



ผลของการออกกำลังกายหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูงตามด้วยความหนักระดับปานกลาง ในน้ำต่ออัตราการเผาผลาญไขมันหลังการออกกำลังกายในผู้ชายอ้วน

ธีรวัฒน์ รัตนวงค์กุล¹ นิรอมลี มะกาเจ¹ พรพจน์ ไชยนอก² ภูวนารถ ศรีทน¹ และราตรี เรืองไทย¹

¹คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในน้ำหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูงตามด้วยความหนักปานกลาง (HIIE+MIE) กับการออกกำลังกายในน้ำหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูง (HIIE) และการออกกำลังกายในน้ำที่ความหนักปานกลาง (MIE) ที่มีผลต่อการเผาผลาญไขมัน (FAT) และคาร์โบไฮเดรต (CHO) ขณะและภายหลังการออกกำลังกายในผู้ชายอ้วน กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายที่มีภาวะอ้วน อายุ 20.1 ± 0.57 ปี และดัชนีมวลกาย 28.31 ± 2.88 จำนวน 10 คน เข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายทั้ง 3 โปรแกรม แบบสลับจนครบทุกโปรแกรม โดยโปรแกรมมีดังนี้ 1) HIIE 2) MIE และ 3) HIIE+MIE วัดค่าปริมาณออกซิเจนและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะและภายหลังการทดสอบอีก 30 นาที เพื่อนำมาคำนวณหาค่า FAT และ CHO และบันทึกค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวด ขณะและภายหลังการออกกำลังกาย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ One-way ANOVA with repeated measures ($p < 0.05$) ผลการวิจัยพบว่า Fat และ CHO ขณะออกกำลังกายในน้ำ 20 และ 40 นาที และ ภายหลังการออกกำลังกายโปรแกรม HIIE+MIE แตกต่างกับโปรแกรม MIE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วน FAT และ CHO ขณะออกกำลังกาย และ ภายหลังการออกกำลังกายโปรแกรม HIIE+MIE และโปรแกรม HIIE ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่อัตราการรับรู้ความเจ็บปวดไม่มีความเปลี่ยนแปลงช่วงก่อน ภายหลัง และ ภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง สรุปได้ว่า HIIE+MIE เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ชายที่มีภาวะอ้วนได้ โดยมีอัตราการเผาผลาญไขมันได้ดีกว่าและไม่เกิดการระบมของกล้ามเนื้อ

คำสำคัญ: การออกกำลังกายในน้ำ; โปรแกรมออกกำลังกายหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูง; โปรแกรมการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง; อ้วน



EFFECT OF HIGH INTENSITY INTERVAL EXERCISE PRIOR TO MODERATE INTENSITY EXERCISE IN WATER ON FAT OXIDATION AFTER EXERCISE IN OBESE MEN

Theerawat Rattanawongkul¹ Niromlee Makaja¹ Phornpot Chainok²

Bhuwanat Sriton¹ and Ratree Ruangthai¹

¹ Faculty of Sports and Health Science, Kasetsart University

² Faculty of Sport Science, Burapha University

Abstract

This research aimed to compare the effects of high-intensity interval exercise followed by moderate-intensity exercise (HIIE+MIE), high-intensity interval exercise (HIIE), and moderate-intensity exercise in water (MIE) on fat oxidation rate (FAT) and carbohydrate oxidation rate (CHO) during and after exercise in obese men. Ten obese men participants (age: 20.1 ± 0.57 years, BMI: 28.31 ± 2.88) completed all three exercise protocols in a randomized order. The protocols consisted of: 1) HIIE 2) MIE 3) HIIE+MIE. Oxygen consumption and carbon dioxide production were measured during exercise and for 30 minutes of post-exercise. These measurements were used to calculate FAT and CHO. Pain perception levels were also recorded during and after exercise. Data were analysed using One-way ANOVA with repeated measures, and statistical significance set at $p < 0.05$. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in FAT and CHO between HIIE+MIE and MIE protocols during both the 20- and 40-minute exercise periods and post-exercise. However, there were no significant differences between HIIE+MIE and HIIE protocols. Pain perception levels showed no significant changes before, immediately after, and 24 hours of post-exercise. In conclusion, HIIE+MIE constitutes an effective alternative for obese men, providing enhanced fat metabolism advantages without inducing muscular soreness.

