

ผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก
การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อร้อยละไขมัน การเผาผลาญไขมัน
และค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย

EFFECTS OF MODERATE INTENSITY CONTINUOUS EXERCISE, HIGH INTENSITY
AND SUPRA-HIGH INTENSITY INTERVAL EXERCISE AND INCREMENTAL CONTINUOUS
EXERCISE ON BODY FAT, MAXIMAL FAT OXIDATION
AND MAXIMAL OXYGEN CONSUMPTION

อดิสร ธุระยศ^{1*} มณินทร รักษ์บำรุง¹ พิเชษฐ์ ชัยเลิศ¹ กฤษดา ตามประดิษฐ์¹ และ คมศักดิ์ พินทะ¹

Adison Thurayot^{1*}, Maninthorn Rugbumrung¹, Pichet Chailert¹

Kritsada Tampradit¹ and Komsak Pintha¹

¹สาขาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

¹School of Science, Exercise and sports science Program in, University of Phayao, Phayao Province

Corresponding Author: adisontua1997@gmail.com

Received: April 1, 2025

Revised: June 6, 2025

Accepted: June 10, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (HIIT) และความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) และการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน (ICE) ที่มีต่อร้อยละไขมัน การเผาผลาญไขมัน และค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายอายุ 18–30 ปี จำนวน 90 คน ทำการสุ่มเข้ากลุ่มทดลองจำนวน 4 กลุ่ม คือ MICE, HIIT, Supra-HIIT, ICE และกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม กลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มทำการฝึก 4 วัน/สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์โดยวัดค่า 1) ร้อยละไขมันในร่างกาย (%fat) 2) ค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุด (maximal fat oxidation: MFO) และ 3) ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ก่อนและภายหลังการฝึก ใช้สถิติ Paired-Samples t-test เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกภายในกลุ่มตัวอย่าง และเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติ Analysis of Covariance (ANCOVA) ทั้งนี้หากตัวแปรใดไม่ผ่านการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติ ANCOVA จะนำข้อมูลของตัวแปรนั้นมาแปลงค่าเป็นคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: post-t-test – pre-t-test) แล้วนำไปวิเคราะห์ผลด้วยสถิติ One-way ANOVA ผลการศึกษาพบว่า ภายหลังการฝึก ร้อยละไขมันในร่างกายของแต่ละกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มอย่างใด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ทุกกลุ่มการฝึกมีร้อยละไขมันในร่างกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F(4,76)=6.104, p<0.001, \eta^2=0.243$) โดยพบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึก เช่นเดียวกับค่า MFO ที่เพิ่มขึ้นภายหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในทุกกลุ่มการฝึก และเพิ่มสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F(4,76)=7.098, p<0.001, \eta^2=0.272$) โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกเช่นกัน นอกจากนี้การฝึกทั้ง 4 รูปแบบยังส่งผลให้ค่า $VO_2\max$ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะกลุ่ม MICE และ ICE ที่มีการพัฒนา $VO_2\max$ สูงกว่ากลุ่ม HIIT และ Supra-HIIT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F(4, 76) = 13.96, p < 0.001, \eta^2_p = .962$) และทุกกลุ่มการฝึกมีค่า $VO_2\max$ เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปได้ว่า การฝึกแอโรบิกทุกรูปแบบเป็นประจำอย่างเพียงพอจะช่วยพัฒนาสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิต และระบบหายใจ เพิ่มการเผาผลาญไขมัน และลดไขมันในร่างกาย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพและป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) การเลือกรูปแบบการฝึกควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ส่วนบุคคล เวลา และความถนัดของผู้ฝึกเป็นสำคัญ

คำสำคัญ : ผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน การเผาผลาญไขมัน

Abstract

This study aimed to investigate and compare the effects of Moderate Intensity Continuous Exercise (MICE), High-Intensity Interval Training (HIIT), Supra-High-Intensity Interval Training (Supra-HIIT), and Interval Circuit Exercise (ICE) on body fat percentage, maximal fat oxidation (MFO), and peak oxygen uptake (VO_{2max}). Ninety male participants, aged 18–30 years, were randomly assigned to four experimental groups (MICE, HIIT, Supra-HIIT, ICE) and one control group. All experimental groups trained 4 days/week for 12 weeks. Body fat percentage, MFO, and VO_{2max} were measured before and after the training period. Paired-Samples t-tests were used for within-group comparisons, while Analysis of Covariance (ANCOVA) was used for between-group comparisons. If a variable did not meet the assumptions for ANCOVA, change scores (post-test – pre-test) were calculated and analyzed using a One-way ANOVA. The study found that after 12 weeks of training, there was no significant within-group change in body fat percentage. However, when compared to the control group, all training groups showed a significant reduction in body fat percentage ($F(4,76)=6.104, p<0.001, \eta^2=0.243$), with no significant differences found among the training groups. Similarly, MFO significantly increased within all training groups after the intervention and was significantly higher than the control group ($F(4,76)=7.098, p<0.001, \eta^2=0.272$), with no significant differences observed between the training groups. Furthermore, all four training modalities significantly increased VO_{2max} . Notably, the MICE and ICE groups showed significantly greater improvements in VO_{2max} compared to the HIIT and Supra-HIIT groups ($F(4,76)=13.96, p<0.001, \eta^2_p=.962$), and all training groups demonstrated significantly greater VO_{2max} increases than the control group.

In conclusion, regular aerobic exercise across all investigated modalities, when performed adequately, improves cardiorespiratory fitness, increases fat oxidation, and reduces body fat, thereby benefiting overall health and preventing non-communicable diseases (NCDs). The choice of training modality should consider individual objectives, available time, and personal preference.

