

# การระบุจุดมอเตอร์ของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

## Localization of Motor Points in the Anterior Thigh Muscles

ปิยะวดี วิชา<sup>1</sup>, จงจินตน์ รัตนานันทชัย<sup>2\*</sup>

Piyawadee Wicha<sup>1</sup>, Jonjin Ratanapinunchai<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

<sup>2</sup>ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

<sup>1</sup> Department of Anatomy, Faculty of Medicine, Chiang Mai University

<sup>2</sup> Department of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University

### บทคัดย่อ

**ที่มาและความสำคัญ:** ยังไม่มีการรายงานจุดมอเตอร์ (motor point: MP) ของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าในรูปแบบค่าคู่อันดับ x, y ในคนไทยมาก่อน

**วัตถุประสงค์:** เพื่อประเมินตำแหน่ง และการกระจายตัวของ MP ของกล้ามเนื้อ vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF), และ vastus medialis (VM) โดยรายงานเป็นค่าคู่อันดับ x, y

**วิธีการวิจัย:** เป็นการศึกษาวิจัยรูปแบบตัดขวาง อาสาสมัครอายุ 18-35 ปี สุขภาพดี 30 คน สมัครเข้าร่วมการศึกษา ความยาวของต้นขา (Y) วัดจาก anterior superior iliac spine (ASIS) ถึงกระดูกสะบ้า ค่าคู่อันดับ x คือระยะตั้งฉากจากแกน Y ค่า x ที่ติดลบแปลว่า MP อยู่ทางด้านนอก (lateral) ของเส้น Y ค่าคู่อันดับ y คือระยะตามแนวแกน Y ค่า x, y คำนวณเทียบเป็นร้อยละของ Y หาตำแหน่ง MP โดยใช้ขั้วกระตุ้นขนาดเล็ก (point electrode) ใช้กระแส monophasic pulsed current ความถี่ 1 ครั้งต่อวินาที ช่วงกระตุ้น 0.1 มิลลิวินาที

**ผลการวิจัย:** ตำแหน่ง MP รายงานเป็นค่าคู่อันดับ x, y ของ VL คือ -10.92, 68.72%Y RF คือ 2.03, 53.26%Y และ VM คือ 14.68, 82.19%Y VL มีการกระจายของตำแหน่ง MP มากที่สุด ถ้าพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 6.55%Y หรือต่างจากค่าเฉลี่ย 2.4-3.3 เซนติเมตร ขึ้นกับความยาวขา ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้อาจชดเชยได้ถ้าใช้ขั้วกระตุ้นขนาดใหญ่

**สรุปผล:** ถึงแม้ว่าตำแหน่ง MP ที่ถูกต้องยังต้องหาค่าจากผู้เชี่ยวชาญราย แต่ข้อมูลจากการศึกษานี้อาจมี

ประโยชน์ในทางคลินิกเพราะช่วยลดเวลาและขอบเขตของพื้นที่ในการหาตำแหน่ง MP

**คำสำคัญ:** การกระตุ้นไฟฟ้า จุดมอเตอร์ กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ขาท่อนบน

### ABSTRACT

**Background:** No previous information of the motor point location reported as an x, y coordination of the anterior thigh muscles in Thai people has been reported.

**Objective:** To evaluate the location and the distribution of the motor point (MP) of vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF), and vastus medialis (VM) using an x, y coordination.

**Methods:** A cross-sectional study was applied. Thirty healthy 18-35 years old were volunteered. The thigh length (Y) was measured from the anterior superior iliac spine (ASIS) to the patella. The coordinate x is the perpendicular distance from the Y-axis. The negative x-value means that the MP is on the lateral side of the Y-line. The coordinate y is the distance along the Y-axis. The x, y values are calculated as a percentage of Y. The MP location was determined with a small point electrode using a 1-Hz monophasic pulsed current, pulse duration of 0.1 ms.

**Results:** MP position reported as x, y value of VL is -10.92, 68.72%Y, RF is 2.03, 53.26%Y and VM is

\*Corresponding author: Jonjin Ratanapinunchai. Department of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand. E-mail: jonjin.r@cmu.ac.th

14.68, 82.19%Y. The VL showed the highest distribution of MP locations, determined by the standard deviation, of 6.55%Y, or a difference of 2.4-3.3 cm from the mean value, depending on the thigh length. This discrepancy may be compensated if large stimulation electrodes are used.

**Conclusion:** Although the correct MP location must be obtained from an individual patient. The present data may be clinically useful because it reduces the time and extent of the area for locating the MP locations.

**Keywords:** Electrical stimulation, Motor point, Quadriceps, Lower limb

### บทนำ

จากหลักฐานงานวิจัยพบว่าการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยกระแสไฟฟ้าโดยติดขั้วกระตุ้นบนผิวหนัง (transcutaneous neuromuscular electrical stimulation) สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ<sup>1,2</sup> เทคนิคการกระตุ้นไฟฟ้าที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การเลือกตำแหน่งขั้วกระตุ้นไฟฟ้า ซึ่งตำแหน่งที่เหมาะสมคือ motor point (MP) ของกล้ามเนื้อ<sup>3</sup>

ตำแหน่งที่เส้นใยประสาทส่งการทางเข้าไปถึงกล้ามเนื้อมัดดังกล่าว คือ ตำแหน่ง MP<sup>4</sup> โดยตำแหน่ง MP มีความไวต่อการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้ามากที่สุดจึงทำให้ใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้าน้อย และกล้ามเนื้อจะเกิดการหดตัวได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการกระตุ้นไฟฟ้าที่ตำแหน่งอื่น<sup>3</sup> การวางขั้วกระตุ้นไฟฟ้าไม่ตรงกับตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ มักเป็นหนึ่งในปัญหาการรักษา ทำให้ต้องใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้ามากกว่าที่ควร และอาจทำให้ผู้ป่วยรู้สึกเจ็บหรือระคายเคืองบริเวณผิวหนังที่ถูกกระตุ้นได้ โดยมีการศึกษาพบว่าความแรงของกระแสไฟฟ้าและระดับความ

เจ็บปวดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวางขั้วกระตุ้นไฟฟ้าห่างออกจากตำแหน่ง MP<sup>5</sup>

