การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและความเร็วในการลุกขึ้นยืนโดยใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายในผู้สูงอายุ: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

Increasing Lower Extremity Muscle Strength and the Speed of Sit-to-Stand by Using a Motor Imagery Control Combined with Exercise Program in Older Adults: An EEG Study

บุญรัตน์ โง้วตระกูล [1*] เสรี ชัดแช้ม [2] ปรัชญา แก้วแก่น [2]

Boonrat Ngowtrakul [1*], Seree Chadcham [2], Pratchaya Kaewkaen [2]

[1] Faculty of Physical Therapy, Huachiew Chalermprakiet University, Thailand

[2] Center of Excellence in Cognitive Science,

College of Research Methodology and Cognitive Science, Burapha University, Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและความเร็วในการลุกขึ้นยืนโดยใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้โปรแกรมการออกกำลังกายทั่วไป กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุ เพศหญิง ช่วงอายุ 60-74 ปี จำนวน 48 คน จัดเข้ากลุ่มโดยวิธีสุ่ม แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 23 คน และกลุ่มควบคุม 25 คน ใช้แบบแผนการวิจัยแบบสุ่มวัดก่อนและหลังการทดลองแบบมีกลุ่มควบคุม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายและโปรแกรมการออกกำลังกายทั่วไป วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาด้วยเครื่อง Hand-held dynamometer วัดความเร็วในการลุกขึ้นยืนด้วยวิธีทดสอบการลุกขึ้นยืน 5 ครั้ง (Five Times Sit-to-Stand Test: FTSST) และบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยระบบนิวโรสแกน (Neuroscan system) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบที

ผลการวิจัยปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น การลุกขึ้นยืน 5 ครั้งเร็วขึ้นและเปอร์เซ็นต์อีอาร์ดี (Event-Related Desynchronization: ERD) ของคลื่นแอลฟาในสมองส่วนหน้า และบริเวณเซ็นซอรีมอเตอร์ในขณะจินตภาพการลุกขึ้นยืนสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p<.05$) สรุปได้ว่า การใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายสามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความเร็วในการลุกขึ้นยืน รูปแบบของโปรแกรมนี้เป็นทางเลือกหนึ่งในการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุนอกเหนือจากการออกกำลังกายทั่วไป

คำสำคัญ: จินตภาพการเคลื่อนไหว, ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ, การลุกขึ้นยืน, คลื่นไฟฟ้าสมอง

[*] Corresponding author. E-mail: Boonrat.hcu@gmail.com

Abstract

The purposes of this research were to increase lower extremity muscle strength and the speed of sit-to-stand by using a Motor Imagery Control Combined with Exercise Program (MICE) compared with a control group who received the General Exercise Program (GE). The participants were forty-eight female older adults aged 60-74 years, were randomly assigned to an experimental group (n=23) and the control group (n=25). A randomized pretest and posttest active control group design was applied in this study. The research instruments were MICE and GE programs, lower extremity muscle strength was measured by Hand-held dynamometer, speed of sit-to-stand was measured by Five Times Sit-to-Stand Test (FTSST) and Neuroscan system was used to collect signals of EEG. Data were analyzed by *t*-test.

The results revealed that: The experimental group had increased in muscle strength of lower extremity, improved speed of FTSST, and enhancement of %ERD (Event-related desynchronization) of alpha wave at the frontal lobe and the sensorimotor area during sit-to-stand imagery task (higher than the control group after training, $p<.05$). These findings show that the MICE program can increase the muscle strength and the speed of sit-to-stand. This approach is an alternative program for exercising for older adults in addition to general exercise.

Keywords: motor imagery, muscle strength, sit-to-stand, electroencephalography

ความนำ

ผู้สูงอายุมีความเสื่อมตามวัยจากกระบวนการชราภาพ (Aging process) ที่สัมพันธ์กับความแข็งแรงและความสามารถในการทำกิจกรรมทางกาย โดยเฉพาะการลุกขึ้นยืน เป็นกิจวัตรประจำวันที่สำคัญและต้องอาศัยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเป็นหลัก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะลดลงร้อยละ 3 ต่อปี เมื่ออายุ 65 ปีขึ้นไป ซึ่งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะลดลงเร็วกว่ามวลกล้ามเนื้อ 2-5 เท่า (Mitchell et al., 2012) ผู้สูงอายุเพศหญิงจะเริ่มสูญเสียความแข็งแรงและความสามารถในการทำกิจกรรมทางกายเร็วกว่าเพศชาย (Cheng, Yang, Cheng, Chen, & Wang, 2014) พยาธิสภาพที่เกิดขึ้นในผู้สูงอายุที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง เกิดจากกลไกเกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลดประสิทธิภาพลง เช่น การทำงานของระบบกล้ามเนื้อและประสาท (Neuromuscular system) ความแรงของการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Excitation-contraction) การทำงานของเซลล์ประสาทแอลฟา (Alpha motor neuron) และการทำงานของมอเตอร์ยูนิต (Motor unit) ลดลง การที่กล้ามเนื้ออ่อนแรง เป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญต่อการเสียชีวิตในผู้สูงอายุ เนื่องจากการล้ม ความพิการพึ่งพาตนเองไม่ได้ ส่งผลต่อคุณภาพชีวิต และผลการสำรวจผู้สูงอายุไทยปรากฏว่า มีภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรงร้อยละ 30.50 (Khongsri, Tongsuntud, Limampai, & Kuptniratsaikul, 2016) ดังนั้น การหาวิธีการชะลออาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อขาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการป้องกันความเสื่อมและการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นในผู้สูงอายุ

วิธีการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่นิยมใช้ คือ การออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้า (Progressive resistance training) แต่การเพิ่มความแข็งแรงเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการพัฒนาทักษะในการทำกิจวัตรประจำวันในผู้สูงอายุ (Hazell, Kenno, & Jakobi, 2007) งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ระยะเวลาในการฝึกเป็นเวลานานและ

มุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย (Physical changes) แต่ผู้สูงอายุมีความเสื่อมหลายระบบ โดยเฉพาะการทำหน้าที่ด้านการรู้คิด (Cognitive function) (Schlicht, Camaione, & Owen, 2001) การฝึกจินตภาพการเคลื่อนไหว (Motor imagery) เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ โดยเพิ่มการทำงานของมอเตอร์ยูนิต ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีแรงในการหดตัวมากขึ้น เป็นกระบวนการที่กระตุ้นการทำงานภายในสมอง (Internal brain activating) ทำให้มีการเตรียมการล่วงหน้าก่อนการเคลื่อนไหวจริง (Jeannerod, 1994) และมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่า เกิดการทำงานของสมองบริเวณที่ทับซ้อนกันบางส่วนระหว่างขณะจินตภาพกับการเคลื่อนไหวจริง จากภาพถ่ายรังสีสมองด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) และเครื่องตรวจวัดอนุภาคโพสิตรอน (Positron Emission Tomography: PET) (Xu et al., 2014) ซึ่งวิธีวัดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของสมองดังกล่าวข้างต้นต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึม อาจมีความคลาดเคลื่อนของเวลาในการบันทึกผล

มีการวิจัยก่อนหน้านี้ที่รายงานผลของการออกกำลังกายและการจินตภาพการเคลื่อนไหวที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือและแขนในกลุ่มผู้ใหญ่สุขภาพดี และมีการศึกษาโดยใช้วิธีการจินตภาพ การเคลื่อนไหวร่วมกับการฝึกการเรียนรู้การเคลื่อนไหวในกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง แต่ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเฉพาะผลเชิงพฤติกรรม (Pichierri, Wolf, Murer, & de Bruin, 2011) การศึกษาเกี่ยวกับผลของการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้าร่วมกับการจินตภาพการเคลื่อนไหวเพื่อส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มผู้สูงอายุยังคงมีน้อย