Keywords: Moderate Intensity Continuous Exercise (MICE), High Intensity interval training, Supra-highIntensity Interval Training, Incremental Continuous Exercise (ICE), Maximal Fat Oxidation

บทนำ

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (aerobic exercise) เป็นกิจกรรมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความหลากหลายตั้งแต่การเดินหรือวิ่ง ไปจนถึงการฝึกที่ซับซ้อน เช่น การฝึกแบบสลับช่วงหรือการฝึกด้วยน้ำหนักตัว การออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ โดยช่วยเพิ่มค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย (VO_{2max}) พัฒนาองค์ประกอบของร่างกายด้วยการลดไขมัน เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ และควบคุมน้ำหนักในทั้งชายและหญิง (Alberga et al., 2016; Said et al., 2020; Mendonça et al., 2022; Rugbumrung et al., 2022) รูปแบบดั้งเดิมที่สุดของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกคือ การฝึกแบบต่อเนื่อง (continuous training) ซึ่งปัจจุบันมักใช้คำว่า Moderate intensity continuous exercise (MICE) ในงานวิจัย (Mou et al., 2022; Rugbumrung et al., 2022; Xu et al., 2022) อย่างไรก็ตาม การฝึกแอโรบิกได้พัฒนาไปสู่รูปแบบที่หลากหลายและได้รับความนิยมมากขึ้น เช่น การฝึกแบบหนักสลับเบา (interval training), การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training: HIIT), การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (supra intensity interval training: Supra-HIIT) และ การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise: ICE)

การฝึกแบบต่อเนื่อง (MICE) เป็นรูปแบบแอโรบิกที่เก่าแก่และดั้งเดิมที่สุด โดยใช้ความหนักปานกลางเป็นระยะเวลานาน เช่น การเดิน วิ่ง เต้น ซี่จักรยาน หรือว่ายน้ำ (Patel et al., 2017) กิจกรรมเหล่านี้ใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ (Wahid et al., 2016) และถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ช่วยลดและควบคุมน้ำหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Okura et al., 2005; Stasiulis et al., 2010; Rugbumrung et al., 2022) นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณไตรกลีเซอไรด์ (TG) ลงได้ร้อยละ 11 และเพิ่มปริมาณของไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง (HDL) ได้ถึงร้อยละ 9 (Kelley et al., 2006; Patel et al., 2017) การฝึก MICE มักใช้ความเข้มข้นปานกลางประมาณร้อยละ 55-75 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด หรือร้อยละ 60-65 ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยใช้ระยะเวลา 30-60 นาที การฝึกชนิดนี้ใช้ความหนักคงที่ตลอดการฝึก (steady-state training) และครอบคลุมทุกรูปแบบที่ไม่มีช่วงพัก (Hansen et al., 2009) การฝึกหนักสลับเบา (interval training) ซึ่งพัฒนามาเป็นการฝึกแบบ HIIT เป็นการผสมผสานระหว่างการฝึกที่ความเข้มข้นเบาสลับกับความเข้มข้นหนักเป็นรอบ ๆ (bout) ด้วยช่วงเวลาตั้งแต่ 6 วินาทีถึง 4 นาที และอัตราส่วนที่กำหนดชัดเจน เช่น 1:1 หรือ 1:2 (MacInnis & Gibala, 2017; Weston et al., 2014; Seo et al., 2024) การฝึก HIIT ส่งผลดีต่อระบบไหลเวียนโลหิต ระบบหายใจ ระบบกล้ามเนื้อ และองค์ประกอบของร่างกายในกลุ่มคนทั่วไปและผู้มีน้ำหนักตัวเกิน (Sijie et al., 2012; Heydari et al., 2013; Rugbumrung et al., 2022)

การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก (Supra-HIIT) คือการฝึก HIIT ที่มีช่วงการฝึกหนักมากกว่าร้อยละ 100 ของความสามารถสูงสุด (Hedlund et al., 2019) โดยมีช่วงสลับการฝึกหนักและเบาที่สั้นกว่า 30 วินาที ทำให้เวลารวมของการฝึกน้อยกว่าการฝึกแบบ MICE มาก แต่ยังคงส่งผลให้ระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ รวมถึงค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายพัฒนาดีขึ้นไม่ต่างจากการฝึกแบบ MICE (MacInnis & Gibala, 2017; Gripp et al., 2021; Poon et al., 2021; Simonsson et al., 2023) ส่วน การฝึกโดยการเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise: ICE) มีลักษณะคล้ายกับการทดสอบสมรรถภาพทางกายด้วยการเพิ่มความหนักของงาน (graded exercise test) โดยความหนักจะเพิ่มขึ้นจากต่ำสุดถึงสูงสุด หรือจากจุดสูงสุดลงมาต่ำสุดแบบค่อยเป็นค่อยไป ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ส่วนมากจะใช้ทุก ๆ 30 วินาที จนถึง 4 นาที (Bentley et al., 2007; da Silva et al., 2017)

เมื่อพิจารณาการฝึกทั้ง 4 รูปแบบ MICE มีจุดเด่นที่ทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์และวิธีการซับซ้อน (Hansen et al., 2009) แต่ใช้ระยะเวลาการฝึกที่นานกว่า ในทางกลับกัน HIIT และ Supra-HIIT มีจุดเด่นที่ใช้เวลาการฝึกไม่มากเพียง 15-25 นาทีต่อวัน แต่ให้ผลการพัฒนาสมรรถภาพทางกายเทียบเท่า MICE (Arboleda-Serna, 2019; Sanca-Valeriano

et al., 2023) และยังให้ความสนุกสนานน่าเบื่อน้อยกว่า (Zhang et al., 2015; Thum et al., 2017) อย่างไรก็ตาม การฝึกทั้งสองประเภทมีข้อดีที่อาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เฉพาะที่สามารถปรับความหนักได้ หรือต้องมีอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจช่วยควบคุมการฝึก (Arboleda-Serna, 2019) และผู้ที่ฝึก Supra-HIIT จำเป็นต้องมีพื้นฐานการออกกำลังกายและสุขภาพร่างกายแข็งแรงในระดับหนึ่ง ส่วนการฝึก ICE มีจุดเด่นที่ช่วยพัฒนาหัวใจได้ดีกว่า MICE ในบางกลุ่มตัวอย่าง (Mikołajczyk, 2020) และเป็นการฝึกที่ค่อยๆ เพิ่มความหนัก ทำให้ร่างกายมีความพร้อมรับการฝึกที่มีความหนักขึ้นได้เป็นอย่างดี แม้ว่าเวลาการฝึกจะใกล้เคียงกับ HIIT แต่มีจุดด้อยตรงที่ต้องมีอุปกรณ์จำเพาะเจาะจง เช่น ลู่วิ่งกล หรือจักรยานวัดงาน

