

Original article

Immediate effect of attentional focus on muscle activity during knee extension and imagined knee extension using ultrasound doppler: Quasi-experimental research

Kanokwan Srisupornkornkool^{1,*}, Titipong Kaewlek², Sakowjai Jamjang¹, Sukanya Thongplod¹, Asma Islam¹, Sompiya Somthavil³, Onuma Boonyarom³

¹Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

²Department of Radiological Technology, Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

³Department of Rehabilitation and Movement Sciences, Faculty of Sports Science, Kasetsart University, Nakhon Pathom, Thailand

Abstract

Background: Attentional focus and motor imagery affect muscle activity. However, there are no studies that use visualization technique of ultrasound doppler to monitor muscle activity while focusing on the actual and imagined movement.

Objective: To compare the effect of attentional focus on muscle activity during knee extension and determine knee extension using ultrasound doppler.

Methods: Twenty-four participations, age ranged from 20 - 30 years old, were asked to perform three types of muscle contraction, including active knee extension, eccentric contraction of knee extensor, and isometric knee extension. In addition, all subjects were asked to perform three attentional focus, namely no attentional focus, internal focus, and external focus during perform each type of muscle contraction.

Results: The muscle size was monitored while perform knee extension and imagined knee extension. The muscle size of knee extensor during actual knee extension was significantly greater than imagined knee extension in all type of muscle contraction. There were no statistically significant differences in knee extensor muscle size during actual movement among attentional conditions, whereas knee extensor muscle size while imagining knee extension with external focus was greater than internal focus and no attentional focus.

Conclusion: Both actual and imagined movement could alter muscle size. Interestingly, attentional focus had effect on the alteration of muscle size only during perform imagined knee extension.

Keywords: Attentional focus, imagined knee extension, knee extension, muscle activity, ultrasound doppler.

*Correspondence to: Kanokwan Srisupornkornkool, Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand.

E-mail: kanokwans@nu.ac.th

Received: December 4, 2023

Revised: February 21, 2024

Accepted: March 20, 2024

 Open Access 2025 Srisupornkornkool et al., published by  Faculty of Medicine, Chulalongkorn University. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

นิพนธ์ต้นฉบับ

ผลทันทีทันใดของการเพ่งความสนใจต่อการตอบสนองของกล้ามเนื้อในขณะเหยียดเข้าและจินตนาการเหยียดเข้าด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์: การวิจัยแบบกึ่งทดลอง

กนกวรรณ ศรีสุภกรกุล^{1*}, ฐิติพงศ์ แก้วเหล็ก², สกาวใจ แจ่มแจ่ม¹, สุกัญญา ทองปลอด¹, อัสมมา อิสลาม¹, สมภิษา สมถวิล³, อรรอุมา บุญยารมย์³

¹ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

²ภาควิชารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

³ภาควิชาวิทยาศาสตร์การฟื้นฟูและการเคลื่อนไหว คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

บทคัดย่อ

เหตุผลของการทำวิจัย: การเพ่งความสนใจและการจินตนาการเคลื่อนไหวมีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ แต่ยังไม่พบการศึกษาที่นำเทคนิคการแสดงผลภาพด้วยอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์ดูการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อขณะเพ่งความสนใจไปที่การเคลื่อนไหวและขณะจินตนาการ

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบผลของการเพ่งความสนใจต่อการตอบสนองของกล้ามเนื้อในขณะเหยียดเข้าและจินตนาการด้วยอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์

วิธีการทำวิจัย: อาสาสมัคร 24 ราย อายุระหว่าง 20 - 30 ปี ทำการเหยียดเข้าและจินตนาการ 3 รูปแบบ คือ เหยียดเข้า งอเข่าลงช้า ๆ และเหยียดเข้าแบบเกร็งค้างไว้ที่ช่วงสุดท้าย ร่วมกับการเพ่งความสนใจ 3 เงื่อนไข คือ ไม่เพ่งความสนใจ เพ่งความสนใจภายใน และเพ่งความสนใจภายนอก วัดการตอบสนองของกล้ามเนื้อโดยการวัดขนาดของกล้ามเนื้อด้วยอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์ขณะพัก และขณะทำการเหยียดเข้าและจินตนาการ

ผลการศึกษา: ขนาดกล้ามเนื้อขณะเหยียดเข้ามีค่ามากกว่าขณะจินตนาการทั้ง 3 รูปแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างของขนาดกล้ามเนื้อขณะเหยียดเข้าระหว่างเงื่อนไขการเพ่งความสนใจยกเว้นขณะจินตนาการเหยียดเข้าโดยเพ่งความสนใจไปที่ภายนอกขนาดของกล้ามเนื้อมีค่ามากกว่าขณะเพ่งความสนใจไปที่ภายใน และไม่เพ่งความสนใจ

สรุป: ทั้งการเคลื่อนไหวและการจินตนาการส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกล้ามเนื้อ แต่การเพ่งความสนใจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกล้ามเนื้อเฉพาะในขณะจินตนาการเหยียดเข้า

คำสำคัญ: การเพ่งความสนใจ, การจินตนาการเหยียดเข้า, การเหยียดเข้า, การทำงานของกล้ามเนื้อ, อัลตราซาวด์ดอปเพลอร์.

การเคลื่อนไหวอาศัยการทำงานประสานกัน
อย่างเหมาะสมของระบบประสาทและระบบโครงร่างและ
กล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดการตอบสนองหรือการเคลื่อนไหว
ตามที่ต้องการ⁽¹⁾ และปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อประสิทธิภาพ
ของการเคลื่อนไหวคือ พุทธิปัญญา (cognitive function)
เนื่องจากพุทธิปัญญามีอิทธิพลต่อการประมวลผลข้อมูล
ในระบบประสาทส่วนกลางเพื่อส่งคำสั่งไปยังกล้ามเนื้อ
ที่ต้องการ พุทธิปัญญาพื้นฐานที่สำคัญต่อการเคลื่อนไหว คือ
ความสนใจ (attention) เพื่อใช้ในการกรองข้อมูลที่เข้ามา
หรือเลือกข้อมูลจากสิ่งเร้าต่าง ๆ ที่มากระตุ้นเพื่อประมวลผล
ความสนใจทำให้เราให้ความสำคัญกับตัวกระตุ้นที่สนใจ
ส่งผลให้ตอบสนองได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น⁽²⁾