การระบุตำแหน่ง MP อาจดูจากแผ่นภาพที่แสดง MP (anatomical chart) ซึ่งมีการนำเสนอมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1920<sup>6</sup> วิธีการนี้เป็นการบอกตำแหน่ง MP แบบคร่าว ๆ เพราะ MP ของแต่ละบุคคลอาจอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกันได้ Gobbo และคณะ<sup>3</sup> รายงานว่า anatomical chart มีข้อจำกัดในการใช้งานเพราะไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนในการนำมากำหนดตำแหน่ง MP ในผู้ป่วยจริง

เฉพาะกล้ามเนื้อที่อยู่ชั้นบน (superficial) จึงสามารถหาตำแหน่ง MP ได้ด้วยการกระตุ้นไฟฟ้าผ่านผิวหนัง กล้ามเนื้อที่อยู่ชั้นลึกมีกล้ามเนื้อมัดอื่นปกคลุมอยู่ จะหาตำแหน่ง MP ได้ยากหรืออาจหาไม่ได้ การระบุ MP ที่แม่นยำในผู้ป่วยแต่ละคน ควรกระทำโดยใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นผ่านผิวหนังด้วยขั้วกระตุ้นขนาดเล็ก (point electrode) และสังเกตว่าตำแหน่งใดมีการหดตัวของกล้ามเนื้อชัดเจนที่สุด เมื่อใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด ในทางคลินิกถ้ากล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ การกำหนดตำแหน่ง MP มักใช้เวลาในการหา MP นานขึ้นเพราะขนาดพื้นที่กล้ามเนื้อกว้างกว่ากล้ามเนื้อมัดเล็ก จึงเป็นที่สนใจว่าจะมีวิธีการกำหนดตำแหน่ง MP รูปแบบอื่นที่ให้ข้อมูลได้ชัดเจนมากกว่าการใช้ anatomical chart และลดเวลาในการหา MP ของผู้ป่วยแต่ละรายในทางคลินิกหรือไม่

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการกำหนดตำแหน่ง MP ด้วยวิธีการกำหนดจากค่าคู่อันดับ (x, y) คือ สร้างเส้นอ้างอิงสมมติบริเวณมัดกล้ามเนื้อตามแนวขวางและตามแนวยาว ในที่นี้จะขอแทนด้วยแกน x และแกน y และระบุตำแหน่ง MP จากค่าคู่อันดับ x, y งานวิจัยของ Park และคณะ<sup>7</sup> รายงานตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ biceps brachii และ brachialis ของแขน โดยเส้นสมมติแกน y กำหนดจาก coracoid process of scapula ไปยัง lateral epicondyle of humerus และแกน x คือเส้นตั้งฉากที่ลากจากแกน y

การศึกษาของ McCaughey และคณะ<sup>8</sup> รายงานตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ rectus abdominis และ external abdominal oblique โดยกำหนดเส้นสมมติในแกน x คือ ระยะห่างจากสะดือที่วัดในแนวราบ (horizontal line) และแกน y คือเส้นในแนวตั้งของลำตัว

จากการทบทวนวรรณกรรมพบการรายงานตำแหน่งของ vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF), vastus medialis (VM) โดยเทียบกับเส้นอ้างอิง (reference line) ที่ผ่านตามแนวยาวของกล้ามเนื้อแต่ละมัด โดยไม่ต้องระบุค่า x<sup>4</sup> คือรายงานตำแหน่ง MP เฉพาะค่าร้อยละ y ของเส้นอ้างอิงที่กำหนดขึ้นแยกมัดกล้ามเนื้อ Botter และคณะ<sup>4</sup> พบว่ากล้ามเนื้อ VL มี MP มากกว่าหนึ่งตำแหน่งในอาสาสมัครทุกคน โดยแบ่ง MP เป็น บริเวณ proximal, central, และ distal ของกล้ามเนื้อส่วน RF และ VM มี MP 2 ตำแหน่ง คือ proximal และ distal ของกล้ามเนื้อ การแบ่งส่วนของ MP นี้เป็นการกำหนดโดยผู้วิจัย<sup>4</sup> การพบ MP กระจายตามแนวเส้นอ้างอิงดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยสรุปว่าเพื่อความถูกต้องควรหา MP ของกล้ามเนื้อ VL, RF, และ VM ในผู้ป่วยแต่ละราย<sup>4</sup>

การศึกษาลักษณะเส้นประสาทที่มาเลี้ยง VL และ RF ซึ่งศึกษาจากอาจารย์ใหญ่ (cadaver) จำนวน 22 ร่าง<sup>9</sup> พบว่าเส้นประสาทสั่งการที่แยกตัวมายัง VL จะแยกเป็น 2 แขนงย่อยในอาจารย์ใหญ่ 22 ร่าง และแยกเป็น 3 แขนงย่อยในอาจารย์ใหญ่เพียงหนึ่งร่าง สำหรับเส้นประสาทสั่งการที่ไปเลี้ยง RF จะแยกเป็น 2 แขนงย่อย โดยแขนงแรกอยู่บริเวณ 1/3 ของส่วนบนของมัดกล้ามเนื้อ (proximal one-third) แขนงที่สองอยู่ขอบด้านในของ RF ล่างต่อแขนงแรก สำหรับรายงานเกี่ยวกับเส้นประสาทที่มาเลี้ยง VM<sup>10</sup> มีการศึกษาในอาจารย์ใหญ่จำนวน 15 ร่าง และศึกษา VM ของขาทั้งสองข้าง พบมีความแตกต่างกันของการแยกแขนงของเส้นประสาทที่มาเลี้ยง VM ระหว่างบุคคลพอสมควร<sup>10</sup> โดยสรุป VM มี MP 2 จุดในอาจารย์ใหญ่ทุกร่าง แต่ลักษณะการแตกแขนงมีลักษณะแตกต่างกัน โดยอาจ

