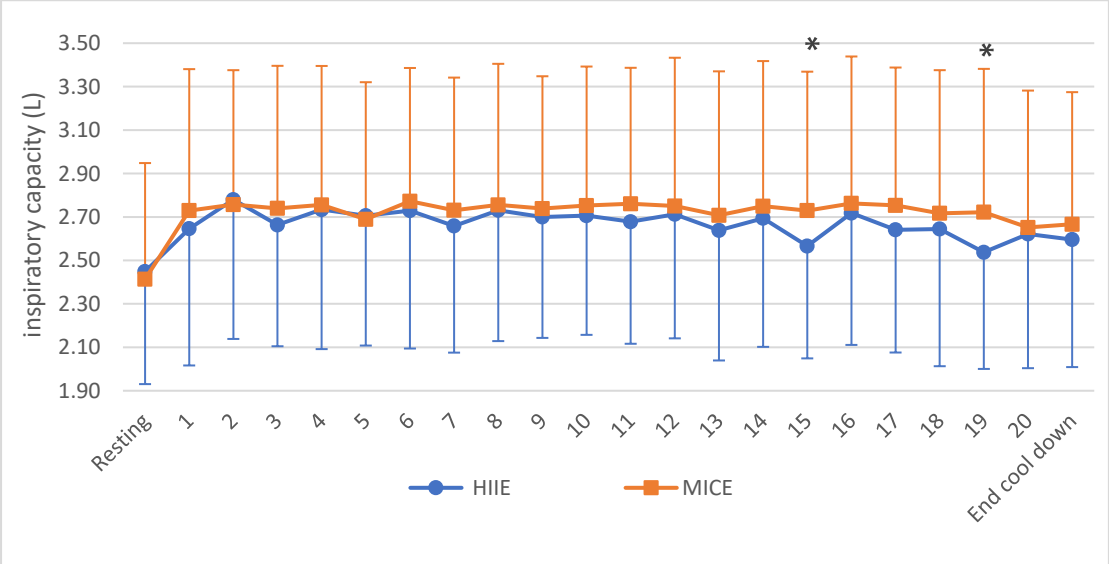
ภาพที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ VE ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE กับ MICE ($p<0.05$)

ค่า IC เฉลี่ยขณะพักมีค่า 2.4 ± 0.5 L หลังเสร็จสิ้น cool down มีค่าเฉลี่ย 2.6 ± 0.6 L ในการออกกำลังกายแบบ HIIE และมีค่าเฉลี่ยขณะพัก 2.4 ± 0.5 L หลังเสร็จสิ้น cool down มีค่าเฉลี่ย 2.7 ± 0.6 L ในการออกกำลังกายแบบ MICE ไม่พบความแตกต่างกันของค่า IC ขณะพักและหลังเสร็จสิ้นการ cool down ในการออกกำลังกายสองรูปแบบ แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบในการออกกำลังกายเดียวกัน (HIIE: $p<0.05$, MICE: $p=0.001$)

ขณะออกกำลังกาย IC ของ MICE มีแนวโน้มสูงกว่า HIIE พบความแตกต่างกันที่นาทีที่ 15 (MICE: 2.7 ± 0.6 L vs HIIE: 2.6 ± 0.5 L) และนาทีที่ 19 (MICE: 2.7 ± 0.7 L vs HIIE: 2.5 ± 0.5 L)

ค่าเฉลี่ย IC ของ HIIE และ MICE มีค่าสูงสุดที่นาทีที่ 2 และ 6 โดยมีค่า 2.8 ± 0.6 L และ 2.8 ± 0.6 L ตามลำดับ มีค่าต่ำสุดที่นาทีที่ 19 และ 20 โดยมีค่า 2.5 ± 0.5 L และ 2.7 ± 0.6 L ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ IC ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที (n=23)
(ตัดข้อมูลไม่ครบถ้วนออก เนื่องจากมี error ของการบันทึกข้อมูลของเครื่องมือ)

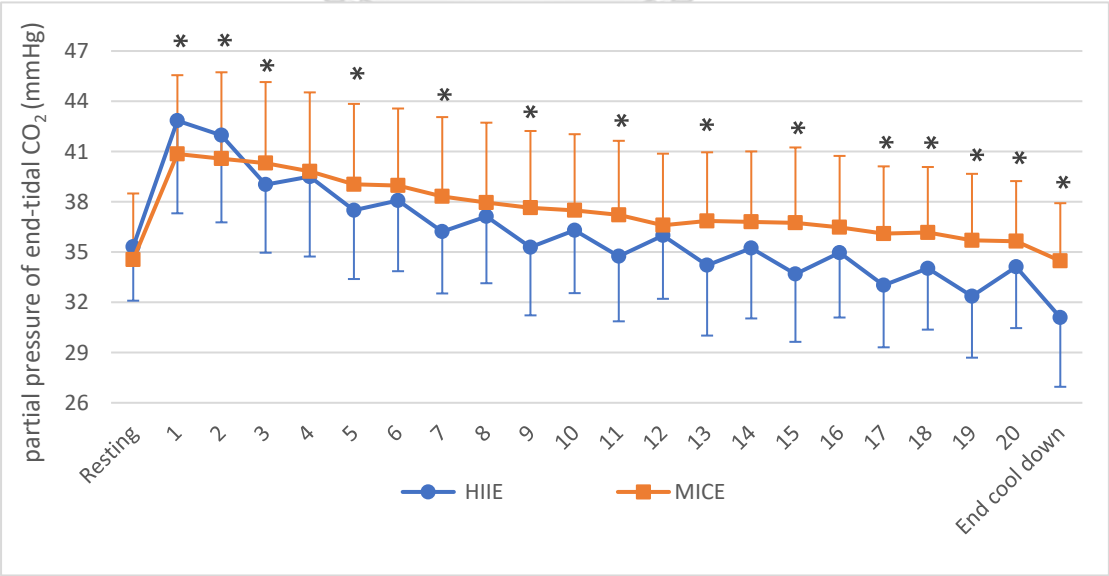
* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE กับ MICE ($p<0.05$)

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของแรงดันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออก ($PETCO_2$) ขณะพักและหลัง cooldown

	HIIE			MICE		
	Resting	End of cooldown	p-value	Resting	End of cooldown	p-value
$PETCO_2$ (mmHg)	35.3 ± 3.2	31.1 ± 4.1	<0.001	34.6 ± 4.0	34.5 ± 3.4	0.866

ขณะออกกำลังกายค่า $PETCO_2$ ของ HIIE และ MICE สูงขึ้นจากขณะพักในการออกกำลังกายนาทีแรก หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดย HIIE ลดลงต่ำกว่า MICE พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบระหว่างการออกกำลังกายแบบ HIIE (เฉพาะช่วง high intensityในช่วง 15 นาทีแรกและแตกต่างทั้งช่วง high intensity และ low intensity ในช่วง 4 นาทีสุดท้าย) และ MICE

ค่าเฉลี่ย $PETCO_2$ ของ HIIE และ MICE มีค่าสูงสุดที่นาทีที่ 1 โดยมีค่า 42.9 ± 5.5 mmHg และ 40.9 ± 4.7 mmHg ตามลำดับ มีค่าต่ำสุดหลังเสร็จสิ้น cool down โดยมีค่า 31.1 ± 4.1 mmHg และ 34.5 ± 3.4 mmHg ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ $PETCO_2$ ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE กับ MICE ($p<0.05$)

4.4 เปรียบเทียบค่า VO_2, VCO_2, VE และ workload ขณะออกกำลังกายเป็นเวลา 20 นาที

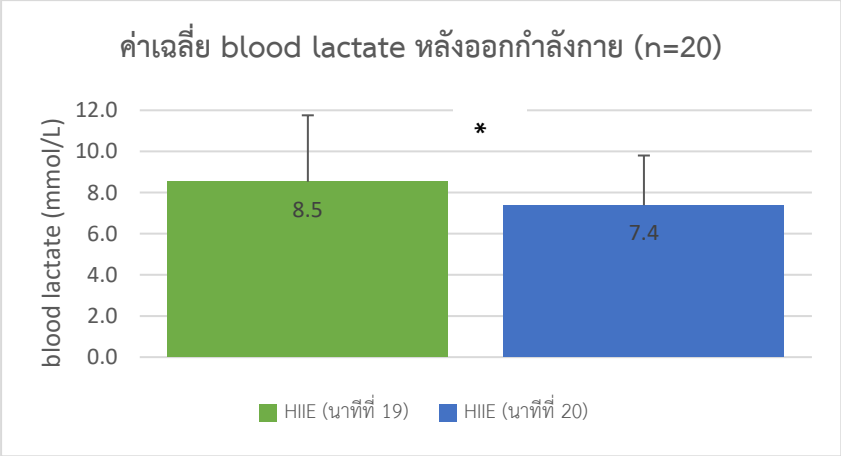
จากการเปรียบเทียบผลรวมพื้นที่ใต้กราฟของ VO_2, VCO_2, VE และ workload โดยใช้สถิติ Paired T-test ขณะออกกำลังกายทั้งสองแบบเป็นระยะเวลาทั้งหมด 20 นาที พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า VCO_2, VE และ workload แต่ไม่พบความแตกต่างกันของผลรวมพื้นที่ใต้กราฟค่า VO_2 ระหว่างการออกกำลังกายทั้งสองแบบ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของพื้นที่ใต้กราฟ

parameters	HIIE	MICE	p-value
Workload (watt-min)	1470.0 ± 396.9	1406.0 ± 379.3	<0.001
VO_2 (L-min)	27.9 ± 5.9	25.1 ± 5.7	0.30
VCO_2 (L-min)	30.2 ± 7.1	25.9 ± 6.3	<0.001
VE (L-min)	1018.1 ± 258.4	839.6 ± 170.7	<0.001

