

ผลของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อการใช้พลังงาน
และการตอบสนองทางสรีรวิทยาในนักศึกษาชาย
EFFECTS OF GROUP-BASED RHYTHMIC WEIGHT TRAINING ON ENERGY EXPENDITURE
AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES IN MALE UNIVERSITY STUDENTS

ธีรภัทร สงวนธิ¹ ศักดิ์สิทธิ์ ทองเอกรัตน์¹ กิตติศักดิ์ โพธิ์ศิริ¹ รฐนันท์ หอมบุญมา¹
อภิชาติ ถาวรณา¹ วรเมธ ประจงใจ¹ และ อิสราภรณ์ เลิศวงศ์หัตถกุล^{1*}

Teerapat Sanguanthi¹, Saksit Thongekarat¹, Kittisak Phosiri¹, Rattanun Hombunma¹,
Apichat tavornna¹, Vorramate Prajongjai¹ and Isarabhorn Lertwonghattakul^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร

¹Department of Sports Science and Exercise, Faculty of Sciences, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok

*Corresponding Author: isarabhorn.l@chandra.ac.th

Received: February 10, 2026

Revised: March 11, 2026

Accepted: March 17, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ระหว่างการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะ และ 2) ประเมินระดับความหนักของการออกกำลังกายดังกล่าวตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาของวิทยาลัยแพทยศาสตรการกีฬาอเมริกัน (ACSM) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาเพศชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ชั้นปีที่ 3 จำนวน 24 คน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย โปรแกรมการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะ จำนวน 10 เพลง รวมระยะเวลา 80 นาที โดยอัตราส่วนการฝึกต่อการพักเท่ากับ 2 : 1 และชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซแบบพกพา ร่วมกับอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบสายคาดอก วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ตลอดช่วงการออกกำลังกาย กลุ่มตัวอย่างมีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย (EEavg) เท่ากับ 6.11 ± 0.77 กิโลแคลอรีต่อนาที ปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดระยะเวลาการออกกำลังกายประมาณ 80 นาที เท่ากับ 488.92 ± 61.49 กิโลแคลอรี ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย (VO₂) เท่ากับ 16.20 ± 3.41 มล./กก./นาที อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (HRavg) เท่ากับ 123.91 ± 8.52 ครั้งต่อนาที เมื่อคำนวณเป็นร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%HRmax) = 64.31 ± 4.53 % ซึ่งสามารถจัดระดับความหนักของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะในงานวิจัยนี้ให้อยู่ในระดับปานกลางตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาของ ACSM สรุปผลการวิจัย การออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะระยะเวลา 80 นาที ก่อให้เกิดการใช้พลังงานและการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดในระดับปานกลางตามเกณฑ์ ACSM ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนการพัฒนสมรรถภาพทางกายและการส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มนักศึกษาได้

คำสำคัญ: การออกกำลังกายแบบกลุ่ม, การยกน้ำหนักประกอบจังหวะ, การใช้พลังงาน, อัตราการเต้นของหัวใจ, ปริมาณการใช้ออกซิเจน

Abstract

The objectives of this research were 1) to investigate energy expenditure, oxygen consumption, and heart rate during group-based rhythmic weight training, and 2) to evaluate the exercise intensity based on the physiological criteria of the American College of Sports Medicine (ACSM). The participants were 24 third-year male students majoring in Sports Science and Exercise at Chandrakasem Rajabhat University, selected via purposive sampling. The research instruments included a group-based rhythmic weight training program consisting of 10 tracks with a total duration of 80 minutes (work-to-rest ratio of 2 : 1), and a portable

gas analysis system combined with a chest-strap heart rate monitor. Data were analyzed using mean and standard deviation. The results revealed that during the exercise session, the participants demonstrated an average energy expenditure (EE) of 6.11 ± 0.77 kcal/min, with a total energy expenditure over the approximately 80-minute exercise duration of 488.92 ± 61.49 kcal. The average oxygen consumption (VO_2) was 16.20 ± 3.41 ml/kg/min. The average heart rate (HR) recorded during the activity was 123.91 ± 8.52 bpm, which corresponded to $64.31 \pm 4.53\%$ MHR. Based on the physiological criteria of the American College of Sports Medicine (ACSM), the intensity of the group-based rhythmic weight training in this study was classified as moderate intensity. Conclusion: Continuous group-based rhythmic weight training performed for 80 minutes effectively stimulated energy expenditure and cardiovascular responses at an appropriate level. According to ACSM guidelines, this activity can be classified as moderate-intensity exercise. These findings suggest that rhythmic weight training can be effectively applied in physical fitness development courses and health promotion programs for university students.

Keywords: Group-based exercise, Rhythmic weight training, Energy expenditure, Heart rate, Oxygen consumption

บทนำ

ปัจจุบันการออกกำลังกายแบบกลุ่ม (Group-based Exercise) ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอันเนื่องมาจากการส่งเสริมแรงจูงใจ ความเพลิดเพลินและความสม่ำเสมอในการออกกำลังกายได้มากกว่าการออกกำลังกายแบบเดี่ยว อีกทั้งบรรยากาศของการออกกำลังกายแบบกลุ่มช่วยให้ผู้เข้าร่วมได้พบปะและทำกิจกรรมร่วมกับผู้อื่นซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยสนับสนุนการคงอยู่ของพฤติกรรมในการออกกำลังกายในระยะยาว ด้วยเหตุนี้ โปรแกรมการออกกำลังกายแบบกลุ่มจึงถูกนำมาใช้เป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมกิจกรรมทางกายในประชากรวัยผู้ใหญ่และมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมฟิตเนสทั่วโลก นอกจากนี้ โปรแกรมออกกำลังกายแบบกลุ่มในปัจจุบันส่วนใหญ่มีการผสมผสานลักษณะของการฝึกแบบแอโรบิกและการฝึกด้วยแรงต้านเข้าด้วยกัน ทำให้ร่างกายได้รับการกระตุ้นทั้งจากการเคลื่อนไหวที่ต่อเนื่องส่งผลต่อระบบหายใจไหลเวียนโลหิตและจากแรงต้านที่ใช้ในการฝึกกล้ามเนื้อ ส่งผลให้การตอบสนองทางสรีรวิทยาแตกต่างจากการฝึกแบบแยกประเภท ซึ่งมักเน้นพัฒนาสมรรถภาพเพียงด้านใดด้านหนึ่ง (Harvey, 2012)