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและความเร็วในการลุกขึ้นยืน โดยใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายในผู้สูงอายุ (Ngowtrakul, Chadcham, & Kaewkaen, 2017) ที่เน้นการส่งเสริมกลยุทธ์ในการวางแผนการเคลื่อนไหว เปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรมการออกกำลังกายทั่วไป โดยศึกษาทั้งข้อมูลเชิงพฤติกรรมและคลื่นไฟฟ้าสมองในขณะจินตภาพการลุกขึ้นยืน ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าสมองในขณะทำกิจกรรมทดสอบได้ทันที (Leungratanamart & Chadcham, 2012) เป็นการเพิ่มทางเลือกในการออกกำลังกายเพื่อป้องกันปัญหาความถดถอยของร่างกายตามวัย รวมทั้งคงสภาพความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันที่สำคัญสำหรับผู้สูงอายุ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและความเร็วในการลุกขึ้นยืนโดยใช้โปรแกรม ควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายในกลุ่มทดลองเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้โปรแกรมการออกกำลังกายทั่วไป ดังนี้

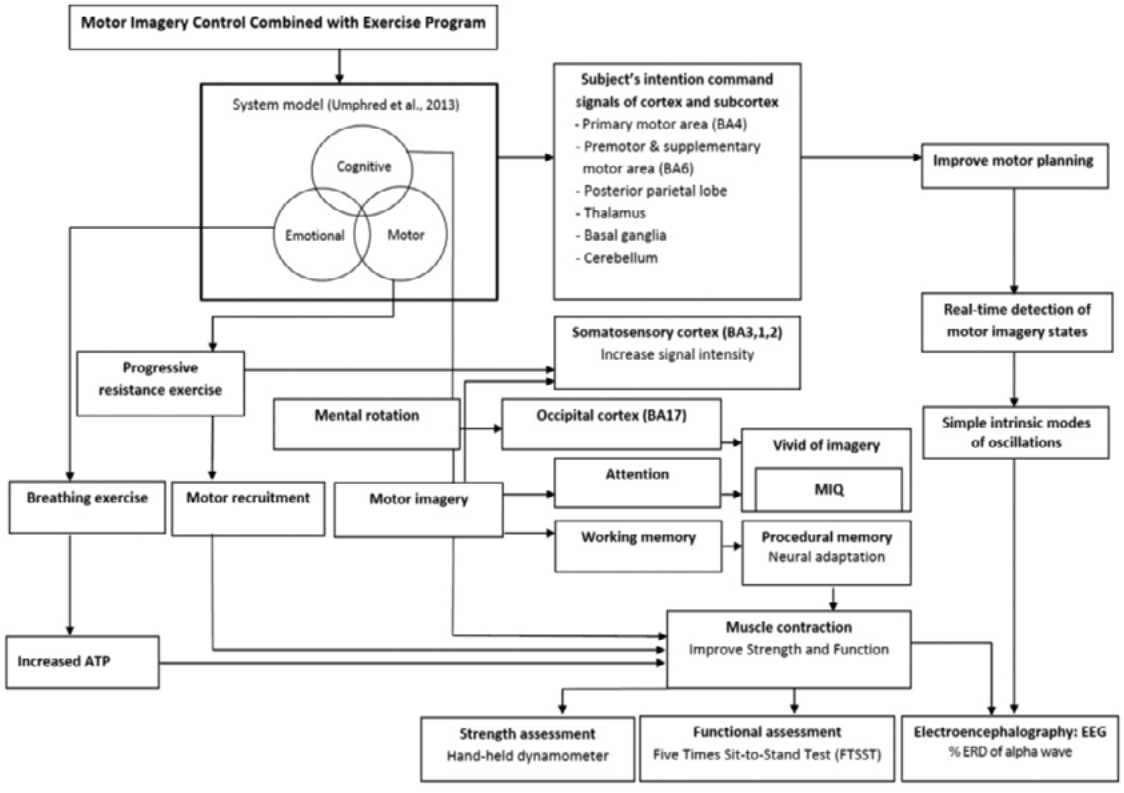
1. เปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มที่ใช้โปรแกรม ควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย
2. เปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม
3. เปรียบเทียบความเร็วในการลุกขึ้นยืน ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มที่ใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย
4. เปรียบเทียบความเร็วในการลุกขึ้นยืนหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม
5. เปรียบเทียบ %Event-Related Desynchronization (ERD) ของคลื่นแอลฟาในขณะจินตภาพ การลุกขึ้นยืน ระหว่างก่อนกับหลังการทดลองในกลุ่มที่ใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย
6. เปรียบเทียบ %ERD ของคลื่นแอลฟาในขณะจินตภาพการลุกขึ้นยืนหลังการทดลอง ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

กรอบแนวคิดการวิจัย

โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายในผู้สูงอายุ พัฒนาขึ้นจากแนวคิดเชิงระบบ (Umphred, Lazaro, Roller, & Burton, 2013) มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีการควบคุมการเคลื่อนไหว

(Motor control) และการเรียนรู้การเคลื่อนไหว (Motor learning) ประกอบด้วย 1) องค์ประกอบทางการรู้คิด (Cognitive) ใช้วิธีจินตภาพ การเคลื่อนไหวและการหมุนภาพในใจ 2) องค์ประกอบทางการเคลื่อนไหว (Motor) ใช้วิธีการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้า และ 3) องค์ประกอบทางอารมณ์ (Emotion) ใช้วิธีการผ่อนคลายด้วยการฝึกหายใจแบบลึกและการยืดกล้ามเนื้อ รวมทั้งสร้างแรงจูงใจด้วยวิธีการออกกำลังกายแบบกลุ่ม

จินตภาพการเคลื่อนไหวเป็นกระบวนการทางปัญญาขั้นสูง (Higher cognitive function) เกิดจากการทำงานของระบบประสาทที่ซับซ้อน มีการทำงานของการรับรู้และการรับความรู้สึกร่วมกับการดึงข้อมูลจากความจำระยะยาวและความจำขณะคิดที่ทำงานเชื่อมโยงกัน (Dickstein & Deutsch, 2007) การออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้าและเสริมด้วยแนวคิดการฝึกจินตภาพการเคลื่อนไหวช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและกิจกรรมทางกาย การฝึกหมุนภาพในใจ (Mental rotation) เป็นการฝึกจินตภาพการเคลื่อนไหวในระยะแรกและฝึกสมองให้มีการทำงานร่วมกันทั้งสองซีก และการฝึกผ่อนคลายกล้ามเนื้อ ด้วยการหายใจแบบลึกเพื่อช่วยให้จินตนาการภาพได้ชัดเจนมากขึ้น รวมทั้งเพิ่มความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดและเอทีพี (ATP) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีกลุ่มฟอตเฟตพลังงานสูงที่เซลล์สะสมไว้เป็นแหล่งพลังงาน (Kim, Lee, & You, 2015) ทำให้ทาลามัสและก้านสมองทำงานประสานกัน (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย เรื่อง การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและความเร็วในการลุกขึ้นยืน โดยใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย

สมมติฐานการวิจัย

1. กลุ่มทดลองหลังการใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขามากกว่าก่อนการทดลอง

2. กลุ่มทดลองหลังการใช้โปรแกรมมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขามากกว่ากลุ่มควบคุม

3. กลุ่มทดลองหลังการใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย มีความเร็วในการลุกขึ้นยืนเร็วกว่าก่อนการทดลอง

4. กลุ่มทดลองหลังการใช้โปรแกรมมีความเร็วในการลุกขึ้นยืนเร็วกว่ากลุ่มควบคุม

5. กลุ่มทดลองหลังการใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย มี %ERD ของคลื่นแอลฟาในขณะจินตภาพการลุกขึ้นยืนแตกต่างกับก่อนการทดลอง

6. กลุ่มทดลองหลังการใช้โปรแกรมมี %ERD ของคลื่นแอลฟาในขณะจินตภาพการลุกขึ้นยืนแตกต่างกับกลุ่มควบคุม