Keywords: Aquatic exercise, High-interval intensity exercise, Moderate intensity exercise, Obese



บทนำ

ภาวะโรคอ้วนนั้นเพิ่มสูงขึ้นในทุกประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย จากการสำรวจสุขภาพประชาชนไทย ครั้งที่ 6 ปี พ.ศ. 2563 พบว่าประชากรไทยอายุ 15 ปีขึ้นไป ร้อยละ 42.2 มีภาวะอ้วน (BMI ≥ 25 กก./ตร.เมตร) และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งภาวะโรคอ้วนเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง เป็นต้น (Vichai Aekplakorn, 2021) สาเหตุหลักของภาวะนี้คือความไม่สมดุลของพลังงานจากการบริโภคอาหารที่ให้พลังงานสูงร่วมกิจกรรมทางกายที่ลดลง (Galgani, & Ravussin, 2011) ทำให้เกิดการสะสมของไขมันในร่างกาย และเกิดความบกพร่องในการเผาผลาญไขมัน (Blaak, & Saris, 2002)

การออกกำลังกายเป็นกลยุทธ์สำคัญในการเพิ่มการเผาผลาญไขมันและลดภาวะอ้วน โดยเฉพาะการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ระดับความหนักปานกลางมีประสิทธิภาพในการเพิ่มอัตราการใช้ไขมันเป็นพลังงาน (Dumortier, Brandou, Perez-Martin, Fedou, Mercier, & Brun, 2003) อย่างไรก็ตาม การออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาที่ความหนักสูง (High-Intensity Interval Exercise; HIIE) และแบบ Sprint Interval Training (SIT) พบว่า ช่วยเพิ่มการใช้พลังงานและการเผาผลาญไขมันภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างมีนัยสำคัญ (Whyte, Ferguson, Wilson, Scott, & Gill, 2013) นอกจากนี้มีการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบผสมผสาน (Borowik, Chacaroun, Tessier, Doutreleau, Verges, & Flore, 2020) โดยออกกำลังกายช่วงหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูงสุดหลังจากนั้นตามด้วยความหนักปานกลางทันที เทียบกับการออกกำลังกายที่ความหนักปานกลางพบว่า โปรแกรมการออกกำลังกายที่ความหนักปานกลางในช่วงแรกมีค่าการเผาผลาญไขมันที่ดีกว่า แต่ในช่วงหลังและช่วงภายหลังการออกกำลังกายพบว่าโปรแกรมการออกกำลังกายแบบผสมผสานมีการเผาผลาญไขมันที่ดีกว่า ทั้งนี้อาจเกิดจากช่วงที่ออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูงซึ่งออกกำลังกายช่วงแรกทำให้มีการลดลงของการสะสมไกลโคเจนอาจทำให้มีการใช้ไขมันได้เพิ่มมากขึ้นในช่วงออกกำลังกายที่ความหนักปานกลางช่วงหลัง และภายหลังออกกำลังกาย (Borowik et al., 2020) อีกทั้งการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายที่สูงขึ้นสัมพันธ์กับระดับของ Catecholamines ที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการเผาผลาญไขมันในช่วงภายหลังการออกกำลังกาย (Gratas-Delamarche, Le Cam, Delamarche, Monnier, & Koubi, 1994)

นอกจากนี้ การออกกำลังกายในน้ำเป็นอีกทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับผู้ที่มีน้ำหนักตัวเกินและอ้วน เนื่องจากแรงลอยตัวช่วยลดแรงกระแทก ขณะที่แรงต้านของน้ำเพิ่มการใช้พลังงานและช่วยให้ร่างกายระบายความร้อนได้ดีขึ้น (Ratree Ruangthai, 2020; Schaun, Pinto, Praia, & Alberton, 2018) งานวิจัยพบว่า การออกกำลังกายในน้ำที่ความหนักปานกลางช่วยเพิ่มการเผาผลาญไขมันได้ดี ขณะที่ HIIE ในน้ำช่วยเพิ่มอัตราการใช้พลังงานต่อเนื่องที่มากขึ้น แม้ว่าผลของการเผาผลาญไขมันภายหลังการออกกำลังกายจะใกล้เคียงกัน (Schaun et al., 2018) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายแบบผสมผสานระหว่าง HIIE ก่อนตามด้วยการออกกำลังกายที่ความหนักปานกลางในน้ำต่อการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตยังมีจำกัด โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่มีภาวะอ้วน

จากข้อค้นพบข้างต้น การออกกำลังกายแบบ HIIE สามารถเพิ่มการเผาผลาญไขมันได้ดี แต่มีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยสำหรับผู้ที่มีภาวะอ้วน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการออกกำลังกายรูปแบบผสมผสานในน้ำ โดยใช้ HIIE ก่อนตามด้วย MIE ต่อการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตทั้งขณะและภายหลัง

การออกกำลังกาย ซึ่งยังไม่มีการศึกษามาก่อน คาดว่าผลการวิจัยนี้จะช่วยพัฒนาแนวทางการออกกำลังกายที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยสำหรับผู้ที่มีภาวะอ้วน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูงตามด้วยความหนักปานกลาง กับการออกกำลังกายหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูง และการออกกำลังกายที่ความหนักปานกลาง ในน้ำที่มีผลต่อการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรต ขณะและภายหลังการออกกำลังกายในผู้ชายอ้วน

