

บทความวิจัย**ผลของการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด
ต่อสมรรถภาพทางกายในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน**

อาทิตยา พันตะเกา¹, จิตานันท์ เหล่าศิริไพศาล², ณัฐพล อุบลสุตรวนิช³,
วิรินทร์ดา ชีรวาณิช⁴, และณัฏกร ชื่นศิริ^{1,5}

¹ แขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

³ ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ด้านการดูแลผู้สูงอายุ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

⁴ ภาควิชาวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

⁵ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Received: 17 May 2025 / Revised: 20 May 2025 / Accepted: 24 August 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดต่อองค์ประกอบของร่างกาย ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ ความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่าง สมรรถภาพทางแอโรบิก และตัวแปรทางสรีรวิทยาในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน อายุ 45-59 ปี จำนวน 27 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมหรือกลุ่มใช้ชีวิตประจำวันตามปกติ (CON, n=14) และกลุ่มฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (SA-BFR, n=13) ที่ร้อยละ 40 ของความดันในการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดงเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยกลุ่ม SA-BFR ออกกำลังกายที่ความหนักร้อยละ 60-89 ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองเป็นเวลา 45 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ โดยความเข้มข้นของการฝึกถูกปรับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกๆ 4 สัปดาห์ด้วยการปรับทั้งความเร็วของจังหวะเพลงและช่วงเป้าหมายของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง ผู้วิจัยทำการทดสอบตัวแปรด้านองค์ประกอบร่างกาย ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ ความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่าง และสมรรถภาพทางแอโรบิก ในช่วงก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลองในสัปดาห์ที่ 8 และหลังการทดลองครบ 12 สัปดาห์ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

ของตัวแปรก่อน ระหว่าง และหลังการทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสมผสาน และใช้การทดสอบแบบรายคู่ด้วยสถิติ LSD ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัย พบว่าหลังจาก 12 สัปดาห์ กลุ่ม SA-BFR มีค่าเฉลี่ยของมวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกาย ($p=0.043$) ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ ($p<0.001$) และความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่าง ($p<0.001$) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยของร้อยละไขมัน ($p=0.003$) และมวลไขมันทั้งร่างกาย ($p=0.031$) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวภายในกลุ่มควบคุม

สรุปผลการวิจัย การฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นการฝึกที่ปลอดภัยและสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายได้อย่างมีประสิทธิภาพในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน และอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการออกกำลังกายสำหรับประชากรกลุ่มนี้

คำสำคัญ: สเต็ปแอโรบิก / การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด / สมรรถภาพทางกาย / ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ / ผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน

Original Article

EFFECTS OF STEP AEROBICS WITH BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING
ON PHYSICAL FITNESS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN

Atittaya Pantapao¹, Jitanan Laosiripisan², Natthaphon Ubonsutvanich³,
Wirinda Chiravanich⁴ and Napasakorn Chuensiri^{1,5}

¹ Area of Exercise Physiology, Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University

² Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University

³ Geriatric Excellence Center, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society

⁴ Department of Anesthesiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society

⁵ Center of Excellence in Exercise Physiology, Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University

Received: 17 May 2025 / Revised: 20 May 2025 / Accepted: 24 August 2025

Abstract

Purpose This study aimed to investigate the effects of step aerobics with blood flow restriction training on body composition, muscular strength and endurance, lower limb flexibility, aerobic capacity and physiological variables in postmenopausal women.

Methods Twenty-seven postmenopausal women aged 45–59 years participated in the study. Participants were randomly assigned into two groups: the control group (CON, n=14), who maintained their normal daily lifestyle, and the step aerobics with blood flow restriction training group (SA-BFR, n=13), who performed step aerobics training for 45 minutes, 3 days per week over 12 weeks, with BFR applied at 40% of arterial occlusion pressure and exercise intensity set at 60-89 % of heart rate reserve. The intensity was progressively adjusted every 4 weeks through alterations in music tempo and target HRR range. Physical fitness variables including body composition, muscular strength and endurance, lower limb flexibility, and aerobic

capacity were assessed at baseline, at week 8, and after 12 weeks. Data were analyzed using Two-way mixed ANOVA with LSD post hoc comparisons at the significance level of 0.05.

Results After 12 weeks, the SA-BFR group showed statistically significant increases in muscle mass ($p=0.043$), muscular strength and endurance ($p<0.001$), and lower limb flexibility ($p<0.001$) compared to baseline. Additionally, there were significant decreases in the percentage of body fat ($p=0.003$), and total fat mass ($p=0.031$). These changes were not observed in the control group.

Conclusion This study suggests that 12 weeks of SA-BFR training effectively improves physical fitness in postmenopausal women, offering a valuable exercise alternative for this population.

Keywords: Step aerobics / Blood flow restriction training / Physical fitness / Muscle strength and endurance / Postmenopausal women

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนมีจำนวนประมาณ 7 ล้านคนจากประชากรไทยทั้งหมด และจากข้อมูลโครงสร้างของประชากรในปี พ.ศ. 2561 พบว่าจำนวนประชากรของเพศหญิงในช่วงอายุ 45-59 ปี มีจำนวนสูงกว่าวัยอื่นๆหรือประมาณร้อยละ 28 ของประชากรทั้งหมด (National Statistical Office, 2018) หลังจากประจำเดือนขาดหายไปติดต่อกัน 12 เดือนขึ้นไปจนสิ้นสุดลงอย่างถาวรหรือเข้าสู่วัยหมดประจำเดือนนั้น ร่างกายจะสร้างฮอร์โมนเพศหรือฮอร์โมนเอสโตรเจนได้น้อยลงมาก (Pongsatha, 2011) การลดลงของฮอร์โมนเพศดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของระบบต่างๆในร่างกาย อาทิ การทำงานที่แย่งลงของระบบไหลเวียนเลือด โดยมีระดับคอเลสเตอรอล (Cholesterol) และระดับแอลดีแอล (Low-density Lipoprotein; LDL) สูงขึ้น เสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจมากกว่าผู้หญิงในวัยอื่น (Prachuablarp & Wattradul, 2020; Vongchana & Pongsatha, 2016; Witteman et al., 1989) การเปลี่ยนแปลงของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อโดยมีความหนาแน่นของมวลกระดูกลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าสู่วัยหมดประจำเดือน (Soontrap, 2014; Srisukho, 2018) และเกิดการตายของเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle apoptosis) ซึ่งส่งผลให้ผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนมีปัญหาทางสุขภาพ รวมถึงการมีสมรรถภาพทางกายที่ลดลงจากการที่ผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนมักมีพฤติกรรมเนือยนิ่ง (Sedentary behavior) มีกิจกรรมทางกายไม่เพียงพอหรือขาดการออกกำลังกาย (Beitz &

Dören, 2004) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบร่างกาย เช่น การเพิ่มขึ้นของมวลไขมันและไขมันในช่องท้อง (Razmjou et al., 2018) การลดลงของปริมาณแร่ธาตุในกระดูก (Deng et al., 2002) การสูญเสียมวลกล้ามเนื้อจากการลดลงของอัตราการเผาผลาญพลังงาน (Karakelides & Nair, 2005) นอกจากนี้ยังมีการลดลงของสมรรถภาพการทำงานของระบบหัวใจและหายใจ (Letnes et al., 2023) และการลดลงของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Collins et al., 2019) นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงคุณภาพชีวิต (Quality of life; QOL) ของผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนให้แย่ลง (Shukla et al., 2018)

การออกกำลังกายแบบสเต็ปแอโรบิก (Step aerobics exercise) เป็นหนึ่งในรูปแบบของการออกกำลังกายแบบกลุ่ม (Group exercise) ที่มีเคลื่อนไหวร่างกายตามจังหวะเพลงประกอบในรูปแบบก้าวขึ้น (Climbing up) ก้าวลง (Going down) และก้าวข้าม (Crossing) แทนสเต็ปสำหรับออกกำลังกายซึ่งมีท่าทางการเคลื่อนไหวที่หลากหลายจึงสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อมัดใหญ่ได้หลายมัดโดยเฉพาะบริเวณกล้ามเนื้อสะโพก (Gluteal region) และกล้ามเนื้อขา (Leg region) (Nikić & Milenković, 2013) จากการศึกษาของ Hallage et al. (2010) ศึกษาผลของการฝึกสเต็ปแอโรบิกต่อสมรรถภาพการทำงาน (Functional fitness) ในผู้สูงอายุเพศหญิงที่มีสุขภาพดี 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ครั้งละ 30-60 นาที เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า มีผลดีต่อสมรรถภาพการทำงานของผู้สูงอายุเพศหญิงที่มีสุขภาพดี ทำให้

ผู้สูงอายุมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความสามารถในการทรงตัว และความทนทานของระบบหัวใจและหายใจที่ดีขึ้น (Hallage et al., 2010) อีกทั้งยังมีการศึกษาของ Anek & Bunyaratavej (2015) ได้ศึกษาผลของการฝึกการออกกำลังกายสแต็ปแอโรบิกที่มีผลต่อองค์ประกอบของร่างกายและการทรงตัวในสตรีวัยก่อนหมดประจำเดือน พบว่ามีการพัฒนาองค์ประกอบร่างกายโดยมีมวลไขมันลดลงและมีมวลกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Anek & Bunyaratavej, 2015) อย่างไรก็ตามการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายแบบสแต็ปแอโรบิกนั้นสามารถเพิ่มได้จากความสูงของแท่นสแต็ป ความชันของท่า และความเร็วของจังหวะเพลง (Nikić & Milenković, 2013) แต่หากท่าทางการเคลื่อนไหวยากเกินไปหรือความสูงของแท่นสแต็ปที่มากเกินไป อาจทำให้กลุ่มคนวัยหมดประจำเดือนมีความเสี่ยงต่อการหกล้มเพิ่มมากขึ้น