ในบรรดารูปแบบการออกกำลังกายแบบกลุ่ม รูปแบบหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายคือ การออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะ (Group-based Rhythmic Weight Training) ซึ่งเป็นการผสมผสานการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเข้ากับจังหวะดนตรี โดยมีลักษณะการเคลื่อนไหวต่อเนื่องตามเพลงรวมกับการใช้อุปกรณ์ยกน้ำหนัก เช่น บาร์เบลและแผ่นน้ำหนัก เป็นต้น รูปแบบการฝึกดังกล่าวมักใช้แรงต้านในระดับต่ำถึงระดับปานกลางร่วมกับจำนวนครั้งของการทำซ้ำด้วยความหนักที่สูง (High Repetition, Low-to-moderate Load) และในการฝึกหนึ่งครั้งอาจมีจำนวนการเคลื่อนไหวสะสมที่มากและครอบคลุมกลุ่มกล้ามเนื้อมัดหลักเกือบทุกส่วนของร่างกาย ส่งผลให้เกิดปริมาณงานฝึก (Training Volume) ในระดับสูง ซึ่งเอื้อต่อการกระตุ้นการปรับตัวของระบบเมตาบอลิซึม พร้อมทั้งมีศักยภาพในการพัฒนาความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อควบคู่กับพัฒนาความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนไปพร้อมกัน (Zehsaz & Farhangi, 2024) ส่งผลให้การออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะสามารถพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ เพิ่มการใช้พลังงานและการควบคุมน้ำหนักภายในกิจกรรมเดียววันเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพในหลายด้าน อย่างไรก็ตาม แม้กิจกรรมนี้จะถูกใช้อย่างกว้างขวางในเชิงพาณิชย์ แต่ข้อมูลเชิงประจักษ์ด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาในขณะปฏิบัติจริงยังคงมีอยู่อย่างจำกัด โดยงานวิจัยส่วนใหญ่มักเน้นการประเมินผลภายหลังสิ้นสุดโปรแกรมการฝึก หรือใช้การประมาณค่าทางอ้อม เนื่องจากลักษณะของกิจกรรมมีการแบ่งเป็นช่วง (Track-based) และมีความหนักเปลี่ยนแปลงตามท่าฝึกและจังหวะเพลง ซึ่งการประมาณค่าทางอ้อมหรือการวัดผลหลังสิ้นสุดโปรแกรมจึงอาจไม่เพียงพอต่อการสะท้อนการตอบสนองทางสรีรวิทยาอย่างครบถ้วนได้ ส่งผลให้งานวิจัยในปัจจุบันให้ความสำคัญกับการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาแบบต่อเนื่องระหว่างการออกกำลังกาย ซึ่งสามารถสะท้อนการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต ระบบเมตาบอลิซึม และระดับความหนักของกิจกรรมได้อย่างสอดคล้องกับลักษณะการฝึกจริง

ในทางสรีรวิทยา การประเมินปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Expenditure) และระดับความหนักของกิจกรรม จำเป็นต้องอาศัยการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) แบบต่อเนื่อง เนื่องจากกระบวนการสร้างพลังงานในระบบแอโรบิกเกิดจากการใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณพลังงานที่ถูกสร้างขึ้น ในเชิงปริมาณ การใช้ออกซิเจน 1 ลิตร สามารถประมาณค่าพลังงานได้ประมาณ 4.8–5.0 กิโลแคลอรี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการใช้สารอาหารและค่า RER (American College of Sports Medicine, 2021) ดังนั้น เมื่อสามารถวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกายในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างแม่นยำจึงสามารถนำค่าดังกล่าวมาใช้คำนวณปริมาณการใช้พลังงานและประเมินระดับความหนักของการออกกำลังกายได้โดยตรง ด้วยเหตุนี้การวัดปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ก๊าซหายใจเข้า-ออก (Indirect Calorimetry) จึงถูกยอมรับว่าเป็นวิธีมาตรฐาน (Gold Standard) ในการประเมินการใช้พลังงาน เนื่องจากสามารถสะท้อนการทำงานของระบบเมตาบอลิซึมแบบเวลาจริง (Real Time) ทั้งในสภาวะพักและระหว่างการออกกำลังกายรวมถึงการระบุค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max} หรือ VO_{2peak}) ซึ่งสะท้อนถึงระดับสมรรถภาพเชิงแอโรบิก สอดคล้องกับ Mitchell et al. (2024) ที่ระบุว่าการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) ด้วยการวิเคราะห์ก๊าซเป็นวิธีที่มาตรฐานในการประเมินการใช้พลังงานจากการฝึกแรงต้านและการฝึกแบบผสมผสาน

นอกจากนี้ การพิจารณาค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) ซึ่งบ่งชี้ถึงความต้องการพลังงานของระบบเมตาบอลิซึม ร่วมกับการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) ที่ใช้ประเมินการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต ช่วยให้สามารถอธิบายภาพรวมของทางสรีรวิทยาได้อย่างครอบคลุม จากการศึกษาวิจัยพบว่าค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) และอัตราการเต้นของหัวใจ (HR) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการใช้พลังงานและสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการทำงานของระบบเมตาบอลิซึมระหว่างการฝึกด้วยแรงต้านได้อย่างเหมาะสม (Adeel et al., 2021) ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซเพื่อคำนวณปริมาณการใช้พลังงานตลอดทั้งกิจกรรมร่วมกับอัตราการเต้นของหัวใจ จึงเป็นวิธีการที่ช่วยประเมินระดับความหนักที่ร่างกายใช้ในขณะทำกิจกรรมได้ทั้งในเชิงระบบเมตาบอลิซึมและระบบไหลเวียนโลหิต สอดคล้องกับ Seo et al. (2025) พบว่าการใช้ตัวแปรทั้งสองร่วมกันสามารถเพิ่มความแม่นยำในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานและระดับความหนักของการออกกำลังกายได้มากกว่าการใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียว

นอกเหนือจากการประเมินปริมาณการใช้พลังงานแล้ว การระบุระดับความหนักของการออกกำลังกายอย่างเหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่วัดได้จริงกับขีดจำกัดสูงสุดเฉพาะบุคคล (Individual Peak Values) ซึ่งดีกว่าการพิจารณาค่าความหนักสัมบูรณ์ (Absolute Intensity) เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากบุคคลที่มีระดับสมรรถภาพทางกายที่แตกต่างกันอาจมีการตอบสนองต่อกิจกรรมเดียวกันในระดับความหนักที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยด้านสรีรวิทยาการออกกำลังกายจึงให้ความสำคัญกับการประเมินระดับความหนักผ่านร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่วัดได้จริงในขณะออกกำลังกาย ($\%HR_{peak}$) และร้อยละของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จริงในขณะออกกำลังกาย ($\%VO_{2peak}$) ตามเกณฑ์ของ American College of Sports Medicine (ACSM, 2021) และจากการศึกษาของ Swain et al. (1994) กล่าวว่า การใช้เกณฑ์ร้อยละดังกล่าวช่วยให้สามารถเปรียบเทียบระดับความหนักของการฝึกในกลุ่มตัวอย่างที่มีระดับสมรรถภาพแตกต่างกันได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับ Browne et al. (2020) ที่พบว่าการจัดระดับความหนักของการออกกำลังกายระดับปานกลางและหนักสามารถอธิบายได้โดยค่าสัดส่วนของร้อยละอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดและร้อยละของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งเป็นตัวชี้วัดทางสรีรวิทยาที่ใช้ในเกณฑ์ของ ACSM และใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินความหนักของโปรแกรมฝึกต่าง ๆ ดังนั้นการประเมินในลักษณะนี้จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการจำแนกได้ว่า กิจกรรมการออกกำลังกายยกน้ำหนักประกอบจังหวะ สอดคล้องกับระดับความหนักเบา ปานกลาง หรือหนักในการออกกำลังกาย ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการกำหนดขนาดของการฝึกให้มีความแม่นยำ ปลอดภัย และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดตามเป้าหมายของการพัฒนาสมรรถภาพทางกายในกลุ่มเป้าหมาย