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้มาโดยวิธีการรับอาสาสมัครเข้าร่วมวิจัย (volunteer) จากการประชาสัมพันธ์ทางสื่อออนไลน์ จากกลุ่มประชากรที่เป็นนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เกณฑ์การคัดเลือกการเข้าร่วมเป็นเพศชาย ไม่มีโรค อายุระหว่าง 18 - 25 ปี ที่มีภาวะอ้วน (ดัชนีมวลกาย 25.0-29.9 กก./ตร.เมตร) และเป็นผู้ที่ไม่ออกกำลังกายเป็นประจำ มีกิจกรรมทางกายระดับปานกลาง น้อยกว่า 150 นาทีต่อสัปดาห์ ระดับหนักน้อยกว่า 75 นาทีต่อสัปดาห์ และเกณฑ์การคัดออกคือ มีปัญหา ระบบกล้ามเนื้อ หรือ มีอาการบาดเจ็บขณะทำการทดสอบทำให้ไม่สามารถออกกำลังกายได้ มีแผลเปิด หรือแผลติดเชื้อ และมีการรับประทานอาหารเสริมที่ส่งผลต่อระบบการเผาผลาญ จำนวนกลุ่มตัวอย่างได้จากคำนวณหา ค่า ขนาดของผลกระทบ (Effect size) โดยจากการศึกษาของ ไวท์และคณะ (Whyte et al., 2013) โดยศึกษาผลของรูปแบบการออกกำลังกายที่การออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุดสลับพัก เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมต่อการเผาผลาญไขมัน คำนวณโดยใช้ค่าการเผาผลาญไขมัน ได้ค่า Effect size = 1.66 และกำหนดให้ค่า $\alpha = 0.05$, Power $(1-\beta) = 0.8$ และนำมาหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G*Power เวอร์ชัน 3.1 ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 9 คน และเมื่อรวมกับ เพื่อป้องกันการสูญหายของอาสาสมัคร (dropping out rate) ซึ่งคำนวณไว้ที่ร้อยละ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง คือ 1 คน ดังนั้นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 10 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (gas analyzer) ชุดอุปกรณ์ Metabolic testing ยี่ห้อ COSMED รุ่น K5 ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. โปรแกรมการออกกำลังกายในน้ำที่ความหนักระดับสูง (HIIE) วัฏจักรความสามารถ 30 วินาที สลับกับวิ่งเบา 3.30 นาที ที่ความหนัก 50-60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองในน้ำ 5 รอบทั้งหมด 20 นาที
3. โปรแกรมการออกกำลังกายในน้ำที่ความหนักระดับปานกลาง (MIE) วัฏจักร 40 นาที ที่ความหนัก 50 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองในน้ำ
4. โปรแกรมการออกกำลังกายในน้ำที่ความหนักระดับสูงตามด้วยความหนักระดับปานกลาง (HIIE+MIE) วัฏจักรความสามารถ 30 วินาที สลับกับวิ่งเบา 3.30 นาที ที่ความหนัก 50 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองในน้ำ 5 รอบทั้งหมด 20 นาที ตามด้วยวิ่ง 20 นาที ที่ความหนัก 50 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรองในน้ำ
5. แบบบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการทดสอบ
6. แบบบันทึกอัตราการรับรู้ความเหนื่อย (RPE)
7. แบบบันทึกระดับการรับรู้ความเจ็บปวด (Visual Analogue Scale: VAS)

8. การคำนวณหาอัตราการเต้นของหัวใจในน้ำโดยใช้วิธีการของ Kruel (AEA, 2018)

9. การคำนวณหาสารตั้งต้นการสร้างพลังงาน การคำนวณ Substrate oxidation จากค่าเฉลี่ยของ VO_2 และ VCO_2

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เมื่อทำการเชิญชวนผู้เข้าร่วมวิจัย ที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัยจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับโครงการวิจัยในส่วนของวัตถุประสงค์ และขั้นตอนทั้งหมดของการทดสอบให้อาสาสมัครเข้าใจทุกขั้นตอน และลงนามในหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยได้รับการบอกกล่าวและเต็มใจ (informed consent form) ซึ่งงานวิจัยนี้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (เลขที่ COA65/015)

2. ผู้วิจัยหลักสัมภาษณ์ข้อมูลเกี่ยวกับประวัติสุขภาพและประวัติทั่วไป รวมทั้งการประเมินร่างกาย ดังนี้ วัดสัญญาณชีพ ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ และความดันโลหิต วัดความสูง น้ำหนัก และดัชนีมวลกาย วัดองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่อง Inbody 270 จากนั้นผู้วิจัยจะสัมภาษณ์เกี่ยวกับประวัติกิจกรรมทางกาย และประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย

3. ชี้นำรายละเอียดยให้ผู้เข้าร่วมเตรียมพร้อมสำหรับการทดสอบการแต่งกาย พักผ่อนให้เพียงพอ 7 - 8 ชั่วโมงงดการออกกำลังกายก่อนการทดสอบ 24 ชั่วโมง แจ้งอาสาสมัครให้บันทึกอาหารในวันที่ทำการทดสอบในช่วงเช้าจนถึงก่อนการทดสอบ เพื่อควบคุมพลังงานที่ได้รับให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกันในทุกการทดสอบ โดยการทดสอบจะทำการทดสอบในเวลา 16.00 น. โดยห่างจากอาหารมื้อกลางวันอย่างน้อย 3 ชั่วโมง