ปัจจุบันได้มีการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction training; BFR) ที่ช่วยเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายโดยสามารถกระตุ้นและพัฒนาระบบต่างๆในร่างกายได้เทียบเท่ากับการฝึกด้วยความหนักสูง (Chuensiri, 2021) โดยใช้แรงดันบีบรัดจากภายนอกเพื่อปิดกั้นการไหลเวียนของเลือดบางส่วน ทำให้เกิดการจำกัดการไหลเวียนเลือดดำที่กลับเข้าสู่หัวใจ (Venous return) (Lorenz et al., 2021) แต่ยังคงยอมให้มีการไหลเวียนของเลือดแดงบางส่วนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อได้ จึงไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ แต่ทำให้กล้ามเนื้อส่วนปลายเกิดการคั่งของปริมาณเลือดดำและสะสมกรดแลคติกจำนวนมากในบริเวณกล้ามเนื้อของรยางค์

ส่วนปลาย ส่งผลให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนเฉพาะที่บริเวณกล้ามเนื้อ (Local hypoxia) และมีเพิ่มขึ้นของความเครียดระบบพลังงาน (Metabolic stress) ในบริเวณกล้ามเนื้อส่วนปลาย ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการกระตุ้นการทำงานของระบบกล้ามเนื้อและระบบเผาผลาญพลังงาน (Wang et al., 2023) โดยร่างกายมีการหลั่งฮอร์โมนการเจริญเติบโต (Growth hormone; GH) และฮอร์โมน Insulin like growth factor 1 (IGF-1) มากขึ้น (Saatmann et al., 2021) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและการเพิ่มขนาดเซลล์กล้ามเนื้อ (Fry et al., 2010) ส่งผลต่อการกระตุ้นกลไกการทำงานของตัวส่งสัญญาณ Mammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1) (Patterson et al., 2019) ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นการแบ่งตัวของนิวเคลียสในกล้ามเนื้อ (Myonuclei) ของ Satellite cells และกระตุ้นการเพิ่มจำนวนไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ภายในกล้ามเนื้อ (Morita et al., 2013) ทำให้ลดการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ (Muscle protein breakdown; MPB) และเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อ (Muscle protein synthesis; MPS) ส่งผลให้มีมวลกล้ามเนื้อมากขึ้น (Jessee et al., 2018) นอกจากนี้ยังสามารถเร่งระดมหน่วยยนต์ (Motor unit recruitment) ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type II muscle fiber) ให้ทำงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องภายใต้ภาวะขาดออกซิเจนเฉพาะที่บริเวณกล้ามเนื้อที่ถูกจำกัดการไหลเวียนเลือดจึงทำให้กล้ามเนื้อจึงสามารถออกแรงได้มากขึ้น (Hsieh et al., 2024) ซึ่งได้มีการศึกษาพบว่าการฝึกในรูปแบบดังกล่าวนี้

ปลอดภัยในกลุ่มผู้สูงอายุ (Lim & Goh, 2022) ดังนั้น การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดจึงเป็น รูปแบบการฝึกที่นิยมนำมาฝึกพร้อมกับการออกกำลังกาย ในรูปแบบต่างๆในผู้สูงอายุวัยหมดประจำเดือน เช่นกัน

จากการศึกษาของ Pereira et al. (2018) เกี่ยวกับผลของการฝึกแอโรบิกในรูปแบบการเดินบนลู่วิ่งไฟฟ้าร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดในผู้สูงอายุวัยหมดประจำเดือนที่มีโรคกระดูกพรุน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ครั้งละ 15 นาที เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ามีผลดีต่อการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Pereira et al., 2018) จากการศึกษาของ Yasuda et al. (2014) ที่ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ามีผลดีต่อการเพิ่มขึ้นของขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Yasuda et al., 2014) และการศึกษาที่ผ่านมาของ Letieri et al. (2019) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดต่อสมรรถภาพการทำงานในผู้สูงอายุที่มีภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อยเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่ามีผลดีต่อการพัฒนาแรงบีบมือ การลุกนั่งจากเก้าอี้ การทดสอบเดิน 6 นาที และความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนบนและล่าง (Letieri et al., 2019) นอกจากนี้ การศึกษาที่ผ่านมาของ Cho & Lee (2024) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด พบว่าการฝึกดังกล่าวช่วยลดปริมาณมวลไขมันและเพิ่มมวลกล้ามเนื้อได้อย่างมีนัยสำคัญ (Cho & Lee, 2024)

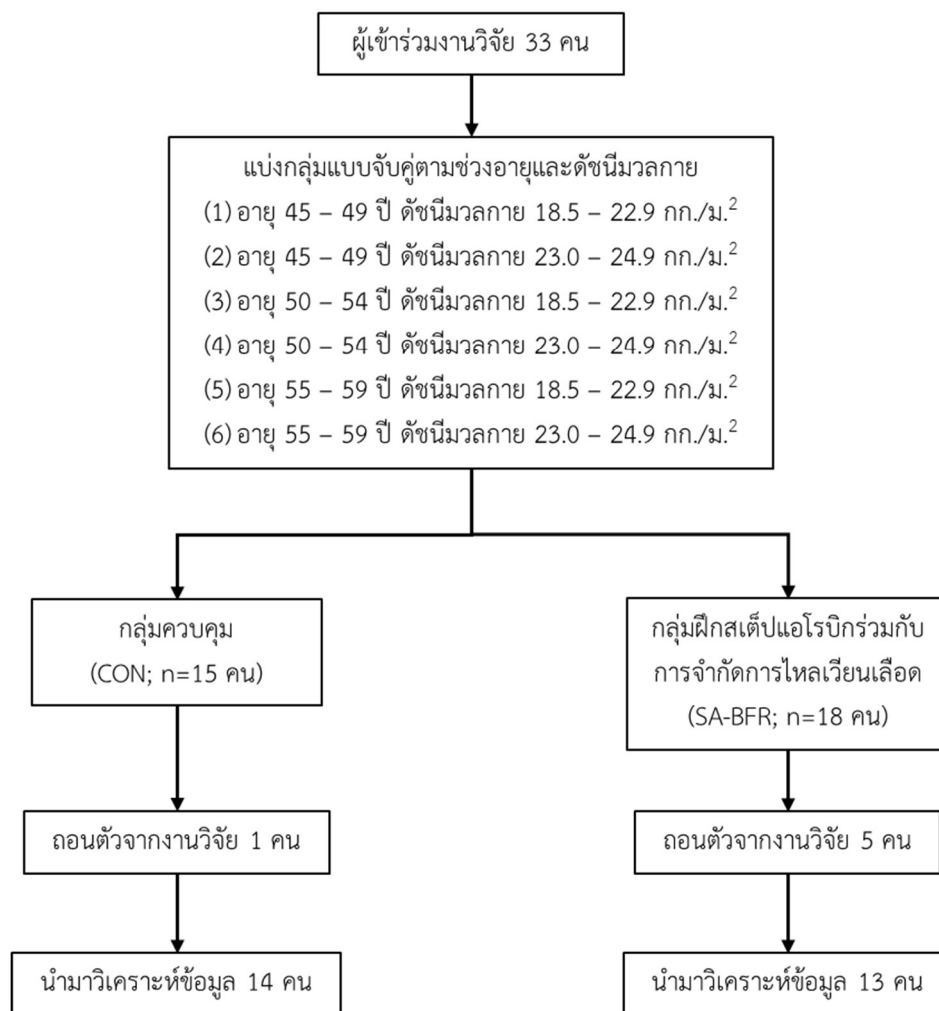
จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น การศึกษาวิจัยถึงผลของการฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดในผู้สูงอายุวัยหมดประจำเดือนที่ผ่านมา มีรูปแบบการออกกำลังกายที่ค่อนข้างหลากหลายที่สามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายได้ แต่ยังไม่มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดในผู้สูงอายุวัยหมดประจำเดือน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจและมีแนวคิดที่จะศึกษาและพัฒนา รูปแบบของการฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้ได้จริงต่อการพัฒนาสมรรถภาพทางกายในผู้สูงอายุวัยหมดประจำเดือน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดต่อองค์ประกอบร่างกาย ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ ความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่าง สมรรถภาพทางแอโรบิก และตัวแปรทางสรีรวิทยาในผู้สูงอายุวัยหมดประจำเดือน

สมมติฐานของการวิจัย

การฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดส่งผลต่อองค์ประกอบร่างกาย ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ ความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่าง และสมรรถภาพทางแอโรบิกในผู้สูงอายุวัยหมดประจำเดือน



รูปที่ 1 การจัดสรรกลุ่มตัวอย่างในระหว่างดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดต่อสมรรถภาพทางกายในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน ได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย COA No. 069/67 รับรองเมื่อวันที่ 25

มีนาคม 2567 และดำเนินการทดลองเก็บข้อมูล ณ ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต และห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย ห้องปฏิบัติการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับการทดสอบวัดตัวแปรต่างๆ ได้แก่ กลุ่มข้อมูลตัวแปรทางสรีรวิทยา องค์ประกอบร่างกาย ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ ความ

ยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่าง และสมรรถภาพทางแอโรบิก ก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลองในสัปดาห์ที่ 8 และหลังการทดลองครบ 12 สัปดาห์

กลุ่มตัวอย่าง

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test; B) ที่ 0.80 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Probable error; a) ที่ 0.05 และค่าขนาดของผล (Effect size; d) ที่ 0.27 (Lyall et al., 2022) สามารถคำนวณกลุ่มตัวอย่างได้ทั้งสิ้น 24 คน เพื่อป้องกันการสูญหายของผู้เข้าร่วมงานวิจัยระหว่างดำเนินการวิจัยจึงคำนวณกลุ่มตัวอย่างเพิ่มเติมอีกร้อยละ 20 การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 30 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมหรือกลุ่มใช้ชีวิตประจำวันตามปกติ (Control group; CON) และกลุ่มฝึกสตีปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Step aerobics with blood flow restriction training; SA-BFR) โดยแสดงการจัดสรรผู้เข้าร่วมวิจัยดังรูปที่ 1

