ผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงการ ทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า แรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำภายในข้อเข่า ขณะลงสู่พื้น

นายกานต์ ทิพกร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 University Graduate School.

EFFECT OF STATIC AND DYNAMIC STRETCHING ON MUSCLE ACTIVITY SURROUND KNEE, GROUND REACTION FORCES AND KNEE JOINT REACTION FORCES DURING SINGLE LEG DROP LANDING

Mr. Karn Tipakorn

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงการ ทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า แรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำภายในข้อเข่า ขณะลงสู่พื้น
โดย	นายกานต์ ทิพกร
สาขาวิชา	เวชศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะแพทยศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์โศภณ นภาธร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ แพทย์หญิง ดุจใจ ชัยวานิชศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล)

.....กรรมการ

(แพทย์หญิง สริสสา แรงกล้า)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ ภัทราวุธ อินทรกำแหง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กานต์ ทิพกร : ผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า แรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำภายในข้อเข่า ขณะลงสู่พื้น. (EFFECT OF STATIC AND DYNAMIC STRETCHING ON MUSCLE ACTIVITY SURROUND KNEE, GROUND REACTION FORCES AND KNEE JOINT REACTION FORCES DURING SINGLE LEG DROP LANDING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. นพ. พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. นพ. สมพล สงวนรังศิริกุล, 66 หน้า.

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1.เพื่อศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อแรงกระทำต่อพื้น และแรงกระทำต่อข้อเข่า ขณะลงสู่พื้นโดยวิธี single leg landing ทั้งก่อน หลังยืดกล้ามเนื้อทันที และที่เวลา 30, 60 นาทีหลัง

2. เพื่อศึกษาผลของการทำการของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่าขณะลงสู่พื้นโดยวิธี single leg landing ทั้งก่อน หลังยืด ทันที และที่เวลา 30, 60 นาทีหลังการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

รูปแบบในการวิจัย การศึกษาวิจัยเชิงทดลอง

กลุ่มตัวอย่าง ชายไทยอายุระหว่าง 18-35 ปีที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้า จำนวน 40 คน

วิธีการดำเนินงานวิจัย ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทดสอบ single leg drop landing ลงบน force plate ทั้งหมด 3 ครั้งเก็บเป็นกลุ่ม control วัดค่าแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อด้วย force plate นำมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม (Qualisys Motion Capture System) และวัดการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยเครื่อง EMG จากนั้นอบอุ่นร่างกายโดยปั่นจักรยานที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที นาน 5 นาทีทั้ง 2กลุ่ม เสร็จผู้เข้าร่วมวิจัยทำการยืดกล้ามเนื้อตามแบบที่ได้รับเลือกทั้งแบบคงค้างและเคลื่อนไหว วัดทันทีหลังยืดและที่เวลา 30 และ 60 นาทีตามลำดับ

ผลการวิจัย (Results): ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าแรงกระทำต่อขณะก่อนยืดเทียบหลังยืดทันที พบว่าที่เวลา 30,60 นาทีไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน แต่ผลที่ได้มีแนวโน้มของค่าทั้งสองเพิ่มขึ้นในกลุ่มหลังยืดทันทีเทียบกับก่อนยืดกล้ามเนื้อ และมีแนวโน้มกลับสู่ค่า baseline ในส่วนค่าการทำงานของกล้ามเนื้อไม่พบความแตกต่างอย่างนี้นัยสำคัญทางสถิติ ของระยะเวลาและรูปแบบของการยืดกล้ามเนื้อเช่นเดียวกัน

สรุปผล (Conclusion): การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกระทำต่อพื้น แรงกระทำต่อข้อและการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่าเทียบกับก่อนยืดเวลาไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน แต่มีแนวโน้มของค่าแรงกระทำต่อพื้น และแรงกระทำต่อข้อเข่าที่เพิ่มขึ้นหลังยืดกล้ามเนื้อ ในส่วนการทำงานของกล้ามเนื้อกลับมีแนวโน้มการทำงานที่ลดลงหลังจากยืดกล้ามเนื้อทันที

สาขาวิชา เวชศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5374609130 : MAJOR SPORTS MEDICINE
KEYWORDS: GROUND REACTION FORCE / STATIC STRETCHING / DYNAMIC STRETCHING / SINGLE LEG DROP LANDING / JOINT REACTION FORCE / MUSCLE ACTIVITY

KARN TIPAKORN: EFFECT OF STATIC AND DYNAMIC STRETCHING ON MUSCLE ACTIVITY SURROUND KNEE, GROUND REACTION FORCES AND KNEE JOINT REACTION FORCES DURING SINGLE LEG DROP LANDING. ADVISOR: ASSOC. PROF.PONGSAK YUKTANANDANA, M.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF.SOMPOL SANGUANRUNGSIRIKUL, M.D.,M.Sc., 66 pp.

Objectives: 1) To determine the static and dynamic stretching effect on ground and joint reaction force compared between before and after stretch, post stretch 30 min. and post stretch 60 min. during single leg drop landing.

2) To determine the static and dynamic stretching effect on muscle activity surround knee compared between before and after stretch, post stretch 30 min. and post stretch 60 min. during single leg drop landing.

Study design: (Experimental study with Cross over design)

Samples: 40 men who were 18-35 years old and included with the study criteria

Methods: Each participant performed 3 times of single drop landing as the control group. Ground and joint reaction force measure by Force place and calculate by Qualisys Motion Capture System. Muscle activity was capture by surface EMG. Then they warm up by cycling on ergonomic cycling at the speed of 50 rpm perform 5 minutes. After the cycling, participants perform stretching due to the type that they randomly assigned, which are either static stretching or dynamic stretching. In addition, measuring again at the time of post immediate stretch, post stretch 30, post stretch 60 minutes.

Results: The Results indicated no significant differences in statistics in mean±SD of ground reaction force and joint reaction force immediately after stretching in 30 minutes and 60 minutes compare to the results before the stretching. However, the results present the tendency of both value that increase in after stretching group comparing with before stretching. Muscle activity no significant differences in statistics in percent of maximum voluntary isometric contraction.

Conclusion: The effect of stretching is no differences to changes of ground and joint reaction force in both before and after stretching, time also not effect in those changes while single leg landing. But the tendency has been presented which can provide some interesting information to the reader. Therefore, we should not stretch muscles before performing power sport in order to avoid injury of the joint.

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

Academic Year: 2013 Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้นิพนธ์ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์นายแพทย์พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาและ รองศาสตราจารย์นายแพทย์สมพล สงวนรังศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัยร่วม ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาในการทำวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ การจัดเตรียมเครื่องมือ ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาที่พบจากการใช้เครื่องมือในการวิจัยเป็นอย่างดียิ่งรวมถึงคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาตราจารย์ แพทย์หญิงดุจใจ ชัยวานิชศิริ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์แพทย์หญิงสริสสา แรงกล้า กรรมการภายใน และ พันเอกผู้ช่วยศาสตราจารย์นายแพทย์ ภัทราวุธ อินทรากำแหง กรรมการภายนอก ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาในการตรวจ แก้ไขปรับปรุงและเสนอข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่สั่งสมความรู้ให้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ และขอบคุณศาสตราจารย์แพทย์หญิงอารีรัตน์ สุพุทธิธาดา ในการอนุเคราะห์ห้องศูนย์ทดสอบการเดินและการเคลื่อนไหว (Gait and motion analysis) ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการใช้เก็บข้อมูลงานวิจัยซึ่งผู้วิจัยได้รับความสะดวกสบายในการทำการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณนางสาว ฉัตรแก้ว พงษ์มาลาและนาย กิตติกร สีหะบุตร ที่คอยช่วยเหลือพร้อมทั้งให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ การจัดเตรียมเครื่องมือ พร้อมทั้งยังคอยให้คำปรึกษาและแก้ปัญหา เมื่อเกิดอุปสรรคต่างๆตลอดช่วงเวลาการเก็บข้อมูลจนผ่านลุล่วงไปด้วยดีรวมถึงพี่ๆ เพื่อนและน้องๆ เวชศาสตร์การกีฬาทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ให้กำลังใจตลอดมาตั้งแต่วันแรกที่เข้ามาศึกษาที่นี่

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการพิจารณาทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบเงินทุนเพื่อสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูล ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกๆท่านไม่ว่าจะเป็นพี่ๆ น้องๆ ชาวจุฬาลงกรณ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่ามาเข้าร่วมทดสอบในงานวิจัยในครั้งนี้ ทางผู้วิจัยขอขอบคุณทุกๆท่านเป็นอย่างยิ่ง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยเป็นหัวใจหลัก กำลังใจหลักที่คอยสนับสนุนขับเคลื่อนให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้ามารับการศึกษาในสถาบันอันมีชื่อเสียงแห่งนี้ตั้งแต่วันแรกจนถึงวันนี้ คอยให้ข้อคิด แรงกระตุ้นในการฝ่าฟันอุปสรรคต่างที่เข้ามาในระหว่างการศึกษาจนประสบความสำเร็จลุล่วงมาจนวันนี้ ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านทั้ง 2 มา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 คำถามงานวิจัย 3

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย 3

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น 4

1.6 ข้อจำกัดในการวิจัย 4

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 4

1.7.1 การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง (Static stretching) 4

1.7.2 การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 4

1.7.3 การวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้น (Ground Reaction Force, GRF) 4

1.7.4 การวัดแรงปฏิกิริยาต่อข้อ (Joint Reaction Force, JRF) 5

1.7.5 การวัดการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle activity) 5

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้ 5

2.1 การบาดเจ็บจากกล้ามเนื้อที่ทำงานไม่ประสานกันในการหดตัวเพื่อรักษาความมั่นคงของข้อต่อ 6

2.2 ความเป็นมาของ Proprioception 6

2.3 การรับรู้สัมผัสจากผิวหนัง 8

2.4 การรักษาท่าทางความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหว (Dynamic stability) 9

2.5 คำจำกัดความของ Dynamic stability 9

2.6 การยืดกล้ามเนื้อ Stretching exercise 9

หน้า

2.6.1 ทฤษฎีการยืดกล้ามเนื้อกลไกที่ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท 10
2.6.2 Reciprocal Inhibition 10
2.7 การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างต่อประสิทธิภาพร่างกาย 11
2.8 กลไกการลดลงของสมรรถภาพกล้ามเนื้อต่อการยืดกล้ามเนื้อ 12
2.9 การยืดกล้ามเนื้อและการป้องกันการบาดเจ็บ 12
2.10 ผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว 13
2.11 กลไกในการเพิ่มประสิทธิภาพของร่างกายจากการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว 14
2.12 การทดสอบด้วย single leg drop landing 15
2.13 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
3.1 รูปแบบการวิจัย 19
3.2 ระเบียบวิธีการวิจัย 19
3.2.1 ประชากรศึกษา 19
3.2.2 การสังเกตและการวัด 20
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 21
3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 22
3.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล 30
3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 30
4.1 ข้อมูลทั่วไป 31
4.2 ผลของค่า ground reaction force (GRF) และ joint reaction force (JRF) 31
4.3 ผลของค่ากำลังกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า Electromyography (EMG) 34
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 41
อภิปรายผลการวิจัย 41
สรุปผลการวิจัย 43
ข้อเสนอแนะ 44
รายการอ้างอิง 45
ภาคผนวก ก 52
แบบสอบถามคัดกรองผู้เข้าร่วมงานวิจัย 52

หน้า

ภาคผนวก ข 53
แบบยินยอมเพื่อเข้าร่วมการศึกษา 53
ภาคผนวก ค 57
เอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย 57
ภาคผนวก ง 59
แบบบันทึกผลการวิจัย 59
ภาคผนวก ง 61
อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการสำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของรยางค์ขา 61
ภาคผนวก จ 64
วิธีการคำนวณค่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ 64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการวิจัยชายจำนวน 40 ราย 31
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าแรงกระทำต่อพื้น(GRF)ทั้งในแบบ
การยืดแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....32
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าแรงกระทำต่อข้อเข่า(JRF)ทั้งในแบบ
การยืดแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....32
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Vastus medialis(VM) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....34
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Vastus lateralis(VL) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....35
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Medial hamstring(MH) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....36
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Lateral hamstring(LH) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....37
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Medial gastrocnemius(MG) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....38
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Lateral gastrocnemius (LG) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

ภาพที่ 1.1 แผนผังกรอบแนวคิดในการทำวิจัย.....3

ภาพที่ 2.1 แสดง Neuromuscular control pathways.....7

ภาพที่ 2.2 แสดงตัวรับสัญญาณประสาทที่ผิวหนัง.....8

ภาพที่ 2.3 แสดงกลไกการทำการของ reciprocal inhibition 11

ภาพที่ 3.1 การยืดกล้ามเนื้อ Quadriceps.....24

ภาพที่ 3.2 การยืดกล้ามเนื้อ Hamstring.....25

ภาพที่ 3.3 การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching).....25

ภาพที่ 3.4 การทดสอบด้วยวิธี single leg drop landing.....26

ภาพที่ 3.5 การติด surface electrode ของกล้ามเนื้อ vastus medialis, vastus lateralis, biceps femoris, และ medial hamstrings ในขาข้างที่ทำการทดสอบ.....26

ภาพที่ 3.6 แสดงการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ 27

ภาพที่ 3.7 แสดงการทดสอบ MMT ของกล้ามเนื้อ Quadriceps muscle.....28

ภาพที่ 3.8 แสดงการทดสอบ MMT ของกล้ามเนื้อ Hamstrings muscle.....28

ภาพที่ 3.9 แสดงการติด reflective marker เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงต่อมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวและข้อเข่าขณะมีการลงสู่พื้น.....29

ภาพที่ 3.10 แสดงการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Visual-3D Basic/RT เพื่อใช้คำนวณหาค่า joint reaction force และค่า ground reaction forces.....29

ภาพที่ 3.11 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกและวิเคราะห์ผลการวิจัย.....30

ภาพที่ 4.1 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยของแรงกระทำต่อพื้น(GRF)ต่อผลการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวและแบบคงค้าง.....33

ภาพที่ 4.2 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยของแรงกระทำต่อข้อเข่า(JRF)ในทั้ง 2 กลุ่มการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวและแบบคงค้าง.....33

ภาพที่ 4.3 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ VM ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....35

ภาพที่ 4.4 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Vastus lateralis(VL) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....36

ภาพที่ 4.5 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Vastus lateralis(VL) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....37

ภาพที่ 4.6 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Lateral hamstring(LH) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว...38

ภาพที่ 4.7 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Medial gastrocnemius(MG}ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....39

ภาพที่ 4.8 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Lateral gastrocnemius(LG) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว.....40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบาดเจ็บจากกล้ามเนื้อที่ทำงานไม่ประสานกันในการหดตัวเพื่อรักษาความมั่นคงของข้อต่อที่พบได้บ่อยๆจากกีฬาคือ การบาดเจ็บในรยางค์ส่วนล่างของร่างกายซึ่งส่วนที่พบการบาดเจ็บได้บ่อยที่สุดคือ บริเวณเอ็นไขว้หน้าหรือ Anterior Cruciate Ligament (ACL) ซึ่งในอเมริกาพบผู้ป่วยที่บาดเจ็บมากกว่า 200,000 รายต่อปี [(1),(2)] รูปแบบการบาดเจ็บส่วนใหญ่เป็นแบบไม่ปะทะ และเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนไหวกะทันหัน การลงสู่พื้นที่ผิดท่าทาง ร่วมกับการลงในท่าเหยียดเข่า เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณเอ็นไขว้หน้า[(3-5)] การให้ความสนใจด้าน ข้างหรือ ไม่สนใจด้านข้างทางชีวกลศาสตร์เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการบาดเจ็บเอ็นไขว้หน้า แรงทางด้านข้างมีผลต่อการเกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้า[(6-8)] ขณะที่หลายการศึกษาแนะนำว่าการวิเคราะห์ทางด้านข้างอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายความเชื่อมโยงต่อการเกิดการบาดเจ็บเอ็นไขว้หน้าได้[[(9-11)] มีงานวิจัยในร่างศึกษาของผู้เสียชีวิตแล้วอธิบายเฉพาะเจาะจงไปที่กลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (quadriceps) ว่ามีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในแบบที่ไม่มีการปะทะ[(12, 13)] การมีมุมงอเข่าที่น้อยและมีการทำงานของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (quadriceps) ที่มากขณะลงสู่พื้นเป็นตัวบอกถึงความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บต่อเอ็นไขว้หน้าได้ การทำงานประสานกันที่ดีระหว่างกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง(hamstring) และกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (quadriceps) มีความสำคัญในการบอกถึงการความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหว (dynamic stability) ที่ดีของข้อเข่าและเป็นตัวบ่งบอกถึงความเสี่ยงที่ลดลงในการบาดเจ็บต่อเอ็นไขว้หน้าอีกด้วย

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากในการเคลื่อนไหว ซึ่งการทำงานของกล้ามเนื้อรอบๆข้อต่อมีผลต่อความมั่นคงข้อและเป็นส่วนช่วยในการควบคุมการเคลื่อนไหว ความมั่นคงของข้อร่วมกับกลไกอื่นๆภายในร่างกายทำให้เกิดเป็นความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหว (dynamic stability)[(14)] ซึ่งความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหวสามารถวัดได้จากการรับความรู้สึกข้อต่อ (proprioception)[(15, 16)] การรับความรู้สึกของผิวหนัง(cutaneous sensation)[(17, 18)] ความเร็วของการนำกระแสประสาท(nerve conduction velocity)[(19-21)] เวลาในการตอบสนองของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ(neuromuscular response time)[(22-24)] การควบคุมการทรงท่า(postural control)[(25, 26)]และ ความแข็งแรง(strength)[(27)] กลไกของความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหว (dynamic stability) เกิดจากการทำงานของ sensorimotor การบกพร่องที่เกิดจากการทำงานของระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ

การอบอุ่นร่างกายและการยืดกล้ามเนื้อ เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการรักษาสุขภาพและสมรรถภาพที่ดีของร่างกายตามคำกล่าวของ American College of Sports Medicine[(28, 29)]และมีหลักฐานถึงประโยชน์ของการยืดกล้ามเป็นประจำได้ผลที่ดี การยืดกล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาเป็นสามารถป้องกันการบาดเจ็บและรักษาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อได้[(30, 31)] ในทางตรงกันข้ามมีหลักฐานแสดงถึงการยืดกล้ามเนื้อทำให้ประสิทธิภาพลดลงของกำลังสูงสุดของกล้ามเนื้อ

[32, 33] ความสูงในการกระโดด[34]และความเร็วในการวิ่ง[35] หลังจากมีการยืดกล้ามเนื้อใน การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง (static stretching) ทำให้ในกีฬาที่มีการกระโดดและการลงสู่พื้น เช่น บาสเก็ตบอล วอลเลย์บอล แบดมินตัน หรือจำพวกกระโดดไกลต่างๆควรให้ความสนใจในปัจจัยเรื่องของเวลาในการยืดกล้ามเนื้อก่อนออกกำลังกายในทันทีว่าส่งผลที่ดีหรือไม่ต่อประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อ จากการลดลงของกำลังกล้ามเนื้อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่า GRF, JRF ที่อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้า และ ข้อเข่าได้ เพราะในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบด้วย Single leg drop landing test ซึ่งเป็นการทดสอบเฉพาะเจาะจงต่อข้อเข่าและเอ็นไขว้หน้า มีข้อเสนอแนะว่าสาเหตุของการลดลงหลังจากการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างมาจาก 2 ปัจจัย คือทางกลศาสตร์ (mechanical) และระบบประสาท (neurological) ทาง mechanical อาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของรอยย่นของกล้ามเนื้อทำให้ความยาวกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้มีการลดลงของกำลังสูงสุดและทำให้การสร้างกำลังช้าลงด้วย[36] ส่วนทาง neurological อาจเกิดจากการลดการทำงานของ motor unit[37, 38]ซึ่งอาจมีผลให้ความมั่นคงของข้อต่อและการทำงานของกล้ามเนื้อรอบๆข้อลดลงในขณะลงสู่พื้นเป็นสิ่งบ่งชี้การมี poor dynamic stability ของข้อเข่าได้

การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (dynamic stretching) เป็นการรวมเข้าด้วยกันของการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆ เช่น เดิน วิ่ง กระโดด หรือเป็นการเคลื่อนที่เฉพาะต่อกีฬานั้นๆซึ่งมีรายงานสนับสนุนว่า เพิ่มสมรรถภาพในการกระโดด การวิ่งและกำลังหลังจากการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว[39-41]โดยอธิบายว่า การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวสามารถเพิ่มสมรรถภาพจากการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อ ในระยะหลังมีการพูดถึงผลของเพิ่มการขนส่งออกซิเจน การขับของเสียและการนำสัญญาณประสาทที่เร็วขึ้น[42]และมีงานวิจัยที่พูดถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ postactivation potentiation และ postcontraction sensory discharge ซึ่งได้อธิบายกลไกว่าเป็นการเพิ่มแรงของกล้ามเนื้อหลังจากกล้ามเนื้อมีการทำงานแล้ว และมีการเพิ่มขึ้นของกระแสประสาทที่ spinal dorsal root หลังจากกล้ามเนื้อหดตัวทำให้ เพิ่มความเร็วและแรงของกล้ามเนื้อก่อนการหดตัวครั้งต่อไป[43]

จากข้อมูลที่กล่าวมา ความแตกต่างของการยืดกล้ามเนื้อในการลดหรือเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อในนักกีฬาหรือผู้ที่ออกกำลังกายที่มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ การทรงท่า(Posture control) ขณะลงสู่พื้น เรื่องของ dynamic stability ที่มีความสำคัญในการทรงท่าและการป้องกันข้อต่อในขณะลงสู่พื้น (drop landing) ปัจจัยเหล่านี้จึงอาจมีความสัมพันธ์กับเรื่องการเกิดการบาดเจ็บแบบไม่ปะทะได้ ซึ่งยังไม่เคยมีการศึกษาไหนให้ความสนใจถึงผลของการอบอุ่นร่างกายทั้ง 2 แบบต่อผลของการทำงานของกล้ามเนื้อและผลในการป้องกันการเกิดการบาดเจ็บต่อเอ็นไขว้หน้า

วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ต้องการศึกษาผลการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและการยืดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหวต่อแรงลงสู่พื้นด้วย ground reaction force, แรงกระทำภายในข้อเข่าขณะที่มีการลงสู่พื้นด้วย motion analysis และการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า โดยใช้ค่าเฉลี่ย electromyographic (EMG) ของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า (vastus lateralis, vastus medialis, biceps femoris, and medial hamstrings)

1.2 คำถามงานวิจัย

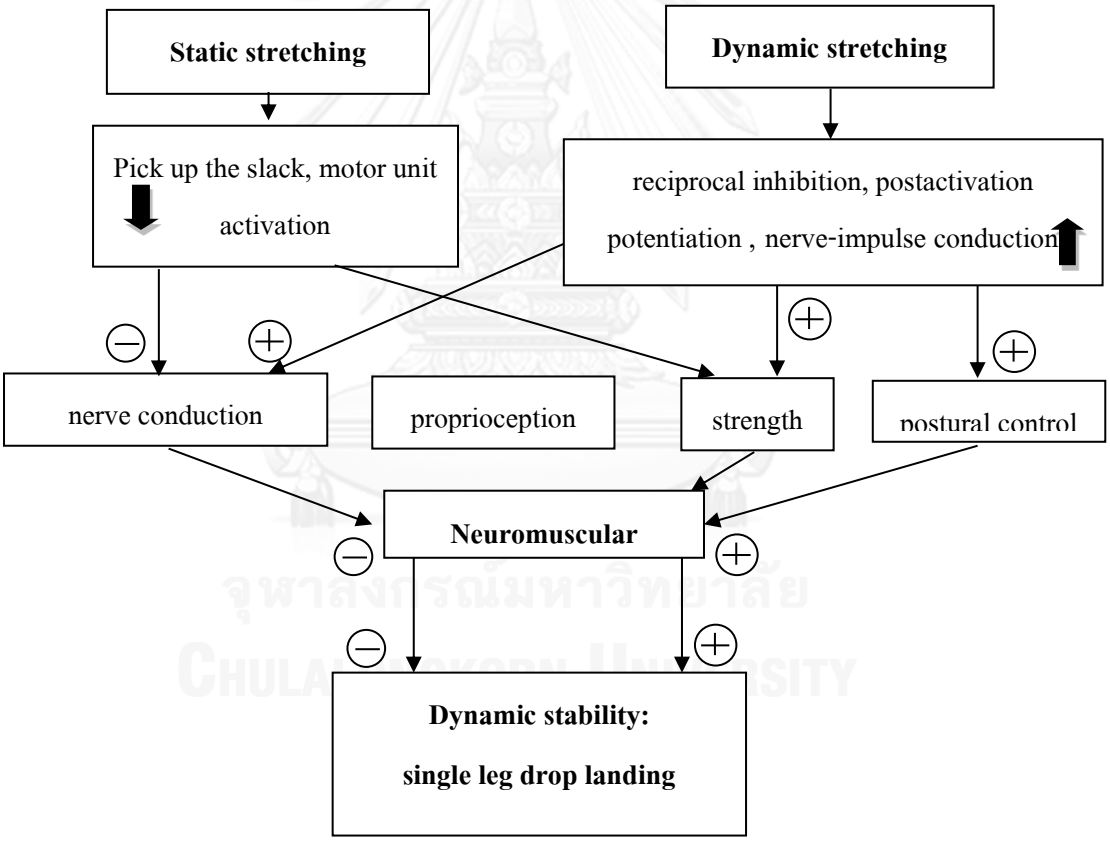
การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ แรงกระทำต่อข้อเข่าและแรงกระทำต่อพื้น ต่างแตกกันหรือไม่

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อแรงกระทำต่อพื้น (ground reaction force) และ แรงกระทำภายในข้อเข่า (joint reaction force) ขณะลงสู่พื้นโดยวิธี single leg landing ทั้งก่อน-หลังทันทีและที่เวลา 30,60 นาทีหลัง

1.3.2 เพื่อศึกษาผลการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีผลต่อ การทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า ขณะลงสู่พื้นโดยวิธี single leg landing ทั้งก่อน-หลังทันทีและที่เวลา 30,60 นาทีหลังการยืด

1.4 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย



ภาพที่ 1.1 แผนผังกรอบแนวคิดในการทำวิจัย

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

งานวิจัยครั้งนี้ต้องได้รับความยินยอมจากผู้เข้าร่วมงานวิจัยและ/หรือผู้ปกครองโดยชอบธรรมตามกฎหมายก่อนทำการวิจัย โดยผู้เข้าร่วมวิจัยและ/หรือผู้ปกครองลงนามเป็นลายลักษณ์อักษรในแบบยินยอมเพื่อเข้าร่วมงานวิจัย

1.6 ข้อจำกัดในการวิจัย

1.6.1 ผลการศึกษาในครั้งนี้ ไม่สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลในการสรุปไปยังผู้ที่มีอายุน้อยกว่า 18 ปีและมากกว่า 35 ปีได้

1.6.2 การศึกษาเรื่องการลงสู่พื้นมีความแตกต่างกันของท่าทางการลงสู่พื้นจากบล็อกและ force plate ที่ค่อนข้างแข็ง อาจมีผลต่อการยืนด้วยขาข้างเดียว เพื่อการทรงตัว

1.6.3 การศึกษาครั้งนี้ใช้บล็อกที่มีความสูง 30 เซนติเมตร ซึ่งอาจทำให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยบางคนไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพในการลงสู่พื้นได้อย่างเต็มที่ จากความสูงของบล็อก

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.7.1 การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง (Static stretching)

เป็นการยืดกล้ามเนื้อในขณะพักร่างกายอยู่นิ่งอาจเป็นท่านั่งหรือท่ายืน มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่กล้ามเนื้อนั้นๆโดยจะต้องยืดให้รู้สึกตึงจนเริ่มรู้สึกไม่สบาย (to the point of mild discomfort) และยืดกล้ามเนื้อค้างเป็นเวลา 30 วินาทีถึง 2 นาที 30 วินาทีคือระยะเวลาอย่างน้อยที่สุดที่ได้ผล ซึ่งการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างจะไปมีผลกับตัวรับความรู้สึกยืดเหยียดของกล้ามเนื้อทำให้ กล้ามเนื้อเกิดการคลายตัวและเพิ่มความยาวของกล้ามเนื้อ

1.7.2 การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching)

เป็นรูปแบบของการยืดกล้ามเนื้อที่มีการยืดตัวของกล้ามเนื้อในขณะมีการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อโดยจะใช้ในการเตรียมพร้อมกล้ามเนื้อก่อนการแข่งขัน หรือออกกำลังกายซึ่งผลการยืดจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น และเพิ่มการไหลเวียนของเลือดมาที่กล้ามเนื้อมากขึ้นโดยหวังผลเพิ่มประสิทธิภาพ และลดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ปัจจุบันมีผู้ฝึกสอนนิยมให้ยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวเพิ่มมากขึ้น การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวเป็นการยืดกล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวของข้อนั้นๆไปจนสุดองศาการเคลื่อนไหวของท่า ในขณะทำการเคลื่อนไหวในทิศทางยืดกล้ามเนื้อนั้นจะต้องเคลื่อนไหวจนรู้สึกตึงกล้ามเนื้อ ข้อสำคัญคือไม่ใช่การเหวี่ยงแต่เป็นการออกแรงเพิ่มขึ้นเพื่อยืดกล้ามเนื้อ เช่น การยืดกล้ามเนื้อต้นขา จะต้องทำการเตะขาขึ้นให้สูงโดยเร่งความเร็วขึ้นกว่าปกติ และเพิ่มความสูงขึ้นทีละนิดเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ

1.7.3 การวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้น (Ground Reaction Force, GRF)

แรงปฏิกิริยาของร่างกายที่กระทำต่อพื้น คือแรงปฏิกิริยาจากกฎทางฟิสิกส์ข้อที่ 3 ของนิวตัน ซึ่งระบุว่า ”แรงปฏิกิริยาจะเท่ากับแรงกริยาและมีทิศตรงกันข้ามเสมอ” ในที่นี้ก็เปรียบเหมือนกันกับร่างกายและพื้นที่มีแรงปฏิกิริยา และแรงกิริยาต่อกันและกันในทิศตรงกันข้ามมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

การวัดแรงปฏิกิริยาต่อพื้นใช้การวิเคราะห์แรงเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆเช่นในกีฬาช่วยดูประสิทธิภาพของแรง กำลังของนักกีฬาได้ และเริ่มเข้ามาใช้ในส่วนของการฟื้นฟูและการฝึกซ้อมของนักกีฬาในการช่วยวัดประสิทธิภาพของการฝึกแบบ plyometric เช่น drop jump และดูความปลอดภัยในการ landing อีกด้วย ในงานวิจัยใช้ force plat (Bertec ขนาด400×600 mm #FP4060-08)

1.7.4 การวัดแรงปฏิกิริยาต่อข้อ (Joint Reaction Force, JRF)

เป็นการวัดแรงปฏิกิริยาภายในข้อที่กระทำต่อพื้น จากกฎทางฟิสิกส์ข้อที่ 3 ของนิวตันที่บอกว่าแรงปฏิกิริยาจะเท่ากับแรงกริยาและมีทิศตรงกันข้ามเสมอ ในที่นี้ก็เปรียบเหมือนกับข้อเข่าและพื้นที่มีแรงปฏิกิริยาต่อกันและแรงกิริยาต่อกันและกันในทิศตรงกันข้ามมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

1.7.5 การวัดการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle activity)

เป็นการวัดการทำงานของกล้ามเนื้อโดยการใช้แผ่น surface electrode เป็นตัวรับสัญญาณของกระแสที่วิ่งมาที่กล้ามเนื้อนั้นๆ ทำให้เกิดการระดมกระแสประสาทของกล้ามเนื้อ ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของไฟฟ้า ทำให้สามารถวัดออกมาเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อได้ ในการศึกษานี้ใช้เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ electromyography (ME 6000 software 700046 Megawin ver.3.0)

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้

การวิจัยครั้งนี้ ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้ทราบเกี่ยวกับผลการยืดกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อค่าแรงกระทำต่อพื้นและต่อข้อเข่า ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้โอกาสที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของแรงที่จะส่งผลต่อข่อเข่าขณะลงสู่พื้นซึ่งสามารถบอกแนวโน้มของการบาดเจ็บของข้อเข่าหลังจากการยืดกล้ามได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
แนวคิดและทฤษฎี

2.1 การบาดเจ็บจากกล้ามเนื้อที่ทำงานไม่ประสานกันในการหดตัวเพื่อรักษาความมั่นคงของข้อต่อ

การบาดเจ็บขณะทำการแข่งขันกีฬาเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นได้ การบาดเจ็บในรยางค์ส่วนล่างของร่างกายซึ่งส่วนที่พบการบาดเจ็บได้บ่อยที่สุดคือ บริเวณเอ็นไขว้หน้าหรือ Anterior Cruciate Ligament (ACL) ซึ่งในอเมริกาพบผู้ป่วยที่บาดเจ็บมากกว่า 200,000 รายต่อปี[1,2] รูปแบบการบาดเจ็บส่วนใหญ่เป็นแบบไม่ปะทะ และเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนไหวกะทันหัน การลงสู่พื้นที่ผิดท่าทาง ร่วมกับการลงในท่าเหยียดเข่า เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณเอ็นไขว้หน้า[3-5] มีงานวิจัยในร่างศึกษาของผู้เสียชีวิตแล้วอธิบายเฉพาะเจาะจงไปที่กลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (quadriceps) ว่ามีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในแบบที่ไม่มีการปะทะ[12,13] การมีมุมการงอเข่าที่น้อยและมีการทำงานของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (quadriceps) ที่มากขณะลงสู่พื้นเป็นตัวบอกถึงความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บต่อเอ็นไขว้หน้าได้ การทำงานประสานกันที่ดีระหว่างกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง(hamstring) และกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (quadriceps) มีความสำคัญในการบอกถึงการความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหว (dynamic stability) ที่ดีของข้อเข่าและเป็นตัวบ่งบอกถึงความเสี่ยงที่ลดลงในการบาดเจ็บต่อเอ็นไขว้หน้าอีกด้วย

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากในการเคลื่อนไหว ซึ่งการทำงานของกล้ามเนื้อรอบๆข้อต่อมีผลต่อความมั่นคงข้อและเป็นส่วนช่วยในการควบคุมการเคลื่อนไหว ความมั่นคงของข้อร่วมกับกลไกอื่นๆภายในร่างกายทำให้เกิดเป็นความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหว (dynamic stability) [14] ซึ่งความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหวสามารถวัดได้จากการับความรู้สึกข้อต่อ (proprioception)[15,16] การรับความรู้สึกของผิวหนัง(cutaneous sensation)[17,18] ความเร็วของการนำกระแสประสาท(nerve conduction velocity)[19-21] เวลาในการตอบสนองของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ(neuromuscular response time)[22-24] การควบคุมการทรงท่า(postural control)[25,26],และ ความแข็งแรง(strength)[27] กลไกของความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหว (dynamic stability) เกิดจากการทำงานของ sensorimotor การบกพร่องที่เกิดจากการทำงานของระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ

2.2 ความเป็นมาของ Proprioception

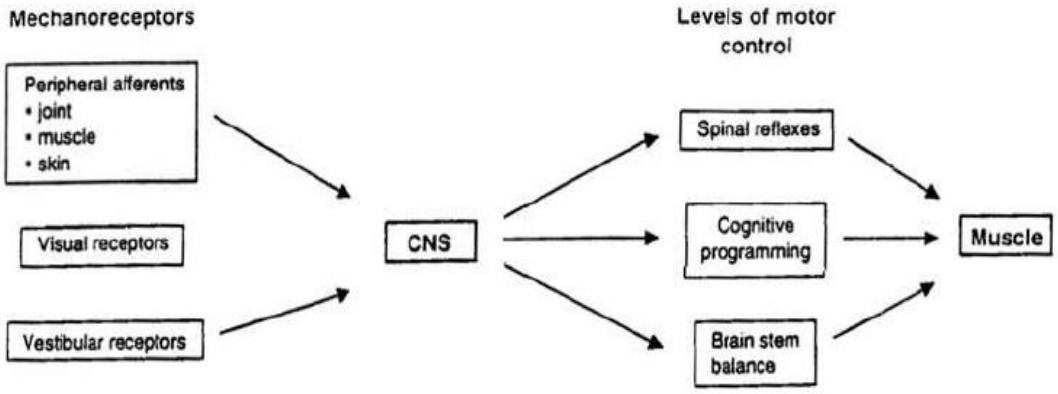
ขอบเขตของ proprioception ถูกใช้อธิบายถึงข้อมูลในการรับรู้ถึงตำแหน่งและการเคลื่อนไหว Sir Charles Bell เรียกการรับรู้นี้ว่า ‘สัมผัสที่ 6’ [(44)] Sherington เป็นคนแรกที่ใช้ proprioception ในการอธิบายถึงการรับรู้ตำแหน่งของร่างกาย ทั้งที่เกิดจากภายในอำนาจจิตใจและที่เกิดจากภายนอกอำนาจจิตใจ โดยกล่าวว่าการบกพร่องของ proprioception อาจทำให้เกิดการเดินสะดุด เดินเซ หรือสูญเสียการทรงตัวได้

กลไกของ proprioception ถูกศึกษามาอย่างยาวนาน และเป็นที่แน่ชัดแล้วว่า proprioception เกิดจากการรับรู้ข้อมูลจากข้อต่อและเนื้อเยื่อรอบข้อต่อ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้

กลไกของ proprioception ถูกอธิบายถึงความซับซ้อนที่มากขึ้น ด้วยการกล่าวถึงการการรับรู้ข้อมูลจากระบบประสาทส่วนปลายที่นำกระแสประสาทเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางและส่งไปยังสมอง[45]

การทำงานของกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ทั้งที่เกิดขึ้นภายใต้อำนาจจิตใจหรือภายนอกอำนาจจิตใจก็ตาม ล้วนเกิดขึ้นจากกระบวนการรับรู้การประมวลผลที่สมองและไขสันหลัง ความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของร่างกายนั้น ถูกกล่าวถึงระบบพื้นฐานอย่างระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System, CNS) ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณประสาทจาก 3 ระบบ คือ somatosensory system, vestibular system และ visual system[46]

Somatosensory system มักถูกอ้างถึง proprioception ซึ่งทำหน้าที่รับรู้การสัมผัส ความเจ็บปวด แรงกด และความรู้สึกรับรู้ตำแหน่งภายในข้อต่อ[46] โดยระบบนี้จะรับสัญญาณประสาทจากผิวกระดูกของข้อต่อ ความเปลี่ยนแปลงความยาวและความตึงตัวของเอ็นกล้ามเนื้อ โดยเส้นประสาทที่ทำหน้าที่รับสัญญาณประสาทจะถูกเรียกว่า mechanoreceptors นั้นจะอยู่บริเวณผิวหนัง เอ็นกล้ามเนื้อ กระดูก เอ็นกระดูก และเนื้อเยื่อรอบข้อต่อ[46-48] สัญญาณประสาทจากผิวหนังจะมีผลต่อproprioception น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณประสาทจากเอ็นกล้ามเนื้อ และข้อต่อ



ภาพที่ 2.1 แสดง Neuromuscular control pathways[49]

Chulalongkorn University

2.3 การรับรู้สัมผัสจากผิวหนัง

Meissner's Corpuscles

คำอธิบายสั้นๆของ Meissner's Corpuscles คือการประกอบไปด้วยส่วนนอกของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันธ์ ส่วนกลางของ perineural epithelium และส่วนในของ Schwann cells ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับและส่งต่อสัญญาณประสาทที่เกิดจากการกระตุ้น จากการกระตุ้นผิวหนังด้วยการสัมผัส

Pacinian Corpuscles

หากกล่าวถึง Pacinian Corpuscles แล้วนั้น จะถูกอธิบายถึงความคล้ายคลึงกับ Meissner's Corpuscles ซึ่งทำหน้าที่ในการรับรู้สัมผัสของการสั่นสะเทือน