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น การออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการขาดการออกกำลังกายหรือการออกกำลังกายที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพและสมรรถภาพทางกาย โดยเฉพาะในกลุ่มนักศึกษาและวัยทำงาน งานวิจัยที่ผ่านมาได้ชี้ให้เห็นว่า การออกกำลังกายรูปแบบนี้สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความทนทานของระบบหัวใจและหลอดเลือด อีกทั้งยังช่วยลดความเครียดและสร้างแรงจูงใจได้มากกว่าการออกกำลังกายแบบเดี่ยว เนื่องจากมีบรรยากาศที่สนุกสนานและการสนับสนุนจากสมาชิกในกลุ่ม (Redwine et al., 2019) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นไปที่ผลต่อสมรรถภาพร่างกาย เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle Strength) หรือองค์ประกอบร่างกาย (Body Composition) แต่ยังคงขาดข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการใช้พลังงาน (Energy Expenditure: EE), การใช้ออกซิเจน (VO_2) และการตอบสนองของอัตราการเต้นหัวใจ (Heart

Rate: HR) โดยเฉพาะในกลุ่มนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกายที่อาจมีสมรรถภาพทางกายแตกต่างกันจากบุคคลทั่วไป การออกกำลังกายลักษณะนี้ใช้พลังงานจากทั้งระบบแอโรบิก (Aerobic System) และแอนแอโรบิก (Anaerobic System) โดยขึ้นอยู่กับลักษณะท่าฝึกและช่วงเวลาในแต่ละ Track ระบบพลังงานแอโรบิกมีบทบาทในช่วงการฝึกที่ความหนักปานกลางและใช้เวลานาน เช่น การทำซ้ำต่อเนื่องหลายครั้ง ขณะที่ระบบพลังงานแอนแอโรบิกมีบทบาทในช่วงที่ใช้แรงสูงและระยะเวลาสั้น เช่น การยกน้ำหนักในช่วงต้นของเซต (Stanforth et al., 2000)

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Expenditure) ปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) และอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) ระหว่างการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะในนักศึกษาชาย และ 2) จำแนกระดับความหนักของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะ โดยอาศัยเกณฑ์ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่วัดได้จริงในการออกกำลังกาย (%HRpeak) และร้อยละของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (% VO_{2peak}) ตามแนวทางของ ACSM ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลด้านสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของกิจกรรมในด้านการควบคุมน้ำหนักและการใช้พลังงานของนักศึกษาชายไทย เพื่อเป็นแนวทางสำคัญในการประยุกต์ใช้กิจกรรมยกน้ำหนักประกอบจังหวะในการส่งเสริมสุขภาพและการสร้างเสริมสมรรถภาพทางกายในบริบทของสถานศึกษาอย่างเป็นระบบต่อไป โดยมีกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังนี้

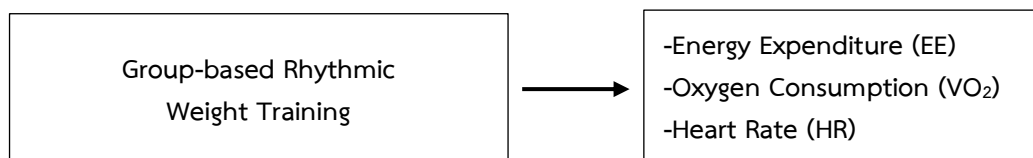


Figure 1. Research conceptual framework

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา SPSS2201 การออกกำลังกายแบบกลุ่มสมัยใหม่ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ จันทราเกษม จำนวนทั้งสิ้น 32 คน และไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยด้วยเหตุผลวิสัย จำนวน 8 คน จึงมีกลุ่มตัวอย่างในการเข้าร่วมวิจัย จำนวน 24 คน

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาเพศชาย ชั้นปีที่ 3 ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาดังกล่าว จำนวน 24 คน ซึ่งได้มาจากการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยพิจารณาตามเกณฑ์การคัดเลือกและเงื่อนไขการเข้าร่วมการวิจัยที่กำหนดไว้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เกณฑ์การคัดเลือกเข้าร่วมการวิจัย (Inclusion Criteria)

ผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. เป็นนักศึกษาเพศชาย ชั้นปีที่ 3 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา SPSS2201 การออกกำลังกายแบบกลุ่มสมัยใหม่ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567
2. มีการออกกำลังกายด้วยแรงต้านอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ ในระยะเวลา 3 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัย
2. มีทักษะพื้นฐานในการฝึกยกน้ำหนักหรือผ่านการฝึกซ้อมท่าทาง (Movement Technique) ที่ใช้ในการออกกำลังกายแบบยกน้ำหนักประกอบจังหวะแล้ว เพื่อความปลอดภัยระหว่างการทดสอบ
3. ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยสมัครใจ และลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกรอกจากการวิจัย (Exclusion Criteria)

ผู้เข้าร่วมจะถูกคัดออกจากการศึกษา หากมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. มีโรคประจำตัวหรือภาวะทางสุขภาพที่เป็นข้อห้ามต่อการออกกำลังกาย

2. มีประวัติการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ (Musculoskeletal Injury) เช่น หลัง ไหล่ หรือเข่า ภายในระยะเวลา 3 เดือนก่อนการทดสอบ

3. อยู่ระหว่างการรับประทานยาที่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจหรือระบบเผาผลาญพลังงาน

4. สูบบุหรี่หรือบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์อย่างสม่ำเสมอ (≥ 2 ครั้ง/สัปดาห์)

5. ขอลถอนตัวจากการเข้าร่วมการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. โปรแกรมการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะ (Group-Based Rhythmic Weight Training; Track 133) ซึ่งพัฒนาโดยผู้วิจัย ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

(1) Warm-up: เพลงที่ 1 มีค่าจังหวะเพลงโดยเฉลี่ย 125 – 130 bpm

(2) Main Exercise: เพลงที่ 2–9 ครอบคลุมกลุ่มกล้ามเนื้อหลัก เช่น หน้าอก (Chest), หลัง (Back), ขา (Squat, Lunges), ไหล่ (Shoulders) และลำตัว (Core) มีค่าจังหวะเพลงโดยเฉลี่ย 135 – 140 bpm

(3) Cool-down: เพลงที่ 10 มีค่าจังหวะเพลงโดยเฉลี่ย 125 – 130 bpm

โปรแกรมดังกล่าวมีระยะเวลาการฝึกทั้งหมดประมาณ 50 นาที เมื่อรวมช่วงพัก จะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 80 นาที โดยมีอัตราส่วนการฝึกต่อการพักเท่ากับ 2 : 1 นอกจากนี้ โปรแกรมการฝึกได้ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และมีค่า Item–Objective Congruence Index เท่ากับ 1.00