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย

1. เพศหญิง อายุระหว่าง 45-59 ปี หมดประจำเดือนอย่างน้อย 12 เดือนติดต่อกันขึ้นไป
2. ดัชนีมวลกายระหว่าง 18.5-24.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
3. ไม่ได้รับการรักษาด้วยฮอร์โมนทดแทนในช่วง 12 เดือนก่อนเข้าร่วมงานวิจัย
4. ไม่อยู่ในระหว่างการใช้โภชนาการเสริมโปรตีน แคลเซียม หรือวิตามินดีในช่วง 3 เดือนก่อนเข้าร่วมงานวิจัย

5. สุขภาพดี ไม่มีโรคประจำตัว ผ่านการประเมินด้วยแบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire; PAR-Q)

6. มีค่าดัชนีข้อเท้า-แขน (Ankle brachial index; ABI) ระหว่าง 0.9-1.4 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยออกจาก การวิจัย

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุหรือมีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยขอยุติหรือไม่สนใจในการเข้าร่วมการวิจัยต่อ
3. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและข้อเสนอแนะของงานวิจัย เช่น บริโภคอาหารเสริมโปรตีน แคลเซียม วิตามินดี หรือมีการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมอื่นนอกเหนือจากที่ได้รับ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย เป็นต้น
4. ผู้เข้าร่วมวิจัยเข้าร่วมการฝึกน้อยกว่าร้อยละ 80 ของระยะเวลาการฝึกทั้งหมด หรือเข้าร่วมการฝึกน้อยกว่า 29 ครั้ง จากระยะเวลาการฝึกทั้งหมด 36 ครั้ง

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การสรรหาและคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง (Recruitment and screening)

ผู้วิจัยดำเนินการหากลุ่มตัวอย่างด้วยตนเองโดยการประชาสัมพันธ์เพื่อเชิญชวนผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนเข้าร่วมงานวิจัยผ่านการประชาสัมพันธ์ทางสื่อออนไลน์ ได้แก่ เฟซบุ๊ก ไลน์

การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง	จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการคัดเข้า		จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เหลือในงานวิจัย	
	CON	SA-BFR	CON	SA-BFR
ช่วงอายุ 45 – 49 ปี ดัชนีมวลกาย 18.5 – 22.9 กก./ม. ²	0	1	0	1
ช่วงอายุ 45 – 49 ปี ดัชนีมวลกาย 23.0 – 24.9 กก./ม. ²	1	0	1	0
ช่วงอายุ 50 – 54 ปี ดัชนีมวลกาย 18.5 – 22.9 กก./ม. ²	4	4	3	3
ช่วงอายุ 50 – 54 ปี ดัชนีมวลกาย 23.0 – 24.9 กก./ม. ²	1	2	1	0
ช่วงอายุ 55 – 59 ปี ดัชนีมวลกาย 18.5 – 22.9 กก./ม. ²	7	9	7	8
ช่วงอายุ 55 – 59 ปี ดัชนีมวลกาย 23.0 – 24.9 กก./ม. ²	2	2	2	1
สรุปจำนวนกลุ่มตัวอย่าง	15	18	14	13

รูปที่ 2 การแบ่งกลุ่มตัวอย่างแบบจับคู่ตามช่วงอายุและดัชนีมวลกาย

เป็นต้น เมื่อมีผู้สนใจติดต่อมา ผู้วิจัยจึงทำการเชิญมาตรวจคัดกรองก่อนเข้าร่วมการวิจัยดังนี้

1. ผ่านการคัดกรองความเสี่ยงทางหลอดเลือดทั่วร่างกายด้วยเครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) โดยจะต้องมีค่าดัชนีข้อเท้า-แขน (Ankle brachial index; ABI) ระหว่าง 0.9-1.4 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ

2. ทำแบบสอบถามกิจกรรมทางกายนานาชาติฉบับสั้น (International Physical Activity Questionnaire; IPAQ) ซึ่งต้องมีกิจกรรมทางกายในระดับต่ำจึงจะผ่านเกณฑ์คัดเข้า

3. ทำแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire; PAR-Q) ซึ่งต้องตอบว่า “ไม่” ทุกข้อจึงจะผ่านเกณฑ์คัดเข้า

การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง (Random allocation)

การสุ่มกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 33 คนเข้ากลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีจับคู่ (Matched pair randomization) ตามเกณฑ์ช่วงอายุและดัชนีมวลกาย ได้กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (CON) จำนวน 15 คน และกลุ่มฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (SA-BFR)

จำนวน 18 คน โดยระหว่างการทำเนิการวิจัยมีผู้เข้าร่วมการวิจัยในกลุ่มควบคุมถอนตัวออกจากการวิจัยจำนวน 1 คนจากอาการบาดเจ็บที่ไม่เกี่ยวกับการทดลอง และผู้เข้าร่วมวิจัยในกลุ่มฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดถอนตัวออกจากการวิจัยจำนวน 5 คน เนื่องจากไม่สะดวกเดินทางมาเข้าร่วมการฝึก 4 คน และมีอาการชาบริเวณขาคส่วนล่างขณะฝึก แต่เมื่อหยุดฝึกอาการชาได้หายไปภายใน 48 ชั่วโมง 1 คน จึงมีจำนวนผู้เข้าร่วมการวิจัยในกลุ่มควบคุม (CON) จำนวน 14 คน และกลุ่มฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (SA-BFR) จำนวน 13 คน ดังรูปที่ 1 และ 2

การเก็บข้อมูลตัวแปรและทดสอบร่างกาย (Data collecting)

ในช่วงก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลองในสัปดาห์ที่ 8 และหลังการทดลองครบสัปดาห์ที่ 12 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การเตรียมตัวก่อนเข้าร่วมการวิจัยประกอบด้วย พักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อย 6-8 ชั่วโมงงดเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์และคาเฟอีนอย่างน้อย 24 ชั่วโมง สวมใส่รองเท้าผ้าใบหรือรองเท้ากีฬา สวมเสื้อแขนสั้นและกางเกงขาสั้นที่สามารถเคลื่อนไหวได้สะดวก และไม่มีอาการของโรคติดต่อ หรืออยู่ในภาวะเจ็บป่วยอื่นๆ

ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการทดสอบร่างกายในห้องที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 40-60 เปอร์เซ็นต์ ณ

ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ดังนี้

1. การทดสอบตัวแปรทางสรีรวิทยาทั่วไป ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (Resting heart rate) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) และดัชนีข้อเท้า-แขน (Ankle brachial index; ABI) ด้วยเครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) ยี่ห้ออมรอน รุ่นคอลลิน วีพี 1000 พลัส ประเทศญี่ปุ่น (Collin VP-1000 plus, Omron, Ukyo-ku, Kyoto, Japan)

2. การทดสอบสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic capacity) ด้วยการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO_2max) โดยใช้ Modified Bruce protocol ด้วยลู่วิ่งไฟฟ้าแบบสายพาน ยี่ห้อลอร์ดวาลนท์ซีเพ็ท ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Lode Valiant CPET, Netherland) และเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อคอร์เท็กซ์ รุ่นเมตาแม็กซ์ ทรีบี ประเทศเยอรมัน (Stationary gas analyzer; MetaMax 3B, Germany)

ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการทดสอบร่างกาย ณ ห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังนี้

1. การทดสอบตัวแปรทางสรีรวิทยาทั่วไป และองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ได้แก่ อัตราการเผาผลาญขณะพัก (Resting metabolic rate) น้ำหนัก (Body weight) ร้อยละไขมัน (Percentage of body fat) มวลไขมันทั้งร่างกาย (Total fat mass) และมวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกาย (Total lean mass) ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Dual-energy X-ray Absorptiometry; DXA) ยี่ห้อจี้ซี เฮลท์แคร์ รุ่นโฟรโดจี ประเทศสหรัฐอเมริกา (GE Healthcare Lunar, Madison, WI, USA)

2. การทดสอบแรงบีบมือ (Grip strength test) ทั้งสองข้างด้วยเครื่องวัดแรงบีบมือ (Grip strength dynamometer) ยี่ห้อกริบเอ รุ่นทีเคเค 5001 ประเทศญี่ปุ่น (GRIP-A, T.K.K. 5001, Japan)

3. การวัดความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่าง ด้วยการวัดระยะในการทดสอบนั่งอตัวไปข้างหน้า (Sit and reach test) บันทึกผลในหน่วยเซนติเมตร

4. การวัดความดันในการปิดกั้นการไหลเวียนของหลอดเลือดแดงโดยสมบูรณ์ (Arterial occlusion pressure; AOP) ด้วยการใช้สายรัดจำกัดการไหลเวียนเลือดแบบไม่ยืดหยุ่น (Wide-rigid cuff) ยี่ห้อโฮเคนสัน รุ่นเอสซีเท็น (Hokanson, SC10, Bellevue, WA, USA) ที่เป็นอุปกรณ์ในการฝึกพันบริเวณต้นขาข้างถนัด และวัดแรงดันที่ใช้ปิดกั้นการไหลเวียนโดยสมบูรณ์ของหลอดเลือดแดงหลังข้อพับเข่า (Popliteal artery) ในท่ายืนด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound imaging) ยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่นซีเอกซ์ 50 ประเทศสหรัฐอเมริกา (CX-50,