Ruffini endings

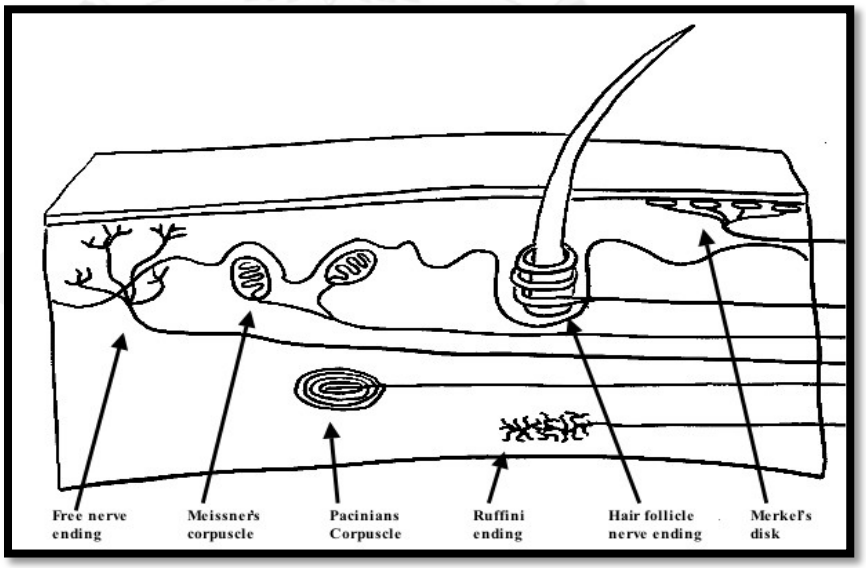
คือการรวมตัวกันของส่วนปลายเส้นประสาทที่พบทั้งในบริเวณมีขนและไม่มีขน มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Golgi tendon organs ที่มีคอลลาเจนเป็นแกนกลางแล้วมี axons แตกแขนงออกไปข้างนอก มีหน้าที่ในการตอบสนองต่อการกระตุ้นจากแรงเฉือน และแรงดึงที่ผิวหนัง

Merkel Disks

คือการรวมตัวของแขนงประสาทที่อยู่บริเวณใต้ผิวหนัง และมีหน้าที่ในการแยกแยะความรู้สึกที่ได้จากการสัมผัส

Free nerve endings

คือแขนงสวนปลายของเส้นประสาทที่กระจายตัวอย่างอิสระ อยู่บริเวณใต้ชั้นผิวหนัง เส้นใยรับความรู้สึกบริเวณนี้จะไม่มี myelin sheath บางส่วนทำหน้าที่เป็นตัวรับความรู้สึกสัมผัสอุณหภูมิ และบางส่วนก็ทำหน้าที่ในการรับรู้ความเจ็บปวด เช่นการบาดเจ็บที่ผิวหนัง การบาดเจ็บจากความร้อน และการบาดเจ็บจากการระคายเคืองสารเคมี[50]



ภาพที่ 2.2 แสดงตัวรับสัญญาณประสาทที่ผิวหนัง[50]

2.4 การรักษาท่าทางความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหว (Dynamic stability)

ในการเคลื่อนการออกกำลังกายหรือ การเล่นกีฬานั้นจำเป็นต้องมีความแข็งแรงของร่างกาย ความเร็ว ความคล่องตัว เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงท่าทางที่รวดเร็วนำไปสู่การเคลื่อนไหวที่ดี สมบูรณ์แบบทำให้บุคคลผู้นั้นประสบความสำเร็จในการแข่งขันกีฬา หรือชนะในการแข่งขันรายการต่าง ๆ ซึ่งการคำนวณหา dynamic stability เป็นการคำนวณหาจาก state safety margin การรักษาท่าทางและความมั่นคงขณะมีการเคลื่อนไหวในคนเป็นการเคลื่อนไหวร่างกายโดยปราศจากแรงภายนอกมากระทำ หรือช่วยรักษาความมั่นคงนั้นๆ และมีการทำงานของกล้ามทั้ง agonist และ antagonist ที่ส่งเสริม สนับสนุนกันเพื่อรักษาท่าทางได้อย่างสมดุล มั่นคง โดยมีการทำงานเชื่อมโยงกับระบบ vestibular system ในการรับสัญญาณ ท่าทาง การรับรู้ความรู้สึกของข้อต่อซึ่งจะเชื่อมโยงกับระบบ neuromuscular system ในการประมวลผลของแรง การทำงานของกล้ามเนื้อเพื่อรักษาสมดุลของร่างกายในการเคลื่อนไหวให้มีความปลอดภัย ไม่เกิดการบาดเจ็บของอวัยวะส่วนต่างๆ การวัด dynamic stability นั้นสามารถวัดในรูปแบบของการควบคุมจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย center of mass(COM) ในการเคลื่อนไหวและความสัมพันธ์กับ base of support(BOS) โดยมี 2 ตัวแปร COM จะดูเรื่องท่าทางการเคลื่อนไหว และเรื่องความเร็วในการเคลื่อนไหวของจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย[51]

2.5 คำจำกัดความของ Dynamic stability

ขอบเขตของ dynamic stability ในงานวิจัยนี้คือการทดสอบผลของการยืดกล้ามเนื้อต่อแรงกระทำที่เปลี่ยนแปลงไปการและหลังจากการยืดกล้ามเนื้อโดยมุ่งหวังเพื่อเป็นการพยากรณ์หรือดูแนวโน้มแรงกระทำที่เกิดขึ้นภายในข้อเข่าขณะ มีการลงสู่พื้นที่ขานั้นๆ ซึ่ง dynamic stability เป็นการมีภาวะสมดุล มั่นคงขณะที่ร่างกายของเรามีการเคลื่อนไหวโดยสามารถรักษาท่าทาง จังหวะได้ตามที่ต้องการโดยปลอดภัย โดยปกติทั่วไปของนักกีฬาหรือ ผู้ที่ออกำลังกายแล้วแรงที่จะส่งผลต่อข้อเข่าและเอ็นไขว้หน้า ส่วนใหญ่เกิดจากการบาดเจ็บแบบไม่ปะทะหรือเรียกว่า non-contact ซึ่งจะเกิดในกีฬาเช่น ฟุตบอล บาสเกตบอล วอลเลย์บอลและ แบดมินตัน ซึ่งจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว กะทันหัน การลงสู่พื้นที่ผิดท่าทาง จะทำให้เกิดแรงกระทำจากพื้นมาสู่ข้อเข่าที่มากและส่งผลต่อเอ็นไขว้หน้าทำให้เกิดการบาดเจ็บได้

ซึ่งองค์ประกอบที่จะช่วยให้มี dynamic stability ที่ดีนั้นจะประกอบไปด้วย การรับรู้ความรู้สึกข้อต่อที่ดี การรับรู้ความรู้สึกผิวหนังที่ดี ความเร็วของการนำกระแสประสาทที่ดี การควบคุมการทรงท่าที่ดีและ การมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ดี ทั้งหมดมีส่วนร่วมทำให้เกิด dynamic stability ที่ดีได้[52]

2.6 การยืดกล้ามเนื้อ Stretching exercise

การยืดกล้ามเนื้อในปัจจุบันนี้มีอยู่หลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบก็มีวัตถุประสงค์หรือผลประโยชน์ในการใช้ที่แตกต่างกันออกไปซึ่งการยืดกล้ามเนื้อเป็นยิ่งสำคัญที่โค้ชและผู้ฝึกสอบต้องการให้นักกีฬาทำการยืดกล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย หรือแข่งขันมีอยู่ 2 ปัจจัยคือ 1.เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของร่างกาย2. เพื่อป้องกันการบาดเจ็บจากการแข่งขันหรือออกกำลังกาย มีหลายงานวิจัยบอกถึงผลการเพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ และเพิ่มประสิทธิภาพของกล้ามเนื้ออีกด้วย ซึ่งประโยชน์ทั้ง 2 แบบนี้ช่วยป้องกันภาวะ การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้อได้[53]

การยืดกล้ามเนื้อจะช่วยลดการบาดเจ็บของเอ็นและกล้ามเนื้อได้ซึ่งจะมี 2 โครงสร้างหลักๆที่เกี่ยวข้องคือ (muscle fibers) ลายกล้ามเนื้อและเอ็นของกล้ามเนื้อ (tendon) การเคลื่อนไหวข้อข้อที่มีมุมมากๆจะทำให้เกิดการถ่ายแรงที่มีแรงมากเช่นกันทำให้มีผลต่อระบบเอ็นและกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเอ็นสามารถช่วยดูดซับแรงที่เกิดขึ้นมากให้ลดลงจึงเป็นการช่วยลดภาวการณ์บาดเจ็บที่จะเกิดต่อกล้ามเนื้อได้ การเกิดกล้ามเนื้อฉีดขาดนั้นส่วนใหญ่จะพบในจังหวะการยืดที่มากเกินไป หรือมีแรงที่มากเกินไปมากระทำให้มีการยืดที่เกินองศาการเคลื่อนไหวปกติเป็นสาเหตุให้เกิดการฉีดขาดของกล้ามเนื้อ[54]

การเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับเอ็นกล้ามเนื้อ ส่งผลต่อ 2 โครงสร้างกล้ามเนื้อหลักๆ คือ mechanoreceptor mediated reflex inhibition และ viscoelastic strain การเพิ่มแรงตึงให้กับเอ็นและกล้ามเนื้อจะทำให้ตัวรับความรู้สึกที่อยู่บริเวณเอ็นและกล้ามเนื้อ (Golgi tendon organ and muscle spindle)สามารถรับรู้แรงตึงได้ ส่งผลให้เกิดการยับยั้ง การหดตัวของ agonist muscle และมีการชักนำให้เกิดการคลายตัวของกล้ามเนื้อในกลุ่ม antagonist muscle ตามหลักทฤษฎี ผลการยืดกล้ามเนื้อจะช่วยป้องกันการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อฉีกขาดได้และสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับกล้ามเนื้อได้ ผลการยืดกล้ามเนื้อขั้นแรกสุด จะส่งผลต่อ viscoelastic ของเอ็นกล้ามเนื้อ ส่งผลทำให้เกิดการยืดตัวของ actin – myosin ในระบบกล้ามเนื้อและ ส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของ extracellular matrix ที่อยู่รอบๆใยกล้ามเนื้อ

2.6.1 ทฤษฎีการยืดกล้ามเนื้อกลไกที่ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท

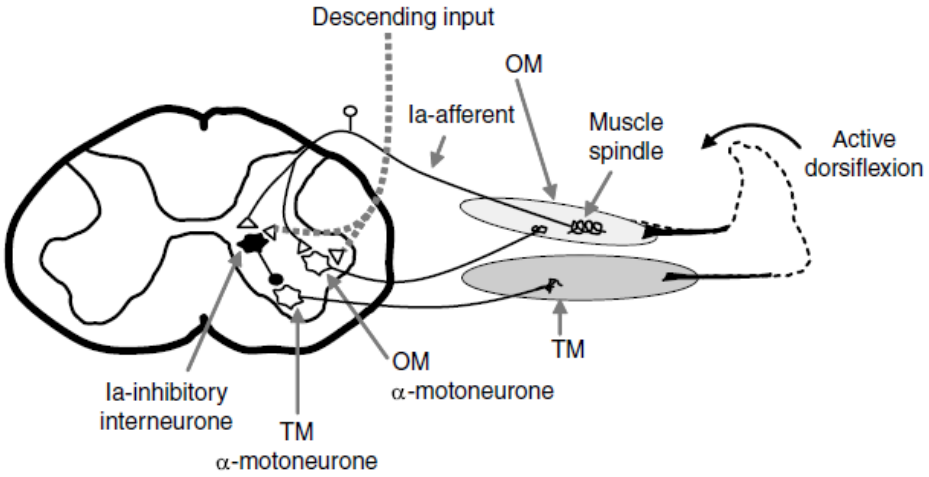
กล้ามเนื้อและเอ็นจะมีคุณสมบัติ ทั้ง 2 แบบคือ มีความยืดหยุ่นและความเหนียวหนืด[55] ซึ่งความหนืดของกล้ามเนื้อจะตอบสนองต่อแรงยืดที่ช้าและคงค้างกับแรงต้านที่รวดเร็วในการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ ในขณะที่กล้ามเนื้อถูกแรงกระทำยืดอยู่นั้นแรงต้านจากตัวกล้ามเนื้อที่ถูกยืดยาวออกก็จะลดแรงต้านลงตามระยะเวลาในการยืด (stress relaxation)[56] จากผลของคุณสมบัติของกล้ามเนื้อนี้ ถ้ามีแรงมากระทำต่อความยาวของกล้ามเนื้อให้ยืดออกจะเกิดเป็นรอยย่นของกล้ามเนื้อ ปริมาณหรือจำนวนแรงกระทำเพื่อให้กล้ามเนื้อถูกยืดออกนั้น ขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของตัวกล้ามเนื้อเป็นสำคัญ[56]

มีนักวิจัยได้ทำการพิจารณาถึงคุณสมบัติของกล้ามเนื้อเพื่ออธิบายผลของการยืดกล้ามเนื้อต่อการเพิ่มขึ้นขององศาการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อว่าเพิ่มได้อย่างไร ซึ่งมีความสนใจพิเศษเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการยืดกล้ามเนื้อกับผลของ viscoelastic stress relaxation, , passive torque และ muscle stiffnessโดยงานวิจัยส่วนใหญ่ที่พบมักจะศึกษาเฉพาะเจาะจงในรูปแบบการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง

2.6.2 Reciprocal Inhibition

การหดตัวของกล้ามเนื้อในฝั่งตรงข้าม(OM)กับกล้ามเนื้อที่เราต้องการยืด(TM) สามารถลดการทำงานของกล้ามเนื้อฝั่งที่ต้องการยืดได้ นั้นเป็นการอธิบายของทฤษฎีของ reciprocal inhibition โดยการลดการทำงานของ motorneurone ในกล้ามเนื้อฝั่งที่ต้องการยืด โดยกลไกถูกอธิบายผ่านระบบ proprioceptive neuromuscular facilitation(PNF) หลังจากกล้ามเนื้อฝั่งตรงข้ามหดตัวแล้ว จะมีการส่งสัญญาณกระแสประสาทขึ้นไปที่ไขสันหลัง ไปตาม descending input จาก

กล้ามเนื้อฝั่งหดตัวโดยส่งผ่านตัว Ia afferent ส่งสัญญาณไปที่ α motorneurone และ interneuroneโดยที่ Ia afferent จะกระตุ้นให้เกิดการยับยั้งที่บริเวณ interneurone และส่งผลไปยับยั้งที่ α motorneurone ของกล้ามเนื้อฝั่งที่ต้องการยืดด้วย ตามลำดับซึ่งจะทำให้เกิดการลดลงของสัญญาณประสาทที่ส่งไปที่กล้ามเนื้อลดลง จึงทำให้กล้ามเนื้อเกิดการคลายตัวและสามารถยืดยาวออก เพิ่มองศาการเคลื่อนไหวได้นั่นเอง[57, 58]



ภาพที่ 2.3 แสดงกลไกการทำการของ reciprocal inhibition[57, 58]
(OM) = Opposing muscle, (TM) = Target muscle

2.7 การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างต่อประสิทธิภาพร่างกาย

การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างมีการศึกษา ทดลองเป็นวงกว้างในหลากหลายรูปแบบประกอบด้วย การวัดแรงของกล้ามเนื้อ วัดความสูงในการกระโดด การเร็วในการวิ่ง การทรงท่าทาง การตอบสนองต่อเวลาและการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหว งานวิจัยเกี่ยวกับผลระยะสั้นของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างต่อประสิทธิภาพความสามารถของร่างกายนั้นมีมากที่ศึกษาในกลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ส่วนล่างของร่างกาย ได้แก่ กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า quadriceps กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง hamstring ซึ่งกำลังกล้ามเนื้อมีความสำคัญในการออกกำลังกายหรือในนักกีฬาที่มีการแข่งขันที่ต้องใช้ ความเร็ว ความแรง การเปลี่ยนทิศทางของร่างกายแบบกะทันหัน หรือการกระโดด ซึ่งการวัดจึงครอบคลุมความหลากหลายของชนิดกีฬาด้วย[59]

มีหลายการศึกษาวิจัยที่สอดคล้องกันเกี่ยวกับผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างจะทำให้เกิดการลดลงของกำลังและประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อในส่วนรยางค์ส่วนล่าง ซึ่งจะทำการวัดโดย maximal isokinetic หรือ isometric muscle contractions โดยหลายการศึกษาให้ผลในทิศทางเดียวกันคือผลระยะสั้นของการยืดกล้ามเนื้อขาจะลดลงทั้งแรงและผลของการยืดกล้ามเนื้อยังคงค้างอยู่หลังจาก 1 ชั่วโมงหลังยืด ในกีฬาที่มีการลดลงของความเร็วและกำลัง ตัวอย่างเช่น ยิมนาสติก[60] รักบี้ ในส่วนของ Balance และ reaction time ตัวอย่างเช่น วิ่งระยะสั้น ผลที่ได้จะลดประสิทธิภาพของร่างกายลงทั้งเวลาที่มากขึ้นจากการวิ่ง แรง กำลังที่ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนยืดกล้ามเนื้อ

2.8 กลไกการลดลงของสมรรถภาพกล้ามเนื้อต่อการยืดกล้ามเนื้อ

กลไกการลดลงของสมรรถภาพกล้ามเนื้อหลังจาการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างนั้นยังไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามมันประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ ปัจจัยทางกลศาสตร์[54, 61] และปัจจัยทางระบบประสาท[61, 62] ซึ่งการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างจะชักนำในกำลังของกล้ามเนื้อลดลง มีหลายวิธีการที่วัดแล้วพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปทางกลศาสตร์และระบบประสาทหลังจากการยืดกล้ามเนื้อ Electromyography (EMG) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงกล้ามเนื้อทั้งก่อนและหลังการยืดกล้ามเนื้อ การลดลงในค่า EMG amplitude บ่งบอกถึงการลดลงของ motor unit activation ดังนั้นจึงเป็นข้อเสนอแนะว่า ปัจจัยของระบบประสาทหลังการยืดกล้ามเนื้อจะทำให้ลดกำลังกล้ามเนื้อ

กลไกทางกลศาสตร์ได้อธิบายถึงว่าลดลงของแรงและกำลังหลังจากมีการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างไว้ว่า เป็นผลมาจากมีการยืดหยุ่น อ่อนตัวในระบบของ musculotendinous unit (MTU) ที่เพิ่มขึ้น ในกีฬาบางชนิดที่ต้องการความรวดเร็ว แรงในการเปลี่ยนทิศทางจำเป็นต้องที่กล้ามเนื้อที่แข็งแรง มีความตึงตัวของกล้ามเนื้อในระดับหนึ่งที่ไม่อ่อนตัวหรือยืดหยุ่นตัวจนเกินไปเพราะ จะส่งผลต่อการส่งผ่านแรงและความรวดเร็วในการหดตัวจะลดลง มีหลายงานวิจัยสนับสนุนเกี่ยวกับการยืดกล้ามเนื้อลดประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อ[54]

กลไกทางระบบประสาทว่าด้วยเรื่องการลดลงของ motor unit activation ซึ่งดูการลดลงของ peak EMG amplitude หลังจากมีการยืดกล้ามเนื้อ มีข้อเสนอแนะว่าหลังการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างจะไปเพิ่มpresynaptic inhibition อย่างไรก็ตาม การลดลงของ synaptic transmission เกิดขึ้นระหว่างมีการเคลื่อนไหวแบบซ้ำๆสามารถลดแรง กำลังของกล้ามเนื้อได้ในกิจกรรมการเคลื่อนไหวซ้ำ การยืดกล้ามเนื้อก็สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อได้ มันแสดงถึงบริเวณ postsynaptic ลดการกระตุ้น alpha motorneurons ซึ่งเป็นกฎหลักที่ทำให้การยืดกล้ามเนื้อลดประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อ[62]