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าแม้จะมีงานวิจัยเกี่ยวกับผลของการฝึก MICE และ HIIT ต่อสมรรถภาพทางกายอยู่ค่อนข้างมาก แต่การศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่าง MICE กับ HIIT ที่เกี่ยวข้องกันระดับค่าการเผาผลาญไขมันซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่สะท้อนค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายนั้นยังมีน้อยมาก และไม่พบเอกสารงานวิจัยที่เกิดขึ้นภายในประเทศ ส่วนการฝึกแบบ Supra-HIIT เนื่องจากเป็นการฝึกแบบใหม่ การศึกษาวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศจึงมีอยู่อย่างจำกัด (Brandão et al., 2020) นอกจากนี้ ยังไม่เคยพบงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่นำการฝึกทั้ง 4 รูปแบบคือ MICE, HIIT, Supra-HIIT และ ICE มาเปรียบเทียบผลการฝึกที่มีต่อสมรรถภาพทางกายด้านต่าง ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกแอโรบิกทั้ง 4 รูปแบบคือ การฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก และการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ด้วยการฝึกวิ่งบนลู่วิ่งกล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแต่ละรูปแบบที่มีต่อไขมัน การเผาผลาญไขมัน และค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพของบุคคลทั่วไปที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อควบคุมน้ำหนักและลดปริมาณไขมันในร่างกาย รวมถึงการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการทดลองในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่โครงการ HREC-UP-HSST 1.2/174/67 มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

ประชากร

บุคลากรและนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยาเพศชายอายุระหว่าง 18 – 30 ปี ซึ่งเป็นช่วงวัยที่ผู้ชายกำลังมีความแข็งแรงทางกายภาพเหมาะสมกับการฝึกออกกำลังกายประเภทต่าง ๆ

กลุ่มตัวอย่าง

อาสาสมัครในการทดลองนี้เป็นบุคลากรและนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยาเพศชายอายุระหว่าง 18 – 30 ปี ซึ่งเป็นช่วงวัยที่ผู้ชายกำลังมีความแข็งแรงทางกายภาพเหมาะสมกับการฝึกออกกำลังกายประเภทต่าง ๆ (Allen & Hopkins, 2015) โดยเกณฑ์การคัดเข้าคือ เป็นเพศชายมีสุขภาพร่างกายดี ไม่มีประวัติที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ ไม่อ้วนและไม่ผอมจนเกินไปคือมีค่า BMI ไม่น้อยกว่า 13.94 และ ไม่เกิน 29.42 ตามแบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของประชาชน อายุ 19 - 59 ปีของกรมพลศึกษาปี 2562 ไม่มีความผิดปกติทางกายที่เกี่ยวข้องกับเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อ กระดูกและข้อต่อ ไม่อยู่ในระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายแบบต่าง ๆ และต้องผ่านการทดสอบจากแบบสอบถามประวัติทางสุขภาพและการออกกำลังกาย และทำแบบสอบถามประเมินความพร้อมของร่างกาย Physical Activity Readiness Questionnaire Plus -PAR-Q+ (Rugbumrung et al., 2022) ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างจะถูกคัดออกหากเข้าเกณฑ์ข้อหนึ่งข้อใดดังต่อไปนี้ มีจำนวนการฝึกไม่ถึงร้อยละ 80 ของจำนวน session รวม มีอาการบาดเจ็บซึ่ง

ผู้วิจัยพิจารณาแล้วเห็นว่าอาจเกิดอันตรายหากให้ฝึกออกกำลังกายต่อไป ขอถอนตัวจากการทดลอง และ ไม่สามารถใช้ชีวิตได้ตามปกติ หรือมีภาวะเจ็บป่วยที่ต้องเข้ารับการรักษามากกว่า 3 วันขึ้นไป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบการทดลองสุ่มมีกลุ่มควบคุม (randomized controlled trials หรือ RCT) การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างใช้โปรแกรมจีสตาร์พาวเวอร์ (G*Power) เวอร์ชัน 3.1.9.7 กำหนดค่าอำนาจในการทดสอบ (Power of the test) ที่ 0.85, ระดับความมีนัยสำคัญไว้ที่ 0.05 และขนาดผลกระทบ (Effect size) ที่ 0.5 (Kodama& et al., 2009) ทั้งนี้ทั้งนั้นค่าขนาดผลกระทบมาจากสมมติฐานว่าการฝึกจะทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ซึ่งถือว่าสมเหตุสมผลเมื่อพิจารณาจากการคำนวณของโปรแกรม G*Power (Kodama& et al., 2009; Poon& et al., 2021) ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณ 59 คน จำนวนกลุ่มละ 12 คน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญหายระหว่างการทำวิจัย ผู้วิจัยได้เพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็น 90 คน ทำการสุ่มเข้ากลุ่มทดลองจำนวน 4 กลุ่ม และกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม กลุ่มละ 18 คนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate-Intensity continuous Exercise; MICE) ฝึกที่ความหนัก 70-75 % MHR 40 นาที ด้วยความถี่ 4 วัน/ สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ หรือ 48 Session

2. การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training; HIIT) กำหนดอัตราส่วนที่ 1:1 รายละเอียดคือ ช่วงหนัก 1 นาที ที่ 90-95 % MHR และ ช่วงเบา 1 นาที ที่ 50-55 % MHR ฝึกทั้งหมด 8 รอบ (bouts) ด้วยความถี่ 4 วัน/ สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ หรือ 48 Session

3. การฝึกหนักสลับเบาที่ความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval training; Supra-HIIT) กำหนดอัตราส่วนที่ 1:1 รายละเอียดคือ ช่วงหนักสูงมาก 20 วินาที ที่ 110 % MHR และ ช่วงเบา 20 วินาที ที่ 50-55 % MHR ฝึกทั้งหมด 15 รอบ (bouts) ด้วยความถี่ 4 วัน/ สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ หรือ 48 Session

4. การฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise, ICE) รายละเอียดคือ เริ่มต้นการฝึกที่ความเร็ว 7 กิโลเมตร/ ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มความเร็ว 0.5 กิโลเมตร/ ชั่วโมง ในทุก ๆ 1 นาทีจนถึงความเร็วสูงสุดที่ไม่สามารถออกกำลังกายต่อไปได้

ผู้วิจัยกำหนดให้มีทีมงานเพื่อช่วยในการเก็บข้อมูลงานวิจัยประกอบไปด้วยอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นที่ปรึกษาในการออกแบบงานวิจัยและควบคุมกำกับกับการเก็บข้อมูลและตรวจสอบการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ช่วยวิจัยซึ่งเป็นนิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬาเป็นผู้ช่วยในการเก็บข้อมูลและช่วยดูแลการฝึกตามโปรแกรมการออกกำลังกาย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. การออกแบบโปรแกรมการฝึก