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกประกอบด้วย

- บาร์เบล (Barbell)

- แผ่นน้ำหนัก (Weight plate) ขนาด 2.5–10 กิโลกรัม

- แท่นสเต็ป (Bench Step)

โดยกำหนดน้ำหนักที่ใช้ในแต่ละเพลงให้เป็นมาตรฐานเดียวกันสำหรับผู้เข้าร่วมทุกคน เพื่อควบคุมรูปแบบและปริมาณการฝึกให้มีความสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผู้เข้าร่วมมีระดับสมรรถภาพทางกายแตกต่างกัน ความหนักสัมพัทธ์ของการออกกำลังกายจึงอาจแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้การวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจแบบต่อเนื่อง เพื่อประเมินระดับความหนักทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นจริงระหว่างการฝึก

Table 1. Exercise protocol, target muscle groups, and duration of each track during group-based rhythmic weight training

Format: Group-based rhythmic weight training

Number of Tracks: 10 tracks

Total Duration: Approximately 80 minutes including rest (work-to-rest ratio = 2 : 1)

Training Frequency: One session for data collection

Track	Name	Target Muscle Groups	Duration (min)
01	Warm-up	Full body	5.43
02	Squat	Legs (Quadriceps), Glutes	5.11
03	Chest	Pectoral muscles	5.20
04	Back	Back, Glutes, Hamstrings	5.25
05	Triceps	Triceps brachii	5.00
06	Biceps	Biceps brachii	5.00
07	Lunges	Legs, Glutes, Quadriceps, Hamstrings	5.17
08	Shoulders	Deltoid muscles	5.55
09	Core	Abdominals, Obliques	5.00
10	Cool-down	Full body	3.31
Total Active Exercise Time			50.02

* The total active exercise time across all tracks was 50.02 minutes. When including rest intervals based on a 2:1 work-to-rest ratio, the total session duration was approximately 80 minutes.

Equipment and Load Specifications

Participants performed all exercises using standardized external loads as follows:

Barbell: 5 kg per side - Tracks 07, and 09

Barbell: 15 kg per side - Track 02

Barbell: 10 kg per side - Tracks 03 and 04

Weight plate: 5 kg per side - Tracks 05, 06 and 08

All participants used the same prescribed loads to ensure consistency of exercise intensity during physiological measurements.



Figure 2. Data collection during group-based rhythmic weight training using portable gas analysis equipment

3. ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซแบบพกพา VO₂ Master Portable Metabolic Analyzer สำหรับวัด

- ปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO₂)
- อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate)

ซึ่งเป็นอุปกรณ์แบบไร้สาย (Wireless) มีระบบปรับเทียบอัตโนมัติ (Auto-calibration) และมีน้ำหนักประมาณ 180 กรัม (Montoye et al., 2020) มีการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ (Test – retest Reliability Correlation > 0.96)

การวัดอัตราการเต้นของหัวใจใช้อุปกรณ์แบบสายคาดอก (Polar Heart Rate Sensor H10) เชื่อมต่อกับระบบของเครื่อง VO₂ Master ผ่านแอปพลิเคชัน VO₂ Master Manager โดยใช้แท็บเล็ต (iPad) เป็นอุปกรณ์สำหรับแสดงผลและบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่องตลอดช่วงการออกกำลังกาย มีการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ ($r = 0.96$, $ICC = 0.95$)

ค่าปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Expenditure) ใช้การคำนวณหลังจากค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนที่วัดได้ร่วมกับน้ำหนักตัวของกลุ่มตัวอย่าง โดยการใช้ออกซิเจน 1 ลิตร เทียบเท่าพลังงานประมาณ 5 กิโลแคลอรี (American College of Sports Medicine, 2021) และใช้สมการ

$$\text{ค่าปริมาณการใช้พลังงาน (kcal/min)} = \text{VO}_2(\text{ml/kg/min}) \times \text{น้ำหนักตัว(kg)} \times 0.005 \quad \dots\dots\dots (1)$$

จากนั้นนำค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนต่ำสุด (VO₂min), ค่าเฉลี่ย (VO₂avg) และค่าสูงสุด (VO₂peak) ที่วัดได้ตลอดช่วงการออกกำลังกายมาคำนวณเป็นค่าปริมาณการใช้พลังงานต่ำสุด (EEmin), ค่าเฉลี่ย (EEavg) และค่าสูงสุด (EEmax) ตาม

สมการที่กำหนด สำหรับการคำนวณค่าปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดทั้งกิจกรรม (Total Energy Expenditure) ใช้วิธีนำค่าเฉลี่ย (EEavg) คูณด้วยระยะเวลาการออกกำลังกายทั้งหมด (80 นาที) เพื่อประมาณพลังงานที่ใช้ในหนึ่งคลาสของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ศึกษาหลักการ แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะ รวมถึงแนวทางการประเมินการตอบสนองทางสรีรวิทยา ได้แก่ ปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ และการใช้พลังงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดรูปแบบโปรแกรมการออกกำลังกายและตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา
2. จัดทำโปรแกรมการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะตามรูปแบบมาตรฐาน (Track-based Program) และนำโปรแกรมเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและความสอดคล้องของกิจกรรมกับวัตถุประสงค์การวิจัย (Item-Objective Congruence Index: IOC)
3. ดำเนินการเตรียมสถานที่ อุปกรณ์สำหรับการฝึก และอุปกรณ์วัดค่าทางสรีรวิทยา ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบพกพา และอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบสายคาดอก รวมถึงทำการตรวจสอบความพร้อมและเปรียบเทียบอุปกรณ์ตามคู่มือผู้ผลิตก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล
4. ชี้แจงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการวิจัย ระยะเวลา และรายละเอียดของกิจกรรมการออกกำลังกาย รวมถึงข้อควรระวังด้านความปลอดภัยให้กลุ่มตัวอย่างทราบ และให้ผู้เข้าร่วมลงนามในแบบแสดงความยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้เข้าร่วมสามารถถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกเมื่อโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลการเรียนหรือสิทธิใด ๆ
5. ในวันเก็บข้อมูล ผู้วิจัยติดตั้งอุปกรณ์วัดทางสรีรวิทยาให้กับกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างอบอุ่นร่างกายก่อนเริ่มการออกกำลังกาย
6. กลุ่มตัวอย่างปฏิบัติตามการออกกำลังกายตามโปรแกรมการยกน้ำหนักประกอบจังหวะ จำนวน 10 Tracks ประกอบด้วยช่วง Warm-up, Main Exercise (Tracks 2-9) และ Cool-down โดยมีอัตราส่วนการฝึกต่อการพักเท่ากับ 2 : 1 รวมระยะเวลาประมาณ 80 นาที ทั้งนี้มีการบันทึกค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ และการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงการออกกำลังกาย และถึงแม้ว่าโปรแกรมการออกกำลังกายจะเป็นรูปแบบการออกกำลังกายแบบกลุ่มตามโครงสร้างคลาสมาตรฐาน แต่เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดทางสรีรวิทยา ผู้วิจัยจึงดำเนินการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างเป็นรายบุคคล โดยให้แต่ละคนปฏิบัติตามการออกกำลังกายตามโปรแกรมเดียวกันทุกประการ
7. หลังสิ้นสุดกิจกรรมการออกกำลังกาย ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลจากระบบบันทึก และจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าทางสรีรวิทยาระหว่างการออกกำลังกาย ได้แก่ ปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ และปริมาณการใช้พลังงาน มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา โดยหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าสูงสุด-ต่ำสุด ของค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ และปริมาณการใช้พลังงาน ตลอดช่วงการออกกำลังกาย
2. คำนวณอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดจากสมการ $HR_{max} = 208 - (0.7 \times \text{Age})$ (Tanaka et al., 2001) จากนั้นคำนวณร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%HRmax) โดยใช้ค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดช่วงการออกกำลังกาย (HRavg) และใช้สมการ $\%HR_{max} = (HR_{avg} / \%HR_{max}) \times 100$
3. ประเมินระดับความหนักของการออกกำลังกายโดยอาศัยค่า %HRmax เพื่อสะท้อนระดับความหนักเฉลี่ยของกิจกรรมและจัดระดับความหนักตามเกณฑ์ของ American College of Sports Medicine (2021)

