

ผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูง  
มากการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญ  
พลังงานและสารชีวเคมีในเลือด



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา

พฤษภาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมากการฝึกแบบ  
เพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา

พฤษภาคม 2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

EFFECTS OF MODERATE INTENSITY CONTINUOUS TRAINING, HIGH INTENSITY AND  
SUPRA-HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING AND INCREMENTAL INTENSITY EXERCISE  
ON BODY COMPOSITION METABOLIC AND BLOOD BIOCHEMISTRY.



A Thesis Submitted to University of Phayao  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Master of Science Program in Exercise and Sport Science Degree in Exercise  
and Sport Science

May 2025

Copyright 2025 by University of Phayao

## วิทยานิพนธ์

### เรื่อง

ผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมากการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด

ของ อติศร ฐระยศ

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา  
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

( )

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณีนทร รักษ์บำรุง)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษดา ตามประดิษฐ์)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ดร. พิเชษฐ์ ชัยเลิศ)

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล)

- เรื่อง:** ผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมากการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต้องค้ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด
- ผู้วิจัย:** อติศร รุระยศ, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2567
- อาจารย์ที่ปรึกษา:** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณีนทร รักษ์บำรุง
- คำสำคัญ:** ผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง, การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง, การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก, การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน, การเผาผลาญพลังงานของร่างกาย

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) ความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) และการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (ICE) ที่มีต้องค้ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายอายุ 18–30 ปี จำนวน 90 คน ทำการสุ่มเข้ากลุ่มการฝึกจำนวน 4 กลุ่ม คือ MICE, HIIT, Supra-HIIT, ICE และกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม กลุ่มละ 18 คน กลุ่มการฝึกทำการฝึก 4 วัน/สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_{2max}$ ) ค่าการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ไกลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) ร้อยละไขมันในร่างกาย (%fat) และ น้ำหนักตัว (body weight) ก่อนและภายหลังการฝึก ใช้สถิติ Paired-Samples t-test เพื่อทดสอบผลของการฝึกภายในกลุ่มตัวอย่าง และเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติ Analysis of Covariance (ANCOVA) ทั้งนี้หากตัวแปรใดไม่ผ่านการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติ ANCOVA จะนำข้อมูลของตัวแปรนั้นมาแปลงค่าเป็นคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: post-t-test – pre-t-test) แล้วนำไปวิเคราะห์ผลด้วยสถิติ One-way ANOVA

ผลการศึกษาพบว่าภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์กลุ่มการฝึกทุกกลุ่มมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_{2max}$ ) ค่าการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) และไกลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) เปลี่ยนแปลงดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่พบความเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละไขมันในร่างกาย (%fat) และ น้ำหนักตัว (body weight) ภายในกลุ่มการฝึกทั้ง 4 แบบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการฝึกและกลุ่มควบคุมพบว่า ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_{2max}$ ) ค่าการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ไกลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) และร้อยละไขมันในร่างกาย (%fat) ของกลุ่มการฝึกทั้ง 4 แบบ มีการพัฒนาดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาระหว่างกลุ่มการฝึก พบว่าทุกกลุ่มการฝึก สามารถพัฒนาการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ไกลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) และร้อยละไขมันในร่างกาย (%fat) ได้มีประสิทธิภาพเหมือนกันโดยไม่มีแตกต่างทางสถิติ โดยกลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่องและกลุ่มการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้ฝึก พัฒนาดีขึ้นกว่ากลุ่มการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ข้อมูลจากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 รูปแบบสามารถค่าการใช้ไขมันสูงสุด ไกลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ และร้อยละไขมันในร่างกาย (%fat) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและดีกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด การฝึกทั้ง 4 รูปแบบสามารถช่วยพัฒนาความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจได้ดีและมีประสิทธิภาพอยู่แล้ว แต่หากต้องการพัฒนาในระดับที่สูงมากเช่นนักกีฬาที่แข่งขันในระดับสูง โดยต้องการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก ผู้ฝึกอาจจำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลารวมในการฝึกต่อ session ให้มากขึ้น หรือเพิ่ม session การฝึกต่อวันให้มากกว่า 1 ครั้ง

**Title:** EFFECTS OF MODERATE INTENSITY CONTINUOUS TRAINING, HIGH INTENSITY AND SUPRA-HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING AND INCREMENTAL INTENSITY EXERCISE ON BODY COMPOSITION METABOLIC AND BLOOD BIOCHEMISTRY.

**Author:** Adison Thurayot, Thesis: M.sc. (Exercise and Sport Science), University of Phayao, 2024

**Advisor:** Assistant Professor Ph.D. Maninthorn Rugbumrung

**Keywords:** Moderate Intensity Continuous Exercise (MICE), High Intensity interval training, Supra-high Intensity Interval Training, Energy Metabolic

#### ABSTRACT

This study aimed to compare the effects of Continuous interval training (MICE), High-intensity interval training (HIIT), Supra- high-intensity interval training (Supra-HIIT), and Incremental exercise (ICE) on Body composition, Energy expenditure, and Blood biochemistry. The subjects were 90 males aged 18–30 years. They were randomly assigned to four training groups: MICE, HIIT, Supra-HIIT, and ICE, along with one control group, comprising 18 participants in each group. Training occurred four days a week for 12 weeks. Maximum oxygen consumption ( $\dot{V}O_{2max}$ ), Maximum fat oxidation (MFO), Low-density Lipoprotein (LDL), Body fat percentage (%fat), and Body weight were assessed before and after the training. Paired-samples t-tests were used to evaluate the effects of training within the sample groups, and Analysis of Covariance (ANCOVA) statistics were utilized to compare the training results between the sample groups. Suppose any variable does not meet the conditions for using ANCOVA. In that case, that variable's data will be converted to a change score (change score: post-test – pre-test) and analyzed with One-way ANOVA statistics.

The results indicated that after 12 weeks of training, all training groups showed significant improvements in  $\dot{V}O_{2max}$ , Maximum fat oxidation (MFO), and low-density lipoprotein (LDL). The four training groups showed no statistical changes in Body fat percentage (% fat) and Body weight. When comparing the training groups to the control group, the  $\dot{V}O_{2max}$ , MFO, LDL levels, and Body fat percentage (% fat) of the training groups were significantly greater than those of the non-exercising control group. Among the training groups, all formats effectively improved Maximum fat oxidation (MFO), LDL, and Body fat percentage (% fat) without statistical differences. The Continuous and Incremental exercise training groups showed higher maximum oxygen consumption than the High-intensity and Supra-high-intensity alternating training groups, with statistical significance.

The research concluded that all four exercise training formats effectively and significantly increase maximum fat oxidation and LDL, and improve body fat percentage (% fat) compared to the control group. Additionally, the maximum oxygen consumption from all four training formats effectively enhances the endurance of the circulatory and respiratory systems. However, for those aiming to develop at a very high level, such as athletes for competition, and who wish to engage in high-intensity interval training, they may need to extend the total training time per session or incorporate more than one training session per day.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณีนทร รัชชบํารุง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่เสียสละเวลามากมายและให้คำปรึกษา ตลอดจนได้ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนกระทั่งดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬามหาวิทยาลัยพะเยาทุก ๆ ท่านที่ได้มอบความรู้ต่าง ๆ ให้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ บุคลากร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจสำคัญ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง ข้าพเจ้าหวังว่าคุณค่าและประโยชน์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

อดิสร ฐระยศ



## สารบัญ

|                                                        | หน้า |
|--------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                   | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                               | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ .....                                  | ฉ    |
| สารบัญ.....                                            | ช    |
| สารบัญตาราง.....                                       | ญ    |
| สารบัญภาพ.....                                         | ฐ    |
| บทที่ 1 บทนำ .....                                     | 1    |
| 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....                | 1    |
| 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....                       | 4    |
| 3. ขอบเขตของการวิจัย.....                              | 5    |
| 4. นิยามศัพท์เฉพาะ .....                               | 7    |
| กรอบแนวคิดในงานวิจัย .....                             | 9    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....            | 10   |
| 1. การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก (aerobic exercise)..... | 11   |
| 2. การเผาผลาญพลังงานของร่างกาย.....                    | 30   |
| 3. องค์ประกอบของร่างกายและสารชีวเคมีในเลือด.....       | 39   |
| 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                          | 46   |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....                     | 52   |
| 1. รูปแบบการวิจัย.....                                 | 53   |
| 2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง .....                       | 54   |
| 3. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย.....                         | 56   |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4. เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 57  |
| 5. วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 64  |
| 6. การวิเคราะห์ข้อมูล .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 66  |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 68  |
| ส่วนที่ 1 การนำเสนอข้อมูลทั่วไปด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนัก<br>ส่วนสูง และค่าดัชนีมวลกายของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มก่อนการฝึกออกกำลังกายและแสดงผล<br>การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่าดัชนีมวลกายระหว่างกลุ่มตัวอย่าง จากการ<br>วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA เพื่อแสดงประสิทธิภาพของการสุมกลุ่มตัวอย่าง<br>เข้ากลุ่มได้อย่างเท่าเทียมในทางกายภาพ ..... | 70  |
| ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 1 .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 72  |
| ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 2: แสดงการ เปรียบเทียบ<br>ค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ<br>ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ก่อนและภายหลังการฝึก<br>เป็นเวลา 12 สัปดาห์ .....                                                                                                 | 81  |
| ส่วนที่ 4 แผนภูมิแสดงสรุปการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมัน<br>สูงสุด ไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่ม<br>และระหว่างกลุ่มตัวอย่าง .....                                                                                                                                                                               | 91  |
| บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 96  |
| 1. สรุปผลการทดลอง .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 97  |
| 2. อภิปรายผลการทดลอง .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 102 |
| ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 108 |
| ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 108 |
| บรรณานุกรม.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 109 |
| ภาคผนวก.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 126 |
| ภาคผนวก ก .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 127 |
| ภาคผนวก ข .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 128 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| ภาคผนวก ค .....      | 131 |
| ภาคผนวก ง.....       | 136 |
| ภาคผนวก จ .....      | 137 |
| ประวัติผู้วิจัย..... | 142 |



## สารบัญตาราง

### หน้า

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 1 แสดงการสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มด้วยวิธีการจับคู่เป็นกลุ่ม (Group Matching).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 55 |
| ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 70 |
| ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่าดัชนีมวลกายระหว่างกลุ่มตัวอย่างจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA เพื่อแสดงประสิทธิภาพของการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มได้อย่างเท่าเทียมในทางกายภาพ .....                                                                                                                                                                         | 71 |
| ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลองกลุ่มที่ 1 การฝึกแบบต่อเนื่องหรือ moderate-intensity continuous exercise (MICE) ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score).....                               | 72 |
| ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลองกลุ่มที่ 2 การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT) ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score).....                           | 74 |
| ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลองกลุ่มที่ 3 ฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมาก (supramaximal high-intensity interval training ,Supra-HIIT) ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)..... | 76 |
| ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลองกลุ่มที่ 4 กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise, ICE) ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score).....                | 78 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไกลโฟ<br>โปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มควบคุม ก่อนและ<br>ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-<br>score).....                                              | 80 |
| ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) (ml/ kg/ min) ระหว่าง<br>กลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบทาง<br>เดียว One-way Ancova .....                                                                                               | 81 |
| ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) (ml/ kg/ min)<br>ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยเทคนิค LSD เมื่อมีเมื่อมีการควบคุม<br>ค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนฝึกออกกำลัง (pre-test) (ความแปรปรวนร่วม) ให้มีค่าคงที่ที่<br>46.36 (ml/ kg/ min)..... | 82 |
| ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)<br>ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12<br>สัปดาห์ ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One-way Anova.....                                                                              | 85 |
| ตารางที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-<br>score) ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา<br>12 สัปดาห์ด้วยเทคนิค LSD.....                                                                                                                   | 85 |
| ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)<br>ไกลโฟโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน<br>แบบทางเดียว One-way Anova .....                                                                                                                 | 87 |
| ตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่คะแนนการเปลี่ยนแปลง ไกลโฟโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL)<br>(Mg/ dL) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ด้วยเทคนิค Dunnett T3<br>เนื่องจากเงื่อนไขการทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน (Equal Variances Not<br>Assumed).....                                                | 87 |
| ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)<br>ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน<br>แบบทางเดียว One-way Anova .....                                                                                                                   | 88 |

|                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบรายค่าเฉลี่ยร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยเทคนิค LSD เมื่อมีการปรับค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทุกคนก่อนฝึก จากสถิติ One-way Anova ..... | 89 |
| ตารางที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) น้ำหนักตัว (weight) (kg) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One-way Anova.....                                       | 90 |
| ตารางที่ 18 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ml/ kg/ min) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม .....                                                                                                             | 91 |
| ตารางที่ 19 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม .....                                                                                                       | 92 |
| ตารางที่ 20 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม .....                                                                                                           | 93 |
| ตารางที่ 21 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม .....                                                                                                                | 94 |
| ตารางที่ 22 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (weight) (kg) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม .....                                                                                                                          | 95 |

## สารบัญภาพ

### หน้า

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่ 1 แสดงการออกกำลังกายด้วยน้ำหนักตัวหรือ Body Weight และการเต้นแอโรบิกแบบ Body Combat ซึ่งเป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกรูปแบบหนึ่ง ..... | 12 |
| ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการฝึกแบบต่อเนื่อง .....                                                                                                  | 13 |
| ภาพที่ 3 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการกำหนดความเข้มข้นของการฝึกแบบต่อเนื่อง .....                                                         | 15 |
| ภาพที่ 4 แสดงผลการฝึกแบบต่อเนื่องที่เกิดขึ้นกับร่างกาย .....                                                                                 | 17 |
| ภาพที่ 5 แสดงการรูปแบบการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT) .....                                      | 20 |
| ภาพที่ 6 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการกำหนดความเข้มข้นของการฝึกแบบ หนักสลับเบาความเข้มข้นสูง .....                                        | 21 |
| ภาพที่ 7 แสดงการฝึกแบบ Sprint Interval Training (SIT) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่ง ของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก .....                        | 24 |
| ภาพที่ 8 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการกำหนดความเข้มข้นของการฝึกแบบ หนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก .....                                     | 25 |
| ภาพที่ 9 แสดงการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงานจากความเข้มข้นปานกลางจนถึงความเข้มข้นสูงที่สุด (incremental continuous exercise; ICE) .....         | 28 |
| ภาพที่ 10 แสดงค่าการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตในขณะออกกำลังกาย .....                                                                        | 31 |
| ภาพที่ 11 แสดงค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดแบบกรัม/ นาที (g/ min) และแบบร้อยละของค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุด (%VO <sub>2</sub> max) .....            | 32 |
| ภาพที่ 12 แสดงค่าการเผาผลาญไขมันในขณะออกกำลังกายกับความหนักของการออกกำลังกายในแบบต่าง ๆ .....                                                | 33 |
| ภาพที่ 13 แสดงค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดของนักกีฬาชนิดต่าง ๆ .....                                                                             | 34 |
| ภาพที่ 14 แสดงค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในผู้ชายและผู้หญิงจากการทดสอบของ The FRIEND CRF และ The Cooper Clinic ตามลำดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ .....     | 35 |

|                                                                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาพที่ 15 แสดงค่าการทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยเครื่องวิเคราะห์ลมหายใจ การทดสอบด้วยการออกกำลังกายเพิ่มความสมารถแบบเพิ่มความหนักของงาน ณ.ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา มหาวิทยาลัยพะเยา..... | 37  |
| ภาพที่ 16 แสดงค่ามาตรฐานน้ำหนักและส่วนสูงสำหรับคนไทยในช่วงวัยต่าง ๆ.....                                                                                                                                             | 40  |
| ภาพที่ 17 แสดงไขมันได้ผิวหนังและไขมันในช่องท้องในคนสุขภาพดีและคนอ้วน .....                                                                                                                                           | 41  |
| ภาพที่ 18 เกณฑ์มาตรฐานค่าร้อยละของไขมันในร่างกายประชาชนชาวไทย ระหว่างอายุ 19 – 59 ปี .....                                                                                                                           | 42  |
| ภาพที่ 19 แสดงกลไกการเกิด oxLDL จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL .....                                                                                                                                                  | 44  |
| ภาพที่ 20 แสดงการศึกษาแบบการวิเคราะห์ห่อถัก (meta-analysis) งานวิจัยที่ศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อสารชีวเคมีในเลือดในรูปของ HDL, LDL และระดับไตรกลีเซอไรด์ .....                                                | 45  |
| ภาพที่ 21 แสดงการฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate-intensity continuous exercise; MICE).....                                                                                                                                 | 58  |
| ภาพที่ 22 แสดงการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training; HIIT) .....                                                                                                                         | 60  |
| ภาพที่ 23 แสดงการฝึกหนักสลับเบาที่ความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval training; Supra-HIIT) .....                                                                                                | 62  |
| ภาพที่ 24 แสดงการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise; ICE).....                                                                                                                    | 63  |
| ภาพที่ 25 แสดงขั้นตอนการทดสอบองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีใน และการเผาผลาญพลังงาน.....                                                                                                                             | 66  |
| ภาพที่ 26 แสดงข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง .....                                                                                                                                                                              | 97  |
| ภาพที่ 27 สรุปผลของการฝึกด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มตัวอย่าง .....                                                                                                                            | 99  |
| ภาพที่ 28 สรุปผลของการฝึกด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่มตัวอย่าง .....                                                                                                                          | 102 |



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การฝึกแบบแอโรบิก (aerobic exercise) เป็นการออกกำลังกายที่นิยมมากที่สุด ใช้เพื่อพัฒนาสุขภาพทางกายทั้งในด้านระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ช่วยควบคุมน้ำหนักและลดความอ้วน เป็นการออกกำลังกายที่ทำได้ง่ายทุกเพศทุกวัย (Alberga & et al., 2016; Said & et al., 2020; Mendonça & et al., 2022; Rugbumrung & et al., 2022) มีรูปแบบดั้งเดิมที่เรียกว่า (continuous training หรือ continuous along) ปัจจุบันนิยมใช้ว่า (moderate intensity continuous exercise: MICE) (Mou & et al., 2022; Rugbumrung & et al., 2022; Xu & et al., 2022) การฝึกแบบแอโรบิกได้พัฒนารูปแบบจนมีวิธีการฝึกที่หลากหลาย เป็นที่นิยมมากขึ้นเช่นการฝึกแบบหนักสลับเบา (interval training) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (supra intensity interval training: Supra-HIIT) การฝึกโดยการเพิ่มความหนัก (incremental continuous exercise, ICE) เป็นต้น การฝึกแต่ละแบบจะมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นทั้งในด้านของระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก ความสะดวกสบายและความง่ายของการฝึก รวมไปถึงผลของการฝึกที่เกิดขึ้นกับร่างกาย

การฝึกแบบต่อเนื่อง เป็นการฝึกแอโรบิกที่เก่าแก่ที่สุด เป็นการฝึกที่ใช้ความหนักคงที่ตลอดการฝึก (steady-state training) ครอบคลุมการฝึกในทุกประเภทเช่นการเดิน, การวิ่ง, การเต้น, การขี่จักรยานหรือการว่ายน้ำ (Patel & et al., 2017) ที่ไม่มีช่วงพัก (rest intervals) เป็นกิจกรรมที่ใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ (Wahid & et al., 2016) ความหนักของการฝึกอาจจะทำได้ตั้งแต่ระดับต่ำ, ปานกลาง หรือสูง (Hansen & et al., 2009) นิยมใช้ความเข้มข้นของการฝึกที่ปานกลาง ประมาณร้อยละ 55-75 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด หรือร้อยละ 60-65 ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยใช้เวลานานตั้งแต่ เป็นระยะเวลา 30-60 นาที ขึ้นอยู่กับความหนักของงาน (ACSM, 2018) ทั้งนี้ความหนักของการฝึกอาจสูงได้ถึงร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดหรือที่ระดับกันความล้า (anaerobic threshold หรือ AT) แต่เวลาในการฝึกจะลดลงมา (Schaun & et al., 2017) การฝึกแบบต่อเนื่องช่วยพัฒนาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย (VO<sub>2</sub>max) พัฒนาองค์ประกอบของร่างกายโดยการลดไขมันในร่างกาย เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ และช่วยควบคุมหรือการลดน้ำหนัก (weight loss) ทั้งในผู้ชายและผู้หญิง (Alberga & et al., 2016; Said & et al., 2020; Mendonça & et al., 2022; Rugbumrung & et al., 2022) อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณไตรกลีเซอไรด์



(triglycerides: TG) และเพิ่มปริมาณของลิโปโปรตีนความหนาแน่นสูง (high-density lipoprotein: HDL) ในกระแสเลือด (Kelley& et al., 2006; Patel& et al., 2017)

ข้อดีของการฝึกแบบต่อเนื่องคือการฝึกที่ความสะดวกสบาย ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่มีราคาแพง สามารถทำได้ทั้งในร่มและกลางแจ้ง ไม่ต้องใช้เทคนิคหรือความเชี่ยวชาญเป็นพิเศษ เป็นการฝึกที่สามารถทำได้ในทุกเพศทุกวัย แต่การฝึกแบบต่อเนื่องก็มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการฝึก ซึ่งจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานานที่ความเข้มข้นเหมาะสม จึงจะสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ ได้ดี หากต้องการฝึกแบบต่อเนื่องได้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องฝึกที่ความเข้มข้นปานกลางอย่างน้อย 150 นาที/ สัปดาห์ จึงจะส่งผลในการพัฒนาสมรรถภาพทางกาย (ACSM, 2018) หรือเท่ากับจะต้องออกกำลังกายวันละ 30 นาที 5 วัน/ สัปดาห์ ซึ่งอาจเป็นเรื่องยากสำหรับคนที่ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาในการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกอีกประเภทที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันคือการฝึกสลับช่วง (interval training) เป็นชุดของการฝึกที่ผสมผสานระหว่างการฝึกที่ความเข้มข้นเบาสลับกับความเข้มข้นหนักวนไป-มา โดยมีช่วงฝึกหนักที่มีลักษณะการใช้พลังงานแบบแอโรบิก และช่วงเบาที่มีการใช้พลังงานแบบแอโรบิก (MacInnis& Gibala, 2017) แบ่งการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) และการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง เป็นชุดการฝึกที่ประกอบไปด้วยรอบหรือเรียกว่า Bout โดยมีการฝึกเบาและหลักสลับกันเป็นรอบ 1 รอบคือ 1 Bout โดยจะฝึกเบาและหนัก สลับกันไปมาตั้งแต่ 6 วินาที ถึง 4 นาที (Weston& et al., 2014) มีอัตราส่วนเป็นตัวกำหนดช่วงการฝึกหนักและเบาที่ชัดเจน เช่น 1:1 หมายถึง การฝึกหนักและช่วงเบาที่ระยะเวลาเท่ากัน เช่นการฝึกเบา 1 นาทีแล้วสลับที่ฝึกหนัก 1 นาที หรืออัตรา 1:2 หมายถึง ออกกำลังกายช่วงเบาเป็นระยะเวลาสองเท่าของช่วงหนัก ดังนั้นถ้ากำหนดช่วงหนักเป็นระยะเวลา 1 นาที ช่วงของการออกกำลังกายแบบเบาจะมีระยะเวลา 2 นาที หรืออาจจะกำหนดเป็นรอบ (bout) เช่นกำหนดการฝึก 20 รอบ โดยฝึกหนัก 10 วินาที และฝึกเบา 50 วินาที สลับกันไปจนครบ 20 รอบ (20 นาที) (Seo& et al.,2024) ในขณะที่การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากมีความเข้มข้นของการฝึกที่สูงมากกว่าร้อยละ 100 ของความสามารถสูงสุดโดยอาจเทียบจากค่า VO2max (Hedlund& et al., 2019) หรือค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (MHR) มีช่วงสลับการฝึกหนักและเบาที่สั้นกว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง คืออาจมีช่วงการฝึกหนักสลับเบาที่ต่ำกว่า 30 วินาที ทำให้เวลารวมของการฝึกน้อยกว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและการฝึกแบบต่อเนื่องมาก การฝึกทั้ง 2 แบบสามารถพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ระบบกล้ามเนื้อ องค์กรประกอบของร่างกาย และค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย พัฒนาดังนี้ไม่ต่างจากการฝึกแบบต่อเนื่อง แต่ใช้เวลาน้อยกว่ามาก โดยสามารถฝึกได้ทั้งในกลุ่มคนที่มีความฟิต, คนปกติ หรือผู้ที่มีน้ำหนักตัวเกิน (Sijie et al., 2012; Heydari& et al., 2013; ;MacInnis

MJ& Gibala, 2017; Gripp& et al; Arboleda-Serna, 2019; 2021; Poon& et al., 2021; Simonsson& eat al., 2023)

จุดเด่นที่สำคัญที่สุดของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก คือใช้ระยะเวลาการฝึกที่สั้น โดยทั่วไปการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงจะมีระยะเวลารวมของการฝึกประมาณ 15 – 25 นาที/ วัน ส่วนการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากจะใช้ระยะเวลาประมาณ 10 -15 นาที แต่สามารถส่งผลในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายได้เทียบเท่ากันฝึกแบบต่อเนื่องที่ต้องใช้ระยะเวลาการฝึกอย่างน้อย 30 – 40 นาที/ วัน (Arboleda-Serna, 2019; Sanca-Valeriano& et al. 2023) นอกจากนั้นการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงยังให้ความสนุกและน่าเบื่อน้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง (Zhang& et al., 2015; Thum& et al., 2017) โดยจะมีข้อจำกัดบางประการเช่นจำเป็นต้องมีลู่วิ่งหรือจักรยานที่สามารถปรับเพื่อลดและเพิ่มความหนักของงานได้ตามลักษณะการฝึก แต่หากเป็นการฝึกที่ไม่ใช้อุปกรณ์การฝึกเช่นการฝึกวิ่งกลางแจ้งหรือการฝึกด้วยน้ำหนักตัว ผู้ฝึกจำเป็นต้องเข้าใจเทคนิคในการฝึกเพื่อให้จังหวะการฝึกสอดคล้องกับความเข้มข้นที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ และยังพบรายงานการวิจัยที่พบว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ของร่างกายเพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ว่าภาวะเหล่านั้นอาจจะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวและเกิดขึ้นตามลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลก็ตาม (Lu& et al., 2021) และพบว่าการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงทำให้เกิดอาการบาดเจ็บต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น เช่น อาการปวดขา ข้อเคล็ด และอาการหอบหืดทั้งในระหว่างและหลังการฝึก (Martland& et al., 2020; D’Alleva& et al., 2023)

สำหรับการฝึกโดยการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (incremental continuous exercise) เป็นการฝึกออกกำลังกายที่มีลักษณะเหมือนการทดสอบสมรรถภาพทางกายด้วยการออกกำลังกายแบบการเพิ่มความหนักของงาน (graded exercise test) การออกกำลังกายแบบนี้ความหนักของงานจะเพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นต่ำจนถึงความเข้มข้นสูงที่สุด มีลักษณะเหมือนขั้นบันได เป็นการปรับความหนักของงานแบบค่อยเป็นค่อยไป ในทุก ๆ ช่วงเวลาที่กำหนดไว้ โดยจะกำหนดช่วงเวลาในการปรับเพิ่มความหนักไว้ตั้งแต่ 1-4 นาที (Bentley& et al., 2007; da Silva& e al., 2017) การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย ใช้เวลาในการฝึกใกล้เคียงกับการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และพบว่าสามารถพัฒนาหัวใจให้ดีขึ้นกว่าการฝึกแบบต่อเนื่องในกลุ่มตัวอย่างนักจักรยานที่มีภาวะหัวใจห้องล่างโต (Mikołajczyk, 2020) การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายมีเวลาฝึกใกล้เคียงกับการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง จึงมีจุดเด่นเรื่องระยะเวลาในการฝึกที่ดีการฝึกแบบต่อเนื่อง และลักษณะการฝึกที่มีการเพิ่มความหนักแบบขั้นบันไดโดยกำหนดความหนักจากความเร็วในการวิ่งทำให้ไม่ต้องยุ่งยากในการนำอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดมากำหนดความหนักของงาน ทำให้ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนแปลงความหนัก

แบบค่อยเป็นค่อยไป ไม่ต้องปรับเปลี่ยนการทำงานจากหนักเป็นเบาตลอดเวลา ทำให้อาจช่วยลดอาการบาดเจ็บจากการทำงานผิดจังหวะของกล้ามเนื้อได้ แต่การฝึกด้วยวิธีการดังกล่าวก็จำเป็นจะต้องมีเครื่องมือในการฝึกเช่นลู่วิ่งเพื่อควบคุมการเพิ่มความหนักของงานให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และหากต้องการฝึกกลางแจ้งก็จำเป็นต้องฝึกเทคนิคการเพิ่มความหนักของงานให้ชำนาญ

จากการทบทวนวรรณกรรมในเบื้องต้นพบว่า มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงอยู่ค่อนข้างมาก แต่การศึกษาวิจัยที่เปรียบเทียบผลของการฝึกทั้ง 2 ที่มีต่อระดับการเผาผลาญไขมันซึ่งถือเป็นตัวแปรสำคัญที่สะท้อนค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายนั้นอยู่น้อยมาก และยังไม่พบงานวิจัยในประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว ส่วนการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากเนื่องจากการฝึกแบบใหม่ การศึกษาวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศจึงมีอยู่อย่างจำกัด (Brandão & et al., 2020) และเท่าที่ทำการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ยังไม่พบการศึกษาทั้งภายในและต่างประเทศที่ทำการเปรียบเทียบผลของการฝึกทั้ง 4 รูปแบบ ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าเป็นประเด็นการศึกษาที่สำคัญมากด้านการฝึกแบบแอโรบิกและผลที่เกิดขึ้นกับร่างกาย

งานวิจัยชิ้นนี้จึงออกแบบขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเปรียบเทียบการฝึกแบบแอโรบิก 4 รูปแบบคือ การฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก และการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่ส่งผลต่อค่าที่มีความสำคัญของสุขภาพกายคือ ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุด ร้อยละของไขมันในร่างกาย และระดับไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำในเลือด (LDL) ซึ่งตัวแปรทั้งหมดสะท้อนความมีประสิทธิภาพที่ดีของสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพโดยเฉพาะด้านความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ และองค์ประกอบของร่างกาย การศึกษาวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายให้ตรงวัตถุประสงค์และความสะดวกของผู้ออกกำลังกายต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด

2. เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด

### 3. ขอบเขตของการวิจัย

#### 3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการศึกษาวิจัยในประเด็นเนื้อหาดังต่อไปนี้

##### 1. การฝึกแบบแอโรบิก (aerobic exercise)

1.1 การฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate intensity continuous exercise: MICE)

1.2 การฝึกหนักสลับเบา (interval training)

- การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT)

- การฝึกหนักสลับเบาที่ความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval Training: Supra-HIIT)

1.3 การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (incremental continuous exercise: ICE)

##### 2. การเผาผลาญพลังงานของร่างกาย

2.1 การเผาผลาญไขมันสูงสุดในร่างกาย (maximal fat oxidation: MFO)

2.2 การใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที ( $\text{VO}_2\text{max}$ )

2.3 การทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดและการเผาผลาญไขมันสูงสุด

2.3 ผลของการฝึกออกกำลังกายที่มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดและการเผาผลาญไขมันสูงสุด

##### 3. องค์ประกอบของร่างกายและสารชีวเคมีในเลือด

3.1 น้ำหนักตัว (body weight)

3.2 ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%body fat)

3.3 ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL)

3.4 ผลของการฝึกออกกำลังกายที่มีต่อน้ำหนักตัว ร้อยละของไขมันในร่างกายและไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ

#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.2 ขอบเขตด้านประชากร

#### ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นบุคลากรและนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยาเพศชายอายุระหว่าง 18 – 30 ปี ที่มีสุขภาพร่างกายดีไม่อ้วนและไม่ผอมจนเกินไป ไม่มีประวัติและผ่านเกณฑ์การคัดกรองแล้วว่า ไม่มีความเสี่ยงของที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด, โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ ไม่มีความผิดปกติทางกายที่เกี่ยวข้องกับเคลื่อนไหว, กล้ามเนื้อ, กระดูก และข้อต่อ

#### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นบุคคลที่อยู่ในขอบเขตของกลุ่มประชากร โดยเป็นบุคลากรและนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยาเพศชายอายุระหว่าง 18 – 30 ปี ได้มาจากกลุ่มประชากรโดยการประกาศรับสมัครผ่านช่องทางโซเชียลมีเดีย

### 3.3 ขอบเขตด้านตัวแปร

#### 3.3.1 ตัวแปรต้น คือ วิธีการฝึกออกกำลังกาย 4 วิธีการคือ

- การฝึกแบบต่อเนื่อง  
(moderate-intensity continuous exercise: MICE)
- การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง  
(high intensity interval training: HIIT)
- การฝึกหนักสลับเบาที่ความเข้มข้นสูงมาก  
(supramaximal high intensity interval training; Supra-HIIT)
- การออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน  
(incremental continuous exercise: ICE)

#### 3.3.2 ตัวแปรตาม

- 1) องค์ประกอบร่างกาย วัดจากค่า
  - ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%)
  - น้ำหนักตัว (body weight) (kg)
- 2) การเผาผลาญพลังงาน วัดจากค่า
  - ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) ( $\text{mL/ kg/ min}$ )
  - ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ( $\text{Cal/ min}$ )
- 3) สารชีวเคมีในเลือด วัดจากค่า
  - ไกลโคโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) ( $\text{Mg/ dL}$ )



### 3.4 ขอบเขตด้านระยะเวลา

ทำการศึกษาวิจัยระหว่างเดือน มีนาคม ปีการศึกษา 2567 - เดือนมีนาคม ปีการศึกษา 2568

## 4. นิยามศัพท์เฉพาะ

1) การฝึกแบบต่อเนื่อง (continuous training) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ การฝึกออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนลู่วิ่งกล มีความเข้มข้นของการฝึกในระดับปานกลางที่ความหนักร้อยละ 70-75 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ทำการฝึกต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 40 นาที/ ครั้ง ทำการฝึก 4 ครั้ง/ สัปดาห์ ทั้งนี้ใน 1 วันจะไม่ฝึกเกิน 1 ครั้ง ทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์รวมทั้งสิ้น 48 ครั้ง (session)

2) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training; HIIT) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ การฝึกออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนลู่วิ่งกล โดยฝึกวิ่งแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง อัตราส่วนที่ 1:1 ที่มีช่วงฝึกหนัก 1 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และ ช่วงฝึกเบา 1 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 60-65 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ฝึกครั้งละ 8 รอบ (bouts) โดยมีเวลาในการรวมในการฝึกครั้งละ 16 นาที ทำการฝึก 4 ครั้ง/ สัปดาห์ ทั้งนี้ใน 1 วันจะไม่ฝึกเกิน 1 ครั้ง ทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์รวมทั้งสิ้น 48 ครั้ง (session)

3) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval training : Supra-HIIT) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ การฝึกออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนลู่วิ่งกล โดยฝึกวิ่งแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง อัตราส่วนที่ 1:1 ที่มีช่วงฝึกหนัก 20 วินาที ความเข้มข้นร้อยละ 100-110 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และ ช่วงฝึกเบา 20 วินาที ความเข้มข้นร้อยละ 60-65 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ฝึกครั้งละ 15 รอบ (bouts) โดยมีเวลาในการรวมในการฝึกครั้งละ 16 นาที ทำการฝึก 4 ครั้ง/ สัปดาห์ ทั้งนี้ใน 1 วันจะไม่ฝึกเกิน 1 ครั้ง ทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์รวมทั้งสิ้น 48 ครั้ง (session)

4) การฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise, ICE) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ เริ่มต้นการออกกำลังกายที่ 7 กิโลเมตร/ชั่วโมงและเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตร/ ชั่วโมงในทุก ๆ 1 นาที จนกว่าผู้ฝึกจะไม่สามารถทำการออกกำลังกายต่อไปได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ปรับลดความเร็วในการออกกำลังกายเริ่มต้นที่ 6 กิโลเมตร/ ชั่วโมงและเพิ่มขึ้น 0.5 กิโลเมตร/

ชั่วโมง ในทุก ๆ 1 นาที จนกว่าผู้ฝึกจะไม่สามารถทำการออกกำลังกายต่อไปได้ ทำการฝึก 4 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งนี้ใน 1 วันจะไม่ฝึกเกิน 1 ครั้ง ทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์รวมทั้งสิ้น 48 ครั้ง (session)

**5) องค์ประกอบร่างกาย** ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ องค์ประกอบของร่างกายที่เป็นส่วนหนึ่งของสมรรถภาพทางกายเพื่อสุขภาพโดยผู้วิจัยวัดจากค่าดังต่อไปนี้

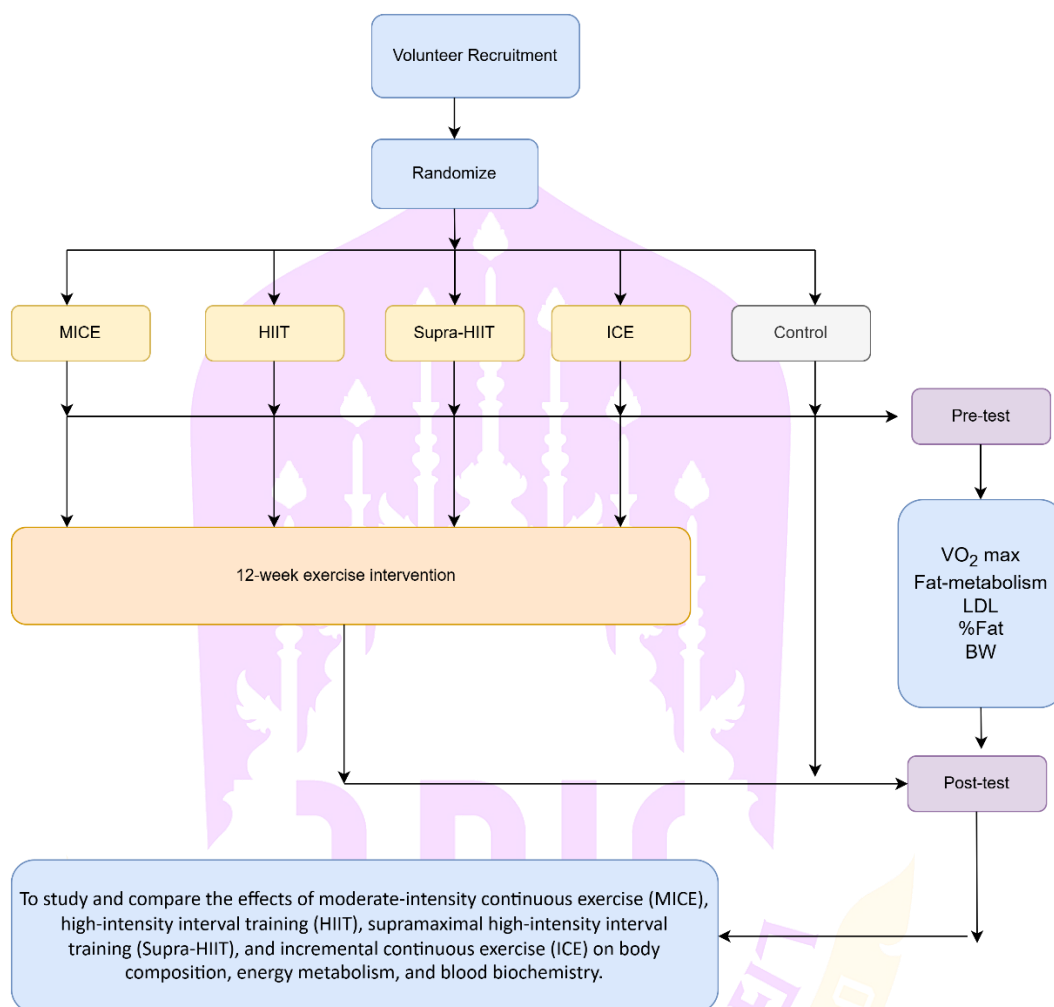
- ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%)
- น้ำหนักตัว (body weight) (kg)

**6) การเผาผลาญพลังงาน** ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ค่าที่วิเคราะห์จากปริมาณการใช้ ออกซิเจน และปริมาณการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ จากลมหายใจเข้า-ออก ที่ได้จากการทดสอบด้วย เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ผู้วิจัยวัดจากค่าดังต่อไปนี้

- ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) ( $\text{mL/ kg/ min}$ )
- ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ( $\text{Cal/ min}$ )

**7) สารชีวเคมีในเลือด** ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับไขมันและสัมพันธ์กับสุขภาพ โดยวัดจากค่า ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) ซึ่งเป็นสารชีวเคมีที่มีปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มโรคไม่ติดต่อที่ร้ายแรง (NCDs) โดยเฉพาะโรคที่สัมพันธ์กับหัวใจและหลอดเลือด

## กรอบแนวคิดในงานวิจัย





## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการศึกษาวิจัยในประเด็นต่อไปนี้

#### 1. การฝึกแบบแอโรบิก (aerobic exercise)

1.1 การฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate intensity continuous exercise: MICE)

1.2 การฝึกหนักสลับเบา (interval training)

- การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT)

- การฝึกหนักสลับเบาที่ความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval Training: Supra-HIIT)

1.3 การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (incremental continuous exercise: ICE)

#### 2. การเผาผลาญพลังงานของร่างกาย

2.1 การเผาผลาญไขมันสูงสุดในร่างกาย (maximal fat oxidation: MFO)

2.2 การใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที ( $VO_2\max$ )

2.3 การทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดและการเผาผลาญไขมันสูงสุด

2.3 ผลของการฝึกออกกำลังกายที่มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดและการเผาผลาญไขมันสูงสุด

#### 3. องค์ประกอบของร่างกายและสารชีวเคมีในเลือด

3.1 น้ำหนักตัว (body weight)

3.2 ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%body fat)

3.3 ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL)

3.4 ผลของการฝึกออกกำลังกายที่มีต่อน้ำหนักตัว ร้อยละของไขมันในร่างกาย และไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ

#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 1. การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก (aerobic exercise)

การฝึกหรือการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นกิจกรรมทางกายที่มีความเข้มข้นของงานไม่สูงมาก การออกกำลังกายดังกล่าวสามารถทำได้ในระยะเวลาสั้น ๆ เป็นกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกายที่มีการนำออกซิเจนจากภายนอกเข้าปอดเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเผาผลาญไขมันที่สะสมไว้ให้เกิดเป็นพลังงาน กระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยระบบทางสรีรวิทยาที่สำคัญคือระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ดังนั้นเมื่อมีการออกกำลังกายแบบแอโรบิกจึงทำให้ระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ มีการพัฒนาขึ้น ทำให้หัวใจและปอดแข็งแรง นอกจากนี้ยังทำให้รูปร่างดีขึ้น (มณีนทร รัชช์บำรุง, 2567; Arslan, 2011) การศึกษาวิจัยพบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกช่วยพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ โดยพัฒนาค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย ( $VO_2\max$ ) และทำให้รูปร่างดีขึ้นด้วยการพัฒนาองค์ประกอบของร่างกายโดยการลดไขมันในร่างกาย เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ และช่วยควบคุมหรือการลดน้ำหนัก (weight loss) ทั้งในผู้ชายและผู้หญิง (Alberga & et al., 2016; Said & et al., 2020; Mendonça & et al., 2022; Rugbumrung & et al., 2022)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นเป็นรูปแบบการออกกำลังกายดั้งเดิมที่สุด มีลักษณะการออกกำลังกายที่รู้จักกันโดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นการเดินเร็ว การวิ่ง การว่ายน้ำ การขี่จักรยาน หรือแม้แต่ว่า การเต้นประกอบจังหวะ การออกกำลังกายในรูปแบบนี้อาจถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Cardio-exercise หรือ Endurance exercise เนื่องจากประโยชน์โดยตรงของการออกกำลังกายแบบนี้ จะเกิดขึ้นกับหัวใจและลักษณะการออกกำลังกายที่เป็นการฝึกแบบความอดทน (มณีนทร รัชช์บำรุง, 2567)

ทั้งนี้การออกกำลังกายแบบแอโรบิกให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องนำหลักพื้นฐานของการออกกำลังกาย (principle of exercise) มาใช้เพื่อให้การฝึกออกกำลังกายนั้นช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายได้อย่างเต็มที่ โดยหลักพื้นฐานของการออกกำลังกายหรือ FITT ที่อ้างอิงจากวิทยาลัยเวชศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกาหรือ ACSM ประกอบไปด้วย (ถาวรินทร์ รัชช์บำรุง, 2567)

F หมายถึง Frequency คือความถี่หรือความบ่อยในการออกกำลังกาย ใช้จำนวนวัน / สัปดาห์ หรือ Session การฝึกเป็นตัวกำหนด

I หมายถึง Intensity คือความหนักในการออกกำลังกาย ใช้ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด / หรือร้อยละของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือตัวแปรอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจ หรือค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกาย

T หมายถึง Time คือระยะเวลา โดยทั่วไปจะหมายถึงระยะเวลาของการฝึกใน 1 สัปดาห์

T หมายถึง Type คือชนิดหรือรูปแบบในการฝึก

### ประเภทของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

1) การฝึกแบบต่อเนื่อง หรือ Continuous or Continuous Along Training หรือ Moderate Intensity Continuous Exercise (MICE) (Said& et al., 2020, Rugbumrung& et al., 2022)

2) การฝึกหนักสลับเบาและการฝึกหนักสลับพัก: Interval and Intermittent Training แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.1 การฝึกหนักสลับเบา (interval training) (Bishop, & et al., 2019)

2.2 การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง หรือ High Intensity Interval Training (HIIT) (Buchheit& Laursen, 2013; Bishop, & et al., 2019)

2.3 การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก หรือ Supra-High Intensity Interval Training (Supra-HIIT) (Russomando et al., 2020)

3) การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (incremental continuous exercise: ICE)



ภาพที่ 1 แสดงการออกกำลังกายด้วยน้ำหนักตัวหรือ Body Weight และการเต้นแอโรบิกแบบ Body Combat ซึ่งเป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกรูปแบบหนึ่ง

ที่มา: ผู้วิจัย

### 1.1 การฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate intensity continuous exercise: MICE)

การฝึกแบบต่อเนื่องเป็นการฝึกแอโรบิกที่มีรูปแบบดั้งเดิมที่สุด (ถาวรินทร์ รักษาบำรุง, 2567) แต่เดิมใช้คำในภาษาอังกฤษว่า (continuous training หรือ continuous along) และเริ่มมีการใช้คำศัพท์ที่สื่อถึงการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในงานวิจัยใหม่ ๆ คือ (moderate intensity continuous exercise: MICE) (Mou&et al., 2022; Rugbumrung& et al., 2022; Xu& et al., 2022) การฝึกแบบต่อเนื่องมีลักษณะครอบคลุมการฝึกทุกรูปแบบที่ไม่มีช่วงพัก (rest intervals) ไม่ว่าจะเป็น การวิ่ง, การเดิน, การปั่นจักรยาน, การว่ายน้ำหรือการเดินเร็ว ที่ฝึกด้วยความหนักคงที่ (steady-state training) ด้วยความเข้มข้นของการฝึกที่ระดับปานกลางคือไม่เกินร้อยละ 80 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (MHR) หรือความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 50 – 80 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $VO_2\max$ ) มีระยะเวลาการฝึกวมตั้งแต่ 30 – 60 นาที / ครั้ง (Crowley& et al., 2022; Guo& et al., 2023; D’Alleva& et al., 2023) การเคลื่อนไหวของร่างกายจะใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ในการทำงาน (Hansen& et al., 2009; Patel& et al., 2017; Wahid& et al., 2016) สามารถช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ ได้ดี ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย องค์ประกอบของร่างกาย ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ (Rugbumrung& et al., 2022)



50 - > 80 % MHR

30 – 60 นาที / Session

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการฝึกแบบต่อเนื่อง

ที่มา: ผู้วิจัย

การฝึกแบบต่อเนื่องที่นิยมมากที่สุดคือการฝึกด้วยการวิ่ง โดยสามารถทำได้ทั้งในร่มและกลางแจ้ง เป็นการฝึกที่สอดคล้องกับการดำรงชีวิตประจำวัน ไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคหรือทักษะระดับสูง และไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาแพง (ถาวรินทร์ รักษาบำรุง, 2567)

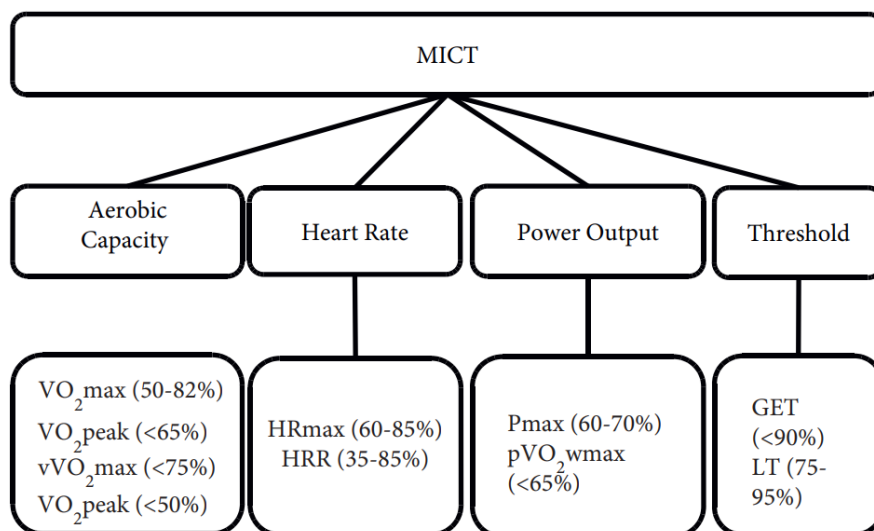
### 1.1.1 หลักการฝึกแบบต่อเนื่อง

การฝึกแบบต่อเนื่องไม่ต่างกับการฝึกออกกำลังกายทั่วไปประเภทอื่น ๆ ซึ่งจะต้องนำหลักพื้นฐานของการออกกำลังกาย (FITT) มาเป็นปัจจัยในการกำหนดโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย โดยเฉพาะหลักเกี่ยวกับความหนักของการฝึก (intensity) ความบ่อยของการฝึก (frequency) และระยะเวลาของการฝึก (time)

#### 1) ความหนักของการฝึก (intensity)

ความหนักของการฝึกแบบต่อเนื่องนิยมใช้ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด / หรือร้อยละของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือตัวแปรอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจ หรือค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกาย (ถาวรินทร์ รักษ์บำรุง, 2567) เป็นตัวกำหนด วิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกาแนะนำว่าการฝึกแบบต่อเนื่องได้ควรฝึกที่ระดับความหนักร้อยละ 40-59 ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง (HRR) หรือเทียบเท่าร้อยละ 64-76 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (MHR) (ACSM, 2018) สำหรับผู้ที่รู้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $VO_{2max}$ ) ของตนเอง ควรกำหนดความเข้มข้นอยู่ที่ 50% - 70% ของ ( $VO_{2max}$ ) (Snowling & Hopkins, 2006) ซึ่งจะเทียบเท่าระดับความหนักร้อยละ 57-76 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นความเข้มข้นในระดับเบา (light) ถึงระดับปานกลาง (moderate) (ACSM, 2018)

การจะกำหนดความเข้มข้นของการฝึกด้วยตัวแปรใด ๆ นั้นขึ้นอยู่กับความสะดวกของแต่ละบุคคล ทั้งนี้วิธีการที่ง่ายที่สุดคือกำหนดความหนักจากอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดซึ่งสามารถหาได้ทั้งจากการทดสอบด้วยการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนัก หรือจากสูตรในการคำนวณแบบต่าง ๆ เช่น  $220 - \text{อายุ}$  หรือ  $208 - (0.7 \times \text{อายุ})$  หรืออาจจะค่าอัตราการเต้นหัวใจสำรองมาเป็นตัวแปรในการคำนวณเพิ่มเติมก็ได้



ภาพที่ 3 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการกำหนดความเข้มข้นของการฝึกแบบต่อเนื่อง

ที่มา: Crowley & et al., 2022

## 2) ความบ่อยของการฝึก (frequency) และระยะเวลาของการฝึก (time)

ปัจจัยการฝึกด้านความบ่อยและระยะเวลา รวมเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกัน เนื่องจากการฝึกจำเป็นจะต้องมีระยะเวลาที่มากเพียงพอเพื่อให้การฝึกนั้นส่งผลให้เกิดการพัฒนาของร่างกาย ดังนั้นความบ่อยหรือจำนวนครั้งของการฝึกในแต่ละสัปดาห์จึงขึ้นกับการฝึกครั้งนั้นมีระยะเวลานานเท่าไร

องค์การอนามัยโลกแนะนำว่า หากต้องการรักษาสุขภาพร่างกายให้แข็งแรง ควรฝึกแบบต่อเนื่องความเข้มข้นปานกลาง 150 – 300 นาที/ 1 สัปดาห์ หรือความเข้มข้นสูง ออกกำลังกายที่มีความหนักประมาณ 75 – 150 นาที/ 1 สัปดาห์เพื่อรักษาสุขภาพทางกายให้ดี (Bull & et al., 2020) แต่อย่างไรก็ตามช่วงของระดับความหนักสำหรับแต่ละคนจะแตกต่างกันไป เนื่องจากแต่ละคนจะมีระดับสมรรถภาพทางกายและอัตราการเต้นของหัวใจสูงที่ต่างกัน และผู้ที่มีระดับสมรรถภาพทางกายด้านแอโรบิกที่ดี (Aerobic Fitness) จะสามารถออกกำลังกายที่ความหนักของงานที่เข้มข้นมากกว่าซึ่งสัมพันธ์กับค่าการใช้ออกซิเจน (VO<sub>2</sub>) ได้ดีกว่า

จากข้อมูลดังกล่าวหากนำปัจจัยด้านความบ่อยและเวลามากำหนด โปรแกรมการออกกำลังกายก็อาจจะกำหนดเป็นโปรแกรมการฝึกที่ระดับความเข้มข้นปานกลาง ครั้งละ 30 – 50 นาที 3 – 5 วัน/ สัปดาห์ หรือโปรแกรมการฝึกที่ระดับความเข้มข้นสูง ครั้งละ 20 – 30 นาที 3 – 5 วัน/ สัปดาห์ ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้ว จะฝึกแบบต่อเนื่องด้วยความเข้มข้นปานกลางไม่เกิน



ร้อยละ 80 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด หรือความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 50 – 80 ของค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุด มีระยะเวลาการฝึกรวมตั้งแต่ 30 – 60 นาที/ ครั้ง โดยฝึก 3 – 5 วัน/ สัปดาห์ (Crowley& et al., 2022; Guo& et al., 2023; D’Alleva& et al., 2023)

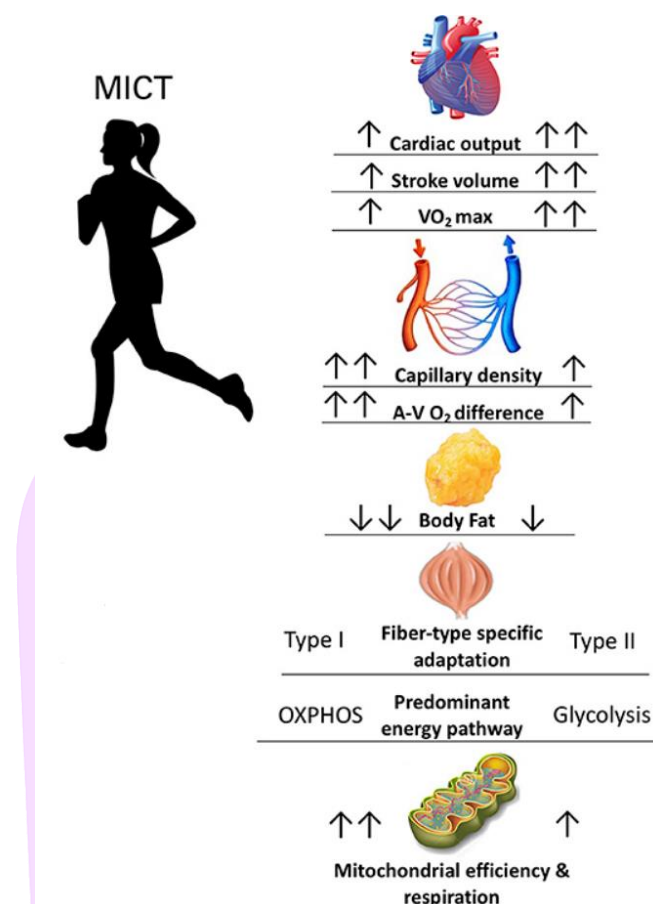
### 1.1.2 ผลของการฝึกแบบต่อเนื่องที่เกิดขึ้นกับร่างกาย

การฝึกแบบต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการพัฒนาทั้งร่างกายในหลาย ๆ ด้านครอบคลุม สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเกือบทุกด้านได้แก่

- ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ
- ความอดทนและความแข็งแรงของระบบกล้ามเนื้อ
- องค์ประกอบของร่างกาย

การศึกษาวิจัยจากอดีตจนถึงปัจจุบันพบว่า การฝึกแบบต่อเนื่องช่วยพัฒนาระบบ ไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ โดยพัฒนาค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย (VO2max) พัฒนาองค์ประกอบของร่างกายโดยการลดไขมันในร่างกาย เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ ช่วยควบคุมหรือการ ลดน้ำหนัก (weight loss) ลดระดับไขมันในเลือด ทั้งในผู้ชายและผู้หญิง (Alberga& et al., 2016; Said& et al., 2020; Mendonça & et al., 2022; Rugbumrung& et al., 2022) ช่วยพัฒนาการ เผาผลาญพลังงาน ระบบฮอร์โมน ระบบประสาท (Fletcher& et al.,1996) ลดลดอัตราเสี่ยงของการ เป็นโรคเบาหวานและช่วยป้องกันการเกิดของกลุ่มโรคระบบไหลเวียนโลหิต (Wahid& et al., 2016) เป็นการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับคนทุกเพศทุกวัยในการดูแลสุขภาพโดยเฉพาะสมรรถภาพ ทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ (Rugbumrung& et al., 2022)





ภาพที่ 4 แสดงผลการฝึกแบบต่อเนื่องที่เกิดขึ้นกับร่างกาย

ที่มา: Langan & Grosicki, 2021

### 1.1.3 ข้อดีและข้อจำกัดของการฝึกแบบต่อเนื่อง

ข้อดีของการฝึกแบบต่อเนื่องคือการฝึกที่ความสะดวกรสบาย ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่มีราคาแพง สามารถทำได้ทั้งในร่มและกลางแจ้ง ไม่ต้องใช้เทคนิคหรือความเชี่ยวชาญเป็นพิเศษ เป็นการฝึกที่สามารถทำได้ในทุกเพศทุกวัย (ถาวรินทร์ รักษาบำรุง, 2567) แต่การฝึกแบบต่อเนื่องก็มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการฝึก ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลานานที่ความเข้มข้นเหมาะสม จึงจะสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ ได้ดี หากต้องการฝึกแบบต่อเนื่องให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องฝึกที่ความเข้มข้นปานกลางอย่างน้อย 150 - 300 นาที/ สัปดาห์ จึงจะส่งผลในการพัฒนาสมรรถภาพทางกาย (ACSM, 2018) หรือเท่ากับจะต้องออกกำลังกายวันละ 30 - 50 นาที 5 วัน/ สัปดาห์ ซึ่งอาจเป็นเรื่องยากสำหรับคนที่มีข้อจำกัดด้านเวลาในการออกกำลังกาย

**สรุป** การฝึกแบบต่อเนื่องเป็นการออกกำลังกายที่มีความหนักต่อเนื่องตลอดการฝึก ความหนักของการออกกำลังกายกำหนดจากตัวแปรที่สัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจหรือค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยทั่วไปจะมีความหนักไม่เกินร้อยละ 80 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดซึ่งเป็นความหนักในระดับปานกลาง ฝึกต่อเนื่อง 30 -50 นาที/ ครั้ง การฝึกจะช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพในเกือบทุกด้าน

## 1.2 การฝึกหนักสลับเบา (interval training)

การฝึกหนักสลับเบา (interval training) หรือการฝึกหนักสลับพัก (intermittent training) เป็นการฝึกที่มีลักษณะและรูปแบบเดียวกัน คือการฝึกที่มีช่วงการฝึกเป็นช่วง ๆ (interval) แต่การฝึกทั้ง 2 แบบจะมีความแตกต่างกันที่ค่อนข้างชัดเจนคือ การฝึกหนักสลับเบาจำมีช่วงการฝึกหนักสลับกับการฝึกเบา แต่การฝึกหนักสลับพัก จะมีช่วงการฝึกหนักสลับกับการพักร่างกาย (ถาวรินทร์ รักษ์บำรุง, 2567) หากการฝึกนั้นมีการฝึกที่มีความเข้มข้นของงานแบบสลับช่วงระหว่างฝึกหนักและฝึกเบา การฝึกนั้นคือการฝึกหนักสลับเบา และหากการฝึกหนักมีความเข้มข้นของการฝึกแบบฝึกหนักและพักร่างกายสลับกันไปมา การฝึกนั้นคือการฝึกแบบหนักสลับพัก

การฝึกหนักสลับเบาเป็นรูปแบบการฝึกที่ได้รับการพัฒนามานาน โดยเริ่มต้นขึ้นในประเทศสวีเดนและเยอรมันในช่วงปี ค.ศ. 1930 หลังจากนั้นก็ได้รับความนิยมในกลุ่มนักกีฬาและแสดงให้เห็นประสิทธิภาพที่ดีในการฝึกจากการที่ Emil Zátopek นักกรีฑาชาวเชโกสโลวาเกีย ได้รับรางวัลเหรียญทองในการแข่งขันวิ่ง 5,000 และ 10,000 เมตร รวมถึงการแข่งขันมาราธอนในกีฬาโอลิมปิกที่เฮลซิงกิในปี 1952 (Tabata, 2019) การฝึกชนิดนี้เข้ามาในประเทศไทยได้หลายสิบปี จากการค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า ตำราที่เกี่ยวข้องกับการฝึกแบบหนักสลับเบาเล่มแรก ๆ ของประเทศคือหนังสือที่ชื่อว่า อินเทอร์วัลเทรนนิ่ง คู่มือการฝึกกีฬา เขียนโดย ประทุม ม่วงมี (2532) และการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกหนักสลับเบาเรื่องแรก ๆ ที่ศึกษาผลของการฝึกหนักสลับช่วงพักและการฝึกแบบต่อเนื่อง ต่อค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการวิเคราะห์ลมหายใจ เป็นการศึกษาของ มณีนทร รักษ์บำรุง (2546)

### 1.2.1 การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT)

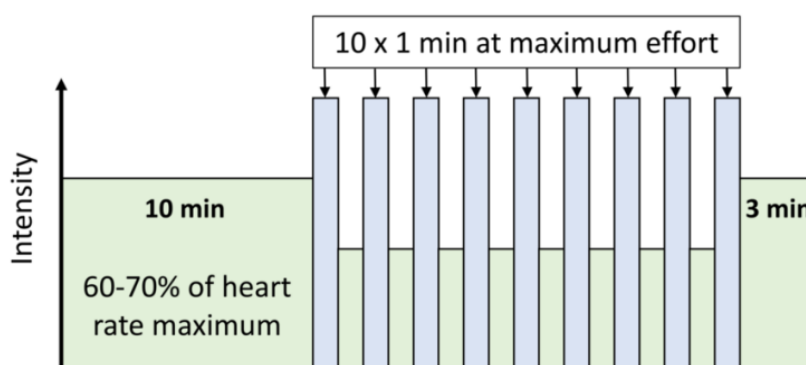
การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง เป็นการฝึกรูปแบบหนึ่งของการฝึกหนักสลับเบา โดยมีลักษณะเด่นคือเป็นชุดการฝึกที่สลับความเข้มข้นของการฝึกหนักและเบาเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ตั้งแต่ 1 – 4 นาที มีช่วงการฝึกหนักที่ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 85 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และช่วงการฝึกเบาที่ความเข้มข้นต่ำเพื่อให้ร่างกายมีการฟื้นตัว ระยะเวลารวมของการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงจะน้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่องมากคือมีระยะเวลารวมทั้งตั้งแต่ 4 – 16 นาที (Gibala & et al., 2014; MacInnis & Gibala, 2017; D'Alleva & et al., 2023) นอกจากนั้นการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงยังมีลักษณะพิเศษอีกหนึ่งอย่างคือเป็นการฝึกที่ใช้ระบบพลังงานสลับกันไปมาระหว่างระบบการทำงานแบบแอโรบิกและแบบแอนแอโรบิก (มณีนทร รัชชบำรุง, 2567) ในปัจจุบันการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง มีการพัฒนาไปมาก โดยมีรูปแบบหลักที่นิยมทำการฝึกอยู่ 4 รูปแบบคือ (Alves & et al., 2017; Tabata, 2019)

1) Sprint Interval Training (SIT) หรือ Repeated Long Sprint เป็นรูปแบบการฝึกที่มีช่วงการฝึกหนักมากกว่าร้อยละ 100 ของความสามารถสูงสุด อาจมีความหนักมากถึงร้อยละ 170 ของความสามารถสูงสุด ความหนักในระดับนี้เป็นความหนักในระดับที่ต้องออกแรงจนหมด (All-out) มีช่วงความหนักที่ระยะเวลา 10 – 60 วินาที ส่วนใหญ่ใช้อยู่ที่ 20 – 30 วินาที ต่อด้วยการพักไม่เกิน 5 นาที ส่วนใหญ่พบอยู่ที่ 1-4 นาที

2) Repeated Sprint Training (RST) หรือ Repeated Short Sprint เป็นรูปแบบการฝึกที่มีช่วงการฝึกหนักมากกว่าร้อยละ 100 ของความสามารถสูงสุดโดยอาจมีความหนักมากถึงร้อยละ 170 ของความสามารถสูงสุด เป็นความหนักในระดับ All Out เช่นเดียวกันการฝึกแบบ SIT มีช่วงการฝึกหนักไม่เกิน 10 วินาที และช่วงการฝึกเบาไม่เกิน 60 วินาที

3) Long-Interval เป็นรูปแบบการฝึกที่ใช้ความหนักประมาณร้อยละ 100 – 120 ของความหนักสูงสุด มีช่วงฝึกหนักที่มากกว่า 60 วินาทีและช่วงฝึกเบามากกว่า 60 วินาที

4) Short Intervals เป็นรูปแบบการฝึกที่ใช้ความหนักประมาณร้อยละ 90 – 100 ของความหนักสูงสุดโดยมีช่วงฝึกหนักไม่เกิน 60 วินาที และช่วงฝึกเบาไม่เกิน 60 วินาที



ภาพที่ 5 แสดงการรูปแบบการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง  
(high intensity interval training: HITT)

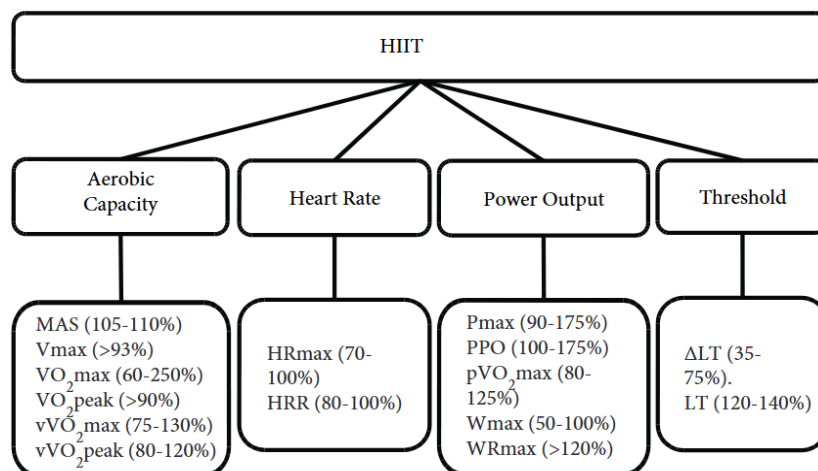
ที่มา: Moholdt & et al., 2021

#### 1.2.1.1 หลักการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง

การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมีหลักพื้นฐานในการฝึกไม่ต่างกับการฝึกแบบต่อเนื่อง คือการนำหลักการ FITT มาใช้เป็นปัจจัยในการกำหนดโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย โดยเฉพาะหลักเกี่ยวกับความหนักของการฝึก (intensity) ความบ่อยของการฝึก (frequency) และระยะเวลาของการฝึก (time)

##### 1) ความหนักของการฝึก (intensity)

วิทยาลัยเวชศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกาแนะนำการกำหนดความหนักของการฝึกแบบหนักสลับเบาไว้โดยให้ความหมายว่าการฝึกหนักสลับเบาเป็นการออกกำลังกายโดยมีช่วงความหนักเป็นระยะเวลาดั้ง (อาจอยู่ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 5 วินาทีถึง 8 นาที) ด้วยอัตราการเต้นของหัวใจ 80% - 95% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด สลับกับช่วงพักด้วยการออกกำลังกายแบบเบาที่ความหนัก 40% - 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดหรืออาจหยุดพักโดยสมบูรณ์ (Complete Resting) (ACSM, 2018) ทั้งนี้การกำหนดความหนักของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมีค่อนข้างหลากหลาย แต่โดยส่วนใหญ่คือกำหนดช่วงการฝึกหนักไว้มากกว่าร้อยละ 90 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดและช่วงการฝึกเบาไม่เกินร้อยละ 75 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด



ภาพที่ 6 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการกำหนดความเข้มข้นของการฝึกแบบ  
หนักสลับเบาความเข้มข้นสูง

ที่มา: Crowley & et al., 2022

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบการกำหนดความหนักของการฝึกเช่น การฝึกที่ช่วงหนักร้อยละ 90 MHR และระดับช่วงฝึกเบาร้อยละ 30 MHR (Tanner & et al. 2014) หรือการฝึกหนักสลับฝึกเบาครั้งละ 15 วินาทีระหว่างความเข้มข้นของการฝึกหนักร้อยละ 90% และฝึกเบาร้อยละ 80% ของค่า  $vVO_{2max}$  หรือการฝึกหนักร้อยละ 100% และฝึกเบาร้อยละ 70% ของค่า  $vVO_{2max}$  (มณีนทร รัชช์บำรุง, 2567) การฝึกเบาที่ความหนักร้อยละ 50-55 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 60 วินาที และฝึกหนักที่ร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Arboleda-Serna, 2019) เป็นต้น

ส่วนการจะกำหนดความเข้มข้นของการฝึกนั้นจะมีลักษณะเดียวกับการฝึกแบบต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับความสะดวกของแต่ละบุคคล

## 2) ความบ่อยของการฝึก (frequency) และระยะเวลาของการฝึก (time)

เช่นเดียวกับการฝึกแบบต่อเนื่อง ปัจจัยการฝึกด้านความบ่อยและระยะเวลา รวมในการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกัน เนื่องจากการฝึกจำเป็นจะต้องมีระยะเวลารวมที่มากเพียงพอเพื่อให้การฝึกนั้นส่งผลให้เกิดการพัฒนาของร่างกาย ดังนั้นความบ่อยหรือจำนวนครั้งของการฝึกในแต่ละสัปดาห์จึงขึ้นกับการฝึกครั้งนั้นมีระยะเวลานานเท่าไร

จากการรวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงจะมีความถี่ของการฝึกอยู่ระหว่าง 2 – 5/ สัปดาห์ และมีเวลารวมในการฝึก/ ครั้ง อยู่ที่ 12 – 30 นาที/ ครั้ง ทั้งนี้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนักของการฝึกและความถี่ที่ต้องการฝึกต่อสัปดาห์ (Gao& et al., 2018; ACSM, 2018; Arboleda-Serna& et al, 2019)

### 1.2.1.2 ผลของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงที่เกิดขึ้นกับร่างกาย

การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง ส่งผลให้เกิดการพัฒนา กับร่างกายในหลาย ๆ ด้านครอบคลุมสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเกือบทุกด้านได้ แต่ไม่แตกต่างกับการฝึกแบบต่อเนื่อง

โดยพบว่าการฝึกทำให้เกิดการพัฒนาของร่างกายในด้านต่าง ๆ คือ ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาของค่าการใช้ออกซิเจนสูง ช่วยให้น้ำหนักและไขมันในร่างกายลดลง เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ นอกจากทางด้านร่างกายแล้วการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงช่วยพัฒนาอารมณ์และความสามารถทางปัญญาได้อีกด้วย (Korman& et al., 2020; Koyuncuoğlu& et al.; 2021; Li& et al., 2021) และยังพบว่าการฝึกแบบต่อเนื่องรวมถึงการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงสามารถช่วยพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี (Brooks, 2012; Marwat& et al., 2021)

### 1.2.1.3 ข้อดีและข้อจำกัดของการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง

ข้อที่สำคัญที่สุดของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง คือใช้ระยะเวลาการฝึกที่สั้น โดยทั่วไปจะมีระยะเวลารวมของการฝึกประมาณ 15 – 25 นาที/ วัน แต่สามารถส่งผลในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายได้เทียบเท่ากันฝึกแบบ ต่อเนื่องที่ต้องใช้ระยะเวลาการฝึกอย่างน้อย 30 – 40 นาที/ วัน จากรายงานการวิจัยที่เปรียบเทียบผลของการฝึกวิ่งบนลู่วิ่งแบบ HITT 15 bouts สลับช่วงการฝึกเบาที่ความหนักร้อยละ 50-55 ของ MHR 60 วินาที และฝึกหนักที่ร้อยละ 90-95 MHR 30 วินาที เปรียบเทียบกับการฝึกแบบต่อเนื่อง 40 นาที ในกลุ่มตัวอย่างเพศชายอายุระหว่าง (18-44 ปี) โดยทำการฝึก 24 session ใน 8 สัปดาห์ พบว่าการฝึกทั้ง 2 แบบช่วยพัฒนาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในกลุ่มตัวอย่างได้ไม่แตกต่างกัน (Arboleda-Serna, 2019) ข้อมูลที่



ได้ตรงกับ รายงานการวิจัยที่ศึกษาวิเคราะห์ห่อภิมาณ (meta - analysis) ซึ่งเป็นการศึกษาวิเคราะห์งานวิจัยหลาย ๆ งาน เพื่อเปรียบเทียบงานวิจัยที่ทำการศึกษาผลของฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและการฝึกแบบต่อเนื่อง พบว่าการฝึกทั้ง 2 แบบ และส่งผลกับร่างกายในด้านน้ำหนักตัว, ค่า BMI, รอบเอว หรือมวลไขมันในร่างกายในผู้ใหญ่โดยเฉพาะผู้ที่มีน้ำหนักเกินและเป็นโรคอ้วน ได้ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (Sanca-Valeriano& et al. 2023) นอกจากนั้นการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงยังให้ความสนุกและน่าเบื่อน้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง (Zhang& et al., 2015; Thum& et al., 2017) เนื่องจากผู้ฝึกต้องตื่นตัวในการสลับความหนักและเบาสลับตลอดช่วงการฝึก

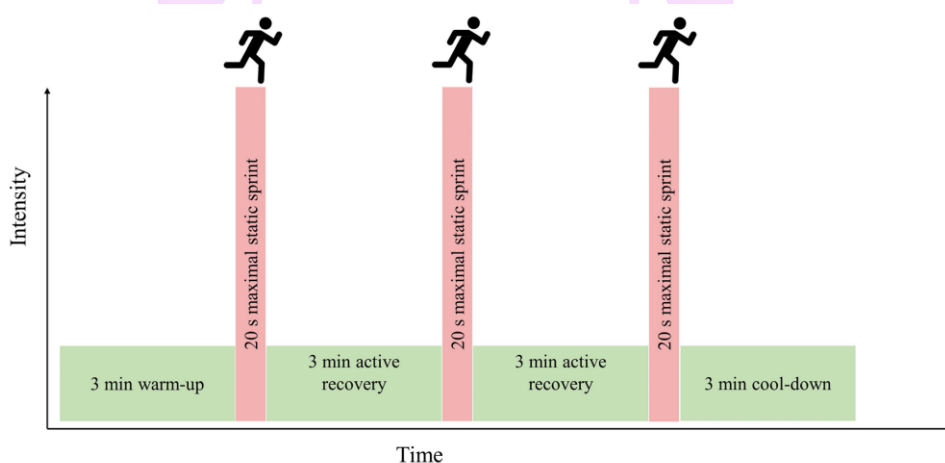
โดยข้อจำกัดบางประการของการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง คือ ต้องมีเครื่องมือที่ใช้ในการฝึกเป็นพิเศษไม่ว่าจะเป็นลู่วิ่งหรือจักรยานที่สามารถปรับเพื่อลดและเพิ่มความหนักของงานได้ตามลักษณะการฝึก และหากเป็นการฝึกที่ไม่ใช้อุปกรณ์การฝึกเช่นการฝึกวิ่งกลางแจ้งหรือการฝึกด้วยน้ำหนักตัว ผู้ฝึกจำเป็นจะต้องเข้าใจเทคนิคในการฝึกเพื่อให้จังหวะการฝึกสอดคล้องกับความเข้มข้นที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นผู้ฝึกที่เพิ่งจะเริ่มฝึกจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจช่วยควบคุมการฝึกให้ได้ตามอัตราที่ปรารถนา นอกจากนั้นยังอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของร่างกายน้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่องเช่น การช่วยลดความดันโลหิต (Arboleda-Serna, 2019) และยังพบรายงานการวิจัยที่พบว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดภาวะเครียด ออกซิเดชั่น (oxidative stress) ของร่างกายเพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ว่าภาวะเหล่านั้นอาจจะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวและเกิดขึ้นตามลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลก็ตาม (Lu& et al., 2021) และพบว่าการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงทำให้เกิดอาการบาดเจ็บต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น เช่น อาการปวดขา ข้อเคล็ด และอาการหอบหืดทั้งในระหว่างและหลังการฝึก (Martland& et al., 2020; D'Alleva& et al., 2023)

**สรุป** การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง เป็นชุดของการฝึกที่มีการฝึกหนักสลับกับการฝึกเบาไปมาตลอดช่วงเวลาของการฝึก ความหนักของการฝึกกำหนดจากตัวแปรที่สัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจหรือค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยทั่วไปจะมีความหนักช่วงฝึกหนักที่มากกว่าร้อยละ 90 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และช่วงฝึกเบาที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ซึ่งเป็นความหนักระดับปานกลางสลับกับการฝึกในระดับสูง ฝึกสลับกันไปมาต่อเนื่อง 15 - 30 นาที/ ครั้ง การฝึกจะช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพในเกือบทุกด้าน



### 1.2.2 การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (supra intensity interval training: Supra-HIIT)

การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากเป็นการฝึกที่พัฒนามาจากการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง ดังนั้นวิธีการฝึกจะมีความคล้ายคลึงกัน แต่จะมีช่วงการฝึกหนักที่ความเข้มข้นสูงมากคือสูงมากกว่า มากกว่าร้อยละ 100 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด หรือมากกว่าร้อยละ 100 ของความสามารถสูงสุดโดยอาจเทียบจากค่า  $VO_{2max}$  (Batacan & et al., 2017; Hedlund & et al., 2019; Russomando et al., 2020) โดยอาจพบความหนักในช่วงการฝึกหนักที่สูงได้ถึงร้อยละ 170 ของความสามารถสูงสุด (Alves & et al., 2017; Tabata, 2019) และมีช่วงสลับการฝึกหนักและเบาที่สั้นกว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง คืออาจมีช่วงการฝึกหนักสลับเบาที่ต่ำกว่า 30 วินาที เช่นการฝึกที่ความหนักร้อยละ 130 ของความเร็วที่ทำให้เกิดค่า  $VO_{2max}$  เป็นเวลา 20 วินาที และพัก 10 วินาที จำนวน 8 รอบ (Schaun & et al., 2017) ทำให้เวลารวมของการฝึกน้อยกว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและการฝึกแบบต่อเนื่องมาก แต่ส่งผลให้ร่างกายมีการพัฒนาในด้านต่าง ๆ ไม่ต่างจากการฝึกแบบต่อเนื่อง (MacInnis MJ & Gibala, 2017, Gripp & et al, 2021; Poon & et al., 2021; Simonsson & et al., 2023)



ภาพที่ 7 แสดงการฝึกแบบ Sprint Interval Training (SIT) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก

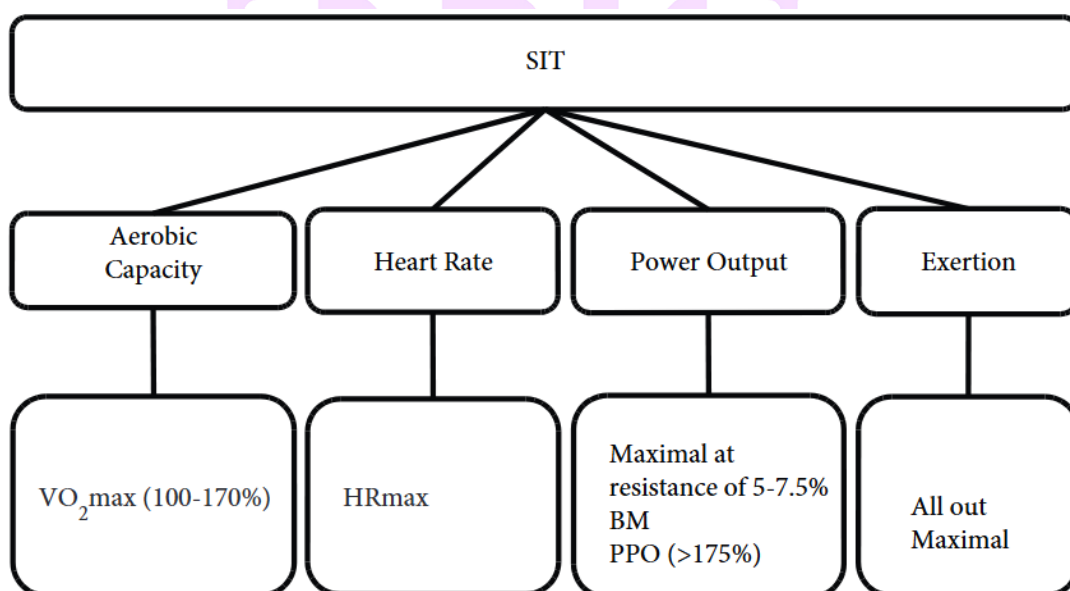
ที่มา: Yasar, 2021

### 1.2.2.1 หลักการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก

การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากใช้หลักการเดียวกันกับการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง คือการนำหลักการ FITT มาใช้เป็นปัจจัยในการกำหนดโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย โดยเฉพาะหลักเกี่ยวกับความหนักของการฝึก (intensity) ความบ่อยของการฝึก (frequency) และระยะเวลาของการฝึก (time)

#### 1) ความหนักของการฝึก (intensity)

ความหนักของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากจะมีช่วงการฝึกหนักที่สูงมากกว่าร้อยละ 100 ของความสามารถสูงสุดโดยจะสัมพันธ์กับตัวแปรอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด หรือค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ดังนั้นในช่วงการฝึกหนักจึงจำเป็นต้องออกแรงฝึกจนหมด (All-out) ทั้งนี้อาจพบการกำหนดความหนักของการฝึกมากได้ถึงร้อยละ 170 ของความสามารถสูงสุดซึ่งพบได้ในการฝึกด้วยการปั่นจักรยานเป็นส่วนใหญ่กำหนดความหนักของการฝึกเทียบเคียงมาเป็น Watts ในการปั่นจักรยาน (Tabata, 2019) สำหรับการฝึกด้วยวิธีการวิ่งนั้นจะพบการกำหนดความหนักของงานที่ประมาณร้อยละ 100 – 130 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Buchheit & et al, 2013; Ortiz & et al., 2023)



ภาพที่ 8 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการกำหนดความเข้มข้นของการฝึก  
แบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก

ที่มา: Crowley & et al., 2022

## 2) ความบ่อยของการฝึก (frequency) และระยะเวลารวมของการฝึก (time)

การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากมีการกำหนดระยะเวลาการฝึกในแบบต่าง ๆ เช่น ช่วงฝึกหนักมากระหว่าง 10-60 วินาที โดยฝึกแบบออกแรงจนหมด (All-out) โดยมีจำนวนรอบต่ำกว่า 12 รอบ และระยะเวลาพักจะสั้นกว่าการฝึกในบางครั้งอาจสั้นกว่าถึง 5 เท่า หรือ การกำหนดการฝึกช่วงฝึกหนักมาก 30 วินาที และพัก 4 นาที (Sloth & et al., 2013; Gist & et al., 2014; Tabata, 2019) นอกจากนั้นยังพบการกำหนดโปรแกรมการฝึกที่อัตราส่วนที่ 1:1 คือระยะเวลาในการฝึกหนักมากเท่ากับระยะเวลาในการฝึกช่วงเบา (Buchheit & et al, 2013; Ortiz & et al., 2023)

### 1.2.1.2 ผลของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากที่เกิดขึ้นกับร่างกาย

การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก ส่งผลให้เกิดการพัฒนาทั้งร่างกายในหลาย ๆ ด้านครอบคลุมสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเกือบทุกด้านได้ แต่ไม่แตกต่างกับการฝึกแบบต่อเนื่อง และการฝึกแบบความเข้มข้นสูง

พบว่า การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากตั้งแต่ 6-12 สัปดาห์ ทำให้ผู้ฝึกมีความสามารถในการวิ่งแอโรบิก (ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด) พัฒนาขึ้น ระดับไขมันในเลือดมีค่าที่ดีขึ้น ตลอดจนส่งผลดีต่อหลอดเลือดและการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตโดยรวม ช่วยการใช้ ออกซิเจนขณะพัก รวมถึงส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถในการวิ่งแอโรบิกด้วย (Chuensiri & et al., 2015; MacInnis MJ & Gibala, 2017; Tabata, 2019; Gripp & et al, 2021; Poon & et al., 2021; Simonsson & et al., 2023)

### 1.2.1.3 ข้อดีและข้อจำกัดของการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก

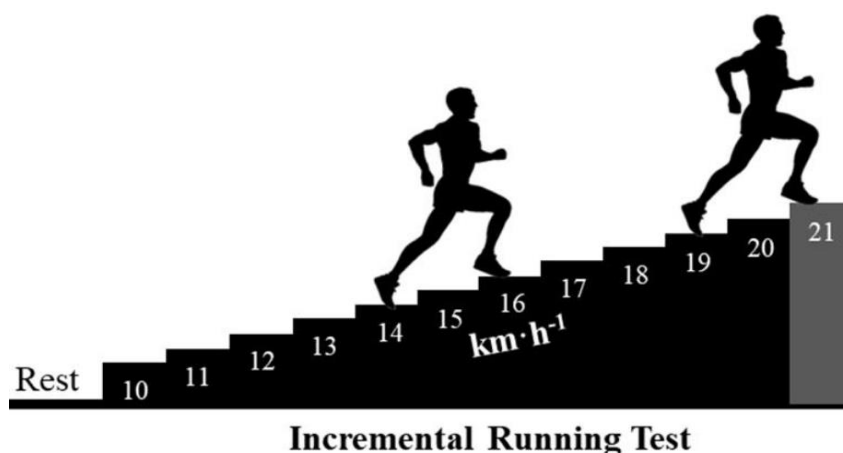
ข้อดีและข้อจำกัดของการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก นั้นไม่แตกต่างกับการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง แต่ผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก อาจจำเป็นต้องมีพื้นฐานในการออกกำลังกายและมีสุขภาพร่างกายแข็งแรงในระดับหนึ่ง เนื่องจากการฝึกมีความหนักที่มากถึงมากที่สุด นอกจากนั้นการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากยังมีข้อจำกัดเดียวกับการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงคือ ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น เช่น อาการปวดขา ข้อเคล็ด และอาการหอบหืดทั้งในระหว่างและหลังการฝึก (Martland & et al., 2020; D'Alleva & et al., 2023)

**สรุป** การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก เป็นชุดของการฝึกที่มีการฝึกหนักมากสลับกับการฝึกเบาไปมาตลอดช่วงเวลาของการฝึก ความหนักของการฝึกกำหนดจากตัวแปรที่สัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจหรือค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยทั่วไปจะมีความหนักช่วงฝึกหนักที่มากกว่าร้อยละ 100 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และช่วงฝึกเบาที่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ฝึกเป็นความหนักในระดับปานกลางสลับกับการฝึกในระดับสูงมาก ฝึกสลับกันไปมาต่อเนื่อง 10 - 15 นาที/ ครั้ง การฝึกจะช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพในเกือบทุกด้าน

### 1.3 การฝึกแบบการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (incremental continuous exercise: ICE)

การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย เป็นการฝึกที่นำรูปแบบการทดสอบด้วยการออกกำลังกายแบบการเพิ่มความหนักของงาน (graded exercise test) ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถสูงสุดในเชิง แอโรบิก (maximum aerobic capacity) เพื่อตรวจสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย (ถาวรนนทร รักษ์บำรุง, 2567) มาเป็นวิธีในการฝึกออกกำลังกาย

การทดสอบดังกล่าวมีรูปแบบของการออกกำลังกายที่ค่อย ๆ เพิ่มความหนักของงานขึ้นไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่ความระดับต่ำจนถึงระดับสูงที่สุด การเพิ่มความหนักของงานเป็นการได้ระดับเหมือนขั้นบันได ลักษณะการเพิ่มของความหนักในการฝึก จะทำให้ระบบทางสรีรวิทยาค่อย ๆ ทำงานเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุด เพื่อให้สามารถสะท้อนค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดออกมาในระหว่างการทดสอบได้ ดังนั้นการนำวิธีการทดสอบดังกล่าวมาใช้เป็นวิธีในการฝึกออกกำลังกาย จึงเป็นการฝึกออกกำลังกายที่ทำร่างกายสามารถทำงานในจุดสูงสุดของระบบทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวในทุก ๆ ครั้งที่ทำการฝึก ทั้งนี้การออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงานอาจเรียกว่า Graded exercises หรือ Moderate-to-vigorous exercise ก็ได้ (Hisham& et al., 2019; Hsieh& et al., 2025) โดยคำว่า Moderate จะหมายถึงความเข้มข้นปานกลาง มีความหนักของการออกกำลังกายอยู่ที่ร้อยละ 64-76 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และ Vigorous หมายถึงความเข้มข้นสูง มีความหนักของการออกกำลังกายอยู่ที่ ร้อยละ 77 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดขึ้นไป (MacIntosh& et al., 2021)



ภาพที่ 9 แสดงการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงานจากความเข้มข้นปานกลางจนถึงความเข้มข้นสูงสุด (incremental continuous exercise; ICE)

ที่มา: Lanferdini & et al., 2020

สำหรับการปรับเพิ่มความหนักของการฝึกนั้นจะกำหนดเป็นช่วงเวลาและความหนักที่แน่นอน โดยส่วนใหญ่จะปรับเพิ่มทุก ๆ 1-4 นาที (Bentley & et al., 2007; da Silva & et al., 2017) และความหนักจะปรับเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป สำหรับการฝึกด้วยลู่วิ่งกลจะปรับเพิ่มขึ้น 0.5–1 กิโลเมตร/ ชั่วโมง ในทุก ๆ ช่วงการฝึก ส่วนการฝึกด้วยจักรยานจะปรับเพิ่มขึ้น 5-25 Watts ในทุก ๆ ช่วงการฝึก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย ใช้เวลาในการฝึกใกล้เคียงกับการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและน้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง

### 1.3.1 หลักการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายต่อเนื่อง

ไม่แตกต่างกับการฝึกแบบต่อเนื่องหรือการฝึกหนักสลับเบา การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย ต้องนำหลักพื้นฐานของการออกกำลังกาย (FITT) มาเป็นปัจจัยในการกำหนดโปรแกรมการฝึกออกกำลังกาย โดยเฉพาะหลักเกี่ยวกับความหนักของการฝึก (intensity) ความบ่อยของการฝึก (frequency) และระยะเวลาของการฝึก (time)

#### 1) ความหนักของการฝึก (intensity)

ความหนักของการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายจะใช้ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด/ หรือร้อยละของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือตัวแปรอื่น ๆ

ที่สัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจ หรือค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกายเช่นเดียวกับการฝึกแบบอื่น ๆ นอกจากนั้นยังมีวิธีการกำหนดความหนักของการออกกำลังกาย โดยใช้รูปแบบการทดสอบการออกกำลังกายด้วยการเพิ่มความหนัก คือเพิ่มความหนักจากระดับต่ำไปจนถึงระดับที่ผู้ฝึกไม่สามารถทำต่อไปได้ ความหนักจะปรับเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป สำหรับการฝึกด้วยลู่วิ่งจะปรับเพิ่มขึ้น 0.5–1 กิโลเมตร/ ชั่วโมง ในทุก ๆ ช่วงการฝึก ส่วนการฝึกด้วยจักรยานจะปรับเพิ่มขึ้น 5-25 Watts ในทุก ๆ ช่วงการฝึก โดยการเพิ่มความหนักดังกล่าวเพื่อต้องการให้ระบบเผาผลาญออกซิเจนและพลังงานค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึงจุดสูงสุด ระหว่างการเพิ่มความหนักจากเบาไปจนมากที่สุด (Bertuzzi & et al., 2013; da Silva & e al., 2017)

## 2) ความบ่อยของการฝึก (frequency) และระยะเวลาของการฝึก (time)

ความบ่อยของการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายนั้นไม่แตกต่างกับการฝึกด้วยวิธีการอื่น ๆ คือ 3 – 5 วัน/ สัปดาห์ ส่วนระยะเวลาของการฝึกนั้นจะแตกต่างกันไปตามสมรรถภาพทางกายของแต่ละบุคคล เนื่องจากการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายจะสิ้นสุดลงก็ต่อเมื่อผู้ฝึกออกกำลังกายไปจนถึงความหนักสูงสุดที่ตนเองไม่สามารถทำต่อไปได้ โดยการกำหนดช่วงเวลาการเพิ่มความหนักเป็นช่วง ๆ ซึ่งหากเป็นการฝึกบนลู่วิ่งมักจะกำหนดด้วยวิธีเดียวกับการทดสอบด้วยการออกกำลังกาย คือช่วงการเพิ่มความหนักครั้งละ 1 นาที (Cooper & et al. 2010) ดังนั้นระยะเวลาของการฝึกจึงเป็นไปได้ตั้งแต่ 8 – 20 นาที

### 1.3.2 ผลของการฝึกแบบต่อเนื่องที่เกิดขึ้นกับร่างกาย

การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายสามารถพัฒนากับร่างกายในหลาย ๆ ด้านครอบคลุมสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเกือบทุกด้านได้แก่

- ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ
- ความอดทนและความแข็งแรงของระบบกล้ามเนื้อ
- องค์ประกอบของร่างกาย

ในระหว่างการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงานร่างกายจะมีการใช้พลังงานทั้งจากไขมันและคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น (Achten & et al., 2002; Pourmirzaei & et al., 2025) เพิ่มการใช้ออกซิเจนของร่างกายและทำให้ร่างกายบรรลุค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Belli & et al. 2019) การพัฒนานั้นเกิดขึ้นทั้งในคนปกติและคนที่มีความเสี่ยงทางสุขภาพอื่น ๆ โดยพบว่าการฝึกด้วยการเพิ่ม



ความหนักของการออกกำลังกายสามารถพัฒนาหัวใจให้ดีขึ้นกว่าการฝึกแบบต่อเนื่องในกลุ่มตัวอย่าง นักจักรยานที่มีภาวะหัวใจห้องล่างโต (Mikołajczyk, 2020)

### 1.3.3 ข้อดีและข้อจำกัดของการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย

การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย มีเวลาฝึกใกล้เคียงกับการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง จึงมีจุดเด่นเรื่องระยะเวลาในการฝึกที่น้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง และลักษณะการฝึกที่มีการเพิ่มความหนักจากความเร็วแบบขั้นบันได ทำให้ไม่ต้องนำอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดมากำหนดความเข้มข้นของการฝึก และร่างกายยังมีความพร้อมในการเปลี่ยนแปลงความหนักแบบค่อยเป็นค่อยไป ไม่ต้องปรับเปลี่ยนการทำงานจากหนักเป็นเบาตลอดเวลา ทำให้อาจช่วยลดอาการบาดเจ็บจากการทำงานผิดจังหวะของกล้ามเนื้อได้ แต่การฝึกด้วยวิธีการดังกล่าวก็จำเป็นต้องมีเครื่องมือในการฝึกเช่นลู่วิ่งเพื่อควบคุมการเพิ่มความหนักของงานให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และหากต้องการฝึกกลางแจ้งก็จำเป็นต้องฝึกเทคนิคการเพิ่มความหนักของงานให้ชำนาญ

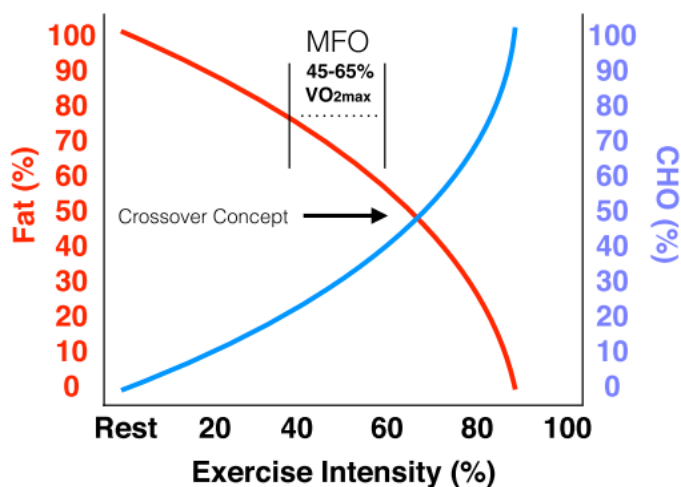
**สรุป** การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย เป็นการนำรูปแบบการทดสอบด้วยการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนัก มาเป็นวิธีในการฝึกออกกำลังกาย มีลักษณะการเพิ่มความหนักของการฝึกเป็นช่วง ๆ โดยกำหนดช่วงเวลาและการเพิ่มความหนักที่แน่นอน เช่นเพิ่มความเร็ว 1 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทุก ๆ 1 นาที การฝึกจะช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพในเกือบทุกด้าน

## 2. การเผาผลาญพลังงานของร่างกาย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ การเผาผลาญพลังงานของร่างกายจะหมายถึงการเผาผลาญพลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกาย ซึ่งโดยทั่วไปจะหมายถึงการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมันซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลัก ที่ถูกเผาผลาญโดยกล้ามเนื้อที่ออกกำลังกาย (Friedlander & et al., 2007; Brun & et al., 2022)

ระหว่างการออกกำลังกายจะเกิดการออกซิไดซ์ (เผาผลาญ) ของไขมันและคาร์โบไฮเดรตเพื่อให้พลังงานกับกล้ามเนื้อที่หดตัว ไขมันเป็นเชื้อเพลิงหลักในการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยจะให้พลังงานที่ประมาณร้อยละ 50 หากความเข้มข้นของการออกกำลังกายอยู่ที่ระดับร้อยละ 50 – 60 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Randell & Spriet, 2020) เมื่อความเข้มข้นของการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 60-65 ร่างกายจะมีการเปลี่ยนแปลงในการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมาใช้มากขึ้น (Achten & et al., 2002; Pourmirzaei & et al., 2025)





ภาพที่ 10 แสดงค่าการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตในขณะออกกำลังกาย

ที่มา: Purdom & et al., 2018

การเผาผลาญพลังงานในร่างกายสามารถทดสอบได้จากห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเผาผลาญพลังงาน (metabolic analyzer) หรือเรียกอีกอย่างว่าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (gas analyzer) การทดสอบดังกล่าวจะทำการประเมินอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายจากลมหายใจของผู้ทดสอบโดยใช้สมการในการวิเคราะห์คือ

**สมการที่ 1** (Pourmirzaei & et al., 2025)

$$EE \text{ (kcal/ min}^{-1}\text{)} = (3.869 \times VO_2) + (1.195 \times VCO_2)$$

$$\text{Fat oxidation rate (g/ min}^{-1}\text{)} = (1.67 \times VO_2) - (1.67 \times VCO_2)$$

$$\text{Carbohydrate oxidation rate (g/ min}^{-1}\text{)} = (4.55 \times VCO_2) - (3.21 \times VO_2)$$

**หรืออาจใช้สมการที่ 2** (D'Alleva & et al., 2023)

$$\text{Fat oxidation rate (g/ min}^{-1}\text{)} = (1.67 \times VO_2) - (1.67 \times VCO_2) - 0.307 \times Pox$$

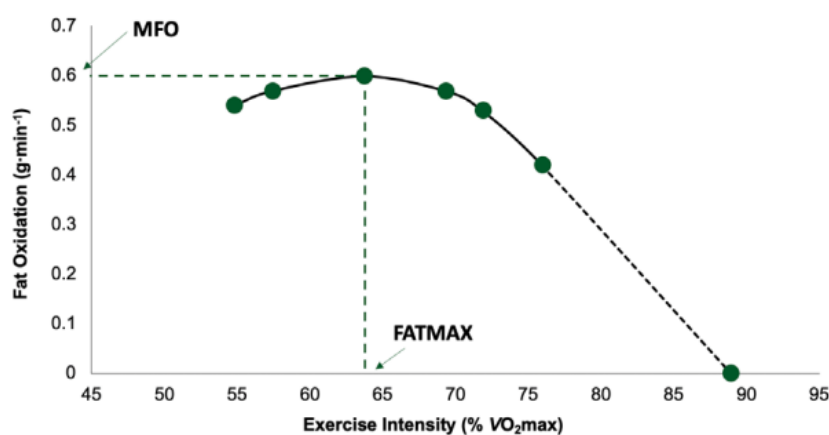
$$\text{Carbohydrate oxidation rate (g/ min}^{-1}\text{)} = (4.55 \times VCO_2) - (3.21 \times VO_2) - 0.459 \times Pox$$

$$\text{Protein oxidation rate (g/ min}^{-1}\text{)} = EE \text{ (kJ min}^{-1}\text{)} \times 0.12 - 16.74 \text{ (kJ g}^{-1}\text{)}$$

|       |                  |                                                       |
|-------|------------------|-------------------------------------------------------|
| เมื่อ | EE               | = พลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกาย (energy expenditure)  |
|       | Fat oxidation    | = การเผาผลาญไขมัน                                     |
|       | CHO oxidation    | = การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต                              |
|       | VO <sub>2</sub>  | = ปริมาณการใช้ออกซิเจนมีหน่วยเป็น ลิตร/ นาที          |
|       | VCO <sub>2</sub> | = ปริมาณการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ มีหน่วยเป็นลิตร/ นาที |
|       | Pox              | = อัตราการเผาผลาญโปรตีน                               |

## 2.1 การเผาผลาญไขมันสูงสุดในร่างกาย (maximal fat oxidation: MFO)

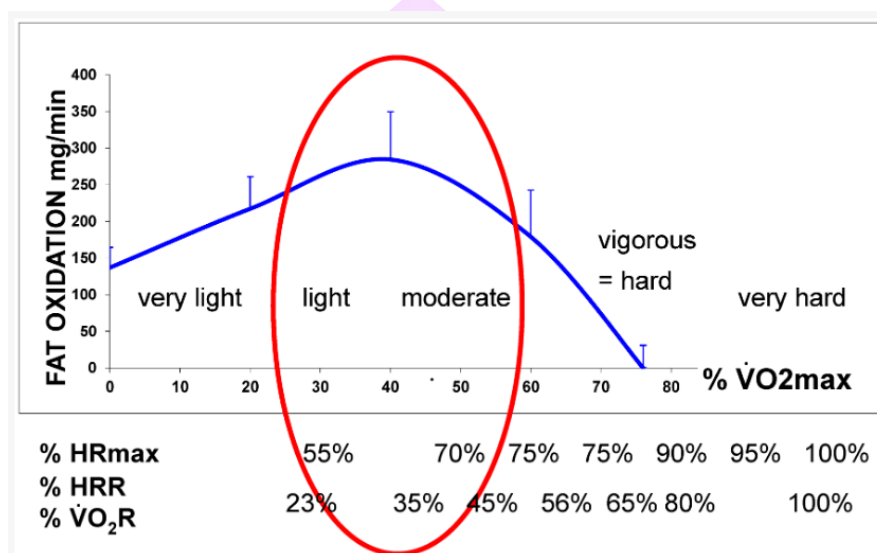
การเผาผลาญไขมัน (fat oxidation) ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงความเข้มข้นของการออกกำลังกายต่ำกว่าร้อยละ 65 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือเทียบเท่าที่ประมาณร้อยละ 40 – 50 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Achten & et al., 2002; Pourmirzaei & et al., 2025) โดยค่าเผาผลาญไขมันสูงสุดของร่างกายจะอยู่ในช่วงร้อยละ 45-65 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Purdom & et al., 2018)



ภาพที่ 11 แสดงค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดแบบกรัม/ นาที (g/ min) และแบบร้อยละของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (%VO<sub>2</sub>max)

ที่มา: Randell & Spriet, 2020

ค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดสามารถเรียกได้หลายรูปแบบเช่น maximal fat oxidation (MFO) โดยจะแสดงในรูปของ กรัม/ นาที (g/ min) หรือ Fatmax ซึ่งจะแสดงในรูปของ ร้อยละของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (%VO<sub>2</sub>max) (Randell& Spriet, 2020) นอกจากนี้ยังสามารถเรียกแบบอื่น ๆ ได้อีกเช่น MFO, PFO หรือ LIPOXmax (Brun& et al., 2022)



ภาพที่ 12 แสดงค่าการเผาผลาญไขมันในขณะออกกำลังกายกับความหนักของการออกกำลังกาย ในแบบต่าง ๆ

ที่มา: Brun& et al., 2022

จากการสำรวจนักกีฬาประเภทต่าง ๆ ที่แข่งขันกีฬาดังแต่ระดับเพื่อการสันทนการ – ถึงการแข่งขันในระดับสูงจำนวน 1,121 คน โดยทำการทดสอบค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดด้วยวิธีการทดสอบแบบการเพิ่มความหนักของงานพบว่ามีค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.17 – 1.27 กรัม/ นาที ทั้งนี้ค่าดังกล่าวจะแตกต่างกันไปตามระดับความฟิต เพลส การรับประทานอาหาร และพบว่าน้ำหนักตัวปราศจากไขมัน (fat free mass: FFM) ส่งผลต่อค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดมากที่สุดโดยพบว่า ผู้ที่มีน้ำหนักตัวปราศจากไขมันมากจะมีค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดสูงกว่าผู้ที่มีน้ำหนักตัวปราศจากไขมันน้อย (Fletcher& et al., 2017; Randell& et al., 2017)

การเพิ่มขึ้นของการเผาผลาญไขมันระหว่างการออกกำลังกาย อาจช่วยลดการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะไกลโคเจน ซึ่งมีความจำเป็นมากสำหรับการออกกำลังกายที่ใช้

ความหนักสูง ๆ (Randell & Spriet, 2020) ดังนั้นการฝึกเพื่อพัฒนาการใช้พลังงานจากไขมันในร่างกายจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ที่ต้องการฝึกออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูง ๆ และนักกีฬา

|                                    | Maximal Fat Oxidation Rate (g·min <sup>-1</sup> ) |             | FATMAX (% VO <sub>2</sub> max) |             |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
|                                    | Mean                                              | Range       | Mean                           | Range       |
| Soccer (N = 283)                   | 0.58                                              | 0.17 – 1.11 | 51.8                           | 22.9 – 88.8 |
| Basketball (N = 164)               | 0.65                                              | 0.22 – 1.20 | 49.8                           | 23.3 – 88.6 |
| Tennis (N = 143)                   | 0.51                                              | 0.25 – 0.88 | 47.5                           | 25.4 – 84.4 |
| Baseball (N = 283)                 | 0.54                                              | 0.25 – 0.94 | 44.8                           | 24.1 – 87.5 |
| American Football (N = 84)         | 0.65                                              | 0.27 – 1.27 | 43.7                           | 23.3 – 79.2 |
| Golf (N = 60)                      | 0.49                                              | 0.21 – 0.97 | 47.1                           | 22.6 – 86.9 |
| Field Hockey/<br>Lacrosse (N = 60) | 0.63                                              | 0.31 – 1.04 | 47.2                           | 25.3 – 77.0 |
| Rugby (N = 47)                     | 0.72                                              | 0.38 – 1.09 | 53.5                           | 24.6 – 79.2 |

ภาพที่ 13 แสดงค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดของนักกีฬาชนิดต่าง ๆ

ที่มา: Randell & Spriet, 2020

## 2.2 การใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที (VO<sub>2</sub>max)

การเผาผลาญพลังงานภายในร่างกายโดยเฉพาะการเผาผลาญไขมัน จำเป็นต้องใช้ ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นในการเผาผลาญเพื่อให้เกิดพลังงาน ดังนั้นการใช้ออกซิเจนของร่างกายจึงสะท้อนการเผาผลาญไขมันของร่างกาย การใช้ออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงสะท้อนการเผาผลาญไขมันของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย ปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายจากปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายรับเข้าไปให้เซลล์ใช้ใน 1 นาที เรียกว่า oxygen consumption / oxygen uptake มีสัญลักษณ์คือ (VO<sub>2</sub>) ทั้งนี้มีบัญญัติศัพท์ภาษาไทยเกี่ยวกับ ค่า (VO<sub>2</sub>) ไว้มากมายเช่น การบริโภคออกซิเจน การจับออกซิเจน การใช้ออกซิเจน ซึ่งทั้งหมดให้ความหมายไปในทิศทางเดียวกัน

ก็คือค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกายเพื่อเผาผลาญไขมันให้เกิดพลังงานใน 1 นาที (มณิธร รัช บำรุง, 2567)

ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาทีจะรายงานเป็น 2 รูปแบบคือ (มณิธร รัชบำรุง, 2567)

1) Absolute VO<sub>2</sub>max = เป็นการรายงานเฉพาะปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายมีหน่วยเป็น ลิตร/ นาที (L/ min)

2) Relative VO<sub>2</sub>max = เป็นการรายงานปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวของผู้ทดสอบ มีหน่วยวัดเป็น มล/ กก./ นาที (mL/ kg/ min)

ทั้งนี้การรายงานแบบ Relative จะเป็นที่ยอมรับมากกว่าในกรณีที่จะต้องเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายระหว่างบุคคล

**TABLE 3. Sex-Specific Percentiles for CRF From Treadmill Exercise Tests With Measured  $\dot{V}O_{2\max}$  Obtained From FRIEND and Predicted  $\dot{V}O_{2\max}$  ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) Reported by the Cooper Clinic<sup>13,a,b</sup>**

| Age group (y)                               | Percentile |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------|------------|------|------|------|------|------|
|                                             | 5th        | 10th | 25th | 50th | 75th | 90th |
| <b>Men from FRIEND<sup>c</sup></b>          |            |      |      |      |      |      |
| 20-29                                       | 29.0       | 32.1 | 40.1 | 48.0 | 55.2 | 61.8 |
| 30-39                                       | 27.2       | 30.2 | 35.9 | 42.4 | 49.2 | 56.5 |
| 40-49                                       | 24.2       | 26.8 | 31.9 | 37.8 | 45.0 | 52.1 |
| 50-59                                       | 20.9       | 22.8 | 27.1 | 32.6 | 39.7 | 45.6 |
| 60-69                                       | 17.4       | 19.8 | 23.7 | 28.2 | 34.5 | 40.3 |
| 70-79                                       | 16.3       | 17.1 | 20.4 | 24.4 | 30.4 | 36.6 |
| <b>Men from Cooper Clinic<sup>d</sup></b>   |            |      |      |      |      |      |
| 20-29                                       | 31.8       | 34.7 | 39.0 | 43.9 | 48.5 | 54.0 |
| 30-39                                       | 31.2       | 33.8 | 37.8 | 42.4 | 47.0 | 51.7 |
| 40-49                                       | 29.4       | 32.3 | 35.9 | 40.1 | 44.9 | 49.6 |
| 50-59                                       | 26.9       | 29.4 | 32.8 | 37.1 | 41.8 | 46.8 |
| 60-69                                       | 23.6       | 25.6 | 29.5 | 33.8 | 38.3 | 42.7 |
| 70-79                                       | 20.8       | 23.0 | 26.9 | 30.9 | 35.2 | 39.5 |
| <b>Women from FRIEND<sup>c</sup></b>        |            |      |      |      |      |      |
| 20-29                                       | 21.7       | 23.9 | 30.5 | 37.6 | 44.7 | 51.3 |
| 30-39                                       | 19.0       | 20.9 | 25.3 | 30.2 | 36.1 | 41.4 |
| 40-49                                       | 17.0       | 18.8 | 22.1 | 26.7 | 32.4 | 38.4 |
| 50-59                                       | 16.0       | 17.3 | 19.9 | 23.4 | 27.6 | 32.0 |
| 60-69                                       | 13.4       | 14.6 | 17.2 | 20.0 | 23.8 | 27.0 |
| 70-79                                       | 13.1       | 13.6 | 15.6 | 18.3 | 20.8 | 23.1 |
| <b>Women from Cooper Clinic<sup>d</sup></b> |            |      |      |      |      |      |
| 20-29                                       | 27.6       | 29.5 | 33.0 | 37.8 | 42.4 | 46.8 |
| 30-39                                       | 25.9       | 28.0 | 32.0 | 36.7 | 41.0 | 45.3 |
| 40-49                                       | 25.1       | 26.6 | 30.2 | 34.5 | 38.6 | 43.1 |
| 50-59                                       | 23.0       | 24.6 | 28.0 | 31.4 | 35.2 | 38.8 |
| 60-69                                       | 21.8       | 23.0 | 25.1 | 28.8 | 32.3 | 35.9 |
| 70-79                                       | 19.6       | 21.5 | 24.2 | 27.6 | 29.8 | 32.5 |

<sup>a</sup>CRF = cardiorespiratory fitness; CPX = cardiopulmonary exercise testing; FRIEND = Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database;  $\dot{V}O_{2\max}$  = maximal oxygen uptake.  
<sup>b</sup>All patients are considered free of known cardiovascular disease.  
<sup>c</sup>The FRIEND CRF data were measured with CPX.  
<sup>d</sup>The Cooper Clinic data reported were predicted from Balke test time or work rate.

ภาพที่ 14 แสดงค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในผู้ชายและผู้หญิงจากการทดสอบของ  
The FRIEND CRF และ The Cooper Clinic ตามลำดับเปอร์เซ็นต์ไทล์

ที่มา: Kaminsky & et al., 2015

ร่างกายจะมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนกิจกรรมจากพักเป็นการออกกำลังกาย โดยปกติในขณะที่พักจะมีค่าการใช้ออกซิเจนอยู่ที่ประมาณ 3.5 ml/kg/min และจะเพิ่มขึ้นเป็น 35 – 40 ml/kg/min และ 27-31 ml/kg/min ในคนปกติเพศชายและเพศหญิงตามลำดับ ทั้งนี้ในนักกีฬาที่ใช้ความอดทนสูงเช่นการวิ่งทางไกล จะพบว่ามีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในขณะออกกำลังกายที่ 85 ml/kg/min สำหรับนักกีฬาชายและ 77 ml/kg/min สำหรับนักกีฬาหญิง ทั้งนี้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะลดลงตามอายุที่มากขึ้น (มณินทร รักษ์บำรุง, 2567; Hagerman, 1984; Heyward, 1998; Noakes, T., 2003; Guyton & Hall, 2011)

### 2.3 การทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดและการเผาผลาญไขมันสูงสุด

การทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทำได้ด้วยวิธีการทดสอบด้วยการออกกำลังกายซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (Glaab & Taube, 2022) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องวิเคราะห์ลมหายใจเพื่อทำการทดสอบด้วยการออกกำลังกาย ซึ่งสามารถประเมินได้ทั้งค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด และค่าการใช้ไขมันสูงสุด การทดสอบด้วยการออกกำลังกายสามารถแบ่งได้เป็น (ถาวรินทร รักษ์บำรุง, 2567)

- 1) การทดสอบด้วยการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด (submaximal exercise test)
- 2) การทดสอบด้วยการออกกำลังกายเต็มความสามารถ (maximal exercise test) คือการทดสอบด้วยการออกกำลังกายจนถึงจุดสูงสุดของความสามารถ

เครื่องวิเคราะห์ลมหายใจที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะใช้การวัดที่เรียกว่า การวัดการเผาผลาญพลังงานแบบระบบเปิด (open-circuit indirect calorimetry) โดยมีระบบการทดสอบ 2 ระบบที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ระบบ Breath-by-Breath และระบบ Mixing chamber ทั้งนี้เมื่อนำวิธีการทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบกัน จะพบว่าระบบแบบ Mixing chamber ให้ค่าการคำนวณและมีความเสถียร ทั้งนี้ทั้ง 2 ระบบยออาศัยหลักการพื้นฐานในการวัดที่สำคัญคือ (ถาวรินทร รักษ์บำรุง, 2567)

- 1) ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไป ( $\text{VO}_2$ ) = ปริมาณออกซิเจนในลมหายใจเข้า (inspired  $\text{O}_2$ ) – ปริมาณออกซิเจนในลมหายใจออก (expired  $\text{O}_2$ )

2) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตขึ้น ( $\text{VCO}_2$ ) = ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออกออกซิเจนในลมหายใจออก (expired  $\text{CO}_2$ ) – ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจเข้า (inspired  $\text{CO}_2$ )

เกณฑ์หลักในการประเมินค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซซึ่งเป็นค่าที่สำคัญที่สุด คือจุดคงที่ของการใช้ออกซิเจน หรือ  $\text{VO}_{2\text{max}}$  plateau ( มณีนทร รัชช์บำรุง, 2567) อาศัยหลักการที่ว่า หากค่าการใช้ออกซิเจนไม่มีการเพิ่มขึ้นตอบสนองต่อการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายในช่วงท้ายของความหนักนั้น จะถือว่าค่าการใช้ออกซิเจนที่วัดได้เป็นค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่แท้จริง แต่ในความเป็นจริงแล้วผู้ที่ทำการทดสอบหลายคนไม่สามารถบรรลุถึงจุดคงที่ของการใช้ออกซิเจนได้ด้วยปัจจัยหลายประการไม่ว่าจะเป็นลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพทางกาย ความสมบูรณ์ของร่างกาย อายุ ลักษณะและการออกแบบวิธีการทดสอบ การประมวลผลข้อมูล สมรรถภาพทางกาย และการออกแบบการทดสอบ (de Sousa & et al., 2021)



ภาพที่ 15 แสดงค่าการทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยเครื่องวิเคราะห์ลมหายใจ การทดสอบด้วยการออกกำลังกายเต็มความสามารถแบบเพิ่มความหนักของงาน ณ.ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา มหาวิทยาลัยพะเยา

ที่มา: ผู้วิจัย



ดังนั้นในกรณีที่มีความชัดเจนว่าผู้เข้ารับการทดสอบไม่สามารถบรรลุค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุด จึงมีเกณฑ์รองในการประเมินค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุด โดยใช้ตัวแปรต่าง ๆ รวมในการกำหนดคือ (Poole & et al., 2008; de Sousa & et al., 2021)

- 1) อัตราการเต้นของหัวใจ (HR)  $\leq 5\%$  ของค่าสูงสุดที่คาดการณ์ตามอายุ (220-อายุ) หรือ
- 2) ความเข้มข้นของแลคเตตในเลือด  $\geq 8$  mM หรืออัตราการแลกเปลี่ยนทางเดินหายใจ หรือ
- 3) ค่า RER  $> 1.00, 1.10$  หรือ  $1.1516$

RER (Respiratory Exchange Ratio) = อัตราส่วนระหว่างจำนวน คาร์บอนไดออกไซด์ที่หายใจออกและจำนวนออกซิเจนที่หายใจเข้า ในความเป็นจริงแล้ว คือ RER และ RQ เป็นหน่วยวัดที่วัดจากค่าตัวเดียวกัน แต่ค่า RER จะวัดอัตราส่วนระหว่าง  $VCO_2 / VO_2$  โดยการวัดจากการหายใจจากปอด ดังนั้นค่า RER อาจจะมีช่วงได้ตั้งแต่ น้อยกว่า  $<0.7$  จนถึง มากกว่า  $>1.2$  ( $<0.7 - >1.2$ ) ในขณะที่ค่า R.Q. จะมีช่วงตั้งแต่  $0.7 - 1$  (ถาวรินทร์ รักษาบำรุง, 2567)

## 2.4 ผลของการฝึกออกกำลังกายที่มีค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดและการเผาผลาญไขมัน สูงสุด

ค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดและการเผาผลาญไขมันสูงสุด สามารถพัฒนาได้จากการฝึก ออกกำลังกายแบบแอโรบิกไม่จำเป็นว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง หรือการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก การฝึกออกกำลังกายทั้งแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบ หนักสลับเบาช่วยเพิ่มค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ผลดีที่ไม่ แตกต่างกันระหว่างการฝึกทั้ง 2 แบบ (Rugbumrung, 2022) โดยสามารถเพิ่มค่าการใช้ ออกซิเจน สูงสุดของร่างกายได้อย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่มประชากรไม่ว่าจะเป็น เด็ก ผู้ใหญ่ ผู้สูงอายุ คนที่ออก กำลังกายอยู่เป็นประจำ ผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย และคนอ้วน (Hottenrott, 2012; Sloth & et al., 2013; Weston & et al., 2014; Crowley & et al., 2022; Rugbumrung, 2022) นอกจากนั้น การฝึกแบบแอโรบิกทุกประเภทยังช่วยพัฒนาระบบการเผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) ทำให้ค่าการเผาผลาญไขมันเพิ่มขึ้นเนื่องจากการฝึกส่งผลให้จำนวนของไมโท รคอนเดรียหนาแน่นขึ้น (mitochondrial density) ส่งผลให้เกิดการเผาผลาญพลังงานที่ใช้ไขมันเป็น หลักมากขึ้นทั้งในขณะออกกำลังกายและภายหลังการออกกำลังกาย (Muscella & et al., 2020; Randell & Spriet, 2020)

**สรุป** ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดและค่าการใช้ไขมันสูงสุด เป็นค่าที่สะท้อนการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย สามารถทดสอบได้จากการทดสอบด้วยการออกกำลังกายด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซที่วิเคราะห์ลมหายใจเข้า-ออกขณะออกกำลังกาย ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดและค่าการใช้ไขมันสูงสุด สามารถพัฒนาได้จากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกทุกประเภท และแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนและระบบหายใจ รวมไปถึงประสิทธิภาพในการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย

### 3. องค์ประกอบของร่างกายและสารชีวเคมีในเลือด

องค์ประกอบของร่างกายเป็นสมรรถภาพทางกายเพื่อสุขภาพที่ทำให้บุคคลมีความแตกต่างกันออกไปในด้านลักษณะทางกาย โดยทั่วไปองค์ประกอบของร่างกายจะหมายถึงน้ำหนักตัว (body weight) ไขมันในร่างกาย มวลกล้ามเนื้อ กระดูก และของเหลวต่าง ๆ ซึ่งสามารถแสดงในรูปของ ร้อยละ (%) และน้ำหนัก (กิโลกรัม) (มณีนทร รัชชบํารุง, 2567)

สำหรับในงานวิจัยนี้ องค์ประกอบในร่างกายผู้วิจัยจะให้ความสำคัญกับน้ำหนักตัวและไขมันในร่างกาย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญและสะท้อนความมีสุขภาพทางกายที่ดี

#### 3.1 น้ำหนักตัว (body weight)

น้ำหนักตัวเป็นตัวแปรที่สำคัญมากขององค์ประกอบของร่างกาย แสดงถึงความอ้วนและผอมที่สามารถมองเห็นได้ โดยน้ำหนักตัวแปรผันโดยตรงกับพลังงานที่ได้จากสารอาหารในแต่ละวัน การรักษาน้ำหนักตัวให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (มณีนทร รัชชบํารุง, 2567) น้ำหนักตัวของคนเราถูกกำหนดโดยแรงดึงดูดจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีต่อตัวเรา เป็นไปตามกฎของนิวตันในรูปของมวลคูณด้วยความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง (Ferrel & et al., 2019) มีค่าเป็นกิโลกรัม (kg) หรือ ปอนด์ (pound) สำหรับคนไทยควรมีน้ำหนักและส่วนสูงตามวัยดังต่อไปนี้

| กลุ่มอายุ<br>(ปี) | น้ำหนัก (กิโลกรัม) |      | ส่วนสูง (เซนติเมตร) |       |
|-------------------|--------------------|------|---------------------|-------|
|                   | หญิง               | ชาย  | หญิง                | ชาย   |
| 6-8               | 22.5               | 23.0 | 121.0               | 122.3 |
| 9-12              | 36.5               | 35.6 | 143.9               | 142.2 |
| 13-15             | 47.7               | 51.5 | 157.1               | 164.3 |
| 16-18             | 48.9               | 58.3 | 158.8               | 171.2 |
| 19-30             | 53.0               | 61.3 | 158.9               | 170.8 |
| 31-50             | 52.2               | 60.1 | 157.6               | 169.2 |
| 51-60             | 51.9               | 59.5 | 156.5               | 167.8 |
| 61-70             | 49.9               | 58.7 | 153.5               | 165.1 |
| ≥71               | 48.5               | 56.2 | 152.0               | 163.6 |

ภาพที่ 16 แสดงค่ามาตรฐานน้ำหนักและส่วนสูงสำหรับคนไทยในช่วงวัยต่าง ๆ

ที่มา: (คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563)

### 3.2 ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%body fat)

ไขมันเป็นแหล่งสำรองพลังงานที่สำคัญของร่างกายโดยเฉพาะรูปแบบการเคลื่อนไหวที่ใช้ระบบพลังงานแบบแอโรบิก (มณินทร รักษ์บำรุง, 2567) ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวที่สำคัญที่สุดในการดำรงชีวิตประจำวัน ร่างกายจะเก็บสำรองไขมันไว้ในรูปของเนื้อเยื่อไขมันหรือ Adipose tissue แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือเนื้อเยื่อไขมันสีขาวหรือ White adipose tissue และเนื้อเยื่อไขมันสีน้ำตาล Brown adipose tissue (Rosen & Spiegelman, 2014) เนื้อเยื่อไขมันสีขาวจะกระจายสะสมอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและพบมากบริเวณหน้าท้องและต้นแขน ตามหลักวิทยาศาสตร์ไขมัน 1 กิโลกรัมให้พลังงาน 9,000 kcal แต่เนื่องจากในร่างกายมีสารประกอบอื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วยทำให้ไขมันในร่างกายมนุษย์ 1 กิโลกรัมให้พลังงาน 7,700 kcal ทั้งนี้นอกจากจะเป็นแหล่งพลังงานสะสมให้กับร่างกายแล้วไขมันยังมีหน้าที่ในการรักษาสมดุลพลังงานให้เกิดขึ้นกับร่างกายด้วย (Ahima, 2006; Heymsfield & et al., 2012; Bogdani & Pano, 2021; Kolnes & et al., 2021)