อยู่ที่ upper กับ middle, หรือ distal one third ของ VM<sup>10</sup> โดยแขนงเส้นประสาทที่มา distal one third มีมากกว่าแขนงที่ไป middle one third<sup>10</sup> จากการศึกษาทางกายวิภาคศาสตร์ของเส้นประสาทที่มากกล้ามเนื้อ VL, RF, VM ทั้งสองการศึกษา<sup>9,10</sup> พอสรุปจำนวนแขนงเส้นประสาทที่แทงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อว่า VL น่าจะมี MP 2-3 จุด และ RF กับ VM อาจมี MP 2 จุด ทั้งนี้มีความแตกต่างของแขนงเส้นประสาทระหว่างบุคคลที่ต้องคำนึงถึงด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อตำแหน่ง MP ได้แก่ ขนาดของขั้วกระตุ้นไฟฟ้า<sup>11</sup> ซึ่งขั้วกระตุ้นไฟฟ้าขนาดเล็กจะช่วยให้กำหนดตำแหน่ง MP ได้ชัดเจนและแยกตำแหน่งแต่ละจุดได้ดีกว่า ความต้านทานของผิวหนัง (impedance)<sup>11</sup> ซึ่งขึ้นกับความหนาของชั้นไขมันใต้ผิวหนัง และการทำความสะอาดผิวหนังก่อนกระตุ้น ถ้ามีความต้านทานของผิวหนังมากก็จะใช้ขนาดของกระแสไฟฟ้ามากกว่า ซึ่งขนาดของกระแสไฟฟ้าที่มากอาจมีผลกระตุ้นให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อได้ง่ายขึ้น ถึงแม้จะไม่ใช้ตำแหน่ง MP ก็สามารถเกิดการหดตัวได้ นอกจากนี้การหดตัวของกล้ามเนื้อยังขึ้นกับความแตกต่างภายใน (intrinsic factor) ของบุคคล<sup>11</sup> เช่น ทางเดินหรือการแตกแขนงของเส้นประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล โดยมีการศึกษาที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (MRI) ถ่ายภาพกล้ามเนื้อ quadriceps ที่เกิดการหดตัวหลังจากการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าทันทีพบว่าส่วนของกล้ามเนื้อ quadriceps ที่ถ่ายภาพ MRI ได้มีลักษณะแตกต่าง (variation) ในระหว่างบุคคลมาก<sup>12</sup> หมายความว่าถึงแม้จะใช้เทคนิคการกระตุ้นเหมือนกัน แต่ละบุคคลก็อาจมีการหดตัวของกล้ามเนื้อ quadriceps ที่ต่างกันได้ เพราะการแตกแขนงของเส้นประสาทสั่งการที่ไปเลี้ยงใยกล้ามเนื้อมีความแตกต่างกันระหว่างบุคคล ดังนั้น การกระตุ้นกล้ามเนื้อโดยติดขั้วกระตุ้นที่ผิวหนัง ใยกล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้นอาจไม่ใช่เกิดขึ้นเฉพาะส่วนที่อยู่ติดใกล้กับขั้ว

กระตุ้นเท่านั้น ไยกกล้ามเนื้อที่อยู่ชั้นลึกก็อาจถูกกระตุ้นได้<sup>12</sup>

จากการทบทวนวรรณกรรมไม่พบการรายงานตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ quadriceps โดยใช้ค่าคู่อันดับ (x, y) ในคนไทยมาก่อน การศึกษานี้จึงต้องการประเมินตำแหน่ง MP และการกระจายตัวของ MP ของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า หรือ quadriceps ซึ่งประกอบด้วยกล้ามเนื้อสามมัดที่สามารถกระตุ้นด้วยไฟฟ้าผ่านทางผิวหนังได้ คือ VL, RF และ VM โดยการระบุตำแหน่ง MP ที่หาได้จากการกระตุ้นไฟฟ้าด้วยค่าคู่อันดับ ข้อมูลจากการศึกษานี้จะทำให้การกำหนดตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ VL, RF, และ VM ทำได้ถูกต้องและรวดเร็ว เป็นประโยชน์ต่อการรักษาด้วยการกระตุ้นไฟฟ้าทางกายภาพบำบัด

## วิธีการวิจัย

### รูปแบบการศึกษา

การศึกษานี้จัดเป็น cross-sectional study design ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของคณะเทคนิคการแพทย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (เลขที่ 529/2554 เลขที่โครงการ 082E/54)

### กลุ่มตัวอย่าง

ขนาดกลุ่มตัวอย่างคำนวณโดยใช้สูตร  $sample\ size = (Z^2 \times SD^2) / d^2$ <sup>13</sup> โดย Z คือค่า standard normal variate มีค่า 1.96 สำหรับ  $p < 0.05$  ค่า SD คือ standard deviation สามารถใช้ค่าจากการศึกษาที่ผ่านมา<sup>13</sup> จากการศึกษารายงานของ Botter และคณะ<sup>4</sup> แสดงค่า SD ของตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ VL เท่ากับ 4.1 ซม. ทั้งนี้เลือกค่า SD ของ VL เพราะมีค่ามากที่สุดในกลุ่ม VL, RF, และ VM<sup>4</sup> และ ค่า d คือ absolute error หรือค่า precision ซึ่งพิจารณาโดยนักวิจัย<sup>13</sup> การศึกษานี้กำหนดค่า absolute error จากขนาดของ point electrode ที่ใช้ในการศึกษานี้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.5 ซม. จากการคำนวณพบว่าขนาดกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 28.7

คน การศึกษานี้จึงเก็บข้อมูลจากอาสาสมัครสุขภาพดี ไม่จำกัดเพศ อายุ 18-35 ปี รวม 30 คน และทำการประเมินตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ VL, RF, และ VM ของขาทั้งสองข้าง คิดเป็น 60 ตัวอย่าง โดยมีเกณฑ์การคัดเลือก คือ สามารถสื่อสารและพูดคุยได้ตามปกติ ไม่เคยได้รับการผ่าตัดบริเวณต้นขา และไม่มีบาดแผลบริเวณที่จะติดขั้วกระตุ้นไฟฟ้า เกณฑ์การคัดออก คือ มีการรับรู้ความรู้สึกบริเวณผิวหนังของต้นขาผิดปกติ และมีข้อห้ามของการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า

### การหาตำแหน่ง MP ด้วยกระแสไฟฟ้า

การหา MP กระทำโดยใช้ขั้วกระตุ้นชนิด point electrode ที่มีสาลีและผ้าก๊อชชุบน้ำหุ้มปลาย โดยเส้นผ่าศูนย์กลางของขั้วกระตุ้นรวมผ้าก๊อชประมาณ 1.5 ซม. และ rubber carbon electrode ขนาด 3x5 ซม. หุ้มด้วยแผ่นฟองน้ำ เป็น reference electrode วางบริเวณส่วนล่างของ patella tendon ใช้กระแส monophasic pulsed current ที่มี pulse duration 0.1 millisecond, และ pause duration 500 milliseconds จากเครื่องกระตุ้นไฟฟ้า (S-109, บริษัทหล่อยนต์ประเทศไทย) ทำความสะอาดผิวหนังโดยใช้แอลกอฮอล์เช็ดบริเวณที่จะกระตุ้น