4.5 ค่า blood lactate หลังออกกำลังกาย

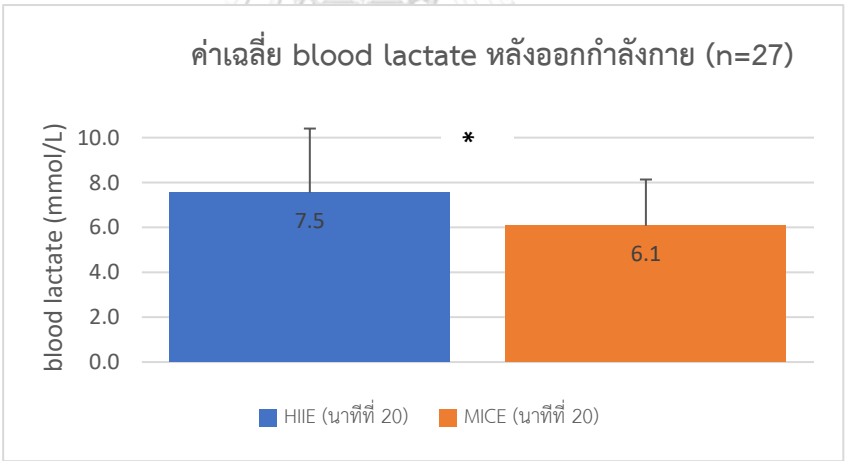
ผลการวัดค่าเฉลี่ย blood lactate ที่วัดหลังการออกกำลังกายแบบ HIIE นาทีที่ 19, สิ้นสุดการออกกำลังกายแบบ HIIE นาทีที่ 20 และสิ้นสุดการออกกำลังกายแบบ MICE นาทีที่ 20 เปรียบเทียบกันโดยใช้ สถิติ Paired T-test พบว่าค่าเฉลี่ย blood lactate ของ HIIE นาทีที่ 19 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ HIIE นาทีที่ 20 ($p<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย 8.5 ± 3.2 mmol/L และ 7.4 ± 2.4 mmol/L ตามลำดับ (n=20) ดังแสดงในภาพที่ 18 เช่นเดียวกับเมื่อเทียบค่า blood lactate ของ HIIE นาทีที่ 20 และ MICE นาทีที่ 20 (n=27) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย 7.5 ± 2.9 mmol/L และ 6.1 ± 2.1 mmol/L ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ blood lactate ที่เจาะใน HIIE นาทีที่ 19 และ HIIE นาทีที่ 20 (n=20)

(missing data ของค่า blood lactate นาทีที่ 19 ในอาสาสมัคร 7 คน)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p<0.05$)



ภาพที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ blood lactate ที่เจาะหลังสิ้นสุดการออกกำลังกายทั้งสองแบบ (n=27)

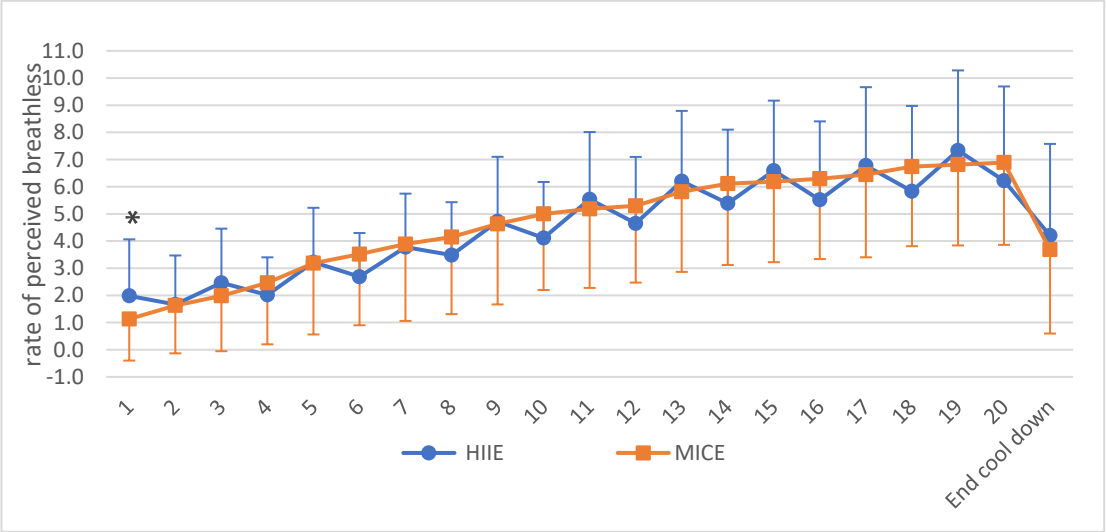
* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p<0.05$)

4.6 ระดับอาการหอบเหนื่อย (RPB) และระดับความเมื่อยของขา (RPE) ขณะออกกำลังกาย 2 รูปแบบ

จากการศึกษาระดับอาการหอบเหนื่อย (RPB) และระดับความเมื่อยของขา (RPE) ขณะออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบเป็นระยะเวลา 20 นาที เปรียบเทียบโดยใช้ repeated ANOVA พบว่าอาการหอบเหนื่อยและความเมื่อยของขามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ โดยค่าเฉลี่ย RPB ของ HIIE มีค่าสูงสุดที่นาทีที่ 19 (7.3 ± 3.0) ส่วน MICE มีค่าเฉลี่ย RPB สูงสุดที่นาทีที่ 20 (6.9 ± 3.0) แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างการออกกำลังกาย 2 แบบ ยกเว้นนาทีที่ 1 ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (HIIE: 2.0 ± 2.1 vs MICE : 1.1 ± 1.5, p=0.014) ดังแสดงในภาพที่ 20

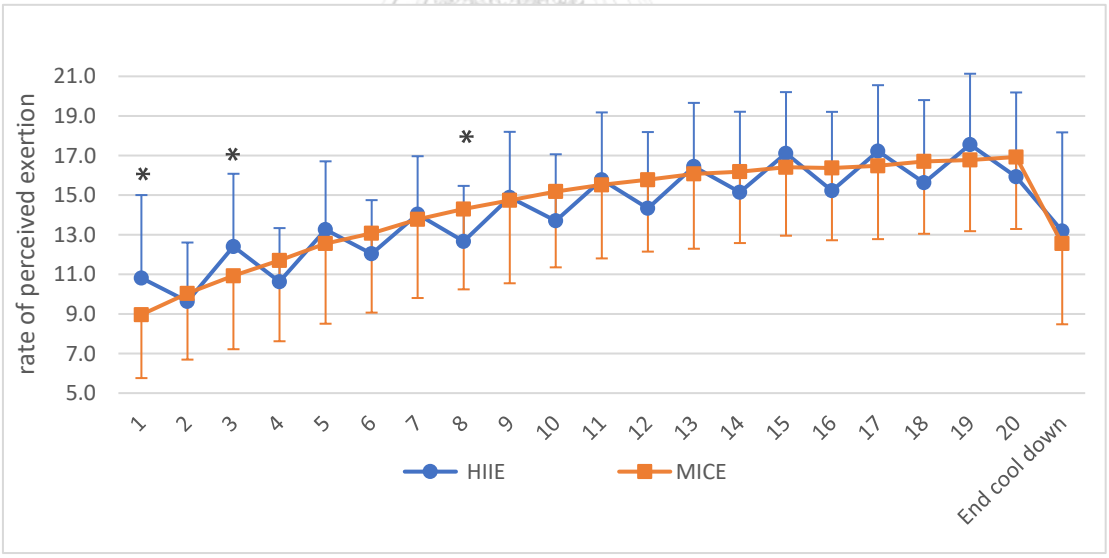
ในขณะที่ค่าเฉลี่ย RPE ของ HIIE มีค่าสูงสุดนาทีที่ 19 (17.6 ± 3.6) ส่วน MICE มีค่าเฉลี่ย RPE สูงสุดนาทีที่ 20 (16.9 ± 3.6) สอดคล้องกับค่า RPB ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในขณะออกกำลังกายแบบ HIIE และ MICE นาทีที่ 19 และ 20 ตามลำดับเหมือนกัน และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย RPE ระหว่างออกกำลังกายทั้งสองแบบที่นาทีที่ 1, 3 และ 8 ดังแสดงในภาพที่ 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ RPB ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE กับ MICE ($p<0.05$)