ผลการวิจัย

1. ข้อมูลลักษณะทางกายภาพพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 21.90 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.08 มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 78.04 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.36 และมีส่วนสูงเฉลี่ยเท่ากับ 176.38 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.75 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 (Table 2)

Table 2. General information about the participants in a research study

Demographic data of participants	$\bar{x}$	S.D.
Age (years)	21.90	1.08
Weight (kg)	78.04	14.36
Height (cm)	176.38	5.75

2. จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาของค่าปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ การคำนวณร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดและการประเมินระดับความหนักของการออกกำลังกายตลอดช่วงการออกกำลังกาย พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย (EEavg) เท่ากับ 6.11 ± 0.77 กิโลแคลอรีต่อนาที โดยมีการใช้พลังงานต่ำสุด (EEmin) เท่ากับ 2.33 ± 0.39 กิโลแคลอรีต่อนาที มีการใช้พลังงานสูงสุด (EEmax) เท่ากับ 12.58 ± 2.48 กิโลแคลอรีต่อนาทีและมีปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดระยะเวลาการออกกำลังกายประมาณ 80 นาที เท่ากับ 488.92 ± 61.49 กิโลแคลอรี

ส่วนปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย (VO_2 avg) มีค่าเท่ากับ 16.20 ± 3.41 มล./กก./นาที โดยมีปริมาณการใช้ออกซิเจนต่ำสุด (VO_2 min) มีค่าเท่ากับ 6.23 ± 1.74 มล./กก./นาที และมีปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้ (VO_2 peak) เท่ากับ 33.20 ± 7.53 มล./กก./นาที

ในด้านอัตราการเต้นของหัวใจ พบว่าค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (HRavg) มีค่าเท่ากับ 123.91 ± 8.52 ครั้งต่อนาที โดยมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจต่ำสุด (HRmin) มีค่าเท่ากับ 80.08 ± 10.41 ครั้งต่อนาที และค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่วัดได้จริงขณะออกกำลังกาย (HRpeak) เท่ากับ 160.54 ± 13.83 ครั้งต่อนาที เมื่อคำนวณเป็นร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%HRmax) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 64.31 ± 4.53 ซึ่งอยู่ในระดับความหนักของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะอยู่ในระดับปานกลาง (Moderate intensity : 64–76%MHR) ตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาของ American College of Sports Medicine (2021) ดังแสดงในตารางที่ 3 (Table 3)

Table 3. Descriptive statistics, derived indicators, and exercise intensity classification (ACSM) during group-based rhythmic weight training (n = 24)

Variable	Min	Max	$\bar{x}$	S.D.	Unit	Derived indicator	Intensity (ACSM)
EEmin	1.74	3.28	2.33	0.39	kcal/min	-	-
EEavg	4.40	7.74	6.11	0.77	kcal/min	-	-
EEmax	7.74	20.03	12.58	2.48	kcal/min	-	-
Total EE	352.00	619.20	488.92	61.49	kcal/80 min	Total session energy cost	-
VO_2 min	3.90	11.30	6.23	1.74	ml/kg/min	-	-
VO_2 avg	10.60	22.10	16.20	3.41	ml/kg/min	-	-
VO_2 peak	18.70	46.40	33.20	7.53	ml/kg/min	Measured peak VO_2	-
HRmin	68.00	112.00	80.08	10.41	beats/min	-	-
HRavg	110.00	145.00	123.91	8.52	beats/min	-	-
HRpeak	140.00	195.00	160.54	13.83	beats/min	-	-
HRMax	190.00	193.30	192.68	0.66	beats/min	Measured peak HR	-
%HRMax	56.91	75.56	64.31	4.53	%	% HRMax = $64.31 \pm 4.53\%$	Moderate (64–76%)

Note. EE = Energy expenditure; VO_2 = Oxygen consumption; HR = Heart rate. VO_2 peak was the highest VO_2 value recorded during the exercise session. HR Maximal was predicted using the Tanaka et al. (2001) equation: Exercise intensity classification was based on the American College of Sports Medicine (ACSM) guidelines, where moderate intensity corresponds to 64–76% of HR Maximum. In this study, VO_2 peak was used as a proxy for VO_2 max for physiological descriptive purposes.

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อการใช้พลังงานและการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อเนื่องตลอด 80 นาที ในนักศึกษาชาย จำนวน 24 คน พบว่าการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะมีปริมาณการใช้พลังงานรวมเฉลี่ย 488.92 ± 61.49 กิโลแคลอรี เมื่อประเมินระดับความหนักตามเกณฑ์ของ ACSM โดยพิจารณาจากอัตราการเต้นของหัวใจ ($\%HR_{max} = 64.31 \pm 4.53$) พบว่าการออกกำลังกายนี้จัดอยู่ในระดับความหนักปานกลาง (Moderate Intensity) ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อสุขภาพในการส่งเสริมสมรรถภาพทางกาย โดยผู้วิจัยได้อภิปรายผลแยกตัวแปร ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณการใช้พลังงาน