การเพ่งความสนใจ (attentional focus) แบ่งได้
2 ประเภท คือ การเพ่งความสนใจภายนอก (external focus:
EF) คือ การเพ่งความสนใจไปที่เป้าหมายภายนอกในขณะ
ทำการเคลื่อนไหว และการเพ่งความสนใจภายใน (internal
focus: IF) คือ การเพ่งความสนใจไปที่การเคลื่อนไหวของ
ร่างกาย⁽²⁾ จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการเพ่งความ
สนใจภายนอกส่งผลต่อการเพิ่มทักษะการเคลื่อนไหว
ได้มากกว่าการเพ่งความสนใจภายใน เนื่องจากการเพ่ง
ความสนใจที่ภายนอกจะกระตุ้นการทำงานแบบอัตโนมัติ
(automatic motor control) ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้
รวดเร็ว เป็นอัตโนมัติ ไม่อยู่ภายใต้การควบคุมของจิตสำนึก
(conscious control) ดังนั้นการเคลื่อนไหวจึงเกิดความ
ต่อเนื่องและประสานการเคลื่อนไหวเป็นอย่างดี⁽³⁻⁷⁾

นอกจากการเพ่งความสนใจจะส่งผลต่อการ
ทำงานของกล้ามเนื้อแล้ว อีกวิธีที่ส่งผลต่อการทำงานของ
กล้ามเนื้อ คือ การจินตนาการการเคลื่อนไหว (motor imagery:
MI) การจินตนาการเป็นกระบวนการพุทธิปัญญาที่ซับซ้อน
การสร้างภาพในสมองต้องอาศัยความจำ และความสนใจ
โดยภาพจะถูกสร้างจากประสบการณ์ที่บันทึกไว้ใน
ความจำระหว่างการทำงาน (working memory) จากการ
รับรู้ความรู้สึกต่าง ๆ การจินตนาการการเคลื่อนไหว แบ่งเป็น
การจินตนาการโดยการเห็นการเคลื่อนไหว (visual imagery)
ซึ่งอาจจะเป็นการเห็นตนเองเคลื่อนไหว (first-person)
และบุคคลอื่นเคลื่อนไหว (third-person) และการจินตนาการ
โดยรู้สึกร่างกายตนเองเคลื่อนไหว (kinesthetic imagery)⁽²⁾
การจินตนาการการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่จะใช้การเพ่งความ
สนใจภายใน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการจินตนาการ
การเคลื่อนไหวส่งผลต่อการเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อ
เช่น การศึกษาของ Kobelt M. และคณะ⁽⁸⁾ ศึกษาผลการ
จินตนาการการใช้แขนจับวัตถุและยกแขนขึ้นต่อคลื่น

ไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (electromyography: EMG) ในอาสาสมัคร
สุขภาพดี ผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีก ผู้ป่วยพาร์กินสัน พบว่าการ
จินตนาการการเคลื่อนไหวส่งผลเพิ่มคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
มากกว่าขณะพัก⁽⁸⁾ และการศึกษาของ Srisupornkornkool K.
และคณะ⁽⁹⁾ ศึกษาคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อขณะลุกขึ้นยืน
และจินตนาการการลุกขึ้นยืนในอาสาสมัครสุขภาพดี
พบว่าการจินตนาการลุกขึ้นยืนสามารถกระตุ้นกล้ามเนื้อ
ให้หดตัวได้ถึงแม้จะน้อยกว่าการลุกขึ้นยืนจริง⁽⁹⁾

เครื่องอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์ (ultrasound
doppler) เป็นเทคโนโลยีขั้นสูงอาศัยหลักการการสะท้อน
คลื่นเสียงความถี่สูง ถ้าคลื่นเสียงความถี่สูงผ่านเข้าสู่
ร่างกายมนุษย์ และกระทบส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่อยู่กับที่
ความถี่ของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับเข้าสู่หัวตรวจจะ
มีความถี่คงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถแสดงภาพ
อวัยวะและเนื้อเยื่อในร่างกายได้ จึงถูกนำมาใช้ในการตรวจ
วินิจฉัยแยกโรค และติดตามการรักษาผู้ป่วย⁽¹⁰⁻¹¹⁾ ถึงแม้
ว่าในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการแสดงผลของ
เครื่องอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์มาใช้ตรวจดูขนาดของ
กล้ามเนื้อ⁽¹²⁻¹³⁾ แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบ
ว่าการศึกษาส่วนใหญ่เกี่ยวกับผลของการเพ่งความ
สนใจและการจินตนาการการเคลื่อนไหวต่อการทำงานของ
กล้ามเนื้อ ทำการวัดโดยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG)
ยังไม่พบการวัดขนาดของกล้ามเนื้อ ดังนั้นในการศึกษา
วิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อด้วย
เครื่องอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์ ในขณะที่เพ่งความ
สนใจไปที่การเหยียดเข่าและจินตนาการการเหยียดเข่า
เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปสู่การพัฒนา
โปรแกรมออกกำลังกายร่างกายและการฟื้นฟูในอนาค
ตงานวิจัยนี้วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง
ของการเพ่งความสนใจต่อการตอบสนองของกล้ามเนื้อ
ในขณะที่เหยียดเข่าและการจินตนาการการเหยียดเข่า
ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์

วิธีการทำวิจัย

อาสาสมัคร

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลอง อาสาสมัคร
สุขภาพดี จำนวน 24 ราย โดยใช้โปรแกรม G power
ด้วยสถิติ F-test ที่อำนาจการทดสอบเท่ากับ 0.3 และขนาด
อิทธิพลเท่ากับ 0.8 ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.5 และคำนวณ
การป้องกันการขาดของกลุ่มตัวอย่างระหว่างการทำทดลอง
โดยกำหนดให้ร้อยละที่ยอมรับได้เท่ากับร้อยละ 20.0
แบ่งเป็นเพศหญิง 12 ราย และเพศชาย 12 ราย มีอายุ

ระหว่าง 20 - 30 ปี ดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถเหยียดเข้าได้เต็มช่วงองศาการเคลื่อนไหว หากอาสาสมัครมีคะแนนความสามารถในการทำงานของสมอง เมื่อทำการทดสอบด้วย mini mental state examination (MMSE; ฉบับภาษาไทย) น้อยกว่าเกณฑ์ cut point ตามระดับการศึกษา คะแนนความสามารถในการจินตนาการเมื่อทดสอบด้วย movement imagery questionnaire-revised (MIQ-R; ฉบับภาษาไทย)⁽¹⁴⁾ น้อยกว่า 20 มีปัญหาระบบประสาทและระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของกล้ามเนื้อขา มีโรคความดันโลหิตสูง ต่อมไทรอยด์ที่ผสมแอลกอฮอล์ และสูบบุหรี่เป็นประจำถูกคัดออก

งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (IRB: P1-0053/2565) และลงทะเบียนงานวิจัยแบบทดลองทางคลินิก (Thai clinical trials registry: TCTR20220830004)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ก่อนเริ่มการวิจัย ผู้วิจัยทำการทดสอบความเชื่อมั่นระหว่างผู้วัด (inter-rater reliability) และภายในผู้วัด (intra-rater reliability) โดยทำการฝึกวางตำแหน่งหัวตรวจและการตั้งค่าสำหรับการทำการวัดการตอบสนองของกล้ามเนื้อกับผู้เชี่ยวชาญในการใช้เครื่องอัลตราซาวด์ ดอปเพลอร์ จากนั้นทำการทดสอบความเชื่อมั่นระหว่างผู้วัด (ผู้ร่วมวิจัย 1 ท่าน กับผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่าน) กับอาสาสมัครจำนวน 5 ราย โดยให้อาสาสมัครทำการเหยียดเข้า 3 รูปแบบ คือ เหยียดเข้าให้สุดช่วงการเคลื่อนไหวโดยไม่มีน้ำหนักถ่วง (active knee extension: AKE) งอเข่าลงช้า ๆ (eccentric contraction of knee extensor: ECKE) และเหยียดเข้าแบบเกร็งค้างไว้ที่ช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข้า (isometric knee extension: IKE) ภายใต้เงื่อนไขของการเพ่งความสนใจ 3 เงื่อนไข คือ ไม่เพ่งความสนใจ (no attentional focus: NAF) เพ่งความสนใจไปที่การหดตัวของกล้ามเนื้อเหยียดเข้า (internal focus: IF) และเพ่งความสนใจไปที่ตำแหน่งสูงสุดของการเหยียดเข้า ที่ maker บนผนัง (external focus: EF) แต่ละท่าให้อาสาสมัครพักประมาณ 5 นาที หรือจนกว่าจะคลายความเมื่อยล้า จากนั้นนัดอาสาสมัครมาทำการทดสอบอีกครั้งในวันถัดไป เพื่อหาความเชื่อมั่นภายในผู้วัด ผลการทดสอบความเชื่อมั่นระหว่างผู้วัดพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (intraclass correlation coefficient: ICC_(3,1)) ของการวัดขนาดกล้ามเนื้ออ้อมมีความเชื่อมั่นของการวัดขนาดกล้ามเนื้ออ้อมระหว่างผู้วัดในทุกชนิด

การหดตัวของกล้ามเนื้อ และทุกเงื่อนไขของการเพ่งความสนใจอยู่ในระดับดีถึงระดับดีมาก (ICC_(3,1) = 0.760 - 0.992) สำหรับการทดสอบความเชื่อมั่นภายในผู้วัด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (intraclass correlation coefficient: ICC_(3,1)) ของการวัดขนาดกล้ามเนื้ออ้อมมีความเชื่อมั่นของการวัดขนาดกล้ามเนื้ออ้อมภายในผู้วัดในทุกชนิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ และทุกเงื่อนไขของการเพ่งความสนใจ อยู่ในระดับดีถึงระดับดีมาก (ICC_(3,1) = 0.754 - 0.998) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error of mean, SEM) มีค่าระหว่าง 0.009 - 0.205 ซึ่งบ่งชี้ว่าไม่พบความคลาดเคลื่อนจากการวัด

อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดกรอง ได้รับการสุ่มลำดับรูปแบบของการเหยียดเข้า 3 รูปแบบ คือ AKE, ECKE และ IKE ด้วยการสุ่มอย่างง่ายโดยวิธีการจับสลาก แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ลำดับการเหยียดเข้า คือ AKE-ECKE-IKE จำนวน 12 ราย ส่วนกลุ่มที่ 2 ลำดับการเหยียดเข้า คือ AKE-IKE-ECKE จำนวน 12 ราย แต่ละกลุ่มมีเพศหญิง 6 ราย และเพศชาย 6 ราย จากนั้นอาสาสมัครในแต่ละกลุ่ม ถูกสุ่มลำดับเงื่อนไขการเพ่งความสนใจ 3 เงื่อนไข คือ NAF, IF และ EF ด้วยการสุ่มอย่างง่ายโดยวิธีการจับสลาก แบ่งเป็น 2 ลำดับ โดยลำดับที่ 1 คือ NAF-IF-EF ส่วนลำดับที่ 2 คือ NAF-EF-IF

อาสาสมัครนั่งบนเก้าอี้ที่ปรับระดับความสูงได้ ทำวางราบกับพื้น ผู้วิจัยวางหัวตรวจเครื่องอัลตราซาวด์ ดอปเพลอร์ ตรงที่กล้ามเนื้อ rectus femoris เหนือต่อข้อเข่า ประมาณ 2 นิ้ว ปรับเครื่องอัลตราซาวด์ ดอปเพลอร์ อยู่ในรูปแบบ B-mode หรือ gray scale เพื่อแสดงภาพกล้ามเนื้อ ทำการหาขนาดของกล้ามเนื้อบริเวณขอบบนถึงขอบล่างของกล้ามเนื้อ จากนั้นให้อาสาสมัครทำการเหยียดเข้า และเพ่งความสนใจตามลำดับที่สุ่มไว้ โดยในแต่ละรูปแบบการเคลื่อนไหวอาสาสมัครทำการเหยียดเข้าก่อนแล้วตามด้วยการจินตนาการการเหยียดเข้าในแต่ละรูปแบบที่ถูกจัดลำดับไว้ โดยขณะจินตนาการอาสาสมัครต้องหลับตาและปิดตาด้วยผ้าปิดตา หากอาสาสมัครจินตนาการเสร็จให้อาสาสมัครพูดออกเสียงว่า “เสร็จ” หลังจากจินตนาการทุกครั้ง อาสาสมัครถูกประเมินความชัดเจนของการจินตนาการด้วยแบบประเมินความสามารถในการจินตนาการ ซึ่งมี 7 ระดับ เริ่มจากจินตนาการยากสุดระดับคะแนน 1 ไปจนถึงจินตนาการง่ายสุด ระดับคะแนน 7 อาสาสมัครพักจนกว่าจะคลายความเมื่อยล้า ก่อนเริ่มทดสอบในลำดับถัดไป หลังจากทำการเหยียดเข้าหรือจินตนาการการเหยียดเข้าเสร็จทุกครั้ง ทำการวัดขนาด