Philips Healthcare, Andover, MA, USA) จากนั้นเริ่มบีบแรงดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งปิดกั้นการไหลเวียนโลหิตอย่างสมบูรณ์ (100%AOP) ค้างไว้เป็นเวลา 30 วินาที พักประมาณ 5 นาทีและทำการวัดซ้ำอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าความดันที่ใช้เหมาะสมและปลอดภัย โดยผู้วิจัยทำการวัดในช่วงก่อนการทดลองเพื่อนำมาคำนวณเป็นค่าความดันในการปิดกั้นที่ระดับ 40%AOP สำหรับการฝึกออกกำลังกาย (Patterson et al., 2019) ดังนี้

$$40\%AOP = 100\%AOP \text{ (mmHg)} \times 0.40$$

ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการทดสอบร่างกายด้วยเครื่องฝึกกล้ามเนื้อแบบกระบอกลมยี่ห้อไกเซอร์ รุ่นแอร์ 300 เบลท์ สควอท ประเทศสหรัฐอเมริกา (Keiser, Air300 belt squat, USA) ณ ห้องปฏิบัติการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬาคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังนี้

1. การทดสอบค่าน้ำหนักร้อยละ 60 ของความแข็งแรงสูงสุดในการออกแรงหนึ่งครั้งในท่าสควอท (60% of 1-RM) โดยเริ่มจากการหาค่าน้ำหนักในการออกแรงหนึ่งครั้ง (Estimated 1-RM) ด้วยวิธีการออกแรง 10 ครั้ง (10-RM method) (Yasuda et al., 2014) ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยอบอุ่นร่างกายและทำความคุ้นชินกับท่าสควอทด้วยน้ำหนักเบา 10 ครั้ง แล้วพัก 1 นาทีจึงเริ่มทดสอบรอบที่ 1 ด้วยการออกแรง 11 ครั้ง (Earle, 2008) จากนั้นพัก 5 นาทีก่อนทดสอบรอบถัดไป (Yasuda et al., 2014) โดยผู้วิจัยปรับน้ำหนักที่ใช้ทดสอบโดยลํารอบที่ 1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัยสามารถทำได้มากกว่า 10 ครั้ง

2. ให้เพิ่มน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ แต่ถ้าทำได้น้อยกว่า 10 ครั้งให้ลดน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ จนได้น้ำหนักที่ใช้ในการออกแรง 10 ครั้งโดยใน 3-5 ครั้งสุดท้ายต้องแสดงให้เห็นถึงความพยายามในการออกแรงสูงสุด (Maximal efforts) หรือจุดที่กล้ามเนื้อไม่สามารถออกแรงต่อไปได้ (Momentary muscle failure) (Earle, 2008) ซึ่งผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนจะได้รับการทดสอบไม่เกิน 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณ $\text{Estimated 1RM} = \text{น้ำหนัก } 10\text{RM} / 0.75$ และ $60\%1\text{-RM} = \text{Estimated 1RM} \times 0.60$

3. การทดสอบจำนวนครั้งที่สามารถทำท่าสควอทได้อย่างต่อเนื่องที่ความหนัก 60% 1RM จนกว่าจะเกิดอาการล้า (Fatigue) โดยไม่มีการหยุดพักระหว่างการทดสอบ (Arazi et al., 2014)

โปรแกรมการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (SA-BFR)

การเตรียมตัวก่อนฝึก (Familiarization sessions) เพื่อเตรียมความพร้อมร่างกายและเรียนรู้การเคลื่อนไหวบนสเต็ปขนาดความยาว 120 × ความกว้าง 38.5 × ความสูง 15 เซนติเมตร และทำความเข้าใจเกี่ยวกับโปรแกรมการฝึกทั้งหมด 3 ครั้งภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์ ใช้เวลาประมาณ 45 นาทีต่อครั้ง โดยครั้งที่ 1-2 จะไม่มีการจำกัดการไหลเวียนเลือด และครั้งที่ 3 มีการใส่อุปกรณ์สายรัดจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ 40%AOP ก่อนเข้าสู่โปรแกรมการฝึกจริง

การฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (SA-BFR) โดยใส่สายรัดบริเวณส่วนต้นของรยางค์ขาทั้งสองข้างและใช้ความดัน

ระดับปานกลางในการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ร้อยละ 40 ของความดันในการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดง (40%Arterial occlusion pressure; AOP) และกำหนดความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลาทั้งหมด 12 สัปดาห์ ใช้เวลาในการฝึกประมาณ 45 นาทีต่อครั้ง แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

1) ช่วงอบอุ่นร่างกาย (Warm-up) ประมาณ 10-15 นาทีด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไดนามิก (Dynamic stretching) การยืนย่อเท้าอยู่กับที่ (Marching) และการก้าวขึ้นลงจากสเต็ป (Basic step) โดยกำหนดจังหวะเพลง 128 ครั้งต่อนาที

2) ช่วงการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดประมาณ 20 นาที รูปแบบการเคลื่อนไหวเริ่มจากขาขวานำด้วยบล็อก 8×4, 8×2 และ 8×1 ตามลำดับ จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นขาซ้ายนำด้วยบล็อก 8×4, 8×2 และ 8×1 ตามลำดับเช่นเดียวกัน เรียกว่า “การฝึก 1 ชุด” และพักระหว่าง 2 ชุดเป็นเวลา 2 นาทีโดยไม่ถอดสายรัด ซึ่งในการฝึกแต่ละครั้งจะมีทั้งหมด 4 ชุด ชุดละ 4 ท่า ดังนี้

ชุดที่ 1: Up V squat, V-shake, V up & down และ Triple knee

ชุดที่ 2: Split lunge, X-step, Two knee one jack และ L-step

ชุดที่ 3: Turn step, K-step, Knee straddle และ Straddle kick

ชุดที่ 4: Walk the curb, Over the top, Straddle swing และ Charleston

การปรับความเข้มข้นของโปรแกรม ประกอบด้วย การปรับความเร็วของจังหวะเพลง (Music tempo) และเพิ่มช่วงเป้าหมายของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง (Heart rate reserve; HRR) ทุก 4 สัปดาห์ ดังนี้

สัปดาห์ที่ 1-4: กำหนดจังหวะเพลง 128 ครั้งต่อนาที และระดับความหนัก 60-75%HRR

สัปดาห์ที่ 5-8: กำหนดจังหวะเพลง 130 ครั้งต่อนาที และระดับความหนัก 75-85%HRR

สัปดาห์ที่ 9-12: กำหนดจังหวะเพลง 132 ครั้งต่อนาที และระดับความหนัก 75-89%HRR

3) ช่วงคลายอุ่นร่างกาย (Cool down) ประมาณ 10 นาทีด้วยการก้าวขึ้นลงจากสเต็ป (Basic step) การยืนย่อเท้าอยู่กับที่ (Marching) และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง (Static stretching) โดยกำหนดจังหวะเพลง 100 ครั้งต่อนาที

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสังคมศาสตร์ (Statistical Package for The Social Science; SPSS) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

2. หาข้อมูลที่ผิดปกติ (Outlier) ด้วย Box plot ก่อนเริ่มวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล (Test of normality) ด้วยการทดสอบชาปิโรวิลค์ (Shapiro-Wilk test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

3. วิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรก่อน ระหว่าง และหลังการทดลองด้วยวิธีการ

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสมผสาน (Two-way mixed ANOVA 2 Groups x 3 Times) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ด้วยสถิติทดสอบแอลเอสดี (LSD post hoc test) ทั้งความแตกต่างภายในกลุ่ม (Within group differences) และระหว่างกลุ่ม (Between group differences) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยแสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error of mean; SEM) และช่วงความเชื่อมั่น 95% (95% Confidence Interval)

4. ขนาดอิทธิพลหรือขนาดของผล (Effect size; ES) แปลผลได้ดังนี้ (Cohen, 1988)

0.00-0.19	มีขนาดของผลน้อยมาก
0.20-0.49	มีขนาดของผลน้อย
0.50-0.79	มีขนาดของผลปานกลาง
≥0.80	มีขนาดของผลมาก

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยคือผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนทั้งหมด 27 คน ประกอบด้วย กลุ่มควบคุม 14 คน และกลุ่มฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 13 คน

จากตารางที่ 1 ข้อมูลด้านสรีรวิทยาทั่วไปพบว่ากลุ่ม SA-BFR มีอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง ($p=0.010$) และพบว่าเมื่ออัตราการเต้นหัวใจขณะพักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 เมื่อเทียบกับก่อน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไปของผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนกลุ่มควบคุม (CON; n=14) และกลุ่มฝึกสตีปแอโรบิกรวมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (SA-BFR; n=13) ก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และหลังการทดลอง

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา ทั่วไป	กลุ่ม	สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบผสมผสาน						ขนาด อิทธิพล (ES)
		ก่อน การทดลอง	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 12	p-value			
					เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม×เวลา	
อายุ (ปี)	CON	55.9±0.7 (54.5, 57.5)			0.669			
	SA-BFR	55.5±0.8 (53.9, 57.1)						
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	CON	156±1.23 (154, 159)			0.066			
	SA-BFR	160±1.27 (157, 162)						
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	CON	54.14±1.52 (51.02, 57.26)	53.99±1.51 (50.88, 57.11)	54.10±1.50 (51.02, 57.18)	0.802	0.662	0.994	0.000
	SA-BFR	53.22±1.57 (49.98, 56.45)	53.12±1.57 (49.79, 56.25)	53.12±1.55 (49.94, 56.34)				
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	CON	22.09±0.44 (21.18, 23.00)	22.03±0.44 (21.13, 22.93)	22.08±0.46 (21.12, 23.03)	0.738	0.063	0.979	0.001
	SA-BFR	20.88±0.46 (19.93, 21.82)	20.77±0.45 (19.84, 21.71)	20.85±0.48 (19.86, 21.84)				
อัตราการเผาผลาญ พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรีต่อวัน)	CON	1082±17.72 (1045, 1119)	1084±16.99 (1049, 1119)	1086±17.06 (1051, 1122)	<0.001	0.296	0.010	0.174
	SA-BFR	1096±17.72 (1059, 1133)	1119±16.99 ^a (1084, 1154)	1115±17.06 ^b (1080, 1150)				
อัตราการเต้น หัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที)	CON	65±2.14 (61, 70)	65±2.63 (60, 71)	70±2.57 ^c (64, 75)	0.064	0.077	0.020	0.169
	SA-BFR	65±2.04 (60, 69)	59±2.52 ^a (53, 64)	61±2.46 ^f (56, 66)				
ความดันโลหิต ขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	CON	104±3.36 (97, 111)	101±3.79 (93, 109)	102±2.58 (97, 107)	0.491	0.196	0.556	0.028
	SA-BFR	108±3.22 (102, 115)	108±3.63 (101, 116)	106±2.47 (101, 111)				
ความดันโลหิต ขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	CON	63±2.54 (58, 68)	61±2.94 (55, 67)	62±2.35 (57, 66)	0.792	0.840	0.105	0.102
	SA-BFR	62±2.43 (56, 67)	64±2.82 (58, 70)	62±2.25 (57, 66)				