4. นัดหมายครั้งที่ 1 ทำการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงด้วยวิธีการของ โมดิไฟด์บรูซ โปรโตคอล (Modified Bruce protocol) (Lerman, Gorlin, & Hollander, 1976) เพื่อใช้ในการกำหนดความหนัก หลังจากนั้นพัก 2 วัน ชี้นำสถานที่และเวลาในการนัดหมายครั้งถัดไป โดยนัดหมายที่สระว่ายน้ำในคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา เวลา 16.00 น.

5. นัดหมายครั้งที่ 2 ทำการสุ่มอาสาสมัครเพื่อเข้ารับการทดสอบ 1 ใน 3 โปรแกรมที่กำหนดไว้ดำเนินการทดสอบตามโปรแกรมที่กำหนด โดยที่อาสาสมัครต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดค่า VO_2 และ VCO_2 ด้วยเครื่องวัดแก๊ส ในขณะที่และภายหลังการทดสอบเสร็จสิ้นอีก 30 นาทีหรือจนกว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนจะกลับสู่สภาวะพัก เพื่อวัดอัตราการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกาย เพื่อนำมาคำนวณหาการเผาผลาญไขมัน (fat oxidation: FAT) และการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (CHO oxidation: CHO) บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการทดสอบ บันทึกอัตราการรับรู้ความเหนื่อย (RPE) และระดับการรับรู้ความเจ็บปวด (Visual Analogue Scale: VAS) (Heydari Armaki, Abbasnia, & Motealleh, 2020) ขณะและหลังออกกำลังกาย

6. นัดหมายครั้งที่ 3 และ 4 การนัดหมายแต่ละครั้งห่างกัน 2 วัน โดยจะทำการสุ่มอาสาสมัครเพื่อเข้ารับการทดสอบในโปรแกรมที่เหลืออยู่ และการบันทึกข้อมูลตามการดำเนินการทดสอบในครั้งที่ 2

7. ภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวด

8. นำข้อมูลที่บันทึกขณะออกกำลังกายที่เวลา 20 นาที 40 นาที และภายหลังการออกกำลังกาย 30 นาที (โดยแสดงข้อมูลทุก ๆ 10 นาที) ที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณค่าทางสถิติ สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้

การคำนวณหาอัตราการเต้นของหัวใจในน้ำโดยใช้วิธีการของ Kruel (AEA, 2018) ดังนี้

Target HR = [(HRmax – RHR – Aquatic HR Deduction) x Intensity Percentage] + RHR
โดย HRmax = อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ RHR = อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (จำนวนครั้ง/นาที) Aquatic HR Deduction = ค่าส่วนต่างของอัตราการเต้นหัวใจระหว่างบนบกและในน้ำ Intensity Percentage = เปอร์เซ็นต์ของความหนักในการออกกำลังกาย

การคำนวณหาสารตั้งต้นการสร้างพลังงาน การคำนวณ Substrate oxidation และ อัตราการใช้พลังงาน จากค่าเฉลี่ยของ VO_2 และ VCO_2 ที่วัดได้ด้วยสูตรอ้างอิงมาจาก (Frayn, 1983) และนำมาคิดเป็นร้อยละต่อไป

$$CHO (g/min) = 4.55VCO_2 - 3.21VO_2$$

$$FAT (g/min) = 1.67VO_2 - 1.67VCO_2$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS คำนวณ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ทดสอบการแจกแจงแบบโค้งปกติโดย Shapiro-Wilk Test วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One - way analysis of variance with repeated measures) เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดย Bonferroni กำหนดค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะทางกายภาพ ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกาย และอัตราการรับรู้ความเหนื่อยภายหลังการออกกำลังกายทันทีของอาสาสมัคร (n = 10)

ตัวแปร	$\bar{X} \pm S.D.$
อายุ (ปี)	20.10 $\pm$ 0.57
น้ำหนัก (กก.)	84.43 $\pm$ 12.49
ส่วนสูง (ซม.)	172.40 $\pm$ 6.57
ดัชนีมวลกาย (กก./ม ²)	28.31 $\pm$ 2.88
เปอร์เซ็นต์ไขมัน (%)	26.73 $\pm$ 3.67
มวลกล้ามเนื้อ (กก.)	36.43 $\pm$ 5.30
อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มล./นาที/กก.)	37.79 $\pm$ 4.61
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	76.70 $\pm$ 8.35
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ครั้ง/นาที)	186.90 $\pm$ 7.39
อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายในน้ำระดับปานกลาง (ครั้ง/นาที)	133.80 $\pm$ 4.82
อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายในน้ำระดับสูงสุด (ครั้ง/นาที)	174.85 $\pm$ 7.49
อัตราการรับรู้ความเหนื่อยภายหลังออกกำลังกายทันที	
- HIIE	19.10 $\pm$ 0.74
- MIC	14.20 $\pm$ 0.79
- HIIE+MIE	17.10 $\pm$ 0.74