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบางทราย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี อายุระหว่าง 60-74 ปี จำนวน 50 คน ที่อาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ เป็นผู้สูงอายุเพศหญิง มีความถนัดข้างขวา ไม่มีโรคซึมเศร้า ไม่มีภาวะสมองเสื่อม สามารถเดินโดยไม่ใช้เครื่องช่วย ไม่มีประวัติการหกล้มหรืออุบัติเหตุทางสมองในช่วง 1 ปีที่ผ่านมา และยินดีเข้าร่วมการวิจัย สุ่มเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 25 คน เมื่อการทดลองสิ้นสุดลง กลุ่มทดลองลดลงเหลือ 23 คน เนื่องจากผู้เข้าร่วมการทดลองคนหนึ่งติดภาระกิจส่วนตัว ส่วนอีกคนหนึ่งติดนัดผ่าตัดต้อกระจก โดยงานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา และกลุ่มตัวอย่างทุกคนลงนามยินยอมการเข้าร่วมการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย จำแนกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือวัดผลตัวแปรตาม มีรายละเอียด ดังนี้

1. เครื่องมือคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ 1) แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล 2) แบบทดสอบสมรรถภาพสมองเบื้องต้นฉบับภาษาไทย 3) แบบคัดกรองโรคซึมเศร้า 4) แบบสำรวจความถนัด และ 5) แบบสอบถามความสามารถในการจินตภาพการเคลื่อนไหว ฉบับภาษาไทย (Thai-MIQ-R)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

2.1 โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย (Motor Imagery Control Combined with Exercise Program: MICE) แบ่งออกเป็น 6 ส่วน จำนวน 14 ท่า สื่อวีดิทัศน์มีความยาวประมาณ 50 นาที ประกอบด้วยเวลาในการออกกำลังกายประมาณ 40 นาที คำชี้แจงและพักระหว่างการออกกำลังกาย 10 นาที รายละเอียดมีดังนี้

1) การจินตภาพการเคลื่อนไหว ออกแบบตามข้อแนะนำของ Dickstein and Deutsch (2007) ฝึกในท่านั่งที่ผ่อนคลายและหลับตา จินตภาพการเคลื่อนไหว 2 วิธี ได้แก่ ฝึกจินตภาพทางการมองเห็น โดยการสังเกตและรู้สึกถึงการหดตัวของกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกาย รวมทั้งสังเกตขั้นตอนการลุกขึ้นยืนที่ถูกต้องจากวีดิทัศน์ และฝึกจินตภาพทางคินนิสธีติกในการลุกขึ้นยืน โดยการจินตภาพขั้นตอนการลุกขึ้นยืน 4 ระยะ ประกอบด้วย ระยะที่หนึ่ง จินตภาพการงอข้อสะโพก (Flexion-momentum) ระยะที่สอง จินตภาพการถ่ายน้ำหนักลงที่เท้าทั้งสองข้างและเริ่มยกข้อสะโพกขึ้น (Momentum transfer) ระยะที่สาม จินตภาพการเหยียดข้อเข่าและข้อสะโพก (Extension) และระยะที่สี่ จินตภาพการยืนทรงตัวตรงอย่างมั่นคง (Stabilization)

2) การหมุนภาพในใจ เพื่อเริ่มสร้างความคุ้นเคยในการฝึกจินตภาพร่างกาย เนื่องจากอายุที่มากขึ้นส่งผลต่อการเรียนรู้วิธีการจินตภาพการเคลื่อนไหว และการจินตภาพส่วนของร่างกายที่อยู่ในระยะใกล้จะง่ายกว่าส่วนที่อยู่ในระยะไกล (Saimpont, Pozzo, & Papaxanthis, 2009) ฝึกโดยการมองภาพร่างกายที่

แสดงในระนาบแตกต่างกัน 2 ภาพ แล้วให้นึกภาพในใจว่าภาพที่เห็นตรงกับร่างกายข้างใด ถ้าทั้งสองภาพเป็นภาพร่างกายข้างเดียวกัน เช่น ข้างซ้ายเหมือนกัน ให้ตอบว่า “เหมือนกัน” ถ้าเป็นคนละข้าง ให้ตอบว่า “แตกต่างกัน”

3) การออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้า ของกล้ามเนื้อขาที่ทำงานขณะลุกขึ้นยืน 6 กลุ่ม คือ กล้ามเนื้องอข้อสะโพก (Hip flexor muscles) กล้ามเนื้อเหยียดข้อสะโพก (Hip extensor muscles) กล้ามเนื้องอข้อเข่า (Knee flexor muscles) กล้ามเนื้อเหยียดข้อเข่า (Knee extensor muscles) กล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าขึ้น (Ankle dorsiflexor muscles) และกล้ามเนื้อกดปลายเท้าลง (Ankle plantar flexor muscles) โดยให้แรงต้านด้วยน้ำหนักถุงทรายและน้ำหนักตัว เริ่มต้นการออกกำลังกายในช่วง 2 สัปดาห์แรก ด้วยความหนักร้อยละ 40 ของน้ำหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (One-Repetition Maximum: 1RM) การหาค่า 1RM ใช้วิธีคำนวณตามสูตรของ Brzycki (1993) 1RM เท่ากับ 100*Load rep/ (102.78 - 2.78*rep) โดยที่ Load rep หมายถึง น้ำหนักที่ยกได้ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม และ Rep คือจำนวนครั้งที่ยกน้ำหนักได้ ค่าความสัมพันธ์ (Correlation) ของค่า 1 RM ที่ได้จากการคำนวณและการทดสอบจริง มีความเที่ยง (r) = 0.99 (Nascimento et al., 2007) กำหนดให้ฝึกท่าละ 10 ครั้ง เป็น 1 รอบ และเพิ่มความก้าวหน้าด้วยการปรับระดับความหนักเป็นร้อยละ 50 ของ 1RM ในการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ซึ่งการออกกำลังกายที่ระดับแรงต้านร้อยละ 40-60 ของ 1RM มีความปลอดภัยในผู้ป่วยโรคหัวใจและผู้ที่มีความดันโลหิตขณะพักในระดับ 160/90 มม.ปรอท (Williams et al., 2007)

4) การผ่อนคลายจิตใจด้วยวิธีการฝึกหายใจแบบลึก ฝึกโดยการนั่งเก้าอี้ที่มีพนักพิง หายใจเข้าทางจมูกอย่างช้า ๆ ค้างไว้ แล้วค่อย ๆ ผ่อนลมหายใจออกทางจมูกอย่างช้า ๆ หายใจเข้าค้างไว้ 4 วินาที ค่อย ๆ ผ่อนลมหายใจออก 6 วินาที

5) การผ่อนคลายร่างกายด้วยวิธีการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง ใช้วิธีการยืดกล้ามเนื้อขาและลำตัวอย่างช้า ๆ จนถึงจุดที่เริ่มมีอาการตึงบริเวณกล้ามเนื้อ ยืดกล้ามเนื้อค้างไว้ 15 วินาที แล้วสลับมายืดกล้ามเนื้อทางด้านตรงข้าม

6) การสร้างแรงจูงใจในการออกกำลังกาย โดยการจัดการออกกำลังกายเป็นกลุ่ม ๆ ละ 8-9 คน

2.2 โปรแกรมการออกกำลังกายทั่วไปสำหรับผู้สูงอายุ (General Exercise Program: GE) หรือโปรแกรม 14 ท่าบริหารกายตามสไตล์ผู้สูงวัย เป็นวีดิทัศน์โปรแกรมการออกกำลังกายแบบไม่มีแรงต้านจากภายนอก ที่แนะนำโดยกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ประกอบด้วยท่าออกกำลังกายในท่านั่งและท่ายืนรวม 14 ท่า ใช้เวลาประมาณ 30-40 นาที เพื่อพัฒนากิจกรรมทางกายในผู้สูงอายุ

3. เครื่องมือวัดผลตัวแปรตาม

3.1 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ วัดด้วยเครื่อง Hand-held dynamometer โมเดล 1165 Lafayette manual muscle test system ประเทศสหรัฐอเมริกา ผู้ประเมินเป็นนักกายภาพบำบัดที่มีประสบการณ์ทางคลินิก 10 ปี หาความเที่ยงของผู้ประเมินโดยการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดข้อเข่าในกลุ่มอาสาสมัคร จำนวน 10 คน ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง ความเที่ยงในการวัดซ้ำ (ICC) = .94 การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อใช้วิธีการให้กลุ่มตัวอย่างออกแรงต้านกับผู้ประเมินเต็มที่โดยออกแรงแบบ ไอโซเมตริก (Maximum isometric contraction) ค้างไว้ 5 วินาที พัก 15 วินาที ในระหว่างการวัดกล้ามเนื้อแต่ละครั้ง แล้วทำการวัดซ้ำอีก 1 ครั้ง นำค่าที่บันทึกทั้ง 2 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ยความแข็งแรง และพัก 1 นาที เมื่อเปลี่ยนเป็นการวัดกล้ามเนื้อมัดอื่นเพื่อป้องกันอาการล้า ค่าที่วัดได้รายงานเป็นหน่วยนิวตัน