ภาพที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ของ RPE ขณะออกกำลังกายแบบ HIIE เปรียบเทียบกับแบบ MICE เป็นระยะเวลา 20 นาที

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม HIIE กับ MICE ($p<0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของระบบหายใจต่อการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา (HIIE) และความหนักระดับปานกลาง (MICE) ในผู้ที่มีภาวะอ้วน จากอาสาสมัคร 27 คน ซึ่งผ่านการคัดกรองตามเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าสู่งานวิจัยเป็นอย่างดี ผลการวิจัยพบว่า

1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจหลังออกกำลังกายลดลงทั้งในกลุ่ม HIIE และ MICE แต่ไม่พบความแตกต่างของความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจหลังออกกำลังกายระหว่างกลุ่ม
2. การตอบสนองของระบบหายใจ

2.1 ค่า VO_2 ของ HIIE ช่วง high intensity สูงกว่า MICE อย่างมีนัยสำคัญและค่า VCO_2 ของ HIIE สูงกว่า MICE ตลอดช่วงการออกกำลังกาย

2.2 ค่า RR และ VE มีแนวโน้มสูงขึ้นในขณะออกกำลังกายทั้งสองแบบโดยค่า RR ของ HIIE ช่วง high intensity สูงกว่า MICE อย่างมีนัยสำคัญ และค่า VE ของ HIIE สูงกว่า MICE ตลอดช่วงการออกกำลังกาย ส่วนค่า VT ของ HIIE มีค่าสูงกว่า MICE ขณะออกกำลังกาย

2.3 ค่า IC ของ HIIE น้อยกว่า MICE ในนาทีที่ 15 และ 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. Blood lactate หลังการออกกำลังกายแบบ HIIE มากกว่า MICE เช่นเดียวกับใน HIIE นาทีที่ 19 ที่มากกว่า HIIE นาทีที่ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจกับการออกกำลังกายในคนอ้วน

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเทียบก่อนและหลังออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบ พบว่าค่าแรงดันสูงสุดของการหายใจเข้า (MIP) และค่าแรงดันสูงสุดของการหายใจออก (MEP) หลังออกกำลังกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย

กล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจ (respiratory muscles) เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้เกิดกลไกการสูบลมเข้าออกจากปอด (ventilatory pump) โดยการสร้างแรงเพื่อให้ได้งานออกมา ทำให้เกิดการระบายอากาศ (ventilation) และแลกเปลี่ยนก๊าซได้อย่างเพียงพอ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจสามารถวัดโดยตรงได้จาก static pressures แบ่งเป็นแรงดันสูงสุดของการหายใจเข้า (MIP) และ

แรงดันสูงสุดของการหายใจออก (MEP) หรือสามารถอ้างอิงค่าได้จากการหาปริมาตรอากาศของการหายใจเข้าออกเต็มที่ในเวลา 1 นาที (MVV) (49) การที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจมีค่าลดลงอาจเกิดได้หลายปัจจัยอันเนื่องมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อกะบังลมมีการเปลี่ยนแปลงยาวขึ้น งานของการหายใจที่เพิ่มขึ้น กลไกของการหายใจที่ไม่ดีจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและการสะสมของไขมันในช่องท้องของคนอ้วน (50) โดยในคนที่มีน้ำหนักปกติพบว่า การออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูง (≥90% VO_{2max}) จะทำให้กะบังลมกล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจเข้าเกิดความล้า (51) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Taylor และคณะ (52) ที่พบว่าการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงจะทำให้กล้ามเนื้อหน้าท้องที่ช่วยในการหายใจออกเกิดอาการล้าได้เช่นเดียวกันในคนที่น้ำหนักปกติ ซึ่งผู้ที่มีภาวะอ้วนที่มีความเสี่ยงในการเกิดการล้าของกล้ามเนื้อหายใจขณะพักและขณะออกกำลังกายมากกว่ากลุ่มคนที่มีน้ำหนักปกติอยู่แล้ว (28) ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในคนอ้วนหลังออกกำลังกายจึงมีค่าลดลงจากขณะพักเพราะเกิดความล้าจากการใช้งานกล้ามเนื้อหายใจซ้ำๆขณะออกกำลังกายเมื่อเทียบกับก่อนการออกกำลังกาย

ส่วนการที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจหลังการออกกำลังกายระหว่างกลุ่มไม่พบความแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลงมากกว่าในการออกกำลังกายแบบ HIIE อาจเป็นผลมาจากการที่ความล้าของกล้ามเนื้อหายใจขณะออกกำลังกายนั้นเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อขณะออกแรงและความหนักของการออกกำลังกายนั้นๆ (53) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจหลังจบการ cool down ที่ความหนัก 15% PPO ไม่ได้ทำการวัดค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจทันทีหลังจบการออกกำลังกายแต่ละรูปแบบที่ความหนักสุดท้ายไม่เท่ากัน

นอกจากนั้นความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจที่ลดลงอาจมาจากผลของปริมาตรอากาศค้างปอดที่เพิ่มมากขึ้นขณะออกกำลังกาย (31, 32) ทำให้ความยาวของกล้ามเนื้อหายใจสั้นลงส่งผลต่อความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อ เป็นผลให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจลดลง (50) แต่เนื่องจากผลการศึกษาที่พบว่าค่า IC ขณะออกกำลังกายในนาทีที่ 20 และหลัง cool down เสร็จนั้นไม่มีความแตกต่างกัน อาจทำให้ผลของค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจที่วัดหลังออกกำลังกายเสร็จระหว่างการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบไม่แตกต่างกันไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 การตอบสนองของระบบหายใจกับการออกกำลังกายในคนอ้วน

จากการศึกษาพบว่าค่า VO_2 ของ HIIE ช่วง high intensity สูงกว่า MICE อย่างมีนัยสำคัญ และค่า VCO_2 ของ HIIE สูงกว่า MICE ตลอดช่วงการออกกำลังกาย 20 นาที ซึ่งสอดคล้องกับการ การศึกษาของ Ofir และ Dempsey (15, 54) ที่พบว่าขณะที่คนอ้วนออกกำลังกายเพิ่มความหนักมี metabolic demand มากขึ้นมีความต้องการใช้ออกซิเจน (VO_2) และผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามากขึ้น ซึ่งค่า VO_2 และ VCO_2 ใน HIIE มากกว่า MICE เนื่องจากใช้ intensity ที่สูงกว่า

จากการศึกษาพบว่าค่า RR และ VE มีแนวโน้มสูงขึ้นในขณะออกกำลังกายทั้งสองแบบโดยค่า RR ของ HIIE ช่วง high intensity สูงกว่า MICE อย่างมีนัยสำคัญ และค่า VE ของ HIIE สูงกว่า MICE ตลอดช่วงการออกกำลังกาย ส่วนค่า VT ของ HIIE มีค่าสูงกว่า MICE ขณะออกกำลังกาย