จากตารางที่ 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของอาสาสมัครทั้ง 10 คน ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายในน้ำระดับปานกลาง (50 - 60%) และที่ระดับสูงสุด (90 - 100%) ขณะทำกิจกรรมออกกำลังกายในน้ำตามโปรแกรมที่กำหนด และอัตราการรับรู้ความเหนื่อยภายหลังออกกำลังกาย ซึ่ง HIIE อยู่ในระดับเหนื่อยมากที่สุด MIC อยู่ในระดับเหนื่อย และ HIIE+MIE อยู่ในระดับเหนื่อยมาก

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (CHO) และอัตราการเผาผลาญไขมัน (FAT) (n = 10)

ช่วงเวลา		HIIE $\bar{X} \pm S.D.$	MIE $\bar{X} \pm S.D.$	HIIE+MIE $\bar{X} \pm S.D.$
Exercise 20	CHO (%)	99.79 $\pm$ 0.34	90.51 $\pm$ 6.91*	100 $\pm$ 0.00 [#]
	FAT (%)	0.21 $\pm$ 0.34	9.49 $\pm$ 6.91*	0 $\pm$ 0.00 [#]
Exercise 40	CHO (%)		83.18 $\pm$ 10.62*	64.34 $\pm$ 13.72 [#]
	FAT (%)		16.82 $\pm$ 10.62*	35.66 $\pm$ 13.72 [#]
Post Exercise 10	CHO (%)	89.07 $\pm$ 12.79	89.27 $\pm$ 11.92	38.10 $\pm$ 20.49* [#]
	FAT (%)	10.93 $\pm$ 12.79	10.73 $\pm$ 11.92	61.90 $\pm$ 20.49* [#]
Post Exercise 20	CHO (%)	42.12 $\pm$ 22.10	79.95 $\pm$ 12.60*	27.90 $\pm$ 17.54 [#]
	FAT (%)	57.88 $\pm$ 22.10	20.05 $\pm$ 12.60*	72.10 $\pm$ 17.54 [#]
Post Exercise 30	CHO (%)	25.47 $\pm$ 19.49	51.65 $\pm$ 23.12*	26.74 $\pm$ 20.56 [#]
	FAT (%)	74.53 $\pm$ 19.49	48.35 $\pm$ 23.12*	73.26 $\pm$ 20.56 [#]

*แตกต่างจาก HIIE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 #แตกต่างจาก MIE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Exercise 20, 40 หมายถึง ช่วงการออกกำลังกายช่วง 1-20 และ 21-40 นาที Post Exercise 10,20,30 หมายถึง ช่วงภายหลังการออกกำลังกายช่วง 1-10, 11-20 และ 21-30 นาที)

จากตารางที่ 2 ในช่วงขณะออกกำลังกาย 20 นาที ร้อยละอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน HIIE และ HIIE+MIE แตกต่างกับ MIE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และในช่วงขณะออกกำลังกาย 40 นาที ร้อยละอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน HIIE+MIE แตกต่างกับ MIE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง HIIE และ HIIE+MIE ทั้ง 2 ช่วงเวลา สำหรับช่วงภายหลังการออกกำลังกาย 10 นาที ร้อยละอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน HIIE+MIE แตกต่างกับ MIE และ HIIE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ช่วงภายหลังการออกกำลังกาย 20 และ 30 นาที ร้อยละอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน HIIE และ HIIE + MIE แตกต่างกับ MIE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง HIIE และ HIIE + MIE ทั้ง 2 ช่วงเวลา

นอกจากนี้ ระดับการรับรู้ความเจ็บปวด ก่อนการออกกำลังกาย ภายหลังการออกกำลังกาย ภายหลัง 24 ชั่วโมง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ก่อนการออกกำลังกาย ภายหลังการออกกำลังกาย จนถึงภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แสดงว่าไม่มีอาการระบมของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย



อภิปรายผลการวิจัย

อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน โดยการเปรียบเทียบระหว่าง 3 โปรแกรม จากตารางที่ 2 พบว่า ในขณะการออกกำลังกาย 20 นาที จะเห็นได้ว่าโปรแกรม HIIE และ HIIE + MIE มีการใช้แหล่งพลังงานคาร์โบไฮเดรตสูงมากกว่า MIE ในขณะที่ MIE จะมีการใช้แหล่งพลังงานจากไขมันมากกว่าโปรแกรม HIIE และ HIIE+MIE เนื่องจากการที่โปรแกรม HIIE และ HIIE+MIE มีการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตสูงกว่านั้น เนื่องจากลักษณะของการออกกำลังกายที่มีความหนักระดับสูงต้องการพลังงานอย่างรวดเร็ว ซึ่งมาจากกระบวนการ glycolysis หรือการสลายคาร์โบไฮเดรตในระบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) เพื่อสร้างพลังงานทันที (Gunderson, Wehmeyer, Burnett, Nauman, Hartzell, & Savage, 1996; Laforgia, Withers, & Gore, 2006). ในช่วงที่กล้ามเนื้อต้องทำงานหนักอย่างต่อเนื่อง ระบบ ATP-PCr และ glycolysis เป็นแหล่งพลังงานหลักที่สามารถตอบสนองได้เร็วกว่าไขมัน ซึ่งต้องใช้เวลาและออกซิเจนในการเผาผลาญ (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2005) ในทางตรงกันข้าม โปรแกรม MIE ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง มีการเผาผลาญไขมันสูงกว่า เนื่องจากการออกกำลังกายระดับนี้ทำให้ร่างกายใช้ระบบแอโรบิกเป็นหลัก ระบบแอโรบิกสามารถดึงไขมันมาใช้เป็นแหล่งพลังงานผ่านกระบวนการ beta-oxidation ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Holloszy, 2008) นอกจากนี้ การออกกำลังกายที่ความหนักปานกลางยังไม่ก่อให้เกิดการสะสมของแลคเตทในกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อสามารถเผาผลาญไขมันได้อย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ แอสโตรโน และคณะ (Astorino et al., 2016) พบว่า การออกกำลังกายแบบ HIIE มีการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลัก ในขณะการออกกำลังกาย เนื่องจากการทำงานที่หนักและต้องการพลังงานอย่างรวดเร็ว และเจल्लीแมน และคณะ (Jelleyman et al., 2015) พบว่า การฝึกแบบ HIIE ช่วยกระตุ้นการเผาผลาญกลูโคสและความไวของอินซูลิน ได้ดีกว่าการออกกำลังกายแบบความหนักปานกลาง (MIE) ซึ่งสัมพันธ์กับการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลักระหว่าง HIIE ในขณะเดียวกัน การฝึก MIE มีแนวโน้มที่จะเพิ่มการเผาผลาญไขมันในระหว่างการออกกำลังกายมากกว่า

ในขณะการออกกำลังกาย 40 นาที จะเห็นได้ว่าโปรแกรม HIIE + MIE ใช้ไขมันเพิ่มมากขึ้น มีการใช้ไขมันมากกว่าโปรแกรม MIE และมากกว่าช่วง 20 นาทีแรก ทั้งนี้เนื่องจากการออกกำลังกายแบบ HIIE ในช่วงแรกทำให้เกิดการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตสูงในระบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic glycolysis) ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของแลคเตท (lactate) และระดับพลังงานโดยเฉพาะ glucose และ glycogen ต่ำในเซลล์กล้ามเนื้อ หลังจากนั้น เมื่อเข้าสู่การออกกำลังกายที่ความหนักปานกลาง (MIE) ในช่วง 20 นาทีหลัง ร่างกายจะเริ่มปรับสถานะโดยอาศัยระบบพลังแอโรบิก (aerobic metabolism) ซึ่งช่วยเพิ่มเผาผลาญไขมันได้มากขึ้น และการออกกำลังกายแบบ HIIE ในช่วงแรกทำให้หลอดเลือดขยายตัวและเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้ออย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้กล้ามเนื้อได้รับออกซิเจนเพิ่มขึ้นในช่วง MIE ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเผาผลาญไขมันผ่านกระบวนการ Beta-Oxidation (Astorino et al., 2016) ซึ่งสอดคล้องกับ โบโรวีก และคณะ (Borowik et al., 2020) ที่พบว่า การปั่นจักรยานแบบหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูงก่อนตามด้วยการออกกำลังกายที่ระดับปานกลาง โดยการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาที่ความหนักระดับสูงมีผลทำให้มีการลดลงของการสะสมไกลโคเจน ซึ่งอาจทำให้ช่วงที่การออกกำลังกายที่ระดับปานกลางมีการใช้ไขมันได้เพิ่มมากขึ้น ในช่วงปั่นจักรยานที่ความหนักปานกลาง