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean)±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (95%CI), a หมายถึง สัปดาห์ที่ 8 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับก่อนการทดลองภายในกลุ่ม, b หมายถึง สัปดาห์ที่ 12 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับก่อนการทดลองภายในกลุ่ม, c หมายถึง สัปดาห์ที่ 12 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสัปดาห์ที่ 8 ภายในกลุ่ม และ f หมายถึง กลุ่ม SA-BFR แตกต่างกับกลุ่ม CON ในสัปดาห์ที่ 12 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดลอง ($p=0.020$) นอกจากนี้ หลังการทดลอง พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม โดยกลุ่ม SA-BFR มีอัตราการเต้นหัวใจขณะพักน้อยกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 2 องค์ประกอบร่างกาย พบว่าในกลุ่ม SA-BFR มีร้อยละไขมันและมวลไขมัน ทั้งร่างกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน สัปดาห์ที่ 8 และ 12 เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง ($p=0.003$, $p=0.031$ ตามลำดับ) และมีมวล กล้ามเนื้อทั้งร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 เมื่อเทียบกับก่อนการ ทดลอง ($p=0.043$) นอกจากนี้ในสัปดาห์ที่ 8 พบ ความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยกลุ่ม SA-BFR มีร้อยละไขมันและมวลไขมันทั้งร่างกายน้อยกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ในสัปดาห์ที่ 12 พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยกลุ่ม SA-BFR มีร้อยละไขมันและมวลไขมันทั้งร่างกายน้อยกว่า กลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความแข็งแรงและความทนทานของ กล้ามเนื้อ พบว่าในกลุ่ม SA-BFR มีค่าน้ำหนักร้อยละ 60 ของค่าความแข็งแรงสูงสุดในการออกแรง หนึ่งครั้ง (60% of 1RM) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 เมื่อเทียบกับก่อน การทดลอง และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน สัปดาห์ที่ 12 เมื่อเทียบกับระหว่างการทดลอง ($p<0.001$) นอกจากนี้ในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 ยัง พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยกลุ่ม SA-BFR มีค่าน้ำหนักร้อยละ 60 ของค่าความแข็งแรงสูงสุด ในการออกแรงหนึ่งครั้งมากกว่ากลุ่ม CON อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่กลุ่ม CON มีค่า 60% 1RM เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง ($p<0.001$) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างภายในกลุ่มอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการ ทดลองและสัปดาห์ที่ 8 ทั้งสองกลุ่มในตัวแปรแรง บีบมือข้างหนึ่ง ($p=0.558$) แรงบีบมือสัมผัสข้าง หนึ่ง ($p=0.590$) และจำนวนครั้งที่สามารถทำท่า สควอทได้อย่างต่อเนื่อง ($p=0.054$) อีกทั้งยังไม่พบ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม อีกด้วย

ความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่าง พบว่า ในกลุ่ม SA-BFR มีระยะนั่งงอตัวไปข้างหน้าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และเพิ่มขึ้นอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 12 เมื่อเทียบกับ ระหว่างการทดลอง ($p<0.001$) ในทางกลับกัน พบว่าในกลุ่ม CON มีระยะนั่งงอตัวไปข้างหน้าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 ($p<0.001$) นอกจากนี้ในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 ยังพบความ แตกต่างระหว่างกลุ่มโดยกลุ่ม SA-BFR มีระยะนั่งงอ ตัวไปข้างหน้ามากกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ

สมรรถภาพทางแอโรบิกหรือความ สามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด พบว่าไม่มีความ แตกต่างทั้งภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ เปรียบเทียบกับก่อนการทดลองและสัปดาห์ที่ 8 ทั้ง สองกลุ่ม และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p=0.065$)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางกายของผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนกลุ่มควบคุม (CON; n=14) และกลุ่มฝึกสแต็ปแอโรบิกรวมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (SA-BFR; n=13) ก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และหลังการทดลอง

ตัวแปรด้าน สมรรถภาพทางกาย	กลุ่ม	สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบผสมผสาน						ขนาด อิทธิพล (ES)
		ก่อน การทดลอง	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 12	p-value			
					เวลา	กลุ่ม	กลุ่ม×เวลา	
ร้อยละไขมัน (ร้อยละ)	CON	39.16±1.30 (36.47, 41.85)	39.13±1.24 (36.57, 41.69)	39.00±1.26 (36.40, 41.60)	0.001	0.014	0.003	0.216
	SA-BFR	35.94±1.30 (33.25, 38.63)	33.63±1.24 ^{a,e} (31.07, 36.19)	33.88±1.26 ^{b,f} (31.28, 36.48)				
มวลไขมันทั้งร่างกาย (กิโลกรัม)	CON	20.93±1.07 (18.72, 23.15)	20.87±1.01 (18.79, 22.95)	20.86±1.01 (18.76, 22.95)	0.013	0.038	0.031	0.135
	SA-BFR	18.53±1.07 (16.32, 20.74)	17.29±1.01 ^{a,e} (15.21, 19.37)	17.40±1.01 ^{b,f} (15.31, 19.49)				
มวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกาย (กิโลกรัม)	CON	32.09±0.85 (30.34, 33.89)	32.21±0.83 (30.50, 33.92)	32.36±0.83 (30.64, 34.07)	0.002	0.258	0.043	0.123
	SA-BFR	32.97±0.85 (31.22, 34.72)	33.94±0.83 ^a (32.23, 35.65)	33.80±0.83 ^b (32.09, 35.52)				
แรงบีบมือข้างถนัด (กิโลกรัม)	CON	23.14±1.16 (20.75, 25.54)	23.75±1.01 (21.66, 25.84)	23.80±0.84 (22.07, 25.54)	0.077	0.333	0.558	0.024
	SA-BFR	24.29±1.25 (21.71, 26.88)	24.79±1.10 (22.53, 27.05)	25.75±0.91 (23.87, 27.63)				
แรงบีบมือสัมพันธ์ข้างถนัด (กิโลกรัม/น้ำหนักตัว)	CON	0.43±0.02 (0.38, 0.47)	0.44±0.02 (0.41, 0.48)	0.44±0.02 (0.41, 0.48)	0.109	0.148	0.590	0.021
	SA-BFR	0.47±0.02 (0.42, 0.51)	0.47±0.02 (0.43, 0.51)	0.49±0.02 (0.45, 0.53)				
น้ำหนักร้อยละ 60 ของ ความแข็งแรงสูงสุดในการ ออกแรงหนึ่งครั้ง (กิโลกรัม)	CON	33.39±1.62 (30.02, 36.75)	37.77±2.08 ^a (33.45, 42.09)	40.15±1.89 ^b (36.23, 44.08)	<0.001	0.054	<0.001	0.392
	SA-BFR	31.46±1.77 (27.79, 35.12)	45.09±2.27 ^{a,e} (40.39, 49.79)	49.64±2.06 ^{b,c,f} (45.37, 53.90)				
จำนวนครั้งที่สามารถ ทำท่าสควอทได้อย่าง ต่อเนื่อง (ครั้ง)	CON	17.36±1.55 (14.15, 20.56)	17.36±1.30 (14.68, 20.04)	18.21±1.41 (15.31, 21.12)	0.015	0.005	0.054	0.120
	SA-BFR	19.55±1.75 (15.93, 23.16)	24.27±1.46 (21.25, 27.30)	25.18±1.59 (21.90, 28.46)				
ระยะในการนั่ง งอตัวไปข้างหน้า (เซนติเมตร)	CON	7.11±2.24 (2.49, 11.73)	4.96±1.90 ^a (1.05, 8.88)	6.54±1.90 (2.62, 10.45)	0.002	0.077	<0.001	0.347
	SA-BFR	8.23±2.33 (3.44, 13.02)	12.08±1.97 ^{a,e} (8.01, 16.14)	13.81±1.97 ^{b,c,f} (9.74, 17.87)				
ความสามารถในการ ใช้ออกซิเจนสูงสุด (มล./กก./นาที)	CON	26.86±0.91 (24.99, 28.73)	27.24±0.94 (25.29, 29.19)	27.66±0.82 (25.97, 29.35)	0.003	0.002	0.065	0.116
	SA-BFR	29.28±0.98 (27.27, 31.30)	31.01±1.02 (28.90, 33.11)	33.01±0.88 (31.19, 34.83)				

แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean)±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM), ช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (95%CI), a หมายถึง สัปดาห์ที่ 8 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับก่อนการทดลองภายในกลุ่ม, b หมายถึง สัปดาห์ที่ 12 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับก่อนการทดลองภายในกลุ่ม, c หมายถึง สัปดาห์ที่ 12 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสัปดาห์ที่ 8 ภายในกลุ่ม, e หมายถึง กลุ่ม SA-BFR แตกต่างกับกลุ่ม CON ในสัปดาห์ที่ 8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ f หมายถึง กลุ่ม SA-BFR แตกต่างกับกลุ่ม CON ในสัปดาห์ที่ 12 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อภิปรายผลการวิจัย