สรุปว่าการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างมีกลไกที่ทำให้เกิดผลในทางลดลงของประสิทธิภาพด้านแรง กำลังของกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตามมันแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่ควบคู่กันในการเปลี่ยนแปลงทางกลศาสตร์ (increased compliance of the MTU) และการเปลี่ยนแปลงทางระบบประสาท (decreased motor unit activation and/or decreased alpha motorneuron excitability) มีหลายการศึกษาให้ข้อเสนอแนะ เกี่ยวกับผลทางระบบประสาทจะค่อยฟื้นตัวกลับสู่ปกติภายใน 15 นาทีหลังจากยืดกล้ามเนื้อแต่ส่วนในเรื่องของแรงกล้ามเนื้อผลอาจคงค้างอยู่เป็นชั่วโมง ซึ่งสนับสนุนโดยปัจจัยทั้ง 2 อย่างรวมกัน

2.9 การยืดกล้ามเนื้อและการป้องกันการบาดเจ็บ

เป็นที่รู้กันทั่วไปโดยสัญชาติญาณว่าการยืดกล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬานั้นช่วยป้องกันการบาดเจ็บ การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ที่ปรากฏนั้นในมุมองศาการเคลื่อนไหวที่ปกติและเกิดในช่วงกล้ามเนื้อทำหน้าที่ยืดเหยียดออก ความยืดหยุ่นนั้นจะส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บได้ทั้งจากการขาดความยืดหยุ่นอย่างรวดเร็วหรือการมีความยืดหยุ่นที่มากเกินไป การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างมีผลช่วยในการเพิ่มการยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ ช่วยเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ณ ปัจจุบัน ไม่มีข้อสงสัยเกี่ยวกับการเพิ่มองศาการเคลื่อนไหวต่อผลการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างแล้ว

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยยังไม่มีความน่าเชื่อถือ และไม่เป็นที่ยอมรับต่อ ผลการยืดกล้ามเนื้อก่อนออกกำลังกับการป้องกันการบาดเจ็บ

การสืบค้นข้อมูลของผลการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างในการป้องกันการบาดเจ็บ ครอบคลุมในส่วนองศาการเคลื่อนไหว ยังมีความคลุมเครือของแนวคิดและทฤษฎีของการยืดกล้ามเนื้อต่อผลในการป้องกันการบาดเจ็บ จากงานวิจัยที่เลือกชนิดกีฬาที่มีการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน และต้องการความแน่นของกล้ามเนื้อที่ต่างกัน ประกอบด้วย 2 รูปแบบการเคลื่อนคือ 1. high-intensity stretch-shortening cycle (SSC) movements 2. low-intensity stretch-shortening cycle movements กีฬาที่ประกอบด้วยการยืดที่น้ำหนักเบาตลอดการเคลื่อนไหว เช่น ว่ายน้ำ กับ ปั่นจักรยานซึ่งกล้ามเนื้อจะต้องการความแข็งแรง มั่นคงของกล้ามเนื้อการมีกล้ามเนื้อที่แข็งและมั่นคงจะช่วยส่งแรงผ่านข้อต่อได้อย่างรวดเร็วผลคือการเคลื่อนไหวที่รวดเร็ว เกิดการสูญเสียพลังงานไปจากความหย่อนตัวของกล้ามเนื้อ [42, 63]

เร็วๆนี้แนวการในการป้องกันการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อจะประกอบด้วย การอบอุ่นร่างกาย การฝึก plyometric การฝึก proprioceptive และ การฝึก strength[42] ซึ่งมีหลายเหตุผลเกี่ยวกับการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อจะเกิดช่วงในกล้ามเนื้อทำงานแบบ eccentric contraction ดังนั้น จึงยังไม่แน่ชัดในผลของการยืดกล้ามเนื้อเพื่อเพิ่มความยาวกล้ามเนื้อต่อการช่วยลดการเกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ Thacker และคณะได้เสนอแนะว่า การอบอุ่นร่างกายได้ผลดีกว่าการยืดกล้ามเนื้อในส่วนของการเพิ่มการไหลเวียนเลือด และขนส่งพลังงาน สารอาหารไปยังกล้ามเนื้อ ช่วยขจัดของเสียในกล้ามเนื้อและเพิ่มความเร็วของการส่งสัญญาณประสาท[42]

2.10 ผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว

การอบอุ่นร่างกาย 5-10 นาทีได้ประสิทธิภาพมากกว่าการยืดกล้ามเนื้อโดยส่งผลต่อการเพิ่มการไหลเวียนเลือด สารอาหาร พลังงานไปยังกล้ามเนื้อที่ทำงาน ขับถ่ายของเสียออกจากกล้ามเนื้อ เพิ่มความเร็วในการนำสัญญาณประสาทไปยังกล้ามเนื้อ ในการศึกษาของ Behm[64] และคณะการบันทึก การปั่นจักรยานที่ระดับความหนักปานกลางโดยไม่มีการยืดกล้ามเนื้อผลคือ มีการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการทรงท่าทาง ลด reaction time และ movement time ทำให้เพิ่มปฏิกิริยาของร่างกายในการตอบสนองต่อการทรงท่าเร็วขึ้น มีงานวิจัยที่สนับสนุนเหตุผลนี้โดยศึกษาการอบอุ่นร่างกายแบบต่างๆกัน พบว่ามีผลการกระโดดที่ต่ำลงในกลุ่มที่มีการอบอุ่นร่างกายร่วมกับการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง แต่พบว่ามีผลการกระโดดที่ดีขึ้นในกลุ่มการอบอุ่นร่างกายร่วมกับการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว[43] การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวประกอบด้วย การเคลื่อนไหวของข้อต่อที่เคลื่อนไหวตามองศาการเคลื่อนโดยปราศจากการหยุดการเคลื่อนไหวในมุมองศาสุดท้าย เป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นโดยไม่ลดการทำงานของระบบ neuromuscular
การออกกำลังกายเช่น การเดิน กระโดด การสไลด์เท้า เป็นตัวอย่างของการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว

มีหลายงานวิจัยได้ศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวต่อประสิทธิภาพทางการกีฬา งานวิจัยของ Fletcher and Jones[61] ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการวิ่ง 20 เมตรของนักกีฬารักบี้ของมหาวิทาลัยต่อผลการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวและแบบคงค้าง เปรียบเทียบกันพบว่ากล้ามเนื้อกล้ามเนื้อแบบคงค้างมีเวลาในการวิ่งที่ช้ากว่าอย่างมีนัยสำคัญ ในทางกลับกันในกลุ่มการยืด

กล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวกับมีเวลาในการวิ่งที่เร็วขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน ทางผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่าการที่กล้ามเนื้อทำงานดีขึ้นหลังจากการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวเป็นผลมาจากรูปแบบการเคลื่อนไหวเฉพาะของการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวนั้นเอง จากข้อเสนอแนะถึงผลการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวเป็นผลมาจากการที่กล้ามเนื้อถูกยืดไปยังจุดที่พอดีและ เหมาะสมของช่วงการหดตัว eccentric ถึง concentric จึงเกิดไปแรงที่เพิ่มสูงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น[39]

สรุปการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวให้ผลในการเพิ่มพละ กำลังของร่างกาย เพิ่มประสิทธิภาพในการกระโดด ความเร็วในการวิ่งระยะสั้น

2.11 กลไกในการเพิ่มประสิทธิภาพของร่างกายจากการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว

จากประสบการณ์การเพิ่มสมรรถภาพร่างกายต่อผลการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวมีอยู่หลายปัจจัยที่สนับสนุนผลนี้ประกอบด้วย การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกล้ามเนื้อ[42] ,movement rehearsal[39, 61] , postactivation potentiation (PAP)[43, 64, 65] ซึ่งโดยธรรมชาติตามหลักทั่วไปของการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อจะต้องทำงานเอง เพราะว่าผู้ปฏิบัติจะต้องทำการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อและข้อต่อในระดับ low to moderate จึงทำให้กล้ามเนื้อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในทางกลับกัน หลังจากการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างเสร็จ กล้ามเนื้อจะมีอุณหภูมิที่ลดต่ำลง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกล้ามเนื้อจากการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวนั้นส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของสารอาหารที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ ขจัดของเสียออกจากกล้ามเนื้อ กระตุ้นสัญญาณประสาทให้มีความไวต่อการสั่งการและตอบสนองดี ทั้งหมดที่กล่าวมาส่งผลต่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นได้

มีอีกเหตุผลหนึ่งเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวในทิศทางซ้ำๆเป็นรูปแบบเฉพาะของการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของร่างกายได้ ตัวอย่างของรูปแบบวงจรการวิ่งระยะสั้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิ่งระยะสั้นได้จากการมีการประสานสัมพันธ์ที่ดีขึ้นของรูปแบบ ท่าทางในการวิ่งดีขึ้น แนะนำสำหรับการออกกำลังกาย หรือชนิดของกีฬาที่เคลื่อนไหวรวดเร็วเหมาะสมในการใช้การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของร่างกาย เช่น ฟุตบอล

ท้ายสุดเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ postactivation potentiation (PAP) [43, 64, 65]ที่มีการพูดถึงกันอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อจากการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว มันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยอธิบายจาก การลดลงของระดับการกระตุ้นของ motor unit ในกล้ามเนื้อ และการเพิ่มอัตราความเร็วของการนำกระแสประสาทสั่งการในตัวกล้ามเนื้อที่เร็วขึ้น อัตราที่เร็วขึ้นของการนำกระแสประสาทในกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้เร็วและแรงมากขึ้น Behm และคณะได้อธิบายถึงประโยชน์ของ PAP เกี่ยวกับเรื่อง balance และ reaction time ว่ามีการลดลงของระยะเวลาในการทรงท่าทางที่สั้น และเร็วขึ้น ดังนั้นมันจึงสามารถอธิบายถึง การมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นได้จากปัจจัยที่เชื่อมโยงกันของการเพิ่มกำลังสูงสุดของกล้ามเนื้อและแรงที่เพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อ โดยการวัดจาก balance, reaction time, และ agility

2.12 การทดสอบด้วย single leg drop landing

การทดสอบโดยการกระโดดด้วยขาข้างเดียวนั้นเป็นการใช้ทดสอบในทางคลินิกในการตรวจประเมินผู้ป่วยที่มีปัญหาของบริเวณข้อเข่า หรือดูการทำงานของข้อเข่าในผู้ป่วยที่มีภาวะเอ็นไขว้หน้า anterior cruciate ligament (ACL)ฉีดขาดหรือได้รับการผ่าตัดที่บริเวณนี้ ซึ่งมีหลายงานวิจัยได้ทำการศึกษาในกลุ่มประชากรที่มีความผิดปกติของเอ็นไขว้หน้านี้ จากการวิเคราะห์พบว่าสามารถส่งผลต่อการสูญเสียความมั่นคงของข้อเข่าการทดสอบด้วยการกระโดดขาข้างเดียวนั้น เป็นการแสดงหรือทดสอบการทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้แรงมากกว่าการเดิน หรือการวิ่ง การกระโดดขาข้างเดียวนั้นเป็นการทดสอบในระดับเดียวกับการแข่งขันกีฬา ดังนั้นมันจึงเหมาะสมในการที่จะนำมาใช้ทดสอบตรวจสอบการทำงานขอข้อเข่าที่มีความผิดปกติได้ [66]

2.13 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Demorat และคณะในปี 2004[2] ได้ศึกษาแรงที่มีผลต่อการบาดเจ็บแบบไม่ปะทะต่อ ACL ที่มีผลทำให้เกิด anterior tibial translation ซึ่งสมมุติฐานของการศึกษานี้คือ การหดตัวอย่างแรงของกล้ามเนื้อ quadriceps สามารถทำให้เกิดการต่อเจ็บต่อ acl ได้ โดยการศึกษานี้ได้ใช้หัวเข่าของอาจารย์ใหญ่ 13 ท่านเป็นเพศชาย 7 คน เพศหญิง 6 คน ในการทดสอบ โดยทำการยึดหัวเข่าไว้กับเครื่องที่มุมงอเข่า 20 องศา ขณะที่มีการให้แรงหดตัวของ quadriceps ที่ 4500 N ทำการบันทึกข้อมูล Knee kinematic : Anterior, varus/valgus, และ internal/external tibial motions วัดการเคลื่อนของข้อเข่าด้วยเครื่อง KT-1000 arthrometer และมีการกระตุ้นให้เกิด anterior tibial translation ด้วยเครื่อง servohydraulic material testing machine ผลทาง kinematic ของค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไป anterior displacement:19.5 mm, valgus:2.3 องศา, และ internal rotation:5.5 องศา ค่าเฉลี่ยของ KT-1000 และค่า active quadriceps test มีความแตกต่าง 4.0 mm and 2.7 mm ตามลำดับ สรุปว่าการหดตัวอย่างแรงของกล้ามเนื้อ quadriceps ในท่างอเข่า มีผลต่อ anterior tibial translation และมีผลต่อการบาดเจ็บ ACL

การศึกษาของ J.T. Podraza และคณะในปี 2010[67] สนใจศึกษา landing kinetics และ neuromuscular control ขณะที่มีการลดความเร็วอย่างรวดเร็วเพื่อเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการบาดเจ็บของ ACL แบบไม่ปะทะ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ต้องการดูผลของมุมงอเข่า, ground reaction force, net knee joint moments, muscle co-contraction และกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างขณะสัมผัสพื้น โดยดูค่าจาก video และ force plate โดยอาสาสมัครสุขภาพดี เพศชาย 10 คน จะทำการทดสอบ single leg landing จากระดับความสูง 10.5 เซนติเมตร ที่มุมงอเข่าที่แตกต่างกันขณะลงสู่พื้น Muscle co-contraction คำนวณจาก EMG-to-moment processing model ค่า Ground reaction forces และค่า co-contraction ลดลงขณะที่กล้ามเนื้อ quadriceps ทำงานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมุมองศางอเข่าเพิ่มขณะลงสู่พื้น ค่า ground reaction forces ที่สูงเมื่อลงสู่พื้นในท่าเหยียดเข่า ทางผู้วิจัยให้ความเห็นว่า อาจเป็นปัจจัยกระทบกลไกการบาดเจ็บของ acl แบบไม่ปะทะได้ การทำงานของกล้ามเนื้อ quadriceps ที่เพิ่มขึ้นและการขาด co-contraction ร่วมกับการงอเข่าขณะลงสู่พื้น มีข้อเสนอแนะว่าการทำงานที่มากเกินไปของกล้ามเนื้อ quadriceps อาจไม่เป็นสาเหตุหลักของการบาดเจ็บ acl แบบไม่ปะทะ ผลนำไปสู่คำถามถึงกฎ counterbalancing ของกล้ามเนื้อ hamstrings ในขณะ dynamic movements กล้ามเนื้อ soleus ก็มีหน้าที่เป็น synergist

stabilizing ให้กับ tibia ในการป้องกันการเกิด anterior translation ขณะลงสู่พื้น วิธีการเคลื่อนไหวที่ช่วยกระจาย ถ่ายเทแรงสะท้อนกลับของพื้นตามหลักจลนศาสตร์สามารถช่วยป้องกันการบาดเจ็บแบบไม่ปะทะต่อ ACL ได้ ความสัมพันธ์ของการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อ thigh และ lower leg ไม่เพียงแค่กล้ามเนื้อ quadriceps และ hamstrings ที่จะวิเคราะห์ให้เข้าใจถึงกลไกการบาดเจ็บแบบไม่ปะทะต่อ ACL ได้

การศึกษาของ Power และคณะในปี 2004[38] ได้ทดสอบผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสูงในการกระโดดขณะที่มีการเพิ่มมุมองศาการเคลื่อนไหว และดูผลที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวแปลแต่ละตัวที่เวลาต่างๆกันโดยอาสาสมัคร 12 คนจะถูกทำการทดสอบ pre-test และ post-test ที่เวลา(30,60,90,120 นาทีหลังยืด) โดยทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มทดลองจะได้รับการยืดกล้ามเนื้อ quadriceps และ plantar flexors ส่วนในกลุ่มควบคุมไม่ต้องยืดกล้ามเนื้อ ทำการวัด maximal voluntary force (MVC), surface integrated electromyographic (iEMG), Vertical jump (VJ) การวัดจะวัดเฉพาะช่วงกล้ามเนื้อทำงานแบบ concentric เท่านั้น เรื่องของมุมองศาการเคลื่อนไหวจะเก็บค่าโดยวัด ท่านอนคว่ำเหยียดสะโพก กับท่ากระดกข้อเท้าขึ้น ซึ่งผลสรุปว่าหลังจากการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 9.5% , 5.4% ของแรงและกำลังของกล้ามเนื้อ quadriceps และแรงยังคงเหลือหลังจากยืดเป็นเวลา 120 นาที ลดลงที่ (10.4%) ,ความยืดหยุ่นยังเพิ่มขึ้น 6% หลังจากยืดไปเป็นเวลา 120 นาที สรุปว่าการยืดกล้ามเนื้อ quadriceps แบบคงค้างมีผลลดกำลังของกล้ามเนื้อหลังจากยืดไปแล้ว 120 นาที แต่ความยืดหยุ่นยังคงอยู่ในเวลาที่เท่ากัน จึงแนะนำให้หลีกเลี่ยงการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างก่อนทำกิจกรรมที่ต้องใช้กำลังอย่างน้อย 120 นาที

การศึกษาของ Moss และคณะในปี 2011[68] ได้ศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างต่อการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่าขณะที่ drop landing ในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี โดยเป็นการศึกษาแรกที่ศึกษาผลการยืดกล้ามเนื้อกับการ drop landingโดยมีอาสาสมัครทั้งหมด 26 คน แบ่งเป็นเพศหญิง 14 คน เพศชาย 12 คน ทั้งหมดจะไม่มีการบาดเจ็บบริเวณส่วนล่างของร่างกายและมีการออกกำลังกายอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์อย่างน้อย 20 นาที โดยดูค่า electromyography activity ของกล้ามเนื้อ vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), medial hamstring (MH), bicep femoris (BF) ในช่วงการลงสู่พื้นที่ความสูง 47 เซนติเมตรลงบน force plateโดย ทุกคนจะได้ลองฝึกการลงสู่พื้นก่อน 3-5 ครั้งก่อนการทดสอบ และการทดสอบจะทำทั้งหมด 7 ครั้งพัก 30 วินาทีในแต่ละครั้งที่ทดสอบโดยจะทดสอบและเก็บค่าหลังยืดทันที และหลังจากยืดเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่าก่อนการยืดแบบคงค้างและหลังจากการยืดแบบคงค้างมีผลไม่แตกต่างกัน ทั้งหลังยืดทันทีและหลังยืดเป็นเวลา 14 วัน

การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (dynamic stretching) มีหลายงานวิจัยที่ทดสอบเกี่ยวกับการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว ร่วมกับการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างเป็นการรวมเข้าด้วยกันของการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆ เช่น เดิน วิ่ง กระโดด หรือเป็นการเคลื่อนที่เฉพาะต่อกีฬานั้นๆซึ่งมีข้อมูลว่า มีการเพิ่มสมรรถภาพในการกระโดด การวิ่งและกำลังหลังจากการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว[39-41] โดยอธิบายว่าสาเหตุของการเพิ่มสมรรถภาพเกิดจากการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อโดยเน้นไปถึงผลของเพิ่มการขนส่งออกซิเจน การขับของเสียและการนำสัญญาณประสาทที่เร็วขึ้น[42]

ด้วยเหตุนี้จึงอาจมีผลในการเพิ่มความมั่นคงของข้อต่อและการทำงานของกล้ามเนื้อรอบๆข้อในขณะลงสู่พื้นและบ่งถึงการมี dynamic stability ที่ดีขึ้นของข้อเข่าได้

จากการศึกษาของ Fletcher และคณะในปี 2007[39] สนใจศึกษาเกี่ยวกับการยืดการเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวที่มีผลในการอบอุ่นร่างกายในกีฬาประเภทลู่และลาน ซึ่งอาสาสมัครในงานวิจัยนี้เป็นนักวิ่งระยะสั้น 18 คน ซึ่งงานวิจัยเป็นแบบ repeated measures โดยทั้งหมดจะได้รับการยืดทั้งหมด 3 แบบ โดยสุ่มว่าใครได้แบบใดก่อน: 1.Active dynamic stretch (ADS) 2.Static passive stretch +ADS (SADS) 3.Static dynamic stretch +ADS (DADS) โดยก่อนการยืดทุกครั้งจะต้องวิ่งอบอุ่นร่างกาย 800 เมตรก่อน การทดสอบใช้ การวิ่ง 50 เมตร ผลแสดงให้เห็นว่าการยืดแบบ (SADS) ทำเวลาช้ากว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเทียบกับแบบ (ADS) และ (DADS) การลดลงของสมรรถภาพหลังจากการยืดแบบ(SADS) มีการให้เหตุผลถึงการลดลงของความมั่นคงของ musculotendinous unit (MTU) น่าจะเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อขณะสัมผัสพื้นลดลง นำไปสู่การลดประสิทธิภาพของ (MTU) ในการเก็บและขนส่งพลังงานหลังจากการยืดแบบ passive static stretching ส่วนการเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการวิ่ง 50 เมตรของการยืดแบบ(ADS) และ (DADS) น่าจะเชื่อมโยงกับการฝึกฝนในรูปแบบเฉพาะ ช่วยเรื่องของ proprioception และ preactivation สรุปว่าการยืดแบบ passive static stretching ในการอบอุ่นร่างกายลดประสิทธิภาพในวิ่ง 50 เมตรและแม้ว่าจะเริ่มนำมาใช้ร่วมกับ dynamic stretching แต่ก็ยังไม่ดีเท่าเมื่อเทียบกับ dynamic stretching เพียงอย่างเดียว

จากการศึกษาของ Holt และคณะในปี 2008[40] ได้ศึกษาเปรียบเทียบเกี่ยวกับผลกระทบของรูปแบบอบอุ่นร่างกายร่วมกับการยืดกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันต่อผลของประสิทธิภาพ countermovement vertical jump (VJ) โดยอาสาสมัครในงานนี้เป็นนักกีฬาฟุตบอลระดับมหาวิทยาลัยจำนวน 64 คน เพศชาย ทั้งหมดจะไดรับการเก็บค่า pre-test ก่อนหลังจากนั้นจะได้รับการสุ่มเพื่อเลือกเข้ากลุ่มโดยมีทั้งหมด 4 กลุ่มคือ กลุ่มอบอุ่นร่างกายอย่างเดียว,กลุ่มอบอุ่นร่างกายร่วมกับยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง,กลุ่มอบอุ่นร่างกายร่วมกับยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวและกลุ่มอบอุ่นร่างกายร่วมกับการยืดหยุ่นร่างกาย การทดสอบ (VJ) จะทำหลังจากการยืดกล้ามเนื้อเสร็จทันที ผลแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า (VJ) ในแต่ละกลุ่ม ซึ่ง post-test ค่าของ(VJ)เพิ่มขึ้นทุกกลุ่ม แต่ค่าเฉลี่ยของกลุ่มยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างมีค่าน้อยกว่าอีก 3 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ สรุปว่าการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างก่อน test ไม่ส่งผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของ(VJ) test

จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมา จะพบว่าการบาดเจ็บแบบไม่มีการปะทะของ ACL มีปัจจัยของมุมงอเข่าในขณะลงสู่พื้น และการทำงานเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อ quadriceps ที่มีผลต่อค่า ground reaction force ที่เพิ่มขึ้น ทำให้แรงสะท้อนกลับไปสู่ภายในข้อเข่ามากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างภายในข้อเข่ารวมทั้ง ACL ที่เกิดการบาดเจ็บในรูปแบบที่ไม่มีแรงปะทะจากภายนอกโดยตรง ซึ่งองค์ประกอบของท่าทางในการลงสู่พื้นย่อมมีผลต่อการกระจายแรงที่มากหรือน้อยแตกต่างกันรวมทั้ง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ดี การนำกระแสประสาทที่ดีและไวย่อมช่วยในการปรับเปลี่ยนท่าทางในการลงสู่พื้นได้อย่างนิ่มนวล ซึ่งการเคลื่อนไหวในชีวิตประจำวันอาจไม่มีความเสี่ยงมากถึงขนาดทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อ ACL ได้ แต่สำหรับผู้ที่รักสุขภาพหรือผู้ที่ออกกำลังกาย

เล่นกีฬาเป็นประจำแล้วย่อมต้องมีการเคลื่อนไหวที่รวดเร็ว ฉับไวเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงทำให้ความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่เพิ่มขึ้น

การอบอุ่นร่างกายเป็นพื้นฐานทั่วๆไป ของการเตรียมความพร้อมก่อนการออกกำลังกายจะต้องมีการยืดกล้ามเนื้อเพื่อป้องกันการบาดเจ็บ แต่จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมานั่นทำให้ไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดถึง ผลต่อการป้องกันหรือลดความเสี่ยงที่จะเกิดการบาดเจ็บ และผลหลังจากการยืดจะคงอยู่นานเท่าไหร่ ยังเป็นคำถามที่คลุมเครืออยู่ ซึ่งการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างมีผลลดประสิทธิภาพของความเร็วในการวิ่ง และกำลังในการทดสอบความแข็งแรง ซึ่งแตกต่างกับการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว ที่ให้ผลในเรื่องความยืดหยุ่นที่ดีพอกันแต่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกำลังกล้ามเนื้อ จึงสนใจที่จะศึกษาผลที่แตกต่างกันนี้ว่า เมื่อนำมาทดสอบด้วยวิธีการ drop landing ซึ่งสามารถเป็นตัวอธิบายถึงเรื่องของ dynamic stability ที่มีความสำคัญต่อการทำกิจวัตรประจำวันและการออกกำลังกาย ที่จะต้องมีการเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็วในขณะที่มีการเคลื่อนไหวร่างกายนั้นว่า มีผลต่อกล้ามเนื้อในขณะลงสู่พื้นอย่างไรและแรงที่กระทำต่อข้อต่อมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะช่วยในการอธิบายขึ้นปัจจัยเสี่ยงของการบาดเจ็บต่อข้อเข่าและเอ็นไขว้หน้าได้

งานวิจัยเกี่ยวกับการยืดกล้ามเนื้อซึ่งเป็นสิ่งพื้นฐานของคนทั่วไปและนักกีฬาที่จะต้องปฏิบัติก่อนและหลังออกกำลังกายนั้น ปัจจุบันยังไม่มีการนำความเชื่อมโยงระหว่างผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อผลของ dynamic stability และแบบใดผลดีหรือผลเสียทางผู้วิจัยจึงเกิดสมมุติฐานถึง ระยะเวลาของผลการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีความแตกต่างหรือไม่ต่อ แรงกระทำต่อพื้น (ground reaction force) แรงกระทำภายในข้อเข่า และ การทำงานของกล้ามเนื้อทันทีหลังยืดและที่เวลา 30 และ 60 นาทีหลังยืด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
รูปแบบและระเบียบวิธีวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental study with Cross over design) ในอาสาสมัครเพศชายที่มีอายุระหว่าง 18-35 ปี จำนวน 40 คน มาทำการทดสอบผลของการยืดกล้ามเนื้อต่อแรงกระทำต่อพื้น แรงกระทำต่อข้อและกำลังกล้ามเนื้อ โดยวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกและนำการยืดกล้ามเนื้อไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

3.2 ระเบียบวิธีการวิจัย

3.2.1 ประชากรศึกษา

ชายทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 18-35 ปี ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยตั้งไว้และได้รับความยินยอมโดยสมัครใจจากผู้เข้าร่วมวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย (Inclusion criteria)

- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเพศชายที่มีอายุระหว่าง 18-35 ปี
- เป็นผู้ที่มีสุขภาพดี แข็งแรง สมบูรณ์
- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยลงนามในใบแสดงความยินยอมในการเข้าร่วมศึกษาวิจัย
- ไม่เคยได้รับการบาดเจ็บในรยางค์ส่วนล่างมาก่อนทำการทดลอง 3 เดือน
- ไม่เคยได้รับการผ่าตัดบริเวณหัวเข่ามาก่อนหน้าที่ทำการทดลอง

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยออกจากโครงการ (Exclusion criteria)

- มีอาการปวดเข่า หรือเคยได้รับการบาดเจ็บโดยตรงต่อเข่า 3 เดือนก่อนเข้าร่วมวิจัย
- มีอาการข้อเข่าเสื่อม
- มีประวัติการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อขาภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา
- มีความหนาของไขมันใต้ผิวหนังบริเวณที่ติด electrode มากกว่า 4 เซนติเมตร
- BMI มากกว่า 30 kg/m^2
- ทำการทดสอบไม่ครบตามกำหนด หรือทำไม่สำเร็จ

การคำนวณขนาดตัวอย่าง

คำนวณขนาดตัวอย่างจากการทำ pilot study โดยคำนวณจากค่า ground reaction force ที่จังหวะลงสู่พื้นของก่อนและหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทั้ง 2 แบบคือกลุ่มยืดแบบคงค้างstatic stretching(SS) และกลุ่มยืดแบบมีการเคลื่อนไหว dynamic stretching(DS) อาสาสมัคร 4 คน จะถูกสุ่มเพื่อกำหนดลำดับการยืดดูค่าเฉลี่ยของ ground reaction force ที่จังหวะลงสู่พื้นที่เปลี่ยนแปลงไปขณะก่อนได้รับการยืดกล้ามเนื้อเทียบหลังได้รับการยืดกล้ามเนื้อ ซึ่งค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม SS คือ

22.3±20.69 N/kg และกลุ่ม DS คือ 38.8±8.11 N/kg จากนั้น นำมาคำนวณหาขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตร การคำนวณแบบ Cross over study design

$$n = \frac{(Z_\alpha + Z_\beta)^2 \times S^2}{2(d-e)^2}$$

โดย n หมายถึง จำนวนประชากรที่ศึกษา

Z_α หมายถึง ค่าคงที่ตาม alpha error กำหนดเป็น 1.96

Z_β หมายถึง ค่าคงที่ตาม beta error กำหนดเป็น 1.28

S^2 หมายถึง ค่าความแปรปรวนที่ได้จาก pilot คือ 493.84

D หมายถึง ความต่างโดยเฉลี่ยของค่าที่ได้จาก pilot

E หมายถึง ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ กำหนดเป็นร้อยละ 5 ของ S^2 คือ 24.69

คำนวณได้

$$n = \frac{(1.96+1.28)^2 \times 493.842}{2(16.5 - 24.69)^2}$$

$$n = \frac{10.49 \times 493.84}{134.15}$$

$$n = 38.61 \sim 39 \text{ คน}$$

ประมาณการ dropout rate 5% ดังนั้นจึง recruit อาสาสมัครจำนวน 40 คน

3.2.2 การสังเกตและการวัด

ตัวแปรในงานวิจัย ได้แก่

- ข้อมูลพื้นฐาน
  - อายุ
  - น้ำหนัก
  - ส่วนสูง
  - ดัชนีมวลกาย
- ค่าที่ได้จากทดสอบแรงกระทำต่อพื้น (GRF)
  - ค่าเฉลี่ยของ peak amplitude GRF กลุ่มยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง(N/kg)
  - ค่าเฉลี่ยของ peak amplitude GRF กลุ่มยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว(N/kg)
  - ค่าเฉลี่ยของ peak amplitude GRF กลุ่มที่ไม่ได้ยืดกล้ามเนื้อ(N/kg)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ค่าที่ได้จากการทดสอบแรงกระทำต่อข้อเข่า (JRF)
  - ค่าเฉลี่ยของ peak amplitude JRF กลุ่มยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง(N/kg)
  - ค่าเฉลี่ยของ peak amplitude JRF กลุ่มยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว(N/kg)
  - ค่าเฉลี่ยของ peak amplitude JRF กลุ่มที่ไม่ได้ยืดกล้ามเนื้อ(N/kg)
- ค่าที่ได้จากการทดสอบการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า
  - ค่าเฉลี่ยของร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลุ่มยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง(%MVIC)
  - ค่าเฉลี่ยของร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลุ่มยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว(%MVIC)
  - ค่าเฉลี่ยของร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลุ่มที่ไม่มีการยืดกล้ามเนื้อ(%MVIC)

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เอกสารแนะนำการวิจัย แบบสอบถาม และแบบบันทึกผลการวิจัย
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก และวัดส่วนสูง
3. ชุดกล้องอินฟราเรดความเร็วสูงจำนวน 6 ตัว (Qualisys Camera Oqus 500 รุ่น 5-series) ที่สามารถเก็บภาพความละเอียด 4 ล้านพิกเซล และใช้ความถี่ในการเก็บภาพ 120 เฮิรตซ์ สำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติ สามารถประสานการทำงานกับแผ่นวัดแรงกด (Bertec Force Plate รุ่น FP 4060-08) ที่ใช้ความถี่ในการส่งสัญญาณ 120 เฮิร์ทซ์ จำนวน 1 แผ่น และเครื่องวัดเคลื่อนสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อแบบไร้สาย (wireless EMG ; Biomonitor ME 6000) ที่ใช้ความถี่ในการส่งสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ 1,000 เฮิร์ทซ์ บันทึกข้อมูลพร้อมกันโดยใช้เครื่องกดจากภายนอก (eternal trigger; Mega) วิเคราะห์ข้อมูลในโปรแกรม Qualisys Track Manager เวอร์ชั่น 2.7 (build 783) และ Visual3D Basic v3.99.25.6 ที่สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ XP service Pack 2
4. Marker สะท้อนแสง (reflective Pearl marker) ขนาด 15.9 มิลลิเมตร จำนวน 25 ลูก
5. ขั้วบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (EMG Electrodes; Ambu Blue Sensor P)
6. กล่องไม้สำหรับกระโดด สูงประมาณ 12 นิ้ว

7. เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่องเพื่อวิเคราะห์และบันทึกข้อมูลจากกล้อง, Force platform และบันทึกข้อมูลจากเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

8. แอลกอฮอล์ สำลี กรรไกร และกระดาษกาวสองหน้า

3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- คัดผู้เข้าร่วมวิจัยตามเกณฑ์การคัดเข้าและเกณฑ์การคัดออก โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับการทดสอบ single leg drop landing เพื่อหาค่า GRF, JRF และการทำงานของกล้ามเนื้อทุกคน ภายใต้เงื่อนไข 3 กลุ่มคือ ไม่ยืด ยืดแบบคงค้าง ยืดแบบเคลื่อนไหว

- อธิบายวิธีทดสอบ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเข้าใจ และผู้เข้าร่วมวิจัยเซ็นยินยอม กรณียินดีเข้าร่วม

1. บันทึกข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมงานวิจัย เช่น เพศ, อายุ, ส่วนสูง, น้ำหนัก และโรคประจำตัว ประวัติเกี่ยวกับข้อเข่า โรคทางกระดูกกล้ามเนื้อและข้อ และประวัติอุบัติเหตุ

2. จัดลำดับการทดสอบโดยใช้การสุ่มจากนั้นทำความสะอาดบริเวณที่ต้องการติดขั้ว electrode และเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ ติดขั้ว electrode ที่กล้ามเนื้อ Vastus medialis(VM), Vastus lateralis(VL), Bicep femoris(BF), Medial hamstring(MH), Medial gastrocnemius(MG) และ Lateral gastrocnemius (LG)

3. ทดสอบหา maximum voluntary isometric contraction (MVIC) ของแต่ละคน โดยใช้วิธี standard manual muscle test techniques โดยจะกล่าวต่อไปในหัวข้อการวัดค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ในหน้า 28

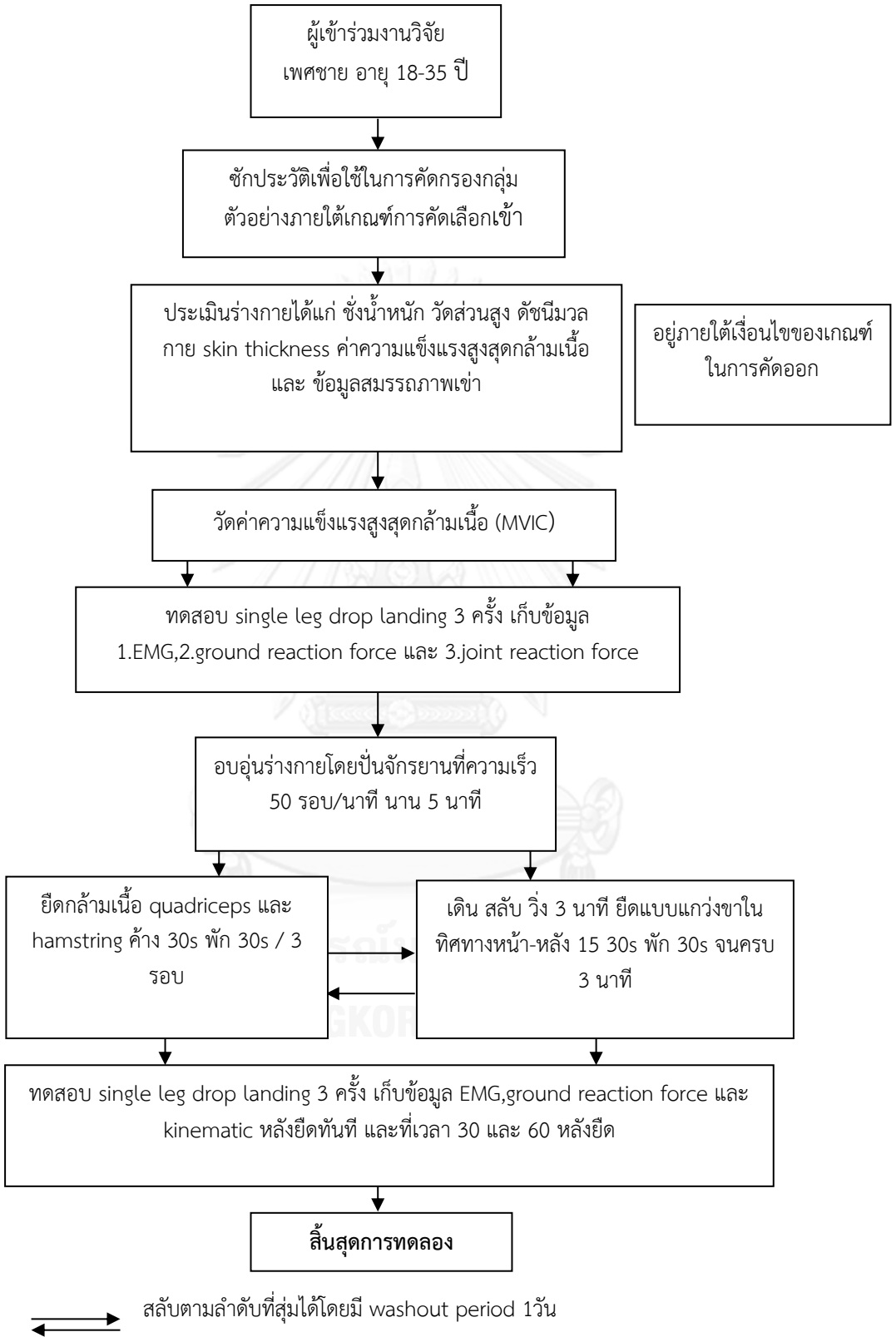
4. อบอุ่นร่างกาย โดยใช้ bicycle leg ergometer ที่ระดับความเร็ว 50 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 5 นาที ทำการยืดกล้ามเนื้อ Quadriceps และ Hamstrings ของขาข้างที่ทำการทดสอบกล้ามเนื้อละ 30 วินาที มัดละ 3 รอบ

5. ติด marker ที่บริเวณ (Anterior superior iliac spine(ASIS) , greater trochanter, medial &lateral epicondy of femur, medial&lateral malleolus, head of 5th metatarsal, base of 5th metatarsal) ของขาข้างทำการทดสอบ

- ท่าเริ่มต้นให้ผู้ถูกทดสอบยืนบนกล่องไม้สูง 30 เซนติเมตรโดย ยืนตรง มือกอดอก โดยจะใช้ขาข้างที่ไม่ถนัดยืนก่อนในลักษณะขาเดียว ฝึกท่าทางและวิธีการลงสู่พื้นโดยให้ผู้ถูกทดสอบได้ลองปฏิบัติ 2-3 รอบก่อนโดยเวลาลงให้เอาขาข้างที่ถนัดลง เวลาลงเสร็จให้พยายามรักษาสมดุลให้เร็วที่สุด และยืนค้างไว้ 10 วินาที

- พัก 1 นาทีระหว่างทำการทดสอบ ทำซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นทำการพักโดยห้ามออกแรงอย่างหนักขณะพัก เมื่อครบ 30 และ 60 นาที ทำการวัดซ้ำตามรูปแบบเดิม

การดำเนินงานวิจัย



<u>โปรแกรมการอบอุ่นร่างกายและการยืดกล้ามเนื้อ</u>

การอบอุ่นร่างกายจะใช้จักรยานวัดงานโดยใช้เวลาในการปั่น 5 นาทีที่ความเร็ว 50 รอบ/นาที โดยทั้ง 2 กลุ่มจะได้รับการอบอุ่นร่างกายเหมือนกัน

การยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง(Static stretching)

จะทำการยืดกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า quadriceps และ hamstring โดยยืดค้าง 30 วินาที ทำซ้ำ 3 รอบพักระหว่างรอบ 30 วินาที มีดังต่อไปนี้

<u>การยืดกล้ามเนื้อ Quadriceps</u>

วิธีการปฏิบัติ

- ในท่ายืน ให้ยืนตัวตรง ใช้มือจับกำแพงหรือเก้าอี้เพื่อรักษาสมดุล งอเข่าข้างที่ต้องการจะยืดกล้ามเนื้อขึ้นมาทางด้านหลัง โดยใช้มือจับที่บริเวณข้อเท้า
- ใช้มือออกแรงดึง ยืดกล้ามเนื้อให้รู้สึกตึงจนเริ่มไม่สบาย (mild discomfort) โดยลำตัวตั้งตรงห้ามโน้มตัวมาด้านหน้าดึงค้างในท่านั้นไว้ 30 วินาที แล้ว ผ่อนแรงออกพัก 30 วินาที ทำซ้ำ 3 รอบ

ภาพที่3 .1 การยืดกล้ามเนื้อ Quadriceps

<u>การยืดกล้ามเนื้อ Hamstring</u>

วิธีการปฏิบัติ

- ให้ยืนตัวตรง ยกขาข้างที่ต้องการยืดกล้ามเนื้อ hamstring ขึ้นวางส้นเท้าไว้บนเก้าอี้
- โน้มตัวไปข้างหน้าพร้อมกับยื่นมือทั้ง 2 ข้างไปแตะบริเวณปลายเท้า โดยที่ขาอยู่ในลักษณะเหยียดตรง เข่าห้ามงอขณะยืด
- ออกแรงโน้มตัวไปข้างหน้า ยืดกล้ามเนื้อให้รู้สึกตึงจนเริ่มไม่สบาย (mild discomfort)
- ยืดค้างไว้ 30 วินาที แล้วกลับสู่ท่ายืนตรง พัก 30 วินาที ทำซ้ำ 3 รอบ

ภาพที่ 3.2 การยืดกล้ามเนื้อ Hamstring

<u>การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว(Dynamic stretching)</u>

ใช้การเดิน สลับวิ่งเป็นเวลา 3 นาทีหลังจากนั้น ให้ยืนแกว่งขาในทิศทางหน้า-หลัง โดยขาข้างที่ทำการทดสอบให้แกว่งจนรู้สึกมีการตึงของกล้ามเนื้อเป็นเวลา 3 นาที

วิธีการปฏิบัติ

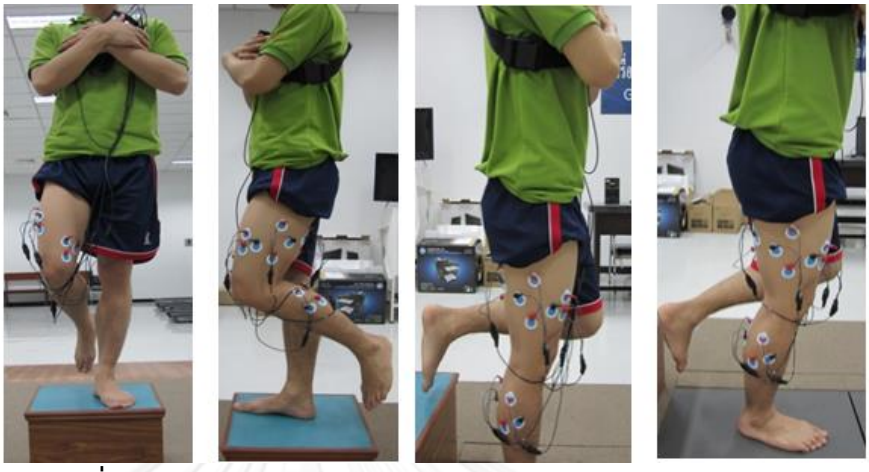
- ท่ายืน ให้ยืนตัวตรงใช้มือใดมือหนึ่งจับกำแพงหรือเก้าอี้เพื่อรักษาสมดุล
- ใช้การแกว่งขา ข้างที่ต้องการจะยืดกล้ามเนื้อโดยแกว่งขาไปทางด้านหน้าตามรูป ให้สูงและเหยียดเข่าอยู่เสมอให้รู้สึกตึงต้นขาด้านหลัง
- ทางด้านหลังให้แกว่งขากลับมาให้สูงพร้อมกับงอเข่า จนทำให้รู้สึกตึงบริเวณกล้ามเนื้อทางด้านหน้า
- แกว่งขาทั้งทางด้านหน้า – หลังสลับกัน เป็นเวลา 30 วินาที พัก 30 วินาที ทำซ้ำ 3 รอบ

ภาพที่ 3.3 การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching)

<u>วิธีการทดสอบ single leg drop landing</u>[68]

ทำการทอสอบก่อนโปรแกรมการอบอุ่นร่างกายและการยืดกล้ามเนื้อเพื่อเก็บค่าไว้เป็นกลุ่มควบคุม หลังจากมีมีการติด surface EMG และ marker เรียบร้อยแล้วผู้ถูกทดสอบจะต้องทำการยืนบน force plate เพื่อหาค่า base line ที่จะใช้คำนวณความเปลี่ยนแปลงไปขอค่า EMG ขณะปกติกับขณะลงสู่พื้นหลังจากเก็บค่า base line แล้วผู้ถูกทดสอบจะต้องยืนบริเวณขอบบล๊อกไม้ สูง 30 cm โดยให้ยืนด้วยขาข้างไม่ถนัด โดยที่ขาข้างถนัดให้ยกไว้

เพื่อป้องกันการใช้แรงก่อนการทดสอบ ผู้ถูก ตัวลงสู่พื้นและห้ามกระโดด อาสาสมัครจะได้รับการอธิบายก่อนเริ่มทดสอบว่า เมื่อลงสู่พื้นแล้วให้พยายามรักษาการทรงตัวให้เร็วที่สุดค้างไว้ 10 วินาที ทำการทดสอบ 3 ครั้งและมีการฝึกซ้อมก่อน 2-3 ครั้ง



ภาพที่ 3.4 การทดสอบด้วยวิธี single leg drop landing

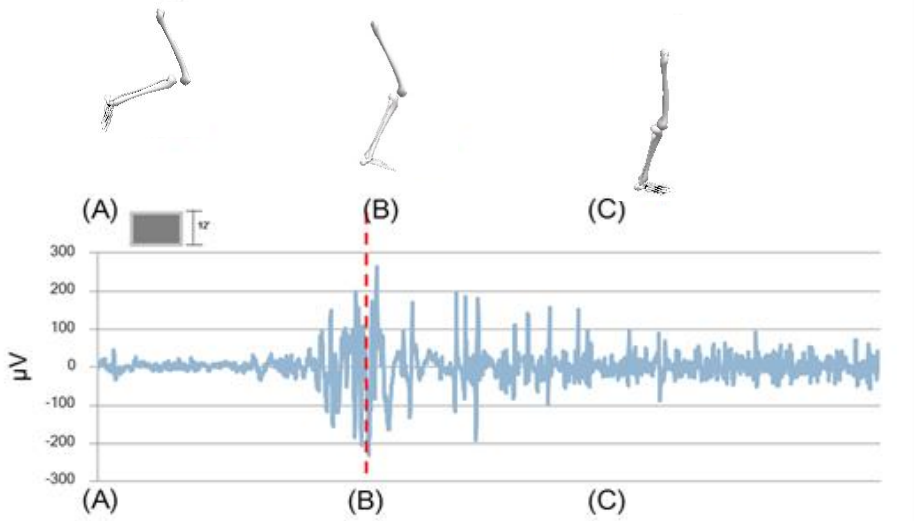
<u>การทดสอบ การทำงานของกล้ามเนื้อ รอบข้อเข่า</u>[68]

Moss et al. ใช้(EMG) ดูการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยผู้ทำการทดสอบจะต้องทำความสะอาดบริเวณที่ต้องการติด surface electrode โดยจะติดในขาข้างที่ถนัดที่บริเวณกึ่งกลางของกล้ามเนื้อและติดตามแนวยาวของกล้ามเนื้อ vastus medialis, vastus lateralis, biceps femoris, และ medial hamstrings โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บค่าเฉลี่ยของ EMG ทั้งหมด 3 ครั้งทั้งก่อนการยืดกล้ามเนื้อ – หลังยืดกล้ามเนื้อโดยจะดูค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ เทียบกับ ค่า maximum voluntary isometric contraction (MVIC) การทรงท่าบน force plate ไว้เป็น base line ก่อนการเก็บข้อมูลจะเก็บไปพร้อมๆกับการวัดค่า ground reaction force และ motion analysis

ภาพที่ 3.5 การติด surface electrode ของกล้ามเนื้อ vastus medialis, vastus lateralis, medial hamstrings, lateral hamstring, medial gastrocnemius และ lateral gastrocnemius ในขาข้างที่ทำการทดสอบ

การประเมินคลื่นสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนจะได้รับการทดสอบการทำงานกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximal voluntary isometric contraction; MVIC) ของกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและหลัง (Quadriceps and Hamstrings muscle) รวมถึงกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius)ของขาข้างที่ถนัด โดย ให้ออกแรงต้านกันเต็มที่ค้างไว้ 10 วินาที ใช้ค่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในการค้างต้านแรงอย่างเต็มที่ใน 1 วินาที ในการทำให้เป็นค่าปกติใช้หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อเปรียบเทียบค่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อเริ่มบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อจากขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าที่ผิวหนัง (Surface electrode) ในระหว่าง 1 วินาทีแรกของการลงสู่พื้น เพื่อประเมินค่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในช่วงเวลาดังกล่าว โดยนำข้อมูลที่ได้มาเข้ากระบวนการ full-wave-rectified และ smoothing ด้วยความถี่ 6 เฮิรตซ์ fourth-order-recursive Butterworth low-pass filter จากนั้นทำข้อมูลเท่าเทียมกันด้วยค่าการทดสอบการทำงานกล้ามเนื้อสูงสุด (MVIC) โดยบันทึกเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 3.6 แสดงการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ ขณะอยู่บนกล่องสูง 12 นิ้ว (A) ขณะลงสู่พื้น (B) และขณะทรงตัวหลังจากลงสู่พื้น (C)

การวัดค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximal voluntary isometric contraction) โดยวิธี standard manual muscle test techniques

Quadriceps muscle

ตำแหน่งผู้ถูกทดสอบ: ผู้ถูกทดสอบนั่งโดยพยายามให้ลำตัวอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้น ขาอยู่ในท่างอเล็กน้อยไม่เกิน 30 องศา ไม่ได้เหยียดจนสุด

ตำแหน่งผู้ทดสอบ:ผู้ทดสอบยืนด้านที่ต้องการทดสอบและใช้มือจับให้ครอบคลุมด้านหน้าบริเวณปลายขา เหนือจากข้อเท้าขึ้นมา มืออีกข้างให้วางไว้บริเวณปลายต้นขา เหนือเข่า

การทดสอบ: ผู้ถูกทดสอบงอเข่าเล็กน้อย ในมุมองศาการเคลื่อนไหวที่เหลือแต่ไม่ถึงสุดจนจำกัดการเคลื่อนไหว

ตัวอย่างคำสั่ง: “เหยียดเข่าเต็มที่ แล้วค้างไว้ อย่าให้ผมกดลง”

ภาพที่ 3.7 แสดงการทดสอบ MMT ของกล้ามเนื้อ Quadriceps muscle Hamstrings muscle

ตำแหน่งผู้ถูกทดสอบ: ผู้ถูกทดสอบนอนคว่ำกับพื้นหรือเตียง ขาอยู่ในท่างอขึ้นมาแต่ไม่เกิน 30 องศา

ตำแหน่งผู้ทดสอบ: ผู้ทดสอบยืนด้านที่ต้องการทดสอบ และใช้มือจับให้ครอบคลุมด้านหลังบริเวณปลายขา เหนือจากข้อเท้าขึ้นมา มืออีกข้างให้วางไว้บริเวณบั้นเอว เพื่อคุมไม่ให้งอสะโพกช่วย

การทดสอบ: ผู้ถูกทดสอบงอเข่า ในมุมองศาการเคลื่อนไหวที่เหลือแต่ไม่ถึงสุดจนจำกัดการเคลื่อนไหว

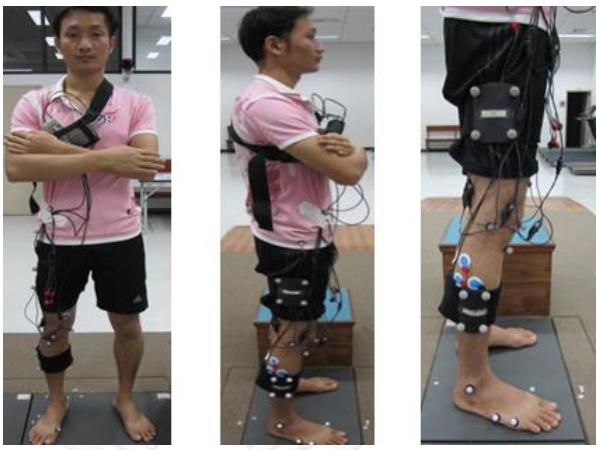
ตัวอย่างคำสั่ง: “งอเข่าเต็มที่ แล้วค้างไว้ อย่าให้ผมกดลง”

ภาพที่3.8 แสดงการทดสอบ MMT ของกล้ามเนื้อ Hamstrings muscle

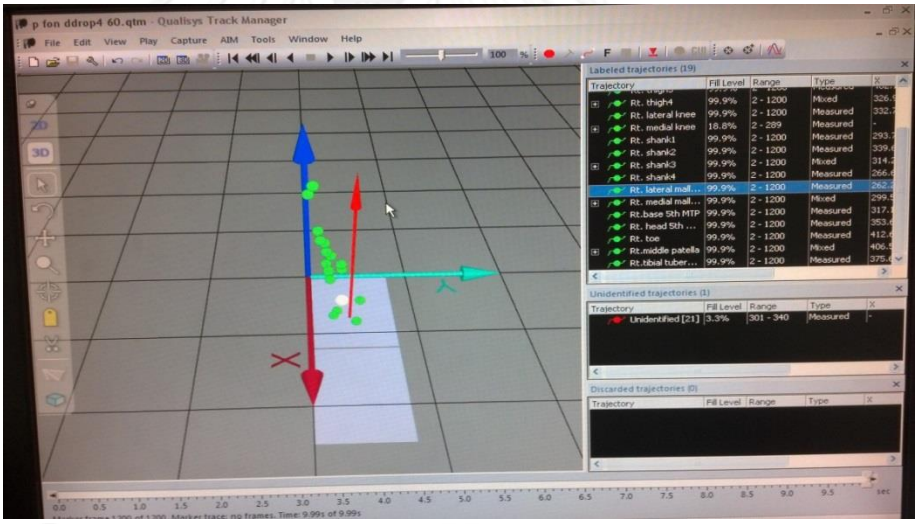
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวัดทาง kinematic[43]

ผู้ถูกทดสอบจะได้รับการติด reflective marker เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงต่อมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวและข้อเข่าขณะมีการลงสู่พื้น โดยจะมีการติดที่บริเวณ ASIS , greater trochanter, medial &lateral epicondy of femur, medial&lateral malleolus, head of 5th metatarsal, base of 5th metatarsal ทำการบันทึกค่า EMG, force plate และ video data พร้อมๆกัน ในส่วนของรยางค์ส่วนล่าง ผู้ถูกทดสอบทุกคนจะได้รับการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Visual-3D Basic/RT เพื่อใช้คำนวณหาค่า joint reaction force โดยทำการเก็บค่าครั้งหมด 3 รอบในการทำ single leg landing ค่าเฉลี่ยของ ground reaction forces จะดูที่ peak ของค่าในขณะลงสู่พื้นและค่าการเหยียดเข่า จะถูก normalizedด้วยน้ำหนักของแต่ละคน



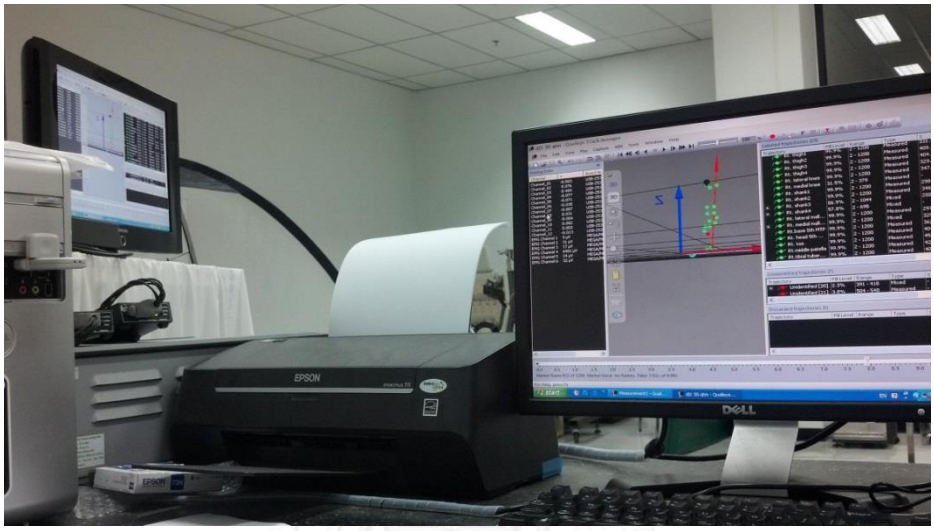
ภาพที่ 3.9 แสดงการติด reflective marker เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงต่อมุมการเคลื่อนไหวของลำตัวและข้อเข่าขณะมีการลงสู่พื้น



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 3.10 แสดงการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Visual-3D Basic/RT เพื่อใช้คำนวณหาค่า joint reaction force และค่า ground reaction forces

ภาพที่ 3.11แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลในโปรแกรม Qualisys Track Manager เวอร์ชั่น 2.7 (build 783) และ Visual3D Basic v3.99.25.6 ที่สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ XP service Pack 2



3.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมงานวิจัย ผลการทดสอบต่างๆลงในแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลเพื่อการวิจัย และคอมพิวเตอร์ (ดูในภาคผนวก)

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำเสนอข้อมูลพื้นฐานและผลการทดสอบในรูปของค่า mean ± SD

2. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเข่าโดยคิดเป็นค่า normalization ของ ground reaction forceมีหน่วยเป็น นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม 3 กลุ่ม คือกลุ่มไม่ยืด ยืดแบบคงค้าง และยืดแบบเคลื่อนไหวโดยใช้ one-way ANOVA with repeated measure

3. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่า EMG ภายใต้ 3 กลุ่ม คือกลุ่มไม่ยืด ยืดแบบคงค้างและยืดแบบเคลื่อนไหว โดยคิดเป็น % change ที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่า MVIC ใช้ one-way ANOVA with repeated โปรแกรมสถิติที่ใช้ SPSSS version 16.0

4. ทดสอบสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 95 % ของความเชื่อมั่น

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ข้อมูลทั่วไป

ในการศึกษาครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งสิ้น 40 ราย เป็นเพศชายที่ตรงตามเกณฑ์คัดเข้าการวิจัย มีอายุอยู่ในช่วง 20-30 ปี

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมการวิจัยชายจำนวน 40 ราย

ข้อมูล	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ส่วนสูง (เมตร)	171.67± 5.40
2. น้ำหนัก (กิโลกรัม)	67.32± 8.80
3. ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	22.81± 2.61
4. อายุ (ปี)	22.87± 2.50

4.2 ผลของค่า ground reaction force (GRF) และ joint reaction force (JRF)

จากการวิจัยผลการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและการยืดแบบเคลื่อนไหวต่อแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเข่าที่แตกต่างกันก่อนและหลังยืด ณ เวลาที่แตกต่างพบว่า ผลแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของทั้ง 2 กลุ่มเมื่อเทียบกับขณะก่อนยืดและหลังยืด ผลของระยะเวลาการยืดกล้ามเนื้อทันทีและที่ 30,60 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย แต่พบว่าผลมีลักษณะแนวโน้มของข้อมูลไปในทางเดียวกัน ซึ่งผลของแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเข่า คิดโดยค่าเฉลี่ยบวกลบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งค่าได้แสดงด้วยตารางด้านล่างดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าแรงกระทำต่อพื้น(GRF)ทั้งในแบบการยืดแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

GROUND REACTION FORCE		
TYPE TIME	STATIC STRETCH(N/kg)	DYNAMIC STRETCH(N/kg)
PRE STRETCH	37.04±8.01	37.04±8.01
POST STRETCH	37.73±10.05	38.56±9.39
POST 30 MIN.	36.38±8.89	37.34±9.81
POST 60 MIN.	36.72±8.85	37.27±9.24

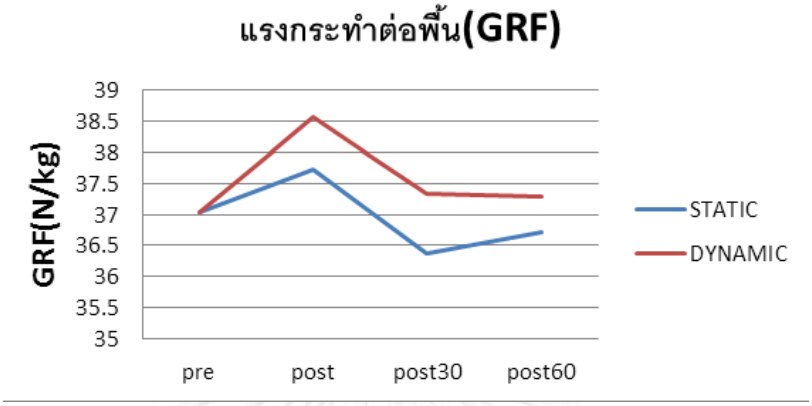
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าแรงกระทำต่อข้อเข่า(JRF)ทั้งในแบบการยืดแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

JOINT REACTION FORCE		
TYPE TIME	STATIC STRETCH(N/kg)	DYNAMIC STRETCH(N/kg)
PRE STRETCH	34.93±7.56	34.93±7.56
POST STRETCH	35.51±9.52	36.31±9.00
POST 30 MIN.	34.32±8.38	35.11±9.14
POST 60 MIN.	34.60±8.49	35.25±8.69

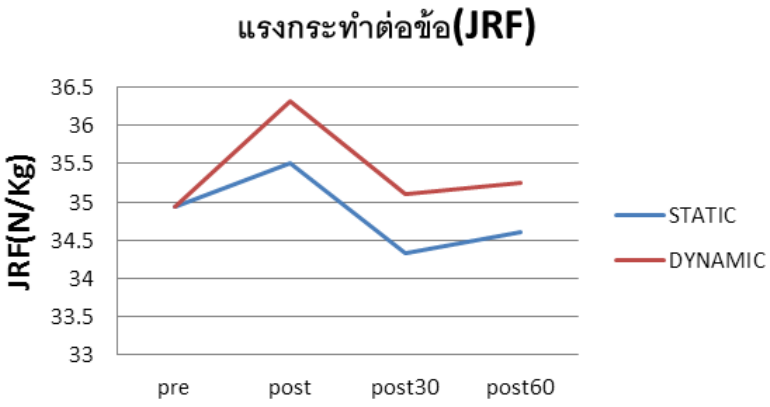
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การยืดกล้ามเนื้อทั้ง 2 แบบ (GRF)และ(JRF)หลังจากยืดกล้ามทันทีมีค่าสูงขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ย (GRF) ของการยืดแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวอยู่ที่ 37.73±10.05 และ38.56±9.39 และค่า(JRF) 35.51±9.52 และ 36.31±9.00 ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลงจนถึงนาทีที่ 30 หลังการยืดกล้ามเนื้อหลังจากนั้นมีแนวโน้มกลับสู่ค่าเริ่มต้น(post 60 min)

ภาพที่ 4.1 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยของแรงกระทำต่อพื้น(GRF)ต่อผลการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวและแบบคงค้าง (n=40)



ภาพที่ 4.2 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยของแรงกระทำต่อข้อเข่า(JRF)ในทั้ง 2 กลุ่มการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวและแบบคงค้าง (n=40)



จากภาพที่ 15,16 การยืดกล้ามเนื้อทั้ง 2 แบบ ค่าเฉลี่ยของแรงกระทำต่อพื้น(GRF)และแรงกระทำต่อข้อเข่า(JRF)หลังจากยืดกล้ามในทันทีแนวค่าสูงขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยของการยืดแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวอยู่ที่ 37.73±10.05 และ 38.56±9.39ในค่า (GRF) 35.51±9.52 และ 36.31±9.00 ในค่า(JRF) เทียบกับค่าก่อนยืดกล้ามเนื้อ 37.04±8.01และ34.93±7.56 ตามลำดับ และมีแนวโน้มที่ลดลงจนถึงนาทีที่ 30 หลังจากการยืดกล้ามเนื้อและมีแนวโน้มกลับสู่ค่าเริ่มต้น

4.3 ผลของค่ากำลังกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า Electromyography (EMG)

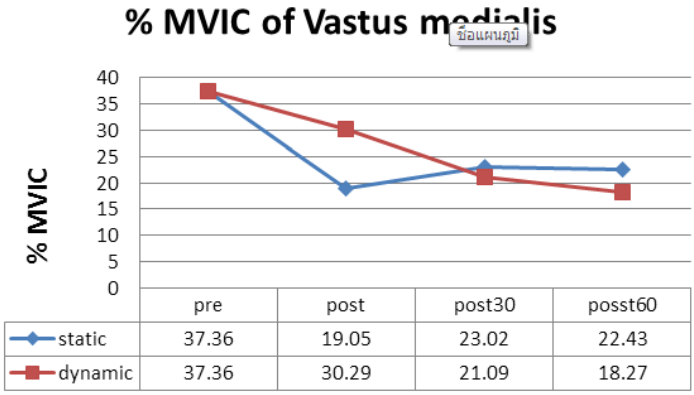
ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาในกล้ามเนื้อทั้งหมด 6 มัดกล้ามเนื้อซึ่งประกอบไปด้วย Vastus medialis(VM), Vastus lateralis(VL), Medial hamstring(semitendiosus)(MH), Lateral hamstring(bicep femeris)(LH), Medial gastrocnemius(MG), Lateral gastrocnemius(LG) ทดสอบการกระโดดลงจากบล๊อกไม้ที่ความสูง 30 เซนติเมตร ทดสอบหาค่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยคิดร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานเทียบกับค่า MVIC ของกล้ามเนื้อทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งผลจากการวิเคราะห์โดยใช้สถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาก่อนและหลังการยืดกล้ามเนื้อทันทีและหลังยืด 30,60 นาที และรูปแบบการยืดกล้ามเนื้อทั้ง 2 แบบต่อกำลังกล้ามเนื้อไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ทางผู้วิจัยได้เห็นถึงแนวโน้มของค่ากำลังกล้ามเนื้อรอบข้อเข่ามีแนวโน้มลดลงทันทีหลังจากมีการยืดกล้ามเนื้อ และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหลังจากยืดไปในระยะเวลา 30, 60 นาทีหลังการยืด โดยดูจากตารางและกราฟที่ได้นำมาแสดงต่อไปด้านล่างนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Vastus medialis(VM) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

% MVIC of Vastus medialis muscle		
TYPE TIME	STATIC STRETCH	DYNAMIC STRETCH
PRE STRETCH	37.36±9.90	37.36±9.90
POST STRETCH	19.05±4.03	30.29±3.42
POST 30 MIN.	23.02±2.01	21.09±4.46
POST 60 MIN.	22.43±5.23	18.27±0.60

จากตารางด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ VM ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มลดลงหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันทีทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว (19.05±4.03และ30.29±3.42) ตามลำดับ เทียบกับก่อนยืด (37.36±9.90) ในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อที่เวลา 30 นาทีหลังยืดยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากนาทีที่ 30 ไปแล้ว ส่วนการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มลดการทำงานลงเทียบกับก่อนมีการยืดกล้ามเนื้อ

ภาพที่ 4.3 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ VM ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว



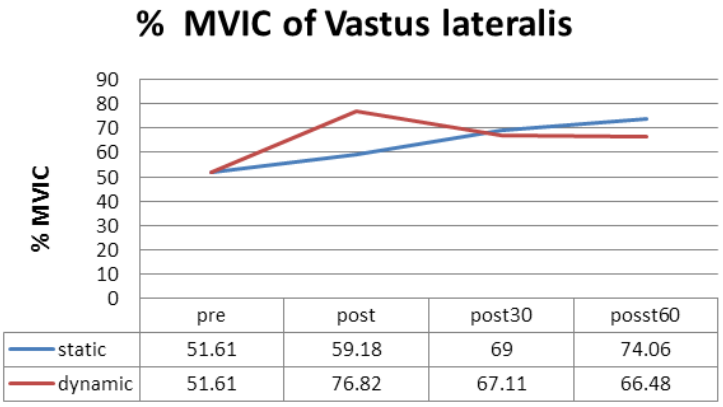
จากกราฟด้านบนจะพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ VM ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มลดลงหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันทีและในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อที่เวลา 30 นาทีหลังยืดยังลดลงอยู่และมีแนวโน้มการทำงานที่เพิ่มขึ้นหลังนาทีที่ 30 ส่วนการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการทำงานของกล้ามเนื้อที่ลดลงเทียบกับก่อนมีการยืดกล้ามเนื้อ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Vastus lateralis(VL) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

% MVIC of Vastus lateralis muscle		
YPE TIME	STATIC STRETCH	DYNAMIC STRETCH
PRE STRETCH	51.61±14.75	51.61±14.75
POST STRETCH	59.18±14.44	76.82±11.23
POST 30 MIN.	69.00±4.20	67.11±7.02
POST 60 MIN.	74.06±10.54	66.48±8.77

จากตารางด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ VL ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันทีทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว (59.18±14.44และ76.82±11.23) ตามลำดับ เทียบกับก่อนยืด (51.61±14.75) ในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อที่เวลา 30และ60 นาทีหลังยืดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ส่วนของการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการกำลังที่หลังยืดที่ลดลง เวลา 30 นาทีทันทีเป็นต้นมาเทียบกับก่อนมีการยืดกล้ามเนื้อ

ภาพที่ 4.4 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อVastus lateralis(VL) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว



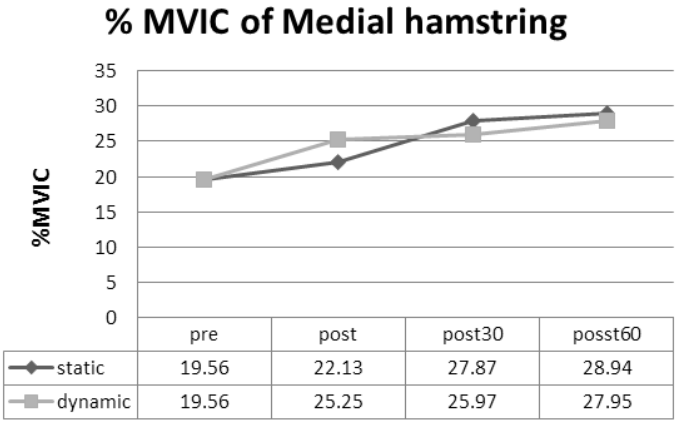
จากกราฟด้านบนจะพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ VL ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันทีและในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อที่เวลา 30 นาทีหลังยืดยังลดลง ส่วนการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการกำลังที่เพิ่มขึ้นเทียบกับก่อนมีการยืดกล้ามเนื้อ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Medial hamstring(MH) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

% MVIC of Medial hamstring muscle		
TYPE TIME	STATIC STRETCH	DYNAMIC STRETCH
PRE STRETCH	19.56± 3.40	19.56± 3.40
POST STRETCH	22.13± 7.61	25.25± 1.11
POST 30 MIN.	27.87± 2.34	25.97± 1.36
POST 60 MIN.	28.94±10.85	27.95± 1.10

จากตารางด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ MH ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันทีทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว (22.13± 7.61และ25.25± 1.11) ตามลำดับ เทียบกับก่อนยืด (19.56± 3.40)ในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อมีแนวโน้มการทำงานเพิ่มขึ้นหลังการยืดในทันที ส่วนของการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการกำลังที่เพิ่มขึ้นในนาทีที่ 30 เทียบกับก่อนมีการยืดกล้ามเนื้อ

ภาพที่ 4.5 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Medial hamstring(MH) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว



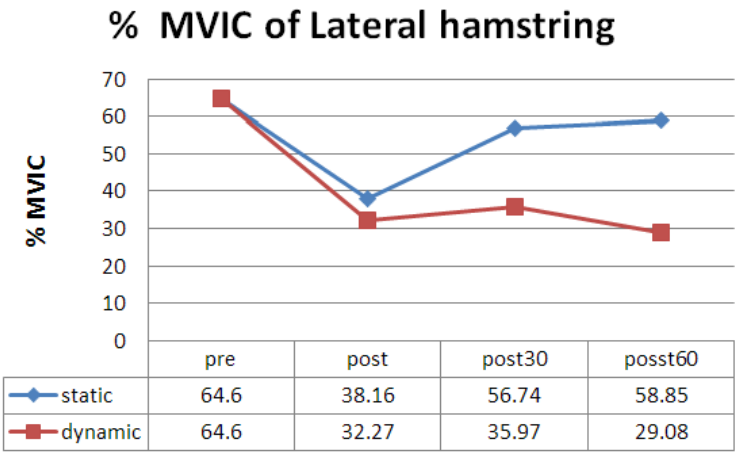
จากกราฟด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ MH ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันทีและในส่วนของการยืดแบบคงค้างมีแนวโน้มการทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรูปกราฟ ส่วนการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการกำลังที่เพิ่มขึ้นหลังยืดกล้ามเนื้อเทียบกับก่อนมีการยืดกล้ามเนื้อ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Lateral hamstring(LH) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

% MVIC of Lateral hamstring muscle		
TYPE TIME	STATIC STRETCH	DYNAMIC STRETCH
PRE STRETCH	64.60± 15.68	64.60± 15.68
POST STRETCH	38.16± 8.08	32.27± 9.88
POST 30 MIN.	56.74± 7.86	35.97± 1.92
POST 60 MIN.	58.85± 13.46	29.08± 2.97

จากตารางด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ LH ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มลดลงหลังจากการยืดกล้ามเนื้อที่ 30 นาทีแบบคงค้าง(38.16± 8.08)และหลังยืดทันทีแบบเคลื่อนไหว (32.27± 9.88)เทียบกับก่อนยืด (64.60± 15.68)ในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อที่เวลา 60 นาทียังคงมีการทำงานที่เพิ่มขึ้น ส่วนของการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการกำลังที่เพิ่มขึ้นเทียบกับหลังยืดกล้ามเนื้อทันที

ภาพที่ 4.6 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Lateral hamstring(LH) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว



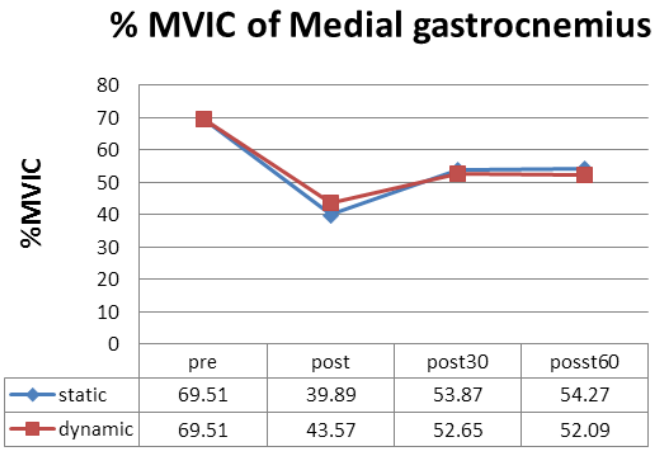
จากกราฟด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ LH ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มลดลงหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันที และในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อที่เวลา 30 นาทีหลังยืดยังลดลงอีก ส่วนการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการกำลังที่เพิ่มขึ้นเทียบกับก่อนมีการยืดกล้ามเนื้อ

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Medial gastrocnemius(MG) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

% MVIC of Medial gastrocnemius muscle		
TYPE TIME	STATIC STRETCH	DYNAMIC STRETCH
PRE STRETCH	69.51±11.93	69.51±11.93
POST STRETCH	39.89±4.44	43.57±5.08
POST 30 MIN.	53.87±6.97	52.65±7.52
POST 60 MIN.	54.27±2.71	52.09±5.86

จากตารางด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ MG ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างมีแนวโน้มลดลงหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันทีที่ (39.89±4.44)ส่วนแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการทำงานที่เพิ่มขึ้น (43.57±5.08) เทียบกับก่อนยืด (69.51±11.93) ในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มการทำงานมากขึ้นจนถึงหลัง 60 นาที ส่วนของการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการทำงานกล้ามเนื้อกลับสู่ก่อนยืดกล้ามเนื้อหลัง 30 นาทีไปแล้ว

ภาพที่ 4.7 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Medial gastrocnemius(MG)ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว



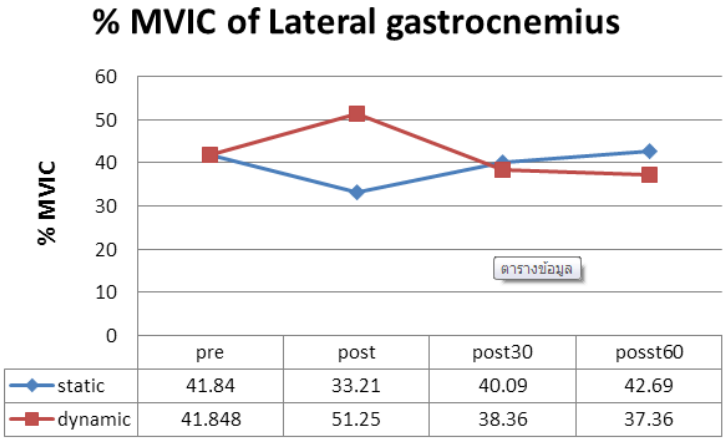
จากกราฟด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ MG ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มลดลงหลังการยืดกล้ามเนื้อทันทีและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกลับสู่ baseline ในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อที่เวลา 30 นาทีหลังยืดเพิ่มขึ้น ส่วนการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการกำลังที่เพิ่มขึ้นเทียบกับก่อนมีการยืดกล้ามเนื้อ

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ Lateral gastrocnemius (LG) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว

% MVIC of Lateral gastrocnemius muscle		
TYPE TIME	STATIC STRETCH	DYNAMIC STRETCH
PRE STRETCH	41.84±13.88	41.84±13.88
POST STRETCH	33.21±5.72	51.25±18.80
POST 30 MIN.	40.09±3.08	38.36±2.83
POST 60 MIN.	42.69±7.33	37.36±1.70