ภายหลังการออกกำลังกาย 10 นาทีแรก จะเห็นได้ว่าโปรแกรม HIIE และโปรแกรม MIE ใช้คาร์โบไฮเดรตมากกว่า โปรแกรม HIIE+MIE แต่โปรแกรม HIIE+MIE ใช้ไขมันมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการออกกำลังกายแบบ HIIE ทำให้เกิดการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักในช่วงการออกกำลังกาย และส่งผลให้ร่างกายอยู่ในสภาวะพลังงานลดต่ำลง หลังจากการออกกำลังกายเสร็จสิ้น (Laforgia et al., 2006) ในทางกลับกัน โปรแกรม HIIE+MIE ทำให้อวัยวะมีการใช้คาร์โบไฮเดรตในช่วงแรก (HIIE) และตามด้วยการออกกำลังกายความหนักระดับปานกลาง (MIE) ซึ่งช่วยให้ร่างกายสามารถเปลี่ยนไปใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานในระหว่างการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Jelleyman et al., 2015) และในช่วงการออกกำลังกายแบบ HIIE ทำให้ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ในช่วงฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย ร่างกายจำเป็นต้องเปลี่ยนไปใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทน (Keating, Johnson, Mielke, & Coombes, 2017) ในขณะที่การออกกำลังกายแบบ MIE ไม่ได้ทำให้ไกลโคเจนลดลงอย่างรวดเร็วเท่ากับ HIIE จึงยังมีการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานในช่วงหลังการออกกำลังกาย และอีกเหตุผลหนึ่งอาจเกิดจากช่วงการออกกำลังกาย HIIE มีการสร้างแลคเตทในกล้ามเนื้อจำนวนมาก และตามด้วยการออกกำลังกาย MIE ช่วยเร่งกระบวนการ Lactate Clearance โดยใช้ไขมันเป็นพลังงานหลักในการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อและลดความเป็นกรดในเซลล์ (Brooks et al., 2005)

ภายหลังการออกกำลังกาย 20 นาที และ 30 นาที จะเห็นได้ว่าโปรแกรม MIE ใช้คาร์โบไฮเดรตมากกว่า โปรแกรม HIIE และโปรแกรม HIIE + MIE แต่โปรแกรม HIIE และโปรแกรม HIIE + MIE ใช้ไขมันมากกว่า ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าในช่วง 20 และ 30 นาทีหลังการออกกำลังกาย โปรแกรม HIIE และ HIIE + MIE ทำให้การใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานหลัก ในขณะที่โปรแกรม MIE ยังคงมีการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลัก กลไกที่สามารถอธิบายประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ อาจเนื่องมาจากการออกกำลังกายแบบ HIIE และ HIIE+MIE มีความหนักสูง ซึ่งทำให้เกิดการใช้พลังงานในระบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) ส่งผลให้เกิดการสะสมของแลคเตท และความต้องการฟื้นฟูพลังงานหลังการออกกำลังกาย (Laforgia et al., 2006) ในช่วงการฟื้นตัว 20 และ 30 นาทีหลังการออกกำลังกาย ร่างกายจึงต้องการออกซิเจนเพิ่มเติมเพื่อฟื้นฟูระบบพลังงานและขจัดแลคเตท กระบวนการนี้เรียกว่า Excess Post-Exercise Oxygen Consumption (EPOC) ซึ่งใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานหลักในการฟื้นฟูสมดุลของร่างกาย (Keating et al., 2017) การออกกำลังกายแบบ HIIE ทำให้ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อหมดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการใช้พลังงานในระบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ต้องอาศัยคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก (Astorino et al., 2016) เมื่อเข้าสู่ช่วงการฟื้นตัว ร่างกายจึงเปลี่ยนไปใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทน ในขณะที่โปรแกรม MIE ซึ่งเป็นการออกกำลังกายความหนักปานกลาง ไม่ได้ทำให้ไกลโคเจนหมดลงอย่างรวดเร็ว ร่างกายจึงยังคงใช้คาร์โบไฮเดรตในการฟื้นตัว และ HIIE และ HIIE + MIE กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน Catecholamines ซึ่งช่วยกระตุ้นการสลายไขมัน (lipolysis) ทำให้กรดไขมันอิสระถูกปล่อยเข้าสู่กระแสเลือด (Jelleyman et al., 2015) ในช่วงการฟื้นตัว ร่างกายจะใช้ไขมันเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานหลัก นอกจากนี้ การออกกำลังกาย HIIE ทำให้เกิดการสะสมของแลคเตท การตามด้วย MIE ในโปรแกรม HIIE+MIE ช่วยเร่งกระบวนการขจัดแลคเตท ซึ่งใช้ไขมันเป็นพลังงานในการฟื้นฟู (Brooks et al., 2005)

นอกจากนี้จากการวัดระดับการรับรู้ความเจ็บปวดแสดงให้เห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอาการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกายทันทีและหลัง 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้การออกกำลังกายในน้ำช่วยลดอาการระบมของกล้ามเนื้อ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำประกอบด้วย แรงลอยตัวของน้ำ ช่วยลดแรงกระทำที่กระทำต่อข้อต่อและกล้ามเนื้อ แรงต้านของน้ำช่วยให้การวิ่งในน้ำเพิ่มการเผาผลาญพลังงาน เนื่องด้วย



ความหนาแน่นและความหนืดของน้ำสร้างแรงต้านขณะทำการเคลื่อนไหว อุณหภูมิของน้ำในขณะออกกำลังกายที่มีความหนักสูง อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมของน้ำอยู่ในช่วง 26 – 29 องศาเซลเซียส ซึ่งมีส่วนช่วยให้ร่างกายระบายความร้อนได้ดีขึ้นระหว่างการออกกำลังกาย (Becker, 2009; Ratree Ruangthai, 2020)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายหนักสลับเบาที่มีความหนักระดับสูงตามด้วยความหนักระดับปานกลางในน้ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ชายอ้วนได้ โดยมีการอัตราการเผาผลาญไขมันได้ดีกว่าและไม่ก่อให้เกิดการระบมของกล้ามเนื้อ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างจำนวนน้อยและศึกษาเฉพาะเพศชาย ควรเพิ่มจำนวนและมีการศึกษาในเพศหญิงในอนาคต
2. ควรมีการศึกษาระยะยาวต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของร่างกายและน้ำหนักตัว

References

- Aquatic Exercise Association (AEA). (2018). *Aquatic fitness professional manual (7th ed.)*. Illinois, Human Kinetics.
- Astorino, T. A., Schubert, M. M., Palumbo, E., Stirling, D., McMillan, D. W., Gallant, R., & Dewoskin, R. (2016). Perceptual changes in response to two regimens of interval training in sedentary women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(4), 1067-1076.
- Becker, B. E. (2009). Aquatic therapy: Scientific foundations and clinical rehabilitation applications. *American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation*, 1(9), 859-872. doi:10.1016/j.pmrj.2009.05.017
- Blaak, E. E., & Saris, W. H. (2002). Substrate oxidation, obesity and exercise training. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 16(4), 667-678. doi:10.1053/beem.2002.0226
- Borowik, A., Chacaroun, S., Tessier, D., Doutreleau, S., Verges, S., & Flore, P. (2020). A short bout of high-intensity intermittent exercise before moderate-intensity prolonged exercise as a mean to potentiate fat oxidation ? *Journal of Sports Sciences*, 38(9), 1046–1052. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1740478>
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. M. (2005). *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications (5th ed.)*. New York: McGraw-Hill.
- Dumortier, M., Brandou, F., Perez-Martin, A., Fedou, C., Mercier, J., & Brun, J. F. (2003). Low intensity endurance exercise targeted for lipid oxidation improves body composition and insulin sensitivity in patients with the metabolic syndrome. *Diabetes & Metabolism*, 29(5), 509-518. doi:10.1016/s1262-3636(07)70065-4



- Frayn, K. N. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology*, 55(2), 628-634. doi:10.1152/jappl.1983.55.2.628
- Galgani, J., & Ravussin, E. (2011). Principles of Human Energy Metabolism. In: Ahima, R. (eds) *Metabolic Basis of Obesity*. New York: Springer.
- Gratas-Delamarche, A., Le Cam, R., Delamarche, P., Monnier, M., & Koubi, H. (1994). Lactate and catecholamine responses in male and female sprinters during a Wingate test. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(4), 362-366. doi:10.1007/BF00571458
- Gunderson, H., Wehmeyer, N., Burnett, D., Nauman, J., Hartzell, C., & Savage, S. (1996). Exercise and exhaustion effects on glycogen synthesis pathways. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2020-2026.
- Heydari Armaki, R., Abbasnia, K., & Motealleh, A. (2020). Comparison of Trunk Flexion Proprioception Between Healthy Athletes and Athletes with Patellofemoral Pain. *Journal of sport rehabilitation*, 30(3), 430-436. Retrieved from <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0369>
- Holloszy, J. (2008). Regulation by exercise of skeletal muscle content of mitochondria and GLUT4. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 59(7), 5-18.
- Jelleyman, C., Yates, T., O'Donovan, G., Gray, L. J., King, J. A., Khunti, K., & Davies, M. J. (2015). The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obesity reviews*, 16(11), 942-961.
- Keating, S. E., Johnson, N. A., Mielke, G. I., & Coombes, J. S. (2017). A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obesity reviews*, 18(8), 943-964.
- Laforgia, J., Withers, R. T., & Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1247-1264. doi:10.1080/02640410600552064
- Lerman, B. B., Gorlin, R., & Hollander, G. (1976). Modification of the Bruce protocol for exercise stress testing in patients with limited exercise capacity. *American Heart Journal*, 91(6), 731-736.
- Ratree Ruangthai. (2020). *Aquatic exercise*, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus. Nakhon Pathom.
- Schaun, G. Z., Pinto, S. S., Praia, A. B. C., & Alberton, C. L. (2018). Energy expenditure and EPOC between water-based high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training sessions in healthy women. *Journal of Sports Sciences*, 36(18), 2053-2060. doi:10.1080/02640414.2018.1435967



Vichai Aekplakorn. (2021). *The sixth Thai national health examination survey 2019–2020*.

Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University.

Whyte, L. J., Ferguson, C., Wilson, J., Scott, R. A., & Gill, J. M. (2013). Effects of single bout of very high-intensity exercise on metabolic health biomarkers in overweight/obese sedentary men. *Metabolism*, 62(2), 212-219. doi:10.1016/j.metabol.2012.07.019

Received: 2025, February 26

Revised: 2025, April 17

Accept: 2025, April 22