ของกล้ามเนื้อ บันทึกค่าที่วัดได้เป็นเซนติเมตร

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลพื้นฐานนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย (mean) \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ค่าขนาดของกล้ามเนื้อถูกนำมาทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk test และนำเสนอเป็นมัธยฐาน (median) และ interquartile range (IQR) Q1 และ Q3 โดยใช้สถิติ Friedman test สำหรับทดสอบความแตกต่างภายในแต่ละรูปแบบการเหยียดเข่า และใช้สถิติ Wilcoxon Signed-Rank test สำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของข้อมูล โดยค่าที่ได้ถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$

ผลการศึกษา

ข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัคร

อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย ช่วงการเหยียดเข่า คะแนนความสามารถทำงานของสมอง และคะแนนความสามารถในการจินตนาการ (ตารางที่ 1)

ขนาดของกล้ามเนื้อ rectus femoris

การเหยียดเข่าให้สุดช่วงการเคลื่อนไหวโดยไม่มีน้ำหนักถ่วง (AKE)

เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อ ระหว่างช่วงพัก และช่วงทดสอบทั้งในขณะเหยียดเข่าและจินตนาการการเหยียดเข่าพบว่าขนาดกล้ามเนื้อในขณะทำการทดสอบมีค่ามากกว่าขณะพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อทั้งขณะเหยียดเข่าและจินตนาการการเหยียดเข่าระหว่างเงื่อนไขการฟังความสนใจ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.033$ และ 0.019 ตามลำดับ) เมื่อทำการเปรียบเทียบรายคู่ไม่พบความแตกต่างของขนาดกล้ามเนื้อขณะเหยียดเข่า ($P > 0.05$) แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของขนาดกล้ามเนื้อขณะจินตนาการการเหยียดเข่า โดยพบว่าขนาดของกล้ามเนื้อในขณะฟังความสนใจไปที่ภายนอกมีค่ามากกว่าในขณะฟังความสนใจภายในและไม่ฟังความสนใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.030$ และ 0.007 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อ ระหว่างการเหยียดเข่า และการจินตนาการการเหยียดเข่า พบว่าขนาดของกล้ามเนื้อในขณะฟังความสนใจไปที่ภายนอกมีค่ามากกว่าขนาดของกล้ามเนื้อในขณะฟังความสนใจภายในและไม่ฟังความสนใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) (ตารางที่ 2 และ รูปที่ 1)

การเหยียดเข่าแบบเกร็งค้างไว้ที่ช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่า (IKE)

เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อ ระหว่างช่วงพัก และช่วงทดสอบทั้งในขณะเหยียดเข่าและจินตนาการการเหยียดเข่าแบบเกร็งค้างไว้ในช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่าพบว่าขนาดกล้ามเนื้อในขณะทำการทดสอบมีค่ามากกว่าขณะพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ยกเว้นการจินตนาการแบบเกร็งค้างไว้ในช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่าร่วมกับการฟังความสนใจภายในไม่พบความแตกต่างระหว่างช่วงพักและช่วงทดสอบ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อทั้งขณะเหยียดเข่าและจินตนาการการเหยียดเข่าแบบเกร็งค้างไว้ในช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่า ระหว่างเงื่อนไขการฟังความสนใจ ไม่พบความแตกต่าง ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อ ระหว่างการเหยียดเข่า และการจินตนาการการเหยียดเข่าแบบเกร็งค้างไว้ในช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่า พบว่าขนาดของกล้ามเนื้อในขณะทำการจินตนาการการเหยียดเข่าแบบเกร็งค้างไว้ในช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่าขนาดของกล้ามเนื้อมีค่ามากกว่าขนาดของกล้ามเนื้อในขณะทำการจินตนาการการเหยียดเข่าแบบเกร็งค้างไว้ในช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่าในทุกเงื่อนไขของการฟังความสนใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) (ตารางที่ 2 และ รูปที่ 1)

การงอเข่าลงช้า ๆ (ECKE)

เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อ ระหว่างช่วงพัก และช่วงทดสอบทั้งในขณะงอเข่าลงช้า ๆ และจินตนาการการงอเข่าลงช้า ๆ พบว่าขนาดกล้ามเนื้อในขณะทำการทดสอบมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติขณะพัก ($P < 0.05$) ยกเว้นการจินตนาการการงอเข่าลงช้า ๆ ร่วมกับการฟังความสนใจภายนอกและไม่ฟังความสนใจ ไม่พบความแตกต่างระหว่างช่วงพักและช่วงทดสอบ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อ ระหว่างเงื่อนไขการฟังความสนใจไม่พบความแตกต่าง ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกล้ามเนื้อ ระหว่างการงอเข่าลงช้า ๆ และจินตนาการการงอเข่าลงช้า ๆ พบว่าขนาดของกล้ามเนื้อในขณะทำการงอเข่าลงช้า ๆ ขนาดของกล้ามเนื้อมีค่าน้อยกว่าขนาดของกล้ามเนื้อในขณะทำการจินตนาการการงอเข่าลงช้า ๆ ในทุกเงื่อนไขของการฟังความสนใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) (ตารางที่ 2 และ รูปที่ 1)

Table 1. Physical characteristics.

Physical characteristics	Mean \pm SD
Age (year)	21.4 \pm 1.0
Body weight (kg)	57.6 \pm 5.7
Height (cm)	166.8 \pm 7.0
BMI (kg/m ²)	21.0 \pm 1.2
Knee extension (degree)	2.8 \pm 1.5
MMSE-Thai version	28.9 \pm 1.4
MIQ-R: Kinesthetic imagery	24.2 \pm 2.7
MIQ-R: Visual imagery	24.5 \pm 2.7

BMI, Body mass index; MMSE, Mini-mental state examination; MIQ-R, Movement imagery questionnaire-revised; SD, Standard deviation.