จากการศึกษาพบว่าการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อเนื่อง 80 นาที มีปริมาณการใช้พลังงานรวมเฉลี่ยเท่ากับ 488.92 ± 61.49 กิโลแคลอรี โดยการใช้พลังงานเฉลี่ย (EEavg) มีค่า 6.11 ± 0.77 กิโลแคลอรีต่อนาที เมื่อพิจารณารายละเอียดเชิงสรีรวิทยา พบว่าการใช้พลังงานมีความแปรผันตามรูปแบบการเคลื่อนไหวในแต่ละช่วง (Track-based) ตามปริมาณงาน (Workload) โดยการออกกำลังกายในช่วงแรก ร่างกายอยู่ในระยะของการปรับตัว (Adaptation Phase) ส่งผลให้มีการใช้พลังงานค่อนข้างต่ำสอดคล้องกับค่าการใช้พลังงานต่ำสุด (EEmin) ที่มีค่า 2.33 ± 0.39 กิโลแคลอรีต่อนาที ซึ่งมักพบได้ในช่วงการอบอุ่นร่างกาย (Warm-up) และการคลายกล้ามเนื้อ (Cool-down) ที่มีความหนักในระดับเบา (Light Intensity) และในช่วงที่มีการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อขนาดใหญ่และมีการใช้แรงต้านที่เพิ่มขึ้น ค่าการใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้น โดยมีการใช้พลังงานเฉลี่ยตลอดช่วงการออกกำลังกาย (EEavg) อยู่ที่ 6.11 ± 0.77 กิโลแคลอรีต่อนาที และมีค่าสูงสุด (EEmax) 12.58 ± 2.48 กิโลแคลอรีต่อนาที โดยค่าสูงสุดนี้เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 2 เท่า หรือร้อยละ 200 เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยตลอดทั้งกิจกรรมซึ่งการใช้พลังงานที่สูงในบางช่วงนี้อาจจะเกิดจากการตอบสนองต่อปริมาณงานที่เพิ่มขึ้นจากการใช้กล้ามเนื้อหลายกลุ่มพร้อมกัน (Willis et al., 2019)

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบกิจกรรมดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงในการกระตุ้นการเผาผลาญพลังงานเนื่องจากลักษณะของโปรแกรมนี้เป็นการฝึกแบบผสมผสานระหว่างการฝึกแรงต้านที่ใช้แรงต้านน้ำหนักระดับต่ำถึงปานกลางร่วมกับจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ความหนักที่สูงและมีการเคลื่อนไหวครอบคลุมกลุ่มกล้ามเนื้อหลักเกือบทุกส่วนของร่างกาย เช่น กล้ามเนื้อขา อก หลัง และไหล่ อย่างต่อเนื่องตามจังหวะดนตรีส่งผลให้กระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อหลายกลุ่มพร้อมกัน ตลอดระยะเวลา 80 นาที ซึ่งการออกกำลังกายในลักษณะดังกล่าวทำให้ร่างกายต้องผลิตพลังงานจากทั้งระบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก โดยเฉพาะระบบพลังงานแอโรบิกที่มีบทบาทสำคัญในการรักษาปริมาณการใช้ออกซิเจนและการใช้พลังงานให้อยู่ในระดับสูงตลอดกิจกรรม (Volterrani et al., 2023) ขณะเดียวกัน การใช้แรงต้านร่วมกับการทำซ้ำที่ความหนักที่สูงจำนวนมากยังเป็นการเพิ่มภาระงาน (Physiological Load) แก่กล้ามเนื้อโครงร่าง ส่งผลให้ความต้องการพลังงานรวมของร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อเนื่องเป็นเวลา 80 นาที กับกิจกรรมประเภทอื่น พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานรวมเฉลี่ยเกือบ 500 กิโลแคลอรีต่อครั้ง ซึ่งอยู่ในระดับใกล้เคียงและเทียบเท่ากับการออกกำลังกายในระดับหนัก (Vigorous Intensity) ที่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่า เช่น การวิ่งเหยาะ (Jogging) ที่ความเร็ว 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะเวลา 45-50 นาที หรือการเดินแอโรบิกอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 60 นาที (Ainsworth et al., 2019) อย่างไรก็ตาม การออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะมีจุดเด่นคือมีการผสมผสานการใช้แรงต้านร่วมกับการเคลื่อนไหวตามจังหวะดนตรีต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้สามารถรักษาของระบบเมตาบอลิซึมให้อยู่สภาวะคงที่ได้ต่อเนื่องยาวนานตามไปด้วย ส่งผลให้สามารถพัฒนาทั้งระบบหัวใจและหลอดเลือดและระบบกล้ามเนื้อได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งบ่งชี้ได้ว่ากิจกรรมดังกล่าวเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูง (High Efficiency) สำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักหรือลดไขมันสะสมเนื่องจากทำให้ร่างกายมีภาระงานรวม (Total Physiological Workload) ที่สูงเทียบเท่ากิจกรรมหนัก (Keating et al., 2021) ช่วยลดโอกาสเกิดความล้าสะสมและการบาดเจ็บจากการกระแทกซ้ำ ๆ ได้ดีกว่าการวิ่งต่อเนื่องในระยะเวลาที่เท่ากันและมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำไปใช้ส่งเสริมสมรรถภาพทางกายในกลุ่มนักศึกษาเพศชาย

2. ปริมาณการใช้ออกซิเจน

จากผลการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อเนื่อง 80 นาที มีค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย (VO_{2avg}) 16.20 ± 3.41 มล./กก./นาที ขณะที่ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จริงระหว่างกิจกรรม (VO_{2peak}) เท่ากับ 33.20 ± 7.53 มล./กก./นาที ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดนี้ใช้เป็นตัวชี้วัด

ความสามารถสมรรถภาพเชิงแอโรบิกสูงสุด ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการลำเลียงและใช้ออกซิเจนของระบบหัวใจและหลอดเลือดและกล้ามเนื้อโครงร่างร่วมกัน โดยการออกกำลังกายที่จะส่งเสริมการพัฒนาปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) จำเป็นต้องกระตุ้นให้ร่างกายทำงานที่ระดับความหนักตั้งแต่ระดับปานกลางจนถึงระดับความหนักอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะนี้สามารถกระตุ้นสมรรถภาพเชิงแอโรบิกให้อยู่ในช่วงความหนักที่เหมาะสมและส่งผลให้เกิดภาวะที่ร่างกายเผาผลาญพลังงานโดยใช้ออกซิเจนในอัตราที่คงที่ต่อเนื่อง (Steady-state Aerobic Metabolism) ซึ่งเอื้อต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ออกซิเจนในระดับเซลล์ เช่น การเพิ่มความหนาแน่นของ ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) การเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการปฏิกิริยาออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชัน (Oxidative phosphorylation) และการเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ (Bassett, 2000; Joyner & Coyle, 2008)

