บทความวิจัย

ผลของการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดต่อองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุ

ศิรสิทธิ์ ศรีศักดินากร[1], จิตานันท์ เหล่าศิริไพศาล[2], ณัฐพล อุบลสูตรวานิช[3] และนภัสกร ชื่นศิริ[1,4]

[1] แขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[3] ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ด้านการดูแลผู้สูงอายุ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

[4] ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Received: 10 May 2026 / Revised: 20 May 2026 / Accepted: 22 July 2026

บทคัดย่อ

บทนำ ผู้สูงอายุมีการเสื่อมถอยของระบบต่างๆ ในร่างกายตามวัย โดยเฉพาะการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อ การลดลงของอัตราการเผาผลาญพลังงาน และการเพิ่มขึ้นของมวลไขมัน ซึ่งสัมพันธ์กับความเสี่ยงของการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านช่วยพัฒนาองค์ประกอบของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การฝึกด้วยความหนักสูงอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บในผู้สูงอายุได้ ดังนั้นการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood Flow Restriction: BFR) สามารถกระตุ้นการสร้างกล้ามเนื้อได้แม้ใช้แรงต้านระดับต่ำ ทั้งนี้งานวิจัยในผู้สูงอายุยังมีจำกัด การศึกษานี้จึงมุ่งหาแนวทางที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการพัฒนาองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุ

วัตถุประสงค์ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดต่อองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุ

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุ อายุเฉลี่ย 65.92±3.67 ปี จำนวน 32 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม (CON, n=16) และกลุ่มฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (FT-BFR, n=16) โดยกลุ่มควบคุมดำเนินกิจวัตรประจำวันปกติ และกลุ่ม FT-BFR ทำการฝึกแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด เป็นเวลา 45 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลาการฝึก 8 สัปดาห์ และกำหนดความตึงของสายรัดยางยืดที่ร้อยละ 40 ของความดันปิดกั้นหลอดเลือดแดง ผู้วิจัยทำการทดสอบตัวแปรด้านองค์ประกอบร่างกาย และสรีรวิทยาทั่วไปของร่างกาย ในช่วงก่อนการทดลอง และหลังการทดลองครบ 8 สัปดาห์ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้แบบจำลองอิทธิพลผสม (Mixed-effects models) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรระหว่างก่อนและหลังการทดลอง รวมถึงทดสอบปฏิกิริยาร่วม (Interaction) ระหว่างเวลาและกลุ่มทดลอง และใช้สถิติทดสอบค่าทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Samples t-test) ในการเปรียบเทียบร้อยละความเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม นอกจากนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ขนาดอิทธิพล (Effect size; ES) เพื่อประเมินขนาดความแตกต่างของตัวแปร

ผลการวิจัย พบว่า หลังจาก 8 สัปดาห์ กลุ่ม FT-BFR มีค่าเฉลี่ยของมวลปราศจากไขมัน (2.08±2.22, p=0.027) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเปอร์เซ็นต์ไขมัน (-1.92±2.92, p=0.018) และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (71.12±4.96, p=0.013) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (CON)

สรุปผลการวิจัย การฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดเป็นการฝึกที่ปลอดภัย และสามารถพัฒนาองค์ประกอบของร่างกาย ได้อย่างมีประสิทธิภาพในผู้สูงอายุ และอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการออกกำลังกายสำหรับประชากรกลุ่มนี้

คำสำคัญ: การออกกำลังกายแบบฟังก์ชัน / การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนของเลือด / องค์ประกอบของร่างกาย / ผู้สูงอายุ

Corresponding Author: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสกร ชื่นศิริ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ E-mail: napasakorn.c@chula.ac.th

Original Article

THE EFFECTS OF FUNCTIONAL TRAINING WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON BODY COMPOSITION IN OLDER ADULTS

Sirasit Sresakdinakorn[1], Jitanan Laosiripisan[2], Natthaphon Ubonsutvanich[3] and Napasakorn Chuensiri[1,4]

[1] Exercise Physiology Program, 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] Center of Excellence in Exercise Physiology, Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University

Received: 10 May 2026 / Revised: 20 May 2026 / Accepted: 22 July 2026

Abstract

Background Older adults experience age-related physiological declines across various body systems, notably the loss of muscle mass, reduced metabolic rate, and increased fat mass, which are linked to a higher risk of non-communicable diseases. While previous research demonstrates that resistance training effectively improves body composition, high-intensity training may increase the risk of injury in older adults. Therefore, functional resistance training combined with blood flow restriction (BFR) can stimulate muscle growth even with low-load resistance. However, research on this modality in older adults remains limited. Thus, this study aims to explore a safe and effective approach to improving body composition in this population.

Purpose This study aimed to investigate the effects of functional resistance training combined with blood flow restriction on body composition in older adults.

Methods Thirty-two elderly participants (65.92±3.67 years old) were divided into two groups: a control group (CON, n=16) and a functional resistance training with blood flow restriction group (FT-BFR, n=16). The CON group were maintaining daily routine activities. FT-BFR group were perform 8-week functional resistance training combined with blood flow restriction program consisted of 45-minute sessions, 3 days per week. The elastic band tightness was set at 40% arterial occlusion pressure (AOP). Body composition and physiological variables were assessed pre- and post-intervention. Statistical analyses included mixed-effects models to examine main effects and interactions between time and group, independent samples t-tests to compare percentage changes between groups, and effect size (ES) calculations to estimate the magnitude of differences.

Results After 8 weeks, the FT-BFR group showed a significant increase in fat-free mass (2.08±2.22, p=0.027) and significant decreases in body fat percentage (-1.92±2.92, p=0.018) and resting heart rate (71.12±4.96, p=0.013) when compared to the CON group.

Conclusion Functional resistance training combined with blood flow restriction is a safe and effective method for improving body composition in older adults, offering a viable exercise alternative for this population.