ไขมันในร่างกายจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (ถาวรินทร์ รักษ์บำรุง)

- 1) ไขมันใต้ผิวหนัง: Subcutaneous fat
- 2) ไขมันในช่องท้อง: Visceral fat



ภาพที่ 17 แสดงไขมันใต้ผิวหนังและไขมันในช่องท้องในคนสุขภาพดีและคนอ้วน

ที่มา: <https://drjockers.com/visceral-fat/>

ร้อยละของไขมันในร่างกายเป็นเกณฑ์การประเมินความอ้วนที่ดีที่สุด โดยสมาคมแพทย์โรคอ้วนแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Bariatric Physicians; ASBP) และ สภาว่าด้วยการออกกำลังกายแห่งสหรัฐอเมริกา (American Council on Exercise; ACE) กำหนดเกณฑ์ในการวินิจฉัยความอ้วนจากไขมันในร่างกายไว้ดังนี้ (ถาวรินทร์ รักษ์บำรุง, 2567)

- ผู้ชายที่มีไขมันในร่างกายตั้งแต่ร้อยละ 25 ถือว่าเป็นคนอ้วน (American Society of Bariatric Physicians; ASBP และ American Council on Exercise; ACE) (Shah & Braverman, 2012; Seger & et al., 2014; Malara & et al., 2021)

- ผู้หญิงที่มีไขมันในร่างกายตั้งแต่ร้อยละ 30 (American Society of Bariatric Physicians; ASBP) (Shah & Braverman, 2012) หรือมากกว่าร้อยละ 32 ในผู้หญิง (American Society of Bariatric Physicians; ASBP และ American Council on Exercise; ACE) ถือว่าเป็นคนอ้วน (Seger & et al., 2014; Malara & et al., 2021)

สำหรับในประเทศไทยกรมพลศึกษา. (2556) ได้จัดทำเกณฑ์มาตรฐานค่าร้อยละของไขมันในร่างกายประชาชนชาวไทยระหว่างอายุ 19 – 59 ปี (ถาวรันทร รักษ์บำรุง, 2567) โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### เกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับประชาชนทั่วไป อายุ 19-59 ปี

หน่วย: เปอร์เซ็นต์

| ช่วงอายุ (ปี) | รายการความหนาไขมันใต้ผิวหนัง (เปอร์เซ็นต์) |             |             |              |             |           |             |             |              |             |
|---------------|--------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
|               | เพศชาย                                     |             |             |              |             | เพศหญิง   |             |             |              |             |
|               | พอม                                        | ค่อนข้างพอม | สมส่วน      | ค่อนข้างอ้วน | อ้วน        | พอม       | ค่อนข้างพอม | สมส่วน      | ค่อนข้างอ้วน | อ้วน        |
| 19            | 11.0 ลงมา                                  | 11.1 - 17.2 | 17.3 - 23.4 | 23.5 - 29.6  | 29.7 ขึ้นไป | 14.9 ลงมา | 15.0 - 19.7 | 19.8 - 24.5 | 24.6 - 29.3  | 29.4 ขึ้นไป |
| 20 - 24       | 11.7 ลงมา                                  | 11.8 - 17.8 | 17.9 - 23.9 | 24.0 - 30.0  | 30.1 ขึ้นไป | 15.6 ลงมา | 15.7 - 20.2 | 20.3 - 24.8 | 24.9 - 29.4  | 29.5 ขึ้นไป |
| 25 - 29       | 12.4 ลงมา                                  | 12.5 - 18.4 | 18.5 - 24.4 | 24.6 - 30.5  | 30.6 ขึ้นไป | 16.4 ลงมา | 16.5 - 20.8 | 20.9 - 25.2 | 25.3 - 29.6  | 29.7 ขึ้นไป |
| 30 - 34       | 13.1 ลงมา                                  | 13.2 - 19.1 | 19.2 - 25.1 | 25.2 - 31.1  | 31.2 ขึ้นไป | 17.2 ลงมา | 17.3 - 21.6 | 21.7 - 26.0 | 26.1 - 30.4  | 30.5 ขึ้นไป |
| 35 - 39       | 13.7 ลงมา                                  | 13.8 - 19.7 | 19.8 - 25.7 | 25.8 - 31.7  | 31.8 ขึ้นไป | 17.5 ลงมา | 17.6 - 21.8 | 21.9 - 26.1 | 26.2 - 30.4  | 30.5 ขึ้นไป |
| 40 - 44       | 14.4 ลงมา                                  | 14.5 - 20.4 | 20.5 - 26.4 | 26.5 - 32.4  | 32.5 ขึ้นไป | 18.0 ลงมา | 18.1 - 22.2 | 22.3 - 26.4 | 26.5 - 30.6  | 30.7 ขึ้นไป |
| 45 - 49       | 14.8 ลงมา                                  | 14.9 - 21.1 | 21.2 - 27.4 | 27.5 - 33.7  | 33.8 ขึ้นไป | 19.1 ลงมา | 19.2 - 23.0 | 23.1 - 26.9 | 27.0 - 30.8  | 30.9 ขึ้นไป |
| 50 - 54       | 15.0 ลงมา                                  | 15.1 - 21.4 | 21.5 - 27.8 | 27.9 - 34.2  | 34.3 ขึ้นไป | 19.6 ลงมา | 19.7 - 23.4 | 23.5 - 27.2 | 27.3 - 31.0  | 31.1 ขึ้นไป |
| 55 - 59       | 15.4 ลงมา                                  | 15.5 - 21.8 | 21.9 - 28.2 | 28.3 - 34.6  | 34.7 ขึ้นไป | 20.1 ลงมา | 20.2 - 23.8 | 23.9 - 27.5 | 27.6 - 31.2  | 31.3 ขึ้นไป |

กรมพลศึกษา, 2556

#### ภาพที่ 18 เกณฑ์มาตรฐานค่าร้อยละของไขมันในร่างกายประชาชนชาวไทย ระหว่างอายุ 19 – 59 ปี

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา, 2556



### 3.3 ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL)

สารชีวเคมีในเลือดมีหลายประเภท โดยสารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับไขมันและสัมพันธ์กับสุขภาพและสมรรถภาพทางกายที่สำคัญและสามารถตรวจวัดได้คือ (ถาวรินทร์ รักษ์บำรุง, 2567)

- ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) เป็นไขมันในเลือดรูปแบบหนึ่ง เมื่อร่างกายได้รับพลังงานส่วนเกินมากเกินไป ส่วนใหญ่มักจะเกิดจากการได้รับอาหารที่ให้พลังงานอย่างรวดเร็วหรืออาหารประเภทพลังงานสูง เช่น ของหวาน, น้ำตาล, แป้งหรือเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์

- คอเลสเตอรอล (cholesterol) เป็นไขมันที่จำเป็นซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตฮอร์โมน, วิตามิน และเป็นโครงสร้างของเซลล์ ร่างกายสามารถสร้างเองได้จากตับ และจะเพิ่มขึ้นจากการที่ร่างกายได้รับพลังงานส่วนเกินโดยเฉพาะจากอาหารที่มาจากเนื้อสัตว์, นม และไข่ แบ่งเป็น

1) คอเลสเตอรอลรวม (total cholesterol; TC) ซึ่งเป็นผลรวมของ HDL + LDL + และอีกประมาณร้อยละ 20 เป็น Triglycerides

2) ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein cholesterol; LDL-C)

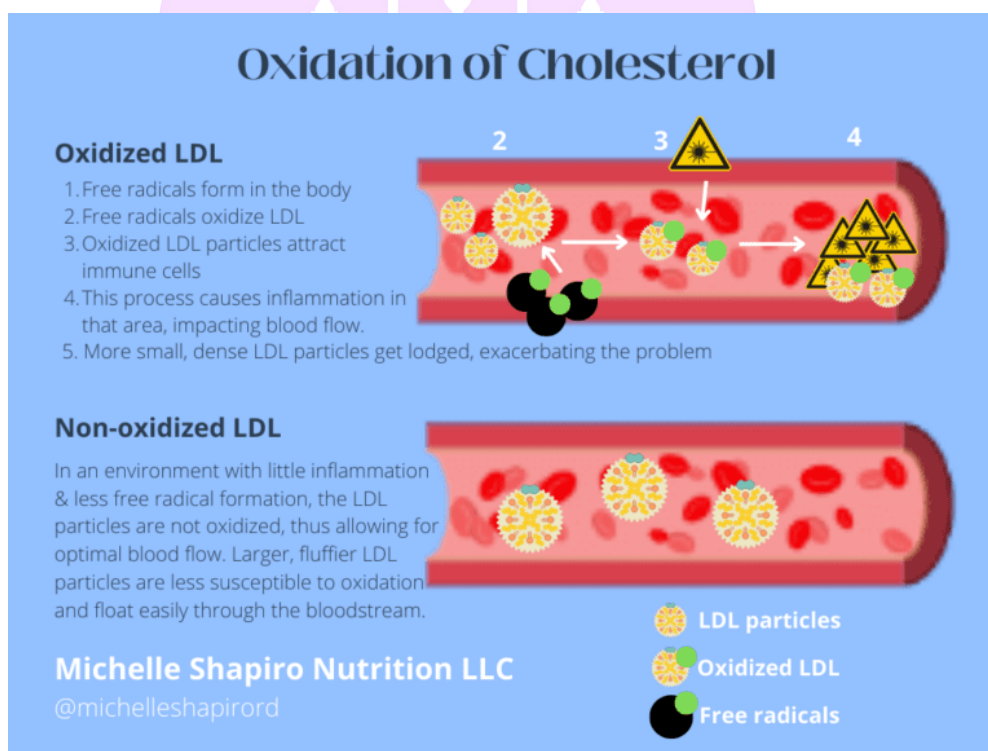
3) ไลโปโปรตีนคอเลสเตอรอลความหนาแน่นสูง (high-density lipoprotein cholesterol; HDL-C)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะให้ความสำคัญกับ ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) ซึ่งเป็นสารชีวเคมีที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มโรคไม่ติดต่อที่ร้ายแรง (NCDs) โดยเฉพาะโรคที่สัมพันธ์กับหัวใจและหลอดเลือด

ไลโปโปรตีน คืออนุภาคเสมือน ที่มีส่วนประกอบของอะพอลิโพรตีน (Apolipoproteins: Apos) มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญไลโปโปรตีน (enzymes involved in lipoprotein metabolism) (Feingold & Grunfeld, 2018) ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) เป็นไขมันที่มีความสำคัญกับร่างกายเนื่องจากมีหน้าที่เป็นตัวขนส่งไขมันและสารที่ละลายในไขมันระหว่างตับเนื้อเยื่อส่วนปลาย (Peripheral tissue) (Barter, et al, 2007) โดยปกติไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำถือเป็นไขมันที่จำเป็นอย่างมากสำหรับร่างกาย แต่เนื่องจากไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำเป็นสารที่เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุลได้ง่าย คือเกิดการออกซิเดชัน (oxidation) หรือทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ (Oxidized LDL หรือ OxLDL lipids หรือ oxLDL) โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงกับหลอดเลือดแดงเนื่องจากมีการกักเก็บอะโพลิโพรตีน

(Apolipoprotein B; ApoB ) ซึ่ง ApoB จะกระตุ้นการอักเสบของผนังหลอดเลือดแดงและส่งผลโดยตรงให้หลอดเลือดแดงเกิดการแข็งตัว (Li D, Mehta JL, 2005)

LDL จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับสารอนุมูลอิสระในร่างกายจากออกซิเจน Reactive oxygen species (ROS) และจากไนโตรเจน Reactive nitrogen species (RNS) ทำให้ LDL กลายเป็น oxLDL โดย oxLDL นอกจากจะกระตุ้นการอักเสบของผนังหลอดเลือดแดงแล้วยังมีผลในการลดระดับ ไนตริกออกไซด์ (nitric oxide: NO) ซึ่งเป็นสารที่กระตุ้นการขยายตัวของหลอดเลือด (Leiva& et al., 2015; Yang& et al., 2016; Muscella& et al., 2020) ทำให้เกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัว



ภาพที่ 19 แสดงกลไกการเกิด oxLDL จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL

ที่มา: <https://michelleshapiord.com/2023/01/03/the-truth-about-cholesterol-functional-nutrition-for-heart-health/>



### 3.4 ผลของการฝึกออกกำลังกายที่มีต่อน้ำหนักตัว ร้อยละของไขมันในร่างกายและไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ

น้ำหนักตัว ร้อยละไขมันในร่างกาย และไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำสามารถควบคุมและพัฒนาได้จากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก ทั้งการฝึกออกกำลังกายทั้งแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบหนักสลับเบา สามารถช่วยควบคุมและลดน้ำหนักตัวรวมไปถึงร้อยละของไขมันในร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ผลดีที่ไม่แตกต่างกันระหว่างการฝึกแบบต่อเนื่องกับการฝึกแบบหนักสลับเบา (Rugbumrung, 2022) การออกกำลังกายช่วยเพิ่ม HDL และ HDL ที่ถูกออกซิไดซ์ (oxHDL) ได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลดลงของ oxLDL ดังนั้น การออกกำลังกายจึงสามารถส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ HDL และลดปริมาณ LDL ทำให้ลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดโดยการลด (Wang & Xu, 2017) นอกจากนี้ยังพบว่าการฝึกแบบแอโรบิกควบคู่กับการฝึกด้วยแรงต้านช่วยลดระดับ LDL ในผู้ที่ทำการฝึก (Sheikholeslami Vatan, 2011)

Several studies about effects of aerobic exercise on HDL-C, LDL-C and TG in human

| References            | n                 | Design | Training time | Training frequency               | Training strength   | Changes of HDL-C      | Changes of LDL-C      | Changes of TG         |
|-----------------------|-------------------|--------|---------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| LeMura et al. [21]    | 12 women          | RCT    | 16 weeks      | 3 sessions/week                  | 70–85% of the HRmax | Increased 0.4 mmol/L  | Decreased 0.2 mmol/L  | Decreased 0.2 mmol/L  |
| Nybo et al. [22]      | 36 men            | RCT    | 12 weeks      | 150 min/week                     | 65% VO2max          | Increased 0.1 mmol/L  | Decreased 0.1 mmol/L  | Not mentioned         |
| Kraus et al. [23]     | 111 men and women | RCT    | 24 weeks      | Expand 14–23 kcal/kg/week        | 65–80% VO2max       | Increased 4.3 mg/dL   | Decreased 1.9 mg/dL   | Decreased 28.4 mg/dL  |
| O'Donovan et al. [24] | 64 men            | RCT    | 24 weeks      | 400 kcal/session 3 sessions/week | 60% VO2max          | Increased 0.08 mmol/L | Increased 0.17 mmol/L | Increased 0.12 mmol/L |

ภาพที่ 20 แสดงการศึกษาแบบการวิเคราะห์ห่อภิมาณ (meta-analysis) งานวิจัยที่ศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อสารชีวเคมีในเลือดในรูปของ HDL, LDL และระดับไตรกลีเซอไรด์

ที่มา: Wang Y & Xu , 2017

**สรุป** น้ำหนักตัว ร้อยละของไขมันในร่างกาย เป็นตัวแปรที่สำคัญขององค์ประกอบของร่างกาย ร้อยละไขมันในร่างกายเป็นค่าที่ใช้วัดความอ้วนได้ดีที่สุด ส่วนไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำเป็นสารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับไขมันในเลือด ทั้งน้ำหนักตัว ร้อยละไขมันในร่างกาย และไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ไม่ควรมีมากเกินไปเนื่องจากจะทำให้เกิดปัจจัยเสี่ยงต่อการเป็นโรคอ้วนและโรคที่

เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด การออกกำลังกายแบบแอโรบิกทุกชนิดสามารถช่วยควบคุมและลดน้ำหนักตัว ร้อยละไขมันในร่างกาย และระดับไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 4.1 งานวิจัยภายในประเทศ

มณีนทร รัชชบำรุง และคณะ (Rugbumrung, 2022) ได้ทำการศึกษาวิจัย เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกหนักสลับเบา ที่มีสมรรถภาพทางกายของกลุ่มตัวอย่างที่มีไขมันในร่างกายเกิน เพศชายและหญิง จำนวน 48 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ความเข้มข้นร้อยละ 60-65 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ผู้ชาย 7 คนและผู้หญิง 8 คน) กลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบา 12 สัปดาห์ ฝึกช่วงเบาที่ร้อยละ 60-65 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ใช้สูตร  $(208 - (0.7 \times \text{อายุ}))$  สลับกับการฝึกหนักที่ร้อยละ 70-75 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ช่วงละ ทุก 1 นาที (ผู้ชาย 9 คนและผู้หญิง 8 คน) และกลุ่มควบคุม (ผู้ชาย 8 คนและผู้หญิง 8 คน) ทำการทดสอบค่า  $VO_2\text{max}$  น้ำหนักตัวทั้งหมด เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และข้อมูลไขมันในช่องท้อง ก่อนและภายหลังการฝึก ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่องและกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบา มีค่า  $VO_2\text{max}$  เพิ่มขึ้น ส่วนน้ำหนักตัวและร้อยละไขมันในร่างกาย ลดลงภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) การฝึกแบบต่อเนื่องและกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบา ช่วยพัฒนาค่า  $VO_2\text{max}$  น้ำหนักตัวทั้งหมด เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มการฝึก

นภัสกร ชื่นศิริ (2557) ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมากต่อการใช้พลังงาน องค์ประกอบของร่างกาย และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กที่เป็นโรคอ้วน พบว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก 170%  $VO_2\text{peak}$  และกลุ่มออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง 90%  $VO_2\text{peak}$  มีการเผาผลาญพลังงานขณะพักสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ไม่พบความแตกต่างของดัชนีมวลกาย น้ำหนักตัว และไขมันในร่างกาย ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม กลุ่มออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก 170%  $VO_2\text{peak}$  มีความหนาของผนังหลอดเลือด และความแข็งแรงตัวของหลอดเลือดลดลง คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ลดลง และมีไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก ทั้งกลุ่มออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก 170%  $VO_2\text{peak}$  และกลุ่มออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง 90%  $VO_2\text{peak}$

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ไม่พบความแตกต่างของครีเอทีนฟอสโฟไคนาส และมาลอนไดอัลดีไฮด์ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายทั้ง 2 กลุ่ม และการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก 170% VO<sub>2</sub>peak มีความสนุกสนานมากกว่าการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง 90% VO<sub>2</sub>peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

สิริวิญญ์ การนา และคณะ (2568) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบ ผลของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและการฝึกแบบต่อเนื่องที่มีผลต่อค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระดับคอเลสเตอรอลรวมในเลือด ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตชาย อายุระหว่าง 18 – 25 ปี จำนวน 20 คน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) 7 คน, กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (CTI) 7 คน และกลุ่มควบคุม (CON) 6 คน กลุ่มการฝึก HIIT เป็นการวิ่งบนลู่วิ่งมีช่วงหนัก 1 นาที ที่ 90-95 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และช่วงเบา 1 นาทีที่ 55-60 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ทำการฝึกหนักสลับฝึกเบาเป็นรอบ ๆ จนครบระยะเวลา 15 นาที กลุ่มการฝึก CTIเป็นการวิ่งบนลู่วิ่งที่ความหนัก 70-75 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 นาที ส่วนกลุ่ม CON ใช้ชีวิตตามปกติโดยไม่เข้าโปรแกรมการออกกำลังกาย ทำการฝึก 12 สัปดาห์ รวม 48 session พบว่าภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์การฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของผู้ที่ฝึกออกกำลังกายพัฒนาดีขึ้น และดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกทั้ง 2 กลุ่ม ทั้งนี้ยังพบว่ากลุ่มการฝึกทั้ง 2 กลุ่มยังมีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับคอเลสเตอรอลรวมในเลือดที่ลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกทั้ง 2 กลุ่ม แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงขาในกลุ่มการฝึกทั้ง 2 กลุ่ม ข้อมูลจากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการฝึกออกกำลังกายทั้งการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและการฝึกแบบต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการพัฒนาต่อค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระดับคอเลสเตอรอลรวมในเลือดได้ดีเหมือน ๆ กันทั้งนี้จะเลือกการฝึกแบบใดขึ้นอยู่กับความชอบและความถนัดส่วนบุคคล

จิณณพัต อินตะไชยวงศ์ และคณะ (2568) ทำการศึกษาวิจัยผลของการฝึกหนักสลับเบาที่มีความเข้มข้นสูงโดยใช้อัตราส่วนของการฝึกที่แตกต่างกันต่อค่าการใช้พลังงานขณะพักและองค์ประกอบของร่างกาย กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายอายุระหว่าง 18-25 ปี จำนวน 14 คน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 กลุ่มการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงด้วยการวิ่งบนลู่วิ่งอัตราการฝึก 1:1 (ฝึกช่วงหนัก 1 นาที และฝึกช่วงเบา 1 นาที ) กลุ่มที่ 2 กลุ่มการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงบนลู่วิ่งอัตราการฝึก 1:2 (ฝึกช่วงหนัก 1 นาที และฝึกช่วงเบา 2 นาที )และกลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุมซึ่งใช้ชีวิต

ปกติโดยไม่เข้าโปรแกรมการฝึก กลุ่มการฝึกทั้ง 2 กลุ่มทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ทำการทดสอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ ค่าพลังงานขณะพักด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่องชั่งแบบ BIA ก่อนและภายหลังการฝึก พบว่า การฝึกทั้ง 2 รูปแบบทำให้องค์ประกอบของร่างกายพัฒนาดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ทั้งนี้ไม่พบความเปลี่ยนแปลงของค่าการใช้พลังงานขณะพักในกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่ม

## 4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

### 1) การศึกษาวิจัยที่เปรียบเทียบผลฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบหนักสลับเบา ต่อองค์ประกอบของร่างกาย

การศึกษาวิจัยของ Sun และคณะ (Sun & et al., 2024) ที่ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของโปรแกรมการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นชาวจีนวันรุ่นอายุ (อายุ:  $18.5 \pm 0.3$  ปี) จำนวน 18 คนแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 2 กลุ่มและกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกาย 1 กลุ่มกลุ่มละ 6 คน โดยการควบคุมเวลาในการฝึกแบบ (MICE) และ (HIIT) ให้เท่ากันคือ 20 นาที กลุ่มการฝึก (MICE) ทำการฝึกออกกำลังกายด้วยการวิ่งที่ความหนักร้อยละ 65 – 75 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด กลุ่มการฝึก (HIIT) ทำการฝึกออกกำลังกายด้วยการวิ่งโดยมีช่วงการฝึกหนักที่ความหนักร้อยละ 85-95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ทำการฝึก 3 วัน/ สัปดาห์

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อควบคุมระยะเวลาของการฝึกแบบ (HIIT) และ (MICE) ให้เท่ากับ การฝึกออกกำลังกายทั้ง 2 แบบ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ จะส่งผลต่อการลดมวลไขมันในร่างกาย เปอร์เซ็นต์ไขมัน และบริเวณไขมันในช่องท้อง ได้อย่างดีไม่แตกต่างกันระหว่างการฝึกทั้ง 2 แบบ แต่การฝึกแบบ (HIIT) มีประสิทธิภาพอย่างมากในพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ และการเผาผลาญพลังงานเมื่อเทียบกับ (MICE) เมื่อควบคุมระยะเวลาในการฝึกให้เท่ากัน

การศึกษาวิจัยของ Sanca-Valeriano และคณะ (Sanca-Valeriano & et al., 2023) ซึ่งทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic Reviews ) ด้วยการวิเคราะห์แบบอภิมาน (meta-analysis) การศึกษาวิจัยดังกล่าวลงทะเบียนใน International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) ทำการศึกษาโดยการรวบรวมงานวิจัยเชิงทดลองที่เกี่ยวข้องกับผู้ที่น้ำหนักเกินและเป็นโรคอ้วน และการเปรียบเทียบผลของการฝึก (HIIT) และ (MICE) ต่อความไวต่ออินซูลิน น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และเส้นรอบเอว จากฐานข้อมูล PubMed, Web of Science, Embase และ Scopus ทำการค้นหาคำศัพท์ควบคุม (controlled vocabulary) และคำพ้องอิสระ (free text) ที่เกี่ยวข้องกับ (HIIT) โรคอ้วน และ

น้ำหนักเกิน จากบทความวิจัย 2,534 บทความ มี 30 บทความที่ตรงตามเกณฑ์คุณสมบัติ ระยะเวลาการฝึกอยู่ระหว่าง 4 ถึง 16 สัปดาห์

จากการวิเคราะห์แบบอิมานพบว่ารายงานการศึกษาวิจัยทั้งหมดที่ทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบแสดงให้เห็นว่าการฝึกแบบ (HIIT) และ (MICE) ให้ผลดีอย่างไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ต่อน้ำหนัก ดัชนีมวลกาย เส้นรอบเอว หรือมวลไขมัน ในกลุ่มอาสาสมัครวัยผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนักเกินและโรคอ้วน

## 2) การศึกษาวิจัยที่เปรียบเทียบผลฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบหนักสลับเบาที่มีต่อการเผาผลาญพลังงานภายในร่างกาย

การศึกษาวิจัยของ Arboleda-Serna และคณะ (Arboleda-Serna & et al., 2019) ซึ่งทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายแบบ (HIIT) และ (MICE) ต่อค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $VO_{2max}$ ) และความดันโลหิตซิสโตลิก และความดันโลหิตไดแอสโตลิก ในผู้ชายสุขภาพดีอายุระหว่าง 18 – 44 ปีที่ฝึกออกกำลังกายด้วยการวิ่งเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำการฝึก 3 วัน/สัปดาห์ โดยกลุ่มการฝึก HIIT ฝึกวิ่งบนลู่วิ่งที่การฝึกช่วงหนักที่ร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 30 วินาที และฝึกช่วงเบาที่ร้อยละ 50-50 เป็นเวลา 60 วินาที ทำการฝึกทั้งหมด 15 รอบ ส่วนกลุ่มการฝึกแบบ (MICE) ฝึกวิ่งบนลู่วิ่งที่ความหนักร้อยละ 65-75 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 40 นาที

ผลการศึกษาพบว่าทั้ง 2 การฝึกช่วยพัฒนาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ดีไม่แตกต่างกัน แต่การฝึกแบบ (MICE) ลดความดันโลหิตซิสโตลิกได้มากกว่าเมื่อเทียบกับการฝึกแบบ (HIIT)

การศึกษาวิจัยของ Liang และคณะ (Liang & et al., 2024) ซึ่งทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic Reviews) ด้วยการวิเคราะห์แบบอิมาน (meta-analysis) ทำการศึกษาโดยการรวบรวมงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) และการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) ต่อค่าความดันโลหิตซิสโตลิก (SBP) ความดันโลหิตไดแอสโตลิก (DBP) และการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที ( $VO_{2max}$ ) ในผู้ใหญ่ โดยการค้นหอย่างเป็นระบบในฐานข้อมูลออนไลน์สามแห่ง (PubMed, Embase และ Web of Science) ที่เผยแพร่อยู่ในระหว่างช่วงปี ค.ศ. 2000 – 2023 จำนวน 1,874 งานวิจัยซึ่งพบรายงานการวิจัยที่เข้าเกณฑ์การคัดเข้า 8 รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกแบบ (Supra-HIIT) และการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE)



ผลการวิเคราะห์แบบอภิมานพบว่า การฝึกแบบ (Supra-HIIT) และ (MICE) ช่วยลดความดันโลหิตโลหิตซิสโตลิก และความดันโลหิตไดแอสโตลิก ขณะพักได้ดีไม่แตกต่างกัน แต่ฝึกแบบ (MICE) มีประสิทธิภาพมากกว่า ในการพัฒนาการใช้ออกซิเจนสูงสุด

### 3) การศึกษาวิจัยที่เปรียบเทียบผลฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบหนักสลับเบา ที่มีต่อสารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับไขมันในเลือด

การศึกษาวิจัยของ Song และคณะ (Song & et al., 2024) ที่การศึกษาและเปรียบเทียบผลของโปรแกรมการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) และการการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มสูง (HIIT) ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีเพศชาย 20 คน และเพศหญิง 20 คน ที่ทำการฝึกออกกำลังกายเป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยการควบคุมปริมาณการใช้ออกซิเจนในขณะที่ออกกำลังกายให้เท่ากัน กลุ่มการฝึก (HIIT) จะมีเวลาในการฝึก 28 นาที และกลุ่มการฝึกแบบ (MICE) 35 นาที กลุ่มการฝึก (HIIT) ทำการฝึกวิ่งบนลู่วิ่งที่ช่วงการฝึกหนักระหว่างร้อยละ 85-90 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 4 นาที สลับการการฝึกช่วงเบาที่ร้อยละ 50-60 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 3 นาที ทำทั้งหมด 4 รอบ ส่วนกลุ่มการฝึก (MICE) ทำการฝึกวิ่งบนลู่วิ่งที่ความหนักของงานร้อยละ 60-70 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 35 นาที

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อควบคุมการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายให้เท่ากัน ภายหลังการฝึกออกกำลังกายเป็นเวลา 8 สัปดาห์พบว่าการการฝึกแบบ (MICE) และการฝึกแบบ (HIIT) สามารถพัฒนาค่าชีวเคมีในเลือดเช่น LDL ลดลงได้ดี แต่การฝึกแบบ (HIIT) ทำให้ค่า LDL ลดลงดีกว่า (MICE) เมื่อมีการควบคุมการใช้ออกซิเจนในระหว่างการออกกำลังกายให้เท่ากัน

การศึกษาวิจัยของ Wood และคณะ (Wood & et al., 2019) ซึ่งทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic Reviews) ด้วยการวิเคราะห์แบบอภิมาน (meta-analysis) จากงานศึกษาวิจัยจำนวน 136 งาน โดยมีงานวิจัยจำนวน 26 งานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบ (HIIT) และ (MICE) ที่มีต่อค่า Total cholesterol (TC), Triglycerides (TRG), High-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) และ Low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C).

จากการวิเคราะห์แบบอภิมานพบว่า รายงานการศึกษาวิจัยทั้งหมดที่ทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบแสดงให้เห็นว่าการฝึกแบบ (HIIT) และ (MICE) ให้ผลดีอย่างไม่แตกต่างกัน ในการลดค่า LDL แต่การฝึกแบบ (HIIT) ทำให้เกิดผลกระทบขนาดใหญ่ในการเพิ่มค่า HDL ในผู้ฝึกมากกว่าการฝึกแบบ (MICE)

**สรุป** จากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) การฝึกแบบหนักสลับเบา ความเข้มข้นสูง (HIIT) และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) สามารถพัฒนาองค์ประกอบของร่างกาย การเผาผลาญพลังงานภายในร่างกาย และสารชีวเคมีในเลือดที่เกี่ยวข้องกับไขมัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมือน ๆ กัน แต่หากมีการควบคุมเวลาหรือค่าการใช้ ออกซิเจนของร่างกายในขณะที่ทำการฝึกให้เท่ากัน การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงจะส่งผลต่อร่างกายได้มากกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง





### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (experiment research) แบบการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบ (randomized controlled trial: RCT) ซึ่งผู้วิจัยนำเสนอวิธีการดำเนินการศึกษาวิจัยดังนี้

1. รูปแบบงานวิจัย
2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3. ตัวแปรที่ใช้ในวิจัย
4. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย
5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
6. วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
7. รูปแบบการฝึก
8. การวิเคราะห์ข้อมูล

## 1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบหลายกลุ่มทดลอง ทำการทดสอบก่อนการทดลองและภายหลังการทดลอง (pre-test - post-test control group design)

| กลุ่มตัวอย่าง<br>(sample group ) |   | ทดสอบ<br>ก่อนการทดลอง<br>(baseline/ pre-test) | โปรแกรม<br>การฝึกออกกำลังกาย<br>(exercise intervention) | ทดสอบ<br>ภายหลังการ<br>ทดลอง 12 สัปดาห์<br>(post-test) |
|----------------------------------|---|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| R                                | C | O <sub>1</sub>                                |                                                         | O <sub>2</sub>                                         |
| R                                | E | O <sub>1</sub>                                | X <sub>1</sub>                                          | O <sub>2</sub>                                         |
| R                                | E | O <sub>1</sub>                                | X <sub>2</sub>                                          | O <sub>2</sub>                                         |
| R                                | E | O <sub>1</sub>                                | X <sub>3</sub>                                          | O <sub>2</sub>                                         |
| R                                | E | O <sub>1</sub>                                | X <sub>4</sub>                                          | O <sub>2</sub>                                         |

- เมื่อ R = การสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง  
 C = กลุ่มควบคุม (control group)  
 E = กลุ่มทดลอง (experimental group)  
 X<sub>1</sub> = โปรแกรมการฝึกแบบต่อเนื่อง (Moderate-Intensity Continuous Exercise: MICE)  
 X<sub>2</sub> = โปรแกรมการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT)  
 X<sub>3</sub> = โปรแกรมการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (supra-high intensity interval training: SupraHIIT)  
 X<sub>4</sub> = โปรแกรมการฝึกแบบต่อเนื่องด้วยการเพิ่มความหนักของงาน (incremental continous exercise: ICE)  
 O<sub>1</sub> = การทดสอบค่า (VO<sub>2</sub>max), ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ไกลโคโปรตีน ความหนาแน่นต่ำ (LDL), ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat), น้ำหนักตัว (body weight) ก่อนการทดลอง (pre-test)  
 O<sub>2</sub> = การทดสอบค่า (VO<sub>2</sub>max), ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ไกลโคโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL), ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat), น้ำหนักตัว (body weight) ภายหลังการทดลอง (post-test)

## 2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

### ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นบุคลากรและนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยาเพศชายอายุระหว่าง 18 – 30 ปี ที่มีสุขภาพร่างกายดีไม่อ้วนและไม่ผอมจนเกินไป ไม่มีประวัติและผ่านเกณฑ์การคัดกรองแล้วว่า ไม่มีความเสี่ยงของที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด, โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ ไม่มีความผิดปกติทางกายที่เกี่ยวข้องกับเคลื่อนไหว, กล้ามเนื้อ, กระดูกและข้อต่อ

### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นบุคลากรและนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยาเพศชายอายุระหว่าง 18 – 30 ปี ซึ่งเป็นช่วงวัยที่ผู้ชายกำลังมีความแข็งแรงทางกายภาพเหมาะสมกับการฝึกออกกำลังกายประเภทต่าง ๆ (Allen & Hopkins, 2015) ได้มาจากกลุ่มประชากรโดยการประกาศรับสมัครผ่านช่องทางโซเชียลมีเดีย (ภาคผนวก) การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างใช้โปรแกรมจีสตาร์พาวเวอร์ (G\*Power) เวอร์ชัน 3.1.9.4 กำหนดค่าอำนาจในการทดสอบ (Power of the test) ที่ 0.85, ระดับความมีนัยสำคัญไว้ที่ 0.05 และขนาดผลกระทบ (Effect size) ที่ 0.5 (Kodama & et al., 2009) (ภาคผนวก) ทั้งนี้ทั้งนั้นค่าขนาดผลกระทบมาจากสมมุติฐานว่าการฝึกจะทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ซึ่งถือว่าสมเหตุสมผลเมื่อพิจารณาจากการคำนวณของโปรแกรม G\*Power (Kodama & et al., 2009; Poon & et al., 2022) ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณ 59 คน จำนวนกลุ่มละ 12 คน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญหายระหว่างการทำวิจัย ผู้วิจัยได้เพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็น 90 คน

การจัดกลุ่มตัวอย่างดำเนินด้วยวิธีการสุ่มจากการจับคู่เป็นกลุ่ม (Group Matching) โดยผู้วิจัยใช้ค่า BMI ซึ่งเป็นดัชนีที่เกี่ยวข้องกับส่วนสูงและน้ำหนักตัวเป็นตัวแปรที่ใช้ในการจัดสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มโดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) จัดเรียงกลุ่มตัวอย่างตามลำดับค่า BMI จากสูงไปต่ำ
- 2) แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มย่อยกลุ่มละ 5 คนดำเนินและให้กลุ่มตัวอย่างในกลุ่มย่อยจับฉลากเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยกำหนดให้

2.1) กลุ่มที่ 1 = การฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate-intensity continuous training; MICT)

2.2) กลุ่มที่ 2 = การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training; HIIT)

2.3) กลุ่มที่ 3 = การฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high-intensity interval training, Supra-HIIT)

2.4) กลุ่มที่ 4 = การฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise, ICE)

2.5) กลุ่มที่ 5 = กลุ่มควบคุม (control group)

ตารางที่ 1 แสดงการสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มด้วยวิธีการจับคู่เป็นกลุ่ม (Group Matching)

| กลุ่มที่ | การสุ่ม   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          | ลำดับ BMI |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1        | 1         | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 35 | 40 | 44 | 48 | 52 | 56 | 65 | 70 | 74 | 78 | 83 | 86 |
| 2        | 2         | 6  | 15 | 19 | 23 | 27 | 31 | 36 | 45 | 49 | 53 | 57 | 61 | 66 | 75 | 79 | 84 | 87 |
| 3        | 3         | 7  | 11 | 20 | 24 | 28 | 32 | 37 | 41 | 50 | 54 | 58 | 62 | 67 | 71 | 80 | 85 | 88 |
| 4        | 4         | 8  | 12 | 16 | 25 | 29 | 33 | 38 | 42 | 46 | 55 | 59 | 63 | 68 | 72 | 76 | 81 | 89 |
| 5        | 5         | 9  | 13 | 17 | 21 | 30 | 34 | 39 | 43 | 47 | 51 | 60 | 64 | 69 | 73 | 77 | 82 | 90 |

3) ทำการทดสอบความแตกต่างของค่า BMI ระหว่างกลุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการสุ่มกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติ One-way Anova t-test (ภาคผนวก) จากการทดสอบพบว่ากลุ่มตัวอย่างไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย BMI ระหว่างกลุ่มแสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มมีความใกล้เคียงกันในด้านกายภาพ

## 2.1 เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

1) เป็นเพศชายมีสุขภาพร่างกายดี ไม่มีประวัติที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด, โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ ไม่อ้วนและไม่ผอมจนเกินไปคือมีค่า BMI ไม่น้อยกว่า 13.94 และ ไม่เกิน 29.42 ตามแบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของประชาชน อายุ 19 - 59 ปีของกรมพลศึกษาปี 2562

2) ไม่มีความผิดปกติทางกายที่เกี่ยวข้องกับเคลื่อนไหว, กล้ามเนื้อ, กระดูกและข้อต่อ

3) ไม่อยู่ในระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายแบบต่าง ๆ

## 2.2 เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออก

1) อาสาสมัครในกลุ่มทดลอง มีจำนวนการฝึกไม่ถึงร้อยละ 80 ของจำนวนจำนวน (48 ครั้ง (session)) หรือน้อยกว่า 38 ครั้ง (session)

2) อาสาสมัครในกลุ่มทดลอง มีอาการบาดเจ็บซึ่งผู้วิจัยพิจารณาแล้วเห็นว่าอาจเกิดอันตรายหากให้ฝึกออกกำลังกายต่อไป

3) อาสาสมัครในกลุ่มทดลอง ขอลถอนตัวจากการทดลอง

4) อาสาสมัครกลุ่มควบคุม ไม่สามารถใช้ชีวิตได้ตามปกติ หรือมีภาวะเจ็บป่วยที่ต้องเข้ารับการรักษาตัวมากกว่า 3 วันขึ้นไป

### 2.3 ข้อตกลงเบื้องต้นและข้อจำกัดในการทำวิจัย

ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมกิจวัตรประจำวันที่เกี่ยวข้องกับการรับประทานอาหารการพักผ่อน กิจกรรมทางกายอื่น ๆ ที่ไม่ใช่การออกกำลังกายและเล่นกีฬาของกลุ่มตัวอย่างได้โดยได้ทำการชี้แจง ข้อตกลงเบื้องต้นในการทำวิจัยดังนี้

- 1) ขอให้งดการฝึกออกกำลังกายเพื่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาสมรรถภาพทางกาย
- 2) ห้ามควบคุมอาหารและใช้อาหารเสริมเพื่อพัฒนากล้ามเนื้อ
- 3) ก่อนทำการทดสอบสมรรถภาพทางกาย 48 ชม. ให้กลุ่มตัวอย่างงดการออกกำลังกายอย่างหนัก รวมทั้งการแข่งขันกีฬาทุกประเภทเพื่อให้ร่างกายได้พักผ่อนเต็มที่
- 4) กลุ่มตัวอย่างงดแอลกอฮอล์ บุหรี่ และเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน ก่อนเข้ารับการทำทดสอบสมรรถภาพทางกายเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง และงดบริโภคอาหารอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ
- 5) กลุ่มตัวอย่างต้องได้รับการประเมินความพร้อมของร่างกาย Physical Activity Readiness Questionnaire Plus -PAR-Q+ (Rugbumrung et al., 2022) (ภาคผนวก)
- 6) กลุ่มตัวอย่างดำเนินชีวิตและทำกิจวัตรประจำวันตามปกติ

## 3. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

### 3.1 ตัวแปรต้น คือ วิธีการฝึกออกกำลังกาย 4 วิธีการคือ

- การฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate-intensity continuous training: MICT)
- การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT)
- การฝึกหนักสลับเบาที่ความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval training; Supra-HIIT)
- การออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise: ICE)

### 3.2 ตัวแปรตาม

- 1) องค์ประกอบร่างกาย วัดจากค่า
  - ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%)
  - น้ำหนักตัว (body weight) (kg)

2) การเผาผลาญพลังงาน วัดจากค่า

- ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) ( $\text{mL/ kg/ min}$ )
- ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ( $\text{Cal/ min}$ )

3) สารชีวเคมีในเลือด วัดจากค่า

- ไกลโคโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) ( $\text{Mg/ dL}$ )

#### 4. เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ แบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ 1) เครื่องมือที่ใช้ในการฝึกซึ่งได้แก่ โปรแกรมการฝึก 4 วิธีการ และ 2) เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและออกกำลังกายโดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

##### 4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการฝึก ประกอบไปด้วยโปรแกรมการฝึก 4 วิธี ได้แก่

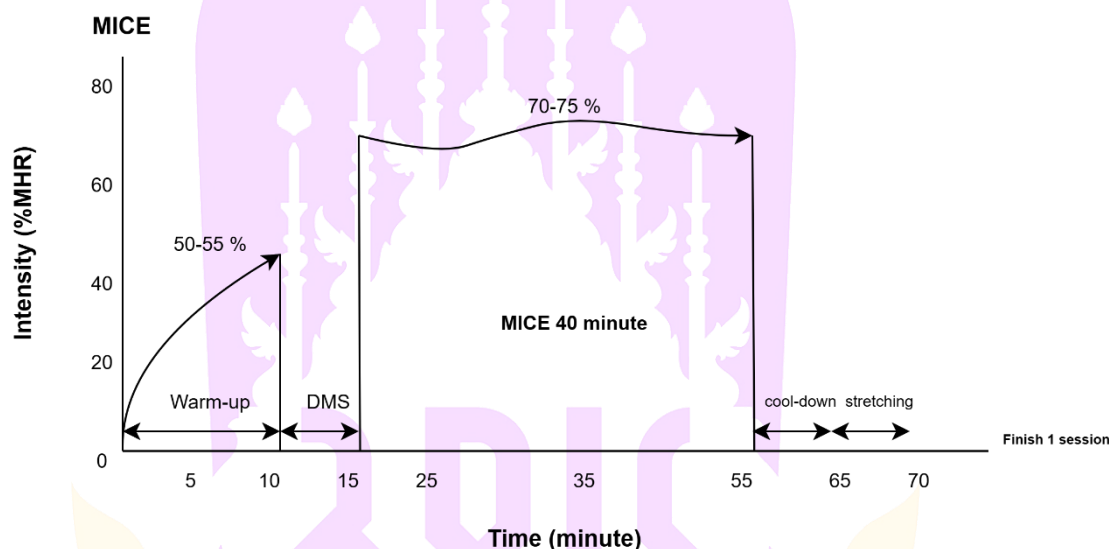
1) โปรแกรมการฝึกแบบต่อเนื่อง หรือ Moderate-Intensity Continuous Training (MICT) ผู้วิจัยออกแบบโปรแกรมการฝึกจากการทบทวนเอกสารอ้างอิง จากหนังสือแนวทางการทดสอบและการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายของวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription) ปี 2018 (ACSM, 2018) และรายงานการศึกษาวิจัยของ Gao และคณะ (Gao & et al., 2017) และงานวิจัยของ Arboleda-Serna และ คณะ (Arboleda-Serna & et al, 2019) ได้เป็นโปรแกรมการฝึกวิ่งแบบต่อเนื่องด้วยความหนักร้อยละ 70-75 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 40 นาที/ ครั้ง ทำการฝึก 4 ครั้ง/ สัปดาห์ ทั้งนี้ใน 1 วันจะไม่ฝึกเกิน 1 ครั้ง ทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 48 ครั้ง (session)

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโปรแกรม กับอาสาสมัครจำนวน 3 คนที่มีลักษณะเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างแต่ไม่ได้เข้าร่วมในการทำวิจัย โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการทดสอบปรากฏว่าอาสาสมัครสามารถทำการฝึกได้ที่ความเข้มข้น ระยะเวลา และความถี่ตามที่กำหนด หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการหาคุณภาพของโปรแกรมการฝึกโดยการหาดัชนีความเที่ยงตรงของโปรแกรมการฝึก (IOC : Index of item objective congruence) จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน (คุณสมบัติผู้เชี่ยวชาญและผลการประเมิน IOC อยู่ในภาคผนวก) โปรแกรมการฝึกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



### วิธีการฝึก

- 1) Warm-up 10 นาทีที่ร้อยละ 50-55 ของอัตราการเต้นของหัวใจ
- 2) หลังจากการ Warm-up กลุ่มตัวอย่างทำการยืดเหยียดแบบ Dynamic Stretching 5 นาที
- 3) เริ่มการฝึกโดยการวิ่งที่ร้อยละ 70-75 ของอัตราการเต้นของหัวใจ 40 นาที
- 4) ทำการ Cool-down เป็นเวลา 10 นาที
- 5) ทำการยืดเหยียดเป็นเวลา 5 นาที



ภาพที่ 21 แสดงการฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate-intensity continuous exercise; MICE)

### 2) โปรแกรมการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT)

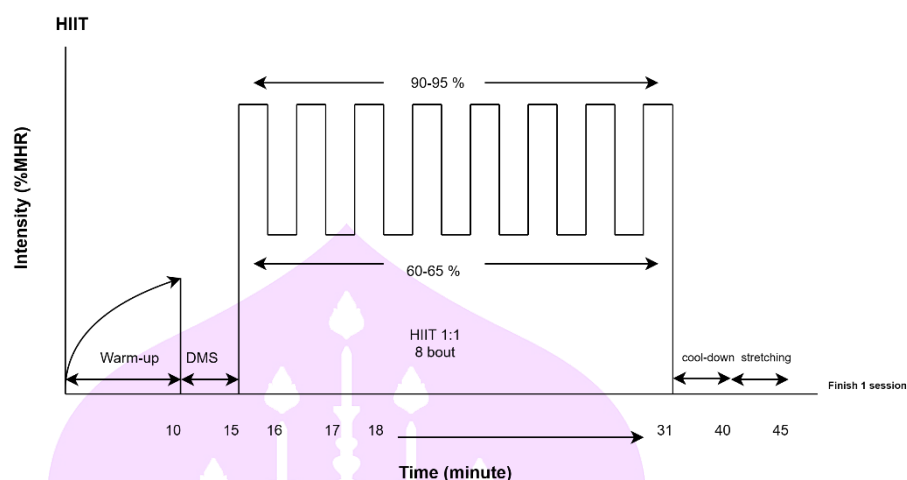
ผู้วิจัยออกแบบโปรแกรมการฝึกจากการทบทวนเอกสารอ้างอิง จากหนังสือแนวทางการทดสอบและการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายของวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription) ปี 2018 (ACSM, 2018) และรายงานการศึกษาวิจัยของ Gao และคณะ (Gao & et al., 2017) และงานวิจัยของ Arboleda-Serna และคณะ (Arboleda-Serna & et al, 2019) ได้เป็นโปรแกรมการฝึกวิ่งแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง อัตราส่วนที่ 1:1 ที่มีช่วงฝึกหนัก 1 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และ ช่วงฝึกเบา 1 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 60-65 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ฝึกครั้งละ 8 รอบ (bouts) โดยมีเวลาในการรวมในการฝึกครั้งละ 16 นาที ทำการฝึก 4 ครั้ง/

สัปดาห์ ทั้งนี้ใน 1 วันจะไม่ฝึกเกิน 1 ครั้ง ทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์รวมทั้งสิ้น 48 ครั้ง (session)

ทำการทดสอบโปรแกรม กับอาสาสมัครจำนวน 3 คนที่มีลักษณะเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างแต่ไม่ได้เข้าร่วมในการทำวิจัย โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการทดสอบปรากฏว่าอาสาสมัครสามารถทำการฝึกได้ที่ความเข้มข้น ระยะเวลา และความถี่ตามที่กำหนด หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการหาคุณภาพของโปรแกรมการฝึกโดยการหาดัชนีความเที่ยงตรงของโปรแกรมการฝึก (IOC : Index of item objective congruence) จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน (คุณสมบัติผู้เชี่ยวชาญและผลการประเมิน IOC อยู่ในภาคผนวก) โปรแกรมการฝึกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### วิธีการฝึก

- 1) Warm-up 10 นาทีที่ร้อยละ 50-55 ของอัตราการเต้นของหัวใจ
- 2) หลังจากการ Warm-up กลุ่มตัวอย่างทำการยืดเหยียดแบบ Dynamic Stretching 5 นาที
- 3) เริ่มการฝึกช่วงหนัก โดยการวิ่งที่ร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นเวลา 1 นาที
- 4) สลับการฝึกช่วงเบา โดยการวิ่งที่ร้อยละ 60-65 ของอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นเวลา 1 นาที
- 5) ทำการฝึก 8 รอบ (bout)
- 6) ทำการ Cool-down เป็นเวลา 10 นาที
- 7) ทำการยืดเหยียดแบบ Static sเป็นเวลา 5 นาที



ภาพที่ 22 แสดงการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training; HIIT)

### 3) โปรแกรมการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval training: Supra-HIIT)

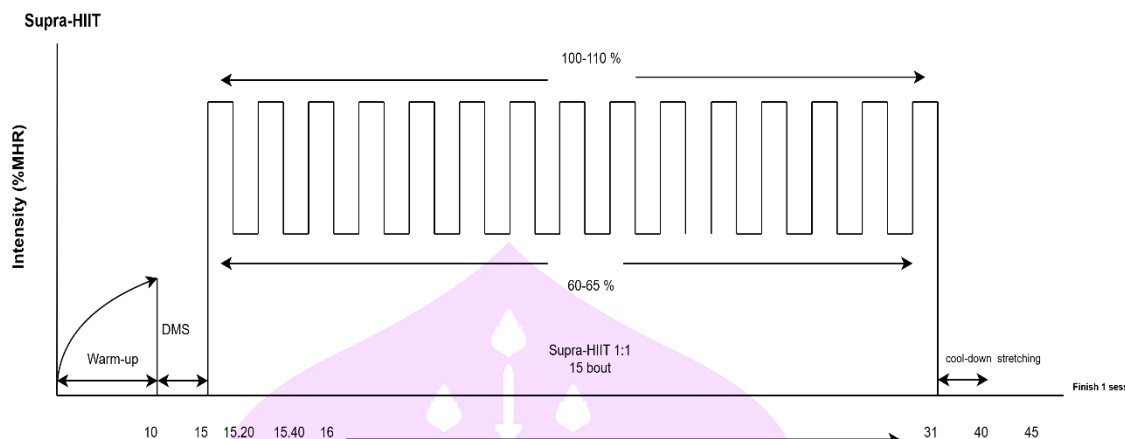
ผู้วิจัยออกแบบโปรแกรมการฝึกจากการทบทวนเอกสารอ้างอิง จากหนังสือแนวทางการทดสอบและการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายของวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription) ปี 2018 (ACSM, 2018) และรายงานการศึกษาวิจัยของ Ortiz และคณะ (Ortiz & et al., 2023) และงานวิจัยของ Buchheit และคณะ (Buchheit & et al, 2013) ได้เป็นโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากด้วยความหนักที่ความเร็วในการวิ่งเทียบเคียงร้อยละ 100 ถึง 130 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราส่วนที่ 1:1 รายละเอียดคือ ช่วงฝึกหนักสูงมาก 20 วินาที โดยมีความเข้มข้นที่ความเร็วในการวิ่งเทียบเคียงร้อยละ 130 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และ ช่วงฝึกเบา 20 วินาที ความเข้มข้นที่ร้อยละ 60-65 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ทำการฝึกครั้งละ 16 นาที ทำการฝึก 4 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้งนี้ใน 1 วันจะไม่ฝึกเกิน 1 ครั้ง ทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์รวมทั้งสิ้น 48 ครั้ง (session)

เมื่อทำการทดสอบ กับอาสาสมัครจำนวน 3 คนที่มีลักษณะเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่าง แต่ไม่ได้เข้าร่วมในการทำวิจัย โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการทดสอบปรากฏว่าอาสาสมัครไม่สามารถ ทำการฝึกได้ที่ความเร็วในการวิ่งเทียบเคียงความเข้มข้นร้อยละ 130 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดได้ ผู้วิจัยจึงได้ปรับลดความเร็วในการฝึกในช่วงหนักลงมาที่เทียบเคียงร้อยละ 120 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด แต่อาสาสมัครยังไม่สามารถทำการฝึกในความเร็วนั้นได้ จึงได้ทำการ

ปรับลดอีกครั้งมาเหลือที่เทียบเคียงความเข้มข้นร้อยละ 110 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ที่ระดับความเร็วนี้ ผลปรากฏว่าอาสาสมัครสามารถทำการฝึกได้ที่มีความเข้มข้น ระยะเวลา และความถี่ตามที่กำหนด ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการหาหาคุณภาพของโปรแกรมการฝึกโดยการหาดัชนีความเที่ยงตรงของโปรแกรมการฝึก (IOC : Index of item objective congruence) จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน (คุณสมบัติผู้เชี่ยวชาญและผลการประเมิน IOC อยู่ในภาคผนวก) โปรแกรมการฝึกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### วิธีการฝึก

- 1) Warm-up 10 นาทีที่ร้อยละ 50-55 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด
- 2) หลังจากการ Warm-up กลุ่มตัวอย่างทำการยืดเหยียดแบบ Dynamic Stretching 5 นาที
- 3) เริ่มการฝึกช่วงหนัก โดยการวิ่งที่มากกว่าร้อยละ 100 ถึง 110 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นเวลา 20 วินาที
- 4) สลับการฝึกช่วงเบา โดยการวิ่งที่ร้อยละ 60-65 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นเวลา 20 วินาที
- 5) ทำการฝึก 15 รอบ (bout)
- 6) ทำการ Cool-down เป็นเวลา 10 นาที
- 7) ทำการยืดเหยียดเป็นเวลา 5 นาที



ภาพที่ 23 แสดงการฝึกหนักสลับเบาที่ความเข้มข้นสูงมาก  
(supramaximal high intensity interval training; Supra-HIIT)

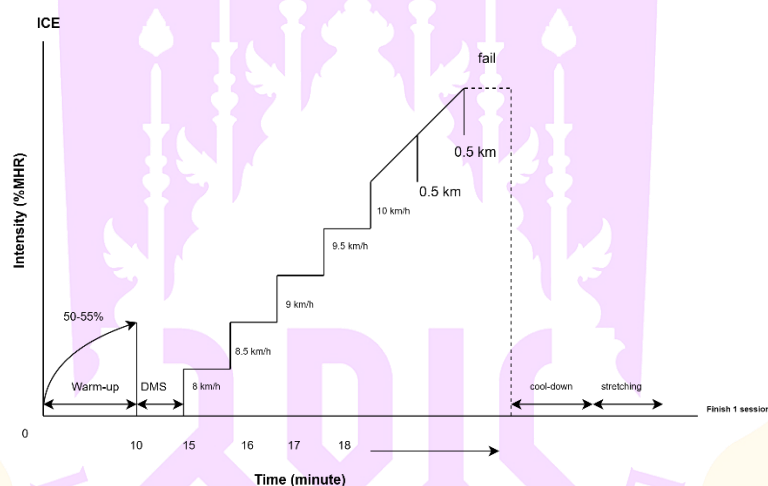
#### 4) โปรแกรมการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise, ICE)

ผู้วิจัยออกแบบโปรแกรมการฝึกจากการทบทวนเอกสารอ้างอิง จากหนังสือแนวทางการทดสอบและการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายของวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription) ปี 2018 (ACSM, 2018) และรายงานการศึกษาวิจัยของ Mallol และคณะ (Mallol & et al., 2020) โดยในงานวิจัยเริ่มต้นการออกกำลังกายที่ 8 กิโลเมตร/ชั่วโมงและเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตร/ ชั่วโมงในทุก ๆ 1 นาที จนกว่าผู้ฝึกจะไม่สามารถทำการออกกำลังกายต่อไปได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ปรับลดความเร็วในการออกกำลังกายเริ่มต้นที่ 6 กิโลเมตร/ ชั่วโมงและเพิ่มขึ้น 0.5 กิโลเมตร/ ชั่วโมง ในทุก ๆ 1 นาที จนกว่าผู้ฝึกจะไม่สามารถทำการออกกำลังกายต่อไปได้ ทำการฝึก 4 ครั้ง/ สัปดาห์ ทั้งนี้ใน 1 วันจะไม่ฝึกเกิน 1 ครั้ง ทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์รวมทั้งสิ้น 48 ครั้ง (session)

ทำการทดสอบโปรแกรม กับอาสาสมัครจำนวน 3 คนที่มีลักษณะเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างแต่ไม่ได้เข้าร่วมในการทำวิจัย โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลการทดสอบปรากฏว่าอาสาสมัครสามารถทำการฝึกได้ที่ความเข้มข้น ระยะเวลา และความถี่ตามที่กำหนด หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการหาคุณภาพของโปรแกรมการฝึกโดยการหาดัชนีความเที่ยงตรงของโปรแกรมการฝึก (IOC : Index of item objective congruence) จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน (คุณสมบัติผู้เชี่ยวชาญและผลการประเมิน IOC อยู่ในภาคผนวก) โปรแกรมการฝึกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### วิธีการฝึก

- 1) Warm-up 10 นาทีที่ร้อยละ 50-55 ของอัตราการเต้นของหัวใจ
- 2) หลังจากการ Warm-up กลุ่มตัวอย่างทำการยืดเหยียดแบบ Dynamic Stretching 5 นาที
- 3) เริ่มการฝึกเริ่มต้นที่ความเร็ว 6 กิโลเมตร/ ชั่วโมงและเพิ่มขึ้น 0.5 กิโลเมตร/ ชั่วโมง ในทุก ๆ 1 นาที จนกว่าผู้ฝึกจะไม่สามารถทำการออกกำลังกายต่อไปได้
- 4) ทำการ Cool-down เป็นเวลา 10 นาที
- 5) ทำการยืดเหยียดเป็นเวลา 5 นาที



ภาพที่ 24 แสดงการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน  
(incremental continuous exercise; ICE)

### ข้อกำหนดเบื้องต้นของทุกโปรแกรมการฝึก

1. กลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มทำการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ยกเว้นกลุ่มควบคุม
2. ความเข้มข้นของการฝึกจะเทียบเคียงร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด กับค่าความเร็วในการวิ่งบนลู่วิ่งกล และจะใช้ค่าความเร็วเทียบเคียงที่ได้ทำการฝึกตลอด ทั้ง Mesocycle โดยตลอดการผู้ฝึกจะไม่ใส่เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ เพื่อให้ผู้ฝึกสามารถออกกำลังกายได้อย่างถนัด



3. กำหนดให้ทุก ๆ 4 สัปดาห์เป็น 1 Mesocycle เมื่อครบ 1 Mesocycle จะต้องตรวจสอบความเข้มข้นของการฝึกโดยการเทียบเคียงร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดกับค่าความเร็วในการวิ่งบนลู่วิ่งกล ใหม่อีกครั้ง

4. การฝึก 1 ครั้งถือเป็น 1 session กลุ่มตัวอย่างทำการฝึกรวม 12 สัปดาห์ รวมทั้งหมด 48 ครั้ง (session) โดยมีข้อกำหนดคือ (Kostrzewa-Nowak & et al., 2015)

- 1) ไม่อนุญาตให้ฝึกมากกว่า 1 ครั้ง (session)/ วัน
- 2) ไม่อนุญาตให้ฝึกน้อยกว่า 3 ครั้ง (session) และมากกว่า 5 ครั้ง (session) ในสัปดาห์ที่ 1 – 10
- 3) ในสัปดาห์ที่ 11 – 12 สามารถฝึกตั้งแต่ 2 – 6 ครั้ง (session) ได้

#### 4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและออกกำลังกาย

- 1) ลู่วิ่งไฟฟ้า (Intenza 550i)
- 2) เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Myzone)
- 3) เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกายโดยใช้วิธีการ Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) ยี่ห้อ ACCUNIQ BC380
- 4) เครื่องวิเคราะห์แก๊ส  $VO_2\max$  (KORR CardioCoachCO2) ด้วยเทคนิคห้องผสมแก๊ส (mixing chamber) ทำการทดสอบด้วยเทคนิคการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน graded exercise test (GXT)
- 5) เครื่องวัดปริมาณไขมันในเลือด (SYSMEX BX-3010) เจาะเลือดจากเส้นเลือดดำ (Venipuncture) ด้วยการเจาะเลือดที่เส้นเลือดดำโดยใช้ไซริงค์ (Syringe method) บริเวณข้อพับแขน (Antecubital fossa) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เพื่อนำไปหาค่า ไกลโคโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL)
- 6) นาฬิกาจับเวลา (Casio HS-70W)

#### 5. วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $VO_2\max$ ) ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ไกลโคโปรตีน ความหนาแน่นต่ำ (LDL) ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) และน้ำหนักตัว (body weight) จะดำเนินการขึ้นก่อนเริ่มโปรแกรมการฝึก กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะได้รับคำแนะนำให้ดำเนินชีวิตตามปกติ งดเว้นการออกกำลังกายอย่างหนัก งดการสูบบุหรี่อย่างน้อยเป็นเวลา 48 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 วัน

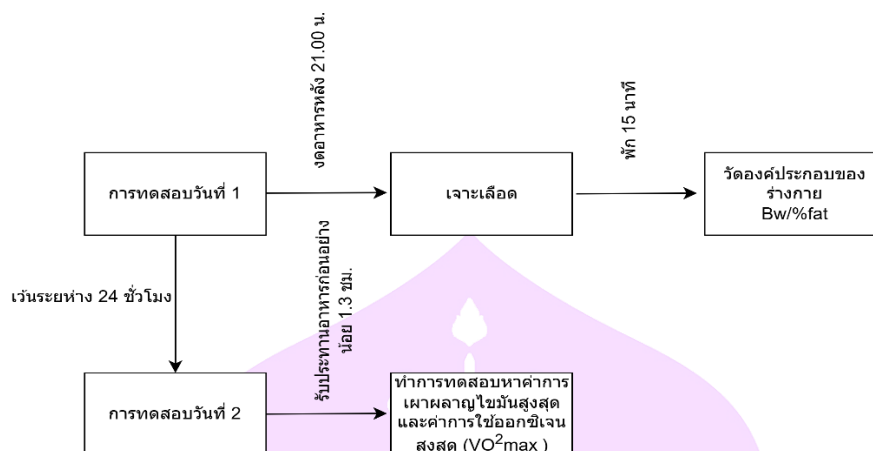
**วันที่ 1:** การทดสอบสารชีวเคมีในเลือดและองค์ประกอบของร่างกาย

- ผู้เข้ารับการทดสอบต้องงดอาหารและน้ำเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ทำการทดสอบสารชีวเคมีในเลือดด้วยเทคนิคการเจาะเลือดจากเส้นเลือดดำ (Venipuncture) โดยใช้ไซริงจ์ (Syringe method) บริเวณข้อพับแขน (Antecubital fossa) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เพื่อนำไปหาค่าไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) ด้วยเครื่อง SYSMEX BX-3010

- ทดสอบน้ำหนักตัว ร้อยละไขมันในร่างกาย โดยใช้วิธี Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกายยี่ห้อ ACCUNIQ BC380 ทันทีภายหลังการเจาะเลือดโดยยังไม่อนุญาตให้ผู้ทดสอบรับประทานน้ำหรืออาหาร ผู้ทดสอบจะต้องใส่เสื้อผ้าแบบเดียวกันทั้งการทดสอบ Pre-test และ Post-test โดยต้องถอดเครื่องประดับ รองเท้าและถุงเท้า การทดสอบดำเนินขึ้นทันทีภายหลังการเจาะเลือดก่อนการรับประทานอาหารเช้าและดื่มน้ำ

**วันที่ 2:** ทำการทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO<sub>2</sub>max) และค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุด (MFO) ในขณะออกกำลังกาย ผู้เข้าทดสอบต้องรับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 1.3 ชั่วโมง ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ลมหายใจยี่ห้อ CardioCoachCO<sub>2</sub> (Diel-Conwright & et al., 2009) ด้วยเทคนิคห้องผสมแก๊ส (mixing chamber) ทั้งนี้เครื่องจะทำการ Auto-calibrate ทุกครั้งก่อนการทดสอบครั้งต่อไป

ทดสอบด้วยเทคนิคการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน graded exercise test (GXT) เริ่มต้นด้วยการ Warm-up 5 นาที หลังจากนั้นเริ่มการทดลองโดยปรับความเร็วเป็น 6 กิโลเมตร/ ชั่วโมง และปรับความเร็วในการทดสอบขึ้น 0.5 กิโลเมตร/ ชั่วโมง ในทุก 1 นาที จนผู้เข้ารับการทดสอบทำการทดสอบต่อไม่ได้ ค่า VO<sub>2</sub> คำนวณด้วยสมการของ Modified Haldane ซึ่งเป็นโปรแกรมอัตโนมัติของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส อนึ่งผู้เข้ารับการทดสอบสามารถหยุดการทดสอบด้วยตนเองได้ตลอดเวลา



ภาพที่ 25 แสดงขั้นตอนการทดสอบองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีใน และการเผาผลาญพลังงาน

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) แสดงข้อมูลตัวแปรที่ต้องการทำการทดสอบด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 2) ทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบโค้งปกติ (normality) ด้วยสถิติ Komalgorov-Smirnov หากไม่ผ่านการทดสอบ จะใช้เทคนิคการตรวจสอบความเบ้และความโค้ง (Skewness/ Kurtosis) โดยกำหนดค่ายอมรับการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบโค้งปกติระหว่าง -2 ถึง +2 (ภาคผนวก)
- 3) วิเคราะห์ผลของวิธีการฝึกที่มีต่อค่าค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่างก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยสถิติ Paired Samples T-test และนำเสนอข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ด้วยค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)
  - คะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) ได้มาโดยการนำค่าเฉลี่ยภายหลังการฝึกลบด้วยค่าเฉลี่ยก่อนฝึก
- 4) นำค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว มาตรวจสอบเงื่อนไขการใช้ (assumption) สถิติ One-way Ancova โดยตัวแปรที่ผ่านจะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบทางเดียว ด้วยการ

ควบคุมค่าตัวแปรก่อนฝึกให้เป็นตัวแปรร่วม (covariate) เพื่อทดสอบผลของการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และทำการทดสอบรายคู่ด้วยเทคนิค LSD (ภาคผนวก)

5) ตัวแปรที่ไม่ผ่านการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติ One-way Ancova จะนำคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: post-t-test – pre-t-test) มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA ตามรายละเอียดคือ เนื่องจากคะแนนความแตกต่าง เป็นข้อมูลในการควบคุมผลกระทบจากปัจจัยที่ไม่สามารถสังเกตได้ได้อย่างดี (effects of unobserved confounders) (Robitzsch & Lüdtke, 2025) โดยเฉพาะเมื่อต้องการดูการเปลี่ยนแปลงโดยรวมระหว่างสองช่วงเวลา สามารถใช้คะแนนความแตกต่างในการคำนวณด้วย One-way Anova ซึ่งเหมาะสมสำหรับการศึกษาที่มีการวัดเพียงสองช่วงเวลา (pre-test และ post-test) และต้องการดูการเปลี่ยนแปลงโดยรวม (Colleoni, 2021)

- ทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบโค้งปกติ (normality) ของคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: post-t-test – pre-t-test) ด้วยสถิติ Komalgorov-Smirnov หากไม่ผ่านการทดสอบ จะใช้เทคนิคการตรวจสอบความเบ้และความโค้ง (Skewness/ Kurtosis) โดยกำหนดค่ายอมรับการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบโค้งปกติระหว่าง -2 ถึง +2 (ภาคผนวก)

- ตัวแปรที่ผ่านการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) จะใช้การทดสอบรายคู่ด้วยเทคนิค LSD

- ตัวแปรที่ไม่ผ่านการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน จะทำการทดสอบรายคู่ด้วยเทคนิค Dunnett T3 ซึ่งเป็นเทคนิคการทดสอบรายคู่ที่ใช้ในกรณีความแปรปรวนของตัวแปรมีความแตกต่างกัน (Equal Variance not Assume) (Shingala & Rajyaguru, 2015)

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (experiment research) แบบการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบ (randomized controlled trial: RCT) ซึ่งผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยแบ่งเป็นส่วน ๆ คือ

#### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าดัชนีมวลกายของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มก่อนการฝึกออกกำลังกายและแสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่าดัชนีมวลกายระหว่างกลุ่มตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA เพื่อแสดงประสิทธิภาพของการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มได้อย่างเท่าเทียมในทางกายภาพ

#### ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 1

แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่างก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยสถิติ Paired Samples T-test และนำเสนอข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ด้วยค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)

#### ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 2

แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ รายละเอียดดังต่อไปนี้

1) แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรตามระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบทางเดียว One-way Ancova โดยตัวแปรตามที่ผ่านการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติได้แก่ ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด และแสดงข้อมูลผลการทดสอบรายคู่ด้วยเทคนิค LSD

2) ตัวแปรที่ไม่ผ่านการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติ One-way Ancova ได้แก่ ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย

และน้ำหนักตัว ทำการแปลงข้อมูลเป็นคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: post-t-test – pre-t-test) แล้วนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA

2.1) แสดงข้อมูลผลการทดสอบรายคู่ด้วยเทคนิค LSD สำหรับตัวแปรที่ผ่านการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) ได้แก่ ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ร้อยละของไขมันในร่างกาย

2.2) ตัวแปรที่ไม่ผ่านการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน จะแสดงข้อมูลผลการทดสอบรายคู่ด้วยเทคนิค Dunnett T3 ได้แก่ ไกลโฟโปรตีนหนาแน่นต่ำ

**ส่วนที่ 4** แผนภูมิแสดงสรุปการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไกลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

#### สัญลักษณ์สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูล

|        |     |                                                                          |
|--------|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| M      | แทน | ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง                                                |
| S.D.   | แทน | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน                                                     |
| t/ F   | แทน | ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ |
| Sig/ p | แทน | ค่าเฉลี่ยของผลต่างของคะแนน                                               |

ส่วนที่ 1 การนำเสนอข้อมูลทั่วไปด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าดัชนีมวลกายของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มก่อนการฝึกออกกำลังกายและแสดงผลการ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่าดัชนีมวลกายระหว่างกลุ่มตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA เพื่อแสดงประสิทธิภาพของการสุมกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มได้ อย่างเท่าเทียมในทางกายภาพ

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มควบคุม

| ข้อมูลทั่วไป           | MICE   |      | HIIT   |      | Supra-HIIT |       | ICE    |      | Control |      |
|------------------------|--------|------|--------|------|------------|-------|--------|------|---------|------|
|                        | n = 16 |      | n = 16 |      | n = 18     |       | n = 18 |      | n = 14  |      |
|                        | M      | S.D. | M      | S.D. | M          | S.D.  | M      | S.D. | M       | S.D. |
| อายุ (ปี)              | 19.13  | .34  | 20.27  | .70  | 20.11      | .90   | 21.00  | .48  | 20.57   | .75  |
| ส่วนสูง<br>(เซนติเมตร) | 174.44 | 2.60 | 178.00 | 2.50 | 173.67     | 6.30  | 172.78 | 4.69 | 177.14  | 5.77 |
| น้ำหนัก<br>(กิโลกรัม)  | 67.62  | 9.67 | 72.89  | 7.39 | 69.07      | 10.19 | 66.55  | 7.32 | 72.91   | 7.61 |
| ดัชนีมวลกาย<br>(BMI)   | 21.20  | 3.78 | 22.89  | 2.30 | 22.70      | 3.09  | 22.24  | 1.90 | 23.21   | 2.06 |

หมายเหตุ MICE = กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง; HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง; Supra-HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับ เบาความเข้มข้นสูงมาก; ICE = กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน; Control = กลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 2 พบว่ากลุ่มตัวอย่าง

- กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) มีอายุเฉลี่ย (M = 19.13, SD = 0.34) ปี ส่วนสูงเฉลี่ย (M = 174.44, SD = 2.60) เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย (M = 67.62, SD = 9.67) กิโลกรัม ดัชนีมวลกายเฉลี่ย (M = 21.20, SD = 3.78)
- กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) มีอายุเฉลี่ย (M = 20.27, SD = 0.70) ปี ส่วนสูงเฉลี่ย (M = 178.00, SD = 2.50) เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย (M = 72.89, SD = 7.39) กิโลกรัม ดัชนีมวลกายเฉลี่ย (M = 22.89, SD = 2.30)
- กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) มีอายุเฉลี่ย (M = 20.11, SD = 0.90) ปี ส่วนสูงเฉลี่ย (M = 173.67, SD = 6.30) เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย (M = 69.07, SD = 10.19) กิโลกรัม ดัชนีมวลกายเฉลี่ย (M = 22.70, SD = 3.09)



- กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) มีอายุเฉลี่ย ( $M = 21.00$ ,  $SD = 0.48$ ) ปี ส่วนสูงเฉลี่ย ( $M = 172.78$ ,  $SD = 4.69$ ) เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย ( $M = 66.55$ ,  $SD = 7.32$ ) กิโลกรัม ดัชนีมวลกายเฉลี่ย ( $M = 22.24$ ,  $SD = 1.90$ )
- กลุ่มควบคุม (Control) มีอายุเฉลี่ย ( $M = 20.57$ ,  $SD = 0.75$ ) ปี ส่วนสูงเฉลี่ย ( $M = 177.14$ ,  $SD = 5.77$ ) เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย ( $M = 72.91$ ,  $SD = 7.61$ ) กิโลกรัม ดัชนีมวลกายเฉลี่ย ( $M = 23.21$ ,  $SD = 2.06$ )

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่าดัชนีมวลกายระหว่างกลุ่มตัวอย่างจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA เพื่อแสดงประสิทธิภาพของการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มได้อย่างเท่าเทียมในทางกายภาพ

| แหล่งความแปรปรวน | Sum of squares | df | Mean Square | F     | Sig. |
|------------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| ระหว่างกลุ่ม     | 8.843          | 4  | 2.211       | 0.366 | .832 |
| ภายในกลุ่ม       | 459.169        | 76 | 6.042       |       |      |
| ทั้งหมด          | 468.012        | 80 |             |       |      |

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกาย ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าการจัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทำได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่พบความแตกต่างทางกายภาพระหว่างกลุ่มตัวอย่าง มีผลการทดสอบทางสถิติคือ  $F(4, 76) = 0.366$ ,  $p = .832$

## ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 1

การแสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไกลโคโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยสถิติ Paired Samples T-test และนำเสนอข้อมูล การเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ด้วยค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไกลโคโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลองกลุ่มที่ 1 การฝึกแบบต่อเนื่องหรือ moderate-intensity continuous exercise (MICE) ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)

| ตัวแปร                                                                 | ก่อนการฝึก<br>(baseline/Pre-test) |      | ภายหลังการฝึก<br>(Post-test) |      | Ch-<br>score | t     | p     | d    |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------|------------------------------|------|--------------|-------|-------|------|
|                                                                        | M                                 | S.D. | M                            | S.D. |              |       |       |      |
| ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด<br>( $\dot{V}O_2\text{max}$ )<br>(ml/ kg/ min) | 45.93                             | 6.76 | 54.12                        | 6.89 | 8.19         | 7.94  | .000* | 1.2  |
| ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO)<br>(Cal/ min)                            | 2.65                              | 1.41 | 4.9                          | 1.75 | 2.25         | 5.11  | .000* | 1.42 |
| ไลโปโปรตีน<br>ความหนาแน่นต่ำ (LDL)<br>(Mg/ dL)                         | 101.62                            | 4.20 | 95.56                        | 3.84 | -6.06        | 24.30 | .000* | 1.50 |
| ร้อยละของไขมันในร่างกาย<br>(%fat)<br>(%)                               | 14.61                             | 7.04 | 14.30                        | 7.30 | -0.31        | .804  | .434  | 0.04 |
| น้ำหนักตัว<br>(body weight)<br>(kg)                                    | 67.62                             | 9.67 | 67.14                        | 8.78 | -0.48        | .884  | .391  | 0.05 |

\* p < 0.05; \*\*p < 0.001

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มทดลองกลุ่มที่ 1 กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่องหรือ Moderate-Intensity Continuous Exercise (MICE) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) ( $\text{mL/ kg/ min}$ ) พบว่าภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้ที่ฝึกแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้นจาก ( $M = 45.93$ ,  $SD = 6.76$ ) เป็น ( $M = 4.9$ ,  $SD = 6.89$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(15) = 7.94$ ,  $p < 0.001$  โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 1.2$

2. ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ( $\text{Cal/ min}$ ) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(15) = 5.117$ ,  $p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ของผู้ที่ฝึกแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์จาก ( $M = 2.65$ ,  $SD = 1.41$ ) เป็น ( $M = 4.9$ ,  $SD = 1.75$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 1.42$

3. ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) ( $\text{Mg/ dL}$ ) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(15) = 24.30$ ,  $p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่า ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ ของผู้ที่ฝึกแบบต่อเนื่องลดลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์จาก ( $M = 101.62$ ,  $SD = 4.20$ ) เป็น ( $M = 95.56$ ,  $SD = 3.84$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 1.50$

4. ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(15) = .804$ ,  $p = .434$  แสดงให้เห็นว่า ร้อยละของไขมันในร่างกาย ของผู้ที่ฝึกแบบต่อเนื่องไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.04$

5. น้ำหนักตัว (weight) ( $\text{kg}$ ) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(15) = 0.884$ ,  $p = .391$  แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักตัว ของผู้ที่ฝึกแบบต่อเนื่องไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึกไป 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.05$

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลองกลุ่มที่ 2 การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT) ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)

| ตัวแปร                                                           | ก่อนการฝึก<br>(baseline/Pre-test) |      | ภายหลังการฝึก<br>(Post-test) |      | Ch-score | t     | p     | d    |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------|------------------------------|------|----------|-------|-------|------|
|                                                                  | M                                 | S.D. | M                            | S.D. |          |       |       |      |
| ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) (ml/ kg/ min) | 44.85                             | 5.53 | 48.45                        | 3.57 | 3.6      | 4.669 | .000* | 0.79 |
| ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min)                         | 4.12                              | 1.78 | 5.19                         | 1.59 | 1.07     | 2.58  | .021* | 0.63 |
| ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL)                          | 96.06                             | 3.53 | 92.46                        | 2.97 | -3.6     | 7.72  | .000* | 1.10 |
| ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%)                               | 14.17                             | 3.06 | 14.10                        | 3.62 | -.07     | .143  | .888  | 0.02 |
| น้ำหนักตัว (body weight) (kg)                                    | 72.89                             | 7.39 | 72.41                        | 7.51 | -0.48    | .729  | .478  | 0.06 |

\*  $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.001$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มทดลองกลุ่มที่ 2 กลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง หรือ High-intensity interval training (HIIT) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) (ml/ kg/ min) พบว่าภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงเพิ่มขึ้นจาก ( $M = 44.85$ ,  $SD = 5.53$ ) เป็น ( $M = 48.45$ ,  $SD = 3.57$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(14) = 4.669$ ,  $p < 0.001$  โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.79$

2. ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(14) = 2.588$ ,  $p < 0.05$  แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุดระหว่างการทดสอบออกกำลังกาย ออกำลังกาย ของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงเพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์จาก ( $M = 4.12$ ,  $SD = 1.78$ ) เป็น ( $M = 5.19$ ,  $SD = 1.59$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.63$

3. ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(14) = 7.72$ ,  $p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่าไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ ของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงลดลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์จาก ( $M = 96.06$ ,  $SD = 3.53$ ) เป็น ( $M = 92.46$ ,  $SD = 2.97$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 1.10$

4. ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(14) = .788$ ,  $p = .444$  แสดงให้เห็นว่าร้อยละของไขมันในร่างกายของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.02$

5. น้ำหนักตัว (weight) (kg) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(14) = .729$ ,  $p = .478$  แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักตัวของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.06$



ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลองกลุ่มที่ 3 ฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมาก (supramaximal high-intensity interval training ,Supra-HIIT) ก่อน และ ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)

| ตัวแปร                                                                 | ก่อนการฝึก<br>(baseline/Pre-test) |       | ภายหลังการฝึก<br>(Post-test) |      | Ch-score | t      | p     | d    |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------|------------------------------|------|----------|--------|-------|------|
|                                                                        | M                                 | S.D.  | M                            | S.D. |          |        |       |      |
| ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด<br>( $\dot{V}O_2\text{max}$ )<br>(ml/ kg/ min) | 45.48                             | 4.58  | 48.04                        | 4.91 | 2.56     | 2.51   | .022* | 0.53 |
| ปริมาณการใช้ไขมัน<br>สูงสุด (MFO)<br>(Cal/ min)                        | 2.45                              | 1.53  | 3.93                         | 1.84 | 1.48     | 2.80   | .012* | 0.87 |
| ไลโปโปรตีน<br>ความหนาแน่นต่ำ (LDL)<br>(Mg/ dL)                         | 98.50                             | 7.42  | 95.05                        | 6.92 | -3.45    | 10.57  | .000* | 0.48 |
| ร้อยละของไขมันใน<br>ร่างกาย (%fat)<br>(%)                              | 16.84                             | 7.65  | 15.81                        | 6.39 | -1.03    | 2.041  | .057  | 0.14 |
| น้ำหนักตัว<br>(body weight)<br>(kg)                                    | 69.07                             | 10.19 | 69.51                        | 9.60 | 0.44     | -1.072 | .299  | 0.04 |

\* p < 0.05; \*\*p < 0.001

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มทดลองกลุ่มที่ 3 กลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมากหรือ Supramaximal high-intensity interval training (Supra-HIIT) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) (ml/ kg/ min) พบว่าภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงเพิ่มขึ้นจาก (M = 45.48, SD = 4.58)

เป็น ( $M = 48.04$ ,  $SD = 4.91$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = 2.512$ ,  $p < 0.05$  โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.53$

2. ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = 2.806$ ,  $p < 0.05$  แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุดระหว่างการทดสอบออกกำลังกาย ของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมากเพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์จาก ( $M = 2.45$ ,  $SD = 1.53$ ) เป็น ( $M = 3.93$ ,  $SD = 1.84$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.87$

3. ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = 10.57$ ,  $p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่า ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ ของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากลดลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์จาก ( $M = 98.50$ ,  $SD = 7.42$ ) เป็น ( $M = 95.05$ ,  $SD = 6.92$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.48$

4. ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = 2.041$ ,  $p = .057$  แสดงให้เห็นว่า ร้อยละของไขมันในร่างกาย ของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมากไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.14$

5. น้ำหนักตัว (weight) (kg) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = .1072$ ,  $p = .299$  แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักตัวของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงความหนักสูงมากไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.04$





ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลองกลุ่มที่ 4 กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise, ICE) ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)

| ตัวแปร                                                           | ก่อนการฝึก<br>(baseline/Pre-test) |      | ภายหลังการฝึก<br>(Post-test) |      | Ch-<br>score | t    | p     | d    |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------|------------------------------|------|--------------|------|-------|------|
|                                                                  | M                                 | S.D. | M                            | S.D. |              |      |       |      |
| ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) (ml/ kg/ min) | 48.78                             | 7.63 | 54.34                        | 5.59 | 5.56         | 4.99 | .000* | 0.84 |
| ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min)                         | 2.82                              | 1.36 | 4.81                         | 1.71 | 1.99         | 4.85 | .000* | 1.29 |
| ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL)                          | 99.55                             | 6.90 | 94.61                        | 5.11 | -4.94        | 7.86 | .000* | 0.82 |
| ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%)                               | 13.54                             | 3.73 | 13.44                        | 3.68 | -0.1         | .382 | .707  | 0.02 |
| น้ำหนักตัว (body weight) (kg)                                    | 66.72                             | 7.20 | 66.57                        | 6.90 | -0.15        | .530 | .603  | 0.02 |

\*  $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.001$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มทดลองกลุ่มที่ 3 กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงานหรือ incremental continuous exercise (ICE) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) (ml/ kg/ min) พบว่าภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้ที่ฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงเพิ่มขึ้นจาก ( $M = 48.78$ ,  $SD = 7.63$ ) เป็น ( $M = 54.34$ ,  $SD = 5.59$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = 4.995$ ,  $p < 0.001$  โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.84$

2. ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = 4.859, p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้ไขมันสูงสุดระหว่างการทดสอบ ออกกำลังกาย ของผู้ที่ฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน เพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์จาก ( $M = 2.82, SD = 1.36$ ) เป็น ( $M = 4.81, SD = 1.71$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 1.29$

3. ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = 7.86, p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่าไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ ของผู้ที่ฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงานลดลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์จาก ( $M = 99.55, SD = 6.90$ ) เป็น ( $M = 94.61, SD = 5.11$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.82$

4. ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = .382, p = .707$  แสดงให้เห็นว่า ร้อยละของไขมันในร่างกาย ของผู้ที่ฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.02$

5. น้ำหนักตัว (weight) (kg) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = .530, p = .603$  แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักตัวของผู้ที่ฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.02$



ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มควบคุม ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ และแสดงค่าคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score)

| ตัวแปร                                                                 | ก่อนการฝึก<br>(baseline/Pre-test) |      | ภายหลังการฝึก<br>(Post-test) |      | Ch-score | t      | p     | d    |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------|------------------------------|------|----------|--------|-------|------|
|                                                                        | M                                 | S.D. | M                            | S.D. |          |        |       |      |
| ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด<br>( $\dot{V}O_2\text{max}$ )<br>(mL/ kg/ min) | 46.47                             | 7.73 | 46.17                        | 6.51 | -0.3     | .34    | .733  | 0.04 |
| ปริมาณการใช้ไขมัน<br>สูงสุด (MFO)<br>(Cal/ min)                        | 4.9                               | 2.6  | 3.9                          | 1.2  | -0.97    | 2.08   | .058  | 0.52 |
| ไลโปโปรตีน<br>ความหนาแน่นต่ำ (LDL)<br>(Mg/ dL)                         | 96.71                             | 5.89 | 103.64                       | 6.91 | 6.93     | -9.03  | .000* | 1.08 |
| ร้อยละของไขมันใน<br>ร่างกาย (%fat)<br>(%)                              | 15.94                             | 6.98 | 17.84                        | 6.21 | 1.9      | -4.216 | .001* | 0.28 |
| น้ำหนักตัว<br>(body weight)<br>(kg)                                    | 72.91                             | 7.61 | 72.91                        | 7.48 | .00      | .000   | 1.000 | 0    |

\*  $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.001$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มควบคุม (control group) รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) (mL/ kg/ min) พบว่าภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(13) = .349$ ,  $p < .733$  โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.04$

2. ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(17) = 2.082$ ,  $p < 0.058$  แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้ไขมันสูงสุดระหว่างการทดสอบ

ออกกำลังกาย ของกลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.52$

3. ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(13) = 9.03$ ,  $p < 0.05$  แสดงให้เห็นว่าไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ ของกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ จาก ( $M = 96.71$ ,  $SD = 5.88$ ) เป็น ( $M = 103.64$ ,  $SD = 6.91$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 1.08$

4. ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(13) = 4.216$ ,  $p < 0.05$  แสดงให้เห็นว่า ร้อยละของไขมันในร่างกาย ของกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ จาก ( $M = 15.94$ ,  $SD = 6.98$ ) เป็น ( $M = 17.84$ ,  $SD = 6.21$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0.28$

5. น้ำหนักตัว (weight) (kg) ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $t(13) = .000$ ,  $p = 1.000$  แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักตัวของกลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยมีขนาดผลกระทบ  $d = 0$

ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 2: แสดงการ เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ก่อนและภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์

ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\max$ ) (mL/ kg/ min)

ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบทางเดียว One-way Ancova

| แหล่งความแปรปรวน | Sum of squares | df | Mean Square | F      | Sig. |
|------------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| ตัวแปรร่วม       | 1556.766       | 1  | 1556.766    | 129.14 | .000 |
| ระหว่างกลุ่ม     | 673.52         | 4  | 168.38      | 13.96  | .000 |
| ภายในกลุ่ม       | 904.09         | 75 | 12.05       |        |      |
| ทั้งหมด          | 209107.622     | 81 |             |        |      |

ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_2\max$ ) (mL/ kg/ min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนฝึกออกกำลังกาย (pre-test) มาเป็นตัว

แปรร่วมในการทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุดภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ โดยมีผลการทดสอบคือ  $F(4) = 13.96$ ,  $p < 0.001$  จึงทำการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยเทคนิคLSD ต่อไป

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_{2max}$ ) (mL/ kg/ min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยเทคนิค LSD เมื่อมีเมื่อมีการควบคุมค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนฝึกออกกำลัง (pre-test) (ความแปรปรวนร่วม) ให้มีค่าคงที่ที่ 46.36 (mL/ kg/ min)

| โปรแกรมการฝึก | M     | MICE   | HIIT   | Supra-HIIT | ICE    | Control |
|---------------|-------|--------|--------|------------|--------|---------|
|               |       | 54.41  | 49.50  | 48.64      | 52.66  | 46.09   |
| MICE          | 54.41 | -      | 4.92** | 5.77**     | 1.76   | 8.32**  |
| HIIT          | 49.50 | 4.92** | -      | 0.86       | 3.16*  | 3.41*   |
| Supra-HIIT    | 48.64 | 5.77** | 0.86   | -          | 4.01*  | 2.55*   |
| ICE           | 52.66 | 1.76   | 3.16*  | 4.01*      | -      | 6.57**  |
| Control       | 46.09 | 8.32** | 3.41*  | 2.55*      | 6.57** | -       |

หมายเหตุ \*  $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.001$ ; MICE = กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง; HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง; Supra-HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก; ICE = กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน; Control = กลุ่มควบคุม

ผลการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $\dot{V}O_{2max}$ ) (mL/ kg/min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อใช้สถิติ One-way Ancova ควบคุมค่าเฉลี่ยตัวแปรร่วมหรือค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนฝึกออกกำลังกาย (pre-test) ของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มให้มีค่าคงที่อยู่ที่ 46.36 (mL/ kg/ min) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการฝึกแบบอื่น ๆ พบว่ากลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่องทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีค่าคงที่ของตัวแปรร่วมค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนฝึกออกกำลังกาย (pre-test) อยู่ที่ 46.36 (mL/ kg/ min) โดยกลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่องมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์อยู่ที่ ( $M = 54.41$ ,  $SD = .868$ ) ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $M = 49.50$ ,  $SD = .901$ ) และ ( $M = 48.64$ ,  $SD = .820$ ) ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบ

ความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) และกลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE)

2. กลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการฝึกอื่น ๆ พบว่ากลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) และ กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีค่าคงที่ของตัวแปรร่วมค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนฝึกออกกำลังกาย (pre-test) อยู่ที่ 46.36 (mL/ kg/ min) โดยกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์อยู่ที่ (M = 49.50, SD = .901) ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) และกลุ่มการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (ICE) มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (M = 54.41, SD = .868) และ (M = 52.66, SD = .832) ตามลำดับ

ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT)

3. กลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการฝึกอื่น ๆ พบว่ากลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) และ กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีค่าคงที่ของตัวแปรร่วมค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนฝึกออกกำลังกาย (pre-test) อยู่ที่ 46.36 (mL/ kg/ min) โดยกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์อยู่ที่ (M = 48.64, SD = .820) ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) และกลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (M = 54.41, SD = .868) และ (M = 52.66, SD = .832) ตามลำดับ

ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT)

4. กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการฝึกแบบอื่น ๆ พบว่ากลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) ทำให้ค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบา ความเข้มข้นสูง (HIIT) และกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีค่าคงที่ของตัวแปรร่วมค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดก่อนฝึกออกกำลังกาย (pre-test) อยู่ที่ 46.36 (ml/ kg/ min) โดยกลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) มีค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์อยู่ที่ ( $M = 52.66$ ,  $SD = .832$ ) ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก มีค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุด ( $M = 49.50$ ,  $SD = .901$ ) และ ( $M = 48.64$ ,  $SD = .820$ ) ตามลำดับ

ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) และกลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE)

5. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 แบบและกลุ่มควบคุมที่ไม่ออกกำลังกายพบว่ากลุ่มการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 แบบมีค่าการใช้การใช้ออกซิเจนสูงสุดเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มตัวอย่างสามารถเขียนเป็นประโยคสัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\{(MICE = ICE) > (HIIT = Supra-HIIT)\} > Control$$



ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (CaI/ min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One-way Anova

| แหล่งความแปรปรวน | Sum of squares | df | Mean Square | F     | Sig. |
|------------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| ระหว่างกลุ่ม     | 96.342         | 4  | 24.086      | 7.098 | .000 |
| ภายในกลุ่ม       | 257.908        | 76 | 3.394       |       |      |
| ทั้งหมด          | 354.250        | 80 |             |       |      |

ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (CaI/ min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบทางสถิติ คือ  $F(4, 76) = 7.098$ ,  $p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างน้อย 1 คู่ จึงทำการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยเทคนิค LSD ต่อไป

ตารางที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยคะแนนการเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (CaI/ min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ด้วยเทคนิค LSD

| โปรแกรมการฝึก | M    | MICE   | HIIT  | Supra-HIIT | ICE    | Control |
|---------------|------|--------|-------|------------|--------|---------|
|               |      | 2.25   | 1.06  | 1.47       | 1.98   | -.97    |
| MICE          | 2.25 | -      | 1.18  | .77        | .21    | 3.22**  |
| HIIT          | 1.06 | 1.18   | -     | .41        | .92    | 2.03*   |
| Supra-HIIT    | 1.47 | .77    | .41   | -          | .51    | 2.44**  |
| ICE           | 1.98 | .21    | .92   | .51        | -      | 2.96**  |
| Control       | -.97 | 3.22** | 2.03* | 2.44**     | 2.96** | -       |

หมายเหตุ \*  $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.001$ ; MICE = กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง; HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง; Supra-HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก; ICE = กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน; Control = กลุ่มควบคุม

ผลการเปรียบเทียบรายค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) (Cal/ min) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการฝึกทั้ง 4 แบบ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์

2. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 แบบและกลุ่มควบคุมที่ไม่ออกกำลังกายพบว่ากลุ่มการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 แบบมีค่าปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบรายค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุดระหว่างกลุ่มตัวอย่างสามารถเขียนเป็นประโยคสัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = > Control)



ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One-way Anova

| แหล่งความแปรปรวน | Sum of squares | df | Mean Square | F     | Sig. |
|------------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| ระหว่างกลุ่ม     | 1483.373       | 4  | 370.843     | 80.70 | .000 |
| ภายในกลุ่ม       | 394.244        | 76 | 4.595       |       |      |
| ทั้งหมด          | 1832.617       | 80 |             |       |      |

การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $F(4, 76) = 80.70, p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่า ปริมาณค่าไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ ของกลุ่มตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ จึงทำการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยเทคนิค LSD ต่อไป

ตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่คะแนนการเปลี่ยนแปลง ไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ด้วยเทคนิค Dunnett T3 เนื่องจากเงื่อนไขการทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน (Equal Variances Not Assumed)

| โปรแกรมการฝึก | M     | MICE    | HIIT    | Supra-HIIT | ICE     | Control |
|---------------|-------|---------|---------|------------|---------|---------|
|               |       | -4.81   | -3.73   | -3.66      | -4.94   | 6.92    |
| MICE          | -4.81 | -       | 1.08    | 1.15       | .13     | 11.74** |
| HIIT          | -3.73 | 1.08    | -       | .07        | 1.21    | 10.66** |
| Supra-HIIT    | -3.66 | 1.15    | .07     | -          | 1.27    | 10.59** |
| ICE           | -4.94 | .13     | 1.21    | 1.27       | -       | 11.87** |
| Control       | 6.92  | 11.74** | 10.66** | 10.59**    | 11.87** | -       |

หมายเหตุ \*  $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.001$ ; MICE = กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง; HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง; Supra-HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก; ICE = กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน; Control = กลุ่มควบคุม

ผลการเปรียบเทียบรายค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch- score) ปริมาณไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการฝึกทั้ง 4 แบบ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำ ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์

2. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 แบบและกลุ่มควบคุมที่ไม่ออกกำลังกายพบว่ากลุ่มการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 แบบมีค่าปริมาณไลโปโปรตีนหนาแน่นต่ำเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบรายค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มตัวอย่างสามารถเขียนเป็นประโยคสัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

$$(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = > \text{Control})$$

ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One-way Anova

| แหล่งความแปรปรวน | Sum of squares | df | Mean Square | F     | Sig. |
|------------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| ระหว่างกลุ่ม     | 71.57          | 4  | 17.894      | 6.104 | .000 |
| ภายในกลุ่ม       | 222.777        | 76 | 2.931       |       |      |
| ทั้งหมด          | 294.352        | 80 |             |       |      |

การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score:Ch-score) ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $F(4, 76) = 6.104, p < 0.001$  แสดงให้เห็นว่า ร้อยละของไขมันในร่างกาย ของกลุ่มตัวอย่างมีการ เปลี่ยนแปลงอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ จึงทำการเปรียบเทียบรายค่าด้วยเทคนิค LSDต่อไป

ตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบรายค่าเฉลี่ยร้อยละของไขมันในร่างกาย (% fat) (%) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยเทคนิค LSD เมื่อมีการปรับค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทุกคนก่อนฝึก จากสถิติ One-way Anova

| โปรแกรมการฝึก | M     | MICE  | HIIT  | Supra-HIIT | ICE   | Control |
|---------------|-------|-------|-------|------------|-------|---------|
|               |       | -.31  | -.07  | -1.03      | -1.00 | 1.90    |
| MICE          | -.31  | -     | 0.24  | 0.72       | 0.21  | 2.21*   |
| HIIT          | -.07  | 0.24  | -     | 0.96       | .03   | 1.97*   |
| Supra-HIIT    | -1.03 | 0.72  | 0.96  | -          | .93   | 2.93**  |
| ICE           | -1.00 | 0.21  | .03   | .93        | -     | 2.00*   |
| Control       | 1.90  | 2.21* | 1.97* | 2.93**     | 2.00* | -       |

หมายเหตุ \*  $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.001$ ; MICE = กลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง; HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง; Supra-HIIT = กลุ่มฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก; ICE = กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน; Control = กลุ่มควบคุม

ผลการเปรียบเทียบรายค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch- score) ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการฝึกทั้ง 4 แบบ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลงร้อยละของไขมันในร่างกาย ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์
- เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 แบบและกลุ่มควบคุมที่ไม่ออกกำลังกายพบว่ากลุ่มการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 แบบมีค่าร้อยละของไขมันในร่างกาย เปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการเปรียบเทียบรายค่าเฉลี่ยร้อยละของไขมันในร่างกายระหว่างกลุ่มตัวอย่าง สามารถเขียนเป็นประโยคสัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = > Control)

ตารางที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) น้ำหนักตัว (weight) (kg) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว One-way Anova

| แหล่งความแปรปรวน | Sum of squares | df | Mean Square | F    | Sig. |
|------------------|----------------|----|-------------|------|------|
| ระหว่างกลุ่ม     | 9.821          | 4  | 2.455       | .703 | .592 |
| ภายในกลุ่ม       | 265.363        | 76 | 3.492       |      |      |
| ทั้งหมด          | 275.184        | 80 |             |      |      |

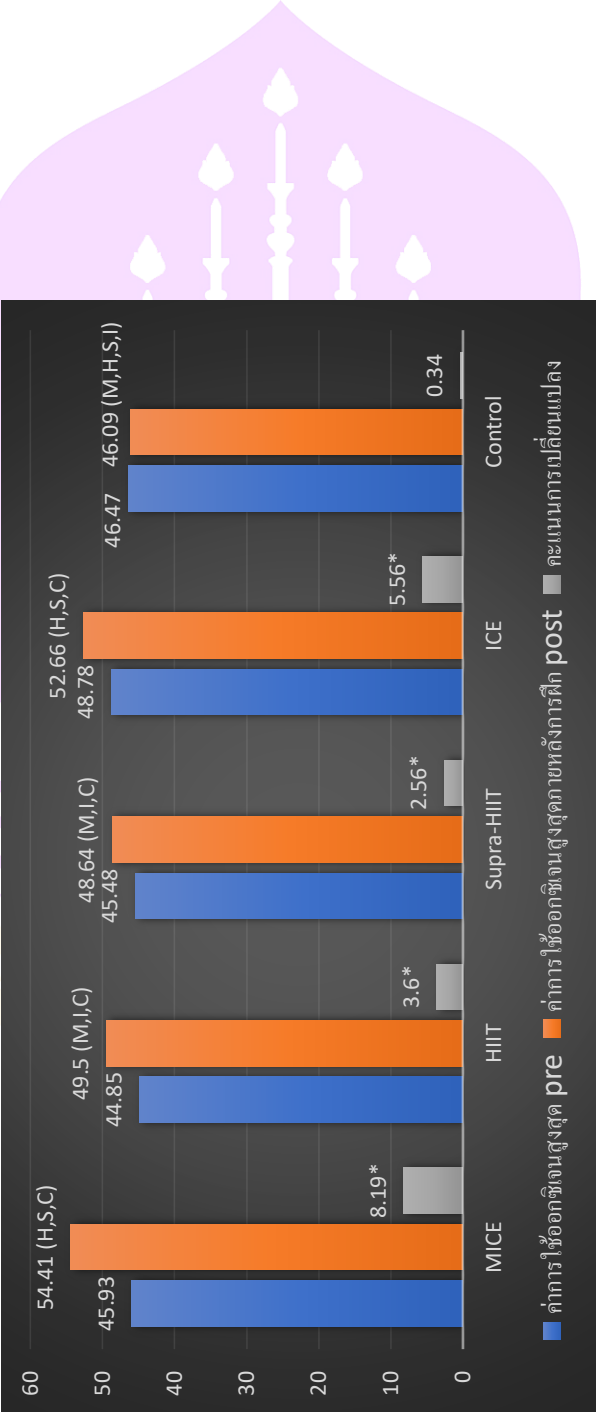
การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: Ch-score) น้ำหนักตัว (weight) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างได้ผลการทดสอบทางสถิติคือ  $F(4, 76) = .703$ ,  $p = .592$  แสดงให้เห็นว่า ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ น้ำหนักตัวระหว่างกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยร้อยละของไขมันในร่างกายระหว่างกลุ่มตัวอย่างสามารถเขียนเป็นประโยคสัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = Control

ส่วนที่ 4 แผนภูมิแสดงสรุปการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ร้อยละของไขมันในร่างกาย และน้ำหนักตัว ภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 18 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ml/ kg/ min) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม



หมายเหตุ \* = มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มตัวอย่าง ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์, M = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม MICE, H = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม HIIT, S = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม Supra-HIIT, I = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม ICE, C = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม Control

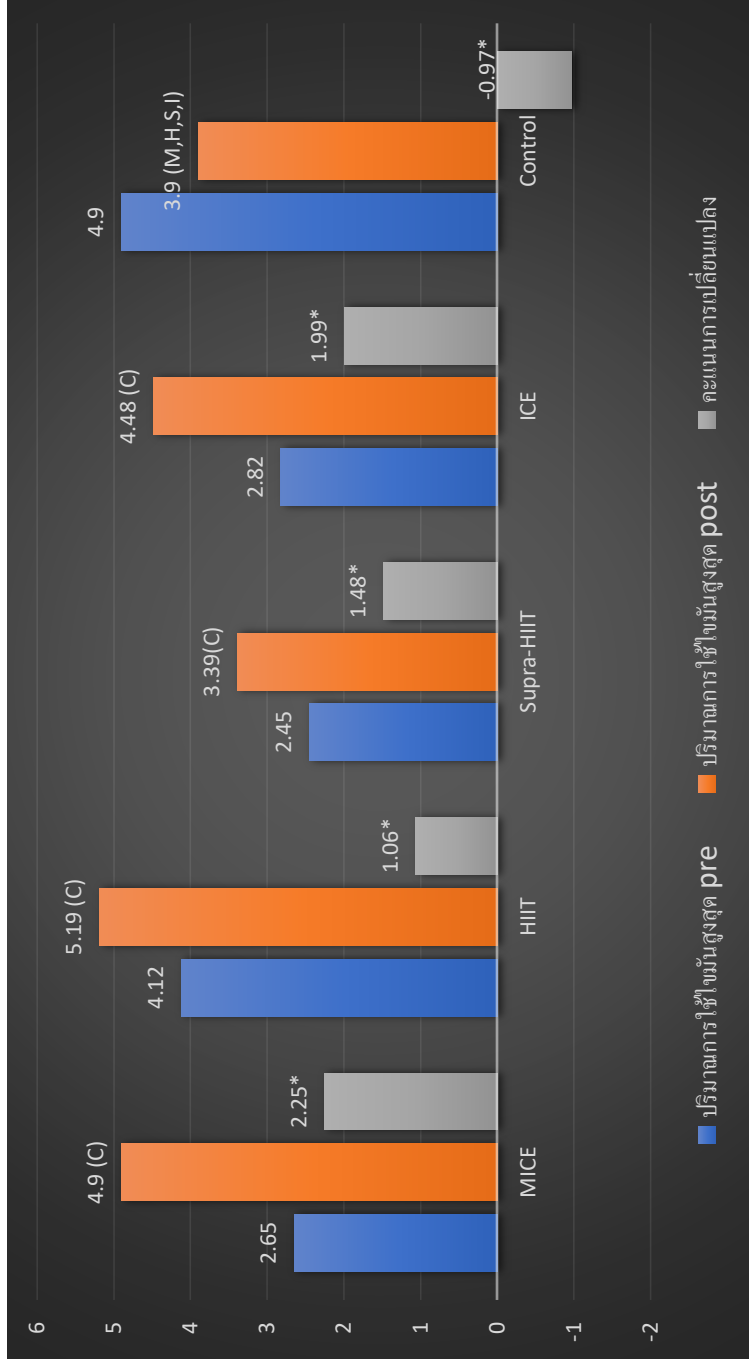
ข้อมูลจากการวิจัยสามารถสรุปเป็นประโยคสัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

{(MICE = ICE) > (HIIT = Supra-HIIT)}

> Control



ตารางที่ 19 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณการใช้ไขมันสูงสุดที่สุต (MFO) (CaU min) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม



หมายเหตุ \* = มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มตัวอย่าง ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์, M = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม MICE, H = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

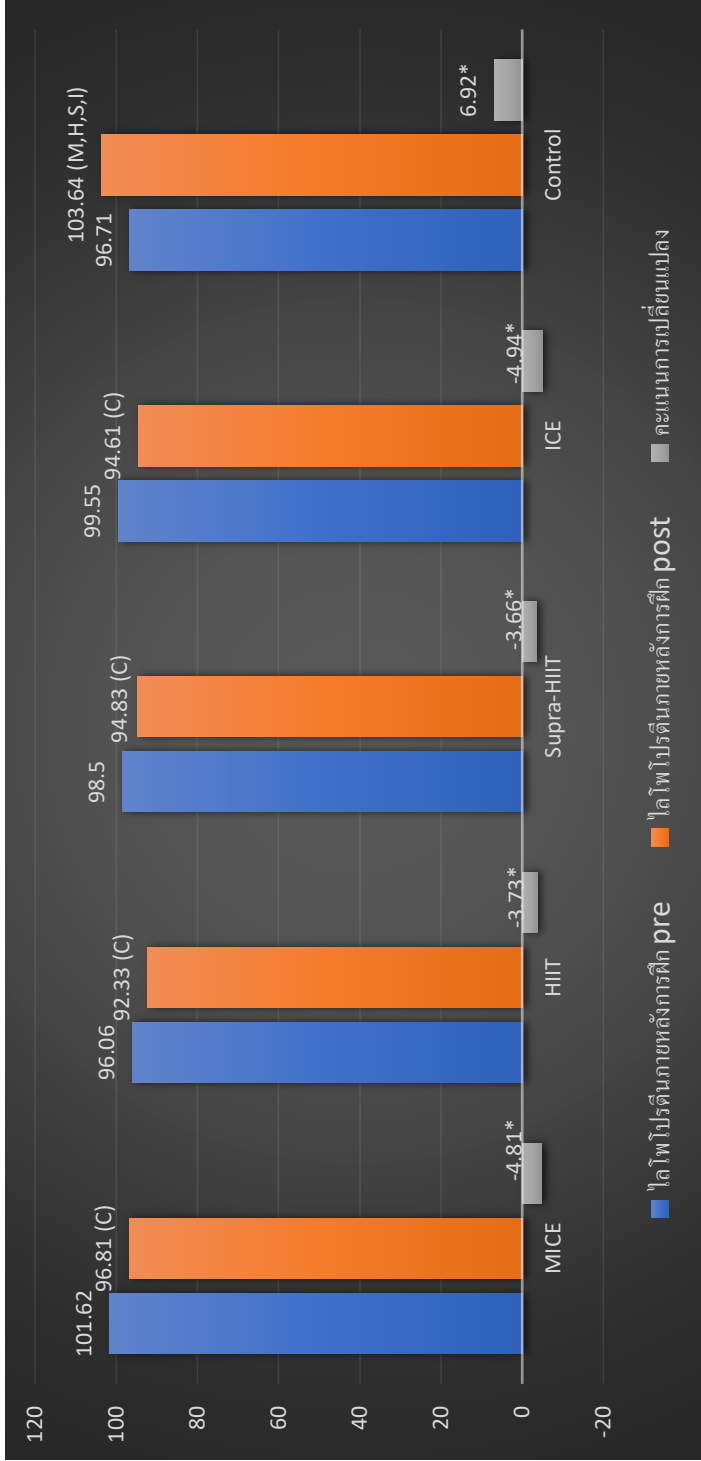
HIITกลุ่ม HIIT, S = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม Supra-HIIT, I = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม ICE, C = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม Control

ข้อมูลจากการวิจัยสามารถสรุปเป็นประโยคสัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = > Control

เมื่อ > คือ การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าในทางสถิติ

ตารางที่ 20 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม

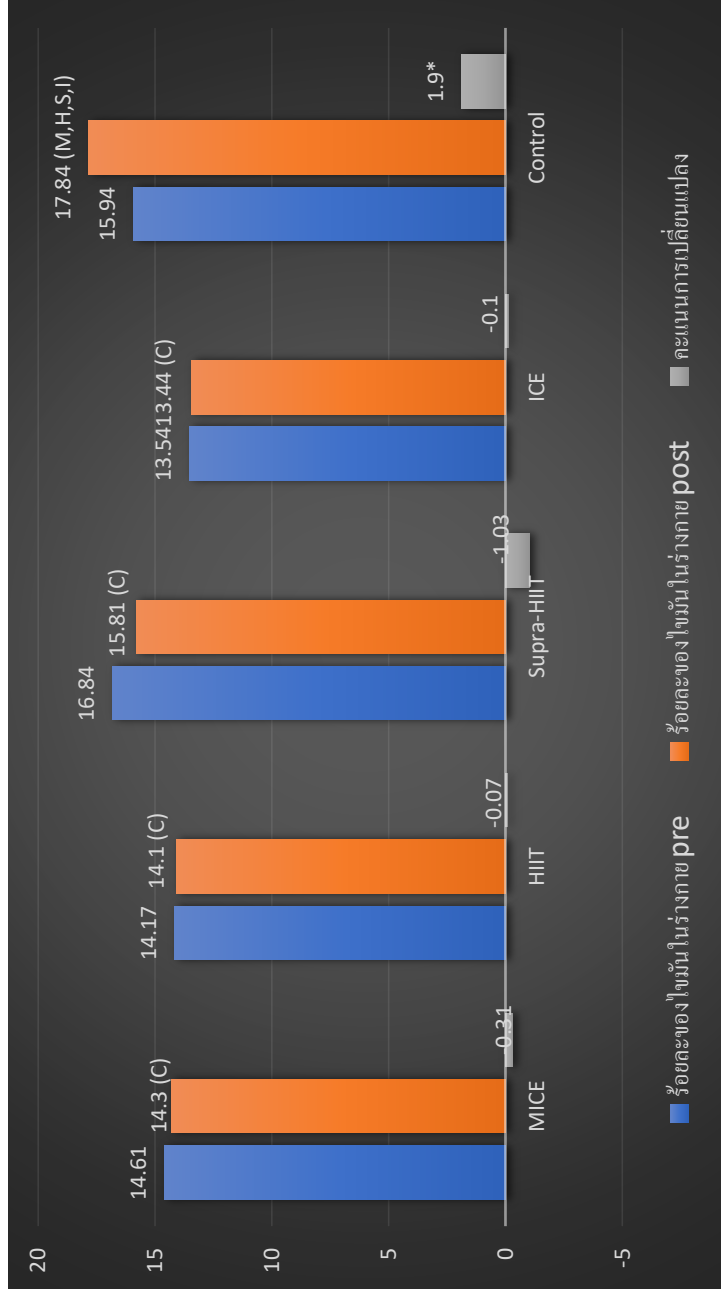


หมายเหตุ \* = มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มตัวอย่าง ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์, M = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม MICE, H = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม HIIT, S = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม Supra-HIIT, I = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม ICE, C = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม Control

ข้อมูลจากการวิจัยสามารถสรุปเป็นประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้

(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = > Control)  
เมื่อ > คือ การเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่าในทางสถิติ

ตารางที่ 21 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงร้อยละไขมันในร่างกาย (%fat) (%) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม

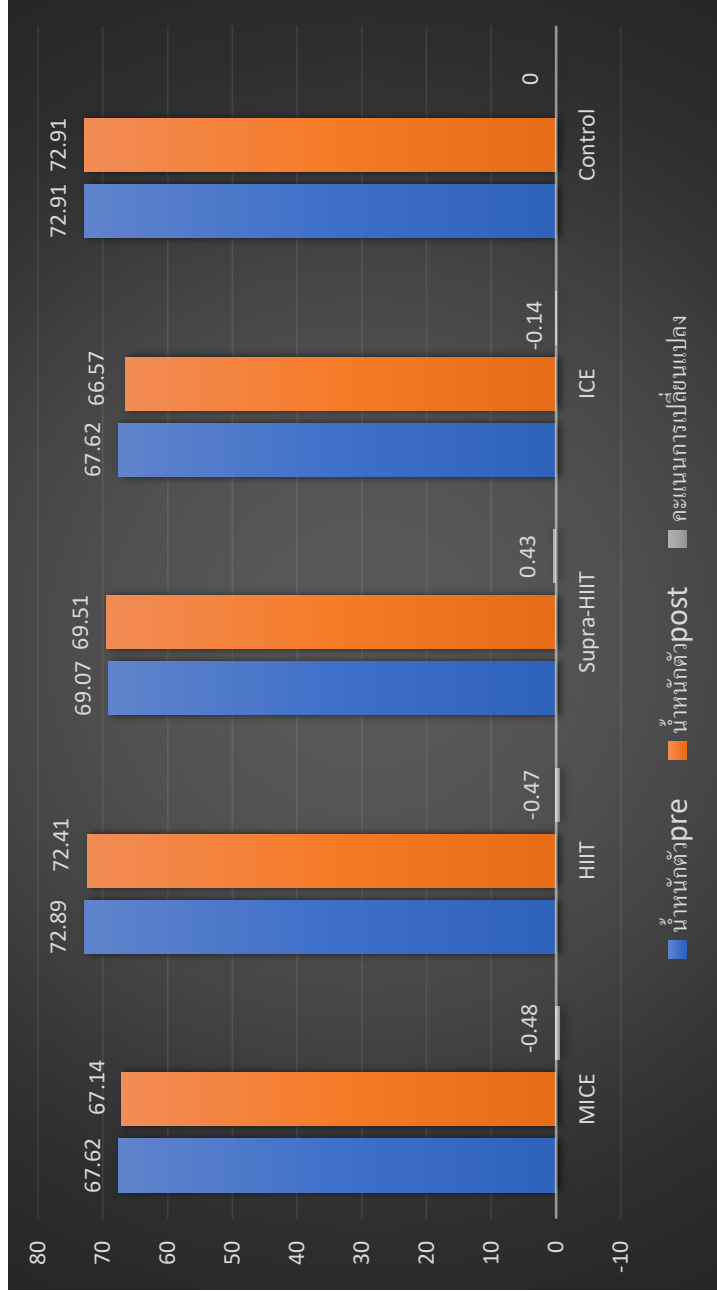


หมายเหตุ \* = มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มตัวอย่าง ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์, M = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม MICE, H = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม HIIT, S = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม Supra-HIIT, I = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม Control

ข้อมูลจากการวิจัยสามารถสรุปเป็นประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้

(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = > Control)  
เมื่อ > คือ การเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่าในทางสถิติ

ตารางที่ 22 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (weight) (kg) ของกลุ่มตัวอย่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม



หมายเหตุ \* ไม่พบความแตกต่างทางสถิติทั้งภายในและระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลจากการวิจัยสามารถสรุปเป็นประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้

MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = Control

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อองค์ประกอบร่างกาย การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือด เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (experiment research) แบบการสุ่มกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบ (randomized controlled trial: RCT) ซึ่งผู้วิจัยทำการสรุปและอภิปรายผลการทดลอง โดยแบ่งเป็นส่วน ๆ คือ

**- สรุปผลการทดลองแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ คือ**

**ส่วนที่ 1** ข้อมูลสรุปของกลุ่มตัวอย่าง:

**ส่วนที่ 2** สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 1: การศึกษาผลของการฝึกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มตัวอย่าง

**ส่วนที่ 3** สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 2: การเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

**- อภิปรายผลการทดลอง**

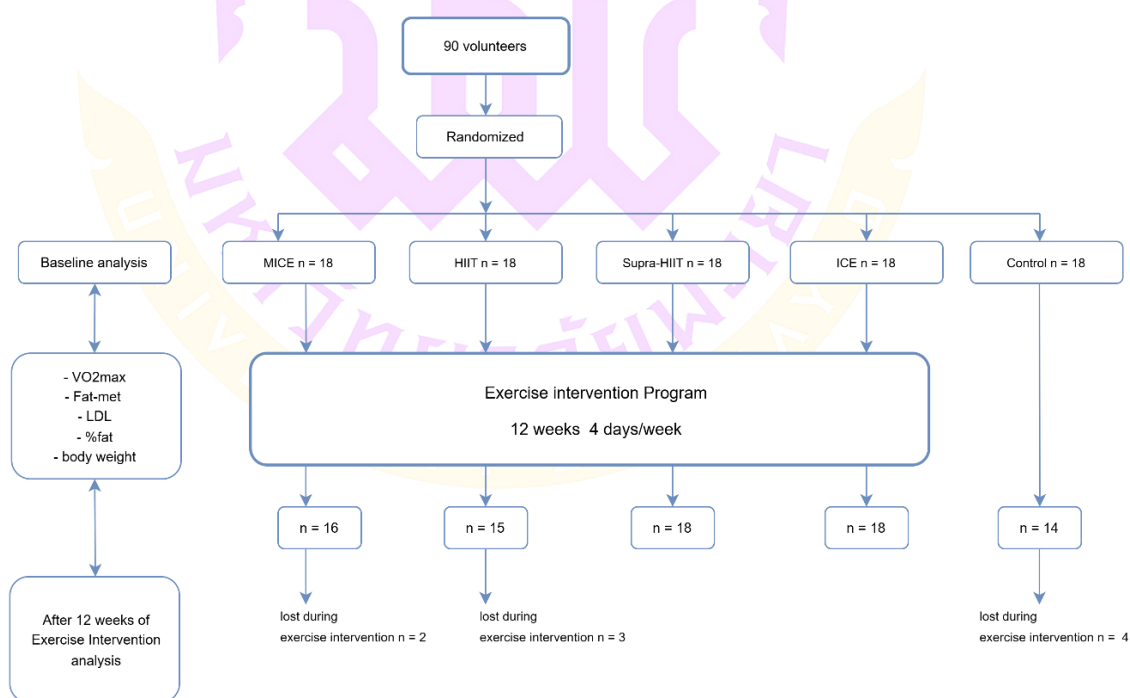
**- ข้อจำกัดในการทำวิจัยและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป**

## 1. สรุปผลการทดลอง

### ส่วนที่ 1 ข้อมูลสรุปของกลุ่มตัวอย่าง:

กลุ่มตัวอย่างของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วยอาสาสมัครจำนวน 90 รายที่ประกาศรับสมัครผ่านเครือข่ายสังคมออนไลน์ (ภาคผนวก) ผู้วิจัยดำเนินการคัดกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้าและสุ่มเข้ากลุ่มฝึกออกกำลังกาย 4 กลุ่มและกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 18 คนเท่ากันทุกกลุ่ม

กลุ่มการฝึกทำการการออกกำลังกายเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ในขณะที่กลุ่มควบคุมดำเนินชีวิตตามปกติโดยไม่ต้องมีการออกกำลังกายใดๆ กลุ่มออกกำลังกายแบ่งตามวิธีการฝึกคือ กลุ่มที่ 1 ฝึกออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (MICE) กลุ่มที่ 2 ฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) กลุ่มที่ 3 ฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) กลุ่มที่ 4 ฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) หลังจาก 12 สัปดาห์ มีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 81 คนที่อยู่จนสิ้นสุดการทดลอง เป็นกลุ่มการฝึกต่อเนื่อง 16 คน กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง 15 คน กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก 18 คน ฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน 18 คน และกลุ่มควบคุม 14 คน โดยมีกลุ่มตัวอย่างขอลถอนตัวจากการทดลองจำนวน 9 คนด้วยเหตุผลส่วนตัว



ภาพที่ 26 แสดงข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

**ส่วนที่ 2** สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 1: การศึกษาผลของการฝึกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มตัวอย่าง

### 1) การฝึกแบบต่อเนื่องหรือ Moderate-Intensity Continuous Exercise (MICE)

การฝึกแบบต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการพัฒนาของค่าการเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือดของกลุ่มตัวอย่างดีขึ้นภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยกลุ่มตัวอย่างมีค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น  $8.19 \text{ ml/ kg/ min}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายเพิ่มขึ้น  $2.25 \text{ Cal/ min}$  และปริมาณไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำลดลง  $4.81 \text{ (Mg/ dL)}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นน้ำหนักตัวและไขมันในร่างกายของกลุ่มตัวอย่างยังมีแนวโน้มที่ลดลง แต่การลดลงดังกล่าวยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางสถิติ

### 2) การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (High-intensity interval training , HIIT )

การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง ส่งผลให้การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือดของกลุ่มตัวอย่างมีการพัฒนาในทางที่ดีขึ้นภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยกลุ่มตัวอย่างมีค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น  $3.6 \text{ ml/ kg/ min}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายเพิ่มขึ้น  $1.06 \text{ Cal/ min}$  และปริมาณไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำลดลง  $3.73 \text{ (Mg/ dL)}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นน้ำหนักตัวและไขมันในร่างกายของกลุ่มตัวอย่างยังมีแนวโน้มที่ลดลง แต่การลดลงดังกล่าวยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางสถิติ

### 3) การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supramaximal high-intensity interval training ,Supra-HIIT)

การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก เป็นการฝึกที่ทำให้การเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือดของกลุ่มตัวอย่างมีการพัฒนาในทางที่ดีขึ้นภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยกลุ่มตัวอย่างมีค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น  $2.56 \text{ ml/ kg/ min}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายเพิ่มขึ้น  $1.48 \text{ Cal/ min}$  และปริมาณไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำลดลง  $3.66 \text{ (Mg/ dL)}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นการฝึกยังทำให้น้ำหนักตัวและไขมันในร่างกายของกลุ่มตัวอย่างมีแนวโน้มที่จะลดลง ถึงแม้ว่าจะยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางสถิติ



#### 4) การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย (incremental continuous exercise, ICE)

การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย ทำให้กลุ่มตัวอย่างมีค่าการเผาผลาญพลังงานและสารชีวเคมีในเลือดพัฒนาดีขึ้นภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น 5.56 ml/ kg/ min อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายเพิ่มขึ้น 1.99 Cal/ min และปริมาณไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำลดลง 4.94 (Mg/ dL) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นการฝึกยังทำให้น้ำหนักตัวและไขมันในร่างกายของกลุ่มตัวอย่างมีแนวโน้มที่จะลดลง ถึงแม้ว่าจะยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางสถิติ

#### 5) กลุ่มควบคุม (Control group)

สำหรับกลุ่มควบคุมซึ่งดำเนินชีวิตตามปกติ และไม่ได้รับการแทรกแซงการฝึกออกกำลังกาย ใด ๆ เมื่อผ่านไป 12 สัปดาห์ ไม่พบความเปลี่ยนแปลงของ ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด และน้ำหนักตัว ส่วนค่าไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (Mg/ dL) เพิ่มขึ้น 6.93 Mg/ dL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับ ร้อยละของไขมันในร่างกายที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่



ภาพที่ 27 สรุปผลของการฝึกด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มตัวอย่าง

### ส่วนที่ 3 สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในข้อที่ 2: การเปรียบเทียบผลของการฝึก ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

#### 1) ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $VO_2\max$ ) ( $\text{mL/ kg/ min}$ )

การฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายเป็นการฝึก 2 วิธีที่ทำให้ผู้ฝึกมีค่าการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นได้ดีที่สุด วิธีการฝึกทั้งสองแบบพัฒนาค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดในกลุ่มผู้ที่ได้รับการฝึกได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่า การใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ดีกว่าวิธีการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับ เบาความเข้มข้นสูงมาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้น สูงมาก สามารถพัฒนาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในกลุ่มผู้ที่ได้รับการฝึกได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ทั้งนี้พบว่า การฝึกทั้ง 4 รูปแบบคือ แบบการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบเพิ่มความหนักของ การออกกำลังกาย การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับเบาความ เข้มข้นสูงมาก ทำให้ผู้ฝึกมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด พัฒนาค่าขึ้นกว่าผู้ที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกาย (กลุ่ม ควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถแสดงการเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างกลุ่ม ตัวอย่าง เป็นประโยชน์สัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\{(MICE = ICE) > (HIIT = \text{Supra-HIIT})\} > \text{Control}$$

#### 2) ปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด (MFO) ( $\text{CaL/ min}$ )

การฝึกทั้ง 4 รูปแบบคือ แบบการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก ทำให้ผู้ฝึก มีค่าการใช้ไขมันสูงสุด พัฒนาค่าขึ้นกว่าผู้ที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกาย (กลุ่มควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าการใช้ไขมันสูงสุดระหว่างกลุ่มการฝึกทั้ง 4 กลุ่ม สามารถแสดงการเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่าง เป็นประโยชน์สัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

$$(MICE = HIIT = \text{Supra-HIIT} = ICE = > \text{Control})$$

### 3) ไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) (Mg/ dL)

การฝึกทั้ง 4 รูปแบบคือ แบบการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก ทำให้ผู้ฝึกมีค่าไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ ลดลงได้ดีกว่าผู้ที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกาย (กลุ่มควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำระหว่างกลุ่มการฝึกทั้ง 4 กลุ่ม สามารถแสดงการเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่าง เป็นประโยชน์สัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = > Control)

### 4) ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) (%)

การฝึกทั้ง 4 รูปแบบคือ แบบการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก ทำให้ร้อยละของไขมันในร่างกาย ลดลงได้ดีกว่าผู้ที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกาย (กลุ่มควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าร้อยละของไขมันในร่างกายระหว่างกลุ่มการฝึกทั้ง 4 กลุ่ม และสามารถแสดงการเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่าง เป็นประโยชน์สัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = > Control)

### 5) น้ำหนักตัว (weight) (kg)

การฝึกทั้ง 4 รูปแบบคือ แบบการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักตัวภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการฝึกทั้ง 4 รูปแบบ และระหว่างการฝึกทั้ง 4 รูปแบบกับกลุ่มควบคุม สามารถเขียนเป็นประโยชน์สัญลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE = Control

|                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO <sub>2</sub> max)<br>MICE = ICE > HIIT = Supra-HIIT และทั้งหมดดีกว่ากลุ่มควบคุม |
| ค่าการเผาผลาญไขมัน (fat-met)<br>MICE = ICE = HIIT = Supra-HIIT และทั้งหมดดีกว่ากลุ่มควบคุม                  |
| ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL)<br>MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE และทั้งหมดดีกว่ากลุ่มควบคุม                |
| ไขมันในร่างกาย (% fat)<br>MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE และทั้งหมดดีกว่ากลุ่มควบคุม                        |
| น้ำหนักตัว (body weight)<br>ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกและกลุ่มควบคุม                                |

ภาพที่ 28 สรุปผลของการฝึกด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่มตัวอย่าง

## 2. อภิปรายผลการทดลอง

ข้อค้นพบหลัก (main finding) ของการศึกษาวิจัยที่สำคัญในครั้งนี้นี้คือ การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก (aerobic exercise) ทั้ง 4 วิธีการ ได้แก่

- 1) การฝึกออกกำลังกายการฝึกแบบต่อเนื่อง
- 2) การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง
- 3) การฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมาก
- 4) การฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน

มีผลทำให้ผู้ฝึก มีค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายที่วัดได้จากค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด และค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดพัฒนาดีขึ้น ตลอดจนช่วยลดสารชีวเคมีประเภทไขมันในเลือดที่วัดจากค่า LDL ของกลุ่มตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกายพบว่า การฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 รูปแบบทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด การเผาผลาญไขมันสูงสุด ค่า LDL และร้อยละไขมันในร่างกาย ของกลุ่มตัวอย่างที่ฝึกออกกำลังกายพัฒนาดีขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โดยผู้วิจัยจะทำการอภิปรายผลการวิจัยตามตัวแปรที่ใช้ในการทดลองโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1) ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $VO_2\max$ )

ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ สะท้อนและแสดงถึงความแข็งแรงและความอดทนของหัวใจและปอดโดยตรง ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดพัฒนาได้จากการฝึกออกกำลังกาย โดยการฝึกแอโรบิกไม่ว่าจะเป็นการฝึกแบบต่อเนื่องหรือการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงหรือการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากนั้นได้รับการพิสูจน์จากงานวิจัยจำนวนมากว่าช่วยเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายได้อย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่มประชากรไม่ว่าจะเป็น เด็ก ผู้ใหญ่ ผู้สูงอายุ คนที่ออกกำลังกายอยู่เป็นประจำ ผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย และคนอ้วน (Hottenrott, 2012; Sloth & et al., 2013; Weston & et al., 2014; Crowley & et al., 2022; Rugbumrung, 2022)

ข้อมูลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการฝึกทั้ง 4 รูปแบบช่วยเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในกลุ่มตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกวิธีการฝึก และมีความแตกต่างกับผู้ที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกาย โดยพบว่าผู้ที่ฝึกแบบต่อเนื่อง และ การฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน จะมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มมากขึ้นมากที่สุด และเพิ่มมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก

การพัฒนาของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงที่มีความสัมพันธ์กับระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการพัฒนาของค่าปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจ (ห้องล่างซ้าย) ในการบีบตัว 1 ครั้ง (stroke volume; SV) ซึ่งในภาวะปกติค่า SV ขณะพักจะอยู่ที่ประมาณ 70 – 80 มล./ การเต้นของหัวใจ 1 ครั้ง (ml/ beat) ทั้งนี้ในผู้ที่ออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นประจำ เช่นนักกีฬาประเภทความอดทนระดับสูงอาจพบว่ามีค่า SV ที่สูงกว่า 100 ml/ beat และในขณะออกกำลังกายค่า SV อาจสูงขึ้นถึง 110 – 130 ml/ beat เนื่องจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกทำค่า SV เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาทีเพิ่มขึ้น (cardiac output; Q) (Hambrecht & et al., 2000; Morrison & et al., 2023) ผู้ที่ฝึกออกกำลังกายอยู่เป็นประจำจะมีปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาทีเพิ่มขึ้น มากกว่าผู้ที่ไม่ฝึกออกกำลังกายร้อยละ 20 – 25 และความแตกต่างจากนี้จะเพิ่มถึงร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างนักกีฬาและผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกาย (Hellsten & Nyberg, 2015; Lee & Oh, 2016) และเนื่องจากระบบไหลเวียนโลหิตมีหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนการเพิ่มขึ้นของ SV และ Q จึงเป็นผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดในขณะออกกำลังกายด้วย

การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก ถึงแม้จะทำให้ค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดพัฒนาดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกาย แต่ก็พัฒนาได้น้อยกว่าการฝึก แบบต่อเนื่องและการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย ทั้งนี้เนื่องจากการฝึกแบบหนัก สลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก มีระยะเวลาในการฝึกที่น้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง และการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย อาจส่งผลให้มีการพัฒนาที่น้อยกว่า สอดคล้อง กับรายงานการวิจัยที่พบว่า การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง อาจจะช่วยให้ออกซิเจน สูงสุดเพิ่มขึ้นไม่มากเมื่อเทียบกับการฝึกแบบต่อเนื่อง ด้วยปัจจัยด้านเวลาและปริมาณการฝึกที่น้อย กว่า (Trachsel & et al., 2020) และหากมีระยะเวลาในการฝึกที่น้อยเกินไปก็อาจไม่ส่งผลให้มีการ เพิ่มขึ้นของค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดในการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (Milanovic & et al., 2015; Arboleda-Serna, 2019) ดังนั้นผู้ที่เลือกฝึกด้วยโปรแกรมหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง หรือ ความเข้มข้นสูงมาก อาจจะต้องคำนึงถึงระยะเวลารวมในการฝึก (Arboleda-Serna, 2019) โดย อาจเพิ่มปริมาณการฝึกให้มากขึ้นทั้งโดยการเพิ่มระยะเวลารวมหรือเพิ่ม Session การฝึก ซึ่งจะส่งผล ให้มีการพัฒนาค่าการใช้ ออกซิเจนสูงสุดได้ดีพอ ๆ กับการฝึกแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้หากมีการควบคุมเวลา หรือค่าการใช้ ออกซิเจนของร่างกายในขณะที่ทำการฝึกให้เท่ากัน การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้น สูงจะส่งผลต่อร่างกายได้มากกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง (Sun & et al., 2024)

## 2. ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) และการเผาผลาญไขมันสูงสุด (MFO)

ไขมันเป็นสารตั้งต้นหลักของการใช้พลังงานหลักในร่างกาย โดยเฉพาะการใช้พลังงานแบบแอโร บิก การเผาผลาญไขมันและไขมันในร่างกายจึงมีความสัมพันธ์และสอดคล้องโดยตรงกับรูปแบบการ ออกกำลังกาย โดยเฉพาะการออกกำลังกายที่มีลักษณะการใช้พลังงานแบบแอโรบิก

ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยพบว่า การฝึกทั้ง 4 รูปแบบช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันได้อย่างดีไม่ แตกต่างกัน แม้ว่าการฝึกจะไม่ทำให้ปริมาณไขมันในร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกายแล้วการฝึกทั้ง 4 รูปแบบช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันและลดไขมันในร่างกายผู้ฝึกได้มากกว่าผู้ที่ไม่ฝึกออกกำลังกาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของฝึกแบบแอโรบิกคือการพัฒนาของระบบการ เผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) โดยจะเห็นว่ากลุ่มการฝึกทุกกลุ่มมีค่า การเผาผลาญไขมันที่เพิ่มขึ้นและปริมาณไขมันในร่างกายลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการฝึกส่งผลให้จำนวนของไมโทคอนเดรีย หนาแน่นขึ้น (mitochondrial density) ทำให้เกิดการเผาผลาญไขมันมากขึ้นทั้งในขณะออกกำลังกาย และภายหลังการออกกำลังกาย (Muscella & et al., 2020; Spriet & Randell, 2020) กล้ามเนื้อมี



การปรับตัวใช้พลังงานหลักจากไขมันได้ดีกว่าคาร์โบไฮเดรต (Horowitz & et al., 2000) การปรับตัวดังกล่าวพบได้ในผู้ที่ฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกไม่ว่าจะเป็นการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Muscella & et al., 2020; Spriet & Randell, 2020) หรือการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) (Talanian & et al., 2007) ส่งผลให้ทำให้อัตราการเผาผลาญไขมันสูงขึ้นและอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Perry & et al., 2008)

การเผาผลาญไขมันจะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ร่างกายเริ่มต้นออกกำลังกายที่ความเข้มข้นต่ำไปจนถึงปานกลาง คือที่ระดับร้อยละ 60-65 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังจากนั้นหากมีการเพิ่มระดับการออกกำลังกายขึ้นไปอีกจนถึงระดับ ร้อยละ 75 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ร่างกายจะเริ่มเผาผลาญไขมันลดลง ทั้งนี้พบว่าเมื่อความเข้มข้นของการออกกำลังกายเพิ่มถึงร้อยละ 50 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ร่างกายจะเริ่มใช้ไกลโคเจน (คาร์โบไฮเดรต) ในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น (Muscella & et al., 2020) เป็นเหตุผลที่ทำให้ผู้ที่ฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการออกกำลังกายการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบหนักสลับเบา หรือ การฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน มีปริมาณการเผาผลาญไขมันเพิ่มขึ้น และมีไขมันในร่างกายลดลงดีกว่าผู้ที่ไม่ฝึกออกกำลังกาย ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นการฝึกในรูปแบบใดจึงส่งผลให้ผู้ฝึกมีการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละของไขมันในร่างกายและปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ที่ดีขึ้นกว่าผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกาย

กรณีของน้ำหนักตัวและไขมันในร่างกายที่พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถิติภายหลังการฝึกนั้นอาจเป็นไปได้เนื่องจากข้อจำกัดในการทำวิจัยไม่ได้ควบคุมการบริโภคอาหารของกลุ่มตัวอย่าง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นข้อมูลจากการวิจัยแสดงให้เห็นแนวโน้มของการลดลงของน้ำหนักตัวและไขมันในร่างกาย และการลดลงของไขมันในร่างกายชัดเจนจนเกิดความแตกต่างในทางสถิติ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกาย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการฝึกทั้ง 4 รูปแบบมีประสิทธิภาพดีเพียงพอในการควบคุมน้ำหนักตัวและไขมันในร่างกาย โดยหากมีการเพิ่มความเข้มข้นในการฝึกให้มากขึ้นในกลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง คือการเพิ่มปริมาณการฝึกให้มากขึ้นในกลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก หรือหากฝึกควบคู่กับการฝึกด้วยน้ำหนัก หรือมีการควบคุมโภชนาการเพิ่มเติม อาจส่งผลให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวและไขมันในร่างกายภายในกลุ่มตัวอย่างที่ชัดเจนขึ้น

### 3. ไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL)

ไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำเป็นไขมันที่มีความสำคัญกับร่างกายเนื่องจากมีหน้าที่เป็นตัวขนส่งไขมันและสารที่ละลายในไขมันระหว่างตับเนื้อเยื่อส่วนปลาย (Peripheral tissue) (Barter, et al, 2007) โดยปกติไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำถือเป็นไขมันที่จำเป็นอย่างมากสำหรับร่างกาย แต่เนื่องจากไลโฟโปรตีนความหนาแน่นต่ำเป็นสารที่เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนระหว่างโมเลกุลได้ง่าย คือ



เกิดการออกซิเดชัน (oxidation) หรือทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ (Oxidized LDL หรือ OxLDLlipids หรือ OxLDL ) โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลโดยตรงกับหลอดเลือดเนื่องจากมีการกักเก็บอะโปไลโปโปรตีน (Apolipoprotein B; ApoB ) ซึ่ง ApoB จะกระตุ้นการอักเสบของผนังหลอดเลือดและส่งผลโดยตรงให้หลอดเลือดแดงเกิดการแข็งตัว (Li D, Mehta JL, 2005)

ถึงแม้ LDL ในเลือดจะเป็นเหมือนสารตั้งต้นของ OxLDL และการที่มี LDL ในเลือดมากแสดงถึงภาวะเสี่ยงต่อกลุ่มอาการหัวใจและหลอดเลือด แต่หาก LDL นั้นยังไม่ถูกออกซิเดชัน ร่างกายก็จะไม่โอกาสที่จะเกิดภาวะดังกล่าว การออกกำลังกายแบบแอโรบิกจะช่วยปรับสมดุลการเกิดปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ โดยจะทำให้ร่างกายมีระดับสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น ช่วยลดความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและเพิ่มความต้านทานต่อความเครียดจากออกซิเดชัน (Urso ML, Clarkson PM, 2003) การออกกำลังกายเป็นประจำพบว่าช่วยลดระดับ oxLDLlipids (Swift, et al, 2013) ทั้งนี้มีทฤษฎี และกลไกทางสรีรวิทยาหลายอย่างที่แสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายทำให้ระดับ oxLDLlipids ลดลง โดยกลไกหลักมาจากสมมติฐานที่ว่า การออกกำลังกายช่วยเพิ่มระดับซีรั่มไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง และไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูงมีบทบาทในการปกป้องปฏิกิริยาออกซิเดชันของไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (Kontush, et al, 2003)

มีกลไกและสมมติฐานหลายประการที่แสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็งได้อย่างไร คำอธิบายอย่างหนึ่งก็คือ HDL สามารถปกป้อง LDL ไม่ให้เกิดการออกซิเดชันได้ (Wan Ahmad, 2015.; Navab, et al, 2005) นอกจากนั้นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีส่วนช่วยค่า LDL ในเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Greene, et al, 2012; McCormick, et al, 2023) การลดลงของปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย ช่วยลดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ของร่างกาย และส่งผลที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดแดง โดยช่วยลดความหนาของผนังหลอดเลือดแดงที่เกิดจากชั้นไขมันเกาะ (Thijssen, et al., 2009; Khalafi, et al., 2022) ทำให้ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด

ทั้งนี้พบว่าจากรายงานการวิจัยแบบการวิเคราะห์ห้สมานพบว่า การฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงสามารถพัฒนาค่าไขมันในเลือดของผู้ฝึกได้ดีพอ ๆ กัน (Kessler, et al, 2012.; Wood, et al, 2019.; Xie, et al, 2017) โดยพบว่า การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยานั้นต้องมีความเข้มข้นในระดับปานกลางขึ้นไป คือ ตั้งแต่ร้อยละ 55 – 70 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ส่วนการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงนั้นจะมีช่วงความเข้มข้นของการฝึกแบบเบาอยู่ที่ ร้อยละ 40 – 70 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และความเข้มข้นของการฝึกแบบหนักอยู่ที่มากกว่าร้อยละ 90 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Wood, et al, 2019)

## สรุป

การค้นพบหลักของงานวิจัย พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 รูปแบบ มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญพลังงาน องค์ประกอบของร่างกาย และสารชีวเคมีในเลือด ดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวัดจากค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด การเผาผลาญไขมันสูงสุด ร้อยละของไขมันในร่างกาย และค่า LDL ในเลือด แสดงให้เห็นว่าการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นประจำไม่ว่าจะด้วยวิธีการหรือรูปแบบการฝึกแบบใด หากมีความถี่และระยะเวลาเพียงพอ จะส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาของระบบทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกายเพื่อสุขภาพ เป็นการเน้นย้ำให้เห็นถึงความสำคัญของการออกกำลังกาย ที่ช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายและป้องกันสุขภาพจากปัจจัยเสี่ยงของการเกิดโรค โดยเฉพาะโรคไม่ติดต่อร้ายแรงที่สำคัญ (non-communicable diseases: NCDs)

การจะเลือกรูปแบบหรือวิธีการใดเพื่อฝึกออกกำลังกาย จึงขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และปัจจัยต่าง ๆ ของผู้ที่ทำการฝึกเอง การฝึกแบบต่อเนื่องจะเหมาะสมกับบุคคลในทุกกลุ่มเนื่องจากการฝึกที่มีความเข้มข้นปานกลางสามารถฝึกได้ง่าย และไม่ต้องใช้เทคนิคมากนัก สำหรับผู้ที่มีปัจจัยของเวลาเป็นข้อจำกัด ผู้วิจัยแนะนำการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมารวมไปถึงการฝึกแบบการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย เนื่องจากใช้เวลาในการฝึกที่น้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง โดยเฉพาะการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมากที่ใช้เวลาเพียงแค่ 10 – 15 นาที/ ครั้ง แต่ให้ผลดีในการลดไขมันและเพิ่มระดับการเผาผลาญไขมันในร่างกายได้ดี ไม่แตกต่างกับการฝึกแบบต่อเนื่องที่ต้องใช้เวลาฝึกมากกว่า 40 นาที/ ครั้ง

สำหรับผู้ที่ต้องการฝึกเพื่อพัฒนาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด สามารถเลือกการฝึกในทั้ง 4 รูปแบบ แต่หากมีเหตุผลที่ต้องเลือกการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก ผู้วิจัยแนะนำให้มีการเพิ่ม session การฝึกต่อวันให้มากกว่า 1 ครั้ง หรือหาวิธีการเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการฝึกให้มากขึ้น เพื่อให้การฝึกส่งผลต่อการเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้มากขึ้น

การวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายเพื่อพัฒนาร่างกายตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการฝึกเพื่อควบคุมน้ำหนักและลดไขมันในร่างกาย รวมไปถึงการฝึกเพื่อเพิ่มปริมาณการเผาผลาญในร่างกาย หรือการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายในระดับสูง และการจะเลือกใช้โปรแกรมแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความถนัด ความพร้อมของอุปกรณ์และปัจจัยด้านเวลาของแต่ละบุคคลเป็นหลักสำคัญ

### ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. การนำรูปแบบการออกกำลังกายทั้ง 4 รูปแบบไปใช้งานผู้ใช้ควรคำนวน ความหนักของการออกกำลังกายให้เหมาะสมและหากเลือกใช้โปรแกรมการออกกำลังกายที่มีระยะเวลานั้น เช่น การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง การฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมากควรคำนึงถึงระยะเวลารวมในการฝึกเพื่อให้การฝึกนั้นส่งผลต่อการพัฒนาของร่างกาย ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การฝึกที่มีความเข้มข้นของการออกกำลังกายสูงมากเช่นการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบความหนักของงานควรคำนวนความเข้มข้นช่วงการฝึกหนักให้เหมาะสมกับผู้ฝึกเนื่องจากพบว่าถึงแม้จะมีระยะเวลาที่สั้นแต่ผู้ที่ทำการฝึกหลายคนไม่สามารถทำการฝึกในระดับความเข้มข้นสูงมากในช่วงระยะเวลาที่กำหนดได้ นอกจากนั้นการฝึกด้วยลู่วิ่งที่ความเข้มข้นดังกล่าวยังต้องคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยเนื่องจากลู่วิ่งกลิ้งมีความเร็วที่สูงมากในทางปฏิบัติควรมีผู้ช่วยหรือเพื่อนคอยช่วยเหลือหากเกิดเหตุการณ์กระแทกหกล้มขึ้น

### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดในงานวิจัยเป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าไขมันเฉลี่ยอยู่ในภาวะปกติและไม่มีภาวะอ้วน ผู้วิจัยเสนอให้ผู้สนใจทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกทั้ง 4 รูปแบบ ได้ทำการศึกษาวิจัยในกลุ่มตัวอย่างที่มีภาวะอ้วนเพื่อศึกษาผลที่เกี่ยวข้องในอนาคตต่อไป

2. ควรลดความหนักในช่วงฝึกหนักของการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง การฝึกแบบหนักสลับเบาช่วงที่ความหนักสูงมาก ลงมาและเพิ่มระยะเวลาในการฝึกให้มากขึ้นเพื่อเปรียบเทียบศึกษาผลที่ได้กับการใช้ความเข้มข้นในช่วงฝึกหนักที่มากถึงมากที่สุด

3. จากการตรวจสอบวรรณกรรมเพื่อใช้ในการทำวิจัย ผู้วิจัยพบข้อมูลบางส่วนที่ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ หากผู้สนใจจะทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกทั้ง 4 รูปแบบต่อไป ผู้วิจัยแนะนำให้นำตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา มาเป็นตัวแปรในการทำวิจัย เพื่อให้ผลการวิจัยครอบคลุมสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเพิ่มมากขึ้น ทั้งในด้านความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และองค์ประกอบของร่างกาย

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

- คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย.  
(2563). ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. สำนัก  
โภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.วี. โพรเกรสซีฟ.
- ถาวรินทร์ รักษ์บำรุง. (2567). ศาสตร์สมรรถภาพทางกาย เล่มที่ 2. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นภัสกร ชื่นศิริ. (2557). การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและที่  
ความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน องค์ประกอบของร่างกาย และการทำงานของหลอดเลือด  
ในเด็กอ้วน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทชั้นบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- ประทุม ม่วงมี. (2532). อินเทอร์เน็ตเทรนนิ่ง คู่มือการฝึกกีฬา. อมรการพิมพ์.
- มณีนทร รักษ์บำรุง. (2546). ผลของการฝึกวิ่งแบบต่อเนื่องควบคู่กับการฝึกวิ่งแบบอินเทอร์วาลที่มีต่อ  
แอนแอโรบิคเทรชโฮล ปริมาณฮีมาโตคริต และความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน  
(วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา).
- มณีนทร รักษ์บำรุง. (2567). ศาสตร์สมรรถภาพทางกาย เล่มที่ 1. มหาวิทยาลัยพะเยา.
- สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา. (2556). แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทาง  
กาย สำหรับประชาชนไทย อายุ 19–59 ปี. กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.

### ภาษาอังกฤษ

- Achten, J., Gleeson, M., & Jeukendrup, A. E. (2002). Determination of the exercise  
intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and  
Exercise*, 34(1), 92–97. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00015>
- Ahima, R. S. (2006). Adipose tissue is an endocrine organ. *Obesity (Silver Spring)*, 14(S5),  
242S–249S. <https://doi.org/10.1038/oby.2006.317>
- Allen, S. V., & Hopkins, W. G. (2015). Age of peak competitive performance of elite  
athletes: A systematic review. *Sports Medicine*, 45(10), 1431–1441.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-015-0354-3>
- American College of Sports Medicine. (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and  
prescription* (10th ed.). Wolters Kluwer.
- Arboleda-Serna, V. H., Feito, Y., Patiño-Villada, F. A., Vargas-Romero, A. V., & Arango-

- Vélez, E. F. (2019). Effects of high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on maximal oxygen consumption and blood pressure in healthy men: A randomized controlled trial. *Biomédica*, 39(3), 524–536. <https://doi.org/10.7705/biomedica.4451>
- Alberga, A. S., Prud'homme, D., Sigal, R. J., & et al. (2016). Effects of aerobic training, resistance training or both on cardiorespiratory and musculoskeletal fitness in adolescents with obesity: The HEARTY trial. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(3), 255–265.
- Alves, E. D., Salermo, G. P., Panissa, V. L. G., Franchini, E., & Takito, M. Y. (2017). Effects of long or short duration stimulus during high-intensity interval training on physical performance, energy intake, and body composition. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(4), 393–399. <https://doi.org/10.12965/jer.1734962.481>
- Arslan, F. (2011). Effects of step-aerobic dance exercise program on body composition. *International SportMed Journal*, 12(4), 160–168.
- Ardhiyanto, Y. D., & Mu'arif, W. S. (2018). Reduction of LDL cholesterol through MICT and HIIT In rats. In *Proceedings of the 2nd Yogyakarta International Seminar on Health, Physical Education, and Sport Science (YISHPESS 2018) and 1st Conference on Interdisciplinary Approach in Sports (CoIS 2018)*.
- Barter, P., Gotto, A. M., LaRosa, J. C., Maroni, J., Szarek, M., Grundy, S. M., Kastelein, J. J., Bittner, V., & Fruchart, J. C. (2007). HDL cholesterol, very low levels of LDL cholesterol, and cardiovascular events. *New England Journal of Medicine*, 357(13), 1301–1310.
- Batacan, R. B., Duncan, M. J., Dalbo, V. J., Tucker, P. S., & Fenning, A. S. (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. *British Journal of Sports Medicine*, 51(6), 494–503.
- Bentley, D. J., Newell, J., & Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis: Implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Medicine*, 37(7), 575–586. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737070-00002>
- Belli, K. C., Silva, P. F. D., Franzoni, L. T., Myers, J., Stein, R., & Ribeiro, J. P. (2019). Speed and grade increment during cardiopulmonary treadmill testing: Impact on



- exercise prescription. *International Journal of Cardiovascular Sciences*, 32(4), 374–383.
- Bertuzzi, R., Nascimento, E. M., Urso, R. P., Damasceno, M., & Lima-Silva, A. E. (2013). Energy system contributions during incremental exercise test. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(3), 454–460.
- Bishop, D. J., Botella, J., Genders, A. J., & et al. (2019). High-intensity exercise and mitochondrial biogenesis: Current controversies and future research directions. *Physiology*, 34, 56–70.
- Bogdani, A., & Pano, G. (2021). Effects of traditional training compared to functional training in metabolic age and visceral fat in 18–30 old subjects. *Journal of Human Sport and Exercise*, 16(3proc), S1402–S1410.
- Brandão, L. H. A., Chagas, T. P. N., Vasconcelos, A. B. S., de Oliveira, V. C., Fortes, L. d. S., de Almeida, M. B., Mendes Netto, R. S., Del-Vecchio, F. B., Neto, E. P., Chaves, L. M. S., Jimenez-Pavón, D., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2020). Physiological and performance impacts after field supramaximal high-intensity interval training with different work-recovery duration. *Frontiers in Physiology*, 11, 1075. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01075>
- Brun, J.-F., Myzia, J., Varlet-Marie, E., Raynaud de Mauverger, E., & Mercier, J. (2022). Beyond the calorie paradigm: Taking into account in practice the balance of fat and carbohydrate oxidation during exercise? *Nutrients*, 14(8), 1605. <https://doi.org/10.3390/nu14081605>
- Brooks, G. A. (2012). Bioenergetics of exercising humans. *Comprehensive Physiology*, 2(2), 537–562.
- Buchheit, M., & Laursen, P. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load, and practical applications. *Sports Medicine*, 43(10), 927–954. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0066-5>
- Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., & et al. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 54, 1451–1462.
- Cavar, M., Marsic, T., Corluka, M., Culjak, Z., Cerkez Zovko, I., Müller, A., Tschakert, G., &

- Hofmann, P. (2019). Effects of 6 weeks of different high-intensity interval and moderate continuous training on aerobic and anaerobic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(1), 44–56.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002349>
- Chuensiri, N., Tanaka, H., & Suksom, D. (2015). The acute effects of supramaximal high-intensity intermittent exercise on vascular function in lean vs. obese prepubescent boys. *Pediatric Exercise Science*, 27(4), 503–509.  
<https://doi.org/10.1123/pes.2015-0100>
- Crowley, E., Powell, C., Carson, B. P., & Davies, R. W. (2022). The effect of exercise training intensity on VO<sub>2</sub>max in healthy adults: An overview of systematic reviews and meta-analyses. *Translational Sports Medicine*, 2022, 9310710.  
<https://doi.org/10.1155/2022/9310710>
- Colleoni, E. (2021, February 5). Re: Is there a difference between ANOVA analysis of change scores and repeated-measures ANOVA [Post in online forum]. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/post/Is-there-a-difference-between-ANOVA-analysis-of-Change-scores-and-repeated-measures-ANOVA>
- Cooper, C. B., Abrazado, M., Legg, D., & Kesten, S. (2010). Development and implementation of treadmill exercise testing protocols in COPD. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 5, 375–385.  
<https://doi.org/10.2147/COPD.S11153>
- D'Alleva, M., Lazzer, S., Tringali, G., Sartorio, A., & Codella, R. (2023). Effects of combined training or moderate intensity continuous training during a 3-week multidisciplinary body weight reduction program on cardiorespiratory fitness, body composition, and substrate oxidation rate in adolescents with obesity. *Scientific Reports*, 13, 17609. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44953-3>
- da Silva, W. Q. A., Fontes, E. B., Forti, R. M., Lima, Z. L., & Machado, D. G. S. (2017). Affect during incremental exercise: The role of inhibitory cognition, autonomic cardiac function, and cerebral oxygenation. *PLOS ONE*, 12(11), e0186926.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186926>
- de Sousa, N. M. F., Bertucci, D. R., de Sant'Ana, G. M., Padua, P. L. R. A., & da Rosa, D. M.



- (2021). Incremental and decremental cardiopulmonary exercise testing protocols produce similar maximum oxygen uptake in athletes. *Scientific Reports*, 11(1), 13118. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92191-2>
- Dieli-Conwright, C. M., Jensky, N. E., Battaglia, G. M., McCauley, S. A., & Schroeder, E. T. (2009). Validation of the CardioCoachCO<sub>2</sub> for submaximal and maximal metabolic exercise testing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1316–1320. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a3c5e8>
- Feingold, K. R., & Grunfeld, C. (2018). *Introduction to lipids and lipoproteins*. In K. R. Feingold, B. Anawalt, A. Boyce, G. Chrousos, K. Dungan, A. Grossman, J. M. Hershman, G. Kaltsas, C. Koch, P. Kopp, M. Korbonits, R. McLachlan, J. E. Morley, M. New, L. Perreault, J. Purnell, R. Rebar, F. Singer, D. L. Trence, A. Vinik, & D. P. Wilson (Eds.), *Endotext*. MDText.com, Inc.
- Ferrè, E. R., Frett, T., Haggard, P., & Longo, M. (2019). A gravitational contribution to perceived body weight. *Scientific Reports*, 9(1), 1674. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47663-x>
- Friedlander, A. L., Jacobs, K. A., Fattor, J. A., Horning, M. A., Hagobian, T. A., & Bauer, T. A. (2007). Contributions of working muscle to whole body lipid metabolism are altered by exercise intensity and training. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 292(1), E107–E116.
- Fletcher, G., Eves, F. F., Glover, E. I., Robinson, S. L., Vernooij, C. A., Thompson, J. L., & Wallis, G. A. (2017). Dietary intake is independently associated with the maximal capacity for fat oxidation during exercise. *American Journal of Clinical Nutrition*, 105(4), 864–872. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.133520>
- Gao, S., Zhai, Y., Yang, L., & Liu, Y. (2018). Preferred temperature with standing and treadmill workstations. *Building and Environment*, 138, 63–73.
- Gist, N. H., Fedewa, M. V., Dishman, R. K., & Cureton, K. J. (2014). Sprint interval training effects on aerobic capacity: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 44(2), 269–279. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0115-0>
- Glaab, T., & Taube, C. (2022). Practical guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. *Respiratory Research*, 23, 9. <https://doi.org/10.1186/s12931-021-01927-w>

- Greene, N. P., Martin, S. E., & Crouse, S. F. (2012). Acute exercise and training alter blood lipid and lipoprotein profiles differently in overweight and obese men and women. *Obesity (Silver Spring)*, 20(8), 1618–1627. <https://doi.org/10.1038/oby.2012.65>
- Gripp, F., Nava, R. C., Cassilhas, R. C., et al. (2021). HIIT is superior than MICT on cardiometabolic health during training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 121(1), 159–172. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04502-6>
- Gibala, M. J., Gillen, J. B., & Percival, M. E. (2014). Physiological and health-related adaptations to low-volume interval training: Influences of nutrition and sex. *Sports Medicine*, 44(Suppl 2), S127–S137. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0259-6>
- Guo, Z., Li, M., Cai, J., Gong, W., Liu, Y., & Liu, Z. (2023). Effect of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on fat loss and cardiorespiratory fitness in the young and middle-aged: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 4741. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064741>
- Guyton, A., & Hall, J. E. (2011). *Textbook of medical physiology* (12th ed., pp. 1035–1036). Elsevier.
- Hagerman, F. C. (1984). Applied physiology of rowing. *Sports Medicine*, 1(4), 303–326.
- Hambrecht, R., Gielen, S., Linke, A., et al. (2000). Effects of exercise training on left ventricular function and peripheral resistance in patients with chronic heart failure: A randomized trial. *JAMA*, 283(23), 3095–3101. <https://doi.org/10.1001/jama.283.23.3095>
- Hansen, D., Dendale, P., Jonkers, R. A., et al. (2009). Continuous low- to moderate-intensity exercise training is as effective as moderate- to high-intensity exercise training at lowering blood HbA1c in obese type 2 diabetes patients. *Diabetologia*, 52(9), 1789–1797. <https://doi.org/10.1007/s00125-009-1395-2>
- Hedlund, M., Lindelöf, N., Johansson, B., Boraxbekk, C.-J., & Rosendahl, E. (2019). Development and feasibility of a regulated, supramaximal high-intensity training program adapted for older individuals. *Frontiers in Physiology*, 10, 590. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00590>

- Hellsten, Y., & Nyberg, M. (2015). Cardiovascular adaptations to exercise training. *Comprehensive Physiology*, 6(1), 1–32. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140080>
- Heymsfield, S. B., Thomas, D., Martin, C. K., et al. (2012). Energy content of weight loss: Kinetic features during voluntary caloric restriction. *Metabolism*, 61(7), 937–943. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.01.004>
- Heydari, M., Boutcher, Y. N., & Boutcher, S. H. (2013). The effects of high-intensity intermittent exercise training on cardiovascular response to mental and physical challenge. *International Journal of Psychophysiology*, 87(2), 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.11.007>
- Heyward, V. (1998). *Advance fitness assessment & exercise prescription* (3rd ed., p. 48). Human Kinetics.
- Horowitz, J. F., Leone, T. C., Feng, W., Kelly, D. P., & Klein, S. (2000). Effect of endurance training on lipid metabolism in women: A potential role for PPAR $\alpha$  in the metabolic response to training. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 279(2), E348–E355.
- Hottenrott, K., Ludyga, S., & Schulze, S. (2012). Effects of high intensity training and continuous endurance training on aerobic capacity and body composition in recreationally active runners. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(3), 483–491. <https://doi.org/10.1016/j.jssm.2012.06.003>
- Hisham, H., Justine, M., Hussain, H., Hasnan, N., & Manaf, H. (2019). Effects of graded exercises integrated with education on physical fitness, exercise self-efficacy, and activity levels in people with spinal cord injury: A quasi-experimental study protocol. *Asian Spine Journal*, 13(4), 577–583. <https://doi.org/10.31616/asj.2018.0172>
- Hsieh, S. S., Bala, A., Layzell, K., Fatima, Q., Pushparajah, C., Maguire, R. K., Chen, Y. C., Finlayson, G., & Allgrove, J. E. (2025). Moderate-to-vigorous and light-intensity aerobic exercise yield similar effects on food reward, appetitive responses, and energy intake in physically inactive adults. *European Journal of Clinical Nutrition*. <https://doi.org/10.1038/s41430-025-01574-5>
- Horváth, J., Seres, I., Paragh, G., Fülöp, P., & Jenei, Z. (2024). Effect of low- and

- moderate-intensity aerobic training on body composition, cardiorespiratory functions, biochemical risk factors and adipokines in morbid obesity. *Nutrients*, 16(23), 4251. <https://doi.org/10.3390/nu16234251>
- Kaminsky, L. A., Arena, R., & Myers, J. (2015). Reference standards for cardiorespiratory fitness measured with cardiopulmonary exercise testing: Data from the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clinic Proceedings*, 90(11), 1515–1523. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2015.07.026>
- Kelley, G. A., Kelley, K. S., & Franklin, B. (2006). Aerobic exercise and lipids and lipoproteins in patients with cardiovascular disease: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, 26(3), 131–139.
- Kessler, H. S., Sisson, S. B., & Short, K. R. (2012). The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Medicine*, 42(6), 489–509. <https://doi.org/10.2165/11630910-000000000-00000>
- Khalafi, M., Sakhaei, M. H., Kazeminasab, F., et al. (2022). The impact of high-intensity interval training on vascular function in adults: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9, 1046560.
- Kodama, S., Saito, K., Tanaka, S., et al. (2009). Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: A meta-analysis. *JAMA*, 301(19), 2024–2035. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.681>
- Kolnes, K. J., Petersen, M. H., Lien-Iversen, T., et al. (2021). Effect of exercise training on fat loss—Energetic perspectives and the role of improved adipose tissue function and body fat distribution. *Frontiers in Physiology*, 12, 737709. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.737709>
- Kontush, A., Chantepie, S., & Chapman, M. J. (2003). Small dense HDL particles exert potent protection of atherogenic LDL against oxidative stress. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 23(10), 1881–1888.
- Korman, N., Armour, M., Chapman, J., et al. (2020). Can high-intensity interval training improve health outcomes among people with mental illness? A systematic review and preliminary meta-analysis of intervention studies across a range of

- mental illnesses. *Journal of Affective Disorders*, 263, 629–660.
- Koyuncuoğlu, T., Sevim, H., Çetrez, N., et al. (2021). High-intensity interval training protects from post-traumatic stress disorder-induced cognitive impairment. *Behavioural Brain Research*, 397, 112923. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112923>
- Lanferdini, F. J., Silva, E. S., Machado, E., Fischer, G., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2020). Physiological predictors of maximal incremental running performance. *Frontiers in Physiology*, 11, 979. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00979>
- Langan, S. P., & Grosicki, G. J. (2021). Exercise is medicine... and the dose matters. *Frontiers in Physiology*, 12, 660818. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.660818>
- Lee, B. A., & Oh, D. J. (2016). The effects of long-term aerobic exercise on cardiac structure, stroke volume of the left ventricle, and cardiac output. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 12(1), 37–41. <https://doi.org/10.12965/jer.1632550.275>
- Leiva, E., Wehinger, S., Guzmán, L., & Orrego, R. (2015). Hypercholesterolemia: Role of oxidized LDL. In S. A. Kumar (Ed.), *Atherosclerosis*. Anna University. <https://doi.org/10.5772/59375>
- Li, D., & Mehta, J. L. (2005). Oxidized LDL: A critical factor in atherogenesis. *Cardiovascular Research*, 68(3), 353–354. <https://doi.org/10.1016/j.cardiores.2005.08.008>
- Li, D., Zhu, J., & Chen, P. (2021). Meta-analysis of the effects of high-intensity intermittent training and medium-intensity continuous training on cardiopulmonary function in patients with coronary heart disease. *Chinese General Practice*, 11, 222.
- Liang, W., Liu, C., Yan, X., Hou, Y., Yang, G., Dai, J., & Wang, S. (2024). The impact of sprint interval training versus moderate intensity continuous training on blood pressure and cardiorespiratory health in adults: A systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, 12, e17064. <https://doi.org/10.7717/peerj.17064>
- Lu, Y., Wiltshire, H. D., Baker, J. S., & Wang, Q. (2021). Effects of high-intensity exercise on oxidative stress and antioxidant status in untrained humans: A systematic review. *Biology*, 10(12), 1272. <https://doi.org/10.3390/biology10121272>
- MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and

- the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2915–2930.  
<https://doi.org/10.1113/JP273196>
- MacIntosh, B. R., Murias, J. M., Keir, D. A., & Weir, J. M. (2021). What is moderate to vigorous exercise intensity? *Frontiers in Physiology*, 12, 682233.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.682233>
- Malara, M., Lutosławska, G., Mazurek, K., et al. (2021). Body fatness in sedentary and active students with different body mass index. *Biomedical Human Kinetics*, 13(1), 37–42. <https://doi.org/10.2478/bhk-2021-0006>
- Mallol, M., Norton, L., Bentley, D. J., Mejuto, G., Norton, K., & Yanci, J. (2020). Physiological response differences between run and cycle high-intensity interval training program in recreational middle-aged female runners. *Journal of Sports Science and Medicine*, 19(3), 508–516.
- Martland, R., Mondelli, V., Gaughran, F., & Stubbs, B. (2020). Can high-intensity interval training improve physical and mental health outcomes? A meta-review of 33 systematic reviews across the lifespan. *Journal of Sports Sciences*, 38(4), 430–469. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1706829>
- Marwat, N. M., Aslam, H., Hussain, A., et al. (2021). Calisthenics training: Effects on physical fitness (coordination, flexibility and endurance) of Kabaddi players. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology*, 18(1), 5212–5220.
- McCormick, C. P., Mamikunian, G., & Thorp, D. B. (2023). The effects of HIIT vs. MICT and sedentary controls on blood lipid concentrations in nondiabetic overweight and obese young adults: A meta-analysis. *International Journal of Exercise Science*, 16(3), 791–813. <https://doi.org/10.70252/WGFU4000>
- Mendonça, F. R., Ferreira de Faria, W., Marcio da Silva, J., et al. (2022). Effects of aerobic exercise combined with resistance training on health-related physical fitness in adolescents: A randomized controlled trial. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 20(3), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2022.06.003>
- Mikołajczyk, R., Sikora, M., Mikrut, G., Zajac, T., & Żebrowska, A. (2020). Hormonal response to incremental and continuous exercise in cyclists with left ventricle hypertrophy. *Journal of Human Kinetics*, 71, 155–166.



<https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0120>

- Moholdt, T., Silva, C. P., Lydersen, S., & Hawley, J. A. (2021). Isolated and combined effects of high-intensity interval training and time-restricted eating on glycaemic control in reproductive-aged women with overweight or obesity: Study protocol for a four-armed randomised controlled trial. *BMJ Open*, 11(2), e040020. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-040020>
- Morrison, B. N., George, K., Kreiter, E., et al. (2023). Effects of endurance exercise training on left ventricular structure in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Preventive Cardiology*, 30(9), 772–793. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwad008>
- Mou, H., Tian, S., Fang, Q., & Qiu, F. (2022). The immediate and sustained effects of moderate-intensity continuous exercise and high-intensity interval exercise on working memory. *Frontiers in Psychology*, 13, 766679. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.766679>
- Muscella, A., Stefàno, E., Lunetti, P., Capobianco, L., & Marsigliante, S. (2020). The regulation of fat metabolism during aerobic exercise. *Biomolecules*, 10(12), 1699. <https://doi.org/10.3390/biom10121699>
- Navab, M., Reddy, S. T., Van Lenten, B. J., & Fogelman, A. M. (2011). HDL and cardiovascular disease: Atherogenic and atheroprotective mechanisms. *Nature Reviews Cardiology*, 8(4), 222–232. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2011.6>
- Noakes, T. (2003). *Lore of running: Discover the science and spirit of running* (4th ed.). Human Kinetics.
- Okura, T., Nakata, Y., Lee, D. J., Tanaka, K., Sakamoto, S., & Kitamura, K. (2005). Effects of aerobic exercise and obesity phenotype on abdominal fat reduction in response to weight loss. *International Journal of Obesity*, 29, 1259–1266. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803015>
- Ortiz, J. G., de Lucas, R. D., Teixeira, A. S., Mohr, P. A., & Guglielmo, L. G. A. (2023). The effects of a supramaximal intermittent training program on aerobic and anaerobic running measures in junior male soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 90, 253–267. <https://doi.org/10.5114/jhk/170755>
- Patel, H., Alkhawam, H., Madanieh, R., Shah, N., & Kosmas, C. E. (2017). Aerobic vs



- anaerobic exercise training affects on the cardiovascular system. *World Journal of Cardiology*, 9(2), 134–138. <https://doi.org/10.4330/wjc.v9.i2.134>
- Perry, C. G. R., Lally, J., Holloway, G. P., Heigenhauser, G. J. F., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2008). High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1112–1123. <https://doi.org/10.1139/H08-097>
- Petrick, H. L., & Holloway, G. P. (2019). High intensity exercise inhibits carnitine palmitoyltransferase-I sensitivity to L-carnitine. *Biochemical Journal*, 476(3), 547–558. <https://doi.org/10.1042/BCJ20180849>
- Poon, E. T.-C., Wongpipit, W., Ho, R. S.-T., & Wong, S. H.-S. (2021). Interval training versus moderate-intensity continuous training for cardiorespiratory fitness improvements in middle-aged and older adults: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 39(17), 1996–2005. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1912453>
- Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O<sub>2</sub> uptake during ramp exercise tests. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 403–410. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0596-3>
- Pourmirzaei Kouhbanani, S., Setarehdan, S. K., & Fayazmilani, R. (2025). Does mental exertion during Does incremental exercise change substrate oxidation and cardiorespiratory outcomes in individuals with overweight? *Physiological Reports*, 13(1), e70172. <https://doi.org/10.14814/phy2.70172>
- Purdom, T., Kravitz, L., Dokladny, K., Mermier, C., & Zuhl, M. (2018). Understanding the factors that affect maximal fat oxidation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(3). <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0207-1>
- Racil, G., Ounis, O. B., Hammouda, O., Kallel, A., Zouhal, H., Chamari, K., & Amri, M. (2013). Effects of high vs. moderate exercise intensity during interval training on lipids and adiponectin levels in obese young females. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2531–2540. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2689-5>
- Randell, R. K., Rollo, I., Roberts, T. J., Dalrymple, K. J., Jeukendrup, A. E., & Carter, J. M. (2017). Maximal fat oxidation rates in an athletic population. *Medicine & Science*

*in Sports & Exercise*, 49(1), 133–140.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001084>

Randell, R. K., & Spriet, L. L. (2020). Nutritional factors that affect fat oxidation rate during exercise. *Sports Science Exchange*, 33(206), 1–5.

Robitzsch, A & Lüdtke, O.(2025). A Note on the Occurrence of the Illusory Between-Person Component in the Random Intercept Cross-Lagged Panel Model.

*Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary*, 32:1: 36-45.

Rosen, E. D., & Spiegelman, B. M. (2014). What we talk about when we talk about fat. *Cell*, 156(1–2), 20–44. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.12.012>

Rugbumrung, M., Impanya, S., Thurayot, A., Rukbumrung, T., & others. (2022). The effects of moderate intensity continuous and interval training on physical fitness in obesity. *International Journal of Health Sciences*, 6(S5), 8891–8901.

<https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS5.11799>

Russomando, L., Bono, V., Mancini, A., Terracciano, A., Cozzolino, F., Imperlini, E., Orrù, S., Alfieri, A., & Buono, P. (2020). The effects of short-term high-intensity interval training and moderate intensity continuous training on body fat percentage, abdominal circumference, BMI and VO<sub>2</sub>max in overweight subjects. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(2), 41.

<https://doi.org/10.3390/jfmk5020041>

Said, M. A., Abdelmoneem, M., Alibrahim, M. C., & et al. (2020). Effects of diet versus diet plus aerobic and resistance exercise on metabolic syndrome in obese young men. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 18, 101–108.

Sanca-Valeriano, S., Espinola-Sánchez, M., Caballero-Alvarado, J., & et al. (2023). Effect of high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on body composition and insulin sensitivity in overweight and obese adults: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 9(10), e20402.

Schaun, G. Z., Alberton, C. L., Ribeiro, D. O., & Pinto, S. S. (2017). Acute effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training sessions on cardiorespiratory parameters in healthy young men. *European Journal of Applied Physiology*, 117(7), 1437–1444.

- Seger, J. C., Horn, D. B., Westman, E. C., & et al. (2014). Obesity Algorithm, presented by the American Society of Bariatric Physicians. *Journal of Clinical Lipidology*, 8(4), 460.
- Seo, M. W., Lee, S., & Jung, H. C. (2024). Impact of supra-maximal interval training vs. high-intensity interval training on cardiac auto-regulation response in physically active adults. *European Journal of Applied Physiology*, 124, 1771–1780.
- Shah, N. R., & Braverman, E. R. (2012). Measuring adiposity in patients: The utility of body mass index (BMI), percent body fat, and leptin. *PLoS ONE*, 7(4), e33308.
- Sheikholeslami Vatani, D., Ahmadi, S., Ahmadi Dehrashid, K., & Gharibi, F. (2011). Changes in cardiovascular risk factors and inflammatory markers of young, healthy men after six weeks of moderate or high intensity resistance training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(4), 695–700.
- Shingala, M.C& Rajyaguru, A. (2015). Comparison of Post Hoc Tests for Unequal Variance. *International Journal of New Technologies in Science and Engineering*: 2(5). 22-33.
- Sijie, T., Hainai, Y., Fengying, Y., & Jianxiong, W. (2012). High-intensity interval exercise training in overweight young women. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52(3), 255–262.
- Simonsson, E., Levik Sandström, S., Hedlund, M., Holmberg, H., Johansson, B., Lindelöf, N., Boraxbekk, C. J., & Rosendahl, E. (2023). Effects of controlled supramaximal high-intensity interval training on cardiorespiratory fitness and global cognitive function in older adults: The Umeå HIT Study—a randomized controlled trial. *The Journal of Gerontology: Series A*, 78(9), 1581–1590. <https://doi.org/10.1093/gerona/glad070>
- Sloth, M., Sloth, D., Overgaard, K., & Dalgas, U. (2013). Effects of sprint interval training on VO2max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(6), e341–e352. <https://doi.org/10.1111/sms.12092>
- Smith, B. K., Perry, C. G., Koves, T. R., Wright, D. C., & et al. (2012). Identification of a novel malonyl-CoA IC(50) for CPT-I: Implications for predicting in vivo fatty acid oxidation rates. *Biochemical Journal*, 448(1), 13–20.

<https://doi.org/10.1042/BJ20121110>

- Snowling, N. J., & Hopkins, W. G. (2006). Effects of different modes of exercise training on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetes patients. *Diabetes Care*, 29, 2518–2527.
- Song, X., Cui, X., Su, W., & et al. (2024). Comparative effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on weight and metabolic health in college students with obesity. *Scientific Reports*, 14, 16558. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67331-z>
- Spriet, L. L., & Randell, R. K. (2020). Regulation of fat metabolism during exercise. *Sports Science Exchange*, 33(205), 1–6.
- Stasiulis, A., Mockiene, A., Vizbaraitė, D., & Mockus, P. (2010). Aerobic exercise-induced changes in body composition and blood lipids in young women. *Medicina (Kaunas)*, 46, 129–134.
- Sun, F., Williams, C. A., Sun, Q., Hu, F., & Zhang, T. (2024). Effect of eight-week high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training programme on body composition, cardiometabolic risk factors in sedentary adolescents. *Frontiers in Physiology*, 15, 1450341. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1450341>
- Swift, D. L., Lavie, C. J., Johannsen, N. M., Arena, R., Earnest, C. P., O’Keefe, J. H., Milani, R. V., Blair, S. N., & Church, T. S. (2013). Physical activity, cardiorespiratory fitness, and exercise training in primary and secondary coronary prevention. *Circulation Journal*, 77, 281–292.
- Tabata, I. (2019). Tabata training: One of the most energetically effective high-intensity intermittent training methods. *Journal of Physiological Sciences*, 69, 559–572. <https://doi.org/10.1007/s12576-019-00676-7>
- Talanian, J. L., Galloway, S. D. R., Heigenhauser, G. J. F., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1439–1447. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01098.2006>
- Tanner, A. V., Nielsen, B. V., & Allgrove, J. (2014). Salivary and plasma cortisol and testosterone responses to interval and tempo runs and a bodyweight-only

- circuit session in endurance-trained men. *Journal of Sports Sciences*, 32, 680–689.
- Thijssen, D. H., Dawson, E. A., Black, M. A., et al. (2009). Brachial artery blood flow responses to different modalities of lower limb exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(5), 1072–1079.
- Thum, J. S., Parsons, G., Whittle, T., & Astorino, T. A. (2017). High-intensity interval training elicits higher enjoyment than moderate-intensity continuous exercise. In G. Fisher (Ed.), *PLoS ONE*, 12(1), e0166299. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166299>
- Trachsel, L. D., Nigam, A., Fortier, A., Lalongé, J., Juneau, M., & Gayda, M. (2020). Moderate-intensity continuous exercise is superior to high-intensity interval training in the proportion of VO<sub>2</sub>peak responders after ACS. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 73(9), 725–733. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2019.09.013>
- Urso, M. L., & Clarkson, P. M. (2003). Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology*, 189, 41–54.
- Wahid, A., Manek, N., Nichols, M., & et al. (2016). Quantifying the association between physical activity and cardiovascular disease and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Heart Association*, 5, e002495.
- Wang, Y., & Xu, D. (2017). Effects of aerobic exercise on lipids and lipoproteins. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 132. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0515-5>
- Weston, M., Taylor, K. L., Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2014). Effects of low-volume high-intensity interval training (HIT) on fitness in adults: A meta-analysis of controlled and non-controlled trials. *Sports Medicine*, 44(7), 1005–1017. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0180-z>
- Wood, G., Murrell, A., van der Touw, T., & Smart, N. (2019). HIIT is not superior to MICT in altering blood lipids: A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5(1), e000647. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000647>
- Xie, B., Yan, X., Cai, X., & et al. (2017). Effects of high-intensity interval training on aerobic capacity in cardiac patients: A systematic review with meta-analysis. *BioMed Research International*, 2017, 1–16.

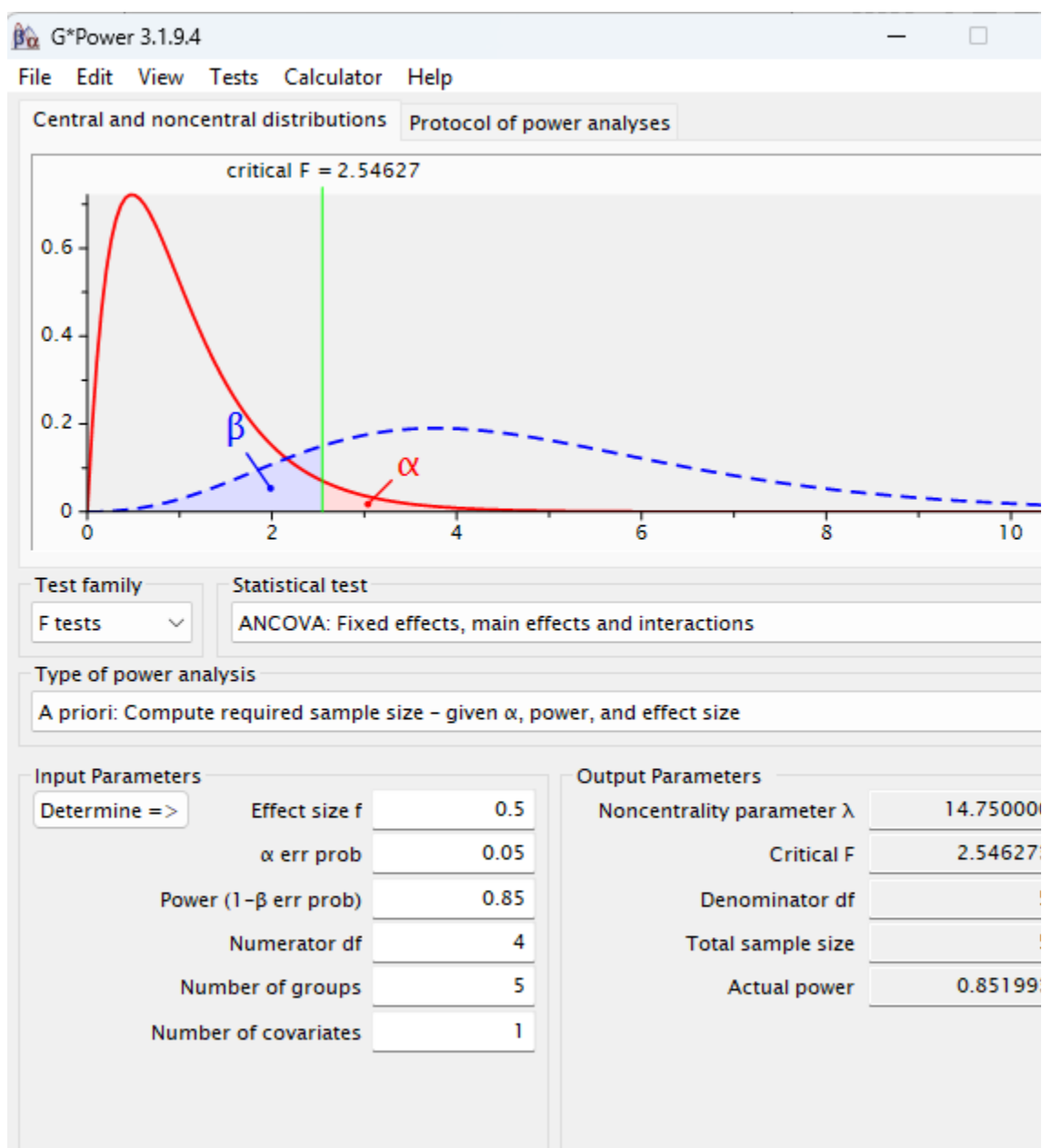
- Xu, Z., Qin, Y., Lv, B., Tian, Z., & Zhang, B. (2022). Effects of moderate-intensity continuous training and high-intensity interval training on testicular oxidative stress, apoptosis and m6A methylation in obese male mice. *Antioxidants*, 11(10), 1874. <https://doi.org/10.3390/antiox11101874>
- Yang, Y., Shi, R., Cao, Z., Zhang, G., & Cheng, G. (2016). VPO1 mediates oxidation of LDL and formation of foam cells. *Oncotarget*, 7, 35500–35511. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.9193>
- Yasar, Z., Elliott, B. T., Kyriakidou, Y., Nwokoma, C. T., Postlethwaite, R. D., Gaffney, C. J., Dewhurst, S., & Hayes, L. D. (2021). Sprint interval training (SIT) reduces serum epidermal growth factor (EGF), but not other inflammatory cytokines in trained older men. *European Journal of Applied Physiology*, 121(7), 1909–1919. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04635-2>
- Zhang, H., Tong, T. K., Qiu, W., Wang, J., Nie, J., & He, Y. (2015). Effect of high-intensity interval training protocol on abdominal fat reduction in overweight Chinese women: A randomized controlled trial. *Kinesiology*, 47(1), 57–66.





## ภาคผนวก ก

ตัวอย่างกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างใช้โปรแกรมจีสตาร์พาวเวอร์ (G\*Power)



ภาคผนวก ข  
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตัวอย่างการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบโค้งปกติ (normality)  
ด้วยสถิติ Komolgorov-Smirnov

| Tests of Normality |         |                                 |    |                   |              |    |      |
|--------------------|---------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|                    | Group   | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|                    |         | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| Vo2Pre             | HITT    | .215                            | 15 | .062              | .872         | 15 | .036 |
|                    | SUPRA   | .172                            | 18 | .167              | .897         | 18 | .052 |
|                    | ICE     | .191                            | 18 | .083              | .938         | 18 | .270 |
|                    | MICE    | .118                            | 16 | .200 <sup>*</sup> | .950         | 16 | .497 |
|                    | Control | .218                            | 14 | .069              | .840         | 14 | .017 |

\*. This is a lower bound of the true significance.  
a. Lilliefors Significance Correction

ตัวอย่างการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบโค้งปกติ (normality)  
ด้วยเทคนิคการตรวจสอบความเบ้และความโค้ง (Skewness/ Kurtosis)

|         |                                  |             |         |
|---------|----------------------------------|-------------|---------|
| Control | Mean                             | 46.4714     | 2.06826 |
|         | 95% Confidence Interval for Mean | Lower Bound | 42.0032 |
|         |                                  | Upper Bound | 50.9396 |
|         | 5% Trimmed Mean                  | 46.6349     |         |
|         | Median                           | 49.4000     |         |
|         | Variance                         | 59.888      |         |
|         | Std. Deviation                   | 7.73873     |         |
|         | Minimum                          | 34.55       |         |
|         | Maximum                          | 55.45       |         |
|         | Range                            | 20.90       |         |
|         | Interquartile Range              | 16.75       |         |
|         | Skewness                         | -.681       | .597    |
|         | Kurtosis                         | -1.180      | 1.154   |

### ตัวอย่างการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติ One-way Ancova

#### Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>

Dependent Variable: Vo2Post

| F     | df1 | df2 | Sig. |
|-------|-----|-----|------|
| 1.817 | 4   | 76  | .134 |

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Vo2Pre + Group

#### Tests for Heteroskedasticity

##### Breusch-Pagan Test for Heteroskedasticity<sup>a,b,c</sup>

| Chi-Square | df | Sig. |
|------------|----|------|
| 2.342      | 1  | .126 |

a. Dependent variable: Vo2Post

b. Tests the null hypothesis that the variance of the errors does not depend on the values of the independent variables.

c. Predicted values from design: Intercept + Vo2Pre + Group

### ตัวอย่างการทดสอบด้วยสถิติ One-way Ancova

#### Group

#### Estimates

Dependent Variable: Vo2Post

| Group   | Mean                | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|---------|---------------------|------------|-------------------------|-------------|
|         |                     |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| HITT    | 49.504 <sup>a</sup> | .901       | 47.709                  | 51.299      |
| SUPRA   | 48.649 <sup>a</sup> | .820       | 47.016                  | 50.283      |
| ICE     | 52.664 <sup>a</sup> | .832       | 51.007                  | 54.320      |
| MICE    | 54.419 <sup>a</sup> | .868       | 52.689                  | 56.149      |
| Control | 46.096 <sup>a</sup> | .928       | 44.247                  | 47.944      |

a. Covariates appearing in the model are evaluated at the following values: Vo2Pre = 46.3623.

### ตัวอย่างการทดสอบด้วยสถิติ One-way Anova

#### ANOVA

GLDL1

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | 1483.373       | 4  | 370.843     | 80.700 | .000 |
| Within Groups  | 349.244        | 76 | 4.595       |        |      |
| Total          | 1832.617       | 80 |             |        |      |

#### Post Hoc Tests

##### Multiple Comparisons

Dependent Variable: GLDL1

Dunnett T3

| (I) Group | (J) Group | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig.  | 95% Confidence Interval |             |
|-----------|-----------|-----------------------|------------|-------|-------------------------|-------------|
|           |           |                       |            |       | Lower Bound             | Upper Bound |
| HITT      | SUPRA     | -.06667               | .63110     | 1.000 | -1.9927                 | 1.8594      |
|           | ICE       | 1.21111               | .82212     | .774  | -1.2546                 | 3.6768      |
|           | MICE      | 1.07917               | .62513     | .597  | -.8350                  | 2.9933      |
|           | Control   | -10.66190*            | .93175     | .000  | -13.5183                | -7.8055     |



ภาคผนวก ค  
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ลู่วิ่งไฟฟ้าสำหรับการฝึกออกกำลังกายยี่ห้อ Intenza 550i



ทำการฝึก ณ ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การออกกำลังกาย โดยควบคุมอุณหภูมิในการฝึก  
ระหว่าง 25 - 28 องศาเซลเซียส

## 2. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจยี่ห้อ Myzone



ใช้ทดสอบสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ ECG เพื่อทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการทดสอบแบบการออกกำลังกายด้วยการเพิ่มความหนักของงาน



### 3. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกายยี่ห้อ ACCUNIQ BC380



ใช้ทดสอบองค์ประกอบของร่างกายด้วยวิธีการ Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) เพื่อประเมินน้ำหนักตัว และร้อยละของไขมันในร่างกาย



#### 4. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส VO<sub>2</sub>max (KORR CardioCoachCO<sub>2</sub>)



ใช้ทดสอบสมรรถภาพหัวใจด้วยเทคนิคห้องผสมแก๊ส (mixing chamber) โดยการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน graded exercise test (GXT) เพื่อประเมินค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) และค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุด ( $Fat_{\max}$ )

## 5. การตรวจวัดปริมาณไขมันในเลือด (SYSMEX BX-3010)



การทดสอบค่า LDL ในเลือดด้วยเทคนิคการเจาะเลือดจากเส้นเลือดดำ (Venipuncture) โดยใช้ไซริงค์ (Syringe method) บริเวณข้อพับแขน (Antecubital fossa) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เพื่อนำไปหาค่า ไกลโคโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL) ด้วยเครื่อง SYSMEX BX-3010

## ภาคผนวก ง

## ตัวอย่างแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย

## PAR-Q+2019 Thai (Physical Activity Readiness Questionnaire)

## แบบสอบถามความพร้อมที่จะมีกิจกรรมทางกาย แปลจาก 2019-PAR-Q +

## ส่วนของคำถามทั่วไป

การออกกำลังกาย หรือ กิจกรรมทางกาย มีหลักฐานที่ชัดเจนแล้วว่า มีประโยชน์ต่อสุขภาพ คนส่วนใหญ่ควรมีกิจกรรมทางกายในทุกวันของสัปดาห์ การมีกิจกรรมทางกายมีความปลอดภัยสำหรับประชาชนส่วนใหญ่ แบบสอบถามนี้จะบอกได้ว่า มีความจำเป็นที่จะขอคำแนะนำเพิ่มเติมจากแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกกำลังกายก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายที่หนักขึ้นจากเดิมที่เคยมีกิจกรรมทางกาย หรือไม่

- โปรดอ่านคำถาม 7 ข้อด้านล่างอย่างถี่ถ้วนและตอบด้วยความสัตย์จริงว่า ใช่ หรือไม่ใช่
- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ใช่                      | ไม่ใช่                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. คุณเคยได้รับทราบจากแพทย์ว่า เป็นโรคเกี่ยวกับ <input type="checkbox"/> โรคหัวใจ หรือ <input type="checkbox"/> ความดันโลหิตสูง                                                                                                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. คุณรู้สึกเจ็บที่หน้าอกในขณะพัก หรือระหว่างมีกิจกรรมในชีวิตประจำวัน หรือระหว่างออกกำลังกาย                                                                                                                                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณเคยเวียนศีรษะจนเสียการทรงตัว หรือเป็นลมไม่รู้สึกตัว หรือไม่<br>(ในกรณีที่ออกกำลังกายอย่างหนักจนทำให้หายใจเร็ว แล้วตามด้วยการเวียนศีรษะ ให้ตอบว่าไม่ใช่)                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. คุณได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเรื้อรังนอกเหนือจากโรคหัวใจหรือโรคความดันโลหิตสูง หรือไม่<br>ถ้าตอบว่าใช่ ให้ระบุว่าเป็นโรคเรื้อรังอะไร .....                                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. ปัจจุบันคุณได้รับประทานยาเพื่อรักษาโรคเรื้อรัง หรือไม่<br>โปรดระบุเงื่อนไขและยาที่ได้รับ .....                                                                                                                                                                                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. ปัจจุบัน หรือ ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณมีปัญหาเรื่องกระดูกและข้อหรือกล้ามเนื้อเส้นเอ็น ซึ่งอาการจะแย่ลงเมื่อมีกิจกรรมทางกายเพิ่มขึ้น<br>(ในกรณีที่คุณมีปัญหากระดูก ข้อ กล้ามเนื้อหรือเส้นเอ็นในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา แต่ปัจจุบันภาวะดังกล่าวได้หายไปแล้ว และไม่มีผลต่อความสามารถต่อการออกกำลังกายหรือกิจกรรมทางกายในปัจจุบัน ให้ตอบไม่ใช่) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. แพทย์เคยบอกคุณว่า คุณควรได้รับคำแนะนำก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายหรือออกกำลังกาย                                                                                                                                                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



## ภาคผนวก จ

## วิธีการประเมินคุณภาพของโปรแกรมการฝึก

ด้วยการหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective  
Congruence; IOC)

เกณฑ์ในการประเมิน ใช้วิธีการประเมินด้วยดัชนีความสอดคล้อง IOC (Index of Item-Objective Congruence) ดังต่อไปนี้

|     |         |                            |
|-----|---------|----------------------------|
| + 1 | หมายถึง | เห็นด้วยกับรูปแบบการฝึก    |
| 0   | หมายถึง | ไม่แน่ใจ                   |
| - 1 | หมายถึง | ไม่เห็นด้วยกับรูปแบบการฝึก |

ผู้วิจัยกำหนดค่าดัชนีความสอดคล้องไว้ตั้งแต่ .50 ขึ้นไป จะถือว่าโปรแกรมการฝึกในข้อนั้นนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องดำเนินการแก้ไข ทั้งนี้หากในข้อใดได้คะแนนต่ำกว่า 0.50 ผู้วิจัยจะทำการปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อขอข้อคิดเห็นในการแก้ไขหรือไม่แก้ไขต่อไป โดยกำหนดผู้เชี่ยวชาญที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

1. ผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่าน มีคุณสมบัติ เป็นนักวิชาการในสถาบันอุดมศึกษาซึ่งมีประสบการณ์การสอนหรือการทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายไม่น้อยกว่า 3 ปี
2. ผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่าน มีคุณสมบัติ เป็นหรือเคยเป็นนักกีฬาหรือผู้ฝึกสอนนักกีฬาระดับทีมชาติในชนิดกีฬาที่มีรูปแบบการแข่งขันการใช้พลังงานแบบแอโรบิก
3. ผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่าน มีคุณสมบัติ เป็นผู้ที่ทำงานในสายวิชาชีพฟิตเนสโค้ชในองค์กรที่มีความน่าเชื่อถือภาครัฐหรือเอกชน

**ผลการหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์**  
(Index of Item Objective Congruence; IOC)

| เนื้อหาโปรแกรมการฝึก                                                                                                                                                                                                     | ผลการพิจารณา   |                 |                        | ค่าเฉลี่ยรายข้อ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------|
|                                                                                                                                                                                                                          | เหมาะสม<br>(1) | ไม่แน่ใจ<br>(0) | ไม่<br>เหมาะสม<br>(-1) |                 |
| 1. โปรแกรมฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate intensity continuous exercise: MICE)                                                                                                                                                 |                |                 |                        |                 |
| 1) Frequency<br>4 ครั้ง (session)/ สัปดาห์<br>และใน 1 วันห้ามฝึกเกิน 1 ครั้ง (session)                                                                                                                                   | 3 ท่าน         |                 |                        | 1 (ผ่าน)        |
| 2) Intensity<br>ร้อยละ 70-75 ของ MHR                                                                                                                                                                                     | 3 ท่าน         |                 |                        | 1 (ผ่าน)        |
| 3) Time<br>ระยะเวลารวมของการฝึก 1 ครั้ง คือ 40 นาที                                                                                                                                                                      | 3 ท่าน         |                 |                        | 1 (ผ่าน)        |
| 4) Type<br>การวิ่งแบบต่อเนื่องบนลู่วิ่งกล                                                                                                                                                                                | 3 ท่าน         |                 |                        | 1 (ผ่าน)        |
| 5) Warm-up และ ยืดเหยียดแบบ Dynamic Stretching รวม 15 นาที                                                                                                                                                               | 3 ท่าน         |                 |                        | 1 (ผ่าน)        |
| 6) Cool-down และ ยืดเหยียดแบบ Static stretching รวม 15 นาที                                                                                                                                                              | 3 ท่าน         |                 |                        | 1 (ผ่าน)        |
| 7) Duration<br>ระยะเวลารวมในการฝึก 12 สัปดาห์                                                                                                                                                                            | 2 ท่าน         | 1 ท่าน          |                        | 0.67 (ผ่าน)     |
| 8) ระยะเวลา 4 สัปดาห์เทียบเป็น<br>1 Mesocycle                                                                                                                                                                            | 2 ท่าน         | 1 ท่าน          |                        | 0.67 (ผ่าน)     |
| 9) - ไม่อนุญาตให้ฝึกมากกว่า 1 ครั้ง / วัน<br>- ไม่อนุญาตให้ฝึกน้อยกว่า 3 ครั้ง (session)<br>และมากกว่า 5 ครั้ง (session) ในสัปดาห์<br>ที่ 1 – 10<br>- ในสัปดาห์ที่ 11 – 12 สามารถฝึกตั้งแต่<br>2 – 6 ครั้ง (session) ได้ | 2 ท่าน         | 1 ท่าน          |                        | 0.67 (ผ่าน)     |

**ข้อเสนอแนะ** ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 1 ท่านเห็นว่า Duration หรือระยะเวลารวมในการฝึกสามารถปรับลดลงลงมาได้เป็น 8 สัปดาห์ และข้อกำหนดการฝึกในข้อที่ 9 ผู้ทรงคุณวุฒิ 1 ท่านเห็นว่าข้อกำหนดควรจะให้เหมือนกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์สุดท้าย ผู้วิจัยได้ทำการปรึกษา และได้คงรูปแบบโปรแกรมการฝึกไว้โดยไม่ได้ปรับแก้เนื่องจากคะแนนในข้อดังกล่าวผ่านเกณฑ์ 0.50

| เนื้อหาโปรแกรมการฝึก                                                                                                                                                                                                     | ผลการพิจารณา |              |                 | ค่าเฉลี่ยรายชื่อ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|
|                                                                                                                                                                                                                          | เหมาะสม (1)  | ไม่แน่ใจ (0) | ไม่เหมาะสม (-1) |                  |
| 2. โปรแกรมฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT)                                                                                                                                       |              |              |                 |                  |
| 1) Frequency<br>4 ครั้ง (session)/ สัปดาห์<br>และใน 1 วันห้ามฝึกเกิน 1 ครั้ง (session)                                                                                                                                   | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 2) Intensity<br>ช่วงฝึกหนักร้อยละ 90-95 ของ MHR<br>ช่วงฝึกเบาร้อยละ 60-65 ของ MHR                                                                                                                                        | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 3) Time 1 : 1<br>ระยะเวลารวมของการฝึก 1 ครั้ง คือ 16 นาที<br>โดยมีช่วงฝึกหนัก 1 นาที ช่วงฝึกเบา 1 นาที                                                                                                                   | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 4) Type<br>การวิ่งแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงบนลู่วิ่ง<br>กล                                                                                                                                                            | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 5) Warm-up และ ยืดเหยียดแบบ Dynamic<br>Stretching รวม 15 นาที                                                                                                                                                            | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 6) Cool-down และ ยืดเหยียดแบบ Static<br>stretching รวม 15 นาที                                                                                                                                                           | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 7) Duration<br>ระยะเวลารวมในการฝึก 12 สัปดาห์                                                                                                                                                                            | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)      |
| 8) ระยะเวลา 4 สัปดาห์เทียบเป็น<br>1 Mesocycle                                                                                                                                                                            | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)      |
| 9) - ไม่อนุญาตให้ฝึกมากกว่า 1 ครั้ง / วัน<br>- ไม่อนุญาตให้ฝึกน้อยกว่า 3 ครั้ง (session)<br>และมากกว่า 5 ครั้ง (session) ในสัปดาห์<br>ที่ 1 – 10<br>- ในสัปดาห์ที่ 11 – 12 สามารถฝึกตั้งแต่<br>2 – 6 ครั้ง (session) ได้ | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)      |

**ข้อเสนอแนะ** ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 1 ท่านเห็นว่า Duration หรือระยะเวลารวมในการฝึกสามารถปรับลดลงมาได้เป็น 8 สัปดาห์ และข้อกำหนดการฝึกในข้อที่ 9 ผู้ทรงคุณวุฒิ 1 ท่านเห็นว่าข้อกำหนดควรจะให้เหมือนกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์สุดท้าย ผู้วิจัยได้ทำการปรึกษา และได้คงรูปแบบโปรแกรมการฝึกไว้โดยไม่ได้ปรับแก้เนื่องจากคะแนนในข้อดังกล่าวผ่านเกณฑ์ 0.50

| เนื้อหาโปรแกรมการฝึก                                                                                                                                                                                           | ผลการพิจารณา |              |                 | ค่าเฉลี่ยรายชื่อ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|
|                                                                                                                                                                                                                | เหมาะสม (1)  | ไม่แน่ใจ (0) | ไม่เหมาะสม (-1) |                  |
| 3. โปรแกรมฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval training: Supra-HIIT)                                                                                                       |              |              |                 |                  |
| 1) Frequency<br>4 ครั้ง (session)/ สัปดาห์<br>และใน 1 วันห้ามฝึกเกิน 1 ครั้ง (session)                                                                                                                         | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 2) Intensity<br>ช่วงฝึกหนักร้อยละ 100-110 ของ MHR<br>ช่วงฝึกเบาร้อยละ 60-65 ของ MHR                                                                                                                            | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 3) Time 1 : 1<br>ระยะเวลารวมของการฝึก 1 ครั้ง คือ 16 นาที<br>โดยมีช่วงฝึกหนัก 20 วินาที ช่วงฝึกเบา 20 วินาที                                                                                                   | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 4) Type<br>การวิ่งแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากบนลู่วิ่งกล                                                                                                                                                   | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 5) Warm-up และ ยืดเหยียดแบบ Dynamic Stretching รวม 15 นาที                                                                                                                                                     | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 6) Cool-down และ ยืดเหยียดแบบ Static stretching รวม 15 นาที                                                                                                                                                    | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)         |
| 7) Duration<br>ระยะเวลารวมในการฝึก 12 สัปดาห์                                                                                                                                                                  | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)      |
| 8) ระยะเวลา 4 สัปดาห์เทียบเป็น 1 Mesocycle                                                                                                                                                                     | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)      |
| 9) - ไม่อนุญาตให้ฝึกมากกว่า 1 ครั้ง / วัน<br>- ไม่อนุญาตให้ฝึกน้อยกว่า 3 ครั้ง (session) และมากกว่า 5 ครั้ง (session) ในสัปดาห์ที่ 1 – 10<br>- ในสัปดาห์ที่ 11 – 12 สามารถฝึกตั้งแต่ 2 – 6 ครั้ง (session) ได้ | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)      |

**ข้อเสนอแนะ** ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 1 ท่านเห็นว่า Duration หรือระยะเวลาในการฝึกสามารถปรับลดลงลงมาเป็น 8 สัปดาห์ และข้อกำหนดการฝึกในข้อที่ 9 ผู้ทรงคุณวุฒิ 1 ท่านเห็นว่าข้อกำหนดควรจะให้เหมือนกันตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์สุดท้าย ผู้วิจัยได้ทำการปรึกษา และได้คงรูปแบบโปรแกรมการฝึกไว้โดยไม่ได้ปรับแก้เนื่องจากคะแนนในข้อดังกล่าวผ่านเกณฑ์ 0.50



| เนื้อหาโปรแกรมการฝึก                                                                                                                                                                                                      | ผลการพิจารณา |              |                 | ค่าเฉลี่ยรายข้อ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
|                                                                                                                                                                                                                           | เหมาะสม (1)  | ไม่แน่ใจ (0) | ไม่เหมาะสม (-1) |                 |
| 4. โปรแกรมฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise, ICE)                                                                                                                                     |              |              |                 |                 |
| 1) Frequency<br>4 ครั้ง (session)/ สัปดาห์<br>และใน 1 วันห้ามฝึกเกิน 1 ครั้ง (session)                                                                                                                                    | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)        |
| 2) Intensity<br>ปรับความเร็วในการวิ่งในทุก ๆ 1 นาที<br>ที่ความเร็ว 0.5 km/h โดยเริ่มฝึกที่ความเร็ว<br>8 km/h                                                                                                              | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)        |
| 3) Time<br>ระยะเวลาการรวมของการฝึก 1 ครั้ง คือระยะเวลา<br>ตั้งแต่ผู้ฝึกเริ่มฝึกด้วยความเร็ว 6 km/hr และ<br>เพิ่มขึ้น 0.5 km/hr ทุก ๆ 1 นาที จนความเร็ว<br>เพิ่มขึ้นในระดับที่ผู้ฝึกไม่สามารถทำได้                         | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)     |
| 4) Type<br>การวิ่งแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก<br>บนลู่วิ่งกล                                                                                                                                                          | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)        |
| 5) Warm-up และ ยืดเหยียดแบบ Dynamic<br>Stretching รวม 15 นาที                                                                                                                                                             | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)        |
| 6) Cool-down และ ยืดเหยียดแบบ Static<br>stretching รวม 15 นาที                                                                                                                                                            | 3 ท่าน       |              |                 | 1 (ผ่าน)        |
| 7) Duration<br>ระยะเวลาการรวมในการฝึก 12 สัปดาห์                                                                                                                                                                          | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)     |
| 8) ระยะเวลา 4 สัปดาห์เทียบเป็น<br>1 Mesocycle                                                                                                                                                                             | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)     |
| 9) - ไม่อนุญาตให้ฝึกมากกว่า 1 ครั้ง / วัน<br>- ไม่อนุญาตให้ฝึกลดต่ำกว่า 3 ครั้ง (session)<br>และมากกว่า 5 ครั้ง (session) ในสัปดาห์<br>ที่ 1 – 10<br>- ในสัปดาห์ที่ 11 – 12 สามารถฝึกตั้งแต่<br>2 – 6 ครั้ง (session) ได้ | 2 ท่าน       | 1 ท่าน       |                 | 0.67 (ผ่าน)     |

**ข้อเสนอแนะ** ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 1 ท่านเห็นว่า Duration หรือระยะเวลาในการฝึกสามารถปรับลดลงลงมาเป็น 8 สัปดาห์ ในข้อที่ 3 Time ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 1 ท่านเห็นว่า การเริ่มต้นของการฝึกมาที่ 6 km/hr จะเป็นความเร็ววิ่งที่ช้าเกินไปหรือไม่ และข้อกำหนดการฝึกในข้อที่ 9 ผู้ทรงคุณวุฒิ 1 ท่านเห็นว่าข้อกำหนดควรจะให้เหมือนกันตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์สุดท้าย ผู้วิจัยได้ทำการปรึกษา และได้คงรูปแบบโปรแกรมการฝึกไว้โดยไม่ได้รับแก้ไขเนื่องจากคะแนนในข้อดังกล่าวผ่านเกณฑ์ 0.50

## ประวัติผู้วิจัย

|                   |                                               |
|-------------------|-----------------------------------------------|
| ชื่อ-สกุล         | อดิศร ธุระยศ                                  |
| วัน เดือน ปี เกิด | 20 ม.ค. 2540                                  |
| สถานที่เกิด       | จังหวัดน่าน                                   |
| วุฒิการศึกษา      | ปริญญาการศึกษาบัณฑิตและปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต |
| ที่อยู่ปัจจุบัน   | 65 หมู่ 1 ต.เชียงทอง อ.น่าน้อย จ.น่าน 55150   |