จากงานวิจัยในครั้งนี้พบว่า ผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนที่ได้รับการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นเวลา 12 สัปดาห์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป และสมรรถภาพร่างกายในด้านต่างๆ ซึ่งอธิบายด้วยกลไกทางสรีรวิทยาดังต่อไปนี้

ผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนที่ได้รับการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีอัตราการเต้นหัวใจขณะพักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง และมีอัตราการเต้นหัวใจขณะพักน้อยกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนให้เห็นถึงการปรับตัวของระบบหัวใจและหลอดเลือดในทางที่ดีขึ้น โดยการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถสร้างภาวะเลือดไหลเวียนกลับแรง (Reactive hyperemia) หลังจากปล่อยแรงบีบรัด (Deflation) อย่างเป็นประจำทุกครั้งหลังออกกำลังกาย ส่งผลให้มีอัตราการเกิดแรงเฉือน (Shear rate) บริเวณเยื่อบุเซลล์ผนังหลอดเลือด (Endothelial cell) เพิ่มขึ้น (Chen et al., 2025) การขยายตัวของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation; FMD) จึงเพิ่มขึ้น (Zhang et al., 2022) เมื่อหลอดเลือดตอบสนองและปรับตัวดีขึ้น ความดันที่หัวใจห้องล่างซ้ายต้องบีบตัวเพื่อส่งเลือด (Afterload) จะลดลง ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจหดตัวได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจได้มากขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มความถี่หรืออัตราการเต้นของหัวใจ ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Buchheit & Gindre, 2006; Seals, 2003)

นอกจากนี้ ผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนที่ได้รับการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดยังพบการเพิ่มขึ้นของอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอาจมีความเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย อาทิ การเพิ่มของมวลกล้ามเนื้อ (Muscle mass) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่มีการใช้พลังงานสูงแม้อยู่ในสภาวะพักและการเพิ่มจำนวนและการทำงานของไมโทคอนเดรีย (Zampino et al., 2020) นอกจากนี้ การจำกัดการไหลเวียนเลือดในระหว่างการออกกำลังกายสามารถเพิ่มความเครียดต่อระบบพลังงานของร่างกาย ส่งผลต่อการกระตุ้นการสลายไขมัน (Lipolysis) และเร่งการเผาผลาญพลังงานได้มากกว่าการฝึกแอโรบิกแบบทั่วไปในความหนักเท่ากัน ทำให้มีอัตราการเผาผลาญขณะพักเพิ่มขึ้นได้ (Andrews, 2021) อีกทั้งมีกลไกการหลั่งเอนไซม์ 5'-adenosine monophosphate-activated protein kinase (AMPK) เพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกาย เพื่อกระตุ้นการสร้างไมโทคอนเดรีย (Mitochondrial biogenesis) กระตุ้นกระบวนการเผาผลาญกลูโคสผ่าน Glucose transporter 4 (GLUT4) ทำให้กล้ามเนื้อมีการเผาผลาญพลังงานดีขึ้น (Cho & Lee, 2024; Christiansen et al., 2018) สอดคล้องกับ Miller et al. (2021) ที่ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดต่อระบบต่างๆ ของร่างกายซึ่งพบว่ามีการเผาผลาญพลังงานและการปรับตัวของระบบเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้นหากฝึกออกกำลังกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Miller et al., 2021) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ

Silva et al. (2022) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดต่อการใช้พลังงานและการแลกเปลี่ยนก๊าซ พบว่าการฝึกดังกล่าวสามารถช่วยเพิ่มการใช้พลังงานและการใช้ออกซิเจนหลังการออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญ (Silva et al., 2022) ในงานวิจัยนี้ยังพบว่า มีการลดลงของร้อยละไขมันและมวลไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากการฝึกออกกำลังกายแบบสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ทำให้ร่างกายเกิดสภาวะขาดออกซิเจนเฉพาะที่บริเวณกล้ามเนื้อ (Local hypoxia) ยังส่งผลให้สามารถกระตุ้นการทำงานของไมโทคอนเดรียในกล้ามเนื้อให้สามารถในการใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน (Fat oxidation) ได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Beak et al. (2022) พบว่าการฝึกแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อและกระตุ้นระบบเผาผลาญพลังงานได้มากขึ้นแม้ใช้ความหนักของการฝึกที่ระดับเบา (Beak et al., 2022) และจากการวิจัยที่ผ่านมาของ Cho & Lee (2024) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด พบว่าการฝึกดังกล่าวช่วยลดมวลไขมันได้อย่างมีนัยสำคัญ (Cho & Lee, 2024) อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการพัฒนามวลกล้ามเนื้ออาจเป็นผลมาจากการฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด มีกระบวนการกระตุ้นให้ร่างกายเกิดการหลั่งฮอร์โมน Insulin like growth factor 1 (IGF-1) ออกมาจับ

ตัวกับตัวรับ (IGF-1 receptor) บริเวณกล้ามเนื้อ ส่งผลต่อการกระตุ้นการสังเคราะห์ Ribosomal protein S6 kinase beta-1 (S6K1) ภายในกล้ามเนื้อ ซึ่ง S6K1 มีความสำคัญต่อการกระตุ้นการทำงานของตัวส่งสัญญาณ Mammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1) ทำหน้าที่กระตุ้นการแบ่งตัวของนิวเคลียสในกล้ามเนื้อ (Myonuclei) ของ Satellite cell ส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนของเซลล์ต้นกำเนิดกล้ามเนื้อ (Myogenic precursor cells) มากยิ่งขึ้น (Torma et al., 2021) ทำให้ลดการสลายโปรตีน (Muscle protein breakdown; MPB) และเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อ (Muscle protein synthesis; MPS) ส่งผลให้มีมวลกล้ามเนื้อมากขึ้น (Jessee et al., 2018) นอกจากนี้ การฝึกสแต็ปแอโรบิกยังสามารถช่วยพัฒนามวลกล้ามเนื้อได้เนื่องจากความสูงของสแต็ปเปรียบเสมือนแรงต้านเมื่อมีการเคลื่อนไหวท่าทางต่างๆขณะก้าวขึ้นลงและก้าวข้าม ซึ่งกล้ามเนื้อกลายเป็นเนื้อเยื่อที่ตอบสนองต่อความเครียดเชิงกล (Mechanical stress) ที่เกิดขึ้นขณะออกกำลังกาย จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนภายในกล้ามเนื้อ (Simenz et al., 2012)

ในด้านสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ พบว่ากลุ่มฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 12 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการฝึกสแต็ปแอโรบิกเป็น

การออกแรงรับน้ำหนักตัวที่กระทำซ้ำๆ (Repetitive bodyweight loading) ส่งเสริมให้กล้ามเนื้ออย่างคส่วนล่างได้รับแรงกระตุ้นเชิงกล (Mechanical load) ทำให้เกิดแรงตึง (Mechanical tension) และแรงกระแทก (Impact loading) อย่างต่อเนื่อง (Nikić & Milenković, 2013) ไปกระตุ้นตัวรับในกล้ามเนื้อ (Mechanoreceptors) จากนั้นเส้นใยรับความรู้สึก (Type I and II afferent nerve fibers) จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางและกระตุ้นการส่งสัญญาณภายในเซลล์ (Intracellular signaling) เพื่อกระตุ้นกลไกการทำงานของ mTORC1 (Edman et al., 2019) จึงเกิดการระดมหน่วยยนต์เพิ่มมากขึ้น สารสื่อประสาทจึงถูกหลั่งออกมาทำงานบริเวณกล้ามเนื้อที่ทำงานมากขึ้น เส้นใยประสาทขนาดใหญ่ (Large axon neuron) จึงถูกกระตุ้นให้ทำงานมากขึ้น ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Anek & Bunyaratavej, 2015) ซึ่งเมื่อนำวิธีการจำกัดการไหลเวียนเลือดมาฝึกพร้อมกับสเต็ปแอโรบิก ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่ทำให้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่มีการตอบสนองและทำงานหนักเพิ่มมากขึ้น (Pereira et al., 2013) อีกทั้งการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดในงานวิจัยนี้ ยังมีการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อ และด้วยสภาวะขาดออกซิเจนเฉพาะที่บริเวณกล้ามเนื้อ (Local hypoxia) สามารถกระตุ้นให้เกิดการปรับตัวทางระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ (Patterson et al., 2019) ส่งผลให้กลไกการเร่งระดมหน่วยยนต์ (Motor unit recruitment) ของเส้นใย

กล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type II muscle fiber) ทำงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้กล้ามเนื้อบริเวณที่มีการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถออกแรงได้มากขึ้น (Hsieh et al., 2024) เช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้าของ Linero & Choi (2021) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดในผู้หญิงหมดประจำเดือนเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Linero & Choi, 2021)

แม้ว่ากลุ่ม CON จะมีการใช้ชีวิตตามปกติและไม่ได้รับการฝึกออกกำลังกายจะพบว่ามีน้ำหนัก 60%1-RM เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดจากปัจจัยอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับการฝึกโดยตรง เช่น ผลจากการมีส่วนร่วมในการทดสอบอาจทำให้เกิดการเรียนรู้การเคลื่อนไหว (Learning effect) หรือความคุ้นเคยกับท่าสควอทมากขึ้น ส่งผลให้การทดสอบครั้งถัดไปสามารถออกแรงได้เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามกลุ่ม SA-BFR ซึ่งได้รับการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดแสดงให้เห็นว่ามีน้ำหนัก 60%1-RM มากกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสัปดาห์ที่ 8 และ 12 สะท้อนถึงประสิทธิภาพของการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ส่งผลต่อการปรับตัวของกล้ามเนื้ออย่างแท้จริง ไม่ใช่เพียงผลจากการเรียนรู้การเคลื่อนไหว