จากการที่ปริมาตรอากาศที่ใช้หายใจใน 1 นาทีหรือ minute ventilation (VE) เป็นผลคูณของอัตราการหายใจ (respiratory rate: RR) และปริมาตรการหายใจปกติ (tidal volume: VT) ทำให้ค่า VE ขณะออกกำลังกายเพิ่มสูงขึ้นจากขณะพักตามค่า RR และ VT ที่เพิ่มขึ้น โดยในช่วงแรกจะเป็นการเพิ่ม VT เป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อออกกำลังกายหนักขึ้นความลึกของการหายใจ (VT) จะเพิ่มขึ้นถึงระดับคงที่ แล้วเป็นการเพิ่ม RR มากกว่า VT เนื่องจากระยะเวลาในการหายใจเข้าและหายใจออกจะสั้นลง (55, 56) เป็นลักษณะการหายใจแบบเร็ว (rapid) และตื้น (shallow) สอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าค่า VE มีแนวโน้มสูงขึ้นขณะออกกำลังกายทั้งสองแบบและทำให้ค่าแรงดันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ในลมหายใจออก ($PETCO_2$) ของ HIIE มีแนวโน้มลงลดมากกว่า MICE เนื่องจาก HIIE มี VE ขณะออกกำลังกายที่มากกว่า จึงเหลือ CO_2 ที่วัดได้ในลมหายใจออกน้อยกว่าการออกกำลังกายแบบ MICE โดยมีค่า RR ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดการออกกำลังกาย แต่ค่า VT เมื่อเพิ่มขึ้นจาก warm up แล้วค่อนข้างคงที่ตลอดการออกกำลังกายจนถึงนาทีที่ 17 ที่เริ่มมีค่าลดลงอย่างมีนัยนัยสำคัญเมื่อเทียบในการออกกำลังกายรูปแบบเดียวกัน ($p<0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษาพบว่าค่า IC ของ HIIE น้อยกว่า MICE ในนาทีที่ 15 และ 19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งนาทีที่ 15 และ 19 เป็นการปั่นจักรยานที่อยู่ในช่วง high intensity ค่า IC มีค่าผกผันกับ EELV หรือปริมาตรอากาศค้างปอด (41) ค่า IC ที่น้อยลงจึงบ่งบอกถึงปริมาตรอากาศค้างปอดที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้การวัดค่า IC ในการทดสอบออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบไม่มี carryover effect ระหว่างกัน ($p=0.587$) กล่าวคือผลจากการวัดค่า IC ขณะออกกำลังกายแบบแรกที่สุ่มลำดับเข้า ไม่มีผลต่อการวัดค่า IC ขณะออกกำลังกายที่สุ่มเข้าในลำดับถัดไป ดังนั้นระยะห่าง 7 วันที่กำหนดระหว่างการทดสอบออกกำลังกาย 2 ครั้ง มี washout period ที่เพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ

Ofir และคณะ (15) ที่พบว่าผู้หญิงอ้วนมีการเพิ่มของ EELV ขณะออกกำลังกายเพิ่มความหนัก โดยมีค่า IC ที่ peak exercise ลดลง 0.39 L จากค่า IC ขณะพัก ซึ่งการเกิด EELV อาจทำให้จำกัดการเพิ่มของ VT และลดความสามารถของกล้ามเนื้อหายใจในการออกแรงโดยการลดความยาวของกล้ามเนื้อลงและนำไปสู่การรู้สึกหอบเหนื่อยได้ (breathlessness) (57, 58)

5.3 Blood lactate กับการออกกำลังกายในคนอ้วน

จากผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ย blood lactate ของ HIIE นาทีที่ 19 (high intensity) สูงกว่า HIIE นาทีที่ 20 (low intensity) โดยมีค่าเฉลี่ย 8.5 ± 3.2 mmol/L และ 7.4 ± 2.4 mmol/L เช่นเดียวกับค่า blood lactate ของ HIIE นาทีที่ 20 สูงกว่า MICE นาทีที่ 20 ($p<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ย 7.5 ± 2.9 mmol/L และ 6.1 ± 2.1 mmol/L ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความหนักของการออกกำลังกาย (intensity) มีผลต่อค่า blood lactate ที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Deniel และคณะ (59) ที่ทำการศึกษาการตอบสนองของ inflammatory profile ในการออกกำลังกายแบบ HIIE และ MICE ในคนอ้วน พบว่าในการออกกำลังกายแบบ HIIE มีค่า blood lactate สูงกว่าการออกกำลังกายแบบ MICE ($p<0.01$) อีกทั้งจะเห็นว่าในการออกกำลังกายแบบ HIIE ในช่วง high intensity (90%PPO) ค่า blood lactate มีค่า 8.5 mmol/L ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูงถ้าเทียบกับค่า blood lactate ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการทดสอบ CPET ซึ่งต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 8 mmol/L (60) ถึงแม้ค่า blood lactate ของการออกกำลังกายแบบ HIIE ในช่วง low intensity (15%PPO) จะลดลงมาที่ 7.4 mmol/L แต่ก็ยังสูงกว่าค่า blood lactate ในการออกกำลังกายแบบ MICE (50%PPO) อยู่ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การออกกำลังกายทั้งสองแบบมีผลทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในคนอ้วนลดลงหลังออกกำลังกาย แต่การออกกำลังกายแบบ HIIE ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจลดลงจากการที่มีปริมาตรอากาศค้างปอดในช่วงท้ายของการออกกำลังกายมากกว่าการออกกำลังกายแบบ MICE ดังนั้นในการเริ่มออกกำลังกายใหม่ๆ ในคนอ้วนจึงควรเริ่มออกกำลังกายแบบ MICE ก่อน เมื่อร่างกายมีการปรับตัวแล้ว จึงปรับการออกกำลังกายมาเป็นแบบ HIIE ซึ่งมี intensity ที่สูงกว่าและมี respiratory demand ที่มากกว่า

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

โปรแกรมการออกกำลังกายความหนักสูงสลับเบา (HIIE) ของงานวิจัยนี้ใช้ความหนักสูง 90% PPO 1 นาทีสลับกับความหนักเบาที่ 15% PPO 1 นาที (1:1) ผลที่ได้อาจแตกต่างกันหากนำไปใช้กับโปรแกรมรูปแบบอื่นของ HIIE เนื่องจากสามารถปรับรูปแบบความหนักเบาและระยะเวลาในแต่ละช่วงได้หลากหลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

1. Organization GWH. Noncommunicable diseases country profiles 2018. 2018.

2. คณะกรรมการอำนวยการจัดทำแผนพัฒนาสุขภาพแห่งชาติ. แผนพัฒนาสุขภาพแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564). กระทรวงสาธารณสุข. 2559.

3. Parameswaran K, Todd, D.C., Soth, M. Altered Respiratory Physiology in Obesity. Canadian Respiratory Journal. 2006; 13:203–10.

4. Dixon AE, Peters U. The effect of obesity on lung function. Expert Rev Respir Med. 2018;12(9):755-67.

5. Beuther DA, Sutherland ER. Overweight, obesity, and incident asthma: a meta-analysis of prospective epidemiologic studies. Am J Respir Crit Care Med. 2007;175(7):661-6.

6. Medicine ACoS. ACSM's Guidelines for Execise Testing and Prescription. China: Wolters Kl. 2016.

7. Maillard F, Pereira B, Boisseau N. Effect of High-Intensity Interval Training on Total, Abdominal and Visceral Fat Mass: A Meta-Analysis. Sports Medicine. 2017;48(2):269-88.

8. Choi J, Lee M, Lee JK, Kang D, Choi JY. Correlates associated with participation in physical activity among adults: a systematic review of reviews and update. BMC Public Health. 2017;17(1):356.

9. Chlif M, Temfemo A, Keochkerian D, Choquet D, Chaouachi A, Ahmaidi S. Advanced Mechanical Ventilatory Constraints During Incremental Exercise in Class III Obese Male Subjects. Respir Care. 2015;60(4):549-60.

10. Gibson N, Johnston K, Bear N, Stick S, Logie K, Hall GL. Expiratory flow limitation and breathing strategies in overweight adolescents during submaximal exercise. Int J Obes (Lond). 2014;38(1):22-6.

11. T.G. Babb DK, M. Meador,et al. Ventilatory response of moderately obese women to submaximal exercise. International Journal of Obesity. 1991;15:59-65.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

12. Jing LI SL, Ritchie J, Cynthia K, et al. Influence of body fat distribution on oxygen uptake and pulmonary performance in morbidly obese females during exercise. Respirology. 2001;6:9-13.

13. T.G. Babb DSD, B.L. Wyrick, and P.P. Gardner. Mild obesity does not limit change in end-expiratory lung volume during cycling in young women. J Appl Physiol 2002;92:2483-90.

14. Salvadori A, Fanari P, Tovaglieri I, Giacomotti E, Nibbio F, Belardi F, et al. Ventilation and its control during incremental exercise in obesity. Respiration. 2008;75(1):26-33.

15. Ofir D, Laveneziana P, Webb KA, O'Donnell DE. Ventilatory and perceptual responses to cycle exercise in obese women. J Appl Physiol (1985). 2007;102(6):2217-26.

16. Chlif M, Chaouachi A, Ahmaidi S. Effect of Aerobic Exercise Training on Ventilatory Efficiency and Respiratory Drive in Obese Subjects. Respiratory Care. 2017;62(7):936-46.

17. Gerosa-Neto J, Panissa VLG, Monteiro PA, Inoue DS, Ribeiro JPJ, Figueiredo C, et al. High- or moderate-intensity training promotes change in cardiorespiratory fitness, but not visceral fat, in obese men: A randomised trial of equal energy expenditure exercise. Respiratory Physiology & Neurobiology. 2019;266:150-5.

18. Dupuit M, Boscaro A, Bonnet A, Bouillon P, Bruno P, Morel C, et al. Acute metabolic responses after continuous or interval exercise in post-menopausal women with overweight or obesity. Scand J Med Sci Sports. 2020.