ผู้วิจัยเลื่อน point electrode อย่างช้า ๆ โดยจุดเริ่มต้นในการหาจะดูจากตำแหน่ง MP จากแผนภาพประกอบ ทั้งนี้ การหา MP จะครอบคลุมบริเวณที่อาจมี MP ของกล้ามเนื้อมัดนั้น ๆ โดย MP คือ ตำแหน่งที่เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อแรงที่สุดเมื่อใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด เมื่อพบ MP จะเขียนรูปกากบาทบนตำแหน่งที่หาได้ ถ้าพบตำแหน่งที่กล้ามเนื้อหดตัวได้แรงเท่ากัน โดยใช้กระแสไฟฟ้าเท่าเดิมจะกำหนดว่า MP ของกล้ามเนื้อมัดนั้นมีมากกว่า 1 ตำแหน่ง ทำการหาตำแหน่ง MP ซ้ำสองรอบเพื่อให้แน่ใจว่าได้ตำแหน่ง MP ที่ถูกต้อง นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ทดสอบว่ากระตุ้นกล้ามเนื้อถูกมัดหรือไม่โดยเพิ่มความแรงของกระแสและสังเกตการหดตัวของกล้ามเนื้อ เช่น VL จะพบมีการเคลื่อนไหวขยับของกระดูกสะบ้าเขียงขึ้นด้าน

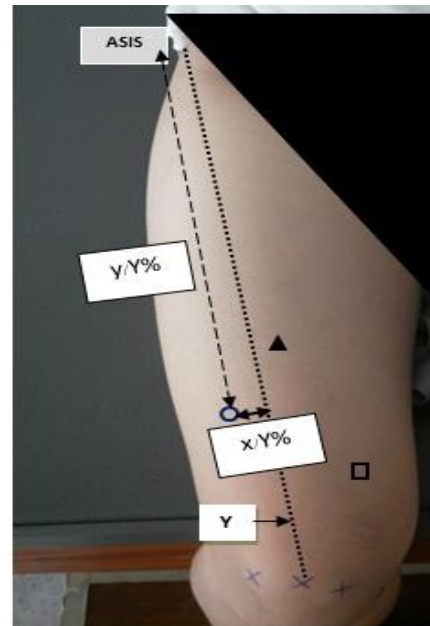
superolateral RF จะพบการหดตัวของใยกล้ามเนื้อ บริเวณตรงกลางของต้นขา และ VM จะเห็นการเคลื่อน ขยับของกระดูกสะบ้าเฉียงขึ้นทางด้าน superomedial

การระบุตำแหน่ง MP

การระบุตำแหน่ง MP กระทำโดยใช้ค่าคู่อันดับ เทียบเป็น ร้อยละกับความยาวขา (Y) ที่วัดเป็น เส้นติเมตร โดยกำหนดเส้นอ้างอิงในแนวแกน x และ y ดังนี้ การกำหนดเส้นอ้างอิงทำในขณะอาสาสมัครนั่ง มี ข้อสะโพกและข้อเข่า 90 องศา (รูปที่ 1) แนวแกน Y คือความยาวของขาที่อนบนวัดจากตำแหน่งของกระดูก ASIS มายังบริเวณกึ่งกลางของขอบบนของกระดูก patella โดยกำหนดความยาวของ Y เท่ากับ 100% ค่า คู่อันดับ y คือระยะของตำแหน่ง MP ในแนวแกน Y คำนวณเป็น ร้อยละของความยาวขา (Y) หรือเท่ากับค่า  $y/Y\%$  โดยเริ่มวัดจาก ASIS ค่าคู่อันดับ x คือ ระยะทางตั้งฉากจากตำแหน่ง MP ไปยังความยาวของ ขาที่อนบนหรือแกน Y และเปลี่ยนเป็นค่าร้อยละของ ความยาวขา Y หรือ  $x/Y\%$  ตำแหน่ง MP ที่อยู่ด้านนอก (lateral) ของแกน Y จะมีค่าติดลบ ส่วนที่อยู่ด้านใน (medial) มีค่าบวก รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งของ MP ของ กล้ามเนื้อทั้งสามมัดโดยสังเขป

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป การเปรียบเทียบค่าความยาวของต้นขา ค่า  $x/Y\%$  และ ค่า  $y/Y\%$  ของขาซ้ายและขวา วิเคราะห์โดยใช้ Wilcoxon Signed Ranks test เนื่องจากการกระจายตัวของข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Shapiro Wilks test กำหนดค่า  $p < 0.05$



**รูปที่ 1** แสดงตำแหน่งเส้นอ้างอิงสำหรับการวัดความ ยาวขา และการกำหนดค่าคู่อันดับ ( $x/Y\%$ ,  $y/Y\%$ ) ของ motor point (MP) ของกล้ามเนื้อ vastus lateralis (วงกลมโปร่ง), rectus femoris (สามเหลี่ยมทึบ), และ vastus medialis (สี่เหลี่ยมโปร่ง) แสดงเฉพาะค่าคู่ อันดับ ( $x/Y\%$ ,  $y/Y\%$ ) ของ VL เพื่อความชัดเจน (ASIS หมายถึง anterior superior iliac spine, Y หมายถึง ความยาวต้นขา)

**ผลการวิจัย**

อาสาสมัครเพศชาย 10 คน และหญิง 20 คน ที่เข้าร่วมในการศึกษามีลักษณะตามที่แสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้พบว่าความยาวของต้นขา (Y) ด้านขวา มี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $43.03 \pm 2.74$  ซม. และค่าต่ำสุด สูงสุด เท่ากับ 36.10-49.60 ซม. และค่าเฉลี่ยของด้านซ้าย เท่ากับ  $42.96 \pm 2.78$  ซม. ค่าต่ำสุด สูงสุด เท่ากับ 36.00- 49.60 ซม. ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความยาวขา ทางด้านขวาและซ้ายไม่แตกต่างกัน ( $p = 0.664$ ) ดังนั้น จึงรวมข้อมูลความยาวขาของข้างขวาและซ้ายเข้า ด้วยกัน (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** แสดงลักษณะโดยทั่วไปของอาสาสมัคร