นอกจากนี้ ยังพบการเพิ่มขึ้นของความยืดหยุ่นของรยางค์ส่วนล่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บ่งชี้ถึงความสามารถในการเคลื่อนไหวของข้อต่อและกล้ามเนื้อรยางค์ล่าง อาจเกิดจากการฝึกออกกำลังกายด้วยสเต็ปแอโรบิกที่มีรูปแบบเคลื่อนไหวของข้อต่อในรยางค์ส่วนล่างร่วมกันในหลายทิศทางร่วมกับการทำงานของข้อต่อนั้นๆ ซ้ำกันหลายครั้ง เช่น การงอเข่าและสะโพกขณะก้าวขึ้นสเต็ป การเหยียดเข่าและสะโพกขณะขึ้นไปยืนบนสเต็ป และการกางและหุบสะโพกขณะมีการเคลื่อนไหวไปด้านข้าง ส่งผลให้ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น อีกทั้ง ก่อนออกกำลังกายในทุกๆ ครั้งจะมีการอบอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไดนามิก (Dynamic stretching) และมีการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง (Static stretching) หลังเสร็จสิ้นการฝึก เมื่อมีแรงกระทำจากภายนอกให้กล้ามเนื้อยืดไปจนถึงมุมการเคลื่อนไหวที่มีการดึงตัวของกล้ามเนื้อจนไม่สามารถเคลื่อนไหวต่อไปได้และหยุดนิ่งคงค้างไว้ประมาณ 15-30 วินาที ส่งผลให้ข้อต่อต่างๆ สามารถมีช่วงมุมการเคลื่อนไหวที่มากขึ้น ลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อยืดหยุ่นมากขึ้น (Kubo et al., 2001) จึงสามารถช่วยเพิ่มช่วงมุมการเคลื่อนไหว (Range of motion; ROM) ได้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hallage et al. (2010) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกสเต็ปแอโรบิกต่อสมรรถภาพการทำงานในผู้สูงอายุเพศหญิงที่มีสุขภาพดีเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าผู้สูงอายุมีความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อขณะทดสอบ Chair sit and reach ดีขึ้น (Hallage et al., 2010)

แม้ว่าผลการศึกษานี้จะพบว่าค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มที่ได้รับการฝึกสเต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากการฝึกเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แต่ไม่พบความแตกต่างภายในกลุ่มจากก่อนการทดลองและไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของโปรแกรมการฝึกบางช่วงอยู่ในระดับปานกลางถึงความหนักสูงที่ร้อยละ 60-89 ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง (60-89%HRR) อาจยังไม่เพียงพอในการกระตุ้นระบบหัวใจและหลอดเลือดอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับรูปแบบการฝึกที่มุ่งเน้นการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกโดยเฉพาะ เช่น การฝึกแบบช่วงหนักสลับเบา (High-Intensity Interval Training; HIIT) ที่สามารถกระตุ้นสมรรถภาพของระบบหัวใจและหายใจได้ดีกว่าการฝึกแอโรบิกแบบต่อเนื่องที่ความเข้มข้นปานกลาง (Moderate-intensity continuous exercise; MICT) ในกลุ่มผู้สูงอายุ (Arboleda-Serna et al., 2019; Yang et al., 2023) ถึงแม้ว่าจะมีการทำแบบสอบถามกิจกรรมทางกายแล้วพบว่าอยู่ในระดับต่ำ แต่กลุ่มตัวอย่างในขณะเริ่มงานวิจัยมีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน ซึ่งสะท้อนถึงสมรรถภาพหัวใจและหลอดเลือดในระดับที่เพียงพอสำหรับการดำรงชีวิตประจำวันและกิจกรรมทั่วไป (American College of Sports Medicine, 2018) ซึ่งหากความหนักในการออกกำลังกายไม่มากพออาจจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาที่น้อยได้

อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีในการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิกจากการฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด หากมีการเพิ่มความเข้มข้นหรือเพิ่มระยะเวลาการฝึกมากขึ้น อาจทำให้ตรวจพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้

สรุปผลการวิจัย การฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ สามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อ ความแข็งแรง และทนทานของกล้ามเนื้ออย่างค้ำ และความยืดหยุ่นของร่างกาย นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดไขมันได้อีกด้วย การฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจึงเป็นแนวทางการออกกำลังกายที่ปลอดภัยและเหมาะสมสำหรับการพัฒนาสมรรถภาพทางกายและป้องกันการเสื่อมถอยของร่างกายในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน

ข้อจำกัดของการวิจัย (Limitations) ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีการกิจในชีวิตประจำวันที่แตกต่างกัน ดังนั้นการควบคุมระดับกิจกรรมทางกายจึงเป็นเรื่องที่ควบคุมได้ยาก รวมถึงไม่สามารถควบคุมการรับประทานอาหารระหว่างการเข้าร่วมการวิจัย จึงอาจส่งผลต่อตัวแปรด้านองค์ประกอบของร่างกายและสมรรถภาพกล้ามเนื้อ

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต (Future Research) เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้เห็นผลลัพธ์ที่ดีต่อสมรรถภาพทางกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านสมรรถภาพกล้ามเนื้อและองค์ประกอบ

ของร่างกาย การวิจัยครั้งต่อไป อาจมุ่งเน้นศึกษาตัวแปรดังกล่าวในระดับที่ลึกมากขึ้น เช่น สารชีวเคมีในเลือดที่สามารถบ่งชี้ตัวแปรในด้านต่างๆได้เฉพาะเจาะจงมากขึ้น อีกทั้ง ควรทำการศึกษาในกลุ่มประชากรอื่น เช่น ผู้ที่มีภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย (Sarcopenia) หรือผู้สูงอายุ (Elderly) และออกแบบงานวิจัยเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม กลุ่มฝึกสแต็ปแอโรบิก และกลุ่มฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ร่วมกับการเพิ่มระยะเวลาการฝึกให้นานกว่า 12 สัปดาห์ ผลลัพธ์ในด้านความหนาแน่นของมวลกระดูกอาจชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ความสำคัญเชิงปฏิบัติ (Practical Implications) การฝึกสแต็ปแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นโปรแกรมฝึกที่มีความปลอดภัย ไม่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บกล้ามเนื้อในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน แต่ควรมีผู้ควบคุมดูแลการฝึกและระมัดระวังการเพิ่มความดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือด หากใช้ความดันที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อเส้นประสาททำให้เกิดอาการชา (Numbness) ได้

เอกสารอ้างอิง

American College of Sports Medicine. (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (D. Riebe, J. K. Ehrman, G. Liguori, & M. Magal, Eds. Tenth edition ed.). Wolters Kluwer.

- Andrews, N. (2021). *Effect of aerobic exercise with blood flow restriction on substrate utilization and energy expenditure* [Honors's theses]. coastal carolina university digital commons. <https://digitalcommons.coastal.edu/honors-theses/406>
- Anek, A., & Bunyaratavej, N. (2015). Effects of circuit aerobic step exercise program on musculoskeletal for prevention of falling and enhancement of postural balance in postmenopausal women. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 98(Suppl 8), 88-94.
- Arazi, H., Asadi, A., & Roohi, S. (2014). Enhancing muscular performance in women: compound versus complex, traditional resistance and plyometric training alone. *Journal of Musculoskeletal Research*, 17(2), 1450007. <https://doi.org/10.1142/S0218957714500079>
- Arboleda-Serna, V. H., Feito, Y., Patiño-Villada, F. A., Vargas-Romero, A. V., & Arango-Vélez, E. F. (2019). Effects of high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on maximal oxygen consumption and blood pressure in healthy men: a randomized controlled trial. *Biomedica*, 39(3), 524-536. <https://doi.org/10.7705/biomedica.4451>
- Beak, H. J., Park, W., Yang, J. H., & Kim, J. (2022). Effect of low-intensity aerobic training combined with blood flow restriction on body composition, physical fitness, and vascular responses in recreational runners. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 10(9), 1789. <https://doi.org/10.3390/healthcare10091789>
- Buchheit, M., & Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 291(1), 451-458. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00008.2006>
- Beitz, R., & Dören, M. (2004). Physical activity and postmenopausal health. *The journal of the British Menopause Society*, 10(2), 70-74. <https://doi.org/10.1258/136218004774202382>
- Chen, L. S., McLaurin, N., Brosselin, P., Charry, D., Alhalimi, T., & Tanaka, H.