เมื่อพิจารณาถึงระดับความเข้มข้นของกิจกรรมทางกาย (Metabolic Equivalent of Task: METs) ซึ่งเป็นหน่วยแสดงอัตราการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายเทียบกับอัตราการเผาผลาญขณะพัก พบว่าค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย ($\text{VO}_{2\text{avg}}$) ที่วัดได้มีค่า 16.20 ± 3.41 มล./กก./นาที่ เมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับหน่วยมาตรฐาน (1 MET เท่ากับปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะพักที่ 3.5 มล./กก./นาที่) จากการศึกษาพบว่ากิจกรรมนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.63 METs ซึ่งจัดอยู่ในระดับความหนักปานกลาง (Moderate Intensity: 3.0–5.9 METs) ตามเกณฑ์ของวิทยาลัยแพทยศาสตร์การกีฬาอเมริกัน (American College of Sports Medicine, 2021) การที่ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.63 METs ตลอดระยะเวลา 80 นาที ชี้ให้เห็นว่าการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะนี้ สามารถรักษาระดับการกระตุ้นระบบเมตาบอลิซึมอย่างต่อเนื่องที่มีค่าสูงกว่าขณะพักถึง 4.63 เท่า ซึ่งบ่งชี้ว่ากิจกรรมนี้ไม่เพียงแต่ส่งเสริมการปรับตัวของระบบหัวใจและหลอดเลือดและระบบกล้ามเนื้อเท่านั้น แต่ยังเป็นระดับความหนักที่เหมาะสมในการกระตุ้นการเผาผลาญพลังงานรวมให้สูงถึงเกือบ 500 กิโลแคลอรีต่อการปฏิบัติในหนึ่งครั้ง นอกจากนี้การที่ร่างกายทำงานอยู่ในช่วงความหนักระดับปานกลางตามเกณฑ์ระดับความเข้มข้นของกิจกรรมทางกาย (METs) ยังถือเป็นระดับที่เพียงพอต่อการสร้างความเครียดจากการฝึกซ้อม (Training Stress) เพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางกาย ในขณะที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดความล้าสะสมหรือการบาดเจ็บจากการออกแรงเกินขีดจำกัด (Overexertion) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมความต่อเนื่องในการออกกำลังกาย (Adherence) สำหรับกลุ่มนักศึกษาเพศชายในระยะยาวอีกด้วย

3. อัตราการเต้นของหัวใจ

จากผลการศึกษาพบว่าการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อเนื่อง 80 นาที มีค่าอัตราอัตราการเต้นของหัวใจต่ำสุด (HRmin) อยู่ที่ 80.08 ± 10.41 ครั้งต่อนาที และค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่วัดได้จริงขณะออกกำลังกาย (HRpeak) เท่ากับ 160.54 ± 13.83 ครั้งต่อนาที ซึ่งความแตกต่างระหว่างค่าอัตราการเต้นของหัวใจต่ำสุดและสูงสุดสามารถบ่งชี้ได้ว่ากิจกรรมมีระดับความหนักที่หลากหลายสอดคล้องกับลักษณะของโปรแกรมที่ประกอบด้วยช่วงการฝึกที่มีความหนักแตกต่างกันตามโครงสร้างของแต่ละกิจกรรม โดยทั่วไป อัตราการเต้นของหัวใจถือเป็นตัวชี้วัดทางสรีรวิทยาที่มีความสำคัญในการติดตามและประเมินระดับความหนักของการออกกำลังกาย เนื่องจากมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณการใช้ออกซิเจน และระดับของงานที่ร่างกายได้รับในระหว่างการทำกิจกรรม การเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจจึงสามารถใช้สะท้อนระดับการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงความต้องการพลังงานของระบบเมตาบอลิซึมได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับ Marini et al. (2022) กล่าวว่าความหนักและระยะเวลาของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีอิทธิพลโดยตรงต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยา โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณการใช้ออกซิเจนในลักษณะต่อเนื่องเมื่อกิจกรรมดำเนินไปในระยะเวลานาน จากการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการรักษาความหนักในระดับปานกลางถึงค่อนข้างหนักอย่างต่อเนื่องสามารถทำให้ระบบหัวใจและหลอดเลือดอยู่ในสภาวะที่สามารถประเมินความหนักของการออกกำลังกายจากค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ Seo et al. (2025) รายงานว่าค่าอัตราการเต้นของหัวใจมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการใช้พลังงานในขณะปฏิบัติกิจกรรมจริงและสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดภาระงานทางสรีรวิทยา (Physiological Load) ของกิจกรรมได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะในกิจกรรมไม่สามารถวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนได้โดยตรง

เมื่อพิจารณาถึงระดับความหนักของการออกกำลังกายจากค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (HRavg) มีค่า 123.91 ± 8.52 ครั้งต่อนาที เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดตามสมการของ Tanaka et al. (2001) พบว่าค่าร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ($\% \text{HRmax}$) อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างหนัก (Moderate to Vigorous Intensity) ซึ่งเกณฑ์ของ American College of Sports Medicine (ACSM, 2021) ได้กำหนดให้การออกกำลัง

กายระดับปานกลางอยู่ในช่วงประมาณ 64–76%HRmax และระดับค่อนข้างหนักอยู่ในช่วงประมาณ 77–95%HRmax จากการศึกษาอธิบายได้ว่าการติดตามค่าอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการออกกำลังกายไม่เพียงช่วยให้สามารถควบคุมระดับความหนักของกิจกรรมให้สอดคล้องกับเป้าหมายของการฝึก เช่น การพัฒนาความทนทานของระบบหัวใจและหลอดเลือดหรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการเฝ้าระวังด้านความปลอดภัยเนื่องจากช่วยลดความเสี่ยงของการออกกำลังกายที่มีความหนักเกินขีดความสามารถของร่างกาย (Overexertion) และลดโอกาสเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับระบบหัวใจและหลอดเลือดในระหว่างปฏิบัติกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่าการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะสามารถกระตุ้นระบบหัวใจและหลอดเลือดให้อยู่ในช่วงความหนักที่เพียงพอต่อการพัฒนาสมรรถภาพทางกายด้านแอโรบิกได้ แม้ว่าลักษณะของกิจกรรมจะไม่ใช่ออกกำลังกายแบบแอโรบิกต่อเนื่องในรูปแบบดั้งเดิม แต่การผสมผสานการเคลื่อนไหวร่วมกับการใช้แรงต้านในหลายช่วงของกิจกรรมทำให้อัตราการเต้นของหัวใจคงอยู่ในระดับที่สูงอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับคำแนะนำของ ACSM ที่ระบุว่าการออกกำลังกายที่สามารถรักษาร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%HRmax) ในช่วงระดับปานกลางขึ้นไปเป็นระยะเวลานานมีศักยภาพในการส่งเสริมการใช้พลังงานรวมของร่างกายและสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือด

นอกจากนี้ ค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่วัดได้จริงระหว่างการฝึก (HRpeak) มีค่า 160.54 ± 13.83 ครั้งต่อนาที ยังบ่งชี้ได้ว่าบางช่วงของกิจกรรมสามารถกระตุ้นความหนักให้เข้าสู่ระดับค่อนข้างหนัก ซึ่งเป็นช่วงที่มีการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อขนาดใหญ่และการใช้แรงต้านเพิ่มขึ้นตามโครงสร้างของโปรแกรม การปรากฏช่วงความหนักที่หลากหลายเช่นนี้ สอดคล้องกับลักษณะของการออกกำลังกายในรูปแบบการเคลื่อนไหวในแต่ละช่วง (Track-based) และสะท้อนแนวคิดของ ACSM ที่ชี้ให้เห็นว่าการสลับระดับความหนักภายในกิจกรรมเดียวกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการฝึกและกระตุ้นการปรับตัวของระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ดีกว่าการฝึกที่มีความหนักคงที่เพียงระดับเดียว

ดังนั้น การใช้คาร์ดิโอแอโรบิกอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%HRmax) จากค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดกิจกรรม จึงถือเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการประเมินระดับความหนักของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะในงานวิจัยนี้ ทั้งในแง่ของความสอดคล้องกับแนวทางสากลของ ACSM และความเหมาะสมเชิงปฏิบัติสำหรับการนำไปใช้ในการออกแบบและควบคุมโปรแกรมการออกกำลังกายในบริบทของการเรียนการสอนและการส่งเสริมสุขภาพ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อการใช้พลังงานและการตอบสนองทางสรีรวิทยาในนักศึกษาชาย สรุปผลได้ดังนี้

1. นักศึกษาเพศชายมีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย (EEavg) เท่ากับ 6.11 ± 0.77 กิโลแคลอรีต่อนาที ปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดระยะเวลาการออกกำลังกายประมาณ 80 นาที เท่ากับ 488.92 ± 61.49 กิโลแคลอรี ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย (VO_2) เท่ากับ 16.20 ± 3.41 มล./กก./นาที อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (HRavg) เท่ากับ 123.91 ± 8.52 ครั้งต่อนาที

2. นักศึกษาเพศชายในตลอดช่วงการออกกำลังกาย เมื่อคำนวณเป็นร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%HRmax) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $64.31 \pm 4.53\%$ ซึ่งสามารถจัดระดับความหนักของการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะในงานวิจัยนี้ให้อยู่ในระดับปานกลางตามเกณฑ์ทางสรีรวิทยาของ ACSM

แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 80 นาที สามารถกระตุ้นการใช้พลังงานและการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ในระดับที่เหมาะสมและจัดอยู่ในความหนักระดับปานกลางตามเกณฑ์ของ ACSM ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนการพัฒนาสมรรถภาพทางกายและการส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มนักศึกษาได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ควรนำโปรแกรมการฝึกแบบการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 80 นาที มาเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมเตรียมความพร้อมโดยเฉพาะในช่วงการสร้างพื้นฐานการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดและการใช้พลังงาน

2. ควรเลือกท่าทางในการฝึกแบบการออกกำลังกายแบบกลุ่มด้วยการยกน้ำหนักประกอบจังหวะต่อเนื่องที่มีความหลากหลายเพื่อให้เกิดการถ่ายโอนทักษะไปใช้ในการฝึกซ้อมเพื่อเพิ่มระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาในกลุ่มนักศึกษาเพศหญิง กลุ่มนักกีฬาเยาวชนและกลุ่มผู้สูงอายุ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการตอบสนองต่อการฝึกในแต่ละเพศและช่วงวัย

เอกสารอ้างอิง

- Adeel, M., Lai, C. H., Wu, C. W., Kang, J. H., Liou, J. C., Chen, H. C., Hong, M. J., & Peng, C. W. (2021). Energy expenditure during acute weight training exercises in healthy participants: A preliminary study. *Applied Sciences*, 11(15), 6687. <https://doi.org/10.3390/app11156687>
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, M., & Leon, A. S. (2019). 2011 Compendium of Physical Activities: A second update of codes and MET values. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(3), 1575-1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12>
- American College of Sports Medicine. (2021). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (11th ed.). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Bassett, D. R. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 70.
- Browne, J. D., Carter, R., Robinson, A., Waldrup, B., Zhang, G., Carrillo, E., ... & Dolezal, B. A. (2020). Not all HIIT classes are created equal: Evaluating energy expenditure and relative intensity of a high-intensity functional training regimen. *International journal of exercise science*, 13(4), 1206-1218. <https://doi.org/10.70252/IUSV1063>
- Harvey, J. A. (2012). Quantifying and comparing activity in group exercise classes: A literature review. *Journal of Fitness Research*, 1(1), 50-65.
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of physiology*, 586(1), 35-44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Keating, S. E., Johnson, N. A., Mielke, G. I., & Coombes, J. S. (2021). A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obesity Reviews*, 18, 943-964. <https://doi.org/10.1111/obr.12536>
- Marini, C. F., Federici, A., Skinner, J. S., Piccoli, G., Stocchi, V., Zoffoli, L., Correale, L., Dell'Anna, S., Naldini, C. A., Vandoni, M., & Lucertini, F. (2022). Effect of steady-state aerobic exercise intensity and duration on the relationship between reserves of heart rate and oxygen uptake. *PeerJ*, 10, e13190. <https://doi.org/10.7717/peerj.13190>
- Mitchell, L., Wilson, L., Duthie, G., Pampa, K., Weakley, J., Scott, C., & Slater, G. (2024). Methods to assess energy expenditure of resistance exercise: a systematic scoping review. *Sports medicine*, 54(9), 2357-2372. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02047-8>
- Montoye, A. H., Vondrasek, J. D., & Hancock, J. B. (2020). Validity and reliability of the VO₂ Master Pro for oxygen consumption and ventilation assessment. *International Journal of Exercise Science*, 13 (4) , 1 3 8 2 – 1 4 0 1 . <https://doi.org/10.70252/THJT1177>
- Redwine, P., Wilson, K., Pung, M.A., Chinh, K., Rutledge, T., Mills, P. J., Smith, B. (2019). A Randomized Study Examining the Effects of Mild-to-Moderate Group Exercises on Cardiovascular, Physical, and Psychological Well-being in Patients with Heart Failure. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention* 39(6), 403-408. <https://doi.org/10.1097/HCR.0000000000000430>
- Seo, Y., Lee, Y., & Lee, D. T. (2025). Comparing Heart Rate and Heart Rate Reserve for Accurate Energy Expenditure Prediction Against Direct Measurement. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(10), 1539. <https://doi.org/10.3390/ijerph22101539>
- Stanforth, D., Stanforth, P.R., & Hoemeke, M.E. (2000). Physiologic and Metabolic Responses to a Body Pump Workout. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 14(2), 144-150.
- Swain, D. P., Abernathy, K. S., Smith, C. S., Lee, S. J., & Bunn, S. A. (1994). Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(1), 112-116.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)
- Volterrani, M., Caminiti, G., Perrone, M.A., Cerrito, A., Franchini, A. Manzi, V., & Lellamo, F. (2023). Effects of concurrent, within-session, aerobic and resistance exercise on functional capacity. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 750. <https://doi.org/10.3390/jcm12030750>

- Willis, E. A., Szabo-Reed, A. N., Ptomey, L. T., Honas, J. J., Washburn, R. A., & Donnelly, J. E. (2019). Energy expenditure and intensity of group-based high-intensity functional training. *Journal of Physical Activity and Health*, 16(6), 470-476. <https://doi.org/10.1123/jpah.2017-0585>
- Zehsaz, F., & Farhangi, N. (2024). Effects of a 12-week body-pump training and chamomile consumption on the lipid profiles in obese adolescent boys. *Physical Activity in Children*, 1(2), 12–20. <https://doi.org/10.61186/pach.2024.474162.1026>