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
อายุ (ปี) (n=30)	22.57 (2.62)	21.00	32.00
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	57.47 (12.43)	41.40	93.00
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	162.05 (8.63)	145.00	178.00
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร <sup>2</sup> )	21.69 (3.09)	17.58	29.73
ความยาวของต้นขา (Y: เซนติเมตร) (n=60)	43.00 (2.74)	36.00	49.60

จากการศึกษาพบว่ากล้ามเนื้อแต่ละมัดมี MP ที่ตำแหน่งเดียวในอาสาสมัครทุกคน และการวิเคราะห์พบว่าค่า x/Y%, y/Y% ของ MP ของกล้ามเนื้อทั้งสามมัดทางด้านขวาและซ้าย ไม่แตกต่างกันเมื่อวิเคราะห์

ทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนั้น ข้อมูลตำแหน่ง MP x/Y%, y/Y% ของขาด้านขวาและซ้ายจะนำมารวมกัน (n=60) เพื่อให้ทราบตำแหน่งของ MP ของกล้ามเนื้อที่ชัดเจนขึ้น (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 2** เปรียบเทียบค่าคู่อันดับ x/Y% และ y/Y% ของกล้ามเนื้อ vastus lateralis, rectus femoris และ vastus medialis ของขาขวาและซ้าย (n=30) แกน y/Y% เริ่มวัดจาก anterior superior iliac spine

กล้ามเนื้อ	ขวา	ซ้าย	p*	ขวา	ซ้าย	p*
	x/Y%	x/Y%		y/Y%	y/Y%	
Vastus lateralis	-11.13 (4.02)	-10.72 (3.34)	0.318	69.37 (6.96)	68.06 (6.17)	0.153
Rectus femoris	2.17 (5.05)	1.89 (5.11)	0.596	53.49 (6.27)	53.03 (5.81)	0.797
Vastus medialis	14.68 (2.99)	14.68 (2.41)	0.673	82.65 (4.09)	81.73 (4.49)	0.245

**ตารางที่ 3** แสดงค่า x/Y% และ y/Y% ของ motor point ของกล้ามเนื้อ vastus lateralis, rectus femoris และ vastus medialis รวมข้อมูลของขาด้านขวาและซ้าย (n=60) แกน y/Y% เริ่มวัดจาก anterior superior iliac spine

Muscles	Coordinate data	Mean (SD)	95% confidence interval for mean	Min	Max
Vastus lateralis	x/Y%	-10.92 (3.67)	-11.87- -9.97*	-19.63*	-4.04*
	y/Y%	68.72 (6.55)	67.02- 70.41	52.49	79.06
Rectus femoris	x/Y%	2.03 (5.04)	0.73-3.33	-10.27*	12.56
	y/Y%	53.26 (6.00)	51.71-54.81	39.81	66.16
Vastus medialis	x/Y%	14.68 (2.69)	13.98-15.37	9.62	20.35
	y/Y%	82.19 (4.28)	81.08-83.29	70.63	89.78

**หมายเหตุ:** \* MP is on the left side of Y-axis

การกระจายของตำแหน่ง MP อาจพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) หรือพิจารณาจากค่า

95% confidence interval for mean เมื่อพิจารณาจากค่า SD (ตารางที่ 3) พบว่ากล้ามเนื้อ VL (y/Y%) มี

ค่า SD มากที่สุด คือ 6.55% ของความยาวขา จากตารางที่ 1 ความยาวขาเฉลี่ยของอาสาสมัครคือ 43.00 ซม. (ค่าต่ำสุดและสูงสุดของความยาวขา คือ 36.00-49.60 ซม.) เมื่อคำนวณโดยใช้ค่า SD 6.55% พบว่าตำแหน่ง MP จะมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.4-3.3 ซม. ขึ้นกับความยาวขา

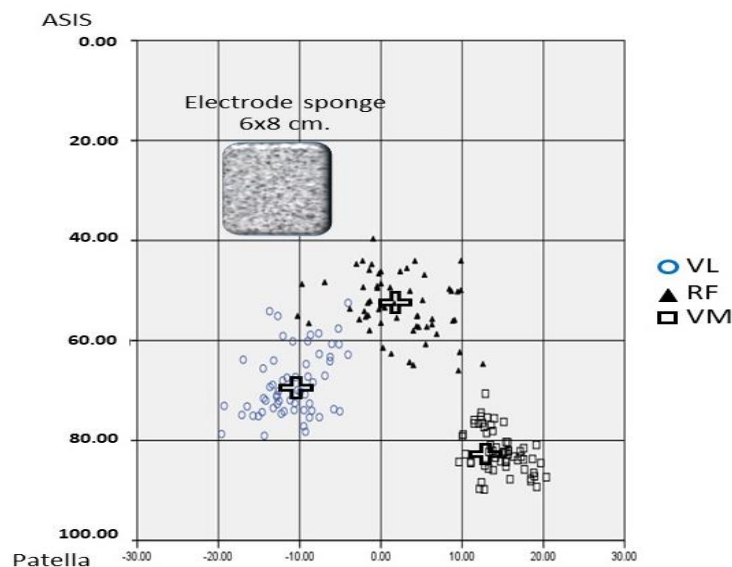
ถ้าพิจารณาค่า 95% confidence interval for mean (ตารางที่ 3) จะเห็นว่า 95% confidence interval มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยมาก โดย VL ยังคงเป็นกล้ามเนื้อที่มีการกระจายตัวของ MP มากกว่ากล้ามเนื้อมัดอื่นโดยเฉพาะในแนวแกน Y คือมีความแตกต่าง 1.7%ของแกน Y ซึ่งถ้าคำนวณเป็นระยะทางโดยใช้ความยาวขาในช่วง 36.00-49.60 ซม. (ตารางที่ 1) พบว่ามีค่าประมาณ 0.61- 0.84 ซม. หรือน้อยกว่า 1 ซม. เท่านั้น

รูปที่ 2 แสดงการกระจายของตำแหน่ง MP ของ VL, RF, และ VM จากขาทั้งสองข้าง (n=60) ทั้งนี้ตำแหน่ง MP ที่คลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ย อาจชัดเจนได้

บางส่วนเมื่อใช้ขั้วกระตุ้นและแผ่นฟองน้ำขนาดใหญ่ให้เหมาะสมกับขนาดของขา ถ้าใช้ค่าเฉลี่ยความยาวขาที่ 43 ซม. แผ่นฟองน้ำขนาด 6x8 ซม. มีขนาดเท่ากับ  $13.9 \times 18.6\% Y$  หรือฟองน้ำขนาด 8x12 ซม. เท่ากับ  $18.6 \times 27.91\% Y$  โดยในรูปที่ 2 แสดงฟองน้ำขนาด 6x8 ซม. ขนาดของฟองน้ำในรูปที่ 2 อาจช่วยให้มองเห็นการกระจายของตำแหน่ง MP ได้ง่ายขึ้น

**บทวิจารณ์**

การศึกษานี้ต้องการประเมินตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ VL, RF, และ VM โดยใช้ค่าคู่อันดับ และพิจารณาการกระจายตัวของ MP ในอาสาสมัครสุขภาพดีกล้ามเนื้อ VL, RF, และ VM เป็นส่วนหนึ่งของ quadriceps ที่มีการใช้กระแสไฟฟ้าโดยติดขั้วกระตุ้นบนผิวหนัง เพื่อการรักษามากที่สุดมัดหนึ่ง โดยเฉพาะในกรณีที่อาสาสมัครไม่สามารถออกกำลังกายได้ด้วยตนเอง<sup>14</sup> VL, RF และ VM เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ชั้นบน (superficial layer) จึงสามารถกระตุ้นโดยใช้ขั้วกระตุ้นติดบนผิวหนังได้ เนื่องจาก quadriceps เป็นกล้ามเนื้อ



รูปที่ 2 แสดงการกระจายตำแหน่ง motor point ของ VL, RF, และ VM จากขาทั้งสองข้าง (n=60) และแสดงฟองน้ำขนาด 6x8 ซม. หรือเท่ากับ 13.9x18.6 %ของ Y เครื่องหมายกากบาทโปร่งแสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่ง motor point ของกล้ามเนื้อแต่ละมัด (VL: vastus lateralis, RF: rectus femoris, VM: vastus medialis)

ขนาดใหญ่จึงนิยมกระตุ้นโดยใช้ bipolar technique และเลือกใช้ขั้วกระตุ้นไฟฟ้าขนาดใหญ่ ตำแหน่งของขั้วกระตุ้นที่ดีที่สุด คือที่ MP ของ VL, RF และหรือ VM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการรักษา เพราะตำแหน่ง MP ใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้าไม่สูงมาก และได้แรงหดตัวของกล้ามเนื้อที่เหมาะสม ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงอาจช่วยให้การระบุตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อ quadriceps ทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

การรายงานตำแหน่ง MP โดยใช้ค่าคู่อันดับที่เทียบระยะเป็นคำร้อยละของความยาวต้นขา ทำให้สามารถนำตำแหน่ง MP ที่พบในอาสาสมัครแต่ละคนมารวมกันและศึกษาการกระจายของตำแหน่ง MP ได้รวมทั้งทำให้สามารถเปรียบเทียบตำแหน่ง MP กับการศึกษาอื่นได้ จากการทบทวนวรรณกรรมพบการศึกษาตำแหน่ง MP ของ VL, RF, และ VM โดยใช้เทคนิคการกระตุ้นไฟฟ้าผ่านผิวหนังเพียงการศึกษาเดียว<sup>4</sup> งานวิจัยอื่นศึกษาตำแหน่ง MP ของ quadriceps โดยใช้วิธีการทางกายวิภาคศาสตร์<sup>9,10</sup> ดังนั้น จึงขออภิปรายเปรียบเทียบผลการศึกษากับของ Botter และคณะ<sup>4</sup> การศึกษาของ Botter และคณะ<sup>4</sup> แยกเส้นอ้างอิงตามมัดกล้ามเนื้อ แต่การศึกษานี้ใช้เส้นอ้างอิงรวมคือความยาวของต้นขา ซึ่งน่าจะนำไปใช้ทางคลินิกได้ง่ายกว่า และข้อมูลที่ได้สามารถนำมาเปรียบเทียบตำแหน่งของ MP ระหว่าง VL, RF, และ VM ได้ง่ายกว่า ตามความเห็นของผู้วิจัย ข้อมูลที่สำคัญ คือ ค่า y/Y% ส่วนค่า x/Y% อาจสามารถพิจารณาจากส่วนนูน (bulk) ของกล้ามเนื้อ VL และ VM ส่วน RF จะมีค่า x/Y% อยู่ใกล้ชิดกับแนวเส้นอ้างอิง Y

การศึกษานี้พบ MP เพียงจุดเดียวในกล้ามเนื้อแต่ละมัด ซึ่งต่างจากการศึกษาอื่น<sup>4</sup> ที่พบว่า มี MP ของกล้ามเนื้อทุกมัดมากกว่าหนึ่งตำแหน่งในอาสาสมัครทุกคน ความแตกต่างนี้ไม่สามารถอธิบายได้จากค่าตัวแปรของกระแสเพราะใช้ค่าตัวแปรใกล้เคียงกันมาก รูปแบบของกระแส และเทคนิคการกระตุ้นไฟฟ้าและท่าเริ่มต้นของอาสาสมัครก็เหมือนกัน แต่ขนาดของ point

electrode ต่างกัน คือ ของ Botter และคณะ<sup>4</sup> มีขนาด 1 ซม.<sup>2</sup> ซึ่งเล็กกว่าการศึกษานี้ที่มีขนาด point electrode ประมาณ 1.76 ซม.<sup>2</sup> ขนาดของ point electrode ที่เล็กกว่าอาจทำให้พบจุด MP ได้จำนวนมากกว่า นอกจากนี้เกณฑ์การกำหนดว่ามี MP มากกว่าหนึ่งจุดอาจแตกต่างกัน การศึกษานี้กำหนดว่ามีจุด MP มากกว่าหนึ่งแห่งถ้าทั้งสองจุดใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้าเท่ากัน และทำให้เกิดการหดตัวแรงเท่ากันด้วย เงื่อนไขดังกล่าวทำให้โอกาสพบว่ามี MP มากกว่าหนึ่งตำแหน่งเป็นไปได้ยาก ซึ่งในการเก็บข้อมูลพบว่าในอาสาสมัครบางรายมีการหดตัวของกล้ามเนื้อในตำแหน่งอื่นแต่ใช้ความแรงของกระแสมากกว่า หรือได้แรงหดตัวน้อยกว่า จึงไม่ได้บันทึกข้อมูลไว้ ขณะที่งานของ Botter และคณะ<sup>4</sup> ไม่ได้บอกเกณฑ์การกำหนด MP จุดที่สอง บอกแต่ความหมายของจุด MP ซึ่งใช้เหมือนกับของการศึกษานี้

ถึงแม้ว่าจำนวนจุด MP ในกล้ามเนื้อ VL, RF, VM ในการศึกษานี้พบจำนวนแตกต่างกันกับการศึกษาของ Botter และคณะ<sup>4</sup> แต่การเปรียบเทียบตำแหน่ง MP บนกล้ามเนื้อกับการศึกษานี้ พบว่ามีตำแหน่งในแกน Y หรือค่า y/Y% ใกล้เคียงกัน มีข้อสังเกตว่าเส้นอ้างอิงแกน Y หรือ reference line ของการศึกษาของ Botter และคณะ<sup>4</sup> สำหรับกล้ามเนื้อ RF, VL, VM กำหนดต่างกันเพราะใช้เส้นที่ผ่านตามแนวยาวของมัดกล้ามเนื้อ แต่การศึกษานี้กำหนดเส้นแกน Y เพียงเส้นเดียวสำหรับกล้ามเนื้อทั้ง 3 มัด เส้นอ้างอิงแกน Y ของการศึกษานี้ตรงกับเส้น reference line ของ RF ในการศึกษาของ Botter และคณะ<sup>4</sup> เนื่องจากข้อมูลของ Botter และคณะ<sup>4</sup> วัดระยะ MP ตามแนวเส้นอ้างอิงจากตำแหน่ง distal anatomical landmark หรือบริเวณข้อเข่า ผู้วิจัยจึงได้คำนวณย้อนกลับ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลกับการศึกษานี้ที่วัดระยะ MP จาก proximal anatomical landmark (คือ ASIS) เมื่อนำค่า 95% confidence limits (% of reference line) ของตำแหน่ง MP ที่รายงานไว้ในการศึกษาของ Botter และคณะ<sup>4</sup> มา

วิเคราะห์ พบว่าตำแหน่ง MP ของ VL ทั้งในส่วน proximal, central, และ distal หรือ MP ของ RF และ VM ในส่วน proximal และ distal มีค่า 95% confidence limits ต่ำสุดถึงสูงสุด ครอบคลุมค่า 95% confidence interval ของการศึกษานี้ (ตารางที่ 4) โดยการกระจายของ MP ในแนวแกน Y ของการศึกษานี้ แคบกว่าของ Botter และคณะ<sup>4</sup> ดังนั้น อาจแสดงว่า ตำแหน่ง MP ของ VL, RF, VM ของการศึกษานี้ทั้งสองนี้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ตำแหน่ง MP ระหว่างการศึกษาที่ต่างกันบ้างอาจเนื่องมาจากการกำหนด reference line ของ VL และ VM ในการศึกษาของ Botter และ

คณะ<sup>4</sup> ต่างจากการศึกษานี้ และอาจเกี่ยวกับปัจจัยอื่น เช่น ลักษณะของอาสาสมัครที่มีความสูงและน้ำหนักตัวมากกว่าคนไทย

การที่กล้ามเนื้อ VL มีการกระจายตำแหน่งของ MP ในแกน Y ถ้าพิจารณาจากค่า 95% confidence พบว่ามีการกระจายมากกว่า RF และ VM (ตารางที่ 3) อาจเนื่องมาจาก VL เป็นกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่ การศึกษาส่วนใหญ่พบว่า VL มีเส้นประสาท motor มาเลี้ยง 2-3 แขนง<sup>4, 15, 16</sup> บางการศึกษารายงานว่าอาจพบเส้นประสาท motor ได้มากถึง 5-6 แขนง<sup>17</sup> จึงเป็นไปได้ที่ตำแหน่ง MP จะมีการกระจายตัวมากกว่ามัดอื่น

**ตารางที่ 4** เปรียบเทียบค่าตำแหน่ง MP ในแกน Y ของการศึกษานี้กับการศึกษาของ Botter และคณะ<sup>4</sup>

Muscles	95% confidence limits (% of reference line) from Botter และคณะ <sup>4</sup>		95% confidence interval of the present study (y/Y%)
	start from distal landmark	start from proximal landmark	start from proximal landmark
VL included 3 MP	19.7-53.1	46.9-80.3	67.02- 70.41
RF included 2 MP	34.5-54.6	45.4-65.8	51.71-54.81
VM included 2 MP	14.9-23.6	76.4-85.1	81.08-83.29

จากผลการศึกษาที่พบว่าการกระจายของตำแหน่ง MP มีไม่มาก ถ้าพิจารณาจากระยะทางที่ต่างจากค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.4-3.3 ซม. (ตารางที่ 3) ดังนั้น ถ้าใช้ขั้วกระตุ้นขนาดใหญ่ กระตุ้นแบบ bipolar technique ขนาดของแผ่นฟองน้ำน่าจะครอบคลุมจุด MP ในอาสาสมัครส่วนมาก (รูปที่ 2) หรือถ้าต้องการความแม่นยำของตำแหน่ง MP ก็สามารถทำการหาจุด MP ในบริเวณใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย (ตารางที่ 3) ซึ่งน่าจะช่วยประหยัดเวลาในการรักษาทางคลินิก

การประเมินความแรงของการหดตัวในการหา MP กระทำโดยการสังเกตและการคลำการหดตัวของกล้ามเนื้อ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้มีขนาดต่ำ แรงหดตัวจะเกิดกับใยกล้ามเนื้อบางส่วนของกล้ามเนื้อ และไม่เกิดการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ลักษณะการหดตัวน้อย ๆ ของกล้ามเนื้อมัดใหญ่อาจทำให้การสังเกตเปรียบเทียบความแรงของการหดตัวกระทำได้ยาก และการศึกษานี้