จากตารางด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ LG ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มลดการทำงานลงหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันทีที่(33.21±5.72และ51.25±18.80)ตามลำดับ เทียบกับก่อนยืด(41.84±13.88) ในส่วนของการยืดแบบคงค้างการทำงานของกล้ามเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มการทำงานมากขึ้นจนถึง นาทีที่ 60 ส่วนของการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการทำงานกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นหลังจากยืดไป 30 นาทีและจากนั้นดูไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ภาพที่ 4.8 แสดงรูปกราฟค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อLateral gastrocnemius(LG) ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว



จากกราฟด้านบนพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อ LG ต่อผลของการยืดกล้ามเนื้อในแบบคงค้างมีแนวโน้มลดลงหลังจากการยืดกล้ามเนื้อทันที ส่วนการยืดแบบเคลื่อนไหวมีแนวโน้มการทำการของกล้ามที่เพิ่มขึ้นหลังยืดกล้ามเนื้อไปจนถึง 30 นาทีหลังนั้นมีแนวโน้มลดการทำงานลงกลับสู่ base line

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อแรงกระทำที่ข้อต่อ แรงกระทำต่อพื้นและค่ากำลังกล้ามเนื้อเปรียบเทียบกัน ณ ทันทีหลังการยืดเสร็จ และที่ 30 , 60 นาทีหลังการยืด จากผลงานวิจัยพบว่า ผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้าง(static stretch)และแบบเคลื่อนไหว (dynamic stretch) มีผลต่อแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเข่าทั้งทันทีหลังยืด และที่เวลา 30 และ 60 นาทีหลังยืดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Moss และคณะในปี 2011[15]ได้ศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างต่อการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่าขณะที่ drop landing ในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี โดยดูค่า electromyography activity ของกล้ามเนื้อขา ในช่วงการลงสู่พื้นบน force plate ที่ทันทีหลังการยืดและที่14 วันหลังการยืดเพื่อดูผลระยะยาว พบว่าก่อนการยืดแบบคงค้างและหลังจากการยืดแบบคงค้างไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งหลังยืดทันที จากงานวิจัยของ Moss สรุปว่าผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของกล้ามเนื้อทันทีหลังยืด ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ที่ไม่มีความแตกต่างของแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเข่าหลังจากยืดกล้ามเนื้อที่ระยะเวลาหลังยืดทันที ที่เวลา 30 นาทีและ 60 นาทีหลังยืดกล้ามเนื้อ ซึ่งอาจบ่งบอกความเชื่อมโยงของผลการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างในเรื่องการทำงานของกล้ามเนื้อที่ไม่เปลี่ยนแปลง อาจส่งผลให้ค่าแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเข่าไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน และมีค่าการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่าที่ได้ศึกษาการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งหมด 6 มัดได้แก่ vastus medialis(VM), vastus lateralis(VL), medial hamstring(MH), lateral hamstring(LH), medial gastrocnemius(MG), lateral gastrocnemius(LG) พบว่ามีแนวโน้มที่สัมพันธ์กันระหว่างผลของการเปลี่ยนแปลงในค่าของผลของค่าแรงกระทำต่อพื้น (GRF)และแรงกระทำต่อข้อเข่า(JRF) กับการเปลี่ยนแปลงของค่า EMG ที่เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อสังเกตและวิเคราะห์นั้น พบว่าค่าการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่ามีการลดการทำงานลงของกล้ามเนื้อ (VM),(LH),(MG) หลังมีการยืดกล้ามเนื้อทันที และกลุ่มกล้ามเนื้อทำงานที่เพิ่มขึ้นในกลุ่ม (VL),(MH),(LG) ซึ่งเมื่อมาวิเคราะห์ในทางกายภาพของกล้ามเนื้อขาแล้วจะพบว่า กล้ามเนื้อที่ทำงานต่างกันเป็นตัว counteraction ซึ่งกันและกันเมื่อกล้ามเนื้อด้านใด ด้านหนึ่งเกิดสูญเสียการทำงานไปหรือลดการทำงานลงสมองจะส่งสัญญาณไปจากตัวรับความรู้สึกในลายกล้ามเนื้อดูความยืด ยาวออกของกล้ามเนื้อตัวรับความรู้สึกของข้อต่อทำงานร่วมกันส่งสัญญาณไปที่สมอง เพื่อสั่งการลงมาให้กล้ามเนื้อฝั่งตรงข้ามทำงานเพื่อรักษาสมดุลของร่างกายเพื่อที่จะสามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้อย่างสมบูรณ์และปลอดภัย แต่จากงานวิจัยนี้การ

ทำงานของกล้ามเนื้อส่วนใหญ่จะมีการลดลงของการทำงานหลังจากยืดกล้ามเนื้อเป็นผลมาจาก 2 ส่วนคือในทางกลศาสตร์คือ การมีความยาวกล้ามเนื้อที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ส่งผลในเชิงระบบประสาท คือ มีความไวในการนำสัญญาณประสาทที่ส่งมากระตุ้นให้กล้ามเนื้อหดตัวได้ช้ากว่าในกลุ่มที่ไม่ได้รับการยืดกล้ามเนื้อส่งผลเกี่ยวเนื่องกับการเพิ่มขึ้นของค่าแรงกระทำต่อพื้น (GRF)และแรงกระทำต่อข้อเข่า(JRF) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Power และคณะในปี 2004[38] ได้ทดสอบผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และดูผลที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวแปลแต่ละตัวที่เวลาต่างๆกันโดยอาสาสมัคร 12 คนจะถูกทำการทดสอบ pre-test และ post-test ที่เวลา (30,60,90,120 นาทีหลังยืด) โดยทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มทดลองจะได้รับการยืดกล้ามเนื้อ quadriceps และ plantar flexors ส่วนในกลุ่มควบคุมไม่ต้องยืดกล้ามเนื้อ ทำการวัด maximal voluntary force (MVC), surface integrated electromyographic (iEMG), Vertical jump (VJ) การวัดจะวัดเฉพาะช่วงกล้ามเนื้อทำงานแบบ concentric ซึ่งผลสรุปว่าหลังจากการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้าง มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 9.5% , 5.4% ของแรงและกำลังของกล้ามเนื้อ quadriceps และแรงยังคงเหลือหลังจากยืดเป็นเวลา 120 นาที ลดลงที่ (10.4%) สรุปว่าการยืดกล้ามเนื้อ quadriceps แบบคงค้างมีผลลดกำลังของกล้ามเนื้อหลังจากยืดไปแล้ว 120 นาที และจากการศึกษาของ Moss และคณะในปี 2011[68]ได้ศึกษาผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างต่อการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่าขณะที่ drop landing ในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี โดยเป็นการศึกษาแรกที่ศึกษาผลการยืดกล้ามเนื้อกับการ drop landingโดยมีอาสาสมัครทั้งหมด 26 คน แบ่งเป็นเพศหญิง 14 คน เพศชาย 12 คน โดยดูค่า electromyography activity ของกล้ามเนื้อ vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), medial hamstring (MH), bicep femoris (BF) ในช่วงการลงสู่พื้นที่ความสูง 47 เซนติเมตรลงบน force plateโดย ทุกคนจะได้ลองฝึกการลงสู่พื้นก่อน 3-5 ครั้งก่อนการทดสอบ และการทดสอบจะทำทั้งหมด 7 ครั้งพัก 30 วินาทีเก็บค่าหลังยืดทันที และหลังจากยืดเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่าก่อนการยืดแบบคงค้างและหลังจากการยืดแบบคงค้างมีผลไม่แตกต่างกัน ทั้งหลังยืดทันทีและหลังยืดเป็นเวลา 14 วัน จากการทำงานที่น้อยลงของกล้ามเนื้อรอบๆข้อเข่าหลังจากการยืดกล้ามเนื้อในทันที ส่งผลกระทบให้เกิดแรงกระทำต่อพื้นและต่อข้อเข่าที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ส่งเสริมในประเด็นของการอบอุ่นร่างกายด้วยการยืดกล้ามเนื้อควรเลือกปฏิบัติในกลุ่มกีฬาที่ไม่ต้องใช้แรงมากในการแข่งขันหรือในประเภทกีฬาที่ไม่ต้องมี Impact ลงต่อร่างกายเป็นการออกกำลังกายแบบ close kinematic chain เช่น ปั่นจักรยาน และควรหลีกเลี่ยงในประเภทกีฬาที่ต้องใช้แรงในการกระโดด วิ่ง หรือเปลี่ยนท่าทางอย่างรวดเร็ว เพราะอาจมีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อข้อเข่าได้

ในอีกแง่มุมความพบว่าผลการยืดกล้ามเนื้อมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ จะพบว่าผลของค่าแรงกระทำต่อพื้น (GRF)และแรงกระทำต่อข้อเข่า(JRF) มีแนวโน้มเพิ่มเมื่อเทียบกับก่อนยืด ซึ่งผลตรงส่วนนี้ก็สอดคล้องกับในหลายงานวิจัยที่บอกถึงผลการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างลดประสิทธิภาพกำลัง[11] ของกล้ามเนื้อซึ่งได้อธิบายถึงเรื่องปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือทางกลศาสตร์(mechanical) และ

ระบบประสาท (neurological) ทาง mechanical อาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของรอยย่นของกล้ามเนื้อ ทำให้ความยาวกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไปทำให้มีการลดลงของกำลังสูงสุด ส่วนทาง neurological อาจเกิดจากการลดการทำงานของ motor unit[12]การลดลงของ motor unit ทำให้ค่า การทำงานของกล้ามเนื้อลดลงในทันทีหลังการยืดกล้ามเนื้อ ซึ่งมีผลต่อความมั่นคงของข้อต่อและการทำงานของกล้ามเนื้อรอบๆข้อในขณะลงสู่พื้นเป็นการบอกถึงการมี poor dynamic stability ของข้อเข่าได้ ในส่วนผลของการยืดแบบเคลื่อนไหวซึ่งกลับมีความเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าการยืดแบบคงค้างที่เวลาทันทีหลังยืดนั้นซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยหลายๆงานซึ่งบอกถึงผล acute effect ของการยืดแบบเคลื่อนไหวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ เพิ่มแรงและกำลัง[13]ทางผู้วิจัยได้ให้ความเห็นว่างานวิจัยหลายๆงานที่ได้วิจัยผลของการยืดแบบเคลื่อนไหวสนใจและเน้น ไปที่การวัดค่าการทำงานของกล้ามเนื้อ และกำลังของกล้ามเนื้อซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจผลขอแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเข่าซึ่งเป็นการวัดด้วย single leg drop landing ไม่ได้เป็นการทดสอบเพื่อวัดผลความแข็งแรงและกำลังแต่เป็นการดูการทำงานประสานสัมพันธ์ของแรงที่ลงต่อข้อเข่าและพื้นเท่านั้น ซึ่งเพียงแต่ข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มของแรงที่ลงต่อพื้นและข้อเข่าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจประเมินได้ว่ากล้ามเนื้อทำงานในการดูดซับ กระจายแรงได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับก่อนยืด

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจเรื่องของการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบคงค้างและแบบการเคลื่อนไหว เพื่อดูผลของค่าแรงกระทำต่อพื้นและค่าแรงกระทำต่อข้อเข่าในคนปกติทั่วไป ซึ่งจากผลงานวิจัยการยืดกล้ามเนื้อทั้ง 2 แบบไม่มีผลต่อแรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเข่า เทียบกับก่อนยืดกล้ามเนื้อ และเวลาก็ไม่มีผลต่อค่าทั้ง 2 เช่นกัน มีข้อสังเกตถึงแนวโน้มของค่าทั้ง 2 ค่าที่เพิ่มขึ้นหมายถึง การรับแรง ดูดซับแรงจากพื้นขึ้นมาทำได้น้อยลง ไม่ดีเท่ากับก่อนการยืดกล้ามเนื้อจึงเป็นผลให้แรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำต่อข้อเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจการออกกำลังและมีการยืดกล้ามเนื้ออยู่แล้ว หรือผู้ที่เป็นนักกีฬาที่ต้องใช้แรงมากๆมีความเสี่ยงที่ผลของแรงที่เพิ่มขึ้นอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บได้ เมื่อมีแรงที่เพิ่มมากขึ้น เช่น ยกน้ำหนัก หรือเตะฟุตบอล จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ชี้ให้เห็นถึงผลของการยืดกล้ามเนื้อทั้ง 2 แบบว่ากีฬาประเภทใช้แรงและกำลังสูงๆ ควรอบอุ่นร่างกายด้วยวิธีการเดิน สะบัดแขนขาทั่วไปโดยลดช่วงการยืดกล้ามเนื้อก่อนออกกำลังกายให้น้อยลง ควรยืดหลังจากออกกำลังแล้วจึงจะเหมาะสมกว่า จากผลของแรงที่กระทำต่อข้อเข่าที่เพิ่มขึ้นหลังการยืดกล้ามเนื้อในทันที

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากผู้วิจัยใช้วิธีการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวที่เฉพาะเจาะจงไปที่กล้ามเนื้อขาข้างนั้นๆซึ่งผลจากการยืดในส่วนนี้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหวโดยทั่วไปที่มีการวิ่ง กระโดด หรือทำท่าทางต่างๆได้ ที่ใช้ปฏิบัติจริงนั้นจะมีวิธีการ ท่าทางที่หลากหลาย จึงควรที่จะมีการศึกษาต่อไปในเรื่องของการเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการยืดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดความชัดเจนของการนำไปใช้ อันจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจใช้งานในการกีฬาจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. Arendt E DR. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. The American journal of sports medicine. 1995;23:694-701.
2. DeMorat G. Aggressive Quadriceps Loading Can Induce Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. American Journal of Sports Medicine. 2004;32(2):477-83.
3. Boden BP, MD;Dean, G Scott, MD;Feagin, John A, Jr, MD;Garrett, William E, Jr, MD, PhD. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. Orthopedics. 2000;23(6):573. Epub 578.
4. Huston J GM, Wojyts E. Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete: potential risk factors. Clin Orthop. 2000;372:13. Epub 63.
5. Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA, Bahr R, Beynnon BD, Demaio M, et al. Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. The American journal of sports medicine. 2006 Sep;34(9):1512-32. PubMed PMID: 16905673.
6. McLean SG, Huang X, Su A, Van Den Bogert AJ. Sagittal plane biomechanics cannot injure the ACL during sidestep cutting. Clinical biomechanics. 2004 Oct;19(8):828-38. PubMed PMID: 15342155.
7. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Jr., Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. The American journal of sports medicine. 2005 Apr;33(4):492-501. PubMed PMID: 15722287.
8. Lloyd DG, Buchanan TS, Besier TF. Neuromuscular Biomechanical Modeling to Understand Knee Ligament Loading. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2005;37(11):1939-47.
9. Lin CF, Gross M, Ji C, Padua D, Weinhold P, Garrett WE, et al. A stochastic biomechanical model for risk and risk factors of non-contact anterior cruciate ligament injuries. Journal of biomechanics. 2009 Mar 11;42(4):418-23. PubMed PMID: 19200994.
10. Viskontas DG, Giuffre BM, Duggal N, Graham D, Parker D, Coolican M. Bone bruises associated with ACL rupture: correlation with injury mechanism. The American journal of sports medicine. 2008 May;36(5):927-33. PubMed PMID: 18354139.
11. Shin CS, Chaudhari AM, Andriacchi TP. The effect of isolated valgus moments on ACL strain during single-leg landing: a simulation study. Journal of biomechanics. 2009 Feb 9;42(3):280-5. PubMed PMID: 19100550. Pubmed Central PMCID: 2663630.

12. Draganich LF VJ. An In Vitro Study of Anterior Cruciate Ligament Strain Induced by Quadriceps and Hamstrings Forces. J Orthop Res. 1990;8(1):57-63.
13. Scott Colby M, Anthony Francisco, MS, Bing Yu, PhD, Donald Kirkendall, PhD,Michael Finch, MD, William Garrett, Jr., MD, PhD. Electromyographic and Kinematic Analysis of Cutting Maneuvers Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury. American Journal of Sports Medicine. 2000;28(2):234-40.
14. Linford CW, Hopkins JT, Schulthies SS, Freland B, Draper DO, Hunter I. Effects of neuromuscular training on the reaction time and electromechanical delay of the peroneus longus muscle. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2006 Mar;87(3):395-401. PubMed PMID: 16500175.
15. Forkin DM KC, Battle R, Newton RA. Evalutation of kinesthetic deficits indicative of balance control in gymnasts with unilateral chronic ankle sprains. J Orthop Sports Phys Ther. 1996;23:245-50.
16. Lentell G BB, Lopez D, McGuire L, Sarrels M, Snyder P. The contributions of proprioceptive deficits, muscle function, and anatomic laxity to functional instability of the ankle. J Orthop Sports Phys Ther. 1995;21:206-15.
17. Nitz AJ DJ, Kersey D. Nerve injury and grades II and III ankle sprains. The American journal of sports medicine. 1985;13(3):177-82.
18. JE B-S. Sensory changes associated with severe ankle sprain. Scand J Rehabil Med. 1995;27:161-7.
19. Kleinrensink GJ SR, Meulstee J. Lowered motor conduction velocity of the peroneal nerve after inversion trauma. Med Sci Sports Exerc. 1994;20:877-83.
20. Karlsson J AG. The effect of external ankle support in chronic lateral ankle joint instability: an electromyopraphic study. The American journal of sports medicine. 1992;20:257-61.
21. Konradsen L RJ. Ankle instability caused by prolonged peroneal reaction time. Acta Orthop Scand. 1990;61:388-90.
22. Lynch SA EU, Gottlieb D, Renstrom PA, Beynnon B. Electromyographic latency changes in the ankle musculature during inversion moments. The American journal of sports medicine. 1996;24:362-9.
23. Hertel J BW, Denegar CR. Serial testing of postural control after acute lateral ankle sprain. J Athl Train. 2001;36:363-8.
24. Hertel J, Denegar CR, Buckley WE, Sharkey NA, Stokes WL. Effect of rearfoot orthotics on postural sway after lateral ankle sprain. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2001 Jul;82(7):1000-3. PubMed PMID: 11441393.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

25. Guskiewicz KM PD. Effect of orthotics on postural sway following inversion ankle sprain. J Orthop Sports Phys Ther. 1996;23:326-31.
26. H T. Pronator weakness in functional instability of the ankle joint Int J Sports Med. 1986;7(5):291-4.
27. L R. Mechanical stability, muscle strength, and proprioception in the functionally unstable ankle. Aust J Physiother. 1994;40:41-7.
28. American College of Sports M, Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. Med Sci Sports Exerc. 2009 Jul;41(7):1510-30. PubMed PMID: 19516148.
29. Stand ACoSMP. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. Med Sci Sports Exerc. 1998;30(6):975-91.
30. Prentice FGSaWE. Warming-Up and Stretching for Improved Physical Performance and Prevention of Sports-Related Injuries. Sports Medicine. 1985;2:267-78.
31. Smith CA. The warm-up procedure: to stretch or not to stretch. A brief review. J Orthop Sports Phys Ther. 1994;19:12-7.
32. Cramer JT, Housh TJ, Johnson GO, Miller JM, Coburn JW, Beck TW. Acute effects of static stretching on peak torque in women. Journal of Strength and Conditioning Research. 2004 May;18(2):236-41. PubMed PMID: WOS:000221658100006. English.
33. Cramer JT, Housh TJ, Weir JP, Johnson GO, Coburn JW, Beck TW. The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. European journal of applied physiology. 2005 Mar;93(5-6):530-9. PubMed PMID: 15599756.
34. Behm DG, Bradbury EE, Haynes AT, Hodder JN, Leonard AM, Paddock NR. Flexibility is not related to stretch-induced deficits in force or power. Journal of Sports Science and Medicine. 2006 Mar;5(1):33-42. PubMed PMID: WOS:000235646500004. English.
35. WILLIAMS TLAAG. Effects of differential stretching protocols during warm-ups on high-speed motor capacities in professional soccer players. Journal of Strength and Conditioning Research. 2006;20(1):203-7.
36. Witvrouw E, Mahieu N, Danneels L, McNair P. Stretching and injury prevention - An obscure relationship. Sports Medicine. 2004;34(7):443-9. PubMed PMID: WOS:000222791600003. English.

37. Massey; SMMJTCALFLL, Fitz; SMDