

ผลการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ
ในอาสาสมัครเพศหญิงที่มีความดันโลหิตในเกณฑ์ก่อนความดันโลหิตสูง

Effect of isometric handgrip exercise on blood pressure
in pre-hypertensive women

■ ศิริรัตน์ วรเชษฐ์¹ เสาวนีย์ นาคมะเร็ง^{2*}
Sirorat Worachet¹ Saowanee Nakmareong^{2*}

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹Student of Master of Science, School of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University, Khon Kaen Province, Thailand

²สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²School of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University, Khon Kaen Province, Thailand

* ผู้รับผิดชอบบทความ (Email: Nakmareong@gmail.com)

* Corresponding author (Email: Nakmareong@gmail.com)

Received August 2016

Accepted as revised March 2017

Abstract

Objectives: To determine the effect of isometric handgrip exercise on blood pressure in pre-hypertensive women.

Materials and methods: Pre-hypertensive individuals which were diagnosis by physician aged 40-59 years (n=42) were included in this study. Participants were randomly assigned into two groups: control group (mean age 48.10±5.76 years, n=21) and exercise group (mean age 50.00±7.01 years, n=21). In the exercise group, subjects performed isometric handgrip exercise at an intensity of 30% of handgrip maximum voluntary contraction at a rate of 2-minutes holding followed by 1-minute rest interval for 4 times, frequency 3 days/week for 4 weeks. Resting blood pressure were measured pre- and post-intervention period.

Results: After training with an isometric handgrip for 4 weeks, resting systolic blood pressure and diastolic blood pressure were significantly reduced compared to baseline blood pressure ($p<0.05$). Moreover, after 4 weeks the exercise group had statistically significant lower systolic blood pressure than control ($p<0.05$). Mean arterial pressure in the exercise group was also reduced (-3.1%, $p=0.002$) compared to pre-exercise period. At the end of intervention, mean arterial pressure in the exercise group was significantly lower than that of control ($p=0.038$).

Conclusion: Resting blood pressure in pre-hypertensive women was reduced following isometric handgrip exercise for 4 weeks.

Journal of Associated Medical Sciences 2017; 50(2): 197-208. Doi: 10.14456/jams.2017.19

Keywords: Isometric handgrip exercise, pre-hypertension, blood pressure, exercise

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือต่อการเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตในอาสาสมัครเพศหญิงที่ความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูง

วัสดุและวิธีการ: อาสาสมัครที่เข้าร่วมการศึกษาคืออาสาสมัครเพศหญิงที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูง จำนวน 42 ราย อายุอยู่ในช่วง 40-59 ปี สุ่มอาสาสมัครเป็นสองกลุ่ม คือกลุ่มควบคุม (อายุเฉลี่ย 48.10 ± 5.76 ปี จำนวน 21 ราย) และกลุ่มออกกำลังกาย (อายุเฉลี่ย 50.00 ± 7.01 ปี จำนวน 21 ราย) อาสาสมัครในกลุ่มออกกำลังกายได้รับการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือที่ความหนัก 30% ของความสามารถสูงสุดของแรงบีบมือ บีบค้าง 2 นาที พัก 1 นาที จำนวน 4 ครั้ง ความถี่ 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นประเมินค่าความดันโลหิตในขณะที่พักเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการออกกำลังกาย

ผลการศึกษา: หลังฝึกออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ 4 สัปดาห์ พบว่าอาสาสมัครในกลุ่มออกกำลังกายมีค่าความดันโลหิตซิสโตลิกและความดันโลหิตไดแอสโตลิกขณะพักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความดันโลหิตก่อนฝึก ($p < 0.05$) นอกจากนี้เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่าระดับความดันโลหิตซิสโตลิกในกลุ่มออกกำลังกายมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าความดันโลหิตแดงเฉลี่ยในกลุ่มออกกำลังกายมีค่าลดลง (-3.1% , $p = 0.002$) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนออกกำลังกาย และเมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการออกกำลังกายความดันโลหิตแดงเฉลี่ยในกลุ่มที่ฝึกออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.038$)

สรุปผลการศึกษา: ระดับความดันโลหิตขณะพักมีค่าลดลงหลังการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในอาสาสมัครเพศหญิงที่ความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูง

Journal of Associated Medical Sciences 2560; 50(2): 197-208. Doi: 10.14456/jams.2017.19

คำสำคัญ: การออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ ความดันโลหิตในเกณฑ์ก่อนความดันโลหิตสูง ความดันโลหิตการออกกำลังกาย

บทนำ

ความดันโลหิตสูงหมายถึงระดับความดันโลหิตซิสโตลิกในขณะพักมากกว่าหรือเท่ากับ 140 มิลลิเมตรปรอท หรือความดันโลหิตไดแอสโตลิกมากกว่าหรือเท่ากับ 90 มิลลิเมตรปรอท ขณะที่ระดับความดันโลหิตซิสโตลิกในช่วง 120-139 มิลลิเมตรปรอทหรือความดันโลหิตไดแอสโตลิกในช่วง 80-89 มิลลิเมตรปรอทถูกจัดกลุ่มให้เป็นระดับความดันโลหิตก่อนเป็นความดันโลหิตสูง¹ ความดันโลหิตสูงถือเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญ เพราะหากไม่มีการควบคุมและจัดการกับภาวะความดันโลหิตสูงที่เหมาะสมและทันเวลาที่อาจนำไปสู่ความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคไต และโรคหลอดเลือดสมอง รวมถึงอาจนำไปสู่ความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต การควบคุมให้ความดันโลหิตอยู่ในระดับที่เหมาะสมจึงถือเป็นกลยุทธ์สำคัญในการจัดการภาวะความดันโลหิตสูง^{1,2}

การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพด้วยการออกกำลังกายเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการเพื่อควบคุม รักษาและป้องกันภาวะความดันโลหิตสูง โดยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่เหมาะสมและแนะนำให้ผู้ที่มีความดันโลหิตสูงออกกำลังกายที่ใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ ความหนักระดับปานกลาง 30 นาที/วัน ความถี่ 7 วัน/สัปดาห์^{1,3} นอกจากนี้ ยังแนะนำให้ออกกำลังกายแบบมีแรงต้านที่ความหนักระดับปานกลางรวมกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเพื่อลดภาวะความดันโลหิตสูง จากคำแนะนำดังกล่าวแสดงถึงประสิทธิภาพของการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านในการลดความดันโลหิต³ การศึกษาที่ผ่านมาแสดงถึงผลการออกกำลังกายแบบผสมในอาสาสมัครเพศหญิงที่หมดประจำเดือน ซึ่งใช้รูปแบบการออกกำลังกายชนิดมีแรงต้านแบบ circuit training ที่ความหนัก 60% ของน้ำหนักที่ยกได้เพียง

1 ครั้ง (1-repetition maximum; 1RM) สำหรับการฝึกเพื่อเพิ่มความทนทานใช้ความหนัก 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด หลังฝึกเป็นเวลา 12 สัปดาห์พบว่าอาสาสมัครมีความดันโลหิตในขณะพักลดลงและกล้ามเนื้อแข็งแรงเพิ่มขึ้น⁴ นอกจากนี้ ยังเป็นที่น่าสนใจว่าการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านชนิดเกร็งค้างมีผลต่อการลดความดันโลหิตซิสโตลิกในขณะพักได้มากกว่าการออกกำลังกายชนิดมีการเคลื่อนไหว⁵

การออกกำลังกายชนิดมีแรงต้านแบบเกร็งค้างเป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่ใช้แรงต้านโดยไม่มีการเคลื่อนไหวหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวกล้ามเนื้อ⁶ การออกกำลังกายดังกล่าวถูกนำมาใช้เพื่อลดความดันโลหิต โดยนิยมใช้แรงต้านระดับปานกลาง (30-50% ของแรงหดตัวสูงสุด) ใช้ระยะเวลาในการฝึกสั้น (11-20 นาที/ครั้ง) รูปแบบการใช้แรงต้านมีทั้งชนิดที่ใช้กล้ามเนื้อแขนและกล้ามเนื้อขา อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมาบ่งชี้ว่าการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือช่วยลดความดันโลหิตได้ชัดเจนกว่า⁷⁻⁸

การออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ (isometric handgrip exercise) เป็นรูปแบบการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านที่ใช้ระยะเวลาสั้น สามารถทำได้ง่าย และมีรายงานถึงประสิทธิภาพในการลดความดันโลหิตในประชากรกลุ่มต่างๆ ทั้งในผู้ที่มีความดันโลหิตปกติ⁹⁻¹⁰ ผู้ป่วยความดันโลหิตสูง¹¹⁻¹² และผู้สูงอายุ¹³⁻¹⁴ การศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่ใช้เครื่องมือในการฝึกที่มีลักษณะจำเพาะซึ่งอาจมีข้อจำกัดในเรื่องราคาและการเข้าถึงเครื่องมือ อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Millar และคณะได้พัฒนาเครื่องมือในการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านจากสปริง โดยฝึกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าช่วยลดความดันโลหิตในขณะพักเช่นเดียวกับการฝึกด้วยเครื่องมือฝึกแบบจำเพาะ¹⁵ ด้วยประสิทธิภาพของโปรแกรมการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือต่อการลดความดันโลหิต ผู้วิจัยจึงมีความสนใจประยุกต์ใช้เครื่องวัดแรงบีบมือของกล้ามเนื้อที่เป็นเครื่องมือใช้วัดสมรรถภาพทางกาย มาใช้เป็นเครื่องมือในการฝึกสำหรับอาสาสมัครเพศหญิงที่มีค่าความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูง ซึ่งเป็นกลุ่มเสี่ยงที่หากไม่ได้มีการควบคุมความดันโลหิตให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมอาจพัฒนาไปเป็นความดันโลหิตสูงในอนาคต¹⁶ เนื่องจากปัจจัยด้านเพศมีผลต่อระดับความดันโลหิตและการตอบสนองของการออกกำลังกายที่แตกต่างกัน^{8,17} และช่วงอายุของประชากรเพศหญิงในการศึกษานี้ยังอยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาซึ่งอาจนำไปสู่การเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด การศึกษานี้จึงเลือกศึกษาในอาสาสมัครกลุ่มดังกล่าว

ตามแนวทางการควบคุมความดันโลหิตสูงได้แนะนำ

ให้ประชากรกลุ่มที่มีความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูงปรับพฤติกรรมสุขภาพเป็นหลัก ในการลดความดันโลหิตรวมถึงป้องกันการพัฒนาไปเป็นความดันโลหิตสูง ดังนั้นการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือจึงอาจเป็นอีกหนึ่งรูปแบบการออกกำลังกายทางเลือกในประชากรกลุ่มดังกล่าว จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือเป็นเวลา 4 สัปดาห์ต่อการเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตในอาสาสมัครเพศหญิงที่มีค่าความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูง การกำหนดระยะเวลาในการฝึก 4 สัปดาห์อ้างอิงจากการศึกษาที่ผ่านมาที่ใช้โปรแกรมการฝึกออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้าง ผลการศึกษาพบว่าค่าความดันโลหิตจะเริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 4^{7, 18}

วัสดุและวิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง กลุ่มตัวอย่างคืออาสาสมัครเพศหญิงที่มีค่าความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูงตามเกณฑ์ของ The seventh report of the joint national committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure (JNC 7)¹ ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เขตความรับผิดชอบของโรงพยาบาล จตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 42 ราย คำนวณขนาดตัวอย่างจากสูตรคำนวณขนาดตัวอย่างของการวิจัยแบบทดลอง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน¹⁹ อ้างอิงจากผลการวิจัยที่ผ่านมาของ Willey และคณะ¹⁸ กำหนดอำนาจการทดสอบที่ 0.80 ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวนกลุ่มละ 21 คน

เกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมงานวิจัย มีดังนี้ 1) เพศหญิง อายุระหว่าง 40-59 ปี 2) ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่ามีระดับความดันโลหิตอยู่ในเกณฑ์ก่อนเป็นความดันโลหิตสูง ภาวะก่อนเป็นความดันโลหิตสูงนิยามจากค่าความดันโลหิตซิสโตลิกอยู่ในช่วง 120-139 มิลลิเมตรปรอทหรือความดันโลหิตไดแอสโตลิกอยู่ในช่วง 80-89 มิลลิเมตรปรอท¹ และ 3) ดัชนีมวลกายอยู่ในช่วง 18.5-24.9 กก./ม² เกณฑ์การคัดออกคือผู้ที่มีอาการทางการแพทย์ต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลวิจัย ได้แก่ 1) มีโรคประจำตัวอื่นๆ 2) มีความผิดปกติทางร่างกาย 3) มีการปวดหรือบาดเจ็บบริเวณแขน ขา หรือหลังที่ประเมินจาก visual analogue scale ตั้งแต่ 5 ขึ้นไป และ 4) ผู้ที่รับประทานยาหรือฮอร์โมนที่มีผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกได้รับฟังคำอธิบายวิธีการวิจัยและลงนามในใบยินยอมก่อนเข้าร่วมการวิจัย

การศึกษานี้ได้ผ่านการรับรองแล้วโดยคณะกรรมการการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

แบ่งอาสาสมัครเป็น 2 กลุ่มโดยการสุ่ม คือ กลุ่มควบคุมและกลุ่มออกกำลังกาย กลุ่มละ 21 ราย อาสาสมัครในกลุ่มออกกำลังกายได้รับการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือที่ความหนัก 30% ของความสามารถสูงสุดของแรงบีบมือบีบค้าง 2 นาที ปลดและพัก 1 นาที จำนวน 4 ครั้ง (Figure 1) ความถี่ 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ รูปแบบการฝึกดังกล่าวเป็นรูปแบบการฝึกที่นิยมและจากการทบทวน

วรรณกรรมสนับสนุนว่ามีความเหมาะสมในการกำหนดเป็นโปรแกรมการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือเพื่อลดค่าความดันโลหิต^{7,9,15} ทั้งนี้ ก่อนการออกกำลังกายอาสาสมัครได้รับการฝึกปรับตัวเพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับเครื่องมือและโปรแกรมการออกกำลังกาย ขณะที่อาสาสมัครในกลุ่มควบคุมไม่ได้รับการออกกำลังกาย อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มได้รับการร้องขอให้ปฏิบัติตามปกติในช่วงเวลาที่เข้าร่วมการวิจัย การประเมินค่าความดันโลหิตก่อนและหลังออกกำลังกายทำในช่วงเวลาเดิม ในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ

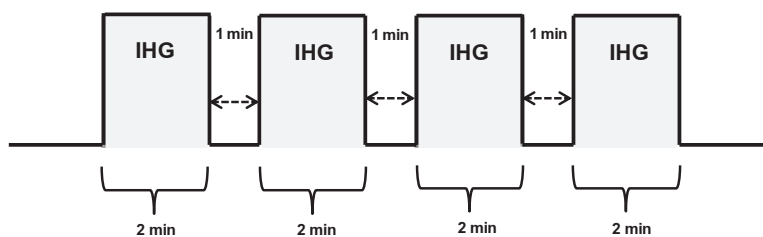


Figure 1 Isometric handgrip exercise protocol. (IHG: Isometric handgrip contraction)

อาสาสมัครได้รับการสอบถามข้อมูลพื้นฐานทางสุขภาพที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะพื้นฐานของอาสาสมัคร และข้อมูลเกี่ยวกับภาวะความดันโลหิตสูง อาสาสมัครในกลุ่มออกกำลังกายได้รับการประเมินความสามารถสูงสุดของแรงบีบมือ (handgrip maximum voluntary contraction) ทดสอบโดยให้อาสาสมัครออกแรงบีบมือด้วย handgrip (T.K.K.5001 grip A, Takei Physical Fitness Test, Japan) ในแขนข้างที่ถนัด ไม่เหยียดแขนหรือยกไหล่ และไม่กลั้นหายใจ จากนั้นพัก 3 นาที ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง นำค่าสูงสุดที่อาสาสมัครทำได้มาคำนวณค่า 30% ของความสามารถสูงสุดของแรงบีบมือเพื่อกำหนดเป็นความหนักที่ใช้ในการออกกำลังกาย⁷ สำหรับการกำหนดโปรแกรมการฝึกเลือกใช้รูปแบบการฝึกในแขนข้างเดียว เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาบ่งชี้ว่า ผลการฝึกออกกำลังกายด้วยแรงต้านแบบเกร็งค้างในแขนข้างเดียวสามารถลดค่าความดันโลหิตได้มากกว่าการฝึกในแขนสองข้าง⁸ ดังนั้นจึงประเมินค่าความสามารถสูงสุดของแรงบีบมือในแขนเพียงข้างเดียว

อาสาสมัครได้รับการประเมินค่าความดันโลหิตซิสโตลิกและไดแอสโตลิกขณะพักก่อนและหลังการฝึก จากนั้นนำมาคำนวณเป็นค่าความดันโลหิตแดงเฉลี่ย ด้วยเครื่องวัดความดันโลหิตชนิดอัตโนมัติ (OMRON HBP-9020, Omron healthcare, Japan) ที่ผ่านการสอบเทียบจากหน่วยสอบเทียบเครื่องมือแพทย์

ก่อนการเก็บข้อมูลวิจัย มีการหาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือและผู้ประเมินพบว่าค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับดี ขั้นตอนการประเมินค่าความดันโลหิตทำโดยให้อาสาสมัครนอนพักเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นประเมินค่าความดันโลหิตซิสโตลิกและไดแอสโตลิก วัดซ้ำ 3 ครั้ง ระยะพักระหว่างครั้ง 3 นาที และใช้ค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของค่าความดันโลหิต การประเมินค่าความดันโลหิตอ้างอิงวิธีการวัดตามเกณฑ์มาตรฐานของสมาคมความดันโลหิตสูงแห่งประเทศไทย²⁰

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษานี้รายงานข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สถิติเชิงพรรณนารายงานคุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร จากนั้นทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro-Wilk test พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จึงใช้สถิติ Paired t-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลภายในกลุ่มก่อนและหลังการออกกำลังกาย และใช้สถิติ Independent t-test เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของข้อมูลระหว่างกลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มควบคุม โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ $p < 0.05$

ผลการศึกษา

คุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัครทั้งสองกลุ่มก่อนการออกกำลังกาย ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย ความดันโลหิตในขณะพัก และอัตราการเต้นหัวใจ มีค่าไม่แตกต่างกัน (Table 1) อาสาสมัครในกลุ่มควบคุมมีอายุเฉลี่ย

48.10±5.76 ปี อาสาสมัครในกลุ่มออกกำลังกายมีอายุเฉลี่ย 50.00±7.01 ปี ค่าความสามารถสูงสุดของแรงบีบมือและค่า 30% ของความสามารถสูงสุดของแรงบีบมือซึ่งวัดเฉพาะในอาสาสมัครกลุ่มออกกำลังกายมีค่าเท่ากับ 21.99±4.14 กิโลกรัม และ 6.63±1.25 กิโลกรัมตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Participants' characteristics.

Variables	Control group	Exercise group	p-value
Age (years)	48.10±5.76	50.00±7.01	0.399
Weight (kg)	54.71±3.70	56.43±5.80	0.259
Body mass index (kg/m ²)	22.88±2.00	23.39±1.41	0.336
Resting systolic blood pressure (mmHg)	131.17±2.80	132.23±4.71	0.489
Resting diastolic blood pressure (mmHg)	73.12±4.42	73.39±5.68	0.864
Mean arterial pressure (mmHg)	92.67±3.27	92.46±5.48	0.715
Heart rate (bpm)	78.15±8.70	79.08±8.56	0.729
Handgrip maximum voluntary contraction (kg)	-	21.99±4.14	-
30% of handgrip maximum voluntary contraction (kg)	-	6.63±1.25	-

* Present as mean ± standard deviation. All p-value were obtained through t-test

สำหรับผลการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือเป็นประจำเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าค่าความดันโลหิตซิสโตลิกขณะพักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความดันโลหิตซิสโตลิกก่อนออกกำลังกาย (ก่อนออกกำลังกาย 132.23±4.71 มิลลิเมตรปรอท หลังออกกำลังกาย 127.95±6.59 มิลลิเมตรปรอท; $p=0.042$) เป็นที่น่าสนใจว่าอาสาสมัคร 19 รายจากอาสาสมัครทั้งหมด 21 ราย (ร้อยละ 90) ในกลุ่มออกกำลังกายมีค่าความดันโลหิตซิสโตลิกลดลง โดยช่วงการลดลงของความดันโลหิตอยู่ระหว่าง 1.33 ถึง 9.67 มิลลิเมตรปรอท นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า

ความดันโลหิตซิสโตลิกในอาสาสมัครทั้งสองกลุ่มเมื่อสิ้นสุด 4 สัปดาห์ พบว่าค่าความดันโลหิตซิสโตลิกของอาสาสมัครในกลุ่มที่ฝึกออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือมีค่าต่ำกว่าความดันโลหิตซิสโตลิกในอาสาสมัครกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Figure 2) ขณะที่ค่าความดันโลหิตซิสโตลิกในอาสาสมัครกลุ่มควบคุมไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความดันโลหิตซิสโตลิกก่อนการออกกำลังกาย (ก่อนออกกำลังกาย 131.17±2.80 มิลลิเมตรปรอท หลังออกกำลังกาย 131.43±3.57 มิลลิเมตรปรอท; $p=0.495$)

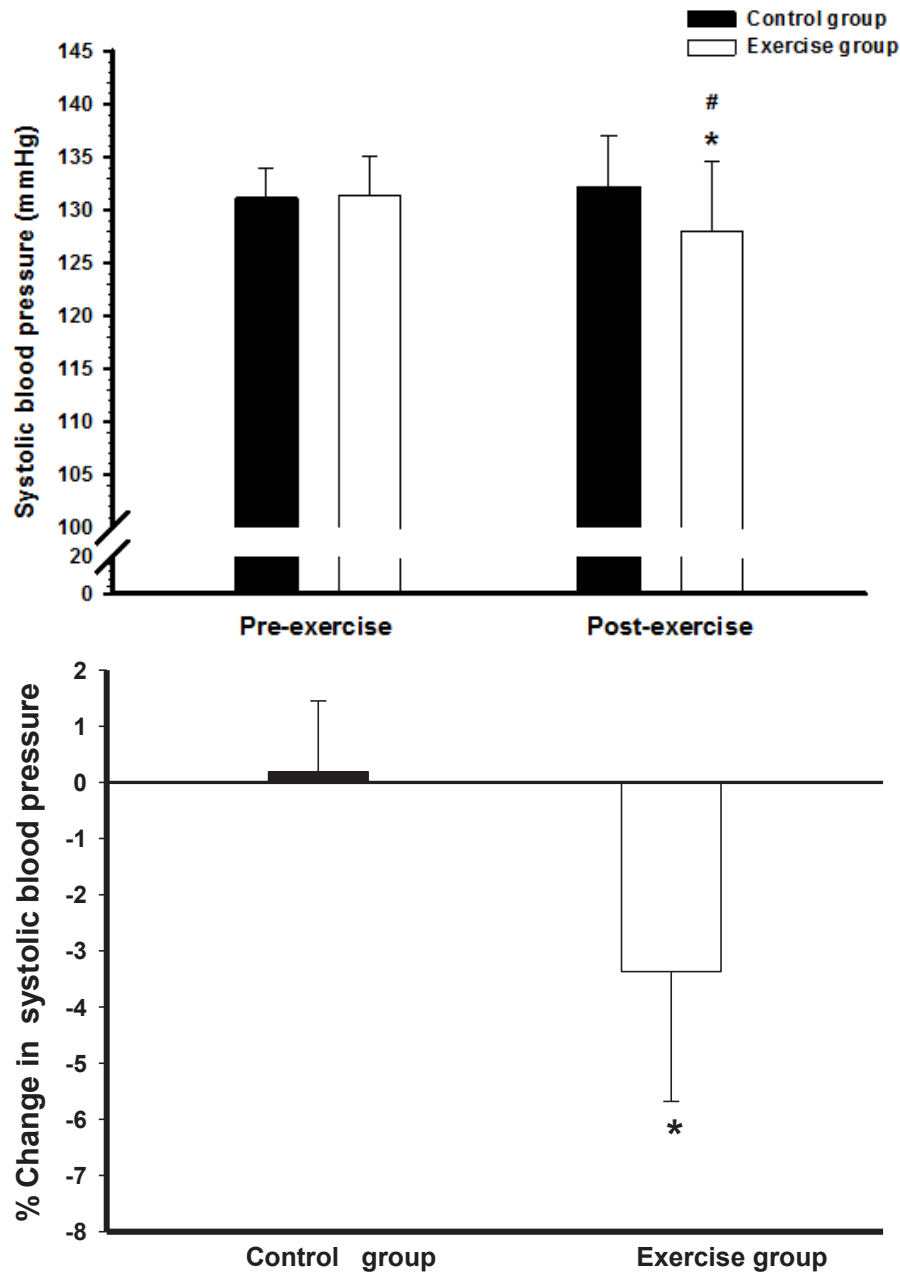


Figure 2 Systolic blood pressure and percentage changes of systolic blood pressure in the control and exercise group (* $p < 0.05$ compared with control group post-exercise, # $p < 0.05$ compared with exercise group pre-exercise).

สำหรับผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความดันโลหิตไดแอสโตลิก ในอาสาสมัครกลุ่มที่ออกกำลังกาย พบว่าค่าความดันโลหิต ไดแอสโตลิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ ระดับความดันโลหิตไดแอสโตลิกก่อนออกกำลังกาย (ก่อน ออกกำลังกาย 73.39 ± 5.67 มิลลิเมตรปรอท หลังออกกำลังกาย 70.68 ± 6.02 มิลลิเมตรปรอท; $p = 0.006$) ขณะที่ระดับ

ความดันโลหิตไดแอสโตลิกในอาสาสมัครกลุ่มควบคุมไม่พบ การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับความดันโลหิต ก่อนออกกำลังกาย ($p = 0.879$) อย่างไรก็ตาม หลังการฝึก ออกกำลังกายไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มออกกำลังกาย ($p = 0.137$) (Figure 3)

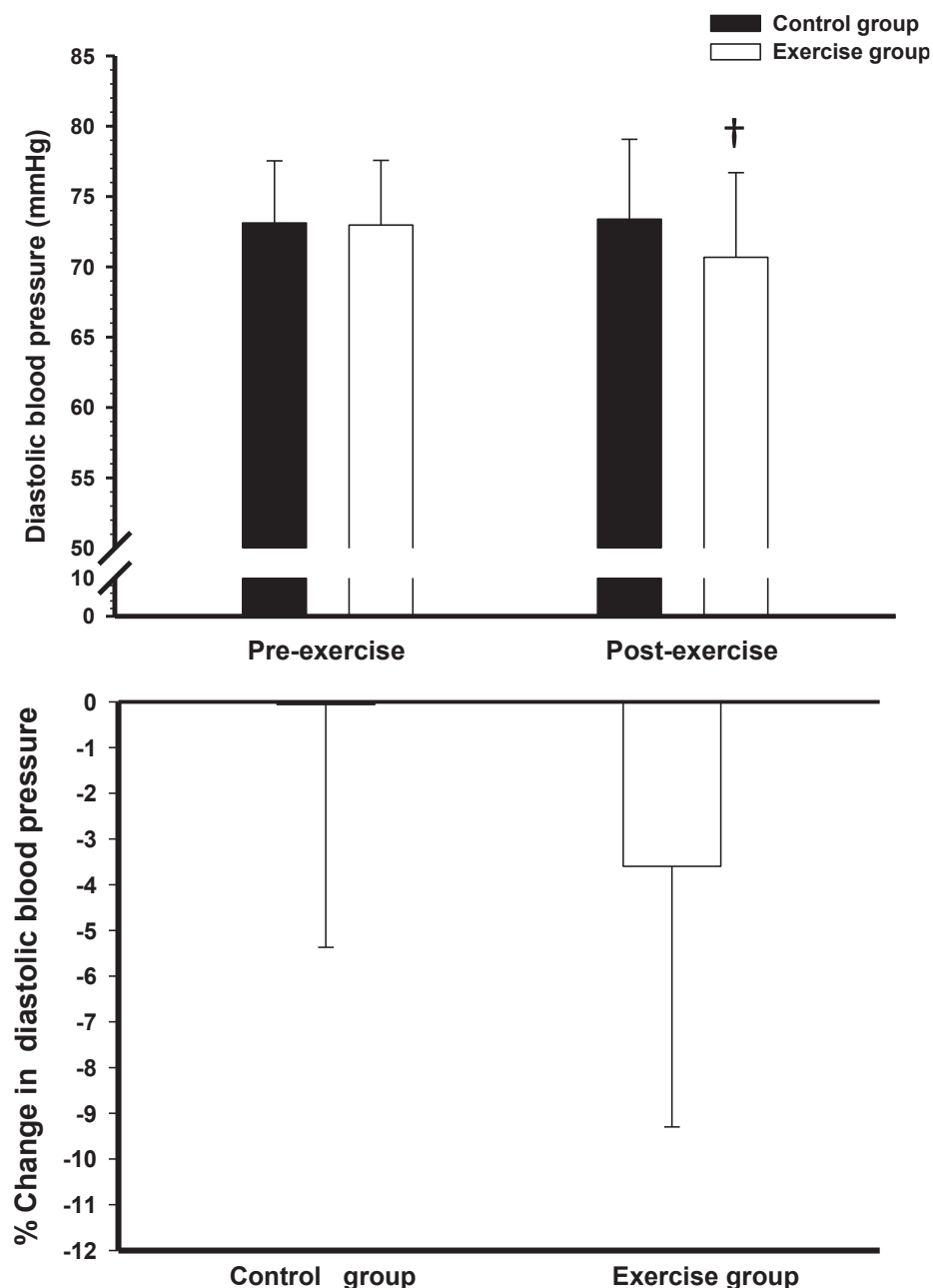


Figure 3 Diastolic blood pressure and percentage changes of diastolic blood pressure in the control and exercise group ([†] $p < 0.01$ compared with exercise group pre-exercise).

นอกจากนี้ยังพบว่าการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือเป็นประจำในอาสาสมัครเพศหญิงที่ความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูงยังสามารถลดความดันโลหิตแดงเฉลี่ยขณะพักได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4) โดยพบว่าค่าความดันโลหิตแดงเฉลี่ยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนออกกำลังกายประมาณ 3.1% (ก่อนออกกำลังกาย 92.46 ± 5.48 มิลลิเมตรปรอท หลัง

ออกกำลังกาย 89.51 ± 5.34 มิลลิเมตรปรอท; $p = 0.002$) ขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในอาสาสมัครกลุ่มควบคุมเมื่อเปรียบเทียบกับความดันโลหิตแดงเฉลี่ยก่อนออกกำลังกาย ($p = 0.689$) เมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการออกกำลังกายพบว่าความดันโลหิตแดงเฉลี่ยในอาสาสมัครกลุ่มที่ฝึกออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือมีค่าต่ำกว่าอาสาสมัครในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.038$)

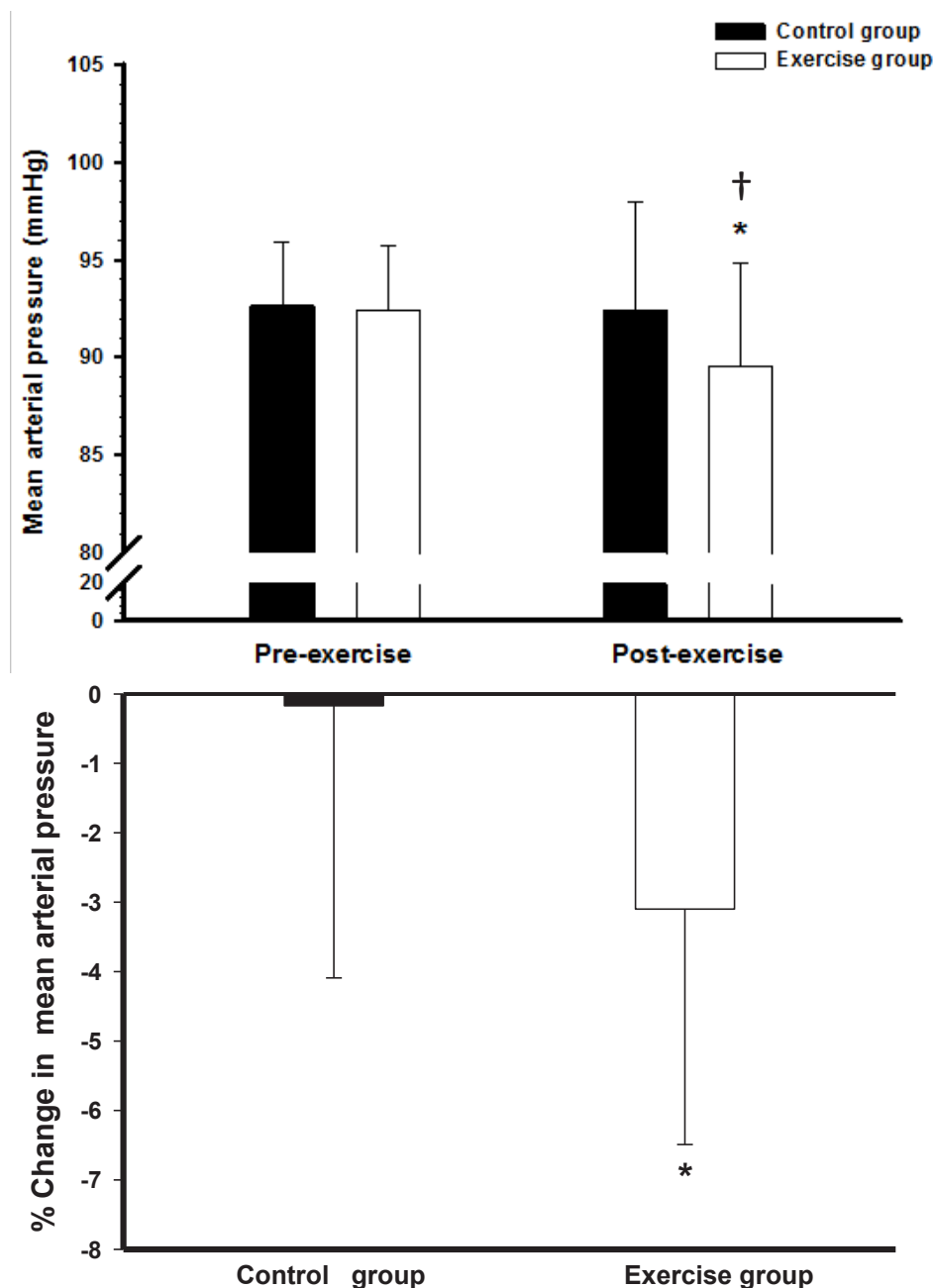


Figure 4 Mean arterial pressure and percentage changes of mean arterial pressure in the control and exercise group (* $p < 0.05$ compared with control group post-exercise, † $p < 0.01$ compared with exercise group pre-exercise).

วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงผลการประยุกต์ใช้เครื่องวัดแรงบีบมือของกล้ามเนื้อมาพัฒนาเป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ โดยใช้ระยะเวลาในการฝึกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ และเป็นที่น่าสนใจว่าใช้เวลาในการฝึกต่อครั้งเพียง 11 นาที การศึกษาพบว่าการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือเป็นประจำในอาสาสมัครเพศหญิงที่มีความดันโลหิตในเกณฑ์ก่อนความดันโลหิตสูงทำให้ความดันโลหิตซิสโตลิกและความดันโลหิตแดงเฉลี่ยลดลง

การศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการออกกำลังกายแบบเกร็งค้างที่ใช้เวลาไม่นาน แต่สามารถลดความดันโลหิตในอาสาสมัครกลุ่มที่ระดับความดันโลหิตอยู่ในระดับก่อนเป็นความดันโลหิตสูงได้

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือซึ่งใช้แรงต้านจากสปริงที่ความหนักประมาณ 30-40% ของความสามารถสูงสุดของแรงบีบมือ ฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่าความดันโลหิตแดงขณะพักลดลง

ประมาณ 8% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการออกกำลังกายที่ราคาไม่แพง (ประมาณ 60 บาท) แต่ยังคงความสามารถในการช่วยลดความดันโลหิต¹⁵ นอกจากนี้ การศึกษาเกี่ยวกับการฝึกออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือในอาสาสมัครที่มีความดันโลหิตในเกณฑ์ก่อนเป็นความดันโลหิตสูงและผู้ป่วยความดันโลหิตสูงทั้งเพศหญิงและเพศชายที่ผ่านมาพบว่า ค่าความดันโลหิตซิสโตลิกลดลงเฉลี่ย 13 มิลลิเมตรปรอท ส่วนความดันโลหิตแดงเฉลี่ยลดลงประมาณ 15 มิลลิเมตรปรอท¹⁶ ขณะที่ผลการลดความดันโลหิตในผู้ป่วยความดันโลหิตสูงที่ได้รับการรายงานว่าค่าความดันโลหิตซิสโตลิกลดลงเฉลี่ย 4% ความดันโลหิตแดงลดลงประมาณ 3.4%²¹ ส่วนผลการออกกำลังกายในผู้ป่วยความดันโลหิตสูง (ระดับความดันโลหิตซิสโตลิกเริ่มต้นเฉลี่ย 146 ± 11 มิลลิเมตรปรอท ความดันโลหิตไดแอสโตลิกเริ่มต้นเฉลี่ย 90 ± 7 มิลลิเมตรปรอท) พบว่าค่าความดันโลหิตซิสโตลิกลดลงเฉลี่ย 9.7% ความดันโลหิตไดแอสโตลิกและความดันโลหิตแดงเฉลี่ยลดลง 2.3 และ 5.5% ตามลำดับ¹¹ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการลดความดันโลหิตในขณะพักของการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือยังถูกรายงานในผู้ที่มีความดันโลหิตปกติด้วย⁹

การศึกษาที่ผ่านมาของ Millar และคณะในปี 2007 ได้รายงานถึงความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างค่าความดันโลหิตซิสโตลิกก่อนออกกำลังกายกับระดับการลดลงของความดันโลหิตซิสโตลิกหลังการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ ซึ่งให้เห็นว่าระดับความดันโลหิตก่อนออกกำลังกายเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระดับการลดลงของความดันโลหิตหลังออกกำลังกาย หรืออาจกล่าวได้ว่าระดับการลดความดันโลหิตสามารถพบได้ชัดเจนในผู้ที่มีความดันโลหิตซิสโตลิกก่อนออกกำลังกายมีค่าสูง เช่น ผู้ป่วยความดันโลหิตสูง¹² เป็นที่น่าสนใจว่าระดับการลดความดันโลหิตภายหลังการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือเป็นประจำ 4 สัปดาห์ในการศึกษาครั้งนี้ถือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญสนับสนุนการศึกษาที่ผ่านมาที่รายงานถึงค่าความดันโลหิตซิสโตลิกที่ลดลง 2 มิลลิเมตรปรอทส่งผลต่อการเกิดโรคหัวใจวาย โรคหัวใจโคโรนารี และโรคหลอดเลือดสมอง²²

กลไกที่เกี่ยวข้องในการลดความดันโลหิตหลังการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ อาจอธิบายได้จากการปรับสมดุลการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ โดยการศึกษาที่ผ่านมาจนถึงการเพิ่มการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกที่ควบคุมการทำงานของหัวใจ (cardiac vagal index) ในผู้สูงอายุ¹⁴ การปรับสมดุลของความแปรปรวนของความดันโลหิต (blood pressure variability) ในผู้ป่วยความดันโลหิตสูงที่ออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ¹³ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลต่อการทำงานของ

ของระบบประสาทซิมพาเทติก เป็นที่ทราบกันอย่างชัดเจนว่าการเพิ่มทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก และระบบประสาทพาราซิมพาเทติกทำงานลดลงเป็นลักษณะสำคัญที่พบได้ในผู้ป่วยความดันโลหิตสูง²³ รวมถึงผู้ที่มีความดันโลหิตในเกณฑ์ก่อนความดันโลหิตสูง²⁴ การที่ระบบประสาทซิมพาเทติกทำงานมากเกินไป นอกจากมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตแล้ว ยังเป็นปัจจัยส่งเสริมให้เกิดความเสียหายของอวัยวะ (target organ damage) อีกด้วย²⁵ ดังนั้นการปรับสมดุลการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกจึงเป็นหนึ่งในเป้าหมายในการควบคุมความดันโลหิต และการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคของระบบหัวใจและหลอดเลือด

การปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดอาจเป็นอีกหนึ่งกลไกที่ใช้อธิบายประสิทธิภาพในการลดความดันโลหิตหลังการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ เนื่องจากภาวะความดันโลหิตสูงมักทำให้การทำงานของหลอดเลือดผิดปกติ²⁶ การศึกษาที่ผ่านมาจนถึงความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างความดันโลหิตซิสโตลิกที่เพิ่มขึ้นและค่าการขยายตัวของหลอดเลือด (flow mediated dilation) ซึ่งใช้บ่งชี้การทำงานของหลอดเลือด ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการทำงานของหลอดเลือดที่ผิดปกติตามความรุนแรงของภาวะความดันโลหิตสูง²⁷ ขณะที่การศึกษาที่ผ่านมาสนับสนุนว่าการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือมีผลเพิ่มการขยายตัวของหลอดเลือด^{10,28} จึงอาจสรุปว่ามีการปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดในอาสาสมัครที่ออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ อย่างไรก็ตาม มีบางรายงานเกี่ยวกับโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือที่มีผลลดความดันโลหิตแต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก⁹ รวมถึงไม่เปลี่ยนแปลงการขยายตัวของหลอดเลือด²⁹ ดังนั้นจึงอาจมีกลไกอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการลดความดันโลหิตจากการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ จึงต้องศึกษาวิจัยต่อไป รวมถึงศึกษาถึงประโยชน์ของการออกกำลังกายรูปแบบดังกล่าวต่อสมรรถภาพทางกายในด้านอื่นๆ

ประโยชน์ทางคลินิกของการศึกษานี้ คือ อาจสามารถประยุกต์การออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือมาใช้ในการลดความดันโลหิตได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดคือ ระดับความดันโลหิตของอาสาสมัครในงานวิจัยเป็นกลุ่มที่อยู่ในเกณฑ์ก่อนความดันโลหิตสูง จึงอาจเห็นผลการลดความดันโลหิตได้ไม่ชัดเจน การศึกษาครั้งต่อไปจึงควรศึกษาในผู้ป่วยความดันโลหิตในระดับต่างๆ เพื่อประโยชน์การนำไปใช้ทางคลินิก และการศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้มีการศึกษากลไกในการลดความดันโลหิตของการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือ จึงทำให้ไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด

ในการลดความดันโลหิต และยังขาดผลการศึกษาในกลุ่มช่วงอายุอื่น รวมถึงอาสาสมัครเพศชายเพื่อให้สามารถนำผลการศึกษาครอบคลุมและสามารถไปประยุกต์ใช้ได้มากขึ้น

สรุปผลการศึกษา

การออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านแบบเกร็งค้างด้วยมือเป็นประจำเป็นเวลา 4 สัปดาห์ด้วยแรงต้านระดับปานกลาง มีผลทำให้ค่าความดันโลหิตในอาสาสมัครที่มีความดันโลหิตอยู่ในเกณฑ์ก่อนความดันโลหิตสูงลดลง การออกกำลังกายรูปแบบดังกล่าวเป็นการออกกำลังกายที่ใช้เวลานั้น สะดวก แต่ยังสามารถให้ผลในการลดความดันโลหิตได้ จึงอาจใช้เป็นรูปแบบการออกกำลังกายทางเลือกเพื่อใช้ลดและควบคุมความดันโลหิตสูง รวมถึงอาจช่วยลดปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคในระบบและหัวใจ และหลอดเลือดในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณแพทย์หญิงชฎารัตน์ วิชัยวงศ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจวินิจฉัยอาสาสมัครเพื่อเข้าร่วมโครงการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลอำเภोजตุรพักตรพิมาน และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองผือ อำเภोजตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลวิจัย

1. Chobanian AV, Bakris GL, Black HR, Cushman WC, Green LA, Izzo JL, Jr., et al. The seventh report of the joint national committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure: the JNC 7 report. *JAMA* 2003; 289(19): 2560-72.
2. James PA, Oparil S, Carter BL, Cushman WC, Dennison-Himmelfarb C, Handler J, et al. 2014 Evidence-based guideline for the management of high blood pressure in adults: report from the panel members appointed to the Eighth Joint National Committee (JNC 8). *JAMA* 2014; 311(5): 507-20. doi:10.1001/jama.2013.284427.
3. Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, Farquhar WB, Kelley GA, Ray CA. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(3): 533-53.
4. Figueroa A, Park SY, Seo DY, Sanchez-Gonzalez MA, Baek YH. Combined resistance and endurance exercise training improves arterial stiffness, blood pressure, and muscle strength in postmenopausal women. *Menopause* 2011; 18(9): 980-4. doi: 10.1097/gme.0b013e318213544.
5. Cornelissen VA, Fagard RH, Coeckelberghs E, Vanhees L. Impact of resistance training on blood pressure and other cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Hypertension* 2011; 58(5): 950-8. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.111.177071.
6. Mitchell JH, Wildenthal K. Static (isometric) exercise and the heart: physiological and clinical considerations. *Annu Rev of Med* 1974; 25: 369-81.
7. Millar PJ, McGowan CL, Cornelissen VA, Araujo CG, Swaine IL. Evidence for the role of isometric exercise training in reducing blood pressure: potential mechanisms and future directions. *Sports Med* 2014; 44(3): 345-56. doi: 10.1007/s40279-013-0118-x.
8. Inder JD, Carlson DJ, Dieberg G, McFarlane JR, Hess NC, Smart NA. Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis to optimize benefit. *Hypertens Res* 2016; 39(2): 88-94. doi: 10.1038/hr.2015.111.
9. Badrov MB, Bartol CL, DiBartolomeo MA, Millar PJ, McNevin NH, McGowan CL. Effects of isometric handgrip training dose on resting blood pressure and resistance vessel endothelial function in normotensive women. *Eur J Appl Physiol* 2013; 113(8): 2091-100. doi: 10.1007/s00421-013-2644-5.
10. Badrov MB, Freeman SR, Zokvic MA, Millar PJ, McGowan CL. Isometric exercise training lowers resting blood pressure and improves local brachial artery flow-mediated dilation equally in men and women. *Eur J Appl Physiol* 2016; 116(7): 1289-96. doi: 10.1007/s00421-016-3366-2.
11. Peters PG, Alessio HM, Hagerman AE, Ashton T, Nagy S, Wiley RL. Short-term isometric exercise reduces systolic blood pressure in hypertensive adults: possible role of reactive oxygen species. *Int J Cardiol* 2006; 110(2): 199-205.
12. Millar PJ, Bray SR, McGowan CL, MacDonald MJ, McCartney N. Effects of isometric handgrip training among people medicated for hypertension: a multilevel analysis. *Blood Press Monit* 2007; 12(5): 307-14.
13. Taylor AC, McCartney N, Kamath MV, Wiley RL. Isometric training lowers resting blood pressure and modulates autonomic control. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(2): 251-6.
14. Millar PJ, MacDonald MJ, Bray SR, McCartney N. Isometric handgrip exercise improves acute neurocardiac regulation. *Eur J Appl Physiol* 2009; 107(5): 509-15. doi: 10.1007/s00421-009-1142-2.

15. Millar PJ, Bray SR, MacDonald MJ, McCartney N. The hypotensive effects of isometric handgrip training using an inexpensive spring handgrip training device. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2008; 28(3): 203-7. doi: 10.1097/01.HCR.0000320073.66223.a7.
16. Julius S, Nesbitt S, Egan B, Kaciroti N, Schork MA, Grozinski M, et al. Trial of preventing hypertension: design and 2-year progress report. *Hypertension* 2004; 44(2): 146-51.
17. Joyner MJ, Wallin BG, Charkoudian N. Sex differences and blood pressure regulation in humans. *Exp Physiol* 2016; 101(3): 349-55. doi: 10.1113/EP085146.
18. Wiley RL, Dunn CL, Cox RH, Hueppchen NA, Scott MS. Isometric exercise training lowers resting blood pressure. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24(7): 749-54.
19. Chirawatkul A. Statistics for health science research. Withayapat Company Limited. Bangkok; 2013 (in Thai).
20. Thai hypertension Society [Internet]. Thai guidelines on the treatment of hypertension 2012. Update 2015. [cited 2016 May 9]. Available from: <http://www.thaihypertension.org/files/GL%20HT%202015.pdf>
21. Millar PJ, Levy AS, McGowan CL, McCartney N, MacDonald MJ. Isometric handgrip training lowers blood pressure and increases heart rate complexity in medicated hypertensive patients. *Scand J Med Sci Sports* 2013; 23(5): 620-6. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01435.x.
22. Hardy ST, Loehr LR, Butler KR, Chakladar S, Chang PP, Folsom AR, et al. Reducing the blood pressure-related burden of cardiovascular disease: impact of achievable improvements in blood pressure prevention and control. *J AM Heart Assoc* 2015; 4(10): e002276. doi: 10.1161/JAHA.115.002276.
23. Grassi G. Sympathetic neural activity in hypertension and related diseases. *Am J Hypertens* 2010; 23(10): 1052-60. doi: 10.1038/ajh.2010.154.
24. Davis JT, Rao F, Naqshbandi D, Fung MM, Zhang K, Schork AJ, et al. Autonomic and hemodynamic origins of pre-hypertension: central role of heredity. *J American Coll Cardiol* 2012; 59(24): 2206-16. doi: 10.1016/j.jacc.2012.02.040.
25. Greenwood JP, Scott EM, Stoker JB, Mary DA. Hypertensive left ventricular hypertrophy: relation to peripheral sympathetic drive. *J American Coll Cardiol* 2001; 38(6): 1711-7.
26. Rossi R, Chiurlia E, Nuzzo A, Cioni E, Origliani G, Modena MG. Flow-mediated vasodilation and the risk of developing hypertension in healthy postmenopausal women. *J American Coll Cardiol* 2004; 44(8): 1636-40.
27. Benjamin EJ, Larson MG, Keyes MJ, Mitchell GF, Vasan RS, Keaney JF, Jr., et al. Clinical correlates and heritability of flow-mediated dilation in the community: the Framingham Heart Study. *Circulation* 2004; 109(5): 613-9.
28. Atkinson CL, Carter HH, Dawson EA, Naylor LH, Thijssen DH, Green DJ. Impact of handgrip exercise intensity on brachial artery flow-mediated dilation. *Eur J Appl Physiol* 2015; 115(8): 1705-13. doi: 10.1007/s00421-015-3157-1.
29. McGowan CL, Levy AS, McCartney N, MacDonald MJ. Isometric handgrip training does not improve flow-mediated dilation in subjects with normal blood pressure. *Clin Sci (Lond)* 2007; 112(7): 403-9.