19. Panissa VLG, Fukuda DH, Staibano V, Marques M, Franchini E. Magnitude and duration of excess of post-exercise oxygen consumption between high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise: A systematic review. Obes Rev. 2021;22(1):e13099.

20. Oliveira BRR, Santos TM, Kilpatrick M, Pires FO, Deslandes AC. Affective and enjoyment responses in high intensity interval training and continuous training: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2018;13(6):e0197124.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

21. Keating SE, Johnson NA, Mielke GI, Coombes JS. A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. Obes Rev. 2017;18(8):943-64.

22. Wewege M, van den Berg R, Ward RE, Keech A. The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. Obes Rev. 2017;18(6):635-46.

23. Su L, Fu J, Sun S, Zhao G, Cheng W, Dou C, et al. Effects of HIIT and MICT on cardiovascular risk factors in adults with overweight and/or obesity: A meta-analysis. PLoS One. 2019;14(1):e0210644.

24. Huxley R, Mendis S, Zheleznyakov E, Reddy S, Chan J. Body mass index, waist circumference and waist:hip ratio as predictors of cardiovascular risk--a review of the literature. Eur J Clin Nutr. 2010;64(1):16-22.

25. Collins LC, Hoberty PD, Walker JF, Fletcher EC, Peiris AN. The effect of body fat distribution on pulmonary function tests. Chest. 1995;107(5):1298-302.

26. Emel Ceylan AComı, Atila Akkoc¸lu, Cengiz Ceylan,et al. The Effects of Body Fat Distribution on Pulmonary Function Tests in the Overweight and Obese. Southern Medical Association. 2009;102(1):31-5.

27. มหาวิทยาลัยมหิดล คภค. สรีรวิทยา. 5 ed: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด; 2557.

28. Chlif M, Keochkerian D, Feki Y, Vaidie A, Choquet D, Ahmaidi S. Inspiratory muscle activity during incremental exercise in obese men. Int J Obes (Lond). 2007;31(9):1456-63.

29. Jones RL, Nzekwu MM. The effects of body mass index on lung volumes. Chest. 2006;130(3):827-33.

30. Zerah F, Harf A, Perlemuter L, Lorino H, Lorino AM, Atlan G. Effects of obesity on respiratory resistance. Chest. 1993;103(5):1470-6.

31. DeLorey DS, Wyrick BL, Babb TG. Mild-to-moderate obesity: implications for respiratory mechanics at rest and during exercise in young men. Int J Obes (Lond). 2005;29(9):1039-47.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

32. TG Babb DD, BL Wyrick, PP Gardner. Mild obesity does not limit change in end-expiratory lung volume during cycling in young women. J Appl Physiol. 2002;92:2483-90.

33. Thomakos P, Geladas N, Paschalis V, Giannopoulou I, Varouhakis G, Behrakis P. Interval exercise induces milder respiratory responses compared to continuous exercise. J Sports Sci. 2020;38(5):576-81.

34. Shore SA. Environmental perturbations: Obesity. Compr Physiol. 2011;1(1):263-82.

35. Lotti P, Gigliotti F, Tesi F, Stendardi L, Grazzini M, Duranti R, et al. Respiratory muscles and dyspnea in obese nonsmoking subjects. Lung. 2005;183(5):311-23.

36. O'Donnell DE CL, Bertley JC, Webb KA. Qualitative aspects of exertional breathlessness in chronic airflow limitation: pathophysiologic mechanisms. Am J Respir Crit Care Med. 1997;155:109–15.

37. Sinderby C SJ, Beck J, Kaminski D, et al. Diaphragm activation during exercise in chronic obstructive pulmonary disease. Am J Respir Crit Care Med 2001;163:1637–41.

38. O'Donnell DE, D'Arsigny C, Fitzpatrick M, Webb KA. Exercise hypercapnia in advanced chronic obstructive pulmonary disease: the role of lung hyperinflation. Am J Respir Crit Care Med. 2002;166(5):663-8.

39. Chlif M, Keochkerian D, Mourlhon C, Choquet D, Ahmaidi S. Noninvasive assessment of the tension-time index of inspiratory muscles at rest in obese male subjects. Int J Obes (Lond). 2005;29(12):1478-83.

40. DG Stubbing LP, John LC Morse, NL Jones. Pulmonary mechanics during exercise in normal males. J Appl Physiol. 1980;49(3):506-10.

41. Yan S, Kaminski D, Sliwinski P. Reliability of inspiratory capacity for estimating end-expiratory lung volume changes during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Am J Respir Crit Care Med. 1997;156(1):55-9.

42. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation. 2013;128(8):873-934.

43. American Thoracic Society/European Respiratory S. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. Am J Respir Crit Care Med. 2002;166(4):518-624.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

44. Levett D, Jack S, Swart M, Carlisle J, Wilson J, Snowden C, et al. Perioperative cardiopulmonary exercise testing (CPET): consensus clinical guidelines on indications, organization, conduct, and physiological interpretation. Br J Anaesth. 2018;120(3):484-500.

45. Little JP, Jung ME, Wright AE, Wright W, Manders RJ. Effects of high-intensity interval exercise versus continuous moderate-intensity exercise on postprandial glycemic control assessed by continuous glucose monitoring in obese adults. Appl Physiol Nutr Metab. 2014;39(7):835-41.

46. Ram A, Marcos L, Jones MD, Morey R, Hakansson S, Clark T, et al. The effect of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on aerobic fitness and body composition in males with overweight or obesity: A randomized trial. Obesity Medicine. 2020;17.

47. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. Med Sci Sports Exerc. 2011;43(7):1334-59.

48. GA B. Psychophysical bases of perceived exertion. Medicine and science in sports and exercise. 1982;14(5):377-81.

49. Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. Braz J Med Biol Res. 1999;32:719-27.

50. Arena R, Cahalin LP. Evaluation of cardiorespiratory fitness and respiratory muscle function in the obese population. Prog Cardiovasc Dis. 2014;56(4):457-64.

51. Johnson BD, Babcock MA, Suman OE, Dempsey JA. Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. The Journal of physiology. 1993;460(1):385-405.

52. Taylor BJ, How SC, Romer LM. Exercise-induced abdominal muscle fatigue in healthy humans. J Appl Physiol. 2006;100(5):1554-62.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

53. Johnson B, Aaron EA, Babcock MA, Dempsey JA. Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance. Med Sci Sports Exerc. 1996;28(9):1129-37.

54. Dempsey J, Reddan W, Rankin J, Balke B. Alveolar-arterial gas exchange during muscular work in obesity. J Appl Physiol. 1966;21(6):1807-14.

55. ปาละวิวัชน์ ชเ. สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย: กรุงเทพฯ : ธรรกมลการพิมพ์; 2536.

56. Sakamoto S, Ishikawa K, Senda S, Nakajima S, Matsuo H. The effect of obesity on ventilatory response and anaerobic threshold during exercise. J Med Syst. 1993;17(3):227-31.

57. O'Donnell DE, Bain DJ, Webb KA. Factors contributing to relief of exertional breathlessness during hyperoxia in chronic airflow limitation. Am J Respir Crit Care Med. 1997;155(2):530-5.

58. O'Donnell DE, Webb KA. Exertional breathlessness in patients with chronic airflow limitation. The role of lung hyperinflation. Am Rev Respir Dis. 1993;148(5):1351-7.

59. de Souza DC, Matos VA, Dos Santos VO, Medeiros IF, Marinho CS, Nascimento PR, et al. Effects of high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise on inflammatory, leptin, IgA, and lipid peroxidation responses in obese males. Front Physiol. 2018;9:567.