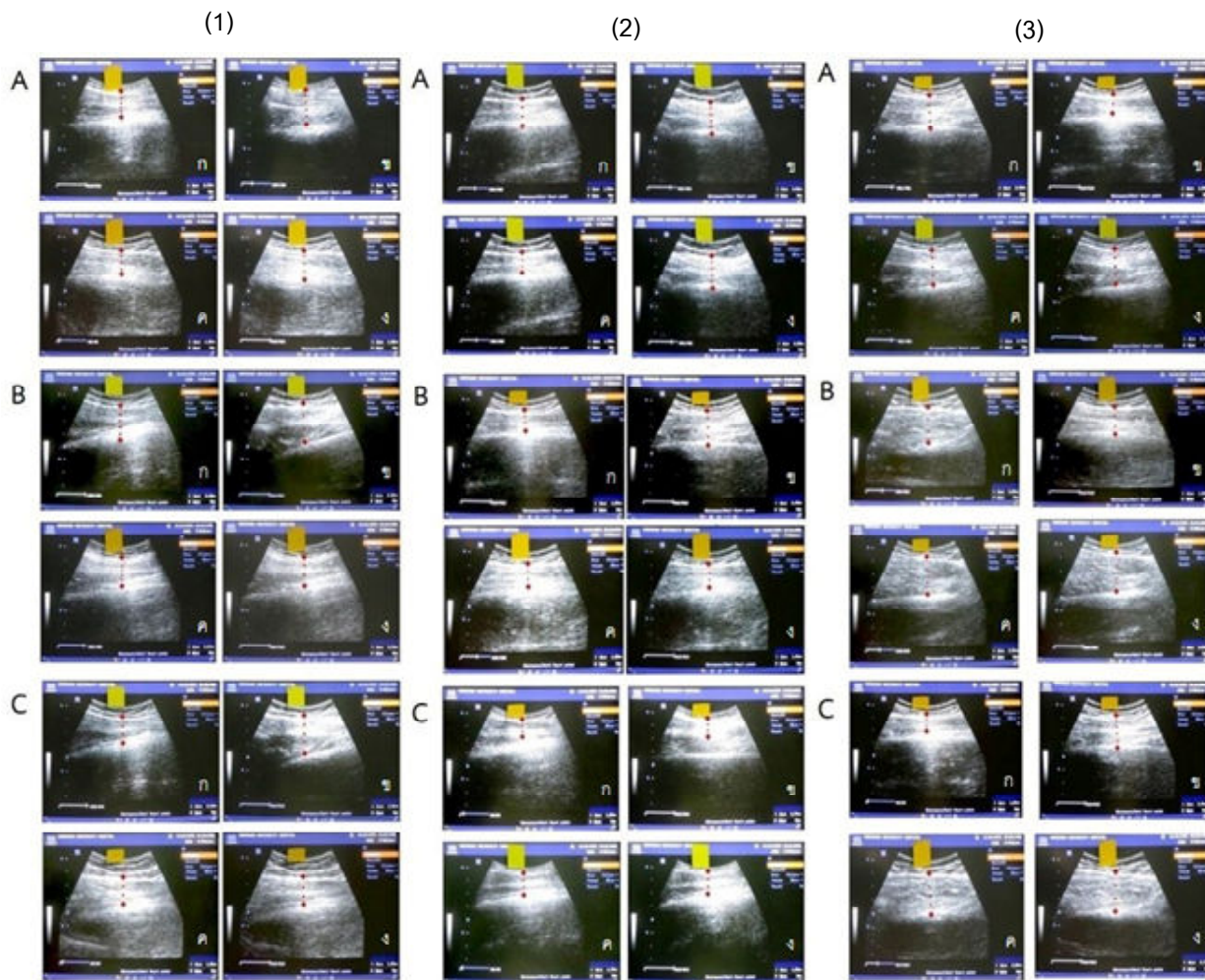


Figure 1. Muscle size of rectus femoris during active knee extension and imagined knee extension (1) isometric knee extension (2) and eccentric knee extensor (3) with no attentional focus (A) external focus (B) and internal focus (C) (⌈, muscle size during baseline; ⌋, muscle size during test; ⌈, muscle size during imagined baseline; and ⌋, muscle size during imagined test).

Table 2. Muscle size of rectus femoris during active knee extension and imagined knee extension (AKE), during isometric knee extension and imagined isometric knee extension (IKE) and during eccentric knee extension and imagined eccentric knee extension (EKE).

Attentional focus condition	Action		Motor imagery (MI)		P - value (difference value between action and MI)	
	Baseline	Test	Baseline	Test		
AKE						
NAF	2.0 (1.8 - 2.2)	2.8 (2.6 - 3.1) ⁺	2.0 (1.8 - 2.2)	2.0 (1.8 - 2.2) ⁺	0.02 (0.0 - 0.0) ⁺⁺	< 0.001
EF	2.0 (1.8 - 2.2)	2.9 (2.6 - 3.2) ⁺	2.1 (1.8 - 2.2)	2.0 (1.8 - 2.2) ⁺	0.03 (0.0 - 0.1) ^{*,++}	< 0.001
IF	2.0 (1.8 - 2.2)	2.9 (2.7 - 3.3) ⁺	2.0 (1.8 - 2.2)	2.0 (1.8 - 2.2) ⁺	0.0 (0.0 - 0.4) ^{***,++}	< 0.001
P - value					0.019	
IKE						
NAF	2.0 (1.8 - 2.2)	2.8 (2.6 - 3.2) ⁺	2.0 (1.8 - 2.2)	2.0 (1.9 - 2.2) ⁺	0.2 (0.0 - 0.0) ⁺⁺	< 0.001
EF	2.0 (1.8 - 2.2)	2.9 (2.6 - 3.2) ⁺	2.0 (1.8 - 2.2)	2.0 (1.8 - 2.2) ⁺	0.0 (0.0 - 0.1) ⁺⁺	< 0.001
IF	2.0 (1.8 - 2.2)	2.8 (2.6 - 3.3) ⁺	2.0 (1.8 - 2.2)	2.0 (1.8 - 2.2)	0.0 ⁺ (0.0 - 0.0) ⁺⁺	< 0.001
P - value					0.315	
EKE						
NAF	2.8 (2.6 - 3.3)	2.07 (1.8 - 2.3) ⁺	2.8 (2.7 - 3.3)	2.8 (2.6 - 3.1) ⁺	0.0 (0.0 - 0.1) ⁺⁺	< 0.001
EF	2.8 (2.6 - 3.3)	2.1 (1.8 - 2.3) ⁺	2.8 (2.6 - 3.3)	2.8 (2.6 - 3.3)	0.0 (0.0 - 0.1) ⁺⁺	< 0.001
IF	2.8 (2.6 - 3.3)	2.1 (1.9 - 2.3) ⁺	2.8 (2.6 - 3.3)	2.8 (2.6 - 3.2) ⁺	0.0 (0.0 - 0.1) ⁺⁺	< 0.001
P - value					0.330	

NAF, No attentional focus; EF, External focus; IF, Internal focus; using Friedman test and Wilcoxon signed-ranks test.
^{*}, significant difference between NAF and EF ($P < 0.05$); ^{**}, significant difference between NAF and IF ($P < 0.05$).
^{***}, significant difference between EF and IF ($P < 0.05$); ⁺, significant difference between base line and test ($P < 0.05$).
⁺⁺, significant difference between actual movement and motor imagery ($P < 0.05$).

อภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการเพ่งความสนใจต่อการตอบสนองของกล้ามเนื้อ ในขณะที่เหยียดเข่า และการจินตนาการเหยียดเข่าด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ดอปเพลอร์ ในอาสาสมัครจำนวน 24 ราย อาสาสมัครทุกรายมีสุขภาพดีและผ่านเกณฑ์การคัดเข้า สมมติฐานของงานวิจัยนี้ คือ 1) ในขณะที่เหยียดเข่าและจินตนาการการเหยียดเข่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกล้ามเนื้อ โดยในขณะที่เหยียดเข่าทั้ง 3 รูปแบบ น่าจะมีขนาดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการจินตนาการการเหยียดเข่า และ 2) การเพ่งความสนใจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกล้ามเนื้อ โดยในขณะที่เหยียดเข่าและจินตนาการการเหยียดเข่าทั้ง 3 รูปแบบ ร่วมกับเพ่งความสนใจภายนอก น่าจะส่งผลให้ขนาดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นน้อยกว่า เพ่งความสนใจภายในและไม่เพ่งความสนใจ ผลการศึกษานี้ พบว่าขนาดของกล้ามเนื้อ ในขณะที่เหยียดเข่าเพิ่มขึ้นมากกว่าขณะจินตนาการการเหยียดเข่าทั้ง 3 รูปแบบ และพบเพียงการจินตนาการการเหยียดเข่าให้สุดช่วงการเคลื่อนไหว โดยไม่มีน้ำหนักถ่วง โดยเพ่งความสนใจภายนอกมีขนาดของกล้ามเนื้อ มากกว่าการเพ่งความสนใจภายในและไม่เพ่งความสนใจ

หลังจากจินตนาการการเหยียดเข่า คณะผู้วิจัยได้ทำการสอบถามคะแนนความสามารถในการจินตนาการในส่วนของการรู้สึกการจินตนาการ (kinesthetic imagery) คะแนนแบ่งออกเป็น 7 ระดับ คือ ระดับที่ 1 เกือบไม่รู้สึกเลย ส่วนระดับที่ 7 รู้สึกได้ง่ายมาก ผลพบว่าคะแนนความรู้สึกการจินตนาการการเหยียดเข่าทั้ง 3 รูปแบบ และ 3 เงื่อนไขของการเพ่งความสนใจ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.7 - 6.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาสาสมัครมีการจินตนาการอยู่ในระดับรู้สึกได้ง่าย ดังนั้นในการศึกษานี้จึงอาจบ่งชี้ได้ว่าในขณะที่จินตนาการนั้นอาสาสมัครได้มีการจินตนาการตามคำสั่งของคณะผู้วิจัย

จากการวิจัยนี้ พบว่าขนาดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่ามีค่ามากกว่าขณะจินตนาการการเหยียดเข่าทั้ง 3 รูปแบบการหดตัว แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษา พบว่าในขณะที่จินตนาการมีขนาดของกล้ามเนื้อ มากกว่าในขณะที่พัก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าการเคลื่อนไหวจริงส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อมากกว่าการจินตนาการ เช่น การศึกษาของ Guillot A. และคณะ⁽¹⁵⁾ ศึกษาผลของการจินตนาการการยกดัมเบลต่อ

การตอบสนองของกล้ามเนื้อ โดยวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ผลการศึกษา พบว่าขณะเคลื่อนไหวจริงมีคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ มากกว่าขณะจินตนาการการเคลื่อนไหวและขณะจินตนาการการเคลื่อนไหวมีคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ มากกว่าขณะพัก⁽¹⁵⁾ การศึกษาของ Lebon F. และคณะ⁽¹⁶⁾ ศึกษาการตอบสนองของกล้ามเนื้อต่อการจินตนาการการยกดัมเบล 3 ลักษณะการเคลื่อนไหว ได้แก่ concentric contraction, isometric contraction และ eccentric contraction ผลการศึกษา พบว่าขณะจินตนาการการเคลื่อนไหวทั้ง 3 ลักษณะการเคลื่อนไหวมีความถี่ค่ากลางของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ มากกว่าขณะพัก⁽¹⁶⁾ และการศึกษาของ Srisupornkornkool K. และคณะ⁽⁹⁾ ศึกษาการตอบสนองของกล้ามเนื้อต่อการจินตนาการการลุกขึ้นยืนในอาสาสมัครผู้ใหญ่ตอนต้น โดยวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะลุกขึ้นยืนเปรียบเทียบกับการจินตนาการการลุกขึ้นยืน ผลการศึกษา พบว่าการจินตนาการสามารถกระตุ้นกล้ามเนื้อให้หดตัวได้แม้ว่าจะน้อยกว่าการลุกขึ้นยืน⁽⁹⁾ การจินตนาการการเคลื่อนไหวสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ อาจเนื่องจากขณะจินตนาการการเคลื่อนไหวมีการกระตุ้นการทำงานในบริเวณต่าง ๆ ของสมองคล้ายคลึงกับขณะทำการเคลื่อนไหวจริง เช่น ในขณะที่จินตนาการการเคลื่อนไหวจะมีกระแสประสาทไปกระตุ้น supplementary motor cortex และ lateral premotor cortex โดยเฉพาะในขณะที่จินตนาการรู้สึกถึงการเคลื่อนไหวจะมีการส่งสัญญาณประสาทผ่าน corticospinal tract ไปกระตุ้น corticospinal primary motor cortex ซึ่งคล้ายกับการกระตุ้นที่ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนไหวจริง⁽¹⁷⁾ นอกจากนี้เป็นไปได้ว่ากลไก top-down mechanism ที่เป็นเส้นทางการควบคุมแบบอิสระจากบนลงล่าง จะสามารถกระตุ้น central representation และส่งผลให้กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นได้⁽¹⁸⁾ ถึงแม้ว่าในขณะที่จินตนาการการเคลื่อนไหวจะมีการทำงานของสมองที่คล้ายคลึงกับการเคลื่อนไหวจริงแต่ขณะจินตนาการจะไม่มี การเคลื่อนไหวของข้อต่อและการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เห็นด้วยตา อาจเนื่องมาจากมีกลไกการยับยั้งการส่งสัญญาณประสาทมายังกล้ามเนื้อ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนไหว ทำให้อลดการส่งสัญญาณประสาทภายในบริเวณ primary motor cortex⁽¹⁹⁾ หรือ premotor area หรือบริเวณก้านสมอง⁽²⁰⁾ แต่การยับยั้งสัญญาณนั้นไม่สมบูรณ์ ทำให้ขณะจินตนาการยังมีการทำงานของกล้ามเนื้อเกิดขึ้น⁽²¹⁾

ผลของการเพ่งความสนใจในการศึกษานี้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลระหว่างการเพ่งความสนใจภายนอก การเพ่งความสนใจภายใน และไม่เพ่งความสนใจไปที่ใด ไม่พบความแตกต่างของขนาดกล้ามเนื้อขณะทำการ เคลื่อนไหวข้อเข่า สอดคล้องกับการศึกษาของ de Bruin ED. และคณะ⁽²²⁾ ทำการศึกษาผลของการเพ่งความสนใจรวมกับการฝึกการลงน้ำหนักในผู้สูงอายุ ผลการศึกษา พบว่า การเพ่งความสนใจภายนอกไปที่ หน้าจอวิดีโอ และการเพ่งความสนใจภายในบริเวณท้องของตัวเอง มีความสามารถในการลงน้ำหนักไม่แตกต่างกัน⁽²²⁾ การศึกษาของ Lawrence GR. และคณะ⁽²³⁾ ได้เปรียบเทียบ ผลของการเพ่งความสนใจภายนอกไปที่เบาะ การเพ่ง ความสนใจภายในที่การลงน้ำหนักที่ฝ่าเท้า และไม่เพ่ง ความสนใจ ในขณะที่ทำท่าพื้นฐานของกีฬายิมนาสติก

ผลการศึกษา ไม่พบความแตกต่างกันของ ประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวทั้ง 3 รูปแบบการเพ่งความ สนใจ⁽²³⁾ ซึ่งผลการศึกษานี้แตกต่างจากการศึกษาอื่น ที่พบว่า การเพ่งความสนใจภายนอกเพิ่มประสิทธิภาพ การเคลื่อนไหวได้ดีกว่าการเพ่งความสนใจภายในหรือ การไม่เพ่งความสนใจ^(6, 24) เนื่องจากการเพ่งความสนใจ ไปที่ภายนอกกระตุ้นการทำงานแบบอัตโนมัติ ส่งผลให้เกิด การเคลื่อนไหวอัตโนมัติ^(2, 22 - 23) การที่ไม่พบความแตกต่าง ระหว่างการเพ่งความสนใจภายนอกและการเพ่ง ความสนใจภายใน อาจเนื่องมาจากความไม่ชัดเจนของ จุดที่ต้องเพ่งความสนใจหรือคำสั่งอาจไม่สอดคล้องกับ การเคลื่อนไหว^(22 - 23) ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ไม่ตรง ตามความต้องการ⁽²³⁾ สำหรับการศึกษาคั้งถัดไปอาจจะต้อง กำหนดจุดหรือสิ่งที่ ต้องเพ่งความสนใจและคำสั่งให้มีความชัดเจนมากขึ้น

การศึกษานี้ ยังพบว่า การจินตนาการการเหยียด เข่าโดยเพ่งความสนใจภายนอก ทำให้กล้ามเนื้อเหยียดเข่า มีขนาดใหญ่กว่าการจินตนาการโดยเพ่งความสนใจภายใน ไปที่การหดตัวของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและไม่เพ่งความสนใจ ไปที่ใด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Guillot A. และคณะ⁽²⁵⁾ ศึกษาผลของการจินตนาการการเลิฟเทนนิสในนักกีฬา เยาวชนทีมชาติ ผลการศึกษา พบว่ากลุ่มที่ฝึกเลิฟเทนนิส ร่วมกับการจินตนาการการเพ่งความสนใจภายนอก มีค่าเฉลี่ยการเลิฟตีดีกว่ากลุ่มอื่นและมีประสิทธิภาพ ในการทำคะแนนเพิ่มขึ้นด้วย⁽²⁵⁾ และการศึกษาของ Khalaf B.⁽²⁶⁾ ศึกษาผลของการจินตนาการการเคลื่อนไหวในผู้หญิง โดยให้อาสาสมัครหลับตาขณะวาดเส้นตรงบนแท็บเล็ต

ร่วมกับการจินตนาการการเพ่งความสนใจภายนอก (กำลังวาดเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุด) เพ่งความสนใจภายใน (กำลังใช้มือที่จับปากกาวาดเส้นตรง) และไม่เพ่งความสนใจไปที่ใด ผลการศึกษาพบว่าขณะขีด เส้นตรงร่วมกับการจินตนาการการเพ่งความสนใจภายนอก ดีกว่าการจินตนาการการเพ่งความสนใจภายในและการไม่ จินตนาการการเพ่งความสนใจไปที่ใด⁽²⁶⁾ โดย Wulf G.⁽²⁷⁾ ได้กล่าวถึงทฤษฎี constrained action hypothesis ว่าการเพ่งความสนใจไปที่ภายนอก จะกระตุ้นการทำงาน แบบอัตโนมัติ ส่งผลให้เกิดการตอบสนองที่ไม่อยู่ภายใต้การ ควบคุมของจิตสำนึก ในทางตรงกันข้าม เมื่อพยายามควบคุม การเคลื่อนไหวให้อยู่ภายใต้จิตสำนึก หรือพยายามทำการ เคลื่อนไหวที่ไม่คุ้นเคย การทำงานแบบอัตโนมัติจะถูก ยับยั้งความสามารถในการเพ่งความสนใจลดลง และอาจทำให้ประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวนั้นลดลง^(2, 27) สำหรับผลของการจินตนาการการเหยียดเข่าแบบเกร็งค้างไว้ ที่ช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่าและการงอเข่าลงช้า ๆ ไม่พบความแตกต่างระหว่างเงื่อนไขของการเพ่งความสนใจ ต่อขนาดของกล้ามเนื้อ อาจเกิดจากการจินตนาการ การเหยียดเข่าแบบเกร็งค้างไว้ที่ ช่วงสุดท้ายของการ เหยียดเข่าเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ อาจเป็นไปได้ที่การเพ่งความสนใจไม่มีอิทธิพลต่อการ กระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ สำหรับการจินตนาการ การงอเข่าลงช้า ๆ คำสั่งที่ให้อาจไม่ชัดเจนพอ อาจส่งผลให้ อาสาสมัครสับสนได้โดยเฉพาะการให้อาสาสมัครเพ่ง ความสนใจไปที่ จุดเป้าหมายในขณะที่จินตนาการ ร่วมกับให้อาสาสมัครจินตนาการว่าตนเองกำลัง งอเข่าลงช้า ๆ ดังนั้นอาจต้องศึกษาถึงอิทธิพลของจุด เป้าหมายหรือคำสั่งต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ เกร็งค้างไว้และการหดตัวแบบกล้ามเนื้อยืดยาวออก ในขณะที่จินตนาการต่อไป ข้อเสนอแนะในการศึกษาคั้งต่อไป ควรทำการศึกษาในกลุ่มที่มีช่วงอายุอื่น ๆ และควรทำการ ศึกษาการกำหนดจุดหรือสิ่งที่ ต้องเพ่งความสนใจ หรือคำสั่งให้มีความชัดเจนมากขึ้น