โปรแกรมการฝึกออกกำลังกายการฝึกแบบต่อเนื่อง (moderate-Intensity Continuous Training; MICT) ดำเนินการพัฒนาตามหลักการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกของสถาบันวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (the American College of Sports Medicine: ACSM) (ACSM, 2008) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (high intensity interval training; HIIT) อ้างอิงความหนักของการฝึกตามงานวิจัยของ Arboleda et al. (2019) การฝึกหนักสลับเบาที่ความเข้มข้นสูงมาก (supramaximal high intensity interval training; Supra-HIIT) อ้างอิงความหนักของการฝึกตามงานวิจัยของ Cavar et al. (2019) และ Alves et al. (2017) การฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental continuous exercise, ICE) ใช้หลักการทดสอบการออกกำลังแบบเพิ่มความหนักของงาน

2. วิธีการฝึกออกกำลังกาย

- 1) การฝึก 12 สัปดาห์แบ่งเป็น 3 Mesocycle โดยความหนักของการฝึกกำหนดจาก ร้อยละการเต้นของหัวใจสูงสุด (MHR) ซึ่งหาจากการทดสอบด้วยการออกกำลังกายแบบการเพิ่มความหนักของงานเป็นรายคน
- 2) ในทุก ๆ สัปดาห์เริ่มต้นของ mesocycle กลุ่มตัวอย่างจะทำการทดสอบหาค่าความเร็วในการวิ่งที่อัตราชีพจรเป้าหมาย (speed@THR) ซึ่งกำหนดจากความหนักของการออกกำลังกายตามรูปแบบการฝึกของตน
- 3) เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างทำการฝึกได้เหมือนกับการออกกำลังกายในภาวะปกติ กลุ่มตัวอย่างจะใส่เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (HR-monitor) เฉพาะการทดสอบหาค่าความเร็วในการวิ่งที่อัตราชีพจรเป้าหมายในสัปดาห์แรกของ Mesocycle เท่านั้น หลังจากนั้นกลุ่มตัวอย่างจะทำการฝึกโดยยึดความเร็วที่ทดสอบได้นั้นเป็นหลัก ไปตลอด Mesocycle โดยไม่ใส่เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ
- 4) กลุ่มตัวอย่างทำการฝึกด้วยรูปแบบและความเข้มข้นของการฝึกเดิมตลอดการฝึก 12 สัปดาห์
- 5) ทุก ๆ Session เริ่มต้นด้วยการอบอุ่นร่างกายแบบเดินหรือวิ่ง 5 นาที ที่ความหนักร้อยละ 40-55 ของ MHR หรือที่ความเร็ว 5-6 กิโลเมตร/ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการฝึกตามโปรแกรมที่กำหนด ต่อด้วยการผ่อนคลายร่างกาย 10 นาทีและทำการยืดเหยียดเป็นขั้นตอนสุดท้าย
- 6) ความถี่ในการฝึกสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความสะดวกของผู้ฝึกแต่ต้องอยู่ในเงื่อนไขดังต่อไปนี้
 - ไม่น้อยกว่า 3 session และมากกว่า 5 session ในสัปดาห์ที่ 1 – 10
 - ในสัปดาห์ที่ 11 – 12 สามารถฝึกตั้งแต่ 2 – 6 session ได้
- 7) ทำการฝึก ณ ศูนย์ออกกำลังกาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยควบคุมอุณหภูมิของศูนย์ออกกำลังกายไว้ที่ 25-27 องศา กลุ่มตัวอย่างทุกคนที่ทำการออกกำลังกายอยู่ภายใต้การดูแลของผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการออกกำลังกายและดูแลเรื่องความปลอดภัย
- 8) อาสาสมัครจะได้รับคำแนะนำให้ดำเนินชีวิตตามปกติตลอดช่วงเวลาการวิจัย และห้ามมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมบริโภค กิจกรรมทางกาย และพฤติกรรมการพักผ่อน และได้รับคำแนะนำให้งดเว้นกิจกรรมการออกกำลังกายที่จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญนอกเหนือจากโปรแกรมการออกกำลังกายที่ผู้วิจัยกำหนดให้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด การเผาผลาญไขมันสูงสุด และไขมันในร่างกาย จะดำเนินการขึ้น 48-72 ชั่วโมงก่อนเริ่มโปรแกรมการฝึก กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะได้รับคำแนะนำให้ดำเนินชีวิตตามปกติ งดเว้นการออกกำลังกายอย่างหนัก งดการสูบบุหรี่อย่างน้อยเป็นเวลา 48 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ กำหนดการทดสอบเป็น 2 วันคือ

วันที่ 1 - ทำการทดสอบน้ำหนักตัว ร้อยละไขมันในร่างกาย โดยใช้วิธีการ Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกายยี่ห้อ ACCUNIQ BC380 ผู้ทดสอบจะต้องใส่เสื้อผ้าแบบเดียวกันทั้งการทดสอบ Pre-test และ Post-test โดยต้องถอดเครื่องประดับ รองเท้าและถุง ผู้เข้ารับการทดสอบจะต้องงดรับประทานอาหารและอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 8 ชั่วโมง

วันที่ 2 - ทำการทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด และค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุด ผู้เข้าทดสอบต้องรับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 1.3 ชั่วโมงเริ่มการทดสอบด้วยเครื่อง CardioCoachCO2 ด้วยเทคนิคห้องผสมแก๊ส (mixing chamber) ซึ่งมีโปรแกรม Auto calibration ก่อนการทดสอบทุกครั้ง (Dieli-Conwright et al., 2009)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS (เวอร์ชัน 22.0) ทำการวิเคราะห์การแจกแจงปกติของข้อมูล (Normal distribution) คือ ร้อยละไขมัน การเผาผลาญไขมัน และค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยเทคนิค Kolmogorov-Smirnov test หากไม่ผ่านเกณฑ์ให้พิจารณาจากค่าความเบ้และความโค้ง (Skewness-Kurtosis) รายงานค่าตัวแปรด้วยสถิติเชิงพรรณนาแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ผลของวิธีการฝึกภายในกลุ่มตัวอย่างจะถูกทดสอบด้วยสถิติ Paired-Samples t-test การเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่างจะถูกทดสอบด้วยสถิติ Analysis of Covariance (ANCOVA) โดยนำข้อมูลตัวแปรก่อนการฝึก (pre-test) มาเป็นค่าตัวแปรร่วม ทั้งนี้หากตัวแปรใดไม่ผ่านการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติ ANCOVA จะนำข้อมูลของตัวแปรนั้นมาแปลงค่าเป็นคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: post-t-test – pre-t-test) แล้วนำไปวิเคราะห์ผลด้วยสถิติ One-way ANOVA เนื่องจากการนำค่า Change score มาคำนวณด้วยสถิติ One-way ANOVA จะให้ผลการทดสอบเทียบเคียงได้กับสถิติ One-way ANCOVA ผลการวิเคราะห์ Paired-Samples t-test จะแสดงข้อมูลของค่า t และ p ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิเคราะห์สถิติ ANCOVA และ ANOVA จะแสดงข้อมูลของค่า f และ p ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ และแสดงค่าขนาดของผลกระทบ (effect size) Cohen's d_z โดยการคำนวณจาก $D / SD(D)$ เมื่อ D คือค่าเฉลี่ยของคะแนนความแตกต่าง และ $SD(D)$ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความแตกต่าง และกำหนดระดับผลกระทบตามแนวทางของ Cohen (1988) ดังนี้ 0.2 คือมีขนาดผลกระทบขนาดเล็ก, 0.5 คือมีขนาดผลกระทบปานกลาง, และ 0.8 คือมีขนาดผลกระทบขนาดใหญ่

ผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า ร้อยละไขมันในร่างกาย (%fat) ค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุด (Maximal Fat Oxidation; MFO) และค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ภายในกลุ่มตัวอย่าง สามารถแสดงได้ดัง Table 1.

Table 1. Comparison of changes in body fat percentage (%fat), maximal fat oxidation (MFO), and maximal oxygen uptake (VO₂max) within the sample group.

Variable	MICE			HIIT			Supra-HIIT			ICE			Control		
	Baseline (n=18)	12weeks (n=16)	%Change, d	Baseline (n=18)	12weeks (n=15)	%Change, d	Baseline (n=18)	12weeks (n=18)	%Change, d	Baseline (n=18)	12weeks (n=18)	%Change, d	Baseline (n=18)	12weeks (n=14)	%Change, d
Fat (%)	14.61	14.30	-2.12%	14.17	14.10	-0.49%	16.84	15.81	-6.11%	13.54	13.44	-0.73%	15.94	17.84*	+11.91%
	±7.04	±7.30	0.04	±3.06	±3.62	0.02	±7.65	±6.39	0.14	±3.73	±3.68	0.02	±6.98	±6.21	0.28
MFO Cal/ min.	2.65	4.90**	+84.90%	4.12	5.19*	+25.97%	2.45	3.93*	+60.40%	2.82	4.81**	+70.56%	4.90	3.90	-20.40%
	±1.41	±1.75	1.42	±1.78	±1.59	0.63	±1.53	±1.84	0.87	±1.36	±1.71	1.29	±2.6	±1.2	0.52
VO ₂ max (ml/kg/min)	45.93	54.12**	+17.83%	44.85	48.45**	+8.02%	45.48	48.04*	+5.62%	48.78	54.34**	+11.39%	46.47	46.17	-0.64%
	±6.76	6.89	1.2	±5.53	±3.57	0.79	±4.58	±4.91	0.53	±7.63	±5.59	0.84	±7.73	±6.51	0.04

Note; *p < 0.05, **p < 0.001,

- (1) = statistically significant difference compared to the MICE training group,
- (2) = statistically significant difference compared to the HIIT training group,
- (3) = statistically significant difference compared to the Supra-HIIT training group,
- (4) = statistically significant difference compared to the ICE training group,
- (5) = statistically significant difference compared to the control group.

ร้อยละไขมันในร่างกาย: %fat (%)

ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละไขมันในร่างกายภายในกลุ่มตัวอย่าง โดยมีผลการทดสอบด้วยสถิติ Paired-Samples t-test ดังนี้ 1. MICE [$t(15) = .804, p = .434, d = 0.04$] 2. HIIT [$t(14) = .143, p = .888, d = 0.02$] 3. Supra-HIIT [$t(17) = 2.041, p = .057, d = 0.14$] 4. ICE [$t(17) = .382, p = .707, d = 0.02$] (ตารางที่ 2) และเนื่องจากตัวแปรร้อยละไขมันในร่างกายไม่ผ่านการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติ ANCOVA จึงนำคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: post-t-test – pre-t-test) มาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ One-way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการฝึกที่มีต่อร้อยละไขมันในร่างกายระหว่างกลุ่มตัวอย่าง พบว่ากลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มมีค่าร้อยละไขมันในร่างกายลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกทุกกลุ่ม มีผลการทดสอบคือ $F(4, 76) = 6.104, p < 0.001, \eta^2 = .243$ (Table 2.) สามารถเขียนเป็นประโยคสัญลักษณ์เพื่อแสดงการเปรียบเทียบผลของวิธีการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้

$$(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE) > C \quad \dots\dots\dots(1)$$

ค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุด: Maximal Fat Oxidation; MFO (Cal/ min)

กลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุด ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลการทดสอบภายในกลุ่มด้วยสถิติ Paired-Samples t-test ดังนี้ 1. MICE [จาก $M = 2.65, SD = 1.41$ เพิ่มขึ้นเป็น $M = 4.90, SD = 1.75$ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ $t(15) = 5.11, p < 0.001, d = 1.42$] 2. HIIT [จาก $M = 4.12, SD = 1.78$ เพิ่มขึ้นเป็น $M = 5.19, SD = 1.59$ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ $t(15) = 2.58, p < 0.05, d = 0.63$] 3. Supra-HIIT [จาก $M = 2.45, SD = 1.53$ เพิ่มขึ้นเป็น $M = 3.93, SD = 1.84$ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ $t(15) = 2.80, p < 0.05, d = 0.87$] 4. ICE [จาก $M = 2.82, SD = 1.36$ เพิ่มขึ้นเป็น $M = 4.81, SD = 1.71$ โดยมีผลการทดสอบทางสถิติคือ $t(15) = 4.85, p < 0.001, d = 1.29$] ทั้งนี้เนื่องจากตัวแปรปริมาณการใช้ไขมันสูงสุดไม่ผ่านการทดสอบเงื่อนไขในการใช้สถิติ ANCOVA จึงนำคะแนนความเปลี่ยนแปลง (change score: post-t-test – pre-t-test) มาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ One-way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการฝึกที่มีต่อค่าการเผาผลาญไขมันสูงสุดระหว่างกลุ่มตัวอย่าง พบว่ากลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มมีปริมาณการใช้ไขมันสูงสุดเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกทุกกลุ่ม โดยมีผลการทดสอบคือ $F(4, 76) = 7.098, p < 0.001, \eta^2 = .272$ (Table 2.) ทั้งนี้สามารถเขียนเป็นประโยคสัญลักษณ์เพื่อแสดงการเปรียบเทียบผลของวิธีการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้

$$(MICE = HIIT = Supra-HIIT = ICE) > C \quad \dots\dots\dots(2)$$

ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) (ml/ kg/ min)

ภายหลังการฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลการทดสอบด้วยสถิติ Paired-Samples t-test ดังนี้ 1. MICE [จาก $M = 45.93, SD = 6.76$ เพิ่มขึ้นเป็น $M = 54.12, SD = 6.89$], $t(15) = 7.94, p < 0.001, d = 1.2$] 2. HIIT [จาก $M = 44.85, SD = 5.53$ เพิ่มขึ้นเป็น $M = 48.45, SD = 3.57$], $t(15) = 4.66, p < 0.001, d = 0.79$] 3. Supra-HIIT [จาก $M = 45.48, SD = 4.58$ เพิ่มขึ้นเป็น $M = 48.04, SD = 4.91$], $t(15) = 2.51, p < 0.05, d = 0.53$] 4. ICE [จาก $M = 48.78, SD = 7.63$ เพิ่มขึ้นเป็น $M = 54.34, SD = 5.96$],

$t(15) = 4.99, p < 0.001, d = 0.84$] ทั้งนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANCOVA ด้วยการควบคุมค่า $VO_2\max$ ก่อนการฝึกของทุกกลุ่มให้เป็นค่าตัวแปรร่วม พบว่าวิธีการฝึกส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มตัวอย่างแตกต่างกัน ผลการทดสอบทางสถิติคือ $F(4, 76) = 13.96, p < 0.001, \eta^2_p = .962$ โดยกลุ่มการฝึก MICE และกลุ่มการฝึก ICE เป็นกลุ่มการฝึกที่ทำให้อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มการฝึก HIIT และกลุ่มการฝึก Supra-HIIT ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึก MICE และ ICE และระหว่างกลุ่มการฝึก HIIT และ Supra-HIIT และพบว่ากลุ่มการฝึกทั้ง 4 วิธีมีค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้สามารถเขียนเป็นประโยคสัญลักษณ์เพื่อแสดงการเปรียบเทียบผลของวิธีการฝึกระหว่างกลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้

$$\{(MICE = ICE) > (HIIT = Supra-HIIT)\} > Control \dots\dots\dots(3)$$

Table 2. Comparison of changes in body fat percentage (%fat), maximal fat oxidation (MFO), and maximal oxygen consumption ($VO_2\max$) between sample groups.

Variables	MICE		HIIT		Supra-HIIT		ICE		Control		Anova/Ancova	
	Baseline (n=16)	12weeks (n=16)	Baseline (n=15)	12weeks (n=15)	Baseline (n=18)	12weeks (n=18)	Baseline (n=18)	12weeks (n=18)	Baseline (n=14)	12weeks (n=14)	f/t	η^2 / η^2_p
Fat (%)	14.61	14.30	14.17	14.10	16.84	15.81	13.54	13.44	15.94	17.84 ^(1,2,3,4)	6.104**	.243
	±7.04	±7.30	±3.06	±3.62	±7.65	±6.39	±3.73	±3.68	±6.98	±6.21		
Fat-met.	2.65	4.90	4.12	5.19	2.45	3.93	2.82	4.81	4.90	3.90 ^(1,2,3,4)	7.098**	.272
	±1.41	±1.75	±1.78	±1.59	±1.53	±1.84	±1.36	±1.71	±2.6	±1.2		
$VO_2\max$ (ml/kg/min)	45.93	54.12 ^{2,3}	44.85	48.45 ^{1,4}	45.48	48.04 ^{1,4}	48.78	54.34 ^{2,3}	46.47	46.17 ^(1,2,3,4)	13.968**	.962
	±6.76	6.89	±5.53	±3.57	±4.58	±4.91	±7.63	±5.59	±7.73	±6.51		

Note; *p < 0.05, **p < 0.001,

- (1) = statistically significant difference compared to the MICE training group,
- (2) = statistically significant difference compared to the HIIT training group,
- (3) = statistically significant difference compared to the Supra-HIIT training group,
- (4) = statistically significant difference compared to the ICE training group,
- (5) = statistically significant difference compared to the control group.

อภิปรายผลการวิจัย

ข้อค้นพบที่สำคัญ (main finding) จากการวิจัยในครั้งนี้คือ การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก ทั้งการฝึกออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง การฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก และการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน มีผลทำให้ 1) สมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ โดยวัดจากค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในกลุ่มการฝึกทุกกลุ่มมีการพัฒนาขึ้นและดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทำการฝึก โดยกลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน สามารถพัฒนาการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ดีกว่าการฝึกอื่น ๆ นอกจากนี้ การฝึกทุกรูปแบบยังช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันและลดไขมันในร่างกายนอกจากนี้การฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน สามารถพัฒนาการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ดีกว่าการฝึกอื่น ๆ นอกจากนี้ การฝึกทุกรูปแบบยังช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันและลดไขมันในร่างกายนอกจากนี้การฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน สามารถพัฒนาการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ดีกว่าการฝึกอื่น ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นผลดีของการฝึกออกกำลังกายทั้ง 4 รูปแบบโดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกาย

1. ร้อยละของไขมันในร่างกาย (%fat) และค่าการใช้ไขมันสูงสุด (maximal fat oxidation)

ไขมันเป็นสารตั้งต้นหลักของการใช้พลังงานหลักในร่างกาย โดยเฉพาะการใช้พลังงานแบบแอโรบิก การเผาผลาญไขมันและไขมันในร่างกายจึงมีความสัมพันธ์และสอดคล้องโดยตรงกับรูปแบบการออกกำลังกายโดยเฉพาะการออกกำลังกายที่มีลักษณะการใช้พลังงานแบบแอโรบิก

ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยพบว่าการฝึกทั้ง 4 รูปแบบช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันได้อย่างดีไม่แตกต่างกัน แม้ว่าการฝึกจะไม่ทำให้ปริมาณไขมันในร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกายแล้วการฝึกทั้ง 4 รูปแบบช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันและลดไขมันในร่างกายผู้ฝึกได้มากกว่าผู้ที่ไม่ฝึกออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของฝึกแบบแอโรบิกคือการพัฒนาของระบบการเผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) โดยจะเห็นว่ากลุ่มการฝึกทุกกลุ่มมีการเผาผลาญไขมันที่เพิ่มขึ้นและปริมาณไขมันในร่างกายลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมภายหลังการฝึก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการฝึกส่งผลให้จำนวนของไมโทคอนเดรียหนาแน่นขึ้น (mitochondrial density) ทำให้เกิดการเผาผลาญไขมันมากขึ้นทั้งในขณะออกกำลังกายและภายหลังการออกกำลังกาย (Muscella et al., 2020; Spriet & Randell, 2020) กล้ามเนื้อมีการปรับตัวใช้พลังงานหลักจากไขมันได้ดีกว่าคาร์โบไฮเดรต (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) เป็นเหตุผลที่ทำให้ผู้ที่ฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกไม่ว่าจะเป็นการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบหนักสลับเบา หรือ การฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน มีปริมาณการเผาผลาญไขมันเพิ่มขึ้น และมีไขมันในร่างกายลดลงดีกว่าผู้ที่ไม่ฝึกออกกำลังกาย ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นการฝึกในรูปแบบใดจึงส่งผลให้ผู้ฝึกมีการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละของไขมันในร่างกายและปริมาณการใช้ไขมันสูงสุด ที่ดีขึ้นกว่าผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกาย

2. ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max)

ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ สะท้อนและแสดงถึงความแข็งแรงและความอดทนของหัวใจและปอดโดยตรง ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดพัฒนาได้จากการฝึกออกกำลังกาย โดยการฝึกแอโรบิกไม่ว่าจะเป็นการฝึกแบบต่อเนื่องหรือการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงหรือการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมากนั้นได้รับการพิสูจน์จากงานวิจัยจำนวนมากว่าช่วยเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายได้อย่างมีนัยสำคัญในทุกกลุ่มประชากรไม่ว่าจะเป็น เด็ก ผู้ใหญ่ ผู้สูงอายุ คนที่ออกกำลังกายอยู่เป็นประจำ ผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย และคนอ้วน (Hottenrott, 2012; Weston et al., 2014; Crowley et al., 2022; Rugbumrung, 2022)

การพัฒนาของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงที่มีความสัมพันธ์กับระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการพัฒนาของค่าปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจ (ห้องล่างซ้าย) ในการบีบตัว 1 ครั้ง (stroke volume; SV) ซึ่งในภาวะปกติค่า SV ขณะพักจะอยู่ที่ประมาณ 70 – 80 มล./ การเต้นของหัวใจ 1 ครั้ง (ml/beat) ทั้งนี้ผู้ที่ออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นประจำ 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 นาทีเพิ่มขึ้นมากกว่าผู้ที่ไม่ฝึกออกกำลังกายร้อยละ 20–25 และความแตกต่างจากนี้จะมีเพิ่มถึงร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างนักกีฬาและผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกาย (Hellsten & Nyberg, 2015; Lee & Oh, 2016) และเนื่องจากระบบไหลเวียนโลหิตมีหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนการเพิ่มขึ้นของ SV และ Q จึงเป็นผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดในขณะออกกำลังกายด้วย

ข้อมูลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการฝึกทั้ง 4 รูปแบบช่วยเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในกลุ่มตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกวิธีการฝึก และมีความแตกต่างกับผู้ที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกาย โดนพบว่าผู้ที่ฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน จะมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มมากขึ้นมากที่สุดและเพิ่มมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง และการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงมาก

ทั้งนี้ข้อมูลจากการวิจัยที่พบว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก ถึงแม้จะทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดพัฒนาดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกาย แต่ก็พัฒนาได้น้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย ทั้งนี้เนื่องจากการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก มีระยะเวลาในการฝึกที่น้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย อาจส่งผลให้มีการพัฒนาที่น้อยกว่า สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่พบว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง อาจจะทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นไม่มากเมื่อเทียบกับการฝึกแบบต่อเนื่อง ด้วยปัจจัยด้านเวลาและปริมาณการฝึกที่น้อยกว่า (Trachsel et al., 2020) และหากมีระยะเวลาในการฝึกที่น้อยเกินไปก็อาจไม่ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในการฝึกแบบหนักสลับเบาความเข้มข้นสูง (Arboleda-Serna, 2019) ดังนั้นผู้ที่เลือกฝึกด้วยโปรแกรมหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงหรือ ความเข้มข้นสูงมาก อาจจะต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการฝึก (Arboleda-Serna, 2019) โดยอาจเพิ่มปริมาณการฝึกให้มากขึ้นทั้งโดยการเพิ่มระยะเวลาหรือเพิ่ม Session การฝึก ซึ่งจะส่งผลให้มีการพัฒนาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ดีพอ ๆ กับการฝึกแบบต่อเนื่อง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ข้อค้นพบหลักของงานวิจัยซึ่งพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ฝึกออกกำลังกายทุกวิธีการฝึก มีค่าที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญพลังงานและองค์ประกอบของร่างกายดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ฝึกออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวัดจากค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด การเผาผลาญไขมันและระดับไขมันในร่างกาย แสดงให้เห็นว่าการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นประจำไม่ว่าจะด้วยรูปแบบใดด้วยความถี่และระยะเวลานานเพียงพอ จะส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกายเพื่อสุขภาพ เป็นการเน้นย้ำให้เห็นถึงความสำคัญของการออกกำลังกาย ที่ช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายและป้องกันสุขภาพจากปัจจัยของการเกิดโรค โดยเฉพาะโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่สำคัญ (non-communicable diseases: NCDs) ทั้งนี้การจะเลือกรูปแบบวิธีการใดเพื่อฝึกออกกำลังกาย ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และปัจจัยต่าง ๆ ของผู้ที่ทำการฝึกเอง หากผู้ฝึกมีปัจจัยทางเวลาที่ไม่เอื้ออำนวย ผู้วิจัยของแนะนำให้ออกกำลังกายที่มีระยะเวลาน้อย ๆ เช่นการฝึกแบบหนักสลับเบาทั้งแบบความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก หรือการฝึกแบบเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย ซึ่งให้ผลทางสรีรวิทยาที่เทียบเท่าการฝึกที่ใช้ระยะเวลานาน ๆ แบบการฝึกแบบต่อเนื่อง เพื่อที่จะสามารถจัดสรรเวลาในการออกกำลังกายได้เพิ่มมากขึ้นและสามารถแบ่งเวลาในการออกกำลังกายให้กับการฝึกแบบอื่นเช่นการฝึกกล้ามเนื้อ