Key Words: Functional resistance training / Blood flow restriction training / Body composition / Older adult

Corresponding Author: Asst. Prof. Napasakorn Chuensiri, Ph.D., NSCA-CSCS, Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand; E-mail: napasakorn.c@chula.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่ "สังคมสูงวัย" (Aged Society) และมีแนวโน้มจะยกระดับเป็น "สังคมสูงวัยระดับสุดยอด" (Super-aged Society) ภายในทศวรรษหน้า โดยคาดการณ์ว่าจะมีสัดส่วนผู้สูงอายุสูงถึงร้อยละ 28 ของประชากรทั้งหมด (WHO, 2023) การเพิ่มขึ้นของประชากรวัยนี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อภาระค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสุขภาพ (Fries et al., 2011) เนื่องจากกระบวนการเสื่อมถอยของระบบต่างๆ ในร่างกายตามวัย โดยเฉพาะความเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของร่างกายที่ถดถอยลงอย่างต่อเนื่อง (Mauk, 2014) สาเหตุสำคัญของความเสื่อมถอยดังกล่าว เกิดจากกระบวนการชราภาพทางสรีรวิทยาที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อและเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่สอง (Type II fibers) ร่วมกับการเกิดภาวะดื้อต่อโปรตีน (Anabolic resistance) และการลดลงของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน (Cruz-Jentoft et al., 2019) นอกจากนี้พฤติกรรมการขาดกิจกรรมทางกาย (Physical inactivity) ยังเป็นปัจจัยเสริมที่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อระบบเมแทบอลิซึม ทำให้การปรับตัวทางสรีรวิทยาและองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่แย่ลง อาทิ การลดลงของมวลปราศจากไขมัน (Fat-free mass) มวลกระดูก และอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพัก (Resting Metabolic Rate) ในขณะที่มวลไขมัน (Fat mass) เปอร์เซ็นต์ไขมัน (%Fat) และดัชนีมวลกาย (BMI) เพิ่มสูงขึ้น ความเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเหล่านี้ไม่เพียงแต่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือดลดลง แต่ยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) (Tieland et al., 2018)

งานวิจัยหลายฉบับยืนยันว่า การออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน (Resistance training) เป็นกลยุทธ์ที่องค์กรระดับสากลแนะนำเพื่อกระตุ้นการปรับปรุงองค์ประกอบของร่างกาย (Fragala et al., 2019; WHO, 2023, Taneat & Chuensiri, 2025) โดยเฉพาะการฝึกที่ความหนักสูง (High-load) ซึ่งสามารถกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดกระตุกเร็วและส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การใช้ความหนักระดับสูงอาจส่งผลให้เกิดความเครียดทางกล (Mechanical stress) ที่มากเกินไป และเสี่ยงต่อการบาดเจ็บในข้อต่อของผู้สูงอายุ (Tieland et al., 2018)

ด้วยเหตุนี้ การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood Flow Restriction: BFR) ร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชัน (Functional resistance training) จึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจในการสร้างการปรับตัวทางสรีรวิทยาที่ปลอดภัยและลดความเสี่ยงดังกล่าว โดยเทคนิค BFR อาศัยการใช้สายรัด (Specialized cuffs) รัดบริเวณส่วนต้นของรยางค์ เพื่อจำกัดการไหลเวียนของเลือดดำกลับสู่หัวใจ (Restrict venous blood flow) แต่ยังคงปล่อยให้เลือดแดงไหลเวียนเข้าสู่กล้ามเนื้อได้บางส่วน ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยพบว่าการฝึก BFR ร่วมกับการใช้แรงต้านระดับต่ำ (Low-load) สามารถพัฒนาขนาดของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรง และความทนทานได้อย่างปลอดภัย

ดังนั้น จึงตอบโจทย์ข้อจำกัดทางกายภาพของผู้สูงอายุได้เป็นอย่างดี (Patterson et al., 2019; Karabulut et al., 2010; Park et al., 2022) ซึ่งกลไกการทำงานที่สำคัญของการจำกัดเลือดดำนี้ จะสร้างความเครียดทางเมแทบอลิซึม (Metabolic stress) และภาวะพร่องออกซิเจนเฉพาะที่ภายในระดับเซลล์กล้ามเนื้อ (Local intramuscular hypoxia) ซึ่งกลไกทางสรีรวิทยาดังกล่าวจะช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนกล้ามเนื้อ (Muscle protein synthesis: MPS และเพิ่มการหลั่งฮอร์โมนที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการสลายไขมัน เช่น โกรทฮอร์โมน (Growth hormone) และ Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) แม้จะใช้แรงต้านในการฝึกระดับต่ำก็ตาม (Hwang & Willoughby, 2019)

จากที่มาและความสำคัญข้างต้น แสดงให้เห็นถึงกลไกสำคัญของการผสานการฝึกแบบฟังก์ชันและการจำกัดการไหลเวียนของเลือดที่สร้างภาระทางเมแทบอลิซึมเพื่อกระตุ้นการปรับปรุงองค์ประกอบของร่างกายโดยไม่ต้องอาศัยแรงต้านที่สูงจนเกิดอันตราย โดยในปัจจุบันการศึกษาวิจัยที่เจาะจงเพื่อประเมินผลของรูปแบบการฝึกดังกล่าวต่อตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไปและการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของร่างกายอย่างละเอียดในผู้สูงอายุยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด เพื่อเป็นแนวทางที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการพัฒนามวลกล้ามเนื้อ และลดปริมาณไขมันสะสมในผู้สูงอายุต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการฝึกแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดต่อองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุ

สมมติฐานของการวิจัย

การฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดส่งผลต่อองค์ประกอบของร่างกายผู้สูงอายุ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research design) และได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย โดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบันชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รับรองเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2568

กลุ่มตัวอย่าง เป็นผู้สูงอายุเป็นอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิงที่มีอายุ 65.92±3.67 ปี ที่อาศัยอยู่ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยการประชาสัมพันธ์ทางโซเชียลมีเดีย (Social media) ในช่องทางเฟซบุ๊ค ไลน์ อินสตาแกรม คลินิคผู้สูงวัยสุขภาพดีโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย และในชุมชนใกล้เคียงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 36 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power) และใช้ข้อมูลตัวแปรด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของ Lopes et al. (2022) กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test; β) ที่ 0.9 ค่าความคลาด

เคลื่อนที่ยอมรับได้ (Probable Error; α) ที่ 0.05 ได้ ค่าขนาดของผลกระทบ (Effect size; d) ที่ 0.37 ได้ขนาดกลุ่ม ตัวอย่างกลุ่มละ 11 คน เพื่อป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงเพิ่มกลุ่มตัวอย่าง 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มละ 16 คน และทำการเลือกเข้ากลุ่มตัวอย่าง โดยการหาอาสาสมัครตามเกณฑ์การคัดเข้าและคัดออกดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย

1. ผู้สูงอายุชายและหญิง อายุระหว่าง 60-75 ปี

2. ไม่มีกิจกรรมการออกกำลังกายที่เป็นรูปแบบสม่ำเสมอมากกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ในระยะเวลา 3 เดือนที่ผ่านมา

3. ดัชนีมวลกายน้อยกว่า 30 (kg/m^2) ตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก (ไม่จัดอยู่ในเกณฑ์โรคอ้วน) (Weir & Jan, 2019)