60. Stevens S, Snell C, Stevens J, Keller B, VanNess JM. Cardiopulmonary exercise test methodology for assessing exertion intolerance in myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome. Frontiers in Pediatrics. 2018;6:242.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางต่อการตอบสนองของระบบหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วน

ผู้สนับสนุนการวิจัย อยู่ระหว่างเตรียมการขอทุนรัชดาภิเษกสมโภช

ผู้วิจัยหลัก

ชื่อ นางสาวอรนรี เชาว์นะรัง

ที่อยู่ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

เบอร์โทรศัพท์ 089-9953688

ผู้วิจัยร่วม

ชื่อ รองศาสตราจารย์ ดร.แพทย์หญิงอรอนงค์ กุละพัฒน์

ที่อยู่ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

เบอร์โทรศัพท์ 089-641-0331

ผู้วิจัยร่วม

ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเศษ แพทย์หญิงวรวรรณ ศิริชนะ

ที่อยู่ที่ ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

เบอร์โทรศัพท์ 02-256-4000 ต่อ 80741

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เรียน ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เนื่องจากท่านเป็นคนอ้วน อายุระหว่าง 18-40 ปีก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการศึกษาวิจัยดังกล่าว ขอให้ท่านอ่านเอกสารฉบับนี้อย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียดของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เพิ่มเติม กรุณาซักถามจากทีมงานของแพทย์ผู้ทำวิจัย หรือแพทย์ผู้ร่วมทำวิจัยซึ่งจะเป็นผู้สามารถตอบคำถามและให้ความกระจ่างแก่ท่านได้

ท่านสามารถขอคำแนะนำในการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จากครอบครัว เพื่อน หรือแพทย์ประจำตัวของท่านได้ ท่านมีเวลาอย่างเพียงพอในการตัดสินใจโดยอิสระ ถ้าท่านตัดสินใจแล้วว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้

เหตุผลความเป็นมา

ภาวะอ้วนเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจและโรคหลอดเลือดสมอง โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน เกิดความผิดปกติของระบบเมเทบอลิซึม นอกจากนั้นการสะสมของไขมันที่เพิ่มขึ้นจากภาวะอ้วนยังส่งผลกระทบต่อระบบหายใจ ทำให้กลศาสตร์การหายใจ สรีรวิทยาของการหายใจเปลี่ยนแปลงไป สมรรถภาพปอดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจลดลง

การเพิ่มกิจกรรมทางกายหรือการออกกำลังกายเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยควบคุมน้ำหนักได้ วิทยาลัยแพทย์เวชศาสตร์การกีฬาอเมริกันได้แนะนำให้ผู้ที่มีน้ำหนักเกินหรือมีภาวะอ้วนออกกำลังกายแบบแอโรบิกความหนักระดับปานกลาง 40-59% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีต่อวัน นอกจากนั้นการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบายังเป็นการออกการกำลังกายอีกรูปแบบหนึ่งที่มีรายงานว่าช่วยควบคุมน้ำหนักได้ ช่วยลดระยะเวลาในการออกกำลังกายได้ น่าจะเป็นการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับสภาพสังคมในปัจจุบันที่ผู้คนมีเวลาไม่เพียงพอในการทำกิจกรรมทางกายและการออกกำลังกาย

ในปัจจุบันแม้ว่าจะมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายต่อการตอบสนองของการหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วนหลายการศึกษา แต่ยังขาดการศึกษาที่เปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบต่อการตอบสนองของระบบหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วน อีกทั้งงานวิจัยที่ทำการศึกษาการออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับในผู้ที่มีภาวะอ้วน มักมุ่งความสนใจศึกษาในด้านการเพิ่มสมรรถภาพของร่างกายและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด แต่ยังขาดการศึกษาในด้านการทำงานของปอดในขณะออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับเบา การศึกษาครั้งนี้จึงสนใจศึกษาการตอบสนองของระบบหายใจขณะออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายความหนักระดับสูงสลับเบาและการออกกำลังกายความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วน โดยคาดหวังว่าผลจากการศึกษาจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและลดความเสี่ยงในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาในผู้ที่มีภาวะอ้วนต่อไปได้ในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์หลักจากการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาการตอบสนองของระบบหายใจต่อการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วน

วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

หลังจากท่านให้ความยินยอมที่จะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะขอให้ท่านกรอกแบบสอบถามเพื่อคัดกรองโดยผู้ทำวิจัย เพื่อสอบถามข้อมูลทั่วไป ประวัติสุขภาพและการตรวจคัดกรองสุขภาพทั้งอดีตและปัจจุบัน และผู้วิจัยจะขอตรวจ ความดันโลหิต คลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ วัดองค์ประกอบของร่างกาย และเจาะเลือดปลายนิ้วเพื่อดูระดับน้ำตาลในเลือด เพื่อคัดกรองว่าท่านมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะเข้าร่วมในการ

วิจัย หากท่านมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเลือกของโครงการ ในขั้นตอนถัดไปท่านจะได้รับการอธิบายอย่างละเอียดเกี่ยวกับวิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ พร้อมทั้งทำความคุ้นเคยกับการทดสอบสมรรถภาพปอด และการใช้จักรยานวัดงาน โดยตลอดระยะเวลาที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัยท่านจะมาพบผู้วิจัยหรือผู้ร่วมทำวิจัยทั้งสิ้น 3 ครั้ง โดยมีจำนวนอาสาสมัครเป็นผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งสิ้น 29 คน

<u>การเตรียมตัวของผู้เข้าร่วมงานวิจัย</u> ท่านจะได้รับการขอให้

1. งดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์อย่างน้อย 48 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
2. งดเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนอย่างน้อย 8 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ
3. งดกิจกรรมหรือการออกกำลังกายหนัก (vigorous activity) อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

<u>ครั้งที่ 1 เพื่อตรวจคัดกรองและทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอด</u>

1. ท่านจะได้รับการขอให้ปฏิบัติตามการเตรียมตัวของผู้เข้าร่วมงานวิจัย ดังที่กล่าวในหัวข้อการเตรียมตัวของผู้เข้าร่วมงานวิจัย

2. เมื่อท่านมาถึงห้องปฏิบัติการจะให้ท่านนั่งพัก และตอบแบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง แล้วเริ่มวัดค่าต่างๆ ดังนี้

   a. วัดความดันโลหิต

   b. วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจและอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก

   c. วัดองค์ประกอบร่างกาย

   ใช้เวลาประมาณ 30 นาที

3. เจาะเลือดปลายนิ้วเพื่อดูระดับน้ำตาลในเลือด

4. ท่านจะได้รับการวัดการตรวจสมรรถภาพปอด (Spirometry test)

4. ท่านจะได้รับการวัดค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจก่อนและหลังการทดสอบการออกกำลังกาย โดยการวัดค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจหลังการทดสอบการออกกำลังกาย จะวัดทันทีหลังการคลายอุ่น 2 นาทีเสร็จสิ้น

5. ทำการทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอด โดยให้ปั่นจักรยานอบอุ่นร่างกาย 3 นาที ไม่ใส่น้ำหนักถ่วง หลังจากนั้นเพิ่มความหนักทุกๆ 1 นาทีตามสูตรที่คำนวณได้ ตลอดการทดสอบให้ปั่นจักรยานด้วยรอบปั่นที่คงที่ 65-75 รอบต่อนาที การทดสอบจะสิ้นสุดเมื่อผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่สามารถคงรอบปั่นไว้ได้ หรือเหนื่อยจนไม่สามารถปั่นต่อได้ หรือมีความผิดปกติของคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ หรือของการตอบสนองของระบบหายใจ หรือหัวใจหลอดเลือด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. เปิดโอกาสให้ท่านซักถามข้อสงสัยต่างๆ

รวมเวลาทั้งหมดประมาณ 2 ชั่วโมง

หมายเหตุ เมื่อท่านคัดกรองแล้วท่านจะได้ทราบผลทันที และเมื่อท่านผ่านการคัดกรองแล้วอย่างน้อย 7 วัน จึงจะเริ่มเข้ารับการทดสอบการออกกำลังกายทั้ง 2 ชนิดของโครงการ

<u>ครั้งที่ 2-3 วันทดสอบการออกกำลังกาย</u>

1. ท่านจะได้รับการขอให้ปฏิบัติตามการเตรียมตัวของผู้เข้าร่วมงานวิจัย ดังที่กล่าวในหัวข้อการเตรียมตัวของผู้เข้าร่วมงานวิจัย

2. ท่านจะได้รับการวัดค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจก่อนและหลังการทดสอบการออกกำลังกาย โดยการวัดค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจหลังการทดสอบการออกกำลังกาย จะวัดทันทีหลังการคลายอุ่น 2 นาทีเสร็จสิ้น

3. ขั้นตอนการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายโดยปั่นจักรยานวัดงานไม่ใส่น้ำหนักถ่วงเป็นระยะเวลา 3 นาที เมื่อครบระยะเวลา ผู้วิจัยจะเพิ่มความหนักการออกกำลังกายให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนักสูงประมาณ 90% ความหนักสูงสุดที่ทำได้ เป็นระยะเวลา 1 นาที หลังจากนั้นปั่นจักรยานที่ความหนักเบา (Active recovery) 15% ความหนักสูงสุดที่ทำได้ เป็นระยะเวลา 1 นาที ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะทำการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงสลับเบาซ้ำกันทั้งหมด 10 ครั้ง รวมระยะเวลา 20 นาที แล้วจึงทำการคลายอุ่นที่ความหนักเบา 15% ความหนักสูงสุดที่ทำได้ เป็นระยะเวลา 2 นาทีก่อนจบการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบา

4. ขั้นตอนการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายโดยปั่นจักรยานวัดงานไม่ใส่น้ำหนักถ่วงเป็นระยะเวลา 3 นาที เมื่อครบระยะเวลา ผู้วิจัยจะเพิ่มความหนักการออกกำลังกายให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนักระดับปานกลาง ประมาณ 50% ความหนักสูงสุดที่ทำได้ เป็นระยะเวลา 20 นาที แล้วจึงทำการคลายอุ่นที่ความหนักเบา 15% ความหนักสูงสุดที่ทำได้ เป็นระยะเวลา 2 นาทีก่อนจบการทดสอบการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปาน

ใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 2 ชั่วโมง ต่อครั้งที่ทำการทดสอบ

หมายเหตุ ในการทดสอบการออกกำลังกายครั้งที่ 2 และ 3 มีระยะเวลาห่างกันอย่างน้อย 7 วัน และท่านอยู่ร่วมโครงการวิจัย ทั้งหมด 3 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความรับผิดชอบของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ ผู้ทำวิจัยใคร่ขอความความร่วมมือจากท่าน โดยจะขอให้ท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัยอย่างเคร่งครัด รวมทั้งแจ้งอาการผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับท่านระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัยให้ผู้ทำวิจัยได้รับทราบ

ความเสี่ยงที่อาจได้รับ

ท่านอาจได้รับความเสี่ยงจากการเจาะเลือดปลายนิ้ว อาจเกิดการติดเชื้อแม้มีโอกาสน้อย แต่จะลดความเสี่ยงโดยทำการเจาะเลือดด้วยเทคนิคปลอดเชื้อตามมาตรฐาน

ท่านอาจมีอาการปวดเมื่อยขาในขณะทดสอบและหลังจากการทดสอบ และท่านอาจมีความเสี่ยงจากการออกกำลังกาย มีอาการไม่พึงประสงค์ เช่น หน้ามืด วิงเวียน เป็นลม ใจสั่น เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการตรวจคัดกรองตามเกณฑ์การคัดออกตามที่ระบุไว้แล้ว ผู้ทำวิจัยจะให้คำแนะนำ และวิธีแก้ไขอย่างชัดเจนและอยู่ภายใต้การดูแลจากผู้ทำวิจัยอย่างใกล้ชิด

กรุณาแจ้งผู้ทำวิจัยในกรณีที่พบอาการดังกล่าวข้างต้น หรืออาการอื่นๆ ที่พบร่วมด้วย ระหว่างที่อยู่ในโครงการวิจัย ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสุขภาพของท่าน ขอให้ท่านรายงานให้ผู้ทำวิจัยทราบโดยเร็ว

ความเสี่ยงที่ไม่ทราบแน่นอน

ท่านอาจเกิดอาการข้างเคียง หรือความไม่สบาย นอกเหนือจากที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้ ซึ่งอาการข้างเคียงเหล่านี้เป็นอาการที่ไม่เคยพบมาก่อน เพื่อความปลอดภัยของท่าน ควรแจ้งผู้ทำวิจัยให้ทราบทันทีเมื่อเกิดความผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น

หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจได้รับจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านสามารถสอบถามจากผู้ทำวิจัยได้ตลอดเวลา

หากมีการค้นพบข้อมูลใหม่ๆ ที่อาจมีผลต่อความปลอดภัยของท่านในระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัย ผู้ทำวิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบทันที เพื่อให้ท่านตัดสินใจว่าจะอยู่ในโครงการวิจัยต่อไปหรือจะขอถอนตัวออกจากการวิจัย

การพบแพทย์นอกตารางนัดหมายในกรณีที่เกิดอาการข้างเคียง

หากมีอาการข้างเคียงใดๆ เกิดขึ้นกับท่าน ขอให้ท่านรีบมาพบแพทย์ที่สถานพยาบาลทันที ถึงแม้ว่าจะอยู่นอกตารางการนัดหมาย เพื่อแพทย์จะได้ประเมินอาการข้างเคียงของท่าน และให้การรักษาที่เหมาะสมทันที หากอาการดังกล่าวเป็นผลจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะไม่เสียค่าใช้จ่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประโยชน์ที่อาจได้รับ

ท่านอาจไม่ได้รับประโยชน์ใดๆ จากการเข้าร่วมการวิจัยนี้ อย่างไรก็ดีท่านจะได้ทราบผลการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจระดับระดับน้ำตาลในเลือดจากการตรวจคัดกรอง การเข้าร่วมงานวิจัยนี้จะทำให้ได้องค์ความรู้ที่อาจเป็นประโยชน์ต่อการดูแลและป้องกันความเสี่ยงที่เกี่ยวกับการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางในผู้ที่มีภาวะอ้วนต่อไป

ข้อปฏิบัติของท่านขณะที่ร่วมในโครงการวิจัย

ขอให้ท่านปฏิบัติดังนี้

- ขอให้ท่านให้ข้อมูลทางการแพทย์ของท่านทั้งในอดีต และปัจจุบัน แก่ผู้ทำวิจัยด้วยความสัตย์จริง
- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างที่ท่านร่วมในโครงการวิจัย

อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัยและความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัย

หากพบอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการวิจัย ท่านจะได้รับการรักษาอย่างเหมาะสมทันที หากท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของทีมผู้ทำวิจัยแล้ว ผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัยยินดีจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของท่าน และการลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี

ในกรณีที่ท่านได้รับอันตรายใด ๆ หรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ท่านสามารถติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ นางสาวอรนรี เชาว์นะรัง เบอร์โทรศัพท์ 089-9953688 และ รองศาสตราจารย์ ดร.แพทย์หญิงอรอนงค์ กุละพัฒน์ เบอร์โทรศัพท์ 089-641-0331 ได้ตลอด 24 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าใช้จ่ายของท่านในการเข้าร่วมการวิจัย

ท่านไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ ในการเข้าร่วมโครงการวิจัย ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย เช่น ค่าตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอด ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบทั้งหมด

ค่าตอบแทนสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัย

ท่านจะไม่ได้รับเงินค่าตอบแทนจากการเข้าร่วมในการวิจัย แต่ท่านจะได้รับค่าเดินทางและเงินชดเชยการสูญเสียรายได้ หรือความไม่สะดวก ไม่สบาย ในการมาเข้าร่วมการวิจัย โดยอาสาสมัครที่มาทำการคัดกรองจะมีค่าชดเชยการเดินทางให้ท่านละ 300 บาท และสำหรับท่านที่ผ่านเกณฑ์การคัดกรองและมาเข้าร่วมงานวิจัยตามนัดอีก 2 ครั้ง ได้รับการชดเชยครั้งละ 300 บาท รวมทั้งสิ้น 900 บาท

การเข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมโครงการวิจัย

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจ หากท่านไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการศึกษาแล้ว ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา การขอถอนตัวออกจากโครงการวิจัยจะไม่มีผลต่อการดูแลรักษาโรคของท่านแต่อย่างใด

ผู้ทำวิจัยอาจถอนท่านออกจากการเข้าร่วมการวิจัย เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัยของท่าน หรือเมื่อผู้สนับสนุนการวิจัยยุติการดำเนินงานวิจัย หรือ ในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่านไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย

การปกป้องรักษาข้อมูลความลับของอาสาสมัคร

ข้อมูลที่อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่ผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำโครงการวิจัยของท่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การยกเลิกการให้ความยินยอม

จากการลงนามยินยอมของท่าน ผู้ทำวิจัยและผู้สนับสนุนการวิจัยสามารถเข้าไปตรวจสอบบันทึกข้อมูลทางการแพทย์ของท่านได้แม้จะสิ้นสุดโครงการวิจัยแล้วก็ตาม หากท่านต้องการยกเลิกการให้ความยินยอมดังกล่าว ท่านสามารถแจ้ง หรือเขียนบันทึกขอยกเลิกการให้คำยินยอม โดยส่งไปที่นางสาวอรนรี เชาว์นะรัง ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 เบอร์โทรศัพท์ 089-9953688

หากท่านขอยกเลิกการให้คำยินยอมหลังจากที่ท่านได้เข้าร่วมโครงการวิจัยแล้ว ข้อมูลส่วนตัวของท่านจะไม่ถูกบันทึกเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามข้อมูลอื่น ๆ ของท่านอาจถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลการวิจัย

<u>สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย</u>

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิ์ดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับระเบียบวิธีการของการวิจัยทางการแพทย์ รวมทั้งอาหารและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านอาจจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะได้รับการเปิดเผยถึงทางเลือกในการรักษาด้วยวิธีอื่น ยา หรืออุปกรณ์ซึ่งมีผลดีต่อท่าน รวมทั้งประโยชน์และความเสี่ยงที่ท่านอาจได้รับ
6. ท่านจะได้รับทราบแนวทางในการรักษา ในกรณีที่พบโรคแทรกซ้อนภายหลังการเข้าร่วมในโครงการวิจัย
7. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
8. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการโดยไม่ได้รับผลกระทบใดๆ ทั้งสิ้น
9. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่
10. ท่านมีสิทธิ์ในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้ โดยปราศจากการใช้อิทธิพลบังคับข่มขู่ หรือการหลอกลวง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หากท่านไม่ได้รับการชดเชยอันควรต่อการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการวิจัย หรือท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามที่ปรากฏในเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในการวิจัย ท่านสามารถร้องเรียนได้ที่ สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตึกอานันทมหิดลชั้น 3 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2256-4493 ในเวลาราชการ หรือ e-mail : medchulairb@chula.ac.th

การลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี

ขอขอบคุณในการให้ความร่วมมือของท่านมา ณ ที่นี้

.....

	คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	เอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วม โครงการสำหรับอาสาสมัคร	AF 06-05/6.0 หน้า 68/2

การวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสลับเบาและความหนักระดับปานกลางต่อการตอบสนองของระบบหายใจในผู้ที่มีภาวะอ้วน

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

ข้าพเจ้า นาย/นาง/

นางสาว.....

ที่อยู่.....ได้อ่านรายละเอียดจากเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยวิจัยที่แนบมาฉบับวันที่..... และข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยโดยสมัครใจ

ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ลงนาม และวันที่ พร้อมด้วยเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ทั้งนี้ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระยะเวลาของการทำวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย ข้าพเจ้ามีเวลาและโอกาสเพียงพอในการซักถามข้อสงสัยจนมีความเข้าใจอย่างดีแล้ว โดยผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่าง ๆ ด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ารับทราบจากผู้วิจัยว่าหากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกเข้าร่วมในโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคหรือสิทธิอื่น ๆ ที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะเมื่อได้รับการยินยอมจากข้าพเจ้าเท่านั้น บุคคลอื่นในนามของผู้สนับสนุนการวิจัย คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน อาจได้รับอนุญาตให้เข้ามาตรวจและประมวลข้อมูลของข้าพเจ้า ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้น โดยการตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษานี้ข้าพเจ้าได้ให้คำยินยอมที่จะให้มีการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยของข้าพเจ้าได้

ผู้วิจัยรับรองว่าจะไม่มีการเก็บข้อมูลใด ๆ เพิ่มเติม หลังจากที่ข้าพเจ้าขอยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัยและต้องการให้ทำลายเอกสารและ/หรือ ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมดที่สามารถสืบค้นถึงตัวข้าพเจ้าได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้าพเจ้าเข้าใจว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าและสามารถยกเลิกการให้สิทธิในการใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าได้ โดยต้องแจ้งให้ผู้วิจัยรับทราบ

ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าข้อมูลในการวิจัยรวมถึงข้อมูลทางการแพทย์ของข้าพเจ้าที่ไม่มีการเปิดเผยชื่อจะผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกและในคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการรายงานข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการเท่านั้น

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการแล้ว ยินดีเข้าร่วมในการวิจัยด้วยความเต็มใจ จึงได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมนี้

.....ลงนามผู้ให้ความยินยอม

(.....) ชื่อผู้ยินยอมตัวบรรจง

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

การจัดการกับตัวอย่างทางชีวภาพ

☑ ไม่มีตัวอย่างชีวภาพ

ข้าพเจ้าได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการไม่พึงประสงค์หรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย หรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียดให้ผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยตามนามข้างต้นได้ทราบและมีความเข้าใจดีแล้ว พร้อมลงนามลงในเอกสารแสดงความยินยอมด้วยความเต็มใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

.....ลงนามผู้ทำวิจัย

(.....) ชื่อผู้ทำวิจัย ตัวบรรจง

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

.....ลงนามพยาน

(.....) ชื่อพยาน ตัวบรรจง

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

แบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง

(Screening Questionnaire)

Participant Number_____

ตอนที่ 1 เกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

1. อายุ .....ปี อาชีพ.....

2. น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร

3. BMI ..... กิโลกรัม/เมตร^2

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ

โปรดตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง โดยทำเครื่องหมาย √ ลงใน หรือเติม ☐ ข้อความลงใน ช่องว่าง (ถ้ามี)

1.) ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ ไม่มี มี ☐ โปรดระบุ.....

2.) ท่านตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (EKG) ครั้งล่าสุดเมื่อไร

☐ น้อยกว่า 1ปี ☐ มากกว่า 1 ปี ☐ ไม่เคยได้รับการตรวจมาก่อน

3.) ท่านมีความผิดปกติหรือมีการบาดเจ็บที่เป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังกาย เช่น โรคทางระบบประสาทและกล้ามเนื้อหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี โปรดระบุ.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.) ท่านมีภาวะความดันโลหิตสูงโดยมีความดันโลหิต ≥140/90 mmHg หรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี

5.) ท่านมีประวัติการเป็นโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง หรือโรคหอบหืด หรือ โรคหอบหืดเมื่อออกกำลังกายหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี

6.) ท่านรับประทานยาที่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ เช่น ยาปิดกั้นตัวรับเบต้า (Beta-blockers) หรือไม่ (หากไม่ทราบชนิดยาหรือชื่อยา ขอให้นำเม็ดยามาให้ผู้วิจัยดู)

☐ ไม่ ☐ รับประทานโปรดระบุ.....

7.) ท่านได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นเบาหวานหรือไม่

☐ ได้รับการวินิจฉัย ☐ ไม่ได้รับการวินิจฉัย

8.) ท่านออกกำลังกายหรือไม่

☐ ไม่ ☐ ออกกำลังกายโปรดระบุ.....นาที/ครั้ง,.....ครั้ง/สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

CPET report

Participant Number _____ Age _____ Height _____ Weight _____ BMI _____ Resting HR _____ Resting BP _____ Increment _____ Watts/minute

Time (min)	Work (watts)	HR (bpm)	VT (l)	RR (br/min)	VE (l/min)	BP (mmHg)	RER	RPE	IC (L)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Watts Max _____

Reasons for stopping _____

Post-exercise HR _____ Post-exercise BP _____

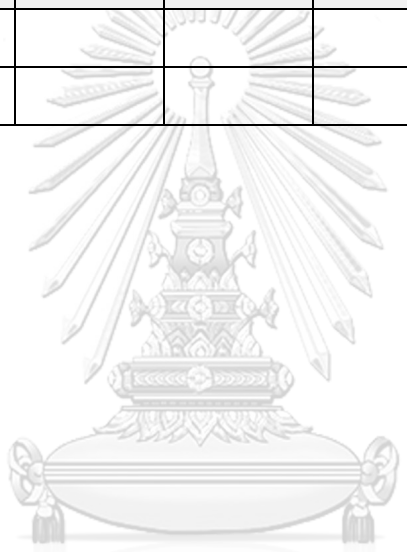
Test result: Pass _____ Fail _____

Pre-exercise

Mip/Mep	1st	2nd	3rd	4th	5th	The best value
Mip						
Mep						

Post-exercise

Mip/Mep	1st	2nd	3rd	4th	5th	The best value
Mip						
Mep						



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

HIIE report

Participant Number _____ Age _____ Height _____ Weight _____ BMI _____ Resting HR _____ Resting BP _____ Watts Max _____

High intensity (90% Watts Max) _____ Low intensity (15% Watts Max) _____

Time (min)	Work (watts)	HR (bpm)	VT (l)	RR (br/min)	VE (l/min)	BP (mmHg)	RER	RPE	IC (L)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Post-exercise HR _____ Post-exercise BP _____

Post-exercise blood lactate _____

Pre-exercise

Mip/Mep	1st	2nd	3rd	4th	5th	The best value
Mip						
Mep						

Post-exercise

Mip/Mep	1st	2nd	3rd	4th	5th	The best value
Mip						
Mep						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

MICE report

Participant Number _____ Age _____ Height _____ Weight _____ BMI _____ Resting HR _____ Resting BP _____ Watts Max _____

Moderate intensity (50% Watts Max) _____

Time (min)	Work (watts)	HR (bpm)	VT (l)	RR (br/min)	VE (l/min)	BP (mmHg)	RER	RPE	IC (L)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Post-exercise HR _____ Post-exercise BP _____

Post-exercise blood lactate _____

Pre-exercise

Mip/Mep	1st	2nd	3rd	4th	5th	The best value
Mip						
Mep						

Post-exercise

Mip/Mep	1st	2nd	3rd	4th	5th	The best value
Mip						
Mep						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อรนรี เชาว์นะรัง
สถานที่เกิด	กรุงเทพ, ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย) 2561 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY