

สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral  
ขณะออกกำลังกายแบบ semi- squat และแบบ lunge

นางสาวพัชราวดี ศรีรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ELECTROMYOGRAPHIC ACTIVITY OF QUADRICEPS MUSCLE AND  
PATELLOFEMORAL JOINT REACTION FORCE DURING  
SEMI- SQUAT AND LUNGE EXERCISES

Miss Phatcharawadee Srirug

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Sports Medicine

Faculty of Medicine

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะ ออกกำลังกายแบบ semi- squat และแบบ lunge
โดย	นางสาวพัชราวดี ศรีรักษ์
สาขาวิชา	เวชศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ แพทย์หญิงดุจใจ ชัยวานิชศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ นายแพทย์สมพล สงวนรังศิริกุล

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์โสภณ นภาธร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ แพทย์หญิงดุจใจ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์สมพล สงวนรังศิริกุล)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ แพทย์หญิงอรอนงค์ กุลละพัฒน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(พันเอกผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ภัทรารุช อินทรคำแหง)

พัชราวดี ศรีรักษ์ : สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายแบบ semi-squat และแบบ lunge.

(ELECTROMYOGRAPHIC ACTIVITY OF QUADRICEPS MUSCLE AND PATELLOFEMORAL JOINT REACTION FORCE DURING SEMI- SQUAT AND LUNGE EXERCISES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.พญ.ดุจใจ ชัยวานิชศิริ

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ.นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล, 109 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาโดยการสังเกตเชิงวิเคราะห์ ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง (Cross – sectional Analytical Study) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า vastus medialis oblique (VMO) และ vastus lateralis (VL) รวมทั้งศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นผู้มีสุขภาพดี อายุ 18-35 ปี จำนวน 86 คน เพศชาย 40 คน เพศหญิง 46 คน โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนบน force platform เพื่อวัดแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral พร้อมกับวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ในขณะออกกำลังกายท่า semi-squat และท่า lunge ทั้งแบบ eccentric และ concentric ทำละ 3 ครั้ง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบได้ว่า สัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO:VL ขณะออกกำลังกายท่า lunge ทั้งแบบ eccentric และ concentric (1.23: 1, 1.15: 1) ได้ค่าสูงกว่าท่า semi-squat (1.05:1, 0.96:1) และแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.049$ ,  $p=0.031$ ) ส่วนแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะท่าท่า lunge มีค่าสูงกว่าท่า semi- squat อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (3.24BW, 4.44BW,  $p=0.000$ ) การออกกำลังกายท่า lunge แม้ว่าจะทำให้ได้ค่าสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO:VL สูงกว่าท่า semi- squat แต่แรงกระทำต่อข้อ patellofemoral ก็สูงกว่า ซึ่งหากผู้ที่มีอาการปวดเข่าด้านหน้าที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าในช่วงแรกๆ แนะนำให้ออกกำลังกายในท่า semi- squat ก่อน เมื่อมีอาการดีขึ้น ปวดน้อยลงจึงแนะนำให้ออกกำลังกายในท่า lunge เนื่องจากเป็นท่าที่กระตุ้นให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้อมากกว่าและมีสัดส่วนการทำงานของ VMO:VL ต่ำกว่า ซึ่งจะช่วยควบคุมตำแหน่งของ กระดูกสะบ้า (patella tracking) ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ VMO ได้มากขึ้น

สาขาวิชา.....เวชศาสตร์การกีฬา.....ลายมือชื่อ.....  
ปีการศึกษา.....2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

# # 5274850930 : MAJOR SPORTS MEDICINE

KEY WORDS: ELECTROMYOGRAPHIC ACTIVITY/ QUADRICEPS MUSCLE/ SEMI-SQUAT EXERCISE/ LUNGE EXERCISE/ PATELLOFEMORAL JOINT REACTION FORCE

PHATCHARAWADEE SRIRUG: ELECTROMYOGRAPHIC ACTIVITY OF QUADRICEPS MUSCLE AND PATELLOFEMORAL JOINT REACTION FORCE DURING SEMI-SQUAT AND LUNGE EXERCISES. ADVISOR: ASSOC. PROF. DOOTCHAI CHAIWANICHSIRI, M.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMPOL SANGUANRUNGSIRIKUL, M.D., MSc., 109 pp.

This research is a cross – sectional analytical study design. The objectives were to study the Vastus medialis oblique (VMO) and Vastus lateralis (VL) electromyographic (EMG) activities, and evaluate the patellofemoral joint reaction force (PFJRF) during 2 types of closed – kinetic chain exercises. Eighty six healthy individuals: 40 males and 46 females, age between 18-35 years were enrolled. Participants performed 3 times of semi- squat and 3 times of lunge exercise on a force platform to assess the PFJRF and VMO/ VL EMG activity.

The results of EMG activity revealed that, the lunge exercise could produce a significantly greater VMO: VL ratio during eccentric (1.23:1 vs. 1.05:1,  $p=0.049$ ) and concentric (1.15:1 vs. 0.96:1,  $p=0.031$ ) than semi- squat exercise. In PFJRF study, it was found that, the lunge exercise could induce a significantly greater PFJRF than semi- squat exercise (3.24BW vs. 4.44BW,  $p<0.000$ ). Although lunge exercise could produce higher VMO: VL ratio than semi- squat exercise, it also induced higher PFJRF. Potential clinical recommendations can be made to propose the semi- squat exercise as a key tool in early rehabilitation. When patients reduce their pain level, they should be recommended to do the lunge exercise in order to gain more benefits in correction of patella tracking and selectively strengthen the VMO.

Field of Study : Sports Medicine Student's Signature .....

Academic Year : 2011 Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความกรุณาจาก รศ.พญ.ดุจใจ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น และคำแนะนำ ตลอดจนความเอาใจใส่ในการปรับปรุงข้อบกพร่อง และแก้ปัญหาต่างๆ เป็นอย่างดี อีกทั้งยังคอยกรุณาให้ความสนับสนุน ติดตาม และห่วงใยผู้วิจัย ด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณ รศ.นพ.พงศ์ดี ยุกตะนันท์ รศ.พญ.อรอนงค์ กุละพัฒน์ และพ.อ. ผศ.นพ.ภัทรารุช อินทรคำแหง คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำแก้ไข ปรับปรุง และ ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่ได้เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณโครงการทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ทำให้งานสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ด้านการเดินและการเคลื่อนไหว ร.พ. จุฬาลงกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง นิสิตเวชศาสตร์การกีฬาทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา แง่คิดดีๆ สนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วนทุกท่าน ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ทั้งทางด้านวิชาการและการดำเนินชีวิต พ่อแม่และญาติพี่น้อง ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา ซึ่งผู้วิจัย รู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่าน จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
คำถามงานวิจัย.....	3
วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
กรอบแนวความคิดในการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
ข้อจำกัดในการวิจัย.....	4
คำสำคัญ.....	4
คำนิยามเชิงปฏิบัติการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2. ข้อเช่า.....	7
การปวดเข่าด้านหน้าจากภาวะ Patellofemoral pain syndrome.....	14
การออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า.....	16
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	17
3. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	23

	หน้า
ประชากร.....	22
การเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	24
การคำนวณขนาดตัวอย่าง.....	24
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	25
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	29
ขั้นตอนการวิจัย.....	30
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	39
4. ผลการวิเคราะห์.....	40
ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย.....	41
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับไฟฟ้ากล้ามเนื้อเหยียดเข่า VMO และ VL....	42
ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral.....	47
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	55
อภิปรายผลการวิจัย.....	55
สรุปผลการวิจัย.....	60
ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย.....	69
ภาคผนวก ข แสดง peak torque และ peak torque/body weight ของผู้เข้าร่วม วิจัยจากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าแบบ isokinetic.....	73
ภาคผนวก ค แสดงสัญญาณไฟฟ้า VMO และ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของ กล้ามเนื้อแบบ isokinetic.....	77
ภาคผนวก ง แสดงสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO ต่อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความ แข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic.....	84



ภาคผนวก จ แสดงแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral (patellofemoral joint reaction force ; PFJRF) และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ต่อน้ำหนักตัว (patellofemoral joint reaction force/body weight ; PFJRF/BW) ขณะทำท่า semi- squat และท่า lunge.....	หน้า 88
ภาคผนวก ฉ อักษรย่อ.....	92
ภาคผนวก ช เอกสารชี้แจงข้อมูล/คำแนะนำแก่ผู้เข้าร่วมโครงการ.....	93
ภาคผนวก ซ ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent form).....	98
ภาคผนวก ฌ แบบสอบถามข้อมูลเพื่อการคัดกรองเบื้องต้น.....	100
ภาคผนวก ญ แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย.....	101
ภาคผนวก ฎ แบบบันทึกข้อมูลของการวิจัย.....	104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	109

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะทำกิจกรรม.....	14
ตารางที่ 3.1	แสดงท่าในการออกกำลังกาย.....	36
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย.....	41
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของ peak torque /body weight ของผู้เข้าร่วมวิจัย จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic.....	41
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนกล้ามเนื้อ VMO: VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic.....	42
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge.....	43
ตารางที่ 4.5	แสดงแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral (patellofemoral joint reaction force ; PFJRF) และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ต่อน้ำหนักตัว (patellofemoral joint reaction force/body weight ; PFJRF/BW) ขณะท่า semi- squat และท่า lunge.....	47
ตารางที่ 4.6	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Peak Torque ระหว่างเพศชายและเพศหญิงจากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic.....	47
ตารางที่ 4.7	เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ระหว่างเพศชายและเพศหญิงขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat.....	48

ตารางที่ 4.8	เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ระหว่างเพศชายและเพศหญิงขณะออกกำลังกายในท่า lunge.....	49
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Peak Torque ในเพศชายระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic.....	49
ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศชายระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat...	50
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศชายระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า lunge.....	51
ตารางที่ 4.12	เปรียบเทียบ Peak Torque ในเพศหญิงระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) และมากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic.....	52
ตารางที่ 4.13	เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศหญิงระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat...	52
ตารางที่ 4.14	เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศหญิงระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า lunge.....	53

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดวิจัย.....	3
ภาพที่ 2.1 กระดูกของข้อเข่า.....	7
ภาพที่ 2.2 การต่อกันของกระดูกข้อเข่า.....	8
ภาพที่ 2.3 static stabilizer ของข้อเข่า.....	9
ภาพที่ 2.4 dynamic stabilizer ของข้อเข่า.....	10
ภาพที่ 2.5 กล้ามเนื้อ vastus medialis oblique และ vastus lateralis.....	11
ภาพที่ 2.6 ข้อต่อของข้อเข่า.....	11
ภาพที่ 2.7 บทบาทของกระดูกสะบ้า.....	12
ภาพที่ 2.8 แรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะงอเข่า.....	13
ภาพที่ 2.9 patellofemoral pain syndrome.....	14
ภาพที่ 3.1 คาร์ลิปเปอร์ (Caliper) # Lange Bodyfat Skinfold Caliper C-130.....	25
ภาพที่ 3.2 สายวัด.....	26
ภาพที่ 3.3 Universal standard goniometer # Jamar <sup>®</sup> .....	26
ภาพที่ 3.4 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ # ME 6000.....	26
ภาพที่ 3.5 กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว #Oqus camera.....	27
ภาพที่ 3.6 Force Platform; BERTEC # FP 4060-08.....	27
ภาพที่ 3.7 isokinetic dynamometer #Cybex 6000.....	27
ภาพที่ 3.8 คอมพิวเตอร์ใช้วิเคราะห์และบันทึกข้อมูล.....	28
ภาพที่ 3.9 Marker.....	28
ภาพที่ 3.10 ขั้วบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ # Blue sensor P <sup>®</sup> , Ambu.....	28
ภาพที่ 3.11 การวัดความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง.....	30
ภาพที่ 3.12 การวัด Quadriceps angle.....	31
ภาพที่ 3.13 การติดขั้ว electrode และเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....	32
ภาพที่ 3.14 การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบไอโซคิเนติก.....	33
ภาพที่ 3.15 ตำแหน่งที่ติด marker.....	34

	หน้า
ภาพที่ 3.16 ท่า semi- squat.....	36
ภาพที่ 3.17 ท่า lunge.....	36
ภาพที่ 3.18 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากโปรแกรม MegaWin.....	38
ภาพที่ 3.19 ภาพที่ได้จากโปรแกรม Qualisys Motion Capture System.....	38
ภาพที่ 3.20 โปรแกรม Visual-3D วิเคราะห์มุมการงอข้อเข่าและโมเมนต์ข้อเข่า.....	38

## สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1	แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic.....	44
แผนภูมิที่ 4.2	แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic.....	45
แผนภูมิที่ 4.3	แสดงสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO : VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic.....	46

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ข้อเข่าเป็นหนึ่งในข้อต่อที่ได้รับบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาและการออกกำลังกายมากที่สุด พบได้ถึงร้อยละ 42<sup>(1,2)</sup> ของการบาดเจ็บทุกส่วนของร่างกาย กีฬาเกือบทุกประเภทจะต้องอาศัยการเคลื่อนไหวของข้อเข่า ซึ่งอยู่ตรงระดับประมาณกึ่งกลางของส่วนขา ข้อเข่าจึงมีโอกาสเกิดการบาดเจ็บได้ง่ายทั้งจากแรงปะทะภายนอกและจากการเสียดสีของผู้เล่นกีฬาเองประกอบกับการที่ข้อเข่าไม่ได้มีกล้ามเนื้อห่อหุ้มไว้แน่นอนเหมือนข้อใหญ่อื่นๆ เช่น สะโพก และ ข้อไหล่ ข้อเข่าจึงขาดกลไกที่จะช่วยดูดซับแรงกระแทกเพื่อผ่อนหนักให้เป็นเบาได้ดีเท่าที่ควร ปัญหาปวดเข่าด้านหน้าจากภาวะ Patellofemoral pain syndrome (PFPS) หรือ Runner's knee เป็นอาการที่พบได้บ่อยในคลินิกเวชศาสตร์การกีฬา พบในวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่ตอนต้น<sup>(3,4)</sup> อุบัติการณ์การบาดเจ็บคิดเป็นร้อยละ 46 ของการบาดเจ็บบริเวณเข่าทั้งหมด<sup>(5,6)</sup> และมีอุบัติการณ์สูงขึ้นในนักกีฬาโดยเฉพาะนักวิ่ง<sup>(5)</sup> ส่วนใหญ่พบในเพศหญิง<sup>(1)</sup> ลักษณะอาการที่พบบ่อยได้แก่ อาการปวดที่บอกระดับตำแหน่งได้ชัดเจนว่า ปวดด้านหน้าของเข่าบริเวณรอบๆ กระดูกสะบ้า และด้านล่างกระดูกสะบ้า มีอาการปวดมากขึ้นเมื่อเดินขึ้นลงบันได นั่งงอเข่าเป็นระยะเวลานาน และนั่งยองๆ<sup>(8)</sup> มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องจากการวางตัวของรยางค์ขาผิดปกติ (Lower extremity malalignment), มุมของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า Quadriceps (Q-angle) มากกว่าปกติ, การวางตัวของกระดูกสะบ้าผิดปกติ (Patella malalignment) ซึ่งเชื่อว่ากลไกที่เป็นสาเหตุน่าจะเกิดจากความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าด้านใน Vastus medialis (VMO) และกล้ามเนื้อเหยียดเข่าด้านนอก Vastus lateralis (VL) พบว่าในผู้ที่เป็น PFPS มีการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ VMO เป็นผลให้ มีการดึงกระดูกสะบ้าไปด้านนอก (Patella lateral tracking) ทำให้เกิดแรงเครียดที่กระทำต่อข้อต่อ (Patellofemoral joint reaction stress) มากขึ้น<sup>(9)</sup>

การรักษาเพื่อฟื้นฟูอาการ Patellofemoral pain โดยทั่วไปแล้วจะเน้นที่การออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Quadriceps strengthening exercise)<sup>(10)</sup> โดยเฉพาะที่กล้ามเนื้อ VMO ร่วมกับการลดแรงเครียดที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ด้วยเพื่อให้เกิดความสมดุลกันของกล้ามเนื้อ VMO และ VL กรณีที่มีความรุนแรงของโรคมากหรือเกิดจากโครงสร้างที่ผิดปกติซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้จำเป็นต้องผ่าตัด<sup>(11,12,13)</sup>

การออกกำลังกายที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าอาจเป็นการออกกำลังกายแบบ Open - kinetic chain มีลักษณะคือ ทำมีการเคลื่อนไหวอย่างอิสระ มีการเคลื่อนไหวเฉพาะข้อเข่าอย่างเดียว (single joint movement) ซึ่งเป็นแบบที่ใช้มานานและแพร่หลายมากในอดีต หรือเป็นแบบ Closed-kinetic chain exercise มีลักษณะทำถูกตรึงไว้กับพื้นหรือกับอุปกรณ์ เครื่องมือออกกำลังกาย มีการเคลื่อนไหวหลายข้อต่อ (multi - joint movement) ซึ่งเริ่มมีการนิยมนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้นในช่วงปัจจุบันนี้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ VMO (VMO strengthening) <sup>(14)</sup> จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการออกกำลังกายแบบ Closed-kinetic chain exercise ดีกว่าแบบ Open-kinetic chain exercise ทั้งความสามารถในการลดปวด และเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ <sup>(15, 16)</sup>

แม้จะมีการศึกษาเรื่องวิธีออกกำลังกายที่นำมาใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า แต่ยังไม่มีการศึกษาที่เฉพาะเจาะจงในการออกกำลังกายที่เป็น closed - kinetic chain โดยเฉพาะท่า lunge มีเพียงการศึกษาเดียวของ Irish และคณะในปี 2010 <sup>(17)</sup> ที่ศึกษาเปรียบเทียบ electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ VMO และ VL ขณะทำออกกำลังกายแบบ closed - kinetic chain และ open-kinetic chain ในท่า semi- squat with hip adduction, ท่า lunge, และท่า open - chain knee extension นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาที่ศึกษาทั้ง electromyographic activity ร่วมกับ patellofemoral joint reaction force (PFJRF) เพื่อประเมินแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายเป็นอย่างไร

จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ในขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge ในกลุ่มอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิงเพื่อศึกษาว่าการออกกำลังกายทั้งสองมีผลต่อสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อแตกต่างกันอย่างไร และนอกจากนี้ยังศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ Patellofemoral ว่าแตกต่างกันอย่างไร ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำมาเลือกทำออกกำลังกายที่เหมาะสมในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผู้ที่มีสุขภาพดีและผู้ที่มีปวดเข่าด้านหน้าจากภาวะ Patellofemoral pain และผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมทั่วไป



## คำถามการวิจัย

### คำถามหลัก

การออกกำลังกายแบบ Closed-kinetic chain ท่า semi- squat และท่า lunge มีผลต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าอย่างไร

### คำถามรอง

การออกกำลังกายแบบ Closed-kinetic chain ท่า semi - squat และท่า lunge มีผลต่อแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral อย่างไร

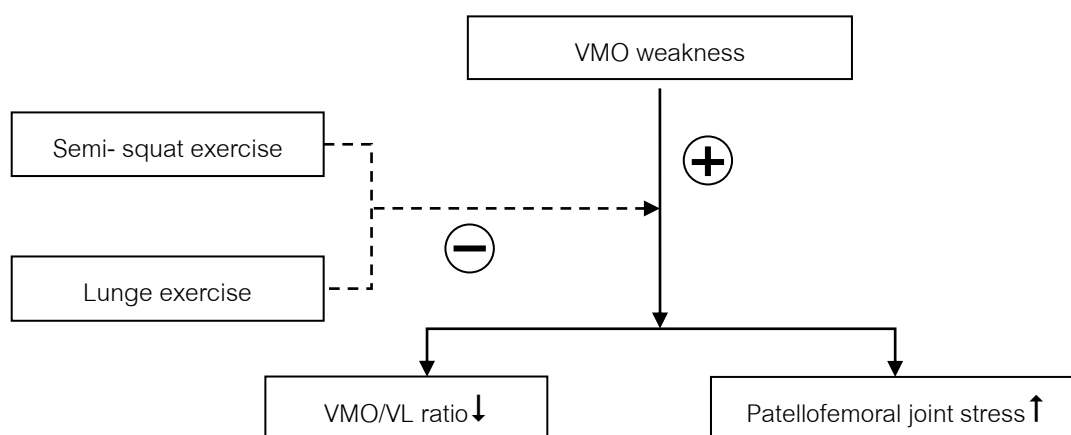
## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge
2. เพื่อศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge

## สมมติฐานของการวิจัย

1. การออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge มีผลต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ต่างกัน
2. การออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge มีผลต่อแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ต่างกัน

## กรอบแนวความคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

### ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยโดยการสังเกตเชิงวิเคราะห์ (Cross – sectional Analytical Study Design) ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาเป็นอาสาสมัครที่เป็นนิสิต บุคลากร และบุคคลทั่วไปชาวไทยผู้มีสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ อายุ 18-35 ปี โดยมีการบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของผู้เข้าร่วมวิจัย ขณะทำการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic ทั้งแบบ concentric และ eccentric, ทำท่าออกกำลังกายท่า semi-squat และท่า lunge ท่าละ 3 ครั้ง บน force platform เพื่อบันทึกแรง และบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยกล้องขณะทำท่าออกกำลังกาย ภายในห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ด้านการเดินและการเคลื่อนไหว

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เนื่องจากเป็นการวิจัยในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นมนุษย์ ดังนั้นผู้เข้าร่วมวิจัยต้องลงนามยินยอมเข้าร่วมการศึกษาคือเป็นลายลักษณ์อักษร โดยสามารถขอถอนตัวจากการเข้าร่วมการศึกษาคือในช่วงเวลาใดๆ ของการศึกษาคือได้ ไม่ว่าจะด้วยเหตุผลใดก็ตาม

### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนยินยอมเข้าร่วมวิจัยด้วยความสมัครใจ ให้ความร่วมมืออย่างเต็มที่ และเข้าใจรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัยชิ้นนี้ก่อนการลงนามยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
2. ผู้เข้าร่วมวิจัย ไม่เป็นผู้ที่กำลังได้รับบาดเจ็บ หรือไม่สามารถทำท่าออกกำลังกายได้ตามรูปแบบที่ถูกต้อง
3. ผู้วิจัยทำการสอบเทียบเครื่องมือวิจัย (calibration) ทุกครั้งที่มีการเริ่มต้นเก็บข้อมูล

### ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้ศึกษาในผู้ที่มีอายุ 18-35 ปี ดังนั้นผลของการศึกษาครั้งนี้อาจไม่สามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงกลุ่มที่มีอายุน้อยกว่า 18 ปี หรือมากกว่า 35 ปีได้
2. การศึกษาครั้งนี้ศึกษาในผู้มีสุขภาพดี ดังนั้นผลของการศึกษาครั้งนี้จึงไม่อาจใช้อ้างอิงในคนที่มีการทำงานของข้อและกล้ามเนื้อรอบข้อผิดปกติได้

## คำสำคัญ

Electromyographic activity, Quadriceps muscle, Semi- squat exercise, Lunge exercise, Patellofemoral joint reaction force

## คำนิยามเชิงปฏิบัติการ

### ท่าออกกำลังกายแบบ Semi- squat (Semi- squat exercise)

หมายถึง การออกกำลังกายที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า โดยในท่านี้ท่าทางขณะออกกำลังกายดังนี้ เริ่มต้นจากท่ายืนตรง เท้าทั้งสองข้างห่างเท่ากับ ความกว้างของสะโพก มือทั้งสองข้างวางบนสะโพกบน (สะเอว) ตามองตรง หลังตรง เริ่มการเคลื่อนไหวโดยย่อตัวลง งอเข่าให้มุมที่เข่า 45 องศา หลังตรง ตามองตรง มือยังวางบนสะโพกบนตลอดช่วงการเคลื่อนไหว หลังจากนั้นเหยียดเข่าขึ้นกลับไปสู่ท่าเริ่มต้น

### ท่าออกกำลังกายแบบ Lunge (Lunge exercise)

หมายถึง การออกกำลังกายที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า โดยในท่านี้ท่าทางขณะออกกำลังกายดังนี้ เริ่มต้นจากท่ายืนตรง เท้าทั้งสองข้างห่างเท่ากับ ความกว้างของสะโพก มือทั้งสองข้างวางบนสะโพกบน (สะเอว) ตามองตรง หลังตรง ก้าวเท้าที่จะทดสอบไปด้านหน้าระยะห่างระหว่างเท้าที่ทดสอบกับเท้าอีกข้างประมาณ 2 ก้าว ย่อตัวลง ให้นำหนักตัวทิ้งลงในแนวขนานกับลำตัว งอเข่าที่ทดสอบ 45 องศา งอเข่าที่อยู่ด้านหลังลงจนขาท่อนล่างขนานกับพื้น ปลายเท้าสัมผัสพื้น ตามองตรง มือยังวางบนสะโพกบนตลอดช่วงการเคลื่อนไหว เหยียดเข่าขึ้นกลับไปสู่ท่าเริ่มต้น

โดยขณะงอเข่าย่อตัวลงจะมีการทำงานของกล้ามเนื้อ quadriceps แบบ eccentric และเมื่อเหยียดเข่าเป็นแบบ concentric

Eccentric เป็นการทำงานในลักษณะการยืดตัวของกล้ามเนื้อ ทำให้ความยาวของกล้ามเนื้อยาวขึ้น เช่น ในท่า semi- squat ขณะย่อตัวลง กล้ามเนื้อ quadriceps จะทำงานแบบ eccentric, ในท่า lunge เป็นลักษณะเดียวกันคือ ขณะย่อตัวลง กล้ามเนื้อ quadriceps ของขาที่อยู่ด้านหน้า จะทำงานแบบ eccentric

Concentric เป็นการทำงานในลักษณะการหดตัวของกล้ามเนื้อ ทำให้ความยาวของกล้ามเนื้อสั้นลง เช่น ในท่า semi- squat ช่วงที่มีการเหยียดเข่าตรงจากท่างอเข่า กล้ามเนื้อ

quadriceps จะทำงานแบบ concentric, ในท่า lunge เป็นลักษณะเดียวกันคือ ช่วงที่มีการเหยียดเข่าตรงจากท่างอเข่า กล้ามเนื้อ quadriceps ของขาที่อยู่ด้านหน้าจะทำงานแบบ concentric

#### Electromyographic activity (EMG activity)

หมายถึง เทคนิคที่ใช้ในการประเมินการทำงานของกล้ามเนื้อโดยบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (electromyographic activity) บันทึกศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในเซลล์กล้ามเนื้อ ในที่นี้ใช้ surface electrode บันทึก average amplitude ของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ในขาข้างที่ถนัด ขณะมีการทำท่าออกกำลังกายท่า semi-squat และท่า lunge โดยแบ่งเป็นขณะกล้ามเนื้อทำงานแบบ concentric และ eccentric

#### Patellofemoral joint reaction force

หมายถึง แรงปฏิกิริยาในทิศตรงข้ามกับแรงที่กระทำต่อข้อ Patellofemoral joint ในที่นี้ได้มาจากการคำนวณจากมุมการงอข้อเข่า โมเมนต์ของข้อเข่า ความยาวโมเมนต์ของกล้ามเนื้อ quadriceps และ แรงของกล้ามเนื้อ quadriceps ในขาข้างที่ถนัด ขณะมีการทำท่าออกกำลังกายท่า semi-squat และท่า lunge โดยแบ่งเป็นขณะกล้ามเนื้อทำงานแบบ concentric และ eccentric

#### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ vastus medialis oblique และกล้ามเนื้อ vastus lateralis ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat และท่า lunge
2. ทำให้ทราบถึงแรงที่กระทำแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อเข่า (Patellofemoral joint reaction force) ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat และท่า lunge
3. เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการออกกำลังกายในผู้ที่มีสุขภาพดีและประยุกต์ใช้ในผู้ที่ เป็น PFPS ในท่าที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยที่ทำให้เกิดแรงกระทำต่อข้อเข่าน้อยที่สุด
4. เพื่อเป็นประโยชน์ในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ทางเวชศาสตร์การกีฬา, เป็นข้อมูลพื้นฐานของประชากรไทยและเพื่อใช้ในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

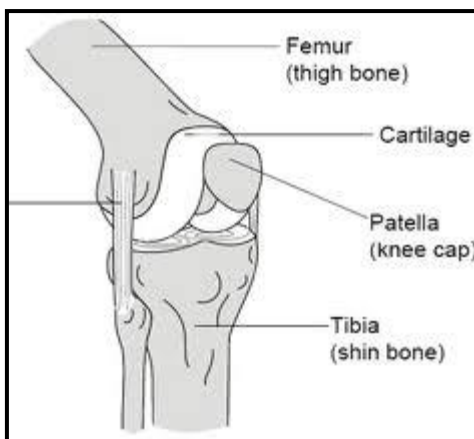
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ข้อเข่า

กายวิภาคศาสตร์ประยุกต์ของข้อเข่า<sup>(18)</sup>

ข้อเข่าประกอบขึ้นด้วยส่วนปลายของกระดูกต้นขา (femur) ส่วนต้นของกระดูกแข้งที่แบนกว้าง (tibia) และกระดูกสะบ้า (patella) ซึ่งอยู่ด้านหน้าของข้อ บริเวณที่กระดูกทั้งสามนี้สับกันจะมีกระดูกอ่อนผิวข้อ (articular cartilage) หุ้มอยู่ ภายใต้กระดูกอ่อนนี้จะเป็นเนื้อกระดูกที่อัดกันที่บวมสมควร (subchondral bone) ชั้นถัดไปจะเป็นเนื้อกระดูก (cancellous bone) ที่ค่อนข้างเปราะและหักยุบได้ง่าย (ภาพที่ 2.1)

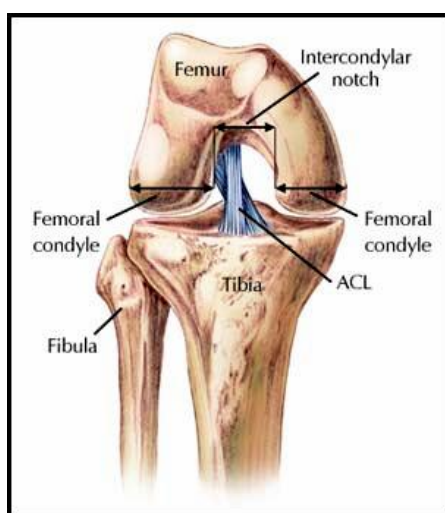


ภาพที่ 2.1 กระดูกของข้อเข่า (<http://www.yogaartandscience.com/.../Knee.png>)

ผิวข้อของกระดูกทั้งสามส่วนนี้ แม้จะไม่สบกันพอดี แต่ก็มีคุณสมบัติสอดคล้องกัน (congruent) อย่างดีในระหว่างที่มีการเคลื่อนไหวเพื่อให้เกิดการสึกกร่อนเกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยในการนี้จะมีน้ำเลี้ยงข้อ (synovial fluid) จำนวนเล็กน้อยช่วยเคลือบให้เกิดความหล่อลื่นภายในข้อ โดยจะถูกผลิตขึ้นจากเนื้อเยื่อภายในข้อต่อ ซึ่งเรียกว่า เยื่อข้อ (synovium) กระดูกและน้ำในข้อทำหน้าที่ช่วยให้ข้อต่อทำงานได้อย่างราบรื่น

ปลายกระดูกต้นขาจะมีลักษณะเป็นปุ่มข้อ (femoral condyle) จำนวนสองปุ่มอยู่ก่อนทางด้านหลังคือ ปุ่มข้อซิดใน (medial condyle) และปุ่มข้อซิดนอก (lateral condyle) ปุ่มทั้งสองนี้จะวางอยู่บนหัวของกระดูกแข้งซึ่งเรียกว่า tibial condyles หรือ tibial plateaus เพราะมีลักษณะ

เป็นผิวราบ ระหว่างปุ่มข้อทั้งสองของปลายกระดูกต้นขา มีสภาพเป็นรอยเว้า เรียกว่า intercondylar notch ส่วนบริเวณที่อยู่ระหว่าง tibial plateaus นั้นมีสภาพเป็นเนินสองยอด เรียกว่า tibial eminence (ภาพที่ 2.2)



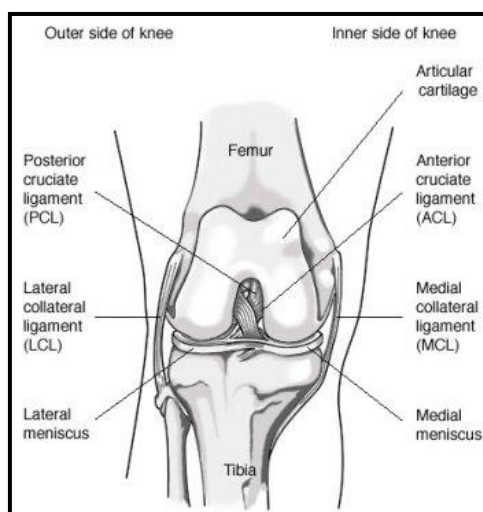
ภาพที่ 2.2 การต่อกันของกระดูกข้อเข่า

เนื่องจาก femoral และ tibia condyles มีลักษณะเป็นปุ่มกลมและผิวราบตามลำดับซึ่งไม่เข้ารูปกัน ความมั่นคงของข้อเข่าในลักษณะที่ปลายต่อปลายไม่ได้ยันกันในท่าเหยียดข้อตรงนั้น จึงต้องอาศัยการยึดเหนี่ยวของโครงสร้างอื่นซึ่งทำหน้าที่คล้ายเชือกที่ช่วยขึงเสากะโຈມให้ตั้งยืนอยู่ได้ โครงสร้างเหล่านี้อาจแบ่งออกเป็นสองพวก คือ

### 1. พวกที่มีแรงยึดเหนี่ยวคงที่ในท่าใดท่าหนึ่ง (static stabilizer) ได้แก่

- เอ็นประกอบข้อซิดใน (medial collateral ligament) ช่วยยึดด้านในของข้อเข่าให้มั่นคง
- เอ็นประกอบข้อซิดนอก (lateral collateral ligament) ช่วยยึดด้านนอกของข้อเข่าให้มั่นคง
- เอ็นไขว้หน้า (anterior cruciate ligament) อยู่กลางข้อเข่า ช่วยจำกัดการหมุนของข้อเข่าและป้องกันการเคลื่อนของข้อเข่าไปด้านหน้า
- เอ็นไขว้หลัง (posterior cruciate ligament) อยู่กลางข้อเข่า ช่วยจำกัดการเคลื่อนของข้อเข่าไปด้านหลัง
- เอ็นหุ้มข้อ (capsular ligaments)
- หมอนรองข้อซิดใน (medial meniscus)

- หมอนรองข้อเข่าด้านนอก (lateral meniscus) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปดวงจันทร์เดี่ยว มีหน้าตัดตามรัศมีเป็นรูป plateaus และหมุน femoral condyles ไว้ การบาดเจ็บที่ทำให้เข้าเสียดความมั่นคงนั้นส่วนมากจะเกิดขึ้นกับโครงสร้างพวกนี้ (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 static stabilizer ของข้อเข่า

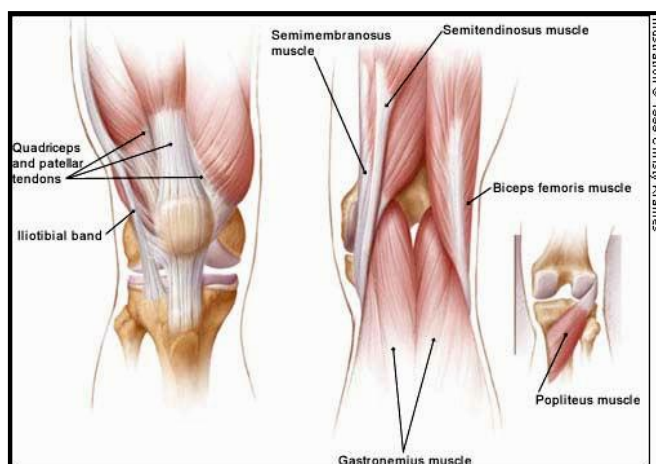
(<http://www.yogaartandscience.com/.../Knee.png>)

2. พวกที่มีแรงยึดเหนี่ยวเปลี่ยนแปลงตามการเกร็งกล้ามเนื้อ (dynamic stabilizer) เป็นพวกเอ็นกล้ามเนื้อ (tendon) และกล้ามเนื้อ (muscle) ต่างๆ ที่ทอดข้ามข้อเข่า ได้แก่ (ภาพที่ 2.4)

- เอ็นสะบ้า (patella tendon)
- กล้ามเนื้อ quadriceps
- เอ็น popliteus
- กล้ามเนื้อ semimembranosus
- กล้ามเนื้อ semitendinosus
- กล้ามเนื้อ gastrosoleus
- กล้ามเนื้อ gracilis

ซึ่งกล้ามเนื้อเหล่านี้มีหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อเข่า

โครงสร้างอื่นๆ ของข้อเข่า ได้แก่ popliteal artery และ vein ทางด้านหลัง และ common peroneal nerve ทางด้านหลังซึ่งทอดอ้อมทางด้านนอกตรงส่วนต้นของกระดูกน่อง (fibula)



ภาพที่ 2.4 dynamic stabilizer ของข้อเข่า

([www.coachrobloewe.com/injuries-lower-knee-diagram.gif](http://www.coachrobloewe.com/injuries-lower-knee-diagram.gif))

### กล้ามเนื้อเหยียดเข่า Knee extensors

กลุ่มกล้ามเนื้อ quadriceps เป็นกล้ามเนื้อที่พาดผ่านข้อเข่าประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 4 มัด ได้แก่ กล้ามเนื้อ rectus femoris กล้ามเนื้อ vastus lateralis กล้ามเนื้อ vastus medialis oblique และกล้ามเนื้อ vastus intermedius ทั้ง 4 มัดรวมกันเป็นส่วนเดียวกันและไปเกาะที่กระดูกสะบ้า, capsule ของข้อเข่าและส่วนหน้าของกระดูก tibia ผู้ที่มีโครงสร้างกล้ามเนื้อดีและมีไขมันใต้ผิวหนังน้อย สามารถมองเห็นกล้ามเนื้อ rectus femoris กล้ามเนื้อ vastus lateralis กล้ามเนื้อ vastus medialis oblique แยกเป็นมัดได้ กล้ามเนื้อ vastus intermedius อยู่ลึกจึงไม่สามารถมองเห็นได้ ในที่นี้ศึกษากล้ามเนื้อ vastus lateralis และกล้ามเนื้อ vastus medialis oblique<sup>(19,20)</sup>

#### - กล้ามเนื้อ vastus medialis oblique (VMO)

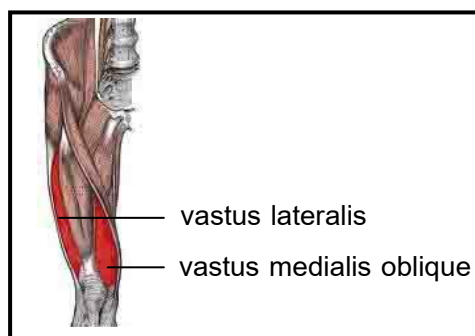
อยู่ด้านในของกล้ามเนื้อ rectus femoris ซึ่งอยู่ตรงกลาง มีส่วนต้นของกล้ามเนื้อบริเวณด้านในและด้านหลังของกระดูก femur เหนือต่อ intertrochanteric line และหลังต่อ linea aspera ส่วนปลายของกล้ามเนื้ออยู่บริเวณด้านในของขอบบนของกระดูกสะบ้า และเป็นส่วนหนึ่งของ patella tendon ไปเกาะที่ tibial tuberosity ของกระดูก tibia มีเส้นประสาท femoral nerve มาเลี้ยง สามารถสังเกตได้บริเวณส่วนปลายของมัดกล้ามเนื้อประมาณ 1/3 ส่วนปลายบริเวณด้านในของต้นขา<sup>(20)</sup> (ภาพที่ 2.5)

#### - กล้ามเนื้อ vastus lateralis (VL)

กล้ามเนื้อ vastus lateralis เป็นกล้ามเนื้อ quadriceps มัดที่ใหญ่ที่สุดใน 4 มัด อยู่ด้านนอกของกล้ามเนื้อ rectus femoris มีส่วนต้นเกาะที่ส่วนนอกของกระดูก femur ด้านหลังเหนือต่อ greater trochanter และหลัง linea aspera ส่วนปลายของกล้ามเนื้ออยู่บริเวณด้านนอก



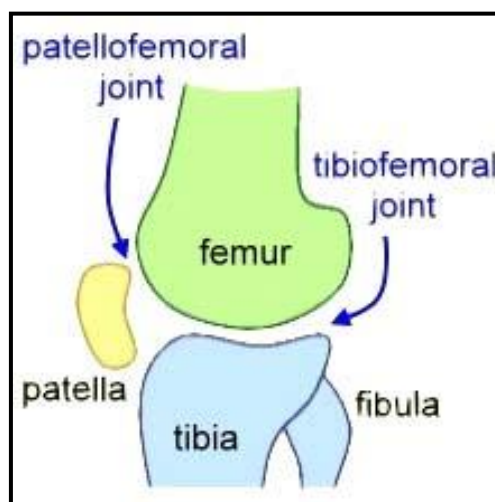
ของกระดูกสะบ้าและ เป็นส่วนหนึ่งของ patella tendon ไปเกาะที่ tibial tuberosity ของกระดูก tibia โดยจะไปรวมกันโดยทำมุม 12-15 องศาที่กระดูกสะบ้า สามารถมองเห็นกล้ามเนื้อได้ชัดที่ ส่วนปลายมีขนาดใหญ่กว่าส่วนต้น มีเส้นประสาทแต่แตกมาจาก femoral nerve มาเลี้ยง สามารถ สังเกตได้โดยคลำล้าต่อ greater trochanter ลงมาถึงกระดูกสะบ้า<sup>(20)</sup> (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 กล้ามเนื้อ vastus medialis oblique และ vastus lateralis

#### ชนิดของข้อต่อและการเคลื่อนไหว

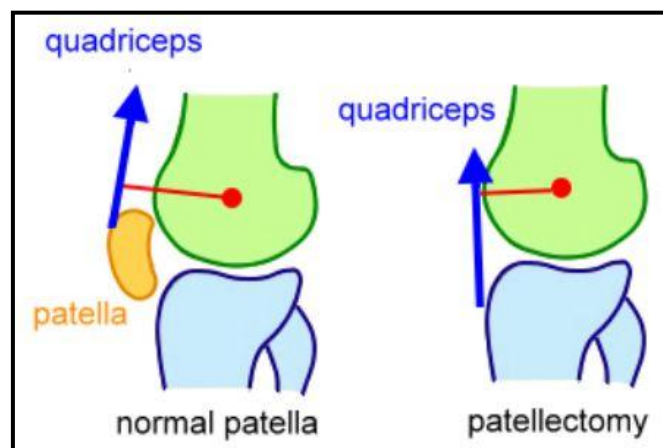
ข้อเข่าของมนุษย์เป็น condylar joint ที่สามารถเคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบการเคลื่อนไหว (Bidimensional movement) คือระดับ sagittal ซึ่งเป็นระนาบหลักมีการเคลื่อนไหวแบบ งอและเหยียด (flexion and extension) นอกจากนี้ยังมีการเคลื่อนไหวอีกหนึ่งระนาบที่คือระนาบ (transverse plane) มีการเคลื่อนไหวแบบหมุนเข้าด้านในและหมุนออกด้านนอก (internal and external rotation) ซึ่งจะมีการเคลื่อนไหวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ข้อเข่าประกอบด้วย 3 ข้อต่อ ได้แก่ tibiofemoral joint, patellofemoral joint และ superior tibiofibular joint (ภาพที่ 2.6) ข้อต่อที่เป็น ข้อต่อหลักที่ทำให้เกิดการ ทำงานของข้อเข่าคือ Tibiofemoral joint<sup>(21)</sup>



ภาพที่ 2.6 ข้อต่อของข้อเข่า

**Patellofemoral Joint** เป็นข้อต่อที่อยู่ด้านหน้าของเข่า เป็นส่วนหนึ่งของกลไกการเหยียดเข่า (extensor mechanism) ลูกสะบ้าเป็นกระดูก sesamoid ที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระดูกชิ้นที่มีเยื่อบุผิวข้อ (articular cartilage) หนาที่สุดในร่างกาย ติดอยู่กับปลายของปุ่มกระดูก tibia (tuberosity of the tibia) และถูกยึดไว้โดยเอ็นของ patella (patella tendon) อยู่เหนือต่อเอ็นของกล้ามเนื้อเหยียดข้อเข่า (quadriceps femoris muscle) อยู่ใกล้กับ medial และ lateral retinacula ของ joint capsule กระดูกสะบ้ามีสันนูนแนวตั้งที่แบ่งส่วนของพื้นผิวกระดูกข่าเป็นด้านในและด้านนอก ซึ่งเป็นส่วนที่ติดอยู่กับ femoral condyle มีลักษณะเป็นอานม้า (saddle-shaped) กระดูกสะบ้าจะถูกล้อมรอบด้วยโครงสร้างต่างๆ ที่อยู่รอบๆ ทำให้ระยะห่างจากลูกสะบ้าถึง tibial tuberosity คงที่ตลอดช่วงการเคลื่อนไหว ถ้ามีการเคลื่อนไหวของกระดูก tibia บนกระดูก femur กระดูกสะบ้าจะมีการเลื่อนบน femoral condyle เมื่อมีการเคลื่อนไหวของกระดูก femur ขณะที่กระดูก tibia กำลังอยู่นิ่ง femoral condyle จะเลื่อนไปบนกระดูกสะบ้า

หน้าที่ของกระดูกสะบ้าคือช่วยเพิ่มความยาวคานของกล้ามเนื้อ quadriceps muscle และเป็นส่วนหนึ่งของกลไกการเหยียดเข่า (extensor mechanism) ช่วยควบคุมแรงและทำให้เกิดแรงที่เหมาะสมบนกระดูก femur กระดูกสะบ้าทำให้ความยาวคานเพิ่มขึ้นและทำให้ช่วงการเคลื่อนไหวของการเหยียดเข่าเพิ่มขึ้น ในช่วงที่มีการงอเข่าสุด กระดูกสะบ้าจะวางตัวอยู่ใน intercondylar groove เพื่อจะเป็นการเริ่มต้นการเคลื่อนไหวได้ดี (กล้ามเนื้อ quadriceps ถูกยึดทำให้อยู่ในช่วง length-tension position) ในช่วงที่ข้อเข่าถูกเหยียดออก กระดูกสะบ้าเคลื่อนออกจากร่องเพื่อให้เกิดความยาวของคานยาวที่สุดในขณะที่ยืดเข่า 45 องศา หากมีการผ่าตัดเอาลูกสะบ้าออก (patellectomy) เพื่อให้สามารถเหยียดเข่าได้เช่นเดิม แรงจากกล้ามเนื้อ quadriceps จะต้องใช้เพิ่มขึ้นถึง 30 %<sup>(20)</sup> (ภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 บทบาทของกระดูกสะบ้า

**แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อ patellofemoral (Patellofemoral joint reaction force)** เป็นค่าที่ได้ขณะที่มีการเคลื่อนไหวของข้อเข่า ข้อเข่าเป็นข้อที่รับน้ำหนักมาก ดังนั้นจึงมีแรงที่กระทำต่อข้อเข่ามาก โดยปกติในการออกกำลังกายเพื่อการฟื้นฟู จะเลือกท่าที่ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อ patellofemoral น้อย ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรง ได้แก่

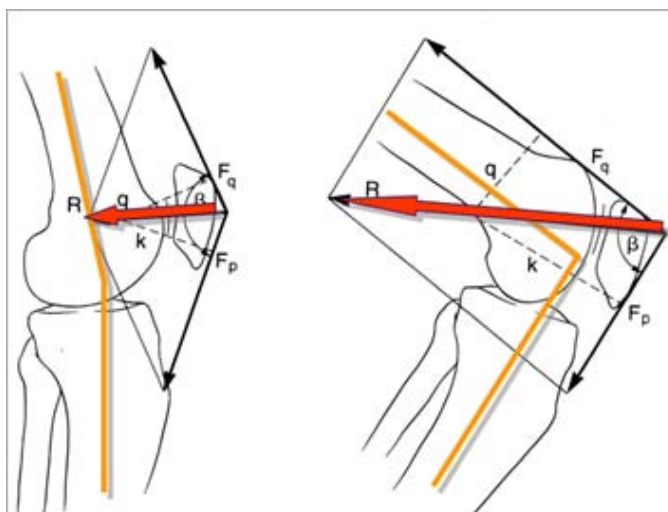
- บริเวณข้อต่อและพื้นผิวสัมผัส (Articulation and contact area)
- เวกเตอร์ลัพธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างแรงจากกล้ามเนื้อ quadriceps และจาก

Patellar tendon

- การหดตัวของกล้ามเนื้อ (muscle contraction)

แรงที่ข้อจะลดลงเมื่อมีพื้นผิวสัมผัสเพิ่มมากขึ้น ข้อดีของกระดูก patella คือจะเพิ่มช่วยเพิ่มความยาวคานของกล้ามเนื้อ quadriceps ให้ทำงานได้ดีขึ้น จะพบว่าเมื่อมีแรงจากกล้ามเนื้อ quadriceps และ patellar tendon เพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดแรงที่ข้อ patellofemoral มากขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อข้อเข่าเพิ่มขึ้นก็จะเพิ่มแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral เพิ่มขึ้นเช่นกัน (ภาพที่ 2.8) ดังนั้นขณะที่ข้อเข่าจะทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral สูงที่สุด

ในขณะที่เหยียดเข่าออกจะเป็นช่วงที่ quadriceps มีแรงกดต่อข้อ patellofemoral สูงมาก แต่ในขณะที่เดียวกันนั้นเป็นช่วงที่มีพื้นผิวสัมผัสน้อยที่สุด ดังนั้นจะทำให้เกิดแรงที่กดมากบนผิวที่น้อยนี้จะส่งผลให้เกิดแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อ patellofemoral (patellofemoral) สูง ตัวอย่างแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ที่เกิดขึ้นขณะทำกิจกรรมต่างๆ<sup>(22)</sup> (ตารางที่ 2.1)



ภาพที่ 2.8 แรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะงอเข่า

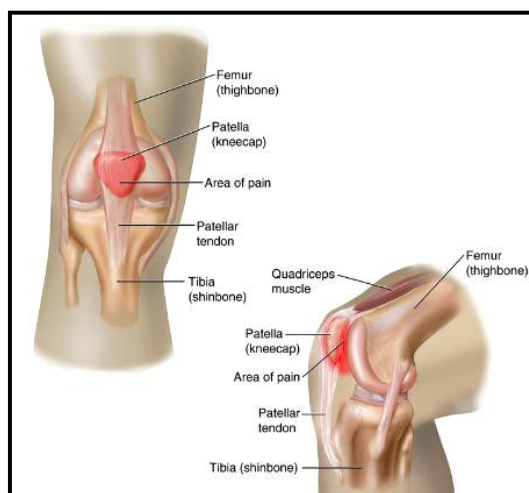
(www.mikereinold.com/.../12-image[36].png)

ตารางที่ 2.1 แสดงแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะทำกิจกรรมต่างๆ ศึกษาจากผู้ที่มีน้ำหนัก 200 ปอนด์<sup>(22)</sup>

Activity	Force	% Body Weight	Pounds of Force
Walking	850 N	1/2 x BW	100 lbs
Bike	850 N	1/2 x BW	100 lbs
Stair Ascend	1500 N	3.3 x BW	660 lbs
Stair Descend	4000 N	5 x BW	1000 lbs
Jogging	5000 N	7 x BW	1400 lbs
Squatting	5000 N	7 x BW	1400 lbs
Deep Squatting	15000 N	20 x BW	4000 lbs

### การปวดเข่าด้านหน้าจากภาวะ Patellofemoral pain syndrome (PFPS)

หรือ Runner's knee หรือ chondromalacia patellae เป็นกลุ่มอาการในกลุ่มโรคปวดเข่าด้านหน้า (Anterior knee pain) ที่พบได้บ่อยในคลินิกเวชศาสตร์การกีฬา พบในวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่ตอนต้น<sup>(3,4)</sup> ช่วงอายุก่อน 20 ปีจนถึงอายุ 30 ปี<sup>(23)</sup> อุบัติการณ์การบาดเจ็บคิดเป็นร้อยละ 25 ของการบาดเจ็บบริเวณเข่าทั้งหมด<sup>(5,6)</sup> พบได้ร้อยละ 20 ในคนทั่วไป และมีอุบัติการณ์สูงขึ้นในนักกีฬาโดยเฉพาะนักวิ่งพบได้ถึงร้อยละ 60<sup>(1)</sup> ส่วนใหญ่พบในเพศหญิง<sup>(7)</sup> โดยพบอุบัติการณ์ในผู้หญิงมากกว่าผู้ชายถึง 2 เท่า (ร้อยละ 33.2 และร้อยละ 18.1) จากผู้ป่วยในคลินิกเวชศาสตร์การกีฬา<sup>(24)</sup> (ภาพที่ 2.9)



ภาพที่ 2.9 patellofemoral pain syndrome

([www.media.summitmedicalgroup.com/.../patellod.jpg](http://www.media.summitmedicalgroup.com/.../patellod.jpg))

ลักษณะอาการ ได้แก่ มีอาการปวดที่บอกตำแหน่งได้ชัดเจนว่า ปวดด้านหน้าของเข่า บริเวณรอบๆ กระดูกสะบ้า และด้านล่างกระดูกสะบ้า จะมีอาการปวดมากขึ้นเมื่อเดินขึ้นลงบันได นั่งงอเข่าเป็นระยะเวลาานาน และนั่งยองๆ<sup>(8)</sup> อาจมีอาการปวดเล็กน้อยบริเวณเหนือกระดูกสะบ้า ความรุนแรงของการปวดแตกต่างกันในแต่ละบุคคล

ปัจจัยที่ทำให้เกิดอาการ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่กดลงที่ข้อ patellofemoral จะการกระตุ้นให้เกิดอาการปวด ปัจจัยที่ทำให้เกิดอาการแบ่งออกเป็นปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ในขณะที่ทำกิจกรรมต่างๆ จะมีแรงภายนอกจากการที่ร่างกายสัมผัสกับพื้น (ground reaction force) และปรับเปลี่ยนไปตามน้ำหนักร่างกาย ความเร็วของการเดิน พื้นผิวและรองเท้า ขณะที่ทำกิจกรรมที่มีการลงน้ำหนัก หากมีการงอเข่าเพิ่มขึ้นก็จะมีแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral เพิ่มขึ้น และขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของแต่ละบุคคล เช่น ในผู้ที่มีการทำกิจกรรมที่เกิดแรงต่อข้อสูง เช่น มีการฝึกหนัก มีการเพิ่มความเร็วขณะวิ่งขึ้นภูเขา วิ่งขึ้นบันได เหล่านี้จะทำให้เกิดแรงต่อข้อ patellofemoral สูงขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดอาการปวด ปัจจัยภายในเกิดจากลักษณะทางร่างกายที่ส่งผลให้เกิดการดิ่งของกระดูก patella มาด้านนอก (patella tracking) ได้แก่

- มีการหมุนของข้อสะโพกมากกว่าปกติ (femoral internal rotation)
- มีมุมของกล้ามเนื้อ Quadriceps (Q-angle) มากกว่าปกติ
- มีขาท่อนล่างหมุนไปมากกว่าปกติ (tibial rotation)
- มีข้อ subtalar หมุนเข้าด้านในมากกว่าปกติ (subtalar pronation)
- มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าปกติ (inadequate flexibility)

นอกจากนี้ยังเกิดจากลักษณะภายในที่เกิดขึ้นที่บริเวณข้อ patellofemoral โดยตรง ได้แก่

- ตำแหน่งการวางตัวของกระดูกสะบ้าผิดปกติ
- มีโครงสร้างของเนื้อเยื่อผิดปกติ
- มีการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ vasti ผิดปกติ (neuromuscular

Control of the vasti)<sup>(25)</sup>

นอกจากนี้เชื่อว่ากลไกที่เป็นสาเหตุที่สำคัญเกิดจากความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อต้นขาด้านใน (Vastus medialis oblique ; VMO) และกล้ามเนื้อต้นขาด้านนอก (Vastus lateralis ; VL) พบว่าในผู้ที่เป็น PFPS มีการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ VMO ซึ่งทำให้เกิดความไม่สมดุลกันของ

กล้ามเนื้อ VMO และ VL เป็นผลให้ มีการดึงกระดูกสะบ้าไปด้านนอก (Patella lateral tracking) ทำให้เกิดเครียดที่กระทำต่อข้อต่อ (Patellofemoral joint reaction stress) มากขึ้น<sup>(9)</sup>

การตรวจร่างกายและการวินิจฉัย สังเกตลักษณะของกล้ามเนื้อ VMO ว่ามีขนาดเล็กลง มีการกดเจ็บบริเวณรอบๆ กระดูกสะบ้า บวมบริเวณเหนือกระดูกสะบ้า เมื่อให้มีการเคลื่อนไหวเริ่มจากงอเข้าไปเหยียดเข้าจะมีลักษณะการเคลื่อนของกระดูกสะบ้าเป็นรูปตัว J (positive J sign) ตรวจพบการตึงตัวของ lateral retinaculum ควรตรวจมุมของกล้ามเนื้อเหยียดเข้า (Quadriceps angle) ตรวจ crepitus บางครั้งพบเสียงจากใต้กระดูกสะบ้าได้ อาจตรวจพบ patella instability ขณะงอเข้า 30 องศา<sup>(26,27)</sup>

#### การฟื้นฟูอาการ patellofemoral pain (patellofemoral pain rehabilitation)

- ลดปวดและอักเสบ โดยการพัก งดกิจกรรมที่กระตุ้นให้เกิดอาการ การใช้ความเย็น รับประทาน NSAIDs ใช้การรักษาทางกายภาพบำบัด เช่น ultrasound และเทคนิคการเคลื่อนข้อต่อ (mobilization) หรือการฝังเข็ม

- ปรับเปลี่ยนปัจจัยภายนอก โดยลดน้ำหนักที่กดลงบนข้อ patellofemoral โดยปรับเปลี่ยนปัจจัยภายนอก เช่น ปรับรูปแบบการฝึกในนักกีฬา เปลี่ยนรองเท้า หรือปรับพื้นผิว

- ปรับเปลี่ยนปัจจัยภายใน ถือเป็นสิ่งที่ควรรักษาให้เร็วที่สุด โดยตรวจประเมินและหาวิธีที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลเช่น การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสะโพก เพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ หรือใช้อุปกรณ์เสริมต่างๆ เช่น taping bracing หรือ การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้า

กรณีที่มีความรุนแรงของโรคมามากหรือเกิดจากโครงสร้างที่ผิดปกติซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้ จำเป็นต้องผ่าตัด<sup>(11,12,13)</sup>

#### การออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้า (quadriceps strengthening exercise)

การรักษาเพื่อฟื้นฟูอาการ Patellofemoral pain โดยทั่วไปแล้วจะเน้นที่การออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้า<sup>(10)</sup> โดยเฉพาะที่กล้ามเนื้อ VMO ร่วมกับการลดแรงเครียดที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ด้วยเพื่อให้เกิดความสมดุลกันของกล้ามเนื้อ VMO และ VL ซึ่งกล้ามเนื้อทั้งสองมัดนี้เป็นกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่สร้างความมั่นคงให้กับกระดูกสะบ้า โดยในผู้ที่ เป็น PFPS มีการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อ VMO กล้ามเนื้อ VL ที่มีความแข็งแรงมากกว่า VMO ดึงกระดูกสะบ้าไปด้านนอก (Patella lateral tracking) ทำให้เกิด Patellofemoral joint reaction

stress มากขึ้น<sup>(9)</sup> ในอุดมคติ VMO : VL ratio มีค่า 1:1 มีงานวิจัยพบว่าในผู้ที่ เป็น PFPS มี VMO:VL ratio น้อยลง คือ น้อยกว่า 0.54:1<sup>(28)</sup> โดยทั่วไปการออกกำลังกายเพิ่มความแข็งแรงของ กล้ามเนื้อเหยียดเข่า ที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมี 2 ลักษณะ คือ

#### Open - kinetic chain exercise

การออกกำลังกายที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทำในท่าเหยียดเข่า เป็น การออกกำลังกายแบบ Open - kinetic chain มีลักษณะคือ ทำมีการเคลื่อนไหวอย่างอิสระ มี การเคลื่อนไหวเฉพาะข้อเข่าอย่างเดียว (single joint movement) ซึ่งเป็นแบบที่ใช้มานานและ แพทย์หลายมากในอดีต และมักใช้ในการรักษาผู้ที่มีกล้ามเนื้ออ่อนแรง เช่น seat knee extension

#### Closed - kinetic chain exercise

การออกกำลังกายที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทำในท่าเหยียดเข่า เป็น การออกกำลังกายแบบ Closed - kinetic chain มีลักษณะท่าถูกตรึงไว้กับพื้นหรือกับอุปกรณ์ เครื่องมือออกกำลังกาย มีการเคลื่อนไหวหลายข้อต่อ (multi - joint movement) ซึ่งเริ่มมีการนิยมนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้นในช่วงปัจจุบันนี้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ VMO (VMO strengthening)<sup>(14)</sup> เช่น semi- squat exercise, lunge exercise

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการออกกำลังกายแบบ Closed-kinetic chain exercise ดีกว่าแบบ Open-kinetic chain exercise ทั้งความสามารถในการลดปวด และเพิ่มความแข็งแรง ของกล้ามเนื้อ<sup>(15,16)</sup>

Semi- squat exercise เป็นการออกกำลังกายที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่ม ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ในยืนย่อขาแล้วเหยียดกลับไปสู่ท่าเริ่มต้น (ภาพที่ 3.16)

Lunge exercise เป็นการออกกำลังกายที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า โดยเริ่มต้นจากยืนมีเท้าหน้าและเท้าตาม แล้วย่อขานำลงแล้วเหยียดกลับไปสู่ท่าเริ่มต้น (ภาพที่ 3.17)

### **ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายที่เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เหยียดเข่า**

จากการศึกษาของ Clank และคณะ ในปี 2000<sup>(10)</sup> ศึกษาในผู้ที่เป็น PFPS จำนวน 81คน แบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดย บั้นจักรยาน ขึ้นลงบันได ผีเสื้อ wall squat เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยมีกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการ ออกกำลังกาย เมื่อประเมินการทำงานของข้อเข่าตามแบบประเมิน WOMAC พบว่ากลุ่มที่มีการ ออกกำลังกายมีคะแนนมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาของ Syme และคณะในปี 2009<sup>(29)</sup> ศึกษาผลของการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแบบเฉพาะเจาะจงกล้ามเนื้อ VMO และแบบเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อ Quadriceps ทั่วไป ในผู้ที่ เป็น PFPS ทั้งเพศชายและเพศหญิงจำนวน 69 คน โดยแบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบ VMO selective training กลุ่ม general quadriceps strengthening เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์หลังฝึกพบว่า กลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกายแบบ VMO selective training มีอาการปวดและลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและสามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าและมีการทำกิจกรรมทางกายที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาของ Witvrouw และคณะ ในปี 2000<sup>(16)</sup> ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบ open -kinetic chain เปรียบเทียบกับ closed - kinetic ในผู้ที่ เป็น PFPS เพศหญิงและเพศชายจำนวน 60 คนพบว่าผลด้าน functional ขณะออกกำลังกายแบบ closed - kinetic ดีกว่าแบบ open - kinetic เล็กน้อย

เช่นเดียวกับการศึกษาของ Bakhitriy และคณะในปี 2007<sup>(30)</sup> ซึ่งศึกษาการออกกำลังกายแบบ closed -kinetic chain คือแบบ semi - squat เปรียบเทียบกับ open - kinetic chain คือแบบ straight leg raise ในผู้ที่ เป็น PFPS เพศหญิงจำนวน 32 คน เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าในกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบ closed-kinetic chain มีการลดลงของ Q-angle, crepitation และเพิ่มขึ้นของ maximum isometric voluntary contraction force มากกว่ากลุ่ม open-kinetic chain อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาของ Simon และคณะในปี 2001<sup>(22)</sup> ศึกษา electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายแบบ closed-kinetic chain คือแบบ semi- squat เปรียบเทียบกับ open - kinetic chain คือแบบ isokinetic ในผู้ที่ เป็น PFPS และผู้ที่ สุขภาพดีทั้งเพศหญิงและเพศชายกลุ่มละ 10 คน พบว่า การออกกำลังกายแบบ closed - kinetic chain ขณะทิ้งอเข่าจาก 60 องศาไปสู่เหยียดเข้าสุด ทำให้เกิด VMO firing ได้สูงที่สุด และพบว่า ในผู้ที่ เป็น PFPS มีค่า VMO:VL ratio ต่ำกว่าผู้ร่วมวิจัยที่มีสุขภาพดีทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การออกกำลังกายแบบ Closed - kinetic chain exercise เกิดผลดีกว่าแบบ Open - kinetic chain exercise ทั้งความสามารถในการลดปวด ด้านการเพิ่มความสามรถขณะทำกิจกรรมและเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ<sup>(15,16,17)</sup>



ในปัจจุบันการออกกำลังกายท่า semi - squat เป็นท่าที่ใช้ออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Quadriceps strengthening exercise) ที่เป็นแบบ Closed-kinetic chain ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการนำมารักษา PFPS และการออกกำลังกายที่ต้องการเน้นไปที่เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ VMO โดยการศึกษารูปแบบของท่าออกกำลังกายแบบ semi- squat exercise มีทั้งแบบที่ศึกษาท่า semi- squat และ แบบที่ศึกษาการออกกำลังกายท่า semi- squat with hip adduction

จากการศึกษาของ Hertel และคณะในปี 2002 <sup>(32)</sup> ศึกษาการออกกำลังกายแบบ isometric knee extension ร่วมกับมี hip abduction และ hip adduction ในวัยรุ่นสุขภาพดี 8 คน ดูผลของการเปลี่ยนแปลง electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ Quadriceps พบว่าการออกกำลังกายโดย knee extension ร่วมกับ มี hip abduction และ hip adduction ไม่สามารถเพิ่ม electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ Quadriceps ได้ สรุปว่าควรออกกำลังกายที่เป็น uniplanar knee extension

จากการศึกษาของ Conqueiro และคณะ ในปี 2005 <sup>(33)</sup> ศึกษา electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ VMO และ vastus lateralis longus (VLL) ขณะทำท่าออกกำลังกายแบบ semi- squat without hip adduction และ semi- squat with hip adduction ในผู้ที่เป็น patellofemoral pain และกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี กลุ่มละ 10 คน พบว่าขณะออกกำลังกายแบบ semi - squat with hip adduction ได้ค่า electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ VMO และ VL มากกว่าขณะออกกำลังกายแบบ semi - squat without hip adduction อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาของ Boling และคณะในปี 2006 <sup>(34)</sup> ศึกษา electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ VMO และ VL ขณะทำท่าออกกำลังกาย 4 ท่าคือ ท่า squat without hip adduction ท่า squat with hip adduction พบว่า การทำท่า squat with hip adduction ทำให้ได้ค่า VMO activity และ VMO:VL ratio ไม่แตกต่างจากท่า squat

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การออกกำลังกายรูปแบบ closed - kinetic chain แบบ semi- squat with hip adduction ทำให้ได้ค่า electromyographic activity ของ VMO:VL ratio ที่มีทั้งมากกว่าและน้อยกว่าการออกกำลังกาย semi- squat without hip adduction แต่ยังไม่มีการศึกษาเรื่องผลของการ training ในท่าทั้งสองท่าว่าหลังจากฝึกไประยะเวลาหนึ่งแล้ว ผลการฝึกด้วยวิธีการทั้งสองจะให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าแตกต่างกันหรือไม่ ทั้งนี้ผลจาก ค่า electromyographic activity ของ VMO:VL ratio ที่มากกว่าการออกกำลังกาย semi - squat without hip adduction อาจเป็นผลมาจากขณะออกกำลังกายในท่า semi - squat with

hip adduction ทำให้เกิดการ crosstalk ของกล้ามเนื้อมัดอื่นที่อยู่ด้านใน เช่น adductor group muscle ซึ่งเป็นผลให้ได้ VMO:VL ratio ที่มากกว่าได้ ดังนั้นไม่ควรสรุปว่าการออกกำลังกายท่า semi - squat with hip adduction สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าได้มากกว่า การออกกำลังกายท่า semi - squat without hip adduction ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับการศึกษา ในปี 2009 Song<sup>(35)</sup> และคณะ ได้ศึกษาผลของ hip adduction ในขณะออกกำลังกายแบบ legpress ซึ่งเป็น การออกกำลังกายแบบ closed - kinetic chain โดยแบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ออกกำลังกายแบบ leg press, กลุ่ม leg press with hip adduction และเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ในผู้ที่ เป็น PFPS จำนวน 89 คน พบว่า จากการศึกษามorphology กลุ่ม leg press with hip adduction และ กลุ่ม leg press without hip adduction มี VMO cross - sectional area และ VMO volume ไม่แตกต่างกัน สรุปได้ว่าการมี hip adduction เพิ่มเข้ามาใน ขณะที่ออกกำลังกายแบบ closed - kinetic chain แบบ leg press ไม่ได้เป็นผลดีเพิ่มขึ้นเมื่อ เปรียบเทียบกับขณะที่ออกกำลังกายโดยไม่มี hip adduction ร่วมด้วย

การศึกษาของ Irish และคณะในปี 2010<sup>(17)</sup> ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบ closed - kinetic chain ในท่า lunge ท่า semi - squat with hip adduction และ open kinetic chain ใน ท่า open knee extension ในคนสุขภาพดีทั้งเพศชายและเพศหญิง จำนวน 22 คน พบว่าการออกกำลังกายท่า lunge ทำให้ได้ค่า Electromyographic activity ของ VMO:VL ratio มีค่า 1.14 ในการ ออกกำลังกายท่า semi - squat with hip adduction ได้ค่า Electromyography activity ของ VMO:VL ratio มีค่า 1.18 และการออกกำลังกายท่า open knee extension ได้ค่า Electromyographic activity ของ VMO:VL ratio มีค่า 0.72

การประเมินความแข็งแรงและประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อเหยียดเข้า มีหลายรูปได้แก่ การ วัด maximum voluntary isometric contraction force (MVIC) โดยใช้ dynamometer, การวัด functional strength เช่น sit to stand, jump performance , muscle morphology และการ ประเมิน Electromyographic activity ซึ่งสามารถใช้การศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อขณะใด ขณะหนึ่งได้ เหมาะที่จะนำมาใช้ในการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบ cross-sectional study<sup>(27)</sup>

### บททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral

การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า นอกจากจะศึกษาเพื่อหาท่าทางที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิด VMO firing มากแล้ว ยังควรต้องศึกษาถึงแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อ (Patellofemoral joint reaction force; PFJRF) เพื่อที่จะได้ทำออกกำลังกายที่เกิดความปลอดภัยต่อข้อ คือเกิดแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อที่น้อย ที่ผ่านมายังมีการศึกษาถึงแรงที่กระทำต่อข้อในขณะออกกำลังกายในท่าต่างๆ น้อยมาก การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อข้อ (PFJRF) ได้แก่

Montamand และคณะในปี 2010<sup>(37)</sup> ศึกษาผลของ patella taping ที่มีต่อ joint reaction force ขณะทำท่า squat ในผู้ที่เป็น PFPS และผู้ที่มีสุขภาพดี พบว่า หลังจาก taping สามารถลด joint reaction force ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าในผู้ที่เป็น PFPS และผู้ที่มีสุขภาพดี ไม่มีความแตกต่างกัน

Steinkamp และคณะในปี 1993 ศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายแบบ leg press และ knee extension ขณะงอเข่า 0-46 องศา พบว่าแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral จะเกิดน้อยกว่าเมื่อทำ leg press (CKC) และขณะงอเข่า 50-90 องศา แรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral จะเกิดน้อยกว่าเมื่อทำ knee extension<sup>(38)</sup>

Escamill และคณะในปี 2008 ศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายแบบ knee extension (OKC) แบบ leg press และแบบ vertical squat (CKC) พบเช่นเดียวกับการศึกษาของ Steinkamp คือ การออกกำลังกายแบบ OKC ทำให้เกิด PFPS น้อยกว่าในช่วง 57 องศาแรกของการงอเข่า<sup>(39)</sup>

แม้จะมีการศึกษาเรื่องท่าออกกำลังกายที่นำมาใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า แต่ยังไม่มีการศึกษาที่ศึกษาเฉพาะเจาะจงในการออกกำลังกายที่เป็น closed - kinetic chain โดยเฉพาะท่า lunge มีเพียงการศึกษาเดียวของ Irish และคณะในปี 2010<sup>(17)</sup> ที่ศึกษาเปรียบเทียบ electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ VMO และ VL ขณะทำท่าออกกำลังกายแบบ closed - kinetic chain และ open-kinetic chain ในท่า semi- squat with hip adduction ท่า lunge และท่า open - chain knee extension นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาที่มีการศึกษาทั้ง electromyographic activity ร่วมกับ patellofemoral joint reaction force (PFJRF) เพื่อจะได้ทราบว่าแรงที่กระทำต่อข้อขณะทำท่าออกกำลังกายเป็นอย่างไร

จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ในขณะที่มีท่าทางในการออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge ในกลุ่มอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิงเพื่อศึกษาว่าท่าในการออกกำลังกายทั้งสองมีผลต่อสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อแตกต่างกันอย่างไร และนอกจากนี้ยังศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ Patellofemoral แตกต่างกันอย่างไร ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำมาเลือกท่าออกกำลังกายที่เหมาะสมในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผู้ที่มีสุขภาพดีและผู้ที่มีปวดเข่าด้านหน้าจากภาวะ Patellofemoral pain และผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมทั่วไป

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยศึกษาครั้งนี้เป็นเป็นการศึกษาวิจัยโดยการสังเกตเชิงวิเคราะห์ (Cross – sectional Analytical Study Design) ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง เพื่อศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL และศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge

#### ประชากร

ประชากร (target population) สำหรับการศึกษานี้คือ คือ ผู้ที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า โดยมีประชากรตัวอย่าง (sample population) คือ อาสาสมัครเพศชายและหญิงชาวไทยที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย โดยมีเกณฑ์คัดเลือกดังต่อไปนี้

##### เกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าศึกษา (inclusion criteria)

- 1) คนไทยทั้งเพศหญิงและเพศชายมีอายุระหว่าง 18-35 ปี
- 2) มีสุขภาพแข็งแรง สมบูรณ์
- 3) ผู้เข้าร่วมงานวิจัยลงนามในใบแสดงความยินยอมในการเข้าร่วมศึกษาวิจัย

##### เกณฑ์ในการคัดออกจากการศึกษา (Exclusion Criteria)

- 1) มีอาการปวดเข่า หรือเคยได้รับการบาดเจ็บโดยตรงต่อเข่า
- 2) มีอาการข้อเข่าเสื่อม
- 3) มีประวัติการอักเสบของกล้ามเนื้อขาภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา
- 4) เคยมีการเคลื่อนหรือหลุดของกระดูกสะบ้า (Dislocation of subluxation in the PFJ)
- 5) มีการบาดเจ็บหรือเคยได้รับการบาดเจ็บบริเวณหมอนรองกระดูกเข่า (meniscus) เอ็นเข่า (ligament) และเอ็นของกระดูกสะบ้า (patella tendon)
- 6) เคยได้รับการผ่าตัดบริเวณข้อเข่าหรือรยางค์ขา

- 7) ขาสองข้างยาวต่างกันมากกว่า 5 มิลลิเมตร
- 8) มีความหนาของไขมันใต้ผิวหนังบริเวณที่ติด electrode ที่วัดด้วยวิธี skinfold measurement มากกว่า 4 เซนติเมตร
- 9) BMI มากกว่า 30 kg/m<sup>2</sup>
- 10) ทำการทดสอบไม่ครบตามกำหนด

### การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ใช้วิธีการเลือกตามจุดมุ่งหมาย (Purposive form) โดยสมัครใจและสมัครใจผู้เข้าร่วม การศึกษาวิจัยตามเกณฑ์การคัดเลือก จากนั้นจะจัดลำดับท่าออกกำลังกายท่า semi- squat และ ท่า lunge โดยใช้วิธีการสุ่มแบบบล็อก (Block randomization) เพื่อเป็นท่าที่ใช้เริ่มทดสอบก่อน

### การคำนวณขนาดตัวอย่าง

การกำหนดกลุ่มประชากรตัวอย่าง ได้มาจากการคำนวณหาขนาดกลุ่มประชากรตัวอย่าง จาก การศึกษานำร่อง (pilot study) ในผู้ที่มีสุขภาพดีจำนวน 10 คน อายุระหว่าง 21-26 ปี วัด อัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ Vastus medialis oblique (VMO) ต่อกกล้ามเนื้อ Vastus lateralis (VL) ซึ่งเทียบกับค่า maximum voluntary isometric contraction ขณะท่าท่า ออกกำลังกาย 2 ท่าคือ ท่าที่ 1 semi- squat ท่าที่ 2 ท่า lunge พบว่า ค่า VMO:VL ratio ในขณะ ออกกำลังกายแบบ semi- squat มีค่าเฉลี่ย 0.78±0.11 ในขณะออกกำลังกายแบบ semi- squat มีค่าเฉลี่ย 1.24± 0.18 สามารถคำนวณจำนวนประชากรตัวอย่างได้จากสูตร

$$n = z^2_{\alpha/2} PQ/d^2$$

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

$$P = \text{สัดส่วน EMG activity ขณะออกกำลังกายท่า lunge} \\ = 0.24$$

$$Q = 1 - 0.24$$

$$d = \text{acceptable error} = 0.10$$

$$n = (1.96)^2 (0.24)(0.76) / (0.1)^2 \\ = 70.07$$

ได้จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 71 คน

ในกรณีที่น่าค่า VMO: VL ratio ในท่า semi- squat มาใช้

$$n = z_{\alpha/2}^2 PQ/d^2$$

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

$$\begin{aligned} P &= \text{สัดส่วน EMG activity ขณะออกกำลังกายท่า semi- squat} \\ &= 0.78 \end{aligned}$$

$$Q = 1 - 0.98$$

$$d = \text{acceptable error} = 0.10$$

$$\begin{aligned} n &= (1.96)^2 (0.78)(0.22) / (0.1)^2 \\ &= 65.92 \end{aligned}$$

ได้จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 66 คน

ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 71 คน และเมื่อคำนวณเผื่อสำหรับ error อีก 10%

จึงต้องมีประชากรตัวอย่างทั้งสิ้น 79 คน

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบบันทึกข้อมูล แบบสอบถาม
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก (InBody 230)
3. คาร์ลิปเปอร์ (Caliper) สำหรับวัด skinfold thickness (Lange Bodyfat Skinfold

Caliper C-130)



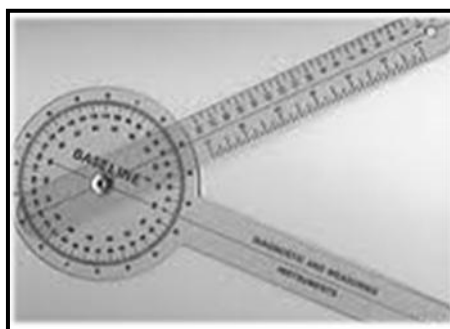
ภาพที่ 3.1 คาร์ลิปเปอร์ (Caliper) # Lange Bodyfat Skinfold Caliper C-130

4. สายวัด



ภาพที่ 3.2 สายวัด

5. Universal standard goniometer (12 ½" Jamar plastic goniometer )



ภาพที่ 3.3 Universal standard goniometer # Jamar®

6. นาฬิกาจับเวลา (JS-609, FBT®, China)  
 7. เตียงนอนสำหรับการตรวจประเมิน  
 8. เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ME 6000 software 700046 MegaWin ver.3.0



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ # ME 6000



9. กล้อง 6 ตัว (Oqus camera : marker capture frequency 120 Hz software Qualisys Motion Capture System และ Visual-3D Basic/RT ver.3.99.25.6)



ภาพที่ 3.5 กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว #Oqus camera

10. Force platform (Bertec ขนาด 400X600 mm #FP4060-08)



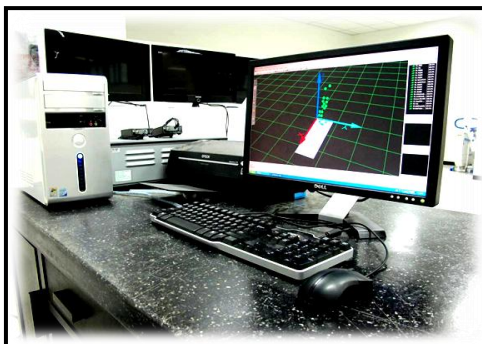
ภาพที่ 3.6 Force Platform; BERTEC # FP 4060-08

11. เครื่องวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ isokinetic dynamometer (Cybex 6000)



ภาพที่ 3.7 isokinetic dynamometer #Cybex 6000

12. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง เพื่อวิเคราะห์และบันทึกข้อมูลจากกล้องและ Force platform, คอมพิวเตอร์ 2 เพื่อวิเคราะห์และบันทึกข้อมูลจากเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ



ภาพที่ 3.8 คอมพิวเตอร์ใช้วิเคราะห์และบันทึกข้อมูล

13. ลูกบอล

14. Marker ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.9 Marker

15. ขั้วบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Adhesive Ag/AgCl surface electrodes (Blue sensor P<sup>®</sup>, Ambu, Denmark), adhesive area 754 mm<sup>2</sup>



ภาพที่ 3.10 ขั้วบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ # Blue sensor P<sup>®</sup>, Ambu

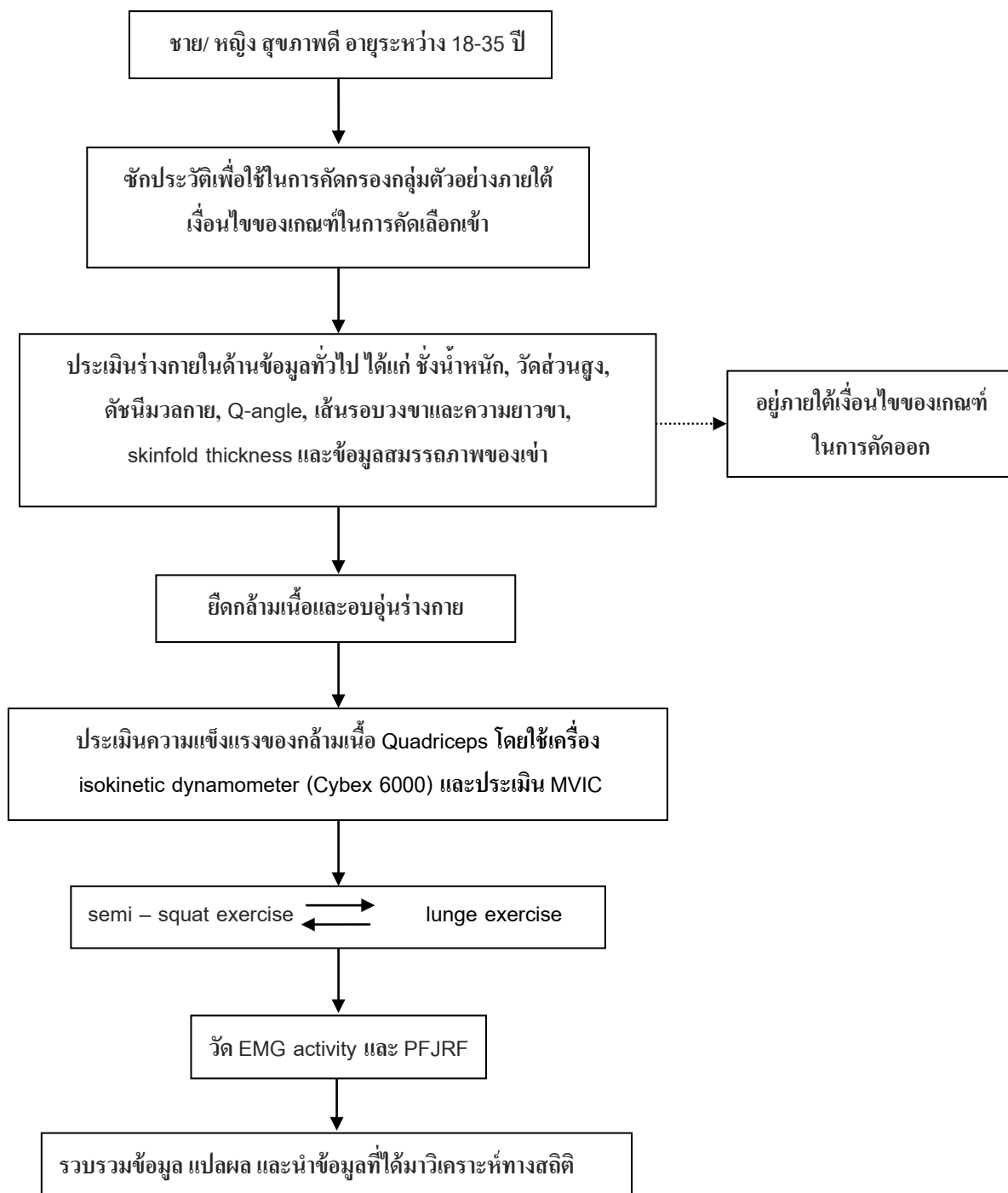
16. Transpore tape

17. กระดาษกาวสำหรับติด marker

18. แอลกอฮอล์ สำลี

19. แบบสอบถามและแบบบันทึกข้อมูล

## วิธีดำเนินการวิจัย



MVIC = maximum voluntary isometric contraction

EMG activity = electromyographic activity

PJRF = patellofemoral joint reaction force

↔ = สลับตามลำดับที่สุ่มได้

### ขั้นตอนการวิจัย

1. คัดผู้เข้าร่วมวิจัยตามเกณฑ์คัดเข้าและเกณฑ์การคัดออก
2. อธิบายวิธีทดสอบ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเข้าใจ และเซ็นยินยอม กรณียินดีเข้าร่วมโครงการ
3. บันทึกข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

3.1 เพศ, อายุ, อาชีพ และโรคประจำตัว

3.2 ประวัติเกี่ยวกับข้อเข่า โรคทางกระดูก กล้ามเนื้อและข้อ และประวัติอุบัติเหตุ

4. ประเมินและบันทึกข้อมูลด้านสรีรวิทยาของผู้เข้าร่วมวิจัย

4.1 ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง

4.2 ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเตะลูกบอล ขาข้างที่เตะลูกบอลคือข้างข้างถนัด

4.3 คำนวณดัชนีมวลกาย (body mass index; BMI)

4.4 วัดความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง

วิธีการวัด ผู้เข้าเข้าร่วมการวิจัยยืนในท่าพักขาข้างที่ใช้ทดสอบ ใช้ skinfold caliper ที่ตำแหน่ง 4 cm เหนือ superior border of patella ด้านใน (ตำแหน่งที่ติด electrode ของกล้ามเนื้อ VMO) และ 15 cm เหนือ superior border of patella ด้านนอก (ตำแหน่งที่ติด electrode ของกล้ามเนื้อ VL) ของขาข้างที่ทดสอบ วัดตำแหน่งละ 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย (ภาพที่ 3.11)



ภาพที่ 3.11 การวัดความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง

4.5 วัดเส้นรอบวงขาที่ตำแหน่ง 4 cm และ 15 cm เหนือ superior border of patella ของขาทั้งสองข้างโดยใช้สายวัด วัดซ้ำ 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

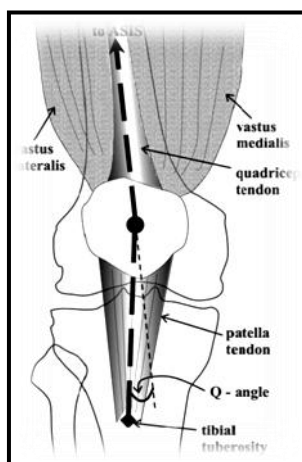
4.6 วัดความยาวขาในท่านอน เพื่อดูความแตกต่างของความยาวขาทั้งสองข้าง (leg - length discrepancy)

วิธีการวัด จัดตำแหน่งของร่างกายและให้ขาของผู้เข้าร่วมวิจัยอยู่ใน neutral hip position จับ medial malleolus เข้าด้วยกันในแนว midsagittal line ของร่างกาย วัดจากตำแหน่ง ASIS ไปตาม anteromedial ของต้นขา ลูกสะบ้า ขาส່วนล่าง จนถึงตำแหน่ง medial malleolus ของขาทั้งสองข้างโดยใช้สายวัด วัดซ้ำ 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย<sup>(33)</sup>

#### 4.7 วัด Quadriceps angle (Q-angle)<sup>(40,41)</sup>

วิธีการวัด วัดมุมระหว่างเส้นที่ลากจากปุ่มกระดูก Tibia (Tibia tubercle) ไปยังกึ่งกลางกระดูกสะบ้า (The middle of the patella) กับเส้นที่ลากจากกึ่งกลางกระดูกสะบ้าไปยัง Anterior Superior Iliac Spine (ASIS) ขณะเข้าเหยียดและกล้ามเนื้อ quadriceps ผ่อนคลาย โดยวัด 2 ท่าดังนี้ (ภาพที่ 3.12)

- ทำนอนโดยใช้ universal standard goniometer วัดซ้ำ 2 ครั้ง ของขาทั้งสองข้าง หาค่าเฉลี่ย
- ทำยืนโดยติด marker ที่ตำแหน่ง ASIS, central patella และ tibia tubercle ของขาทั้งสองข้าง ใช้การวิเคราะห์จาก 6-Oqus camera และโปรแกรม Qualisys Motion Capture System จากการถ่ายภาพด้วยกล้องวัดซ้ำ 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

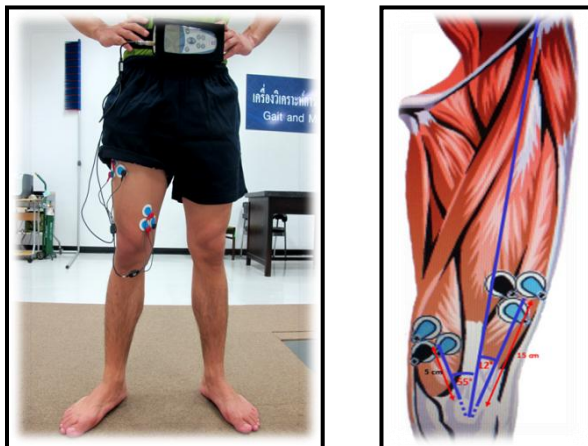


ภาพที่ 3.12 การวัด Quadriceps angle

5. จัดลำดับการทดสอบโดยการสุ่ม

6. โจนขนาบริเวณที่ต้องการติดขั้ว electrode และเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์

7. ติดขั้ว electrode ที่กล้ามเนื้อ VMO และ VL และติดเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ



ภาพที่ 3.13 การติดขั้ว electrode และเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ตำแหน่งการติดขั้ว electrode <sup>(42)</sup> (ภาพที่ 3.13) ลากเส้นอ้างอิงจาก anterosuperior iliac spine (ASIS) ไปยังกึ่งกลางของกระดูกสะบ้า (patella)

1. กล้ามเนื้อ VMO ติดที่ตำแหน่งห่างจาก superomedial of patella 5 cm โดยทำมุม 55 องศากับเส้นอ้างอิง โดยติด electrode 2 อันให้ขนานกันและห่างกัน 2 เซนติเมตร

2. กล้ามเนื้อ VL ติดที่ตำแหน่งห่างจาก superolateral of patella 15 cm โดยทำมุม 12 องศากับเส้นอ้างอิงโดยติด electrode 2 อันให้ขนานกันและห่างกัน 2 เซนติเมตร

3. ขั้วอ้างอิง (reference electrode) ของกล้ามเนื้อทั้งสองมัด ติด electrode ที่กล้ามเนื้อ VMO และ rectus femoris ตามลำดับ

8. ยึดกล้ามเนื้อ Quadriceps , hamstrings, Iliotibial band และ calf muscle ของขาทั้งสองข้าง ค้างไว้ กล้ามเนื้อละ 30 วินาที มัดละ 2 รอบ

9. ทดสอบหา MVIC เมื่อทำเสร็จแล้วพัก 4 นาที

### การทดสอบ MVIC

1. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนเก้าอี้มาตรฐานของเครื่อง isokinetic dynamometer (Cybex 6000) หลังพิง รััดลำตัว วัดมุมให้สะโพกงอ 90 องศา รััดบริเวณขาที่อ่อนล่างและทำให้ติดกับเครื่อง ตั้งมุมที่ทำการต้านที่มุมขณะงอเข้า 45 องศา
2. ออกคำสั่งให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเหยียดเข้าให้มากที่สุด เป็นระยะเวลา 6 วินาที โดยบันทึกค่า electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ VMO และ VL ที่วินาทีที่ 2 ถึง 6
3. ขณะทำการใช้คำสั่ง (verbal command) เพื่อให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงมากที่สุด โดยสั่งว่า “เหยียดอีก เหยียดอีก เหยียดอีก”
4. พัก 2 นาที ระหว่างครั้ง ทำซ้ำ 3 ครั้ง
5. เลือกค่า peak amplitude ของ electromyographic activity ของกล้ามเนื้อ VMO และ VL ที่มากที่สุดจากใน 3 ครั้งเพื่อนำมาเป็นค่า MVIC เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ EMG activity



ภาพที่ 3.14 การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบไอโซคิเนติก

10. ประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบไอโซคิเนติกและสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ด้วย Isokinetic dynamometer (Cybex 6000) และ เครื่องบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (ME 6000) ทดสอบที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที ในท่า knee extension
  - ผู้เข้าร่วมวิจัยอยู่ในท่านั่ง หลังตรงสะโพกงอ 90 องศา เข่างอ 90 องศา ป้องกันการเคลื่อนไหวของลำตัว สะโพก และต้นขาไว้ด้วยสายรัด ขาข้างที่จะทดสอบยึดติดกับ resistance pad ของเครื่องตรงตำแหน่งเหนือจาก lateral malleolus ประมาณ 1-2 cm ส่วนขาอีกข้างหนึ่งจะถูกจำกัดการเคลื่อนไหวไว้ (ภาพที่ 3.14)

- โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยใช้ขาข้างที่ถนัดออกแรงเหยียดเข่าโดยใช้คำสั่ง (verbal command) เพื่อให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงมากที่สุด ว่า “เหยียดอีก เหยียดอีก เหยียดอีก” ทดสอบ knee extension แบบ concentric โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งในท่าเริ่มต้น คือ ขาปล่อยอิสระจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเหยียดเข่าจนเข่าเหยียดตรง หลังจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัย ทดสอบ knee extension แบบ eccentric โดยใช้คำสั่งเช่นเดียวกันคือให้ออกแรงเหยียดเข่า แต่ลักษณะของเข่าจะเริ่มต้นจากเข่าเหยียดมาเป็นเข่างอ 90 องศาในช่วงสุดท้ายของการทดสอบ ก่อนทดสอบจริงให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทดลองทำเพื่อสร้างความคุ้นเคยกับเครื่องมือและโปรแกรม โดยทดลองทำ 3 ครั้ง แล้วพัก 30 วินาที หลังจากนั้นทดสอบจริง 3 ครั้ง โดยระหว่างการทดสอบจริงแต่ละครั้ง พักระหว่างการทดสอบ 1 นาที ขณะทำการทดสอบทำการบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อด้วย



ภาพที่ 3.15 ตำแหน่งที่ติด marker

11. ติด marker ที่ตำแหน่ง ASIS, greater trochanter, lateral of thigh, medial and lateral knee joint line, lateral of shank, medial and lateral malleolus, head of first and fifth metatarsal bone, base of fifth metatarsal bone ของข้างที่จะทำการทดสอบ (ภาพที่ 3.15)

12. ยืนขาเหยียดตรงทั้งสองข้างโดยให้ขาข้างที่จะทดสอบอยู่บน force platform เพื่อวัด Q-angle ในท่ายืนและทำการ identified ตำแหน่งของ marker

13. ฝึกท่าท่าออกกำลังกายทั้งสองให้ปฏิบัติได้ถูกต้อง หากยังทำได้ไม่ถูกต้อง ผู้วิจัยควบคุมและปรับเปลี่ยนท่าทางให้ถูกต้อง (ดังตารางที่ 3.1)



14. ทำท่าออกกำลังกายที่จะทดสอบท่าแรกโดยให้ขาข้างที่ต้องการทดสอบอยู่บน force platform เพื่อบันทึกแรงและบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

15. พัก 1 นาทีระหว่างครั้งที่ทำ ทำซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นพัก 2 นาที

16. ทำท่าออกกำลังกายที่จะทดสอบท่าที่ 2 ทำซ้ำเช่นเดียวกับท่าออกกำลังกายท่าแรก

#### การวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

1. หลังจากผู้เข้าร่วมวิจัยฝึกท่าท่าได้ถูกต้องแล้ว จะเริ่มบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขณะทำท่าออกกำลังกายที่ละท่า โดยเริ่มจากท่าที่สุ่มได้เป็นอันดับแรกก่อน

2. ทำท่าออกกำลังกายตามรูปแบบที่ดูในวิดีโอ โดยบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และ VL โดยใช้ trigger กด เพื่อแบ่งช่วง eccentric ขณะย่อขาเข้าและช่วง concentric ขณะเหยียดขาออกกลับสู่ท่าเริ่มต้น

3. การบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะทำพร้อมกับการวัดแรงที่กระทำต่อข้อ Patellofemoral

โดยบันทึกศักย์การทำงานของกล้ามเนื้อ ( $\mu V$ ) แต่ละมัดตลอดช่วงของ encentric และ concentric แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของศักย์การทำงานของกล้ามเนื้อ (RMS) นำค่าที่เปรียบเทียบเป็นสัดส่วนกับศักย์การทำงานของกล้ามเนื้อขณะกล้ามเนื้อทำงานสูงสุด (MVIC) เพื่อให้ได้ค่า EMG activity ของกล้ามเนื้อมัดนั้นๆ

ตารางที่ 3.1 แสดงท่าในการออกกำลังกาย

Semi- squat exercise <sup>(43)</sup>	Lunge exercise
<p>1. ยืนตรง เท้าทั้งสองข้างห่างเท่ากับความกว้างของสะโพก มือทั้งสองข้างวางบนสะโพกบน (สะเอว) ตามองตรง หลังตรง</p> <p>2. ย่อตัวลง งอเข่าให้มุมที่เข่าอง 45 องศา หลังตรง ตามองตรง มือยังวางบนสะโพกบน ตลอดช่วงการเคลื่อนไหว</p> <p>3. เหยียดเข่าขึ้นกลับไปสู่ท่าเริ่มต้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแต่ความถนัดในแต่ละคน</p>	<p>1. ยืนตรง เท้าทั้งสองข้างห่างเท่ากับความกว้างของสะโพก มือทั้งสองข้างวางบนสะโพกบน (สะเอว) ตามองตรง หลังตรง</p> <p>2. ก้าวเท้าที่จะทดสอบไปด้านหน้าห่างจากเท้าอีกข้าง 2 ก้าว ย่อตัวลงให้เข่าที่ทดสอบอง 45 องศา ตามองตรง</p> <p>3. เหยียดเข่าขึ้นกลับไปสู่ท่าเริ่มต้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแต่ความถนัดในแต่ละคน</p>
 <p data-bbox="405 1653 735 1693">ภาพที่ 3.16 ท่า semi-squat</p>	 <p data-bbox="991 1653 1251 1693">ภาพที่ 3.17 ท่า lunge</p>

การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อข้อ (Patellofemoral joint reaction force; PFJRF)

1. ในการวิเคราะห์ PFJRF ทำในขณะเดียวกับที่ขณะวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยที่ให้ผู้เข้าร่วมวิจัย ยืนทำท่าออกกำลังภายในท่าทั้งสอง โดยให้ขาข้างที่ต้องการทดสอบยืนอยู่บน Force platform ขาอีกข้างอยู่ด้านนอก

2. ทำท่าออกกำลังกาย บันทึกข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Qualisys Motion Capture System และ Visual-3D Basic/RT

3. พัก 1 นาที ระหว่างครั้ง ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วพักระหว่างท่า 2 นาที เปลี่ยนท่าแล้วทำด้วยวิธีการเช่นเดียวกับท่าแรก

นำค่าที่ได้มาคำนวณ patellofemoral joint reaction force (PFJRF) โดยใช้สูตร<sup>(44,45,46)</sup>

$$F_q = M_k / L_q$$

$$L_q = 8.0e^{-5}X^3 - 0.013X^2 + 0.28X + 0.046$$

$$PFJRF = F_q \cdot k$$

$$k = \frac{-3.8e^{-5}x^2 + 1.5e^{-3}x + 0.462}{-7.0e^{-7}x^3 + 1.6e^{-4}x^2 - 0.016x + 1}$$

$M_k$  ; net knee moment (N·m)

$L_q$  ; the moment arm for the quadriceps (m)

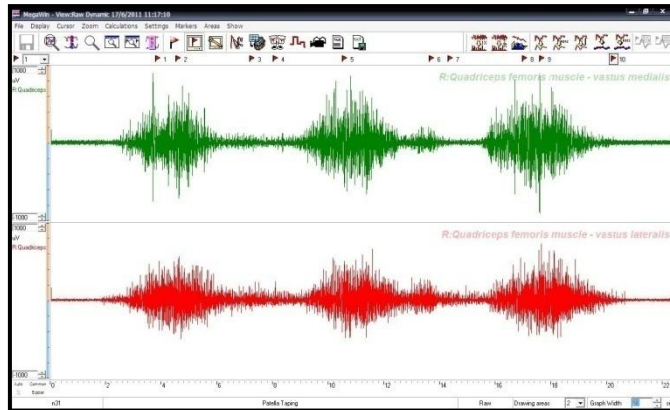
$F_q$  ; quadriceps force (N)

$k$  ; constant

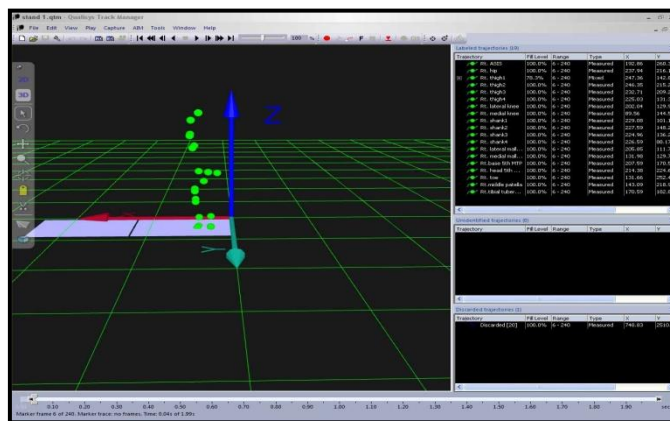
PFJRF ; patellofemoral joint reaction force (N)

$X$  ; knee joint angle (degree)

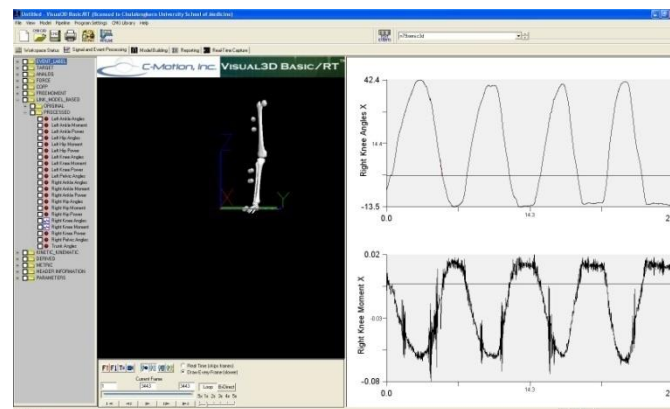
4. นำค่าที่ได้แต่ละครั้งมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย เพื่อเป็นตัวแทนของค่า PFJRF ในท่าออกกำลังกายนั้นๆ ในผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน



ภาพที่ 3.18 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ได้จากโปรแกรม MegaWin



ภาพที่ 3.19 ภาพที่ได้จากโปรแกรม Qualisys Motion Capture System



ภาพที่ 3.20 โปรแกรม Visual-3D วิเคราะห์มุมการงอข้อเข่าและโมเมนต์ข้อเข่า

### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลพื้นฐาน (ใช้สถิติเชิงพรรณนา) แสดงผลข้อมูลพื้นฐาน น้ำหนัก ส่วนสูง Q-angle ความยาวรยางค์ขา เส้นรอบวงขา ของผู้เข้าร่วมวิจัยซึ่งจะแสดงค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
  2. การเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า VMO และ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge ใช้สถิติ unpaired t-test เนื่องจากมีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ
  3. การเปรียบเทียบความแตกต่างของแรงที่กระทำต่อข้อแรงที่กระทำต่อข้อ Patellofemoral ขณะออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge ใช้สถิติแบบ Mann-Whitney U test เนื่องจากไม่ได้มีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ
  4. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ( $p < 0.05$ )
- การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดใช้โปรแกรม SPSS สำหรับ Window เวอร์ชัน 17 (ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์

การศึกษานี้เป็นการศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเหยียดเข่า VMO และ VL รวมทั้งศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat และท่า lunge วิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในชาวไทย จำนวน 86 คน อายุ 18-32 ปี เป็นเพศชายจำนวน 40 คน และเพศหญิงจำนวน 46 คน ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดถูกทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และนำเสนอข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเหยียดเข่า VMO และ VL

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและแรงที่กระทำต่อของ patellofemoral ได้แก่ เพศและขนาดของ Q-angle

## ผลการวิเคราะห์

### ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

จากการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat และท่า lunge ได้แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย ดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการวิจัย จำนวน 86 คน

ข้อมูลทั่วไป	$\bar{X} \pm S.D.$	Range (min-max)
อายุ (ปี)	22.74 $\pm$ 3.02	18 – 32
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	57.23 $\pm$ 10.25	40.00 – 93.00
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	165.60 $\pm$ 7.97	146.50 – 183.00
BMI (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	20.77 $\pm$ 2.70	16.08 – 28.70
Q-angle ของขาข้างที่ถนัดวัดในท่านอน (องศา)	19.91 $\pm$ 5.78	9.00 – 31.50
Q-angle ของขาข้างที่ถนัดวัดในท่านยืน (องศา)	22.60 $\pm$ 6.13	11.28 – 35.21

ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย จำนวน 86 คน อายุ 18-32 ปี เป็นเพศชายจำนวน 40 คน (46.5%) และเพศหญิงจำนวน 46 คน (53.5%) มีผู้ถนัดขาข้างขวา 79 คน (91.9%) ถนัดขาข้างซ้าย 7 คน (8.1%) น้ำหนักตัวเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปกติ ค่าเฉลี่ย Q-angle ที่วัดในท่านยืนมีค่าสูงกว่าท่านอน โดยเมื่อแยกตามเพศชายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $16.31 \pm 4.01$  องศาเมื่อวัดในท่านอนหงาย และเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $23.01 \pm 5.33$  องศา

**ตารางที่ 4.2** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของ peak torque และ peak torque/body weight ของผู้เข้าร่วมวิจัย จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic

ลักษณะ	Peak torque (N*m)	Peak torque/body weight (N*m/kg)
Concentric	76.15 $\pm$ 36.41	1.29 $\pm$ 0.46
Eccentric	133.76 $\pm$ 50.73	2.32 $\pm$ 0.70

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าโดยทดสอบแบบ isokinetic ที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยทอร์กสูงสุดและทอร์กสูงสุดต่อน้ำหนักตัวขณะทำการทดสอบแบบ eccentric สูงกว่าแบบ concentric

## ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับไฟฟ้ากล้ามเนื้อเหยียดเข้า VMO และ VL

ค่าเฉลี่ยสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic คำนวณจากศักย์การทำงานของกล้ามเนื้อ ( $\mu\text{V}$ ) แต่ละมัดตลอดช่วงของ eccentric และ concentric แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของศักย์การทำงานของกล้ามเนื้อ (RMS) นำค่าที่เปรียบเทียบเป็นสัดส่วนกับศักย์การทำงานของกล้ามเนื้อขณะกล้ามเนื้อทำงานสูงสุด (MVIC) เพื่อให้ได้ค่า EMG activity ของกล้ามเนื้อมัดนั้นๆ ในผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 86 คน แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi-

Muscles	Semi- squat	Lunge	Isokinetic 120°/s
<u>Eccentric</u>			
VMO	0.2107 $\pm$ 0.1643	0.2742 $\pm$ 0.0225	0.6124 $\pm$ 0.0171
VL	0.1946 $\pm$ 0.0103	0.2307 $\pm$ 0.0141	0.5994 $\pm$ 0.0151
VMO:VL	1.0493 $\pm$ 0.5811	1.2269 $\pm$ 0.6112	1.0458 $\pm$ 0.2456
<u>Concentric</u>			
VMO	0.2238 $\pm$ 0.1717	0.3097 $\pm$ 0.0250	0.6129 $\pm$ 0.0188
VL	0.2283 $\pm$ 0.1069	0.2731 $\pm$ 0.0165	0.5824 $\pm$ 0.1575
VMO:VL	0.9648 $\pm$ 0.5405	1.1459 $\pm$ 0.5657	1.0691 $\pm$ 0.2404

squat ท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic

เมื่อเปรียบเทียบ EMG activity ของกล้ามเนื้อ VMO ในแบบ eccentric พบว่าขณะออกกำลังกายท่า lunge ทำให้ได้ค่า EMG activity สูงกว่าท่า semi-squat แต่ได้ EMG activity เพียง



44.8 % และ 34.4% ของเมื่อวัดในขณะทำ isokinetic test ในการศึกษา EMG activity ของกล้ามเนื้อ VL ก็ได้ผลลักษณะเดียวกัน และได้ EMG activity เพียง 38.5 % และ 32.5 % ของขณะทำ isokinetic test แต่เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO:VL พบว่าสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO:VL ขณะออกกำลังกายท่า lunge สูงที่สุด โดยสูงกว่าขณะออกกำลังกายท่า semi- squat และขณะทดสอบ isokinetic 17.7% และ 18.2 % และ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบ EMG activity ของกล้ามเนื้อ VMO ในแบบ concentric พบว่าขณะออกกำลังกายท่า lunge ทำให้ได้ค่า EMG activity สูงกว่าท่า semi- squat แต่ได้ EMG activity เพียง 50.6 % และ 36.5% ของเมื่อวัดในขณะทำ isokinetic test ในการศึกษา EMG activity ของกล้ามเนื้อ VL ก็ได้ผลลักษณะเดียวกัน และได้ EMG activity เพียง 46.9 % และ 39.2 % ของขณะทำ isokinetic test แต่เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO:VL พบว่าสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO:VL ขณะออกกำลังกายท่า lunge สูงที่สุด โดยสูงกว่าขณะทดสอบ isokinetic และขณะออกกำลังกายท่า semi- squat 7.7% และ 18.1 % และ ตามลำดับ

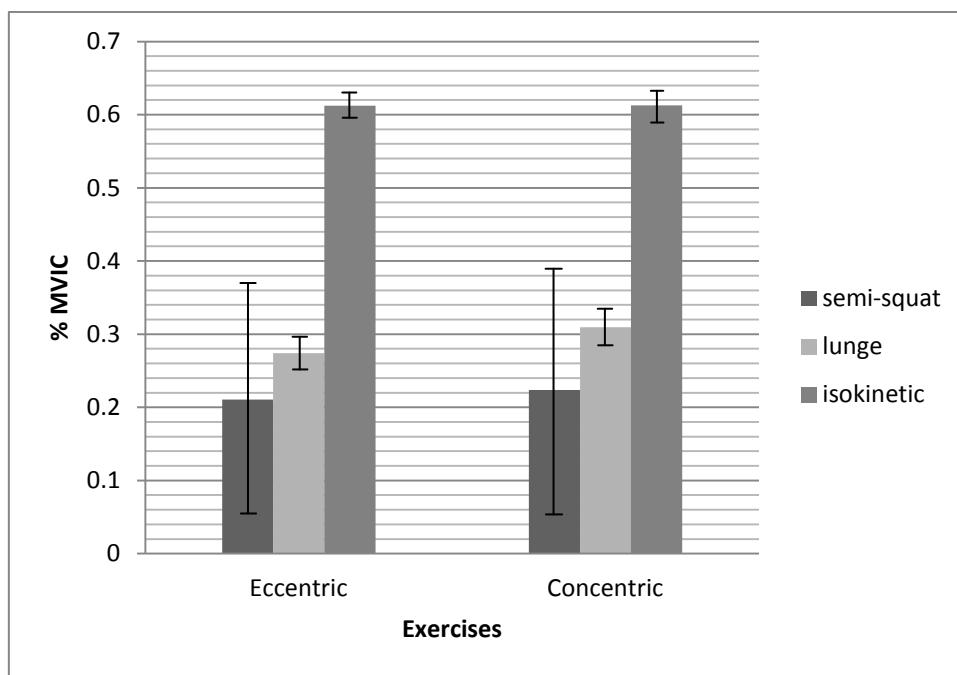
ค่าเฉลี่ยสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL ในท่า lunge สูงกว่าท่า semi- squat อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งรูปแบบ concentric และ eccentric โดยแบบ eccentric สูงกว่าแบบ concentric โดยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge

	EMG activity	Semi- squat	lunge	%Diff	95%CI	<i>P-value</i>
VMO	Concentric	0.2238 ± 0.1717	0.3097 ± 0.0250	25.81	-0.1474 -0.0244	.006
	Eccentric	0.2107 ± 0.1643	0.2742 ± 0.0225	21.98	-0.1200 -0.0071	.028
VL	Concentric	0.2283 ± 0.1069	0.2731 ± 0.0165	9.47	-0.0846 -0.0051	.027
	Eccentric	0.1946 ± 0.0103	0.2307 ± 0.0141	9.84	-0.0706 -0.0017	.040
VMO:VL	Concentric	0.9648 ± 0.5405	1.1459 ± 0.5657	15.57	-0.3456 -0.0167	.031
	Eccentric	1.0493 ± 0.5811	1.2269 ± 0.6112	15.50	-0.3598 -0.0075	.049

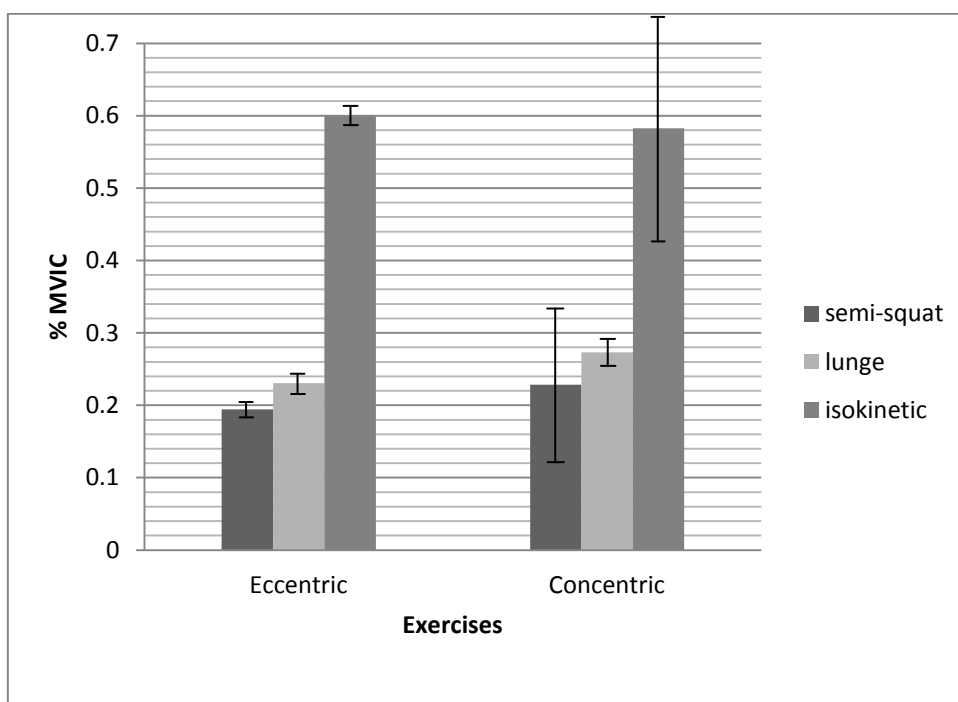
Unpaired t-test

**แผนภูมิที่ 4.1** แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic



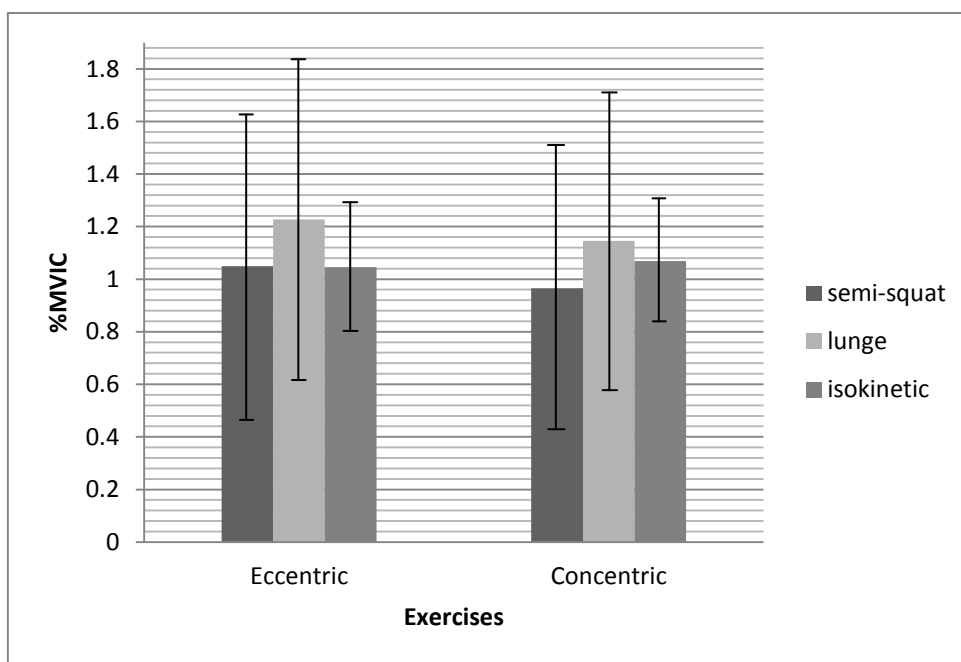
จากแผนภูมิที่ 4.1 เมื่อพิจารณาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic พบว่าขณะออกกำลังกายท่า lunge แบบ eccentric ทำให้ได้ค่า EMG activity สูงกว่าท่า semi-squat แต่ได้ EMG activity เพียง 38.5 % และ 32.5 % ของเมื่อวัดในขณะทำ isokinetic test ในแบบ concentric พบว่าขณะออกกำลังกายท่า lunge ทำให้ได้ค่า EMG activity สูงกว่าท่า semi- squat แต่ได้ EMG activity เพียง 50.6 % และ 36.5% ของเมื่อวัดในขณะทำ isokinetic test

แผนภูมิที่ 4.2 แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic



จากแผนภูมิที่ 4./ เมื่อพิจารณาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic พบว่า ขณะออกกำลังกายท่า lunge แบบ eccentric ทำให้ได้ค่า EMG activity สูงกว่าท่า semi- squat แต่ได้ EMG activity เพียง 44.8 % และ 34.4% ของเมื่อวัดในขณะทำ isokinetic test ในแบบ concentric พบว่าขณะออกกำลังกายท่า lunge ทำให้ได้ค่า EMG activity สูงกว่าท่า semi- squat แต่ได้ EMG activity เพียง 46.9 % และ 39.2 %ของเมื่อวัดในขณะทำ isokinetic test

แผนภูมิที่ 4.3 แสดงสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO : VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic



จากแผนภูมิที่ 4.3 เมื่อพิจารณาสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้า VMO : VL (VMO: VL ratio) ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic พบว่าขณะออกกำลังกายแบบ lunge ทำให้ VMO:VL ratio สูงที่สุด โดยแบบท่า lunge แบบ eccentric ทำให้ VMO:VL ratio สูงกว่า concentric และขณะท่าแบบ eccentric ท่า semi- squat ทำให้ VMO:VL ratio สูงกว่าขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic แต่ขณะท่าแบบ concentric ขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic ทำให้ VMO:VL ratio สูงกว่าขณะท่าท่า semi- squat หากเรียงลำดับ VMO:VL ratio จากมากไปน้อยจะได้ดังนี้ LE> LC> IC> SE> IE > SC

(L; lunge exercise, S; semi- squat exercise, I; isokinetic test, E; eccentric, C; concentric)

### ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral

จากการที่ผู้เข้าร่วมวิจัยทำท่าออกกำลังกายท่า semi-squat และท่า lunge บน force platform และคำนวณแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral (patellofemoral joint reaction force ; PFJRF) และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ต่อน้ำหนักตัว (patellofemoral joint reaction force/body weight ; PFJRF/BW) ขณะทำท่า semi- squat และท่า lunge

Parameter	Semi- squat	Lunge	<i>P</i> - value
PFJRF (N)	1766.24 ± 374.66	2419.60 ± 541.93	.000
PFJRF/BW	3.24 ± 0.86	4.44 ± 1.26	.000

Mann - Whitney U Test

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral และค่าเฉลี่ยแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ต่อน้ำหนักตัว โดยใช้สถิติในการทดสอบ Mann-Whitney U Test ขณะทำท่าออกกำลังกายท่า lunge มีค่าสูงกว่าท่า semi- squat พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### ตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและแรงที่กระทำต่อของ patellofemoral ได้แก่ เพศและขนาดของ Q-angle

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Peak Torque ระหว่างเพศชายและเพศหญิงจากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic

Isokinetic 120°/sec		ชาย	หญิง	95% CI	p	
		N = 40	N = 46			
Peak	Con	101.08±36.54	54.48±17.70	34.54	58.67	.000
Torque(N·m)	Ecc	157.48±53.47	113.12±38.05	24.12	64.60	.000

Mann - Whitney U Test

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Peak Torque ระหว่างเพศชายจำนวน 40 คนและเพศหญิงจำนวน 46 คน จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic ที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที พบว่า เพศชายมีค่าเฉลี่ย Peak Torque สูงกว่าเพศหญิงทั้งแบบ concentric และแบบ eccentric

**ตารางที่ 4.7** เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ระหว่างเพศชายและเพศหญิงขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat

Semi- squat		ชาย	หญิง	Diff	95% CI	p	
Ex	N = 40	N = 46					
VMO	Con	0.1806±0.1091	0.2339±0.1452	-0.0533	-0.1091	0.0025	.061
	Ecc	0.1660±0.0919	0.2217±0.1353	-0.0557	-0.1061	-0.0054	.031
VL	Con	0.2076±0.1112	0.2469±0.0989	-0.0392	-0.0843	0.0058	.087
	Ecc	0.1738±0.0921	0.2136±0.0931	-0.0388	-0.0786	0.0010	.056
VMO:VL	Con	0.9849±0.6296	0.9474±0.4558	0.0375	-0.1961	0.2711	.750
	Ecc	1.0637±0.6591	1.0368±0.5109	0.0268	-0.2244	0.2780	.832
PFJRF		1780.20±395.70	1754.09±356.59	26.10	-136.55	188.76	.945*

Unpaired t-test, Mann - Whitney U Test\*

เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL ในท่า semi- squat ระหว่างเพศชายจำนวน 40 คนและเพศหญิงจำนวน 46 คน พบว่า EMG activity ของเพศหญิงสูงกว่าเพศชายทั้งในแบบ eccentric และแบบ concentric และ EMG activity ของกล้ามเนื้อ VMO ขณะทำงานแบบ eccentric ของเพศหญิงสูงกว่าเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ของเพศชายมีค่าสูงกว่าเพศหญิงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 4.8** เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ระหว่างเพศชายและเพศหญิงขณะออกกำลังกายในท่า lunge

Lunge Ex		ชาย N = 40	หญิง N = 46	Diff	95% CI		p
VMO	Con	0.2454±0.1286	0.3384±0.2527	-0.0931	-0.1777	-0.0084	.032
	Ecc	0.2118±0.1110	0.3094±0.2158	-0.0976	-0.1701	-0.0251	.009
VL	Con	0.2447±0.1286	0.3005±0.1663	-0.0558	-0.1203	0.0087	.089
	Ecc	0.2050±0.1099	0.2549±0.1423	-0.0499	-0.1050	0.0053	.076
VMO:VL	Con	1.1358±0.5944	1.1546±0.5178	0.0375	-0.3340	0.1938	.877
	Ecc	1.1921±0.6595	1.2622±0.5714	0.0268	-0.3370	0.1968	.599
PFJRF		2369.64±633.39	2463.05±450.44	-93.42	-333.13	146.30	.755*

Unpaired t-test, Mann - Whitney U Test\*

เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL ในท่า semi- squat ระหว่างเพศชายจำนวน 40 คนและเพศหญิงจำนวน 46 คน พบว่า EMG activity ของเพศหญิงสูงกว่าเพศชายทั้งในแบบ eccentric และแบบ concentric และ EMG activity ของกล้ามเนื้อ VMO ขณะทำงานแบบ eccentric ของเพศหญิงสูงกว่าเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ของเพศชายมีค่าสูงกว่าเพศหญิงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 4.9** เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Peak Torque ในเพศชายระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic

Isokinetic 120°/sec		$Q \leq 15^\circ$ N = 19	$Q > 15^\circ$ N = 21	95% CI		p
Peak Torque	Con	103.32 ± 42.44	99.06 ± 31.20	-19.43	27.94	.728
	Ecc	143.37 ± 50.03	170.25 ± 54.42	-60.46	6.69	.138

Mann - Whitney U Test

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Peak Torque ในเพศชายจำนวน 40 คน ระหว่างกลุ่มที่มี Q-angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q-angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic ที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที พบว่าทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ย Peak Torque ไม่แตกต่างกันทั้งขณะทำงานแบบ concentric และแบบ eccentric

**ตารางที่ 4.10** เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศชายระหว่างกลุ่มที่มี Q-angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q-angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat

Semi-squat Ex		$Q \leq 15^\circ$ N = 19	$Q > 15^\circ$ N = 21	95% CI		p
VMO	Con	0.1719±0.0796	0.1886±0.1317	-0.0873	0.0539	.635
	Ecc	0.1640±0.0772	0.1678±0.1053	-0.0625	0.0551	.899
VL	Con	0.2200±0.1121	0.1965±0.1119	-0.0483	0.0952	.513
	Ecc	0.1901±0.0992	0.1591±0.0847	-0.0284	0.0905	.297
VMO:VL	Con	0.8790±0.4454	1.0806±0.7576	-0.5971	0.1938	.307
	Ecc	0.9280±0.4410	1.1864±0.7991	-0.6691	0.1524	.209
PFJRF		1880.06±461.61	1689.85±309.02	-136.55	-59.02	.439*

Unpaired t-test, Mann - Whitney U Test\*

เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกกล้ามเนื้อ VL ในเพศชายระหว่างกลุ่มที่มี Q-angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q-angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า semi-squat พบว่า EMG activity ของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral กลุ่มที่มี Q-angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) มีแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral สูงกว่าแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศชายระหว่างกลุ่มที่มี Q-angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q-angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า lunge

Lunge Ex		$Q \leq 15^\circ$ N = 19	$Q > 15^\circ$ N = 21	95% CI		p
VMO	Con	0.2648±0.1313	0.2277±0.1265	-0.0456	0.1199	.370
	Ecc	0.2257±0.1173	0.1992±0.1062	-0.0455	0.0984	.461
VL	Con	0.2765±0.1419	0.2159±0.1108	-0.0219	0.1429	.145
	Ecc	0.2347±0.1259	0.1782±0.0875	-0.0141	0.1270	.113
VMO:VL	Con	1.0941±0.5825	1.1735±0.6167	-0.4633	0.3045	.678
	Ecc	1.1159±0.6447	1.2610±0.6807	-0.5695	0.2792	.493
PFJRF		2612.57±559.99	2149.84±627.13	80.53	844.91	.025*

Unpaired t-test, Mann - Whitney U Test\*

เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL ในเพศชายระหว่างกลุ่มที่มี Q-angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q-angle มากกว่าปกติ ( $Q > 15^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า lunge พบว่า EMG activity ของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral กลุ่มที่มี Q-angle ปกติ ( $Q \leq 15^\circ$ ) มีแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral สูงกว่ากลุ่มที่มี Q-angle มากกว่าปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 4.12** เปรียบเทียบ Peak Torque ในเพศหญิงระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) และมากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic

Isokinetic 120°/sec		$Q \leq 20^\circ$ N = 15	$Q > 20^\circ$ N = 31	p
Peak	Con	53.18 ± 15.01	55.11 ± 19.07	.815
Torque	Ecc	112.02 ± 22.20	113.66 ± 44.05	.761

Mann - Whitney U Test

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Peak Torque ในเพศหญิงจำนวน 46 คน ระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) จำนวน 15 คน และกลุ่มที่มี Q-angle มากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) จำนวน 31 คน จากการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic ที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที พบว่าทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ย Peak Torque ไม่แตกต่างกันทั้งขณะทำงานแบบ concentric และแบบ eccentric

**ตารางที่ 4.13** เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศหญิงระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat

Semi- squat Ex		$Q \leq 20^\circ$ N = 15	$Q > 20^\circ$ N = 31	95% CI	p	
VMO	Con	0.2990±0.1653	0.2025±0.1256	-.0036	.1965	.058
	Ecc	0.2760±0.1380	0.1955±0.1281	-.0067	.1676	.069
VL	Con	0.3129±0.1302	0.2149±0.0594	.0235	.1723	.013
	Ecc	0.2665±0.1300	0.1865±0.0544	.0060	.1539	.036
VMO:VL	Con	0.9657±0.2988	0.9385±0.5193	-.2649	.3191	.852
	Ecc	1.0942±0.3900	1.0090±0.5641	-.2413	.4116	.602
PFJRF		1902.82±400.45	1682.18±315.42	2.20	439.27	.066*

Unpaired t-test, Mann - Whitney U Test\*

เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL ในเพศหญิงระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat พบว่า EMG activity ของกลุ่มที่มี Q- angle ปกติสูงกว่ากลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ทุก parameter ทั้งขณะทำงานแบบ concentric และ eccentric และ EMG activity ของกล้ามเนื้อ VL ขณะทำงานแบบ concentric ของกลุ่มที่มี Q- angle ปกติสูงกว่ากลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral กลุ่มที่มี Q- angle ปกติ มีแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral สูงกว่ากลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 4.14** เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศหญิงระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า lunge

Lunge Ex		Q $\leq$ 20 $^\circ$ N = 15	Q $>$ 20 $^\circ$ N = 31	95% CI		p
VMO	Con	0.4559 $\pm$ 0.3590	0.2816 $\pm$ 0.1594	0.0212	0.3274	.027
	Ecc	0.3896 $\pm$ 0.2969	0.2706 $\pm$ 0.1548	-0.0146	0.2524	.080
VL	Con	0.3987 $\pm$ 0.2203	0.2530 $\pm$ 0.1082	0.0487	0.2427	.004
	Ecc	0.3313 $\pm$ 0.2001	0.2179 $\pm$ 0.0858	0.0288	0.1977	.010
VMO:VL	Con	1.1831 $\pm$ 5.0319	1.1408 $\pm$ 5.3230	-0.2893	0.3739	.798
	Ecc	1.2572 $\pm$ 5.0861	1.2646 $\pm$ 6.0747	-0.3736	0.3589	.968
PFJRF		2663.77 $\pm$ 448.57	2366.01 $\pm$ 424.95	23.44	571.88	.038*

Unpaired t-test, Mann - Whitney U Test\*

เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO และ VL ในเพศหญิงระหว่างกลุ่มที่มี Q- angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) และกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ( $Q > 20^\circ$ ) ขณะออกกำลังกายในท่า lunge พบว่า EMG activity ของกลุ่มที่มี Q- angle ปกติสูงกว่ากลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ

ทั้งขณะกล้ามเนื้อทำงานแบบ concentric และ eccentric อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อก่อนกล้ามเนื้อ VL ทั้งขณะกล้ามเนื้อทำงานแบบ concentric และ eccentric ไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral กลุ่มที่มี Q-angle ปกติ ( $Q \leq 20^\circ$ ) มีแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral สูงกว่ากลุ่มที่ Q-angle มากกว่าปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge และศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายในท่า semi - squat และท่า lunge ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ในท่าที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยเกิดแรงต่อเข่าน้อยที่สุด

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยการสังเกตเชิงวิเคราะห์ (Cross – sectional Analytical Study Design) ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้เป็นอาสาสมัครที่เป็นนิสิตบุคลากร และบุคคลทั่วไปชาวไทยที่มีสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ จำนวน 86 คน อายุ 18-25 ปี เป็นเพศชายจำนวน 40 คน และเพศหญิงจำนวน 46 คน โดยดำเนินการเก็บข้อมูลของผู้เข้าร่วมวิจัย ตั้งแต่เดือนเมษายน 2554 ถึงเดือนกรกฎาคม 2554 ภายในศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ด้านการเดินและการเคลื่อนไหว ร.พ.จุฬาลงกรณ์ อาคารแพทยพัฒน์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และ VL ตลอดช่วงการทดสอบ โดยทดสอบความแข็งแรงทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าแบบ isokinetic และทำท่าออกกำลังกายท่า semi- squat และท่า lunge ท่าละ 3 ครั้ง บน force platform เพื่อบันทึกแรง

#### อภิปรายผลการวิจัย

##### ผลของการออกกำลังกายท่า semi- squat และท่า lunge ต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

จากวัตถุประสงค์การศึกษานี้ข้อแรกเพื่อศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge เพื่อหาท่าออกกำลังกายที่กระตุ้นให้เกิดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL สูงที่สุดจากการศึกษาพบว่าตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าการออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge มีผลต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL แตกต่างกัน คือการออกกำลังกายท่า lunge กระตุ้นให้เกิดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO, VL มากกว่าออกกำลังกายท่า semi- squat อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งขณะออกแรงแบบ

eccentric และแบบ concentric ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Irish และคณะ<sup>(17)</sup> ที่พบว่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO ในขณะออกกำลังกายทั้งสองท่าไม่นั้นไม่แตกต่างกัน และสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายท่า lunge น้อยกว่าท่า semi-squat ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาของ Irish และคณะ เป็นการออกกำลังกายท่า semi-squat with hip adduction ซึ่งจะมีการ recruit สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO, VL เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบเป็นสัดส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อ VL พบว่ามีความสอดคล้องกันคือสัญญาณไฟฟ้าของ VMO : VL ขณะออกกำลังกายท่า lunge สูงกว่าท่า semi-squat และสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้าของ VMO : VL ขณะออกกำลังกายท่า semi-squat แบบ concentric มีค่า  $0.9648 \pm 0.5405$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับจากการศึกษาของ Simon FT และคณะ<sup>(31)</sup> มีค่า  $0.932 \pm 0.224$

จากการศึกษาของ Coqueiro และคณะ<sup>(33)</sup> ซึ่งกล่าวว่า การออกกำลังกายท่า semi-squat สามารถทำให้สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ VMO : VL ได้ใกล้เคียง 1:1 ซึ่งเป็นอุดมคติซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยในที่นี้ การออกกำลังกายในท่า semi-squat ได้ค่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ VMO : VL เป็น  $1.0493 \pm 0.5811$  ขณะท่าแบบ eccentric และ  $0.9648 \pm 0.5405$  ขณะท่าแบบ concentric ส่วนท่า lunge ทำให้ได้ค่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ VMO : VL สูงกว่า 1

ลักษณะของผู้ที่เป็น PFPS โดยทั่วไปจะมีกล้ามเนื้อ VMO อ่อนแรงลงและส่งผลให้สัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ VMO : VL ลดน้อยลง<sup>(14,47,48)</sup> ดังนั้นเป้าหมายของการฝึกจึงต้องการสัดส่วน VMO : VL ที่เท่ากับ 1.0 หรือมากกว่า ในการศึกษาครั้งนี้สัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ VMO : VL ที่สูงสุด 2 ลำดับแรกได้มาจากออกกำลังกายในท่า lunge แบบ eccentric และแบบ concentric ตามลำดับ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า เนื่องจากลักษณะท่า lunge มีขาข้างหนึ่งอยู่ด้านหน้าและอีกข้างหนึ่งอยู่ด้านหลังในระนาบ saggital ซึ่งเป็นระนาบเดียวกับการเคลื่อนไหว ดังนั้นในขณะที่มีการย่อตัวลงนอกจากกล้ามเนื้อ VMO จะต้องทำงานเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวแล้วยังต้องรักษาสมดุลให้ร่างกายไม่เอียงไปด้านข้างด้วย ทำให้ในขณะออกกำลังกายท่า lunge มีการทำงานของกล้ามเนื้อ VMO และ VL สูง ซึ่งต่างจากท่า semi-squat ที่ขาซ้ายและขาขวาวางคู่กันในระนาบ coronal ซึ่งเป็นระนาบตั้งฉากกับการเคลื่อนไหว ดังนั้นขณะย่อตัวลงเคลื่อนไหวจะมีความสมดุลในแนวด้านข้างซ้ายขวาอยู่แล้ว ทำให้กล้ามเนื้อ VMO ทำงานเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวเพียงอย่างเดียว

ดังนั้นจึงควรนำการออกกำลังกายท่า lunge มาใช้เพื่อฟื้นฟูผู้ที่เป็น PFPS เนื่องจากจะสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าโดยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ VMO ได้อย่างเหมาะสม

### ผลของการออกกำลังกายท่า semi- squat และท่า lunge ต่อแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral

จากวัตถุประสงค์การศึกษาคั้งนี้ข้อที่สองเพื่อศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge เพื่อหาท่าออกกำลังกายที่ทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral น้อยที่สุดขณะออกกำลังกาย จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ขณะออกกำลังกายท่า semi- squat ทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ขณะออกกำลังกายท่า semi- squat ทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral น้อยกว่า ขณะออกกำลังกายท่า lunge จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีการศึกษาใดเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายทั้งสองแต่ มีการศึกษาของ Mostamand<sup>(37)</sup> ศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะยืนย่อเข่าบนขาข้างเดียว ได้แรง  $2025 \pm 347$  N ซึ่งมีค่าสูงกว่าในการศึกษาคั้งนี้ขณะที่ออกกำลังกายท่า semi- squat เนื่องจากลักษณะรูปแบบท่าออกกำลังกายมีความแตกต่างกัน และน้ำหนักของผู้เข้าร่วมการวิจัยมีน้ำหนักแตกต่างกัน

จากการศึกษาของ Chatchada และคณะ<sup>(49)</sup> ศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะก้าวไปขึ้นบันไดด้านหน้า ขณะก้าวขึ้นบันไดไปด้านหลัง และขณะก้าวลงบันไดไปด้านหลัง พบว่า ได้ค่า PFJRF ในท่าก้าวไปข้างหน้า ( $51.1 \pm 2.7$  N/kg) สูงที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหน่วยเดียวกันกับการศึกษาคั้งนี้พบว่าท่าก้าวไปข้างหน้าในการศึกษาข้างต้นทำให้เกิด PFJRF สูงกว่าท่า lunge และท่า semi- squat ในการศึกษาคั้งนี้ถึง 1 และ 2 เท่าของน้ำหนักตัวตามลำดับ อาจชี้ให้เห็นได้ว่าขณะออกกำลังกายทั้งสองท่าในการศึกษาคั้งนี้ส่งผลให้เกิดแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral น้อยกว่าขณะก้าวขึ้นและลงบันได

การศึกษาเรื่องชีวกลศาสตร์ของการออกกำลังกายท่า lunge ในการศึกษาคั้งนี้พบว่าทำให้สัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ VMO : VL ที่สูงกว่าการออกกำลังกายท่า semi- squat ซึ่งทั้งสองท่านี้ถือว่าเป็นการออกกำลังกายที่ทำให้สัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ VMO : VL ใกล้เคียงอุดมคติคือ 1: 1 ทั้งสองท่า แต่การออกกำลังกายท่า lunge ได้ค่าที่สูงกว่า ส่วนการออกกำลังกายท่า semi- squat ทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral น้อยกว่า หากต้องการออกกำลังกายเพื่อฟื้นฟูในผู้ที่เป็น PFPS ที่ต้องการการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ VMO

เพื่อให้เกิดความสมดุลของการแรงที่ดึงกระดูกสะบ้า (patella tracking) ในช่วงแรกควรใช้ท่า semi-squat เพราะจะมีแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาที่ศึกษาวิจัยถึงช่วงเวลาที่เป็นการออกกำลังกายน้อยจึงควรมีการศึกษาเรื่องนี้ต่อไปในอนาคต

ในการศึกษาแม้จะมีการควบคุมทุกขั้นตอนการวิจัยเช่น การสอนท่าออกกำลังกายให้ทำได้อย่างถูกต้องเหมือนกันในทุกๆ คน การเตรียมผิวหนังบริเวณที่ติดขั้ววัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การป้องกันการล้าอย่างเข้มงวด มีเกณฑ์การคัดเข้า คัดออกอย่างชัดเจน แต่การศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากศึกษาในกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีสุขภาพดีที่ไม่มีอาการของโรคจึงไม่สามารถนำไปใช้ในผู้ที่เป็ PFPS ได้โดยตรง หากศึกษาวิจัยในผู้ที่เป็โรคจะมีข้อมูลในเรื่องระดับความปวด ระดับกิจกรรมที่สามารถทำได้ ความรุนแรงของโรค ซึ่งจะส่งผลให้ผลการศึกษาแตกต่างออกไป การศึกษาต่อไปในอนาคตจึงควรศึกษาในกลุ่มที่มีอาการ แต่อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาของ Steinkamp และคณะ<sup>(38)</sup> พบว่า muscle firing ของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL มีลักษณะเหมือนกันในคนที่สุขภาพดีและคนที่เป็ PFPS

การวางตำแหน่งของขั้วบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ แม้ว่าจะได้กำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนติดไว้ที่ตำแหน่งเดียวกันแต่เนื่องจากความยาวขาของแต่ละคนแตกต่างกันจึงอาจทำให้ตำแหน่งที่ติดอยู่บนส่วนที่ไม่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามการวางตำแหน่งของขั้วบันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการศึกษานี้ได้ยึดรูปแบบเดียวกับการศึกษาก่อนๆ<sup>(50,51)</sup>

การศึกษานี้แม้จะศึกษาทั้งแบบ eccentric และ concentric แต่ควรเพิ่มช่วงที่เป็น static ไว้ด้วย เนื่องจากปัจจุบันนิยมเพิ่มช่วง static ไประหว่าง eccentric และ concentric ขณะที่ออกกำลังกาย

มุมมองของข้อเข่ามุมมองนี้เลือกจากการศึกษาที่ผ่านมา เหมาะสมที่สุดหรือไม่อาจจะต้องศึกษาในมุมมองอื่นด้วย แต่ในการศึกษานี้เลือกมุม 45 องศา เพราะว่าจากการศึกษาของ Steinkamp และคณะ<sup>(38)</sup> กล่าวว่า การออกกำลังกายท่าเหยียดเข่าแบบ CKC ควรในช่วง function ROM เพราะจะช่วยลดแรงเครียดที่ข้อ patellofemoral และการศึกษาของ Escamilla และคณะ<sup>(39)</sup> กล่าวว่า ขณะที่ย่อเข่าเกือบสุดจะทำให้เกิดแรงกดที่เข่าสูงที่สุดดังนั้นในผู้ที่มีกลุ่มอาการของ patellofemoral ควรหลีกเลี่ยงการทำท่าออกกำลังกายที่ย่อเข่าลงไปเป็นมุมมากๆ และจากการศึกษาของ Simon และคณะ<sup>(31)</sup> ที่ศึกษาสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO : VL ขณะที่มีการมูมการงอเข่าที่องศาต่างๆ กัน พบว่าขณะที่งอเข่า 45 องศาทำให้ได้สัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO : VL ที่สูงกว่ามุม ที่ 15 และ 30 องศา แต่ไม่



แตกต่างกันขณะงอเข่า 60 70 และ 90 องศา มากนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกมุมการงอเข่า 45 องศา มาใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และมุมการศึกษาที่ยังสอดคล้องกับการศึกษาส่วนใหญ่<sup>(15,17,33)</sup>

การ normalization เป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับการศึกษาค้างนี้เนื่องจากการศึกษาเป็นการเปรียบเทียบในกลุ่มเนื้อคนละมัด คนคนละคน และในสถานการณ์ที่ต่างกันไป จึงต้องมีการวัดค่า MVIC เพื่อนำมา normalization ซึ่งเทคนิคในการวัดค่า MVIC จะแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษาวิจัย การวิจัยครั้งนี้เป็นลักษณะเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมา<sup>(7,42,43,50,52)</sup> ข้อดีของการศึกษาค้างนี้ ในขณะที่ทำ MVIC ทำบนเก้าอี้ มาตรฐานของเครื่องทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic ซึ่งทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้อง แม่นยำ ระวังบุคคลมากขึ้น

อย่างไรก็ตามการศึกษาค้างนี้ได้ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic ซึ่งถือเป็นการวัดในอุดมคติด้วยแม้ว่าจะพบว่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อแต่ละมัดขณะทดสอบบนเครื่องทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic จะมีค่าสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามไม่ได้ทำให้สัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อดีกว่าขณะออกกำลังกายในท่า lunge

### **ผลของเพศและขนาดของ Q-angle ต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อและแรงที่กระทำต่อของ patellofemoral**

จากการวิเคราะห์ที่ปัจจัยเรื่องเพศต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO และกล้ามเนื้อ VL ขณะออกกำลังกายท่า semi- squat และท่า lunge ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าในเพศชายมี EMG activity น้อยกว่าเพศหญิงขณะที่ออกกำลังกายท่าเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากกล้ามเนื้อของเพศชายมีขนาดใหญ่กว่าและมีความแข็งแรงมากกว่าเพศหญิง ดังนั้นเมื่อเพศชายมีการออกกำลังกายเพื่อให้กล้ามเนื้อทำงานให้ได้ออกกำลังกายลักษณะเดียวกัน จึงใช้กล้ามเนื้อน้อยกว่าเมื่อเทียบเป็นสัดส่วนกับแรงสูงสุดที่ทำได้ (maximum voluntary isometric contraction; MVIC) แต่อย่างไรก็ตามเพศชายก็มีความแข็งแรงมากกว่าเพศหญิงจากการทดสอบเครื่องทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic เพศชายได้ค่า peak torque สูงกว่าเพศหญิง ส่วนอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างเพศ และการออกกำลังกายในท่า lunge ทำให้ได้อัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL สูงกว่าท่า semi- squat ทั้งในเพศชายและเพศหญิง แรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ในเพศชายและเพศหญิงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำหนักเฉลี่ยของเพศชายสูงกว่าเพศหญิง ซึ่งหากเทียบต่อน้ำหนักตัวที่เท่ากันเพศหญิงจะมีแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral สูงกว่าเพศชาย

จากการวิเคราะห์ปัจจัยเรื่อง Q-angle ต่อสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO กล้ามเนื้อ VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายท่า semi- squat และท่า lunge จากการศึกษานี้พบว่าในเพศชายไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่ Q- angle ปกติและกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ ในเพศหญิงพบว่าแม้ Peak Torque ในกลุ่มที่ Q- angle ปกติและกลุ่มที่มี Q- angle มากกว่าปกติ จะมีค่าไม่แตกต่างกันแต่เมื่อสังเกตสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ VMO กล้ามเนื้อ VL และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ VMO ต่อกล้ามเนื้อ VL พบว่าในกลุ่มที่มี Q- angle ปกติมีค่า EMG activity สูงกว่ากลุ่ม Q- angle มากกว่าปกติในทุกๆ parameter ทั้งขณะออกกำลังกายท่า semi- squat และท่า lunge สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cowan และคณะ<sup>(53)</sup> ที่พบว่าผู้ที่มี Q-angle มากกว่าปกติจะมีการทำงานของกล้ามเนื้อ VMO น้อยกว่าผู้ที่มี Q- angle ปกติ และพบว่าทั้งสองกลุ่มมี EMG activity ขณะออกกำลังกายท่า lunge สูงกว่าท่า semi- squat

### สรุปผลการวิจัย

สัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO:VL ขณะออกกำลังกายท่า lunge ทั้งแบบ eccentric และ concentric (1.23: 1, 1.15: 1) ได้ค่าสูงกว่าท่า semi- squat (1.05:1, 0.96:1) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.049$ ,  $p=0.31$ ) ส่วนแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะทำท่า lunge มีค่าสูงกว่าท่า semi- squat อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (3.24BW, 4.44BW,  $p=0.000$ ) การออกกำลังกายท่า lunge แม้ว่าจะทำให้ได้ค่าสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO:VL สูงกว่าท่า semi- squat แต่แรงกระทำต่อข้อ patellofemoral ก็สูงกว่า ซึ่งหากผู้ที่เป็น PFPS ต้องการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าในช่วงแรกๆ แนะนำให้ออกกำลังกายในท่า semi- squat ก่อน เมื่อมีอาการดีขึ้น ปวดน้อยลงจึงแนะนำให้ออกกำลังกายในท่า lunge เนื่องจากเป็นท่าที่กระตุ้นให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้อมากกว่าและมีสัดส่วนการทำงานของ VMO:VL ดีกว่า ซึ่งจะช่วยควบคุมตำแหน่งของ กระดูกสะบ้า (patella tracking) ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ VMO ได้มากขึ้น

### ข้อเสนอแนะ

การออกแบบในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยโดยการสังเกต ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น จึงเป็นข้อด้อยและอาจไม่สอดคล้องกันหากต้องนำไปใช้ในการฝึก (training) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในรูปแบบการทดลอง เพื่อให้สอดคล้องกับการนำไปใช้ปฏิบัติจริงมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้หากต้องการนำไปใช้ในผู้ที่ต้องการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่เป็นผู้ป่วย เช่น Patellofemoral pain syndrome ควรทำการศึกษาในผู้ที่มีกลุ่มอาการ

## รายการอ้างอิง

- [1] Taunton, J.E., Ryan, M.B., Clement, D.B., et al. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. Br J Sports Med. 36 (2002): 95-101.
- [2] Prentice, W.E., Voight, M.L. Techniques in Musculoskeletal Rehabilitation 1<sup>st</sup> ed. New York: McGraw Hill, 2001.
- [3] DeHaven, K.E., Dolan, W.A., Mayer, P.J. Chondromalacia patellae in athletics: clinical presentation and conservation management. Am J Sports Med. 7 (1979): 75-11.
- [4] Janwantanakul, P., Gaogasigam, Ch. Vastus lateralis vastus medialis obliuus EMG activity during the application of inhibition and facilitation taping techniques. Clin Rehabil. 25 (2005): 12-19.
- [5] Baquie, P., Brukner, P. Injuries presenting to an Australian sports medicine centre: a 12- month study. Clin J Sport Med 7 (1997): 728-31.
- [6] Kannus, P., Aho, H., Jarvinen, M., Niittymäki, S. Computerized recording of visits to an outpatient sports clinic. Am J Sports Med 15 (1987) 79-85.
- [7] Miller, J.P., Sedory, D., Croce, R. Leg rotation and vastus medialis oblique/vastus lateralis electromyogram activity ratio during closed chain kinetic exercises prescribed for patellofemoral pain. J Athl Train. 32 (1997) 216-220.
- [8] Heintjes, E.M., Berger, M.Y., Exercise therapy for patellofemoral pain syndrome. Cochrane Database Syst Rev 4 (2003) 93-106.
- [9] Juhn, M.S. Patellofemoral pain syndrome: a review and guidelines for treatment. American Family Physician 60 (1999) 2012-2022.
- [10] Clark, D.I., Downing, N., Mitchell, J., et al. Physiotherapy for anterior knee pain: a randomized controlled trial. Ann Rheum Dis 59 (2000) 700-704.
- [11] Earl, J.E., Vetter, C.S. Patellofemoral pain. Phys Med Rehabil Clin N Am 18 (2007) 439-458.

- [12] Qi, Z., Ng, G.Y.F. EMG analysis of vastus medialis obliquus/vastus lateralis activities in subjects with patellofemoral pain syndrome before and after a home exercise program. J Phys Ther Sci Rehabil. 13 (2007) 131-137.
- [13] Sameer, D., John, P., Difiori. Management of patellofemoral pain syndrome. American Academy of Family Physicians 75 (2007) 194-202.
- [14] Sykes, K., Wong, Y.M. Activity of vastus medialis oblique muscle in straight leg raise exercise with different angle of hip rotation. Physiotherapy. 89 (2003) 423-430.
- [15] Carlson, J., Hobb, L., Smith, K. Isolation of the vastus medialis oblique muscle during semi- squat and straight leg raise exercises. The Plymouth Student Journal of Health& Social Work 2 (2010) 40-53.
- [16] Witvrouw, E., Lysens, R., Bellemans, J., et al. Open versus closed kinetic chain exercises for patellofemoral pain: A prospective, randomized study. Am J Sports Med 28 (2000) 687-694.
- [17] Irish, S.E., Millward, A., Wride, J., et al. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the EMG activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. J Strength Cond Res. 24 (2010) 1256-1262.
- [18] วิรุฬห์ เหล่าภัทรเกษม. กีฬาเวชศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: พี.บี.ฟอเรน บุคส์ เซนเตอร์, 2537.
- [19] Prentice, W.E. The knee and related structures. Arnheim's Principles of Athletic Training: A Competency-Based Approach 12<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill, 2006.
- [20] Lehmkuhl, D.L., Laura, K.S. Brunnstrom's Clinical Kinesiology 4<sup>th</sup>ed. Philadelphia: F.A. Davis company, 2008.
- [21] Hamill, J., Knutzen, K.M. Functional anatomy of the lower extremity. Biomechanical basis of human movement. 2<sup>nd</sup> ed. Lippincott Williams&Wilkins, 2003.
- [22] Reinold, M. Biomechanics of patellofemoral[online]. Available from: <http://www.mikereinokd.com/2009/06/biomechanics-of-patellofemoral.html>[2011, August 20]

- [23] Kynsburg, A., Tallay, A., Toth, S., et al. Prevalence of patellofemoral pain syndrome. Evaluation of the role of biomechanical malalignments and the role of sport activity. Orvisi Hetil. 145 (2004) 2093-2101.
- [24] DeHaven, K.E., Lintner, D.M. Athletic injuries: comparison by age, sport, and gender. Am J Sports Med. 14 (1986) 218-224.
- [25] Brukner, P., Karin, K. Clinical Sports Medicine 3<sup>rd</sup> ed. McGrawHill, 2008.
- [26] Tanner, S.M., Garth, W.P., Soileau, R., Lemons, J.F. A modified test for patellar instability : The biomechanical basic. Cli J Sport Med. 13 (2003) 327-338.
- [27] Gotlin, R. Sport injuries guidebook 2<sup>nd</sup> ed. USA: Custom Color Graphics, 2008.
- [28] Power , C.M. Rehabilitation of patellofemoral joint discorders : A critical review. J Orthop Sports Phys Ther 28 (1998) 345-354.
- [29] Syme, G., Rowe, P., Martin, D., Daly, G. Disability in patients with chronic patellofemoral pain syndrome: A randomized controlled trail of VMO selective training versus general quadriceps strengthening. Manual Therapy 14 (2009) 252-263.
- [30] Bakhtiary, A.H., Fatemi, E. Open versus closed kinetic chain exercises for patellar chondromalacia. Br J Sports Med 42 (2008) 99-102.
- [31] Simon, F.T., Chih, K.C., Robert, H., Shih, W., Wei, H.H. Vastus medialis oblique and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercises in patients with patellofemoral pain syndrome:an electromyographic study. Arch Phys Rehabili. 82 (2001) 1441-1444.
- [32] Hertel, J., Earl, J.E., Tsang, K.W., Miller, S.J. Combining isometric knee extension exercises with hip adduction or abduction does not increase quadriceps EMG activity. Br J Sports Med 38 (2004) 210-213.
- [33] Coqueiro, K.R., Bevilaqua-Grossi, D., Berzin, F., et al. Analysis on the activation of the VMO and VLL muscles during semisquat exercises with and without hip adduction in individuals with patellofemoral pain syndrome. J Electromyogr Kinesiol. 15 (2005) 596-603.

- [34] Boling, M.C., Bolgla, L.S., Mattacola, C.G., et al. Outcome of a weight-bearing rehabilitation program for patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome. Arch Phys Med Rehabil. 87 (2006) 1428-1435.
- [35] Song, C.Y., Lin, T.F., Wei, C.T., et al. Surplus values of hip adduction in leg-press exercise in patients with patellofemoral pain syndrome: a randomized controlled trial. Physical Therapy 89 (2009) 409-418.
- [36] Masso, N., Rey, F., Romero, D., Gual, G., Costa, L., German, A. Surface electromyography applications in the sport. Apunts Med Esport 45 (2010) 121-130.
- [37] Montamand, J., Bader, D.L., Hudson, Z. The effect of patellar taping on joint reaction forces during squatting in subjects with patellofemoral pain syndrome (PFPS). J Bodywork and movement Therapies 14 (2010) 375-381.
- [38] Steinkamp, L.A., Dillingham, M.F., Markel, M.D., Hill, J.A., Kaufman, K.R. Biomechanical considerations in patellofemoral joint rehabilitation. Am J Sports Med. 21 (1993) 438-444.
- [39] Escamilla, R., et al. Patellofemoral compressive force and stress during the forward and side lunges with and without a stride. Clinical Biomechanics 23 (2008) 1026-1037.
- [40] Emami, M.J., Ghahramani, M.H., Abdinejad, F., et al. Q-angle : An invaluable parameter for evaluation of anterior knee pain. Ach Iranian Med 10 (2007) 24-26.
- [41] Sirivarakul U, Aksaranugraha, S. Q-angle :Normal value and its influence on Quadriceps femoris performance in Chulalongkorn hospital. J Thai Rehabil. 1996; 6:18-23.
- [42] Cerny, K. Vastus medialis oblique vastus lateralis EMG activity ratios for selected exercises for persons with and without patellofemoral pain syndromes. Phys Ther 75 (1995) 672-683.

- [43] Earl, J.E., Schmitz, R.J., Arnold, B.L. Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. J Electromyogr Kinesiol. 11 (2001) 381-386.
- [44] Eijden, V., T.M.G.J., Weijs, W.A., Kouwenhoven, E., Verburg, J. Forces acting on the patella during maximal voluntary contraction of the quadriceps femoris muscle at different knee flexion/extension angles. Acta Anatomica 129 (1987) 310-314.
- [45] Salem, G.J., Powers, C.M. Patellofemoral joint kinetics during squatting in collegiate women athletes. Clinical Biomechanics 16 (2001) 424- 430.
- [46] Piva, S.R., Fitzgerald, K., Irrgang, J.J., et al. Reliability of measures of impairments associated with patellofemoral pain syndrome. BMC Musculoskeletal Disorder 33 (2006) 1-13.
- [47] Wong, Y.M., Ng, G. Surface electrode placement affects the EMG recordings of the quadriceps muscles. Phys Ther Sport 7 (2006) 122-127.
- [48] Lam, P.L., Ng, G.Y. Activation of the quadriceps muscle during semisquatting with different hip and knee positions in patients with anterior knee pain. Am J Phys Med Rehabil 80 (2001) 804-808.
- [49] Chatchada, C., Roongtiwa, V., Powers, C.M. Patellofemoral joint forces and stress during forward step-up, lateral step-up and forward stepp-down exercises. J Orthop Sports Phys Ther 41 (2011) 241-248.
- [50] Hanten, W.P., Schulthies, S. Exercise effect on electromyographic activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscles. Physical Therapy 7 (1990) 561-565.
- [51] Lieb, F.J., Perry, J. Quadriceps functions: an anatomical and mechanical study using amputated limbs. Journal of Bone and Joint Surgery 53 (1986) 1535-1548.
- [52] Isear, J.A., Erickson, J.C., Worrel, T.W. EMG analysis of exercises proposed for differential activation of medial and lateral quadriceps femoris muscle components. Physical Therapy 73 (1993) 289-299.



- [53] Cowan, S.M., Bennell, K.L., Physical therapy alters recruitment of the vasti in patellofemoral pain syndrome. Med Sci Sports Exerc 34 (2002) 1879-1895.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

No.	Sex	Age	Body Weight	Height	BMI	Q angle lying	Q angle standing
1	F	23	55	155	22.89	16	18.15
2	F	25	49	158	19.63	14.5	16.13
3	F	26	54.5	170	18.86	19	21.13
4	F	26	47	150	20.89	29	32.54
5	F	21	55	160	21.48	15.5	20.21
6	M	23	58	171	19.84	14.5	16.17
7	M	23	71	172	24.00	12	15.71
8	F	25	49	163	18.44	19	23.74
9	M	25	93	180	28.70	13	15.01
10	M	24	75	174	24.77	13	14.75
11	M	28	62	166	22.50	13.5	13.14
12	M	23	59	165	21.67	10	14.07
13	M	23	63	169	22.06	15	20.09
14	M	23	65	170	22.49	10.5	16.28
15	F	28	63	163	23.71	15.5	21.88
16	M	29	55	165	20.20	9.5	11.39
17	M	21	68	178	21.46	15	18.24
18	F	24	40.3	155	16.77	21.75	27.23
19	M	27	51.9	169	18.17	14	16.51
20	F	29	43	155	17.90	25	35.21
21	M	24	82	177	26.17	17	16.82
22	F	27	49	160	19.14	9.5	18.14
23	F	24	56	162	21.34	10.5	13.39
24	F	25	40	155	22.89	15	15.14

No.	Sex	Age	Body Weight	Height	BMI	Q angle lying	Q angle standing
25	F	24	41.6	158	16.65	25.5	27.81
26	F	28	44	155	16.66	17.5	24.12
27	M	21	58	174	18.31	19	24.17
28	M	21	69	179	19.16	18	19.84
29	M	23	72	173	21.53	10	11.96
30	F	24	41	159	24.06	21	26.01
31	F	24	53.1	170	16.22	19.5	19.73
32	F	24	48.5	164	18.37	36.25	22.07
33	F	25	68	162	18.03	24	17.51
34	M	23	52	165	25.91	15	13.7
35	F	22	53	158	19.10	31.5	33.99
36	F	21	57	170	21.23	24	23.2
37	F	25	49	158	19.72	31	34.21
38	F	24	49	149	19.63	26	30.01
39	F	25	45	158	22.07	24.5	26.39
40	F	24	43.1	158	18.03	27	30.01
41	M	21	68	166	17.26	21.5	24
42	F	23	42.2	162	24.68	25	27.31
43	F	21	54.7	160	16.08	27.5	30.14
44	F	22	59	159	21.37	19.5	21.5
45	F	20	54	165	23.34	25.5	25.37
46	F	20	67	168	19.83	30	32.14
47	F	25	48	165	23.74	20.5	23.1
48	M	23	58	165	17.63	14.5	15.02
49	F	21	58	146.5	21.30	23.5	23.24
50	F	19	53	159	27.02	27.5	31.07
51	M	20	54	167	20.96	15	16.04

No.	Sex	Age	Body Weight	Height	BMI	Q angle lying	Q angle standing
52	M	22	72	176	19.36	18	25.78
53	M	20	63	163	23.24	9	11.28
54	M	21	68	180	23.71	20.5	21.36
55	M	22	67	174	20.99	22	21.3
56	M	20	67	169	22.13	18.5	20.31
57	F	18	54	159	23.46	21.5	27.35
58	F	19	53	157	21.36	23	28.09
59	F	19	50	157	21.50	25.5	30.23
60	F	20	51	155	20.28	31	33.43
61	F	20	47	155	21.23	25	30.74
62	M	19	65	171	19.56	20	23.59
63	F	20	45	165	22.23	25.5	30.14
64	M	18	50	166	16.53	22	26.14
65	F	28	45	162	18.14	30	32.47
66	M	23	66	180	17.15	16.5	18.08
67	M	20	62	175	20.37	17.5	20.08
68	F	22	53	174	20.24	25.5	30.21
69	F	24	43	154	17.51	28.5	31.13
70	F	21	56.5	167	18.13	25.5	25.04
71	F	21	58	175	20.26	27	31.02
72	M	19	82.5	170	18.94	20	23.73
73	F	25	58	171	28.55	20	20.69
74	M	23	59	173	19.84	15.5	20.07
75	M	31	73	173	19.71	10.5	13.15
76	M	20	62	173	24.39	23.5	21.08
77	M	19	61	168	20.72	23	26.17
78	M	19	54	168	21.61	22	24.86

No.	Sex	Age	Body Weight	Height	BMI	Q angle lying	Q angle standing
79	M	20	69	183	19.13	17.5	20.18
80	F	19	51	170	20.60	18.5	24.16
81	M	19	58	175	17.65	20.5	25.36
82	F	19	52	157	18.94	25.5	23.19
83	M	21	62	173	21.10	15.5	20.28
84	M	21	56	160	20.72	19	16.63
85	M	23	66	169	21.88	17	20.34
86	M	32	60	170	23.11	17	21
Mean		22.74	57.23	165.60	20.77	19.91	22.60
S.D.		3.02	10.25	7.97	2.70	5.78	6.13

## ภาคผนวก ข

แสดง peak torque และ peak torque/body weight ของผู้เข้าร่วมวิจัย จากการทดสอบ  
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าแบบ isokinetic

No.	peak torque (N)		peak torque/BW (N/kg)	
	Concentric	Eccentric	Concentric	Eccentric
1	70.00	122.00	1.27	2.22
2	43.00	77.67	0.88	1.59
3	56.00	107.00	1.03	1.96
4	32.33	43.33	0.69	0.92
5	64.67	118.00	1.18	2.15
6	121.67	178.67	2.10	3.08
7	166.67	118.67	2.35	1.67
8	44.00	81.33	0.90	1.66
9	184.00	209.33	1.98	2.25
10	128.33	115.00	1.71	1.53
11	150.67	176.33	2.43	2.84
12	66.67	144.67	1.13	2.45
13	91.33	79.67	1.45	1.26
14	85.00	109.33	1.31	1.68
15	50.33	144.67	0.80	2.30
16	32.33	116.00	0.59	2.11
17	93.00	203.67	1.37	3.00
18	25.67	72.67	0.64	1.80
19	103.00	113.67	1.98	2.19
20	64.00	101.00	1.49	2.35
21	48.00	197.67	0.59	2.41
22	61.00	110.33	1.24	2.25
23	47.33	96.00	0.85	1.71

No.	peak torque (N)		peak torque/BW (N/kg)	
	Concentric	Eccentric	Concentric	Eccentric
24	67.00	120.33	1.68	3.01
25	30.00	99.00	0.72	2.38
26	75.00	122.00	1.70	2.77
27	63.33	106.33	1.09	1.83
28	158.00	122.00	2.29	1.77
29	111.67	116.67	1.55	1.62
30	36.00	111.67	0.88	2.72
31	74.33	143.33	1.40	2.70
32	40.67	96.33	0.84	1.99
33	75.67	149.33	1.11	2.20
34	43.00	100.33	0.83	1.93
35	69.33	77.67	1.31	1.47
36	69.33	191.33	1.22	3.36
37	76.33	193.33	1.56	3.95
38	28.00	76.00	0.57	1.55
39	24.67	57.67	0.55	1.28
40	26.00	78.00	0.60	1.81
41	120.33	242.33	1.77	3.56
42	58.00	131.00	1.37	3.10
43	46.33	47.67	0.85	0.87
44	41.33	133.33	0.70	2.26
45	88.67	203.33	1.64	3.77
46	95.00	177.00	1.42	2.64
47	25.00	72.00	0.52	1.50
48	114.33	165.33	1.97	2.85
49	64.67	175.67	1.11	3.03
50	63.33	117.67	1.19	2.22



No.	peak torque (N)		peak torque/BW (N/kg)	
	Concentric	Eccentric	Concentric	Eccentric
51	65.67	121.67	1.22	2.25
52	79.33	155.00	1.10	2.15
53	50.00	51.67	0.79	0.82
54	128.00	198.00	1.88	2.91
55	123.33	141.33	1.84	2.11
56	91.33	178.33	1.36	2.66
57	56.67	151.33	1.05	2.80
58	52.33	117.00	0.99	2.21
59	40.33	124.00	0.81	2.48
60	57.00	99.33	1.12	1.95
61	65.00	151.67	1.38	3.23
62	101.00	216.67	1.55	3.33
63	40.67	65.33	0.90	1.45
64	68.33	78.33	1.37	1.57
65	49.67	73.67	1.10	1.64
66	165.33	261.67	2.51	3.96
67	81.67	221.00	1.32	3.56
68	59.67	102.33	1.13	1.93
69	57.67	78.00	1.34	1.81
70	68.33	98.67	1.21	1.75
71	78.33	121.00	1.35	2.09
72	135.00	260.00	1.64	3.15
73	37.33	111.00	0.64	1.91
74	75.67	155.67	1.28	2.64
75	149.67	250.67	2.05	3.43
76	76.00	105.67	1.23	1.70
77	87.67	178.33	1.44	2.92

No.	peak torque (N)		peak torque/BW (N/kg)	
	Concentric	Eccentric	Concentric	Eccentric
78	81.67	170.00	1.51	3.15
79	105.67	193.67	1.53	2.81
80	41.33	121.33	0.81	2.38
81	94.33	169.33	1.63	2.92
82	68.67	141.33	1.32	2.72
83	130.33	197.00	2.10	3.18
84	62.00	70.67	1.11	1.26
85	118.67	145.33	1.80	2.20
86	91.33	163.67	1.52	2.73
Mean	76.15	133.76	1.29	2.32
S.D.	36.41	50.73	0.46	0.70

ภาคผนวก ค

แสดงสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ VMO และ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

แบบ isokinetic

No.	Semi- squat				Lunge				isokinetic test			
	Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric	
	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL
1	0.4014	0.5335	0.3764	0.4746	0.8674	0.7632	0.9268	0.7632	0.6882	0.6108	0.5917	0.5915
2	0.3435	0.3904	0.4492	0.5409	0.4295	0.5643	0.6199	0.8056	0.5996	0.7807	0.6023	0.7164
3	0.2036	0.3166	0.1991	0.3449	0.3697	0.4929	0.5040	0.5920	0.7224	0.7104	0.8055	0.8584
4	0.2494	0.1451	0.3287	0.2157	0.3590	0.2235	0.4242	0.2824	0.6900	0.3621	0.7786	0.3974
5	0.3046	0.3514	0.3178	0.3611	0.4833	0.4472	0.4701	0.4236	0.5703	0.6653	0.7009	0.7042
6	0.1698	0.2278	0.1573	0.2875	0.2080	0.2576	0.2536	0.4151	0.6174	0.9320	0.8254	0.8035
7	0.3010	0.4002	0.3421	0.4563	0.4109	0.4434	0.4768	0.5264	0.7022	0.6375	0.7670	0.7584
8	0.6859	0.4724	0.8010	0.5628	1.2446	0.6013	1.5396	0.6968	0.5468	0.5645	0.9065	0.8023
9	0.2725	0.3614	0.2233	0.3208	0.4570	0.4763	0.4413	0.4599	0.3742	0.5372	0.3732	0.5159
10	0.1954	0.2084	0.2010	0.2116	0.2213	0.2167	0.2192	0.2052	0.3452	0.3837	0.4986	0.5284
11	0.3425	0.3967	0.3676	0.5005	0.4795	0.4743	0.5772	0.5333	0.6018	0.5454	0.6000	0.5279

No.	Semi- squat				Lunge				isokinetic test			
	Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric	
	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL
12	0.0743	0.2439	0.0802	0.2896	0.1127	0.2711	0.1536	0.3673	0.6536	0.6385	0.4101	0.5160
13	0.1205	0.1094	0.1271	0.1175	0.1405	0.1308	0.1505	0.1323	0.3376	0.3947	0.4014	0.4316
14	0.0979	0.0914	0.1047	0.1130	0.1447	0.1051	0.1737	0.1346	0.5470	0.5086	0.7458	0.6623
15	0.2564	0.1209	0.3036	0.1681	0.1997	0.0765	0.2375	0.1048	0.9946	0.7460	0.7935	0.4958
16	0.0955	0.1134	0.1537	0.1829	0.1812	0.1973	0.3317	0.3205	0.6036	0.6410	0.3972	0.3900
17	0.1208	0.1134	0.1128	0.1341	0.1750	0.1819	0.1867	0.1750	0.5459	0.5475	0.4960	0.5440
18	0.4364	0.2986	0.4730	0.3514	0.5838	0.3037	0.6224	0.3140	0.7543	0.6924	0.6127	0.6976
19	0.1754	0.1616	0.2089	0.2271	0.2897	0.2872	0.4068	0.3823	0.6820	0.5974	0.7948	0.6944
20	0.1181	0.1610	0.1294	0.2041	0.1383	0.1815	0.1688	0.2544	0.9034	0.8779	0.8646	0.8379
21	0.2390	0.1914	0.3238	0.2612	0.1848	0.1671	0.3257	0.2996	0.7200	0.6110	0.7324	0.4267
22	0.2535	0.2251	0.2833	0.2646	0.2465	0.2003	0.2877	0.2164	0.8096	0.6959	0.7447	0.7383
23	0.2317	0.1555	0.2709	0.2908	0.2308	0.1756	0.3298	0.3434	0.3485	0.3277	0.5383	0.5962
24	0.2174	0.1681	0.2260	0.2602	0.2184	0.1959	0.2956	0.3377	0.5512	0.5746	0.5173	0.5643
25	0.2656	0.2747	0.3036	0.3294	0.2615	0.1992	0.2862	0.1771	0.6615	0.6055	0.6503	0.5990
26	0.2019	0.1892	0.2075	0.2392	0.2794	0.2421	0.3278	0.2536	0.7593	0.6292	0.8451	0.7896

No.	Semi- squat				Lunge				isokinetic test			
	Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric	
	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL
27	0.4156	0.4268	0.5407	0.5732	0.4250	0.3491	0.5664	0.4865	0.4953	0.7264	0.3719	0.3592
28	0.2720	0.1476	0.3887	0.2532	0.3232	0.1527	0.3440	0.1510	0.3488	0.3639	0.3429	0.3087
29	0.1294	0.1070	0.1479	0.1287	0.0988	0.0775	0.1553	0.1264	0.4744	0.4031	0.5029	0.3981
30	0.1111	0.1479	0.1118	0.1295	0.1412	0.1517	0.1584	0.1747	0.4409	0.4307	0.2652	0.2966
31	0.1801	0.2184	0.1811	0.1912	0.2488	0.3333	0.2163	0.3741	0.5396	0.6050	0.4577	0.6625
32	1.1518	0.2873	1.1530	0.2826	1.1720	0.2358	1.1791	0.2436	0.2306	0.4333	0.2622	0.3997
33	0.1331	0.2120	0.1502	0.2657	0.1831	0.1951	0.1914	0.2826	0.5569	0.6129	0.6008	0.6206
34	0.1801	0.0764	0.1923	0.0891	0.1985	0.0627	0.2410	0.0819	0.5818	0.2758	0.4379	0.2655
35	0.0936	0.1626	0.1100	0.1845	0.1371	0.1772	0.1355	0.1796	0.4959	0.7136	0.4811	0.5235
36	0.2140	0.2736	0.2329	0.2674	0.2203	0.2210	0.2224	0.2531	0.6342	0.5080	0.6797	0.5873
37	0.0615	0.1121	0.0570	0.1244	0.1183	0.1443	0.1205	0.1377	0.5546	0.5670	0.4423	0.4302
38	0.1807	0.2023	0.1700	0.1989	0.2276	0.2322	0.2175	0.2299	0.4083	0.4218	0.3635	0.3667
39	0.1130	0.1616	0.1438	0.2347	0.4749	0.5510	0.5742	0.6769	0.6655	0.6276	0.5696	0.6701
40	0.2389	0.2440	0.2237	0.2520	0.2226	0.1653	0.2617	0.2107	0.6775	0.7000	0.4039	0.4213
41	0.0698	0.1966	0.0710	0.2158	0.1136	0.2282	0.1012	0.2339	0.7272	0.7525	0.5716	0.6610

No.	Semi- squat				Lunge				isokinetic test			
	Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric	
	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL
42	0.2859	0.1050	0.3205	0.1132	0.3815	0.1014	0.4394	0.0986	0.3863	0.4320	0.4153	0.4329
43	0.6326	0.1557	0.6165	0.1509	0.6487	0.1265	0.6290	0.1314	0.3958	0.2566	0.4358	0.3123
44	0.3687	0.3433	0.3687	0.3533	0.4307	0.2867	0.4454	0.3033	0.6932	0.6967	0.6608	0.5600
45	0.0837	0.0903	0.0943	0.1159	0.0924	0.0936	0.1063	0.1182	0.8610	0.6210	0.6532	0.5975
46	0.0929	0.1612	0.0956	0.2036	0.1205	0.1552	0.1356	0.1879	0.5970	0.5721	0.6013	0.6194
47	0.1671	0.1951	0.2053	0.2683	0.2319	0.2244	0.2787	0.3626	0.4840	0.5041	0.2069	0.2358
48	0.1308	0.1910	0.1394	0.2101	0.1558	0.2264	0.1736	0.2330	0.6259	0.6008	0.6101	0.5979
49	0.1104	0.2607	0.1156	0.2970	0.2167	0.3630	0.2865	0.4521	0.6917	0.8383	0.6688	0.8086
50	0.0856	0.1240	0.0805	0.1379	0.1185	0.1399	0.1286	0.1488	0.5444	0.6587	0.4214	0.4415
51	0.2203	0.1343	0.2056	0.1233	0.2547	0.1165	0.2826	0.1463	0.7453	0.6134	0.6691	0.5721
52	0.0435	0.1190	0.0446	0.1396	0.0712	0.1169	0.0723	0.1255	0.5017	0.6061	0.5006	0.5476
53	0.1874	0.1720	0.1913	0.1935	0.3215	0.1922	0.3314	0.2151	0.8580	0.8051	0.7613	0.5847
54	0.1280	0.0968	0.1318	0.1156	0.1444	0.1156	0.1562	0.1323	0.5938	0.5881	0.5973	0.6316
55	0.1515	0.0456	0.1520	0.0486	0.1577	0.0541	0.1605	0.0612	0.3209	0.4612	0.4307	0.5053
56	0.0720	0.0571	0.0667	0.0939	0.1179	0.1099	0.1248	0.1275	0.3749	0.3899	0.4048	0.4229

No.	Semi- squat				Lunge				isokinetic test			
	Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric	
	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL
57	0.1586	0.1580	0.1360	0.1679	0.3192	0.2450	0.3607	0.3271	0.6686	0.6256	0.5628	0.5261
58	0.0971	0.1381	0.1173	0.1698	0.1319	0.1508	0.1602	0.1937	0.5850	0.6032	0.5672	0.6175
59	0.1644	0.1826	0.1767	0.2152	0.2136	0.2464	0.2394	0.2717	0.8345	0.7884	0.8647	0.6326
60	0.1078	0.1242	0.1144	0.1422	0.1497	0.1740	0.1464	0.1830	0.6667	0.6863	0.8563	0.7353
61	0.2129	0.1554	0.2372	0.2101	0.3172	0.1865	0.3675	0.2369	0.8661	0.7567	0.8527	0.6860
62	0.0793	0.1822	0.0726	0.2037	0.0789	0.1240	0.0673	0.1385	0.4848	0.5977	0.5330	0.5275
63	0.1881	0.1878	0.1833	0.2606	0.2179	0.1861	0.2321	0.2132	0.5702	0.7665	0.5667	0.7648
64	0.0599	0.0696	0.0658	0.0946	0.1040	0.1211	0.1452	0.1762	0.3953	0.3173	0.5002	0.3909
65	0.6280	0.1838	0.6280	0.2085	0.6680	0.2305	0.6573	0.2222	0.8760	0.6708	0.9480	0.7531
66	0.1122	0.0998	0.1164	0.1217	0.1238	0.0993	0.1587	0.1385	0.6706	0.4791	0.7853	0.5731
67	0.2054	0.1471	0.2209	0.1693	0.2920	0.1429	0.2946	0.1545	0.9109	0.7365	0.8592	0.7048
68	0.4968	0.2883	0.3943	0.2557	0.5992	0.3525	0.6381	0.3745	0.7497	0.4684	0.8755	0.5201
69	0.1153	0.1466	0.1253	0.1955	0.1308	0.1728	0.1353	0.1885	0.5441	0.6754	0.4450	0.6981
70	0.1449	0.2612	0.1182	0.2480	0.2598	0.2730	0.2809	0.3307	0.8250	0.8241	0.7235	0.6706
71	0.1556	0.2045	0.1761	0.3109	0.1679	0.2549	0.2058	0.3319	0.4354	0.5224	0.5399	0.6429

No.	Semi- squat				Lunge				isokinetic test			
	Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric	
	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL
72	0.1089	0.1486	0.1466	0.2014	0.1528	0.1855	0.2544	0.3167	0.5324	0.5415	0.5798	0.5407
73	0.2103	0.2317	0.1863	0.2602	0.2444	0.2744	0.2205	0.2967	0.7094	0.6240	0.4923	0.4187
74	0.1174	0.1918	0.1201	0.2230	0.1901	0.3249	0.2246	0.3597	0.9284	0.9125	0.8837	0.7254
75	0.1395	0.1890	0.1454	0.2257	0.1800	0.2791	0.1741	0.2799	0.5138	0.6571	0.5955	0.6978
76	0.0606	0.2044	0.0837	0.2415	0.1805	0.2904	0.2161	0.3170	0.7958	0.6741	0.8847	0.7541
77	0.2673	0.1155	0.2667	0.1403	0.2969	0.1485	0.2836	0.1526	0.6792	0.6147	0.5792	0.5751
78	0.1672	0.0999	0.1693	0.1155	0.1698	0.0687	0.1682	0.0880	0.4937	0.5056	0.5016	0.4900
79	0.3865	0.1395	0.3885	0.1433	0.4417	0.3371	0.4601	0.3848	0.7556	0.7669	0.8722	0.9129
80	0.1133	0.0861	0.1081	0.1127	0.1185	0.0909	0.1393	0.1067	0.7513	0.5491	0.8216	0.4994
81	0.1380	0.1936	0.1279	0.1715	0.2243	0.2095	0.2583	0.2538	0.5955	0.6004	0.7366	0.6676
82	0.2095	0.1738	0.2193	0.1881	0.2727	0.2393	0.2710	0.2924	0.5680	0.6196	0.6748	0.6503
83	0.0460	0.1232	0.0450	0.1447	0.0678	0.1378	0.0785	0.1586	0.5335	0.5512	0.5771	0.6482
84	0.2555	0.2944	0.2775	0.3467	0.2860	0.3356	0.3113	0.3756	0.5499	0.5867	0.8223	0.6367
85	0.1788	0.1831	0.1876	0.2594	0.1687	0.1585	0.1768	0.1972	0.7078	0.6925	0.7362	0.7054
86	0.1119	0.1817	0.1172	0.2169	0.1263	0.2279	0.1362	0.2239	0.6377	0.5331	0.6880	0.6948



No.	Semi- squat				Lunge				isokinetic test			
	Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric		Eccentric		Concentric	
	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL
Mean	0.2107	0.1946	0.2238	0.2283	0.2742	0.2307	0.3097	0.2731	0.6124	0.5994	0.6129	0.5824
S.D.	0.1643	0.0103	0.1717	0.1069	0.0225	0.0141	0.0250	0.0165	0.0171	0.0151	0.0188	0.1575

## ภาคผนวก ง

แสดงสัดส่วนสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG activity) ของกล้ามเนื้อ VMO ต่อ VL ขณะออกกำลังกายในท่า semi- squat และท่า lunge และขณะทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic

No.	Semi- squat		Lunge		isokinetic test	
	Eccentric	Concentric	Eccentric	Concentric	Eccentric	Concentric
1	0.8019	0.7931	1.1452	1.2145	1.1261	0.9972
2	0.8439	0.8340	0.7623	0.7713	0.7771	0.8405
3	0.6792	0.5757	0.7577	0.8500	1.0208	0.9413
4	1.4620	1.5244	1.6125	1.5031	1.8868	1.9592
5	0.8817	0.8825	1.0756	1.1002	0.8655	1.0030
6	0.7720	0.5501	0.8065	0.6064	0.7669	1.0354
7	0.7043	0.7512	0.9246	0.9020	1.1015	1.0180
8	1.4370	1.4216	2.0595	2.2218	0.9499	1.1869
9	0.8119	0.6952	0.9596	0.9564	0.6971	0.7267
10	0.9362	0.9560	1.0218	1.0649	0.9320	0.9374
11	0.7766	0.7346	1.0105	1.0750	1.1018	1.1312
12	0.3348	0.2705	0.4123	0.4165	1.0190	0.7934
13	0.9375	1.0829	1.0762	1.1457	0.8541	0.9327
14	1.0927	0.9164	1.3739	1.2918	1.0718	1.1417
15	2.2302	1.8003	2.6303	2.2644	1.3338	1.6182
16	0.8107	0.8162	0.9103	1.0325	0.9428	1.0167
17	1.0035	0.8439	0.9634	1.0701	1.0015	0.9215
18	1.4457	1.3466	1.9278	1.9986	1.0922	0.8755
19	0.9713	0.9229	1.0142	1.0650	1.1423	1.1459
20	0.7118	0.6364	0.7618	0.6636	1.0296	1.0329
21	1.0692	1.2385	1.1072	1.0883	1.2004	1.7095
22	0.9001	1.0701	1.2297	1.3295	1.2394	1.0055

No.	Semi- squat		Lunge		isokinetic test	
	Eccentric	Concentric	Eccentric	Concentric	Eccentric	Concentric
23	1.2861	0.9342	1.3968	0.9593	1.0995	0.9076
24	1.3595	0.8662	1.1292	0.8714	0.9591	0.9171
25	0.8178	0.9203	1.3161	1.6585	1.0901	1.1209
26	1.0021	0.8684	1.1595	1.3043	1.2065	1.0710
27	0.8271	0.9443	1.2201	1.1611	0.6819	1.0299
28	1.5165	1.5337	2.1181	2.2793	0.9612	1.1105
29	1.0093	1.1506	1.2740	1.2316	1.1930	1.2642
30	0.7799	0.8621	0.9432	0.9104	1.0262	0.8958
31	0.8416	0.9475	0.7438	0.5780	0.8987	0.6903
32	4.0255	4.1452	4.9799	4.8435	0.5325	0.6430
33	0.6092	0.5592	1.0102	0.6888	0.9209	0.9699
34	2.2884	2.1808	3.1335	2.9401	2.2225	1.6768
35	0.5650	0.5963	0.7730	0.7522	0.6973	0.9196
36	0.8368	0.8768	1.0116	0.8838	1.2533	1.1588
37	0.5873	0.4584	0.8208	0.8762	0.9795	1.0405
38	0.9421	0.8556	1.0034	0.9573	0.9688	0.9928
39	0.6577	0.6109	0.8612	0.8493	1.0608	0.8437
40	1.0631	0.8902	1.3514	1.3053	0.9746	0.9705
41	0.3295	0.3282	0.4947	0.4426	0.9691	0.8643
42	2.6767	2.8311	3.8134	4.5264	0.8952	0.9587
43	4.1281	4.1010	5.1713	4.8648	1.5192	1.3936
44	1.0820	1.0467	1.5115	1.4652	0.9998	1.1690
45	0.8038	0.8115	1.0307	0.8984	1.3850	1.0740
46	0.5473	0.4695	0.7825	0.7216	1.0419	0.9679
47	0.8427	0.7687	1.0519	0.7687	0.9659	0.8691
48	0.7040	0.6623	0.6977	0.7448	1.0421	1.0135
49	0.4210	0.3862	0.5864	0.6328	0.8296	0.8244

No.	Semi- squat		Lunge		isokinetic test	
	Eccentric	Concentric	Eccentric	Concentric	Eccentric	Concentric
50	0.7364	0.5864	0.8472	0.8927	0.8243	0.9525
51	1.6949	1.6833	2.1937	1.9590	1.2129	1.1677
52	0.3747	0.3195	0.6088	0.5879	0.8247	0.9230
53	1.1128	0.9883	1.7035	1.5474	1.0683	1.3192
54	1.3380	1.1520	1.2514	1.1848	1.0078	0.9472
55	3.3113	3.1722	2.9495	2.6782	0.6954	0.8524
56	1.3815	0.7126	1.0730	0.9827	0.9568	0.9759
57	0.9804	0.7972	1.3187	1.0980	1.0659	1.0697
58	0.6457	0.6892	0.8710	0.8560	0.9674	0.9186
59	0.9573	0.8203	0.8727	0.8794	1.0654	1.3667
60	0.8945	0.8029	0.8628	0.7983	0.9718	1.1834
61	1.3300	1.1289	1.7102	1.5574	1.1439	1.2491
62	0.4360	0.3572	0.6370	0.4849	0.8152	1.0157
63	0.9571	0.7045	1.1726	1.1256	0.7480	0.7410
64	0.8917	0.6912	0.8568	0.8181	1.2436	1.2018
65	3.4486	3.0268	2.9432	3.0033	1.3104	1.2630
66	1.1084	0.9559	1.2472	1.1403	1.4031	1.3713
67	1.4266	1.3189	2.0544	1.9084	1.2433	1.2991
68	1.6001	1.5434	1.6917	1.7042	1.6021	1.6840
69	0.7939	0.6595	0.7592	0.7285	0.8168	0.6656
70	0.4899	0.4682	0.9534	0.8477	0.9964	1.0846
71	0.7030	0.5656	0.6656	0.6205	0.8234	0.8379
72	0.7860	0.7202	0.8193	0.8034	0.9770	1.0824
73	0.9197	0.7156	0.8926	0.7440	1.1344	1.1776
74	0.6072	0.5426	0.5839	0.6207	1.0197	1.2283
75	0.6804	0.6420	0.6468	0.6221	0.7856	0.8555
76	0.2859	0.3423	0.6498	0.6811	1.1816	1.1999

No.	Semi- squat		Lunge		isokinetic test	
	Eccentric	Concentric	Eccentric	Concentric	Eccentric	Concentric
77	2.3275	1.9070	2.0576	1.9433	1.1031	0.9953
78	1.6692	1.4690	2.4779	1.9115	0.9704	1.0303
79	2.7822	2.7245	1.3131	1.1968	0.9916	0.9549
80	1.3054	0.9603	1.3129	1.3045	1.3844	1.6495
81	0.7401	0.7447	1.0749	1.0176	0.9889	1.1045
82	1.2336	1.1905	1.1760	0.9270	0.9367	1.0371
83	0.3839	0.3111	0.4949	0.4956	0.9685	0.8919
84	0.8392	0.8008	0.8518	0.8280	0.9382	1.3005
85	0.9124	0.7211	1.0649	0.8963	1.0203	1.0455
86	0.5608	0.5397	0.5545	0.6087	1.2025	0.9751
Mean	1.0493	0.9648	1.2269	1.1459	1.0458	1.0691
S.D.	0.5811	0.5405	0.6112	0.5657	0.2456	0.2404

## ภาคผนวก จ

แรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral (patellofemoral joint reaction force ; PFJRF) และแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ต่อน้ำหนักตัว (patellofemoral joint reaction force/body weight ; PFJRF/BW) ขณะทำท่า semi- squat และท่า lunge

No.	PFJRF(N)		PFJRF/BW	
	Semi- squat	Lunge	Semi- squat	Lunge
1	2050.41	2172.78	3.80	4.03
2	2347.00	3149.45	4.89	6.56
3	2284.90	2963.93	4.28	5.55
4	2020.84	3068.17	4.39	6.66
5	2497.34	3145.25	4.63	5.84
6	1936.09	2653.97	3.41	4.67
7	2365.57	2939.20	3.40	4.22
8	1688.82	2599.52	3.52	5.41
9	3274.29	3671.72	3.59	4.03
10	2052.80	3252.47	2.79	4.43
11	2054.82	3148.74	3.38	5.18
12	1502.98	1320.30	2.60	2.28
13	1750.90	2364.24	2.84	3.83
14	2152.02	2443.04	3.38	3.84
15	1358.65	2647.99	2.20	4.29
16	1428.74	2796.82	2.65	5.19
17	1869.71	2691.61	2.81	4.04
18	1709.26	2823.42	4.33	7.15
19	2103.75	2587.85	4.14	5.09
20	2165.07	2662.23	5.14	6.32
21	2062.27	2964.21	2.57	3.69
22	1949.81	2168.08	4.06	4.51

No.	PFJRF(N)		PFJRF/BW	
	Semi- squat	Lunge	Semi- squat	Lunge
23	2041.72	2221.99	3.72	4.05
24	2252.74	3106.24	5.75	7.92
25	1892.99	2818.20	4.64	6.91
26	2077.68	2962.37	4.82	6.87
27	1853.31	2612.38	3.26	4.60
28	1799.16	1162.73	2.66	1.72
29	1771.49	2314.03	2.51	3.28
30	2040.95	2295.79	5.08	5.71
31	2161.91	2888.99	4.15	5.55
32	2208.13	2826.37	4.65	5.95
33	1983.82	2286.47	2.98	3.43
34	2308.97	2790.22	4.53	5.48
35	1572.12	1646.68	3.03	3.17
36	2062.62	3057.59	3.69	5.47
37	1253.61	2262.54	2.61	4.71
38	1650.60	2206.80	3.44	4.60
39	1489.33	1918.98	3.38	4.35
40	1621.16	2000.76	3.84	4.74
41	1393.41	2137.58	2.09	3.21
42	1478.06	2230.46	3.57	5.39
43	1751.55	2388.44	3.27	4.46
44	1145.57	2808.69	1.98	4.86
45	1863.96	2347.23	3.52	4.44
46	2059.82	2337.81	3.14	3.56
47	1569.42	1686.93	3.34	3.59
48	1446.22	2021.68	2.54	3.56
49	2094.08	2389.15	3.68	4.20

No.	PFJRF(N)		PFJRF/BW	
	Semi- squat	Lunge	Semi- squat	Lunge
50	1322.02	2096.48	2.55	4.04
51	1656.27	2991.24	3.13	5.65
52	1940.28	2634.84	2.75	3.73
53	1590.12	2947.28	2.58	4.77
54	1926.54	2920.53	2.89	4.38
55	1505.14	2480.10	2.29	3.78
56	1689.39	2346.35	2.57	3.57
57	1309.80	2064.26	2.48	3.90
58	1352.67	2200.74	2.60	4.24
59	1587.89	2356.42	3.24	4.81
60	1715.10	2518.12	3.43	5.04
61	1445.53	2941.76	3.14	6.39
62	2044.21	2377.41	3.21	3.73
63	1666.92	2106.35	3.78	4.78
64	1495.71	2452.68	3.05	5.01
65	2089.39	2720.94	4.74	6.17
66	1827.24	2606.14	2.83	4.03
67	1974.04	2697.08	3.25	4.44
68	1177.52	2003.38	2.27	3.86
69	1662.58	2280.05	3.95	5.41
70	1228.90	1445.60	2.22	2.61
71	1263.88	3243.46	2.22	5.71
72	1548.60	1735.78	1.92	2.15
73	1661.14	3074.44	2.92	5.41
74	1521.44	1901.37	2.63	3.29
75	1711.13	2947.47	2.39	4.12
76	1230.57	1531.35	2.03	2.52



No.	PFJRF(N)		PFJRF/BW	
	Semi- squat	Lunge	Semi- squat	Lunge
77	1489.75	1425.22	2.49	2.38
78	1779.18	1089.13	3.36	2.06
79	1512.95	2819.95	2.24	4.17
80	1455.64	2358.16	2.91	4.72
81	1542.70	1535.36	2.71	2.70
82	1405.37	1801.01	2.76	3.53
83	1223.85	1855.56	2.01	3.05
84	2379.06	2699.31	4.34	4.92
85	1126.06	1682.49	1.74	2.60
86	1367.18	1236.09	2.33	2.10
Mean	1766.24	2419.60	3.24	4.44
S.D.	374.66	541.93	0.86	1.26

**ภาคผนวก ฉ****อักษรย่อ**

ASIS	Anterior superior iliac spine
BMI	Body mass index
BW	Body weight
CKC	Closed-kinetic chain
EMG activity	Electromyographic activity
MVIC	Maximum voluntary isometric contraction
OKC	Open-kinetic chain
PFJRF	Patellofemoral joint reaction force
PFPS	Patellofemoral pain syndrome
RMS	Root mean square
VMO	Vastus medialis oblique muscle
VL	Vastus lateralis muscle

## ภาคผนวก ข

### เอกสารชี้แจงข้อมูล/คำแนะนำแก่ผู้เข้าร่วมโครงการ

**ชื่อโครงการ** สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและแรงที่กระทำต่อข้อ patellofemoral ขณะออกกำลังกายแบบ semi- squat และแบบ lunge

**ผู้ทำการวิจัย** นางสาวพัชราวดี ศรีรักษา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ โทร 084-077-7787  
 นายแพทย์สมพล สงวนรังศิริกุล คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ โทร 0-2252-7854 ต่อ 2043  
 แพทย์หญิงดุจใจ ชัยวานิชศิริ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ โทร 0-2252-4433

### สถานที่วิจัย

ศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ด้านการเดินและการเคลื่อนไหว ร.พ.จุฬาลงกรณ์  
 อาคารแพทย์พัฒนา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 โทรศัพท์ 0-2252-7854  
 ต่อ 2401

### เรียน ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เนื่องจากท่านเป็นผู้ที่มีสุขภาพดี อายุระหว่าง 18-35 ปี ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการศึกษาวิจัยดังกล่าว ขอให้ท่านอ่านเอกสารฉบับนี้อย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียดของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เพิ่มเติม กรุณาซักถามจากทีมงานของผู้ทำวิจัยซึ่งจะเป็นผู้สามารถตอบคำถามและให้ความกระจ่างแก่ท่านได้

ท่านสามารถขอคำแนะนำในการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จากครอบครัว เพื่อน หรือแพทย์ประจำตัวของท่านได้ ท่านมีเวลาอย่างเพียงพอในการตัดสินใจโดยอิสระ ถ้าท่านตัดสินใจแล้วว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้

### เหตุผลความเป็นมา

การออกกำลังกายที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทำในท่าเหยียดเข่า (knee extension) ทั้งที่เป็นที่เป็นการออกกำลังกายแบบโอเพ่นไคเนติกเชน (Open - kinetic chain) มีลักษณะคือ เข่ามีการเคลื่อนไหวอย่างอิสระ มีการเคลื่อนไหวเฉพาะข้อเข่าเดียว (single joint movement) ซึ่งเป็นแบบที่ใช้มานานและแพร่หลายมากในอดีต และโคลสไคเนติกเชน (Closed-kinetic chain) มีลักษณะทำถูกตรึงไว้กับพื้นหรือกับอุปกรณ์เครื่องมือออกกำลังกาย มีการ

เคลื่อนไหวหลายข้อต่อ (multi - joint movement) ซึ่งเริ่มมีการนิยมนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้นในช่วงปัจจุบันนี้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าด้านใน (VMO strengthening)

ในปัจจุบันการออกกำลังกายท่าเซมิสควอท (semi - squat) เป็นท่าที่ใช้ออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Quadriceps strengthening exercise) ที่เป็นแบบโคลสไคเนติกเชน (Closed-kinetic chain) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกกำลังกายที่ต้องการเน้นไปที่เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าด้านใน (Vastus medialis oblique)

นอกจากนี้ยังมีการออกกำลังกายในท่าลันจ์ (lunge) ซึ่งเป็นออกกำลังกายในแบบโคลสไคเนติกเชน (Closed-kinetic chain) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าอีกทั้งเป็นท่าที่ยังมีการศึกษาน้อย

จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าด้านใน (VMO) และกล้ามเนื้อเหยียดเข่าด้านนอก (VL) ในขณะที่มีท่าทางในการออกกำลังกายในท่าเซมิสควอท (semi- squat) และท่าลันจ์ (lunge) ในกลุ่มอาสาสมัครทั้งเพศชายและเพศหญิงเพื่อศึกษาว่าท่าในการออกกำลังกายทั้งสองมีผลต่อสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อแตกต่างกันอย่างไร และนอกจากนี้ยังศึกษาแรงที่กระทำต่อข้อเข่า (patellofemoral joint) แตกต่างกันอย่างใด ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำมาเลือกท่าออกกำลังกายที่เหมาะสมในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผู้ที่มีสุขภาพดี ผู้ที่ปวดเข่าด้านหน้า และผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมทั่วไปซึ่งจะเป็นประโยชน์ทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ

เชื่อว่า การติดเทปที่หน้าข้อเข่า จะช่วยปรับแนวกระดูกสะบ้า ซึ่งมีผลให้การเคลื่อนไหวดีขึ้น ลดอาการปวดและมีผลเพิ่มแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การติดเทปช่วยลดอาการปวดได้ แต่ผลด้านการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อยังไม่แน่ชัด

การวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการออกกำลังกายกล้ามเนื้อต้นขา ช่วยลดปวด และเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ช่วยให้เกิดสมดุลของกล้ามเนื้อด้านใน: กล้ามเนื้อด้านนอก โดยที่การออกกำลังกายนี้ทำได้หลายวิธี มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และให้เกิดแรงเครียดต่อข้อสะบ้าให้น้อยที่สุด

จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาผลของการติดเทปที่ข้อสะบ้าว่ามีผลต่อกำลังกล้ามเนื้ออย่างไร และศึกษาว่าวิธีออกกำลังกายที่ใช้บ่อย 2 ท่า คือ ท่าเซมิสควอท (Semi- squat) และ ท่าลันจ์ (Lunge) มีผลการทำงานของกล้ามเนื้อและแรงกระทำต่อข้อสะบ้า

อย่างไร ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำมาประยุกต์ใช้เลือกท่าออกกำลังกายที่เหมาะสม และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการรักษาผู้ป่วยต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าด้านใน (vastus medialis oblique) และกล้ามเนื้อเหยียดเข่าด้านนอก (vastus lateralis) ขณะออกกำลังกายในท่า เซมิสควอท (semi-squat) และท่าลันจ์ (lunge)

2. เพื่อศึกษาแรงที่กระทำแรงที่กระทำต่อข้อเข่า (Patellofemoral joint) ขณะออกกำลังกายในท่า เซมิสควอท (semi-squat) และท่าลันจ์ (lunge)

โดยจะทำการศึกษาในผู้ที่มีสุขภาพดี อายุ 18-35 ปี จำนวน 79 คน

### วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัยโดยย่อ และได้รับการแจ้งให้ทราบว่า การเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆทั้งสิ้น ได้รับการสัมภาษณ์ กรอกแบบสอบถามโดยผู้วิจัย ตามเกณฑ์การคัดเลือกเข้าศึกษา เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องลงนามยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการตรวจประเมินข้อมูลพื้นฐานได้แก่ ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง วัดเส้นรอบวงและความยาวขา มุมของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Q-angle) วัดความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการทราบถึงรายละเอียด วิธีการทดสอบและประเมินผลโดยใช้เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และเครื่องวัดแรงที่กระทำต่อข้อ โดยผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนจะใช้เวลาในการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยผู้วิจัยสวมกางเกงขาสั้น ไม่สวมถุงเท้า และรองเท้าเพื่อความสะดวกขณะทำการทดสอบ

3. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการอธิบายถึงรายละเอียดวิธีการในการออกกำลังกายทั้ง 2 แบบ โดยจะมีนักกายภาพบำบัดแสดงการสาธิตและอยู่ภายใต้การควบคุมของนักกายภาพบำบัดทุกขั้นตอนการวิจัย และจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายใดๆแก่ท่าน

### ความรับผิดชอบของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ ผู้ทำวิจัยใคร่ขอความความร่วมมือจากท่าน โดยจะขอให้ท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัยอย่างเคร่งครัด รวมทั้งแจ้งอาการผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับท่านระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัยให้ผู้ทำวิจัยได้รับทราบ

### ผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นแก่ผู้ร่วมโครงการ

ระหว่างทำการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยมีนักกายภาพบำบัดคอยดูแล ท่านอาจมีอาการปวดเมื่อยต้นขา ซึ่งหากมีอาการปวดล้ำมาก ท่านสามารถแจ้งผู้วิจัยได้ทันที หรือเมื่อนักกายภาพบำบัดเห็นว่าท่านมีอาการดังกล่าว จะทำการหยุดการทดสอบทันทีพร้อมกับปฐมพยาบาล อาการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อสามารถแก้ไขได้โดยหลังทำการทดสอบเสร็จ ให้ท่านผ่อนคลายกล้ามเนื้อ และถ้าท่านมีอาการไม่ดีขึ้นจะทำการส่งพบแพทย์โดยทันที โดยผู้วิจัยจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาทั้งหมด

### ผลหรือประโยชน์ที่ท่านจะได้รับจากการร่วมการวิจัย

1. ท่านจะได้ทราบถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า รวมถึงทราบแรงที่กระทำต่อข้อในขณะที่ทำท่าออกกำลังกาย
2. ท่านจะได้ทราบโครงสร้างขาและกระดูกสะบ้า ว่าอยู่ในช่วงปกติหรือไม่ปกติ
3. รับทราบข้อมูลในการเลือกท่าออกกำลังกายที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่เหมาะสมกับท่าน

### ค่าตอบแทนอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

ท่านจะได้รับตอบแทนสำหรับการเข้าร่วมโครงการวิจัย 300 บาท (เข้าร่วมวิจัย 1 ครั้ง)

### การเก็บข้อมูลเป็นความลับ

ผู้ทำการวิจัยขอยืนยันว่า ข้อมูลเกี่ยวกับตัวผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะถูกเก็บไว้เป็นความลับ และจะใช้สำหรับงานวิจัยนี้เท่านั้น และชื่อของผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะไม่ปรากฏในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล และในฐานะข้อมูลทั่วไป โดยมีผู้ทำวิจัยเพียงคนเดียวเท่านั้นที่ทราบรายละเอียดของข้อมูลนี้

### สิทธิของผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงโครงการและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับวิธีการวิจัย รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

6. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยไม่ได้รับผลกระทบใดๆ ทั้งสิ้น
7. ท่านจะได้รับสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่
8. ท่านจะได้โอกาสในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้

หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ สามารถสอบถามได้ที่ นางสาวพัชราวดี ศรีวัชรินทร์ โทรศัพท์ 084-0777787

หากท่านไม่ได้รับการชดเชยอันควรต่อการบาดเจ็บหรือภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการวิจัย หรือท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามที่ปรากฏในเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในการวิจัย ท่านสามารถร้องเรียนได้ที่

คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ตึกอำนวยการ 3 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร 0-2256-4455 ต่อ 14, 15 ในเวลาราชการ

**ขอขอบคุณในการร่วมมือของท่านมา ณ ที่นี้**

## ภาคผนวก ข

## ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent form)

การวิจัยเรื่อง สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและแรงที่กระทำต่อข้อ  
patellofemoral ขณะออกกำลังกายแบบ semi- squat และแบบ lunge  
วันให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว.....  
ที่อยู่.....  
ได้อ่านรายละเอียดจากเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยวิจัยที่แนบมาฉบับวันที่  
..... และข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยโดยสมัครใจ

ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ลงนาม  
และ วันที่ พร้อมด้วยเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ทั้งนี้ก่อนที่จะลงนามในใบ  
ยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระยะเวลา  
ของการทำวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะ  
เกิดขึ้นจากการวิจัย ข้าพเจ้ามีเวลาและโอกาสเพียงพอในการซักถามข้อสงสัยจนมีความเข้าใจ  
อย่างดีแล้ว โดยผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่าง ๆ ด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ารับทราบจากผู้วิจัยว่าหากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะ  
ได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและจะได้รับการชดเชยจากผู้วิจัย

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกเข้าร่วมในโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้ง  
เหตุผล และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อสิทธิอื่น ๆ ที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะเมื่อ  
ได้รับการยินยอมจากข้าพเจ้าเท่านั้น บุคคลอื่นในนามของบริษัทผู้สนับสนุนการวิจัย  
คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาอาจได้รับ  
อนุญาตให้เข้ามาตรวจและประมวลข้อมูลของผู้เข้าร่วมวิจัย ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อวัตถุประสงค์  
เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้น โดยการตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษานี้ข้าพเจ้าได้ให้  
คำยินยอมที่จะให้มีการตรวจสอบประวัติทางการแพทย์ของผู้เข้าร่วมวิจัยได้

ผู้วิจัยรับรองว่าจะไม่มีการเก็บข้อมูลใด ๆ ของผู้เข้าร่วมวิจัย เพิ่มเติม หลังจากที่ข้าพเจ้า  
ขอยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัยและต้องการให้ทำลายเอกสารและ/หรือ ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ  
ทั้งหมดที่สามารถสืบค้นถึงตัวข้าพเจ้าได้



ข้าพเจ้าเข้าใจว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าและสามารถยกเลิกการให้สิทธิในการใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าได้ โดยต้องแจ้งให้ผู้วิจัยรับทราบ

ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าข้อมูลในการวิจัยรวมถึงข้อมูลทางการแพทย์ของข้าพเจ้าที่ไม่มีการเปิดเผยชื่อ จะผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกและในคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการรายงานข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการ รวมทั้งการใช้ข้อมูลทางการแพทย์ในอนาคตหรือการวิจัยทางด้านเภสัชภัณฑ์ เท่านั้น

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการแล้ว ยินดีเข้าร่วมในการวิจัยด้วยความเต็มใจ จึงได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมนี้

.....ลงนามผู้ให้ความยินยอม  
(.....) ชื่อผู้ยินยอมตัวบรรจง  
วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้าได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการไม่พึงประสงค์หรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย หรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด ให้ผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยตามนามข้างต้นได้ทราบและมีความเข้าใจดีแล้ว พร้อมลงนามลงในเอกสารแสดงความยินยอมด้วยความเต็มใจ

.....ลงนามผู้ทำวิจัย  
(.....) ชื่อผู้ทำวิจัย ตัวบรรจง  
วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

.....ลงนามพยาน  
(.....) ชื่อพยาน ตัวบรรจง  
วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

**ภาคผนวก ฉ**  
**แบบสอบถามข้อมูลเพื่อการคัดกรองเบื้องต้น**

กรุณาเติมข้อความลงในช่องว่าง หรือ ทำเครื่องหมาย ✓ ในวงเล็บหน้าคำตอบที่คุณเลือก

**ประวัติส่วนตัวและข้อมูลทั่วไป**

1. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
2. สัญชาติ ( ) ไทย ( ) อื่นๆ.....
3. อายุ ..... ปี
4. อาชีพ.....
5. ท่านถนัดขาข้าง ( ) ซ้าย ( ) ขวา
6. ท่านมีภาวะหรือโรคต่อไปนี้หรือไม่ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
  - ( ) มีอาการปวดเข่า หรือเคยได้รับการบาดเจ็บโดยตรงต่อเข่า
  - ( ) มีอาการข้อเข่าเสื่อม
  - ( ) เคยได้รับอุบัติเหตุรุนแรงต่อข้อเข่าโดยตรง
  - ( ) มีประวัติการอักเสบของกล้ามเนื้อขาภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา
  - ( ) เคยมีการเคลื่อนหรือหลุดของกระดูกสะบ้า (Discolation of subluxation in the PFJ)
  - ( ) มีภาวะบาดเจ็บหรือเคยได้รับการบาดเจ็บบริเวณหมอนรองกระดูกเข่า (meniscus) เอ็นเข่า (ligament) และเอ็นของกระดูกสะบ้า (patella tendon)
  - ( ) เคยได้รับการผ่าตัดบริเวณเข่าหรือขามาก่อน
  - ( ) มีภาวะความผิดปกติของขาแต่กำเนิด
  - ( ) เคยเป็นโรคข้ออักเสบรูมาตอยด์
  - ( ) เคยมีการติดเชื้อของเข่ามาก่อน
  - ( ) ขณะนี้มีอาการทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อขาและเข่า
  - ( ) ขณะนี้ เป็นโรคที่ข้อเข่า ซึ่งได้รับการวินิจฉัยยืนยันจากแพทย์
  - ( ) ขณะนี้ มีภาวะเนื้องอก โปรดระบุ.....
  - ( ) ขณะนี้ เป็นโรคในกลุ่มแพ้ภูมิตนเอง (systemic lupus erythematosus)
  - ( ) ขณะนี้ มีภาวะกระดูกพรุนหรือบาง
  - ( ) ขณะนี้ กำลังตั้งครรภ์ หรืออยู่ในช่วงหลังคลอดบุตรมาไม่เกิน 1 ปี

ภาคผนวก ญ  
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

เรื่อง การศึกษาสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าขณะออกกำลังกายแบบ closed - kinetic chain

---

คำแนะนำในการตอบแบบสอบถาม

1. แบบสอบถามประกอบด้วย 2 ตอน  
ตอนที่ 1 เกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐาน 3 ข้อ  
ตอนที่ 2 เกี่ยวกับการออกกำลังกาย 8 ข้อ
2. การตอบแบบสอบถามในแต่ละตอนให้ใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง และในส่วนที่เป็นช่องว่างให้เติมข้อความให้ครบถ้วน
3. ให้ทำการสอบถามให้ครบทุกข้อ เพื่อให้แบบสอบถามสมบูรณ์ และสามารถนำผลมาวิเคราะห์ได้

### ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐาน

1. วัน/เดือน/ปีเกิด ...../...../..... อายุ.....ปี
2. น้ำหนัก ..... กิโลกรัม  
ส่วนสูง ..... เซนติเมตร
3. ท่านมีโรคประจำตัว  
( ) ไม่มี ( ) มี  
ถ้ามี (โปรดระบุ).....

### ส่วนที่ 2 ประวัติการออกกำลังกาย

1. ท่านออกกำลังกายหรือไม่  
( ) ใช่ ( ) ไม่
2. ท่านออกกำลังกายชนิดใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)  
( ) เดิน ( ) วิ่ง ( ) เต้นแอโรบิก  
( ) weight training ( ) ฟุตบอล ( ) บาสเกตบอล  
( ) อื่น ๆ .....
3. ท่านออกกำลังกายเป็นเวลานานเท่าไร  
..... (สัปดาห์, เดือน, ปี)
4. ท่านออกกำลังกายกี่ครั้งต่อสัปดาห์  
( ) ทุกวัน ( ) 5-6 ครั้ง/สัปดาห์  
( ) 3-4 ครั้ง/สัปดาห์ ( ) 1-2 ครั้ง/สัปดาห์
5. ท่านออกกำลังกายเป็นระยะเวลาเท่าไรต่อครั้ง  
( ) น้อยกว่า 30 นาที  
( ) 30 - 60 นาที  
( ) มากกว่า 60 นาที
6. ท่านได้ออกกำลังกายที่เน้นการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข้าหรือไม่  
( ) ใช่ ( ) ไม่

7. ท่านออกกำลังกายที่เน้นการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่ากี่ครั้งต่อสัปดาห์  
.....ครั้ง/สัปดาห์
8. ท่านออกกำลังกายที่เน้นการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าเป็นระยะเวลาเท่าไร  
ต่อครั้ง
- ( ) น้อยกว่า 10 นาที
  - ( ) 10 - 20 นาที
  - ( ) 20 - 30 นาที
  - ( ) มากกว่า 30 นาที

ภาคผนวก ท  
แบบบันทึกข้อมูลของการวิจัย

รายละเอียดของแบบบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย

- ข้อมูลพื้นฐานลักษณะทางกายภาพ
- ข้อมูลในการวัดขณะทำ MVIC
- ข้อมูล isokinetic test และ EMG activity
- ข้อมูล EMG activity ขณะทำท่าออกกำลังกาย
- ข้อมูลเพื่อคำนวณ patellofemoral joint reaction force

### แบบบันทึกข้อมูล

1. body weight

- น้ำหนัก ..... กิโลกรัม

2. Height

- ส่วนสูง ..... เซนติเมตร

3. ดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI)

- ค่าดัชนีมวลกาย ..... กิโลกรัม/เมตร<sup>2</sup>

4. ความหนาของชั้นไขมันใต้ผิวหนังบริเวณกล้ามเนื้อ VMO และ VL โดยใช้ skinfold caliper

skinfold site	ครั้งที่		เฉลี่ย (mm)
	1	2	
1. 4 cm from the superomedial border of the patella at an inclination angle of 45° in relation to the reference line			
2. 15 cm from the superolateral border of the patella, with an inclination angle of approximately 15°			

5. เส้นรอบวงขา

ขาซ้าย

site	Measurement (cm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
4 cm from the superior border of the patella			
15 cm from the superior border of the patella			

ขาขวา

site	Measurement (cm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
4 cm from the superior border of the patella			
15 cm from the superior border of the patella			

## 6. ความยาวรยางค์ขา

ขาซ้าย

site	Measurement (cm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
Leg length (ASIS to medial malleolus)			
Upper leg (ASIS to lateral knee joint line)			
Lower leg (lateral knee joint line to medial malleolus)			

ขาขวา

site	Measurement (cm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
Leg length (ASIS to medial malleolus)			
Upper leg (ASIS to lateral knee joint line)			
Lower leg (lateral knee joint line to medial malleolus)			

## 7. Q - angle

ขาซ้าย

position	Measurement (degree)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ท่านอน			
ทำยืน (Qualisys motion capture)			

ขาขวา

position	Measurement (degree)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ท่านอน			
ทำยืน (Qualisys motion capture)			



## 8. Maximum voluntary contraction : quadriceps activity

ครั้งที่	EMG activity ( $\mu V$ )	
	VMO	VL
1		
2		
3		
Peak VMO		
Peak VL		

## 9. isokinetic test and quadriceps activity

Angle velocity	ครั้งที่	EMG activity ( $\mu V$ )		average peak torque (Nm)
		VMO	VL	
concentric 120°/s	1			
	2			
	3			
	average			
eccentric 120°/s	1			
	2			
	3			
	average			

10. quadriceps activity in exercises

ครั้งที่	Exercises ; EMG activity ( $\mu V$ )							
	Semi- squat				Lunge			
	eccentric		concentric		eccentric		concentric	
	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL	VMO	VL
1								
2								
3								
mean								

11. ข้อมูลจาก Motion analysis

ครั้งที่	Exercises ; EMG activity ( $\mu V$ )									
	Semi- squat					Lunge				
	X	k	$M_k$	$L_q$	PFJRF	X	k	$M_k$	$L_q$	PFJRF
1										
2										
3										
mean										

X = knee joint angle                       $M_k$  = net knee moment                      k = constant

PFJRF = Patellofemoral joint reaction force                       $L_q$  = moment arm for the

quadriceps

หมายเหตุ

.....

.....

.....

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพัชราวดี ศรีรักษ์ เกิดวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (กายภาพบำบัด) (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต หลักสูตรเวชศาสตร์ศาสตร์การกีฬา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552