สรุป

ขนาดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่ามีค่ามากกว่า ขณะจินตนาการการเหยียดเข่าในทุกรูปแบบของการหดตัว ของกล้ามเนื้อ และไม่พบความแตกต่างของขนาดกล้ามเนื้อ ขณะเหยียดเข่าระหว่างเงื่อนไขการเพ่งความสนใจใน ทุกชนิดของการหดตัวของกล้ามเนื้อ แต่ขณะจินตนาการ

การเหยียดเข่าโดยฟังความสนใจไปที่ภายนอกขนาดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่ามีค่ามากกว่าขณะฟังความสนใจไปที่ภายในและไม่ฟังความสนใจ นอกจากนี้ยังพบว่าขณะจินตนาการการเหยียดเข่ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกล้ามเนื้อในทุกเงื่อนไขของการฟังความสนใจ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชากายภาพบำบัดและภาควิชารังสีเทคนิค ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ในการทำวิจัยและขอขอบพระคุณอาสาสมัครทุกท่านที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. Vejbæya C, Palavivat K. Exercise physiology. 4th ed. Bangkok: Tankamol Press Limited Partnership; 1993.
2. Srisupornkornkool K. Improving movement performance: from principle to practice. Phitsanulok: Naresuan University; 2020.
3. Chua LK, Jimenez-Diaz J, Lewthwaite R, Kim T, Wulf G. Superiority of external attentional focus for motor performance and learning: systematic reviews and meta-analyses. *Psychol Bull* 2021;147:618-45.
4. Kal EC, van der Kamp J, Houdijk H. External attentional focus enhances movement automatization: a comprehensive test of the constrained action hypothesis. *Hum Mov Sci* 2013;32:527-39.
5. Ashraf R, Aghdasi MT, Sayyah M. The effect of attentional focus strategies on children performance and their EMG activities in maximum a force production task. *Turk J Kin* 2017;3:26-30.
6. Srisupornkornkool K, Boonyarom O, Somthavil S, Lertsinthal P. Attentional focus affects EMG activity and motor performance during sit-to-stand in adults and the elderly. *Suranaree J Sci Technol* 2020;27:070008.
7. Grgic J, Mikulic I, Mikulic P. Acute and long-term effects of attentional focus strategies on muscular strength: a meta-analysis. *Sports (Basel)* 2021;9:153.
8. Kobelt M, Wirth B, Schuster-Amft C. Muscle activation during grasping with and without motor imagery in healthy volunteers and patients after stroke or with parkinson's disease. *Front Psychol* 2018;9:597.
9. Srisupornkornkool K, Sornkaew K, Chatkanjanakool K, Ampairattana C, Pongtasom P, Somthavil S, et al. Electromyography features during physical and imagined standing up in healthy young adults, Phitsanulok, Thailand. *J Health Res* 2019;35:89-101.
10. Vajarapongse K. Color doppler ultrasound. *Chula Med J* 1991;35:621-3.
11. Siangyai S. Color Doppler ultrasound determination in deep vein thrombosis patients. *TJRT* 2018;43:6-12.
12. Pulkovski N, Schenk P, Maffiuletti N, Mannion A. Tissue doppler imaging for detecting onset of muscle activity. *Muscle Nerve* 2008;37:638-49.
13. Eranki A, Cortes N, Ferencik ZG, Sikdar S. A novel application of musculoskeletal ultrasound imaging. *J Vis Exp* 2013;79:e50595.
14. Ongsomboon T, Singnoy C, Suksawang P, Vongjaturapat N. Comparisons of movement imagery between athlete and non-athlete. *J Sports Sci Technol* 2015;15:319-29.
15. Guillot A, Lebon F, Rouffet D, Champely S, Doyon J, Collet C. Muscular responses during motor imagery as a function of muscle contraction types. *Int J Psychophysiol* 2007;66:18-27.
16. Lebon F, Rouffet D, Collet C, Guillot A. Modulation of EMG power spectrum frequency during motor imagery. *Neurosci Lett* 2008;435:181-5.
17. Solodkin A, Hlustik P, Chen EE, Small SL. Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery. *Cereb Cortex* 2004;14:1246-55.
18. Mulder T, Zijlstra S, Zijlstra W, Hochstenbach J. The role of motor imagery in learning a totally novel movement. *Exp Brain Res* 2004;154:211-7.
19. Stinear CM, Byblow WD. Moderation of corticospinal excitability and intracortical inhibition during motor imagery is task-dependent. *Exp Brain Res* 2004;157:351-8.

20. Prut Y, Fetz EE. Primate spinal interneurons show pre-movement instructed delay activity. *Nature* 1999;401:590-4.
21. Boulton H, Mitra S. Body posture modulates imagined arm movements and responds to them. *J Neurophysiol* 2013;110:2617-26.
22. de Bruin ED, Swanenburg J, Betschon E, Murer K. A randomised controlled trial investigating motor skill training as a function of attentional focus in old age. *BMC Geriatr* 2009;9:15.
23. Lawrence GR, Gottwald VM, Hardy J, Khan MA. Internal and external focus of attention in a novice form sport. *Res Q Exerc Sport* 2011;82:431-41.
24. Neumann DL. A systematic review of attentional focus strategies in weightlifting. *Front Sports Act Living* 2019;1:7.
25. Guillot A, Desliens S, Rouyer C, Rogowski I. Motor imagery and tennis serve performance: the external focus efficacy. *J Sports Sci Med* 2013;12:332-8.
26. Khalaf B. A motor imagery during blind action is guided by the same foci of attention as actual performance in a sample comprising females. *Int J Psychol Res* 2014;7:11-6.
27. Wulf G. Attentional focus and motor learning: a review of 15 years. *Int Rev Sport Exerc Psychol* 2013;6: 104-77.