3.2 ความเร็วในการลุกขึ้นยืน วัดด้วยวิธีทดสอบการลุกขึ้นยืน 5 ครั้ง (FTSST) วิธีการวัด ใช้เก้าอี้ที่ไม่มีที่พักแขน ความสูงของเก้าอี้ประมาณ 43 เซนติเมตร เป็นความสูงมาตรฐานของเก้าอี้ทั่วไปและจากการศึกษาที่ผ่านมาปรากฏว่า ความเร็วในการลุกขึ้นยืนจากเก้าอี้ที่มีความสูง 40-50 เซนติเมตรไม่แตกต่างกัน (Yoshioka, Nagano, Hay, & Fukashiro, 2014) การทดสอบให้กลุ่มตัวอย่างเริ่มจากท่านั่งตัวตรง วางเท้าราบกับพื้นตามตำแหน่งที่กำหนด มือทั้งสองข้างวางไขว้กันบริเวณหน้าอก เมื่อกลุ่ม

ตัวอย่างพร้อม บอกให้ “เริ่ม” พร้อมกับเริ่มจับเวลาลุกขึ้นยืนแล้วลงนั่งอย่างต่อเนื่อง 5 ครั้ง จึงบอกให้ “หยุด” จับเวลาที่ทำได้ 1 รอบ ทดสอบจำนวน 2 รอบ พัก 1 นาที ระหว่างรอบ บันทึกเวลาเป็นวินาที (Manorangsan, Panpeach, & Vorakittikul, 2015)

3.3 คลื่นไฟฟ้าสมองในการจินตภาพการลุกขึ้นยืน วัดด้วยเครื่อง Neuroscan system บันทึกสัญญาณด้วยโปรแกรม Curry neuroimaging suit 7.0 ประเทศสหรัฐอเมริกา ทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง 11 ตำแหน่ง ได้แก่ Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4 , O1 และ O2 และตรวจสอบความต้านทานไฟฟ้า ให้ต่ำกว่า 10 กิโลโอห์ม ใช้โปรแกรม STIM^2 ในการสร้างกิจกรรมทดสอบการจินตภาพการลุกขึ้นยืน โดยมีคำสั่งปรากฏที่หน้าจอ เริ่มจากการให้มองจุดกากบาทสีขาวบนพื้นสีดำตรงกลางจอคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นจุดโฟกัสสายตา 4 วินาที ให้เสียงสัญญาณ 600 มิลลิวินาที จึงให้จินตภาพการลุกขึ้นยืน 1 ครั้ง เป็นเวลา 7 วินาที (Yoshioka, Nagano, Hay, & Fukashiro, 2009) ทำซ้ำ 5 ครั้ง พัก 1 นาทีระหว่างรอบ ทดสอบจำนวน 2 รอบ (ภาพที่ 2)

		สัญญาณเสียง (600 ms)		สัญญาณเสียง (600 ms)		สัญญาณเสียง (600 ms)		สัญญาณเสียง (600 ms)		สัญญาณเสียง (600 ms)	
คำชี้แจง	+	จินตภาพ	+	จินตภาพ	+	จินตภาพ	+	จินตภาพ	+	จินตภาพ	พัก
15 sec	4 sec	7 sec	4 sec	7 sec	4 sec	7 sec	4 sec	7 sec	4 sec	7 sec	60 sec

ภาพที่ 2 กิจกรรมทดสอบการจินตภาพการลุกขึ้นยืน

การวิจัยเชิงทดลอง แบบสุ่มวัดก่อนและหลังการทดลองแบบมีกลุ่มควบคุม (A Randomized pretest and posttest active control group design) และการวัดตัวแปรตามเป็นแบบปกปิดสองทาง (Double blind) กลุ่มควบคุมเป็นแบบ Active control group เพื่อลดความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่อาจเกิดจากพฤติกรรมเนือยนิ่งหรือการทำกิจกรรมนั่ง ๆ นอน ๆ (Sedentary lifestyle)

การเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้รับการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความเร็วในการลุกขึ้นยืนและวัดคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนการทดลอง ทำการแบ่งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ กลุ่มละ 3 กลุ่มย่อย รวม 6 กลุ่มย่อย แต่ละกลุ่มย่อยได้รับการฝึกสอนโปรแกรมการออกกำลังกายในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (มีการเตรียมความพร้อมล่วงหน้า 1 ครั้ง โดยไม่ได้นับเป็นการฝึก) สถานที่ฝึกเป็นห้องปรับอากาศ มีจอภาพ เครื่องฉายภาพแอลซีดี และมีนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 4 ให้คำแนะนำและดูแลการฝึกตามโปรแกรม

2. หลังจากฝึกตามโปรแกรมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน รวม 12 ครั้ง เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 2 กรกฎาคม ถึงวันที่ 14 สิงหาคม 2559 กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม ได้รับการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความเร็วในการลุกขึ้นยืน และวัดคลื่นไฟฟ้าสมองหลังการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

3. รวบรวมข้อมูลความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา การทดสอบการลุกขึ้นยืน 5 ครั้ง (FTSST) ที่แสดงถึงความเร็วในการลุกขึ้นยืน ทั้งก่อนและหลังการใช้โปรแกรม ตรวจสอบและจัดกระทำข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่วัดได้ โดยการแปลงค่า Power spectral density ($\mu V^2/Hz$) ของคลื่นแอลฟา ในช่วงความถี่ 10-12 Hz เป็น %ERD โดยการคำนวณค่า %ERD ในช่วงอ้างอิง (Reference) หมายถึงขณะพัก และช่วงทดลอง (Test or experiment) หมายถึงขณะจินตภาพการลุกขึ้นยืน จากสูตรการวิเคราะห์ค่า %ERD (Pfurtscheller, Neuper, Ramoser, & Müller-Gerking, 1999)

$$\%ERD = \frac{(\text{Power reference} - \text{Power test})}{\text{Power reference}} \times 100$$

4. นำผลการวัดค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความเร็วในการลุกขึ้นยืน และ %ERD ของคลื่นแอลฟามาวิเคราะห์ด้วยการทดสอบค่าสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวแปรตาม ก่อนกับหลังการใช้โปรแกรมและเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมภายหลังการใช้โปรแกรม โดยใช้สถิติทดสอบที (*t*-test) และคำนวณขนาดอิทธิพล (Effect size: Cohen's d)

สรุปผลการวิจัย

1. ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 48 คน เป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 23 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 25 คน ทั้งสองกลุ่มส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 60-64 ปี น้ำหนักอยู่ในช่วง 50-69 กิโลกรัม ความสูง อยู่ในช่วง 150-159 เซนติเมตร มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) อยู่ในช่วง 18.50-24.90 และกลุ่มทดลองมีโรคประจำตัว ร้อยละ 86.96 กลุ่มควบคุม ร้อยละ 72 ซึ่งทุกคนรายงานว่า ได้รับการดูแลรักษาและพบแพทย์ตามนัดอย่างสม่ำเสมอ กลุ่มทดลองมีการออกกำลังกายร้อยละ 91.30 กลุ่มควบคุม ร้อยละ 72 และกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม ส่วนใหญ่ออกกำลังกาย 3-5 ครั้งต่อสัปดาห์ และออกกำลังกายด้วยวิธีการเดินมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย สมรรถภาพการทำงานของสมอง ความสามารถในการจินตภาพ การเคลื่อนไหว ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความเร็วในการลุกขึ้นยืน 5 ครั้ง (FTSST) ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมก่อนการทดลองพบว่าไม่แตกต่างกัน

2. กลุ่มทดลองที่ใช้โปรแกรม MICE หลังการทดลองมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา มากกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ตารางที่ 1, ภาพที่ 3A) โดยมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 9.36-39.76

3. กลุ่มทดลองมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีขนาดอิทธิพลในระดับ .53-1.01 (ตารางที่ 2, ภาพที่ 3B) โดยมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 8.42-29.07

4. กลุ่มทดลองที่ใช้โปรแกรม MICE มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการลุกขึ้นยืน 5 ครั้ง (Mean = 9.73, SD = 1.38) หลังการใช้โปรแกรมเร็วกว่าก่อนการใช้โปรแกรม (Mean = 11.93, SD = 1.68) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = -8.58, p = .00)

5. กลุ่มทดลองมีความเร็วในการลุกขึ้นยืน 5 ครั้งหลังการใช้โปรแกรม (Mean = 9.73, SD = 1.38) เร็วกว่ากลุ่มควบคุม (Mean = 10.81, SD = 1.56) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = -2.56, p = .01) และมีขนาดอิทธิพลในระดับ .73

6. กลุ่มทดลองที่ใช้โปรแกรม MICE มีค่าเฉลี่ย %ERD ของคลื่นแอลฟาในการจินตภาพการลุกขึ้นยืนหลังการใช้โปรแกรม ที่ตำแหน่ง Fz (Mean = 56.67, SD = 27.18) สูงกว่าก่อนใช้โปรแกรม (Mean = 27.91, SD = 23.27) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = 5.26, p = .00) ที่ตำแหน่ง Cz (Mean = 61.87, SD = 24.19) สูงกว่าก่อนใช้โปรแกรม (Mean = 34.65, SD = 21.71) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = 6.72, p = .00) และที่ตำแหน่ง C4 (Mean = 51.35, SD = 26.33) สูงกว่าก่อนใช้โปรแกรม (Mean = 29.91, SD = 25.09) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = 2.87, p = .01) (ภาพที่ 4A)

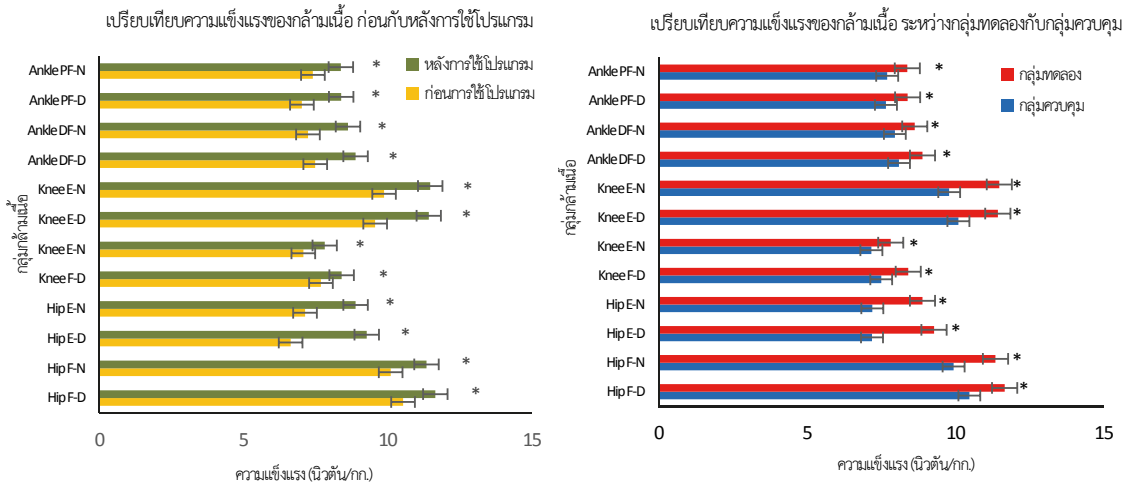
7. กลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ย %ERD ของคลื่นแอลฟาในการจินตภาพการลุกขึ้นยืน หลังใช้โปรแกรม ที่ตำแหน่ง Fz (Mean = 56.70, SD = 27.18) สูงกว่ากลุ่มควบคุม (Mean = 38.76, SD = 30.76) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = -2.13, p = .02) และมีขนาดอิทธิพลระดับ .62 ที่ตำแหน่ง Cz (Mean = 61.87, SD = 24.19) สูงกว่ากลุ่มควบคุม (Mean = 47.44, SD = 33.48) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = -1.70, p = .05) มีขนาดอิทธิพลระดับ .49 และที่ตำแหน่ง C4 (Mean = 51.35, SD = 26.33) สูงกว่ากลุ่มควบคุม (Mean = 36.44, SD = 20.57) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (t = -2.17, p = .01) และมีขนาดอิทธิพลระดับ .63 (ภาพที่ 4B)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนและหลังการใช้โปรแกรม MICE

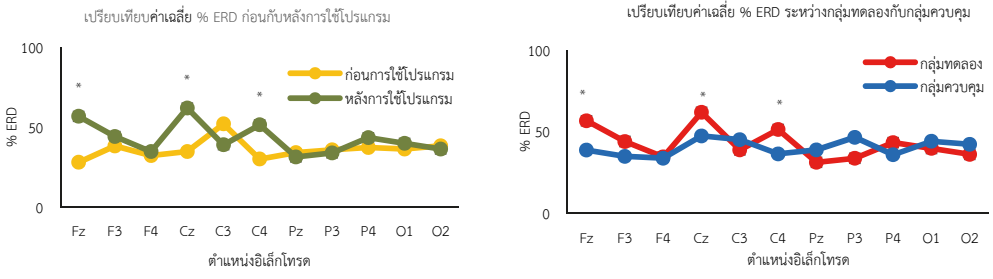
กลุ่มกล้ามเนื้อ	ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (นิวตัน/กก.)				*df*	*t*	*p*
	ก่อนการใช้โปรแกรม		หลังการใช้โปรแกรม				
	Mean	SD	Mean	SD			
1. Hip flexors							
Dominant	10.54	1.13	11.66	1.53	22	6.03*	<.05
Non-dominant	10.11	1.28	11.35	1.55	22	7.19*	<.05
2. Hip extensors							
Dominant	6.64	1.49	9.28	1.98	22	7.09*	<.05
Non-dominant	7.14	1.52	8.89	1.96	22	7.27*	<.05
3. Knee flexors							
Dominant	7.69	1.48	8.41	1.53	22	4.52*	<.05
Non-dominant	7.08	1.06	7.82	1.20	22	4.09*	<.05
4. Knee extensors							
Dominant	9.57	2.02	11.43	2.03	22	7.73*	<.05
Non-dominant	9.88	1.87	11.48	2.25	22	6.10*	<.05
5. Ankle dorsi-flexors							
Dominant	7.49	0.81	8.89	1.41	22	6.07*	<.05
Non-dominant	7.24	0.72	8.63	1.23	22	5.94*	<.05
6. Ankle plantar-flexors							
Dominant	7.03	1.09	8.39	1.32	22	6.69*	<.05
Non-dominant	7.41	1.26	8.38	1.18	22	4.81*	<.05

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

กลุ่มกล้ามเนื้อ	ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (นิวตัน/กก.)				*df*	*t*	*p*	Cohen's d
	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม					
	Mean	SD	*Mean*	*SD*				
1. Hip flexors								
Dominant	11.66	1.53	10.47	1.32	46	2.90*	<.05	.84
Non-dominant	11.35	1.55	9.94	1.64	46	3.05*	<.05	.88
2. Hip extensors								
Dominant	9.28	1.98	7.19	2.15	46	3.50*	<.05	1.01
Non-dominant	8.89	1.96	7.20	2.16	46	2.84*	<.05	.82
3. Knee flexors								
Dominant	8.41	1.53	7.50	1.39	46	2.15*	<.05	.63
Non-dominant	7.82	1.21	7.17	1.17	46	1.91*	<.05	.55
4. Knee extensors								
Dominant	11.43	2.03	10.10	1.90	46	2.32*	<.05	.68
Non-dominant	11.48	2.25	9.79	1.66	46	2.94*	<.05	.86
5. Ankle dorsi-flexors								
Dominant	8.89	1.41	8.10	1.42	46	1.95*	<.05	.56
Non-dominant	8.63	1.23	7.96	1.32	46	1.83*	<.05	.53
6. Ankle plantar-flexors								
Dominant	8.39	1.32	7.66	1.40	46	1.86*	<.05	.54
Non-dominant	8.38	1.18	7.70	1.30	46	1.89*	<.05	.55



ภาพที่ 3 กราฟค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (3A) เปรียบเทียบก่อนกับหลังการใช้โปรแกรม MICE, (3B) เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม



ภาพที่ 4 กราฟค่าเฉลี่ย %ERD ของคลื่นแอลฟา (4A) เปรียบเทียบก่อนกับหลังการใช้โปรแกรม MICE, (4B) เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การฝึกตามโปรแกรม MICE สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความเร็วในการลุกขึ้นยืนสำหรับผู้สูงอายุได้มากกว่าโปรแกรมการออกกำลังกายทั่วไป ผลของโปรแกรมดังกล่าวอภิปรายตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

โปรแกรมการออกกำลังกายเป็นการฝึกตามวีดิทัศน์ทั้งสองโปรแกรม แต่โปรแกรม MICE มีการแสดงท่าออกกำลังกายประกอบกับภาพกล้ามเนื้อขาแต่ละมัดและมุ่งเน้นให้ผู้ฝึกมองภาพ สังเกตและพยายามรู้สึกถึงการหดตัวของกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกาย ทำให้เกิดการรับรู้และการรับความรู้สึก (Sensory-perception) ช่วยเพิ่มการส่งสัญญาณคำสั่งจากสมองไปยังกล้ามเนื้อขา ส่งเสริมให้มีการระดมการทำงานของมอเตอร์ยูนิตเพิ่มขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงมากขึ้น (Lebon, Collet, & Guillot, 2010) รวมทั้งมีการฝึกจินตภาพการลุกขึ้นยืนอย่างถูกวิธี เมื่อฝึกซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ทำให้เกิดการดึงข้อมูล (Retrieval) การเคลื่อนไหวจากความจำระยะยาวชนิดความจำเชิงกระบวนการ (Procedural memory) และความจำขณะคิด (Working memory) ที่ทำงานเชื่อมโยงกันจนกระทั่งระบบประสาทที่เกี่ยวข้องสามารถทำงานร่วมกันอย่างอัตโนมัติเป็นกระบวนการ

พัฒนาทักษะทางการเคลื่อนไหว (Malouin, Belleville, Richards, Desrosiers, & Doyon, 2004) แสดงให้เห็นว่า การลุกขึ้นยืนเร็วขึ้นภายหลังการฝึก และการหายใจแบบลึกและจินตภาพการเคลื่อนไหวช่วยเพิ่มการส่งคำสั่งจากสมองไปกระตุ้นการขยายตัวของหลอดเลือดโคลิเนอร์จิก (Cholinergic vasodilatation) เพิ่มการส่งสารสื่อประสาทอะซิติลโคลีนที่อยู่รอบนอก ทำให้ความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินในเลือด (Oxygenated-hemoglobin) ที่บริเวณกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น (Ishii et al., 2013) นอกจากนี้ การส่งสัญญาณจากสมองมีการเพิ่มขึ้นของ %ERD ของคลื่นแอลฟาในขณะจินตภาพการลุกขึ้นยืน ที่บริเวณเซ็นซอรีมอเตอร์และบริเวณสมองส่วนหน้า ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเคลื่อนไหว การรับความรู้สึกและการควบคุมการเคลื่อนไหว สนับสนุนผลของการจินตภาพการเคลื่อนไหวว่า มีส่วนส่งเสริมให้โปรแกรมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหลังใช้โปรแกรม และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการทบทวนงานวิจัยอย่างเป็นระบบของ Kraemer et al. (2002) ที่ปรากฏว่า ผู้ที่ไม่เคยออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้าในกลุ่มที่เริ่มฝึกใหม่ จะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่เคยได้รับการฝึกออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน และมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40 และการศึกษาของ Cassilhas et al. (2007) ในการเปรียบเทียบการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านที่ระดับความหนักร้อยละ 50 กับแรงต้านระดับร้อยละ 80 ของ 1RM ปรากฏว่า ทั้งสองกลุ่มมีการพัฒนาด้านกระบวนการรู้คิด และมีการเพิ่มขึ้นของระดับ IGF-1 สนับสนุนได้ว่า โปรแกรมการออกกำลังกายที่ให้แรงต้านในระดับต่ำ (Low intensity) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและพัฒนากระบวนการรู้คิดได้ การศึกษานี้ใช้เวลาในการฝึกระยะสั้น 4 สัปดาห์ โดยมีการเสริมวิธีการฝึกจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้า สอดคล้องกับการศึกษาของ Sidaway and Trzaska (2005) ที่ศึกษาผลการฝึกจินตภาพการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อขาเพียงอย่างเดียว สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ร้อยละ 17.13 อธิบายด้วยทฤษฎีไซโคนิวโรมัสคูลาได้ว่า การฝึกจินตภาพจะเกิดการป้อนกลับของข้อมูลคินนิสธีติก ทำให้เกิดการกระตุ้นการทำงานอย่างประสานสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อและระบบประสาท ทำให้เปลือกสมองสร้างรูปแบบการเคลื่อนไหวที่ถูกต้องและเพิ่มการทำงานของร่างกายในขั้นตอนเตรียมการเคลื่อนไหว ซึ่งมีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่พบว่า การฝึกจินตภาพการเคลื่อนไหวเพิ่มการทำงานของสมองบริเวณมีเดียลแอสเปกของออบิโทฟรอนทัลคอร์เท็กซ์ และลดการทำงานของสมองน้อย (Jackson, Lafleur, Malouin, Richards, & Doyon, 2003)

การลุกขึ้นยืนได้เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหลังใช้โปรแกรม และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้โปรแกรมการออกกำลังกายทั่วไป โดยใช้เวลาในการลุกขึ้นยืนเฉลี่ย 9.73±1.38 วินาที ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์อภิมานโดย Bohannon (2006) ที่ศึกษาเวลาในการลุกขึ้นยืนของคนในแต่ละช่วงอายุปรากฏว่า ผู้ที่มีอายุ 60-69 ปี ใช้เวลาเฉลี่ย 11.4 วินาที และช่วงอายุ 70-79 ปี ใช้เวลาเฉลี่ย 12.6 วินาที และเวลาในการลุกขึ้นยืน 5 ครั้ง สะท้อนถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (Bohannon, Bulela, Magasi, Wang, & Gershan 2010) ซึ่งการฝึกตามโปรแกรม MICE มีการฝึกจินตภาพทางการมองเห็น โดยการสังเกตวิธีการลุกขึ้นยืนที่ถูกต้องตามขั้นตอน และผู้ฝึกรู้สึกว่าตนเองกำลังลุกขึ้นยืน ซึ่งเป็นการจินตภาพทางคินนีสธีติก (Kinesthetic motor imagery) ทั้งสองวิธีช่วยส่งเสริมกันทำให้มีการกระตุ้นวิถีประสาทของทั้งสองวิธี สอดคล้องกับการศึกษาของ Lee, Hwang, and Ahn (2016) ในการฝึกจินตภาพ การลุกขึ้นยืนในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ครั้งละ 30 นาที เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยการดูวีดิทัศน์และฝึกจินตภาพการลุกขึ้นยืน ปรากฏว่า ความเร็วในการลุกขึ้นยืน 5 ครั้ง เปลี่ยนแปลงจากเวลา 17.0±2.2 วินาที ลดลงเป็น 13.0±1.6 วินาที การจินตภาพการเคลื่อนไหวเป็นการคิดทวนซ้ำ ซึ่งเป็นการทำงานของความจำขณะคิดที่เป็นพลวัตร และอาจเนื่องมาจากกระบวนการเรียนรู้การเคลื่อนไหวทำให้ร่างกายมีการรับรู้ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (Body awareness)

มากขึ้น รวมทั้งมีความใส่ใจจดจ่อ (Focused attention) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Jackson et al. (2003) ที่กล่าวว่า การเรียนรู้การเคลื่อนไหวอย่างเป็นลำดับขั้น (Learning sequential motor task) โดยใช้วิธีจินตภาพการเคลื่อนไหว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่ส่งผ่านบริเวณเปลือกสมอง ที่ออบิโทฟรอนทัลคอร์เท็กซ์ (Orbitofrontal cortex) และสไตรเอตัม (Striatum) รวมทั้งเลฟรอสทัลเวนทรัล (Left rostal-ventral) ของแอนทีเรียซิงกูเลทคอร์เท็กซ์ (Anterior cingulate cortex) และอินฟีเรียพาไรทัลโลบ (Inferior parietal lobule) ที่เป็นส่วนสำคัญในระยะเรียนรู้การเคลื่อนไหว (Stage of motor learning) ผลการฝึกจินตภาพการลุกขึ้นยืนช่วยพัฒนาการเคลื่อนไหวได้โดยการทำงานของระบบประสาทที่สัมพันธ์กับ ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมในการเคลื่อนไหว และลดระยะเวลาในการตอบสนองการเคลื่อนไหว ทำให้ลุกขึ้นยืนได้อย่างคล่องแคล่วขึ้น

ผลการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง กลุ่มทดลองมีการเพิ่มขึ้นของ %ERD ของคลื่นแอลฟาในการจินตภาพ การลุกขึ้นยืนสูงกว่ากลุ่มควบคุม ที่บริเวณเปลือกสมองส่วนหน้า (Fz) และบริเวณเปลือกสมองส่วนกลาง (Cz และ C4) ชี้ให้เห็นว่า กลุ่มทดลองที่ใช้โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย มีการทำงานของสมองส่วนหน้าและส่วนกลางเพิ่มขึ้นในขณะจินตภาพ ซึ่งตรงกับพื้นที่สมองส่วนที่ควบคุมการรับความรู้สึกและการเคลื่อนไหว คือ Somatosensory cortex (BA 3,1,2) Primary motor cortex (BA 4) และ Premotor cortex (BA 6) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Leung, Spittle, and Kidgell (2013) ในการฝึก จินตภาพกล้ามเนื้องอข้อศอกทำให้มีการทำงานที่สมอง M1 (Primary motor cortex) ซึ่งการทำงานของสมองในส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหวทำงานเพิ่มขึ้นในขณะจินตภาพการลุกขึ้นยืนอย่างเป็นลำดับขั้น การเปลี่ยนแปลง %ERD ของคลื่นแอลฟา แสดงว่า มีการเพิ่มความไวต่อการกระตุ้น (Excitability) ซึ่งค่า ERD ของคลื่นแอลฟาช่วงบน (Upper alpha ERD) ในช่วงความถี่ประมาณ 10-13.5 Hz เป็นช่วงที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการจำความหมาย (Semantic processing) ซึ่งเป็นกระบวนการรู้คิด (Klimesch, Sauseng, & Hanslmayr, 2007) และพบการลดลงของคลื่นแอลฟาในสมองส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหวจากการที่ระบบรับสัมผัสและการเคลื่อนไหวได้รับการกระตุ้น สอดคล้องกับทฤษฎีการรู้คิดในการประมวลข้อมูล (Information theory)

การศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ (Pfurtscheller, Linortner, Winkler, Korisek, & Müller-Putz, 2009) ที่พบคลื่นเบต้าและคลื่นแอลฟาลดลงที่ตำแหน่ง Cz ในขณะจินตภาพการเคลื่อนไหวข้อเท้าเกิด ERD ที่สมองส่วนกลาง (Midcentral) และมีความแตกต่างของคลื่นมากที่สุดในช่วงความถี่ 10-12 Hz นอกจากนี้ Ushiyama, Takahashi, and Ushiba (2010) ได้ศึกษา Corticomuscular coherence ของกล้ามเนื้อส่วนแขนและขา ปรากฏว่า กล้ามเนื้อขาที่ถูกควบคุมในสมองชั้นลึกห่างจากตำแหน่งที่วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง แต่สามารถวัดได้และพบคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตำแหน่งไพรมารีมอเตอร์คอร์เท็กซ์เช่นกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Jiang, Ranganathan, Zhang, Siemionow, and Yue (2016) ได้ศึกษาผลของโปรแกรมออกกำลังกายในผู้สูงอายุ โดยการใช้วิธีจินตภาพการทำงานของกล้ามเนื้องอข้อศอกร่วมกับการออกกำลังกาย โดยให้แรงต้านระดับต่ำที่ร้อยละ 30 ของการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Mental Effort Training: MET) เปรียบเทียบกับกลุ่มออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบดั้งเดิมโดยให้แรงต้านที่ระดับร้อยละ 80 ของการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Conventional Strength Training: CST) และเปรียบเทียบกลุ่มควบคุม ปรากฏว่า กลุ่ม MET มีการเปลี่ยนแปลงของ Motor Activity-Related Cortical Potential (MRCP) เพิ่มขึ้น (29.3%) มากกว่ากลุ่ม CST (12.11%) ที่ตำแหน่ง Cz และมีการเปลี่ยนแปลงของคลื่นแอลฟาและเบต้าที่ตำแหน่ง Cz เช่นกัน แสดงว่า วิธีการฝึกตามโปรแกรม MET มีประสิทธิผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อดีกว่าวิธี CST เนื่องจากการออกกำลังกายร่วมกับวิธีจินตภาพการเคลื่อนไหวช่วยเพิ่มการกระตุ้นการทำงานของสมองส่งผลต่อการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในกลุ่มผู้สูงอายุ การเปลี่ยนแปลงของ %ERD ในการศึกษานี้อาจเนื่องมาจากการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านร่วมด้วย

มีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่พบการเปลี่ยนแปลงของสมองหลังจากฝึกออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้า และการออกกำลังกายวิธีนี้ช่วยปรับวงจรประสาทไขสันหลัง มีการเปลี่ยนแปลงของสมอง เพิ่มพื้นที่ของสมองส่วน Left anterior insula และ Left middle temporal gyrus ซึ่งแสดงว่า การออกกำลังกายแบบมีแรงต้านกระตุ้นความยืดหยุ่นของสมองได้ (Brain plasticity) และเกิดจากการหลั่งสารสื่อประสาท เช่น อะซิติลโคลีน และกระตุ้นการสร้าง Brain-Derived-Neurotrophic Factor (BDNF) เพิ่มขึ้น (Liu-Ambrose et al., 2012)

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกาย ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงพฤติกรรมที่เด่นชัด คือ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น และความเร็วในการลุกขึ้นยืนที่เป็นกิจวัตรประจำวันที่สำคัญดีขึ้น ส่งผลให้ลดความเสี่ยงต่อการล้ม สอดคล้องกับการศึกษาของ Poncumhak, Suwannakul, and Srithawong (2016) ในผู้สูงอายุไทยและแนะนำว่า ผู้ที่ใช้เวลาในการลุกขึ้นยืน 5 ครั้ง (FTSST) โดยใช้เวลา 10.02 วินาทีขึ้นไป มีความเสี่ยงในการล้ม ซึ่งกลุ่มทดลองที่ใช้โปรแกรม MICE ใช้เวลาเฉลี่ยในการลุกขึ้นยืน 9.73 วินาที ลดลงกว่าก่อนการทดลอง (11.93 วินาที) แสดงว่า การใช้โปรแกรมนี้ส่งผลทางอ้อมต่อการลดความเสี่ยงในการล้ม นอกจากนี้ผลการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตำแหน่ง Fz, Cz และ C4 ซึ่งเป็นบริเวณที่ควบคุมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวร่างกายมีการลดลง (ERD) ในขณะการจินตภาพการเคลื่อนไหว เมื่อเปรียบเทียบกับขณะพักอย่างชัดเจน แสดงถึงการทำงานของสมอง (Neural activity) เพิ่มขึ้น สนับสนุนผลการวิจัยได้ว่า โปรแกรมควบคุมจินตภาพการเคลื่อนไหวร่วมกับการออกกำลังกายส่งผลเชิงบวกทางพฤติกรรมและทางประสาทสรีรวิทยา ซึ่งเป็นผลมาจากกลไกการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบมีแรงต้านแบบก้าวหน้า ควบคู่ไปกับการใช้วิธีการฝึกจินตภาพการเคลื่อนไหว จัดเป็นทางเลือกหนึ่งในการออกกำลังกายเพื่อส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มผู้สูงอายุที่เริ่มมีอาการอ่อนแรงตามกระบวนการชราภาพหรือขาดความคล่องแคล่วในการเคลื่อนไหว

อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีหลากหลายปัจจัย การศึกษาในอนาคตควรเปรียบเทียบผู้ที่มีกลุ่มอาการทางเมตะบอลิกและมีการรักษาด้วยฮอร์โมนทดแทน ซึ่งเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการทำงานของสมองและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

Bohannon, R. W. (2006). Reference values for the five-repetition sit-to-stand test: A descriptive meta-analysis of data from elders. *Perceptual and Motor Skills, 103*(1), 215-222.

Bohannon, R. W., Bubela, D. J., Magasi, S. R., Wang, Y. C., & Gershon, R. C. (2010). Sit-to-stand test: Performance and determinants across the age-span. *Isokinetics and Exercise Science, 18*(4), 235-240.

Brzycki, M. (1993). Strength testing-predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance, 64*(1), 88-90.

Cassilhas, R. C., Viana, V. A., Grassmann, V., Santos, R. T., Santos, R. F., Tufik, S., & Mello, M. T. (2007). The impact of resistance exercise on the cognitive function of the elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *39*(8), 1401-1407.

Cheng, S. J., Yang, Y. R., Cheng, F. Y., Chen, I. H., & Wang, R. Y. (2014). The changes of muscle strength and functional activities during aging in male and female populations. *International Journal of Gerontology, 8*(4), 197-202.

Dickstein, R., & Deutsch, J. (2007). Motor imagery in physical therapist practice. *Physical Therapy, 87*(7), 942-953.

Hazell, T., Kenno, K., & Jakobi, J. (2007). Functional benefit of power training for older adults. *Journal of Aging and Physical Activity, 15*(3), 349-359.

Ishii, K., Matsukawa, K., Liang, N., Endo, K., Idesako, M., Hamada, H., Ueno, K., & Kataoka, T. (2013). Evidence for centrally induced cholinergic vasodilatation in skeletal muscle during voluntary one-legged cycling and motor imagery in humans. *Physiological Reports, 1*(4), 1-16.

Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C. L., & Doyon, J. (2003). Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *Neuroimage, 20*(2), 1171-1180.

Jeannerod, M. (1994). The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences, 17*(2), 187-245.

Jiang, C., Ranganathan, V. K., Zhang, J., Siemionow, V., & Yue, G. H. (2016). Motor effort training with low exercise intensity improves muscle strength and descending command in aging. *Medicine, 95*(24), 1-7.

Khongsri, N., Tongsuntud, S., Limampai, P., & Kuptniratsaikul, V. (2016). The prevalence of sarcopenia and related factors in a community-dwelling elders Thai population. *Osteoporosis and Sarcopenia, 2*(2), 110-115.

Kim, S. S., Lee, H. J., & You, Y. Y. (2015). Effects of ankle strengthening exercises combined with motor imagery training on the timed up and go test score and weight bearing ratio in stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science, 27*(7), 2303-2305.

Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition–timing hypothesis. *Brain Research Reviews, 53*(1), 63-88.

Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., & Newton, R. U. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *34*(2), 364-380.

Lebon, F., Collet, C., & Guillot, A. (2010). Benefits of motor imagery training on muscle strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 24*(6), 1680-1687.

Lee, J., Hwang, S., & Ahn, S. (2016). Effects of sit-to-stand imagery group training on balance performance in individuals with chronic hemiparetic stroke: A randomized control trial. *Physical Therapy Rehabilitation Science, 5*(2), 63-69.

Leung, M. C. M., Spittle, M., & Kidgell, D. J. (2013). Corticospinal excitability following short-term motor imagery training of a strength task. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity, 8*(1), 1-10.

Leungratanamart, L., & Chadcham, C. (2012). Effects of treadmill exercise on executive function in early adults: An event-related potential study. *Research Methodology & Cognitive Science, 10*(2), 17-34.

Liu-Ambrose, T., Nagamatsu, L. S., Graf, P., Beattie, B. L., Ashe, M. C., & Handy, T. C. (2010). Resistance training and executive functions: A 12-month randomized controlled trial. *Archives of Internal Medicine, 170*(2), 170-178.

Malouin, F., Belleville, S., Richards, C. L., Desrosiers, J., & Doyon, J. (2004). Working memory and mental practice outcomes after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 85*(2), 177-183.

Manorangsan, S., Panpeach, P., & Vorakittikul, D. (2015). Five-Times-Sit-To-Stand Test and Activities-Specific Balance Confidence Scale in Thai fallers. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, *20*(1), 18-28.

Mitchell, W. K., Williams, J., Atherton, P., Larvin, M., Lund, J., & Narici, M. (2012). Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Frontiers in Physiology, 3*(260), 1-18.

Nascimento, M. A. D., Cyrino, E. S., Nakamura, F. Y., Romanzini, M., Pianca, H. J. C., & Queiróga, M. R. (2007). Validation of the Brzycki equation for the estimation of 1-RM in the bench press. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte, 13*(1), 47-50.

Ngowtrakul, B., Chadcham, S., & Kaewkaen, P. (2017). *Increasing lower extremity muscle strength and the speed of sit-to-stand by using a Motor Imagery Control Combined with Exercise Program in older adults: An electromyography and electroencephalography studies*. Doctoral dissertation, College of research methodology and cognitive science, Burapha University.

Pfurtscheller, G., Neuper, C., Ramoser, H., & Müller-Gerking, J. (1999). Visually guided motor imagery activates sensorimotor areas in humans. *Neuroscience Letters, 269*(3), 153-156.

Pfurtscheller, G., Linortner, P., Winkler, R., Korisek, G., & Müller-Putz, G. (2009). Discrimination of motor imagery-induced EEG patterns in patients with complete spinal cord injury. *Computational intelligence and neuroscience*, *2009*, 1-6.

Pichierri, G., Wolf, P., Murer, K., & de Bruin, E. D. (2011). Cognitive and cognitive-motor interventions affecting physical functioning: A systematic review. *BMC geriatrics, 11*(1), 1-19.

Poncumhak, P., Suwannakul, B., & Srithawong. (2016). Validity of five times sit to stand test for the evaluation of risk of fall in community-dwelling older adults. *Bull Chiang Mai Assoc Med Sci, 49*(2), 236-244.

Saimpont, A., Pozzo, T., & Papaxanthis, C. (2009). Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PLoS One*, *4*(8), 1-8.

Schlicht, J., Camaione, D. N., & Owen, S. V. (2001). Effect of intense strength training on standing balance, walking speed, and sit-to-stand performance in older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 56*(5), M281-M286.

Sidaway, B., & Trzaska, A. R. (2005). Can mental practice increase ankle dorsiflexor torque?. *Physical Therapy, 85(*10), 1053-1060.

Umphred, D. A., Lazaro, R. T., Roller, M. L., & Burton, G. U. (2013). *Umphred's neurological rehabilitation* (6th ed.). St Louis: Elsevier.

Ushiyama, J., Takahashi, Y., & Ushiba, J. (2010). Muscle dependency of corticomuscular coherence in upper and lower limb muscles and training-related alterations in ballet dancers and weightlifters. *Journal of Applied Physiology, 109*(4), 1086-1095.

Williams, M. A., Haskell, W. L., Ades, P. A., Amsterdam, E. A., Bittner, V., Franklin, B. A., Gulanick, M., Laing, S., & Stewart, K. J. (2007). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update a scientific statement from the American heart association council on clinical cardiology and council on nutrition, physical activity, and metabolism. *Circulation, 116*(5), 572-584.

Xu, L., Zhang, H., Hui, M., Jin, Z., Liu, Y., & Yao, L. (2014). Motor execution and motor imagery: A comparison of functional connectivity patterns based on graph theory. *Neuroscience, 261*(2014), 184-194.

Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D. C., & Fukashiro, S. (2009). Biomechanical analysis of the relation between movement time and joint moment development during a sit-to-stand task. *Biomedical Engineering Online, 8(*1), 1-9.

Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D. C., & Fukashiro, S. (2014). Peak hip and knee joint moments during a sit-to-stand movement are invariant to the change of seat height within the range of low to normal seat height. *Biomedical Engineering Online*, *13*(27), 1-13.