หากมีเวลามากพอ ผู้ฝึกสามารถฝึกออกกำลังกายแบบใดก็ได้ตามความถนัดหรือความชอบส่วนบุคคล แต่หากต้องการพัฒนาความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจในระดับสูง ผู้วิจัยแนะนำให้ฝึกออกกำลังกายแบบต่อเนื่องหรือฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน หรืออาจจะเพิ่มระยะเวลาหรือ Session การฝึกแบบหลักสลับเบาทั้งแบบความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมากให้มากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของนักกีฬาบางประเภทที่ควรฝึกแบบหลักสลับเบา มากกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง เนื่องจากมีธรรมชาติการเคลื่อนไหวที่คล้ายคลึงกับรูปแบบการเคลื่อนไหวในขณะทำการแข่งขัน มากกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง

การวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบโปรแกรมการฝึกเพื่อพัฒนาร่างกายตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมน้ำหนักหรือการลดไขมันในร่างกาย หรือการฝึกออกกำลังกายเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายในระดับสูง ส่วนการจะเลือกใช้โปรแกรมแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความถนัด ความพร้อมของอุปกรณ์และปัจจัยด้านเวลาของแต่ละบุคคลเป็นสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

- ACSM. (2018). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (10th ed.). Baltimore: Wolters Kluwer.
- Alberga, AS., Prud'homme, D., Sigal, RJ., & 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.
- Allen, SV., & Hopkins, WG. (2015). Age of peak competitive performance of elite athletes: A systematic review. *Sports Medicine*, 45(10), 1431–1441.
- Alves, ED., Salermo, GP., Panissa, VLG., Franchini, E., & Takito, MY. (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.
- Arboleda-Serna, VH., Feito, Y., Patiño-Villada, FA., Vargas-Romero, AV., & Arango-Vélez, EF. (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. *Biomedica*, 39(3), 524–536.
- Ardhiyanto, Y. D., Widiyanto, M., & Mu'arif, S. (2018, December). Reduction of LDL Cholesterol through MICT and HIIT in Rats. In 2nd Yogyakarta International Seminar on Health, Physical Education, and Sport Science (YISHPESS 2018) and 1st Conference on Interdisciplinary Approach in Sports (CoIS 2018) (pp. 8–11). Atlantis Press.
- Bentley, DJ., Newell, J., & Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis: Implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Medicine*, 37(7), 575–586.
- Brandão, LHA., Chagas, TPN., Vasconcelos, ABS., de Oliveira, VC., Fortes, LS., de Almeida, MB., Mendes Netto, RS., Del-Vecchio, FB., Neto, EP., Chaves, LMS., Jimenez-Pavón, D., & Da Silva-Grigoletto, ME. (2020). Physiological and performance impacts after field supramaximal high-intensity interval training with different work-recovery duration. *Frontiers in Physiology*, 11, 1075.
- 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.
- Crowley, E., Powell, C., Carson, BP., & Davies, RW. (2022). The effect of exercise training intensity on VO₂max in healthy adults: An overview of systematic reviews and meta-analyses. *Translational Sports Medicine*, 2022, 9310710.
- Da Silva, WQA., Fontes, EB., Forti, RM., Lima, ZL., Machado, DGS., et al. (2017). Affect during incremental exercise: The role of inhibitory cognition, autonomic cardiac function, and cerebral oxygenation. *PLOS ONE*, 12(11), e0186926.

- Dieli-Conwright, CM., Jensky, NE., Battaglia, GM., McCauley, SA., & Schroeder, ET. (2009). Validation of the CardioCoachCO₂ for submaximal and maximal metabolic exercise testing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1316–1320.
- Gripp, F., Nava, RC., Cassilhas, RC., et al. (2021). HIIT is superior than MICT on cardiometabolic health during training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 121(1), 159-172.
- 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.
- Hansen, D., Dendale, P., Jonkers, RA., 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.
- Hedlund, M., Lindelöf, N., Johansson, B., Boraxbekk, CJ., & Rosendahl, E. (2019). Development and feasibility of a regulated, supramaximal high-intensity training program adapted for older individuals. *Frontiers in Physiology*, 10, 590.
- Hellsten, Y., & Nyberg, M. (2015). Cardiovascular adaptations to exercise training. *Comprehensive Physiology*, 6(1), 1-32.
- Heydari, M., Boutcher, YN., & Boutcher, SH. (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.
- Horowitz, JF., Leone, TC., Feng, W., Kelly, DP., & Klein, S. (2000). Effect of endurance training on lipid metabolism in women: A potential role for PPAR α in the metabolic response to training. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 279, E348-E355.
- 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.
- 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.
- Kelley, GA., Kelley, KS., & 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, 131-139.
- 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.
- MacInnis, MJ., & Gibala, MJ. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *Journal of Physiology*, 595(9), 2915-2930.
- Mendonça, FR., 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Muscella, A., Stefàno, E., Lunetti, P., Capobianco, L., & Marsigliante, S. (2020). The regulation of fat metabolism during aerobic exercise. *Biomolecules*, 10(12), 1699.
- Okura, T., Nakata, Y., Lee, DJ., 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.

- Patel, H., Alkhawam, H., Madanieh, R., Shah, N., & Kosmas, CE. (2017). Aerobic vs 2352730616 UP iThesis 65170492 thesis/recv: 13052568 14:25:09 / seq: 24 anaerobic exercise training affects on the cardiovascular system. *World Journal of Cardiology*, 9(2), 134–138.
- Perry, CGR., Lally, J., Holloway, GP., Heigenhauser, GJF., Bonen, A., & Spriet, LL. (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.
- Poon, ETC., Wongpivit, W., Ho, RST., & Wong, SHS. (2021). Interval training versus moderate-intensity continuous training for cardiorespiratory fitness improvements in middle-aged and older adults: A systematic review and metaanalysis. *Journal of Sports Sciences*, 39(17), 1996–2005.
- 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.
- Said, MA., Abdelmoneem, M., Alibrahim, MC., & 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.
- Seo, MW., Lee, S., & Jung, HC. (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.
- 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. *Journal of Gerontology A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 78(9), 1581-1590.
- Spriet, LL., & Randell, RK. (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.
- Talanian, JL., Galloway, SDR., Heigenhauser, GJF., Bonen, A., & Spriet, LL. (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.
- Thum, JS., 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.
- Trachsel, LD., 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 VO₂peak responders after ACS. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 73(9), 725–733.
- 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.
- Weston, M., Taylor, KL., Batterham, AM., & Hopkins, WG. (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.
- 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.
- 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.