4. ผ่านเกณฑ์การคัดกรองด้วยแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายโดยผู้วิจัย (Physical activity readiness questionnaire; PAR-Q) หรือผู้ที่มีภาวะเบาหวานหรือความดันโลหิตสูงที่ได้รับการรักษาและสามารถควบคุมระดับน้ำตาลสะสม (HbA1c)<6.5% และ/หรือความดันโลหิต (BP)<160/90 mmHg ได้อย่างสม่ำเสมอและได้รับการอนุญาตจากแพทย์ประจำตัว พร้อมผลตรวจไม่เกิน 3 เดือน ให้แพทย์ในโครงการประเมินอีกรอบถือว่าสามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ แม้ว่าจะไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย (PAR-Q) ในข้อที่เกี่ยวข้องกับโรคดังกล่าว

5. มีค่าดัชนีข้อเท้า-แขน (Ankle brachial index; ABI) มากกว่า 0.9 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ (Nascimento et al., 2022)

6. สามารถอ่าน เขียน และทำความเข้าใจเอกสารและแบบสอบถามได้

7. ผ่านการประเมินแบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกายด้วยแบบทดสอบ Single leg stand test ใช้ประเมินการทรงตัวและความมั่นคงของร่างกาย โดยต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 20 วินาที

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยออกจากการวิจัย

1. เข้าร่วมการฝึกไม่ถึง ร้อยละ 80 หรือไม่ถึง 20 ครั้ง จากการฝึกทั้งหมด 24 ครั้ง

2. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุหรือมีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยขอยุติหรือไม่สมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัยต่อ

4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและข้อแนะนำของงานวิจัย

การจัดสรรกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยนี้ใช้วิธีการจัดสรรกลุ่มตัวอย่างตามความสมัครใจและความสะดวก (Convenience and preference assignment) ร่วมกับการใช้วิธีการจับคู่ลักษณะที่คล้ายคลึงกัน (Matched-pair design) เพื่อควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน โดยผู้วิจัยมีขั้นตอนการจัดกลุ่มดังนี้ ผู้วิจัยเริ่มต้นจากการสรรหาและคัดเลือกอาสาสมัครที่

ผ่านเกณฑ์การคัดกรอง มีความสนใจ และมีความพร้อมในการเข้าร่วมโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง จัดเข้าสู่กลุ่มทดลอง (FT-BFR) จนครบจำนวน 16 คนก่อน จากนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการสรรหาอาสาสมัครใน กลุ่มควบคุม (CON) โดยคัดเลือกจากผู้ที่ยินดีเข้าร่วมการวิจัยแต่ไม่สะดวกที่จะเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก ซึ่งผู้วิจัยใช้วิธีการจับคู่ (Matching) อาสาสมัครกลุ่มควบคุมให้มีลักษณะทางประชากรและสรีรวิทยาพื้นฐาน ได้แก่ ช่วงอายุ เพศ และความแข็งแรงของแรงบีบมือ ให้สอดคล้องและใกล้เคียงกับอาสาสมัครในกลุ่มทดลองแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (1:1 Ratio) จนครบจำนวน 16 คน ส่งผลให้ได้กลุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 32 คน ที่มีลักษณะพื้นฐานก่อนการทดลองไม่แตกต่างกัน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. สร้างโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดในผู้สูงอายุต่อองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุ

3. นำโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดต่อองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุ ที่ได้จากการสังเคราะห์ความรู้ไปเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาตรวจสอบแก้ไข

4. นำโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดต่อองค์ประกอบของร่างกายในผู้สูงอายุไปพิจารณาตรวจสอบ ความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) เพื่อหาความสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ (Item objective congruence; IOC) และปรับปรุงโปรแกรมการฝึกให้มีความเหมาะสม โดยมีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัยจำนวน 5 ท่าน ได้แก่ ผู้ทรงคุณวุฒินักกายภาพบำบัด 2 ท่าน และ ผู้ทรงคุณวุฒินักวิทยาศาสตร์การกีฬา 3 ท่าน โดยค่า IOC เท่ากับ 0.89

5. เสนอโครงการวิจัยเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รับรองเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2568

6. ติดต่อขอใช้สถานที่และเครื่องมือที่ห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

7. ทำการศึกษานำร่องก่อนการวิจัย (Try out) โปรแกรมการฝึกแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือด และทดสอบวิธีการใช้เครื่องมือวัดตัวแปรต่างๆ กับกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างที่จะดำเนินการวิจัย

8. ผู้วิจัยดำเนินการหากลุ่มตัวอย่างด้วยตนเองโดยการประชาสัมพันธ์เพื่อรับสมัครอาสาสมัครเข้าร่วมงานวิจัยผ่านช่องทางสื่อออนไลน์ต่างๆ ได้แก่ เฟซบุ๊ก ไลน์ อินสตาแกรม เป็นต้น ร่วมกับการประชาสัมพันธ์เชิญชวนผ่านทางคลินิกผู้สูงวัยสุขภาพดี โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

สภากาชาดไทย ผ่านทางนายแพทย์ณัฐพล อุบล สูตรวานิช และแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยผู้ที่สนใจสามารถติดต่อเพื่อสมัครเข้าร่วมงานวิจัยได้ตามช่องทางการติดต่อของผู้วิจัยที่ระบุไว้ในเอกสารประชาสัมพันธ์ เมื่อมีผู้สนใจติดต่อผู้วิจัยเข้ามาตามช่องทางดังกล่าว ผู้วิจัยจะทำการชี้แจงข้อมูลการวิจัยให้กับผู้ที่สนใจทราบถึงรายละเอียดการคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง การปฏิบัติตัวในการเก็บข้อมูลและทดสอบร่างกาย รวมถึงรายละเอียดการดำเนินงานวิจัย หากผู้ที่สนใจมีความสมัครใจและยินดีเข้าร่วมงานวิจัย ผู้วิจัยจะทำการติดต่อเพื่อเชิญมายังห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อดำเนินการคัดกรองก่อนเข้าร่วมการวิจัย

9. เมื่อผ่านเกณฑ์คัดเข้าเป็นที่เรียบร้อย จะแจ้งให้กลุ่มตัวอย่างทราบถึงรายละเอียดวิธีการปฏิบัติตัวในการทดสอบและการเก็บข้อมูล การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่างและลงนามหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยจะทำการชี้แจงข้อมูลตลอดจนตอบข้อสงสัยของผู้เข้าร่วมการวิจัยให้เกิดความเข้าใจและให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยตัดสินใจเข้าร่วมโดยอิสระก่อนลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

10. ในงานวิจัยนี้มีการทดสอบร่างกายกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง ได้แก่ ทำการทดสอบก่อนการทดลอง (pre-test) และหลังการทดลอง (post-test) ณ ห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการทดสอบกลุ่มตัวอย่าง 1 วัน ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง หลังจาก 8 สัปดาห์ที่กลุ่มทดลองได้รับการฝึกเสร็จสิ้นแล้ว จะมีการนัดหมายอีกครั้งเพื่อทำการทดสอบร่างกาย (post-test) ทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยมีรายละเอียดการทดสอบร่างกายตัวแปรทางสรีรวิทยาทั่วไป (General Physiological data) องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ในกลุ่มทดลองจะมีการวัดเปอร์เซ็นต์การจำกัดการไหลเวียนเลือดของหลอดเลือดแดงเพิ่มเติม เพื่อใช้ในการฝึกการทดสอบตัวแปรทางองค์ประกอบและสรีรวิทยาทั่วไปของร่างกาย (Body Composition & General Physiological data) ได้แก่

10.1) อัตราการเผาผลาญในขณะพัก (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) ยี่ห้อ จีอี เฮลท์แคร์ รุ่นโพรไดจี ประเทศสหรัฐอเมริกา (GE Healthcare Lunar, Madison, WI, USA) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงายบนเครื่อง DXA ในท่าที่กำหนดนิ่งเป็นเวลาประมาณ 5-10 นาที เพื่อวิเคราะห์มวลกล้ามเนื้อ มวลไขมัน และความหนาแน่นของกระดูกทั่วร่างกาย

10.2) การวัดส่วนสูง (Height) ด้วยสายวัดใยแก้ว (Measuring tape) ยี่ห้อเมต้า ประเทศ

ไทย (Meta, THA) เป็นเครื่องวัดส่วนสูงมาตรฐานให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนตัวตรง หลัง ชิดแถบวัด ไม่สวมรองเท้า และสายตามองตรงไปข้างหน้าในระนาบขนานกับพื้น

10.3) การวัดความดันโลหิต (Blood pressure) และอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (Resting heart rate) ด้วยเครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิทัลขณะพัก (Blood Pressure Monitors) ยี่ห้อจีอีไดนาแมบ รุ่นแคสเคป วี 100 ประเทศสหรัฐอเมริกา (Carescape V100, GE DinamaR USA) เป็นเครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิทัล ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพักสงบอย่างน้อย 5 นาทีก่อนทำการวัดในท่าปกติ โดยจัดวางตำแหน่งแขนให้อยู่ในระดับเดียวกับหัวใจ

10.4) การกำหนดความตึงของสายรัดยางยืดในกลุ่ม FT-BFR เริ่มต้นด้วยการหาค่าความดันปิดกั้นหลอดเลือดแดง (100% AOP) โดยใช้สายรัดมาตรฐาน (Pneumatic cuff) ร่วมกับเครื่องดอปเปลอร์อัลตราซาวนด์วัดที่ตำแหน่งหลอดเลือดแดงข้อพับเข่า (Popliteal artery) จากนั้นคำนวณหาค่าร้อยละ 40 (40% AOP) แล้วจึงรัดด้วย Pneumatic cuff ที่ระดับ 40% AOP เพื่อตรวจดูอัตราการไหลเวียนของเลือดด้วยค่า TAMV พร้อมประเมินระดับความรู้สึกเจ็บปวด (Pain Scale) หลังจากนั้นจึงนำสายรัดยางยืด (Elastic cuff) มาพันในตำแหน่งเดียวกันแล้วปรับความตึงจนผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดความรู้สึกเจ็บในระดับเท่ากันก่อนจะทำการวัดค่า TAMV ซ้ำอีกครั้งเพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรง (Validation) ว่าอัตราการไหลของเลือดจากสายรัดยางยืดมีความใกล้เคียงและเท่าเทียมกับสายรัดมาตรฐาน (Pantapao et al., 2025)

11. สำหรับกลุ่มทดลองผู้วิจัยชี้แจงและอธิบายแผนการฝึกการออกกำลังด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดระยะเวลา 8 สัปดาห์ให้กับกลุ่มทดลองทราบจะทำการฝึกแบ่งเป็น 2 ช่วงจันทร์-พุธ-ศุกร์ และอังคาร-พฤหัสบดี-เสาร์ มี 2 เวลา 9.00-10.00 กับ 13.00-14.00 โดยจะให้ผู้ที่ได้รับการทดลอง เลือกช่วงวันและเวลาที่สะดวกที่สุดและยึดตามนี้จนจบโปรแกรมการฝึก ใช้เวลา 1 ชั่วโมงต่อครั้ง ก่อนและหลังการฝึกมีการอบอุ่นร่างกายและคลายอุ่นทุกครั้ง การฝึกดำเนินภายใต้การดูแลของผู้ฝึกที่ผ่านการอบรมมาโดยเฉพาะ เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างมีมาตรฐานและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยผู้เข้าร่วมจะฝึกจำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ โดยเว้นระยะห่างระหว่างวันฝึกอย่างน้อย 48 ชั่วโมง และใช้ตารางการฝึกที่กำหนดล่วงหน้า เพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการฝึก ผู้ฝึกจะได้รับการจัดสรรในอัตราส่วน 1 คนต่อผู้เข้าร่วม 2 คน (1:2) ตลอดช่วงระยะเวลาการฝึก เพื่อให้สามารถสังเกตอาการ ตรวจสอบเทคนิคการฝึก และให้คำแนะนำได้อย่างใกล้ชิดตลอดการดำเนินโปรแกรม

12. สำหรับกลุ่มควบคุม ผู้วิจัยได้กำหนดให้ดำเนินกิจวัตรประจำวันและรับประทานอาหารตามปกติ และงดเว้นการเข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายใดๆ เพิ่มเติมตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์

ตารางที่ 1 รายละเอียดโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์

ท่าออกกำลังกาย	สัปดาห์ที่ 1-2 (3 เซ็ต)	สัปดาห์ที่ 3-4 (4 เซ็ต)	สัปดาห์ที่ 5-6 (5 เซ็ต)	สัปดาห์ที่ 7-8 (4 เซ็ต*)
1. Squat&Press	15 ครั้ง	15 ครั้ง	15 ครั้ง	30,15,15,15 ครั้ง
2. Dead Row	15 ครั้ง	15 ครั้ง	15 ครั้ง	30,15,15,15 ครั้ง
3. Leg Lunge with Dumbbell Curls	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 15,8,8,8 ครั้ง
4. Standing Bicycle Crunch	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 15,8,8,8 ครั้ง
5. Side Lunge & Elastic Band Standing Fly	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 15,8,8,8 ครั้ง
6. Basic step up & down With Dumbbell	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 8 ครั้ง	ข้างละ 15,8,8,8 ครั้ง

หมายเหตุ ความหนักของการฝึกถูกควบคุมให้อยู่ในระดับความรู้สึกเหนื่อย (RPE) ที่ระดับ 3-5 โดยกำหนดระยะเวลาพักระหว่างเซ็ต 1.30 นาที และพักระหว่างเปลี่ยนท่า 3 นาที ซึ่งจะมีการปลดสายรัดเพื่อคลายการจำกัดการไหลเวียนของเลือด (Reperfusion) ในทุกช่วงการพักระหว่างท่า ทั้งนี้ ในสัปดาห์ที่ 7-8 ได้มีการปรับรูปแบบปริมาณการฝึกเป็น 4 เซ็ต โดยกำหนดให้เซ็ตแรกปฏิบัติ 30 ครั้ง (หรือข้างละ 15 ครั้ง) และอีก 3 เซ็ตที่เหลือปฏิบัติ 15 ครั้ง (หรือข้างละ 8 ครั้ง)

13. นำผลการทดสอบที่ได้คือ ข้อมูลตัวแปรทางสรีรวิทยาทั่วไป ตัวแปรทางสรีรวิทยาทั่วไป (General Physiological data) ตัวแปรด้านองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ของทั้งสองกลุ่มมาวิเคราะห์ทางสถิติ

14. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Statistical Package for the Social Sciences; SPSS) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

2. ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Test of normality) ด้วยการทดสอบ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และขนาดอิทธิพลของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนและหลังการทดลองภายในกลุ่มระหว่างกลุ่มควบคุม (CON; n=16) กับกลุ่มทดลอง (FT-BFR; n=16)

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	กลุ่มควบคุม (CON)				กลุ่มทดลอง (FT-BFR)				ปฏิสัมพันธ์ P-value	ขนาดอิทธิพล (ES)
	ก่อน	หลัง	ค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (95% CI)	ภายในกลุ่ม P-value	ก่อน	หลัง	ค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (95% CI)	ภายในกลุ่ม P-value		
SBP (mmHg)	131.0±14	133.0±12	2.50 (-4.05, 9.05)	0.454	124.0±10	122.0±60	-1.50 (-8.05, 5.05)	0.653	0.397	0.70
DBP (mmHg)	75.0±11	77.0±90	1.88 (-2.17, 5.92)	0.364	72.0±80	74.0±70	2.12 (-1.92, 6.17)	0.303	0.932	0.04
Map (mmHg)	94.0±11	96.0±90	2.09 (-2.33, 6.51)	0.354	89.0±80	90.0±60	0.92 (-3.50, 5.34)	0.683	0.714	0.21
Resting HR (bpm)	70.0±11	70.0±70	0.00 (-4.14, 4.14)	1.000	75.0±80	71.0±50*	-4.31 (-8.45, -0.17)	0.041	0.149	0.83
Body mass (kg)	56.4±14.5	56.8±14.90	0.37 (-5.18, 5.93)	0.895	58.3±10.70	58.8±10.70	0.51 (-5.04, 6.07)	0.856	0.973	0.13
Height (cm)	157.0±60	1570.0±60	0.00 (-2.76, 2.76)	1.000	159.0±50	159.0±50	0.00 (-2.76, 2.76)	1.000	1.000	0.10

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean)±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), ค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (Mean Change) และช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95%CI); * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง ($p<0.05$)

Shapiro-Wilk test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เพื่อตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นก่อนการใช้สถิติอ้างอิง (Parametric statistics)

3. วิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรด้านสรีรวิทยาและตัวแปรด้านองค์ประกอบของร่างกาย) ด้วยสถิติอิทธิพลผสม mixed-effects models ก่อนและหลังการทดลอง โดยแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) ค่าความเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย (Mean Change) และกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (95% Confidence Interval)

4. วิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเปลี่ยนแปลง (Mean Change) และร้อยละความเปลี่ยนแปลง (% Change) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาและตัวแปรด้านองค์ประกอบของร่างกาย ระหว่างกลุ่ม (กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง) ด้วยสถิติที่แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Independent Samplest-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

5. วิเคราะห์ขนาดอิทธิพลหรือขนาดของผล (Effect size; ES) เพื่อประเมินขนาดความแตกต่างของตัวแปร โดยใช้เกณฑ์การแปลผลของโคเฮน (Cohen, 1988) ดังนี้

0.00-0.19 มีขนาดของผลน้อยมาก

0.20-0.49 มีขนาดของผลน้อย

0.50-0.79 มีขนาดของผลปานกลาง

≥0.80 มีขนาดของผลมาก

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นเพศชายและหญิง อายุ 60-75 ปี ประกอบด้วยกลุ่มควบคุม 16 คน และกลุ่มฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือด 16 คน

จากตารางที่ 2 ข้อมูลด้านสรีรวิทยาทั่วไป พบว่าภายหลังการทดลอง กลุ่มทดลอง (FT-BFR) มีอัตราการเต้นของหัวใจ (HR) ลดลงจากก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.041) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (p=0.149) นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม ในตัวแปรด้านความดันโลหิต (SBP, DBP, MAP) น้ำหนักตัว และส่วนสูง (p>0.05) แม้ว่าค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตตัวบน (SBP) ในกลุ่มทดลองจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยก็ตาม

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเปลี่ยนแปลง และร้อยละความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	ร้อยละความเปลี่ยนแปลงในกลุ่มควบคุม	ร้อยละความเปลี่ยนแปลงในกลุ่มทดลอง	ร้อยละความเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม P-value
SBP	2.13±4.09	-0.88±5.05	0.074
DBP	3.35±9.67	3.60±10.47	0.945
Map	2.61±6.02	1.41±6.56	0.594
HR	0.89±7.09	-5.28±6.15*	0.013
Body mass	0.57±1.71	0.93±1.91	0.575
Height	0.00±0.00	0.00±0.00	1.000

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean)±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD); * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (p<0.05)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและขนาดอิทธิพลของตัวแปรด้านองค์ประกอบของร่างกาย ก่อนและหลังการทดลองภายในกลุ่ม ระหว่างกลุ่มควบคุม (CON; n=16) กับกลุ่มทดลอง (FT-BFR; n=16)

ตัวแปรด้านองค์ประกอบของร่างกาย	กลุ่มควบคุม (CON)				กลุ่มทดลอง (FT-BFR)				ปฏิสัมพันธ์ P-value	ขนาดอิทธิพล (ES)
	ก่อน	หลัง	ค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (95% CI)	ภายในกลุ่ม P-value	ก่อน	หลัง	ค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (95% CI)	ภายในกลุ่ม P-value		
BMI (kg/m^2)	22.5±4.4	22.7±4.6	0.15 (-0.07,0.37)	0.162	23.1±3.5	23.4±3.4	0.19 (-0.05,0.44)	0.116	0.855	0.10
Fat free mass (kg)	36.8±7.9	36.9±8.1	0.06 (-3.32,34.43)	0.974	37.8±6.2	38.6±6.3	0.77 (-2.61, 4.14)	0.655	0.855	0.81
%Fat (%)	35.0±6.8	35.2±6.7	0.21 (-3.29, 3.71)	0.908	35.6±7.9	34.9±7.7	-0.71 (-4.21, 2.79)	0.690	0.716	0.89
Fat mass (kg)	19.7±8.2	20.0±8.3	0.28 (-3.23, 3.80)	0.874	20.5±7.5	20.3±7.3	-0.22 (-3.73, 3.29)	0.903	0.842	0.77
Vat volume (cm^3)	728±603	758±647	29.75 (-199.17, 258.67)	0.799	712±476	725±420	12.81 (-216.11, 241.73)	0.913	0.918	0.08
Vat Mass (g)	689±568	710±606	21.56 (-193.98, 237.10)	0.845	672±449	684±397	12.06 (-203.48, 227.60)	0.913	0.951	0.13
T-Score	-0.49±1.09	-0.47±1.16	0.03 (-0.53, 0.58)	0.930	0.01±1.23	-0.04±1.26	-0.05 (-0.61, 0.50)	0.855	0.848	0.31
BMC (g)	1,871±420	1,875±433	4.06 (-173.38, 181.51)	0.964	1,981±415	1,974±416	-7.31 (-184.76, 170.13)	0.936	0.929	0.39
RMR (kcal)	1,137±155	1,139±160	2.00 (-65.04, 69.04)	0.953	1,158±122	1,171±124	13.31 (-53.73, 80.36)	0.697	0.815	0.57

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean)±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), ค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลง (Mean Change) และช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95%CI); * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง ($p<0.05$)

จากตารางที่ 3 ข้อมูลด้านสรีรวิทยาทั่วไป พบว่ากลุ่ม FT-BFR มีอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลงและร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.026 และ P=0.013 ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มในตัวแปรด้านความดันโลหิต ความสูง น้ำหนักตัว (P>0.05) แม้ว่าความดันโลหิตตัวบน (SBP) จะแสดงแนวโน้มการลดลงที่ดีในกลุ่มทดลองก็ตาม

จากตารางที่ 4 ข้อมูลด้านองค์ประกอบร่างกาย พบว่ากลุ่ม FT-BFR ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่ม (p>0.05) ในทุกตัวแปร ของทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองภายใน 8 สัปดาห์

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเปลี่ยนแปลง และร้อยละความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรด้านองค์ประกอบของร่างกายระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์

ตัวแปรด้านองค์ประกอบของร่างกาย	ร้อยละความเปลี่ยนแปลงในกลุ่มควบคุม	ร้อยละความเปลี่ยนแปลงในกลุ่มทดลอง	ร้อยละความเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม P-value
BMI	0.57±1.71	0.93±1.91	0.575
Fat free mass	0.09±2.61	2.08±2.22*	0.027
%Fat	0.71±3.04	-1.92±2.92*	0.018
Fat mass	1.50±3.38	-0.87±3.91	0.077
Vat volume	13.17±41.71	8.61±23.64	0.707
Vat Mass	12.40±41.83	8.58±23.68	0.753
T-Score	-1.71±18.78	-22.51±61.74	0.229
BMC	0.13±1.84	-0.40±1.05	0.330
RMR	0.14±1.65	1.17±1.78	0.103

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean)±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD); * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (p<0.05)

จากตารางที่ 5 ข้อมูลด้านองค์ประกอบของร่างกาย พบว่ากลุ่ม FT-BFR มีร้อยละความเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่มขององค์ประกอบร่างกายดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีการลดลงของเปอร์เซ็นต์ไขมัน (-1.92±2.92% เทียบกับ 0.71±3.04%) ในขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของมวลปราศจากไขมันสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างชัดเจน (0.77±0.85 กิโลกรัม เทียบกับ 0.06±0.91 กิโลกรัม) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย ไขมันในช่องท้อง และอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพักระหว่างทั้งสองกลุ่ม ($p>0.05$) ภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์

อภิปรายผลการวิจัย

จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่า ผู้สูงอายุที่ได้รับการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก มวลปราศจากไขมัน เปอร์เซ็นต์ไขมัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอธิบายด้วยกลไกทางสรีรวิทยาดังต่อไปนี้

จากผลการศึกษาพบว่า การฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (FT-BFR) ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลง โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบร้อยละความเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม พบว่ากลุ่ม FT-BFR มีร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม (CON) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลลัพธ์นี้สะท้อนให้เห็นถึงการปรับตัวเบื้องต้นของระบบหัวใจและหลอดเลือดในสภาวะพัก ซึ่งอาจเกิดจาก การเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดส่งออกจากหัวใจต่อครั้ง (Stroke Volume) โดยการฝึกแบบ BFR ทำให้เกิดภาวะความเครียดจากแรงดัน (Pressure stress) และการสะสมของเสียจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolites) ซึ่งกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่และเพิ่มการไหลเวียนเลือดกลับเข้าสู่หัวใจ (Venous return) ส่งผลให้หัวใจสามารถสูบฉีดเลือดต่อการบีบตัวหนึ่งครั้งได้ในปริมาณที่มากขึ้น (Brandner et al., 2015) นอกจากนี้การฝึก BFR ยังช่วยพัฒนาความยืดหยุ่นของหลอดเลือด (Vascular Compliance) ผ่านการเกิดแรงเค้นเฉือน (Shear stress) ต่อผนังหลอดเลือดอย่างรุนแรงในขณะที่ปล่อยสายรัด ซึ่งไปกระตุ้นการหลั่งไนตริกออกไซด์ (Nitric Oxide) ที่มีฤทธิ์ช่วยให้หลอดเลือดขยายตัว การลดลงของความต้านทานในหลอดเลือดส่วนปลายนี้ ช่วยลดภาระงานของหัวใจห้องล่างซ้าย (Afterload) ทำให้หัวใจทำงานได้ดีขึ้น (Fahs et al., 2011) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shimizu et al. (2016) ที่พบว่า การฝึกด้วยแรงต้านความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Low-intensity resistance training with BFR) เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ช่วยเพิ่มการทำงานของเยื่อบุหลอดเลือด (Vascular endothelial function) และเพิ่มการไหลเวียนเลือดส่วนปลาย (Peripheral blood circulation) ในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีสุขภาพดีได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังอาจจะสัมพันธ์กับการปรับ

สมดุลของระบบประสาทอัตโนมัติ โดยมีการเพิ่มการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic tone) และลดการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก ส่งผลให้หัวใจทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้นในสภาวะพัก (Buchheit & Gindre, 2006)

จากผลการศึกษาภายหลังการฝึก 8 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (FT-BFR) มีร้อยละของมวลปราศจากไขมัน (Fat Free mass) เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม (CON) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถอธิบายได้จากกลไกทางสรีรวิทยาของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood Flow Restriction: BFR) ผสานเข้ากับการฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชัน (Functional Resistance Training) ที่เน้นการเคลื่อนไหวแบบหลายข้อต่อ (Multi-joint movements) จะก่อให้เกิดภาวะความเครียดทางเมแทบอลิซึม (Metabolic stress) ในระดับเซลล์กล้ามเนื้อ การจำกัดการไหลเวียนของเลือดดำกลับเข้าสู่หัวใจทำให้เกิดการสะสมของของเสียจากการเผาผลาญ (Metabolites) เช่น กรดแลคติก และไฮโดรเจนไอออน ซึ่งสภาวะดังกล่าวเป็นตัวกระตุ้นหลักให้เกิดการหลั่งฮอร์โมนที่ส่งเสริมการสร้างกล้ามเนื้อ (Anabolic hormones) โดยเฉพาะโกรทฮอร์โมน (Growth Hormone) และอินซูลินไลค์โกรทแฟคเตอร์-1 (IGF-1) ในปริมาณที่สูงขึ้น (Takarada et al., 2000) อีกทั้งภายใต้สภาวะที่เกิดภาวะพร่องออกซิเจนเฉพาะที่ภายในระดับเซลล์กล้ามเนื้อ (Local intramuscular hypoxia) จากการจำกัดการไหลของเลือด ทำให้ระบบประสาทส่วนกลางจะถูกกระตุ้นให้ระดมเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Type II muscle fibers) ให้เข้ามาทำงานเร็วขึ้นทดแทนเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (Type I) ที่มีอาการล้า (Centner et al., 2019) ซึ่งกล้ามเนื้อชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่และมีศักยภาพในการขยายขนาดได้มากกว่า (Ogborn & Schoenfeld, 2014) รวมไปถึงการเกิดภาวะเซลล์บวมน้ำ (Cellular swelling) จากการคั่งของเลือด ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณเชิงกล (Mechanical signal) ไปกระตุ้น mTORC1 (Mammalian target of rapamycin complex 1) ที่เป็นกลไกสำคัญในการเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนของกล้ามเนื้อ (Muscle protein synthesis) (Fry et al., 2010) ข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Thiebaud et al. (2013) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกร่วมกับ BFR ในกลุ่มผู้สูงอายุ โดยพบว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยความหนักต่ำร่วมกับ BFR มีปริมาณมวลร่างกายปราศจากไขมัน (Total bone-free lean body mass) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงด้านเปอร์เซ็นต์ไขมัน (%Fat) เมื่อเปรียบเทียบร้อยละความเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม พบว่ากลุ่ม FT-BFR มีเปอร์เซ็นต์ไขมันลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.018$) การปรับตัวนี้สามารถอธิบายได้จากภาวะความเครียดทางเมแทบอลิซึมที่สูงขึ้น อาจไปกระตุ้นให้ต่อมใต้สมองหลั่งโกรทฮอร์โมนออกมาในปริมาณสูงเพื่อเร่ง

กระบวนการสลายไขมัน (Lipolysis) (Takarada et al., 2000) ร่วมกับการฝึกแบบฟังก์ชันที่เน้นการเคลื่อนไหวหลายข้อต่อซึ่งกระตุ้นการทำงานกล้ามเนื้อมัดใหญ่ ทำให้เกิดอัตราการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย (EPOC) ที่สูงขึ้น ร่างกายจึงจำเป็นต้องใช้ไขมันในการฟื้นฟู (Loenneke et al., 2012) นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของมวลปราศจากไขมันที่ช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพัก (RMR) ให้สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sun (2022) ที่ได้ทำการศึกษาเชิงวิเคราะห์อภิมาน (Meta-analysis) พบว่า การฝึกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถลดเปอร์เซ็นต์ไขมันและมวลร่างกายได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังสอดรับกับการศึกษาของ Centner et al. (2019) ที่ยืนยันว่าการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) ในผู้สูงอายุ สามารถพัฒนาองค์ประกอบของร่างกายและเพิ่มมวลกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลดีต่ออัตราการเผาผลาญพลังงานโดยรวม

สรุปผลการวิจัย การฝึกด้วยแรงต้านแบบฟังก์ชันร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นแนวทางการออกกำลังกายที่มีความปลอดภัยและมีความเหมาะสมในการป้องกันการเสื่อมถอยของร่างกายในวัยผู้สูงอายุ โดยสามารถเพิ่มมวลร่างกายปราศจากไขมัน และลดเปอร์เซ็นต์ไขมัน และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.1) ควรมีผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลหรือผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาในการนำโปรแกรมนี้ไปใช้ โดยผู้ฝึกสอนส่วนบุคคลหรือผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาต้องมีความรู้ความเข้าใจในการประเมินก่อนการออกกำลังกายรูปแบบนี้ และสามารถกำหนดระดับแรงดันของสายรัด (Cuff pressure) ให้เหมาะสมกับสภาพร่างกายของผู้สูงอายุแต่ละบุคคล และควรมีการดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาการฝึก เพื่อป้องกันความเสี่ยงและเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับตัวของสรีรวิทยา

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1) ควรมีการขยายระยะเวลาในการทดลองให้ยาวนานขึ้นเป็น 12-24 สัปดาห์ หรือมากกว่านั้น เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ต้องอาศัยระยะเวลาในการปรับตัวที่นานกว่า (Slower turnover rate) เช่น ความหนาแน่นและมวลกระดูก ตลอดจนการลดลงของไขมันในช่องท้อง ซึ่งระยะเวลา 8 สัปดาห์อาจยังไม่เพียงพอที่จะเห็นผลลัพธ์ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2) ควรมีการควบคุมหรือติดตามตัวแปรด้านโภชนาการ (Nutritional intervention) ของกลุ่มตัวอย่างควบคู่ไปกับการฝึก โดยเฉพาะการบันทึกปริมาณพลังงานรวม (Total caloric intake) และสัดส่วนโปรตีนที่ได้รับในแต่ละวัน

เพื่อให้สามารถประเมินผลกระทบของการฝึกต่อตัวแปรด้านสัดส่วนร่างกาย (Body composition) เช่น น้ำหนักตัว และดัชนีมวลกาย ได้อย่างรัดกุม และลดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยแทรกซ้อน

กิตติกรรมประกาศ ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2569

การมีส่วนร่วมในผลงานของผู้แต่ง

ศิรสิทธิ์ ศรีศักดินากร ออกแบบการวิจัย ดำเนินการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และแปลผล ตลอดจนเขียนและปรับปรุงบทความวิจัย

จิตานันท์ เหล่าศิริไพศาล ร่วมออกแบบระเบียบวิธีวิจัย สนับสนุนเครื่องมือและห้องปฏิบัติการ

ณัฐพล อุบลสูตรวานิช ร่วมออกแบบระเบียบวิธีวิจัย ประเมินและคัดกรองภาวะสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง

นภัสกร ชื่นศิริ กำหนดวัตถุประสงค์ออกแบบการวิจัยและเครื่องมือ สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์และห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์และแปลผล และร่วมแก้ไขบทความวิจัย

ทั้งนี้ ผู้วิจัยทุกท่านมีส่วนร่วมในการดูแลความปลอดภัยของอาสาสมัครตลอดการทดสอบและฝึกปฏิบัติ รวมถึงได้อ่านและตรวจสอบความถูกต้องของบทความฉบับสมบูรณ์นี้

เอกสารอ้างอิง

Brandner, C. R., Kidgell, D. J., & Warmington, S. A. (2015). Unilateral bicep curl hemodynamics: Low-pressure continuous vs high-pressure intermittent blood flow restriction. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 25*(6), 770-777. https://doi.org/10.1111/sms.12297

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

Centner, C., Wiegel, P., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine, 49*(1), 95-108. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0994-1

Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., &

Zamboni, M. (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing, 48*(1), 16-31. https://doi.org/10.1093/ageing/afy169

Fahs, C. A., Rossow, L. M., Seo, D. I., Loenneke, J. P., Sherk, V. D., Kim, E., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2011). Effect of different types of resistance exercise on arterial compliance and calf blood flow. *European Journal of Applied Physiology, 111*(12), 2969-2975. https://doi.org/10.1007/s00421-011-1927-y

Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D., & Ryan, E. D. (2019). Resistance training for older adults: position statement from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research, 33(8), 2019-2052.* https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003230

Fries, J. F., Bruce, B., & Chakravarty, E. (2011). Compression of morbidity 1980-2011: a focused review of paradigms and progress. *Journal of Aging Research, 2011*, 261702. https://doi.org/10.4061/2011/261702

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, 108*(5), 1199-1209. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01266.2009

Hwang, P. S., & Willoughby, D. S. (2019). Mechanisms behind blood flow-restricted training and its effect toward muscle growth. *Journal of Strength and Conditioning Research, 33 (Supplement 1)*, S167-S179. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002384

Karabulut, M., Abe, T., Sato, Y., & Bemben, M. G. (2010). The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *European Journal of Applied Physiology, 108*(1), 147-155. https://doi.org/10.1007/s00421-009-1204-5

Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2012). The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Medical Hypotheses, 78*(1), 151-154. https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.10.014

Lopes, K. G., Farinatti, P., Bottino, D. A., de Souza, M. D. G. C., Maranhão, P., Bouskela, E., Lourenço, R. A., & de Oliveira, R. B. (2022). Exercise with blood flow restriction improves muscle strength and mass while preserving the vascular and microvascular function and structure of older adults. *Clinical Hemorheology and Microcirculation, 82*(1), 13-26. https://doi.org/10.3233/CH-221395

Mauk, K. L. (2014). *Gerontological nursing: Competencies for care*. Jones & Bartlett Learning.

Nascimento, D. D. C., Rolnick, N., Neto, I. V. S., Severin, R., & Beal, F. L. R. (2022). A useful blood flow restriction training risk stratification for exercise and rehabilitation. *Frontiers in Physiology, 13*, 808622. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.808622

Ogborn, D. I., & Schoenfeld, B. J. (2014). The role of fiber types in muscle hypertrophy: Implications for loading strategies. *Strength and Conditioning Journal, 36*(2), 20-25. https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000030

Pantapao, A., Laosiripisan, J., Ubonsutvanich, N., Chiravanich, W., & Chuensiri, N. (2025). Effects of step aerobics with blood flow restriction training on physical fitness in postmenopausal women. *Journal of Sports Science and Health, 26*(2), 158-185.

Park, J. C., Mun, D. J., & Choi, S. J. (2022). Effects of blood flow restriction exercise on leg muscle thickness and balance in elderly women with sarcopenia. *PNF and Movement, 20*(1), 1-8. https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2022.20.1.1

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

Shimizu, R., Hotta, K., Yamamoto, S., Matsumoto, T., Kamiya, K., Kato, M., Hamazaki, N., Kamekawa, D., Akiyama, A., Kamada, Y., Tanaka, S., & Masuda, T. (2016). Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *European Journal of Applied Physiology, 116*(4), 749-757. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3328-8

Sun, L. (2022). Effects of blood flow restriction training on anthropometric and blood lipids in overweight/obese adults: Meta-analysis. *Frontiers in Physiology, 13*, 1039591. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1039591

Taneat, J., & Chuensiri, N. (2025). Effects of cluster set resistance training on muscular function and balance in elderly, *Journal of Sports Science and Health, 26*(Supplement 2025), 100-117.

Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology, 88*(1), 61-65. https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.1.61

Thiebaud, R. S., Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Kim, D., Abe, T., Anderson, M. A., Young, K. C., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2013). The effects of elastic band resistance training combined with blood flow restriction on strength, total bone-free lean body mass and muscle thickness in postmenopausal women. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 33*(5), 344-352. https://doi.org/10.1111/cpf.12033

Tieland, M., Trouwborst, I., & Clark, B. C. (2018). Skeletal muscle performance and ageing. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle,*

9(1), 3-19. https://doi.org/10.1002/jcsm.12238

Weir, C. B., & Jan, A. (2019). *BMI classification percentile and cut off points*. StatPearls Publishing.

World Health Organization. (2023). *Thailand's leadership and innovations towards healthy ageing*. https://www.who.int/southeastasia/news/feature-stories/detail/thailands-leadership-and-innovation-towards-healthy-ageing