กำหนดเกณฑ์ของการมี MP 2 จุดว่าต้องใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้าเท่ากันและทำให้เกิดแรงหดตัวเท่ากัน ทำให้การศึกษานี้มีโอกาสน้อยมากที่จะพบ MP มากกว่าหนึ่งจุด ตำแหน่ง MP ที่รายงานในการศึกษานี้ ถ้าพิจารณาจากค่าต่ำสุดถึงสูงสุดของค่าคู่อันดับในตารางที่ 3 น่าจะครอบคลุมขอบเขตของ MP ทุกตำแหน่งที่อาจมีในกล้ามเนื้อแต่ละมัด เนื่องจากพบว่ามีค่าตำแหน่งใกล้เคียงกับการศึกษาอื่น<sup>4</sup>

ข้อจำกัดของการศึกษานี้คือ เป็นการศึกษาเฉพาะในอาสาสมัครสุขภาพดีวัยหนุ่มสาว จึงยังไม่ทราบว่าแตกต่างกับผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุหรือไม่ และในกรณีที่ต้องการกระตุ้นโดยใช้ขั้วกระตุ้นขนาดเล็ก จะไม่สามารถใช้ข้อมูลค่าคู่อันดับในการวางขั้วกระตุ้นได้โดยตรง ควรหาตำแหน่ง MP ของผู้ป่วยเพื่อระบุตำแหน่งขั้วกระตุ้นก่อน เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ศึกษาในกลุ่มคนปกติ การนำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้ใน

คลินิกกับผู้ป่วยน่าจะเป็นประโยชน์อย่างมาก ทั้งนี้เพื่อยืนยันตำแหน่งของ MP โดยใช้ค่าคู่อันดับของการศึกษานี้ และเป็นแนวทางในการศึกษาครั้งต่อไป

**สรุปผลการวิจัย**

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินตำแหน่ง motor point (MP) ของกล้ามเนื้อ VL, RF, และ VM และศึกษาการกระจายตัวของ MP รายงานตำแหน่ง MP เป็นค่าคู่อันดับ x, y โดยเทียบเป็นร้อยละกับความยาวของต้นขา (Y) ที่วัดในทำนองจาก ASIS ถึงจุดกลางของขอบบนของกระดูกสะบ้า โดยจุดที่เป็น MP วัดจาก ASIS และจะต้องใช้ความแรงของกระแสไฟฟ้า น้อยที่สุดและได้ความแรงของการหดตัวมากที่สุด ผลการศึกษาพบว่าแต่ละมัดมี MP เพียงตำแหน่งเดียว ตำแหน่ง MP รายงานเป็นค่าคู่อันดับ x, y ของ VL คือ -10.92, 68.72%Y ของ RF คือ 2.03, 53.26%Y และ VM คือ 14.68, 82.19%Y การกระจายตัวของตำแหน่ง MP มีไม่มาก โดยพบว่า VL มีการกระจายตัวตามแกน Y มากกว่ามัดอื่น คือต่างจากค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.4-3.3 ซม. ความแตกต่างของ MP นี้อาจชัดเจนได้โดยใช้เทคนิคการกระตุ้นแบบ bipolar ซึ่งใช้ขั้วกระตุ้นไฟฟ้า และพองน้ำหุ้มขนาดใหญ่ เช่น ขนาด 6x8 ซม. อย่างไรก็ตาม ตำแหน่ง MP ที่ถูกต้องยังคงต้องหาจากผู้ป่วยเฉพาะราย แต่ข้อมูลจากการศึกษานี้จะช่วยลดเวลาและบอกขอบเขตของพื้นที่ในการหาตำแหน่ง MP ของกล้ามเนื้อต้นขาที่มีขนาดใหญ่ได้

**เอกสารอ้างอิง**

1. Maffiuletti NA. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(2):223-34.
2. Walls RJ, McHugh G, O'Gorman DJ, Moyna NM, O'Byrne JM. Effects of preoperative neuromuscular electrical stimulation on quadriceps strength and functional recovery in

- total knee arthroplasty. A pilot study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010;11:119-227.
3. Gobbo M, Maffiuletti NA, Orizio C, Minetto MA. Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11(1):17-22.
4. Botter A, Oprandi G, Lanfranco F, Allasia S, Maffiuletti NA, Minetto MA. Atlas of the muscle motor points for the lower limb: implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10): 2461-71.
5. Forrester B, Petrofsky J. Effect of Electrode Size, Shape, and Placement During Electrical Stimulation. *J Appl Res.* 2004;4:346-54.
6. Reid RW. Motor point in relation to surface of the body. *J Anat.* 1920;54:271-5.
7. Park BK, Shin YB, Ko HY, Park JH, Baek SY. Anatomic motor point localization of the biceps brachii and brachialis muscles. *J Korean Med Sci.* 2007;22(3):459-62.
8. McCaughey EJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Detection of the motor points of the abdominal muscles. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114(12):2483-89.
9. Sung DH, Jung JY, Kim HD, Ha BJ, Ko YJ. Motor branch of the rectus femoris: anatomic location for selective motor branch block in stiff-legged gait. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84(7):1028-31.
10. Thiranagama R. Nerve supply of the human vastus medialis muscle. *Journal of anatomy.* 1990;170:193-8.

11. Lieber RL, Kelly MJ. Factors influencing quadriceps femoris muscle torque using transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther.* 1991;71(10):715-721; discussion 722-13.
12. Adams GR, Harris RT, Woodard D, Dudley GA. Mapping of electrical muscle stimulation using MRI. *J Appl Physiol* (1985). 1993;74(2):532-7.
13. Charan J, Biswas T. How to calculate sample size for different study designs in medical research? *Indian J Psychol Med.* 2013;35(2): 121-6.
14. Bax L, Staes F, Verhagen A. Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med.* 2005;35(3):191-212.
15. Becker I, Woodley SJ, Baxter GD. Gross morphology of the vastus lateralis muscle: An anatomical review. *Clin Anat.* 2009;22(4):436-50.
16. Patil S, Grigoris P, Shaw-Dunn J, Reece AT. Innervation of vastus lateralis muscle. *Clin Anat.* 2007;20(5):556-9.
17. Revenaugh PC, Knott D, McBride JM, Fritz MA. Motor nerve to the vastus lateralis. *Arch Facial Plast Surg.* 2012;14(5):365-8.