- (2025). Vascular adaptations to blood flow restriction resistance training with different cuff types: the role of retrograde shear stress. *European Journal of Applied Physiology*, 125(10), 2885-2896. <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05795-1>
- Cho, C., & Lee, S. (2024). The effects of blood flow restriction aerobic exercise on body composition, muscle strength, blood biomarkers, and cardiovascular function: a narrative review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9274. <https://doi.org/10.3390/ijms25179274>
- Christiansen, D., Murphy, R. M., Bangsbo, J., Stathis, C. G., & Bishop, D. J. (2018). Increased FXR1 and PGC-1 α mRNA after blood flow-restricted running is related to fibre type-specific AMPK signalling and oxidative stress in human muscle. *Acta Physiologica*, 223(2), e13045. <https://doi.org/10.1111/apha.13045>
- Chuensiri, N. (2021). The practical application of resistance and aerobic training with blood flow restriction. *Journal of Sports Science and Health*, 22(1), 1-17. https://he02.tci-thaijo.org/index.php/spsc_journal/article/view/250781
- Collins, B. C., Laakkonen, E. K., & Lowe, D. A. (2019). Aging of the musculoskeletal system: How the loss of estrogen impacts muscle strength. *Bone*, 123, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2019.03.033>
- Deng, H. W., Xu, F. H., Davies, K. M., Heaney, R., & Recker, R. R. (2002). Differences in bone mineral density, bone mineral content, and bone areal size in fracturing and non-fracturing women, and their interrelationships at the spine and hip. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 20(6), 358-366. <https://doi.org/10.1007/s007740200052>
- Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning* (3 ed.). Human Kinetics.
- Edman, S., Söderlund, K., Moberg, M., Apró, W., & Blomstrand, E. (2019). mTORC1 signaling in individual human muscle fibers following

- resistance exercise in combination with intake of essential amino acids. *Frontiers in Nutrition*, 6, 96. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00096>
- Fry, C. S., Glynn, E. L., Drummond, M. J., Timmerman, K. L., Fujita, S., Abe, T., Dhanani, S., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2010). Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 108(5), 1199-1209. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01266.2009>
- Hallage, T., Krause, M. P., Haile, L., Miculis, C. P., Nagle, E. F., Reis, R. S., & Da Silva, S. G. (2010). The effects of 12 weeks of step aerobics training on functional fitness of elderly women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2261-2266. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddacc6>
- Hsieh, K. L., Foster, A., MacIntyre, L., & Carr, R. (2024). Effect of blood flow restriction on gait and mobility in older adults: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(10), 1325. <https://doi.org/10.3390/ijerph21101325>
- Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Mouser, J. G., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). Mechanisms of blood flow restriction: the new testament. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 72-79. <https://doi.org/10.1097/bto.0000000000000252>
- Karakelides, H., & Nair, K. S. (2005). Sarcopenia of aging and its metabolic impact. *Current Topics in Developmental Biology*, 68, 123-148. [https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(05\)68005-2](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(05)68005-2)
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2001). Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 90, 520-527. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.2.520>
- Letieri, R. V., Furtado, G. E., Barros, P. M. N., Farias, A. M. J., Antunez, F. B.,

- Gomes, B. B., & Teixeira, A. M. M. B. (2019). Effect of 16-week blood flow restriction exercise on functional fitness in sarcopenic women: a randomized controlled trial. *International Journal of Morphology*, 37(1), 59-64.
- Letnes, J. M., Nes, B. M., & Wisløff, U. (2023). Age-related decline in peak oxygen uptake: cross-sectional vs. longitudinal findings. a review. *International Journal of Cardiology*, 16, 200171. <https://doi.org/10.1016/j.ijcrp.2023.200171>
- Lim, Z. X., & Goh, J. (2022). Effects of blood flow restriction (BFR) with resistance exercise on musculoskeletal health in older adults: a narrative review. *European Review of Aging and Physical Activity*, 19(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s11556-022-00294-0>
- Linero, C., & Choi, S. J. (2021). Effect of blood flow restriction during low-intensity resistance training on bone markers and physical functions in postmenopausal women. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 19(1), 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2020.09.001>
- Lorenz, D. S., Bailey, L., Wilk, K. E., Mangine, R. E., Head, P., Grindstaff, T. L., & Morrison, S. (2021). Blood flow restriction training. *Journal of athletic training*, 56(9), 937-944. <https://doi.org/10.4085/418-20>
- Lyall, G. K., Birk, G. K., Harris, E., Ferguson, C., Riches-Suman, K., Kearney, M. T., Porter, K. E., & Birch, K. M. (2022). Efficacy of interval exercise training to improve vascular health in sedentary postmenopausal females. *Physiological Reports*, 10(16), e15441. <https://doi.org/10.14814/phy2.15441>
- Miller, B. C., Tirko, A. W., Shipe, J. M., Sumeriski, O. R., & Moran, K. (2021). The Systemic Effects of Blood Flow Restriction Training: A Systematic Review. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(4), 978-990. <https://doi.org/10.26603/001c.25791>
- Morita, M., Gravel, S. P., Chénard, V., Sikström, K., Zheng, L., Alain, T., Gandin, V., Avizonis, D., Arguello, M.,

- Zakaria, C., McLaughlan, S., Nouet Y., Pause, A., Pollak, M., Gottlieb, E., Larsson, O., St-Pierre, J., Topisirovic, I., & Sonenberg, N. (2013). mTORC1 controls mitochondrial activity and biogenesis through 4E-BP-dependent translational regulation. *Cell Metabolism*, 18(5), 698-711. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.10.001>
- National Statistical Office (Thailand). (2018). *Demographic statistics: population and housing*. <http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/01.aspx>
- Nikić, N., & Milenković, D. (2013). Efficiency of step aerobic program in younger women. *Acta Medica Medianae*, 52(3), 25-34. <https://doi.org/10.5633/amm.2013.0304>
- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in Physiology*, 10, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
- Pereira, A., Costa, A. M., Izquierdo, M., Silva, A. J., Marques, M. C., & Williams, J. H. H. (2013). Combined strength and step aerobics training leads to significant gains in maximal strength and total body composition in older women. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 53(Suppl. 1 to No. 3), 38-43.
- Pereira Neto, E. A., Bittar, S. T., Silva, J. C. G. D., Pfeiffer, P. A. S., Santos, H. H. D., & Sousa, M. D. S. C. D. (2018). Walking with blood flow restriction improves the dynamic strength of women with osteoporosis. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 24(2), 135-139. <https://doi.org/10.1590/1517-869220182402175290>
- Pongsatha, S. (2011). *Menopause*. <https://w1.med.cmu.ac.th/obgyn/lessons/menopause/>
- Prachuablar, C., & Wattradul, D. (2020). Predicting factors of preventive behaviors of coronary heart disease and stroke among menopausal women. *Thai Journal of Cardio-Thoracic Nursing*, 31(1), 27-45.

- <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/journalthaicvnurse/article/view/243978>
- Razmjou, S., Abdulnour, J., Bastard, J.-P., Fellahi, S., Doucet, É., Brochu, M., Lavoie, J.-M., Rabasa-Lhoret, R., & Prud'homme, D. (2018). Body composition, cardiometabolic risk factors, physical activity, and inflammatory markers in premenopausal women after a 10-year follow-up: a MONET study. *Menopause*, 25(1), 89-97. <https://doi.org/10.1097/gme.0000000000000951>
- Saatmann, N., Zaharia, O. P., Loenneke, J. P., Roden, M., & Pesta, D. H. (2021). Effects of blood flow restriction exercise and possible applications in type 2 diabetes. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 32(2), 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2020.11.010>
- Seals, D. R. (2003). Habitual exercise and the age-associated decline in large artery compliance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(2), 68-72. <https://doi.org/10.1097/00003677-200304000-00003>
- Shukla, R., Ganjiwale, J., & Patel, R. (2018). Prevalence of Postmenopausal Symptoms, Its Effect on Quality of Life and Coping in Rural Couple. *Journal of Mid-life Health*, 9(1), 14-20. https://doi.org/10.4103/jmh.JMH_34_16
- Silva, J., Freitas, E., Aniceto, R., Silva, K., Araújo, J., Bembem, M., Batista, G., & Sousa, M. (2022). Aerobic exercise with blood flow restriction: Energy expenditure, excess postexercise oxygen consumption, and respiratory exchange ratio. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 42(4), 241-249. <https://doi.org/10.1111/cpf.12753>
- Simenz, C. J., Garceau, L. R., Lutsch, B. N., Suchomel, T. J., & Ebben, W. P. (2012). Electromyographical analysis of lower extremity muscle activation during variations of the loaded step-up exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(12), 3398-3405. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182472fad>

- Soontrapa, S. (2014). Golden age women. *Srinagarind Medical Journal*, 29(4), 50-55. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/SRIMEDJ/article/view/23625>
- Srisukho, C. (2018). *Golden age* (6th ed.). Amarinhealth.
- Torma, F., Gombos, Z., Fridvalszki, M., Langmar, G., Tarcza, Z., Merkely, B., Naito, H., Ichinoseki-Sekine, N., Takeda, M., Murlasits, Z., Osvath, P., & Radak, Z. (2021). Blood flow restriction in human skeletal muscle during rest periods after high-load resistance training down-regulates miR-206 and induces Pax7. *Journal of Sport and Health Science*, 10(4), 470-477. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.08.004>
- Vongchana, M., & Pongsatha, S. (2016). *Menopause and cardiovascular risk* <https://w1.med.cmu.ac.th/obgyn/lecturestopics/topic-review/4515/>
- Wang, A., Brothers, R. M., & Hurr, C. (2023). Application of blood flow restriction in hypoxic environment augments muscle deoxygenation without compromising repeated sprint exercise performance. *Experimental Physiology*, 108(5), 728-739. <https://doi.org/10.1113/EP091032>
- Witteman, J. C., Grobbee, D. E., Kok, F. J., Hofman, A., & Valkenburg, H. A. (1989). Increased risk of atherosclerosis in women after the menopause. *British Medical Journal*, 298, 642-644. <https://doi.org/10.1136/bmj.298.6674.642>
- Yang, Y., Youxiang, C., Jiacheng, C., Guangxuan, H., Bo, C., & Xuejie, Y. (2023). HIIT vs. MICT to Improve cardiorespiratory fitness and exercise capacity in older adult. *International Journal of Sports and Exercise Medicine*, 9(2), 256. <https://doi.org/10.23937/2469-5718/1510256>
- Yasuda, T., Fukumura, K., Fukuda, T., Uchida, Y., Iida, H., Meguro, M., Sato, Y., Yamasoba, T., & Nakajima, T. (2014). Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(5), 799-806. <https://doi.org/10.1111/sms.12087>

Zampino, M., Semba, R. D., Adelnia, F., Spencer, R. G., Fishbein, K. W., Schrack, J. A., Simonsick, E. M., & Ferrucci, L. (2020). Greater skeletal muscle oxidative capacity is associated with higher resting metabolic rate: results from the baltimore longitudinal study of aging. *The Journals of Gerontology: Series A*, 75(12), 2262-2268. <https://doi.org/10.1093/gerona/glaa071>

Zhang, T., Tian, G., & Wang, X. (2022). Effects of low-load blood flow restriction training on hemodynamic responses and vascular function in older adults: a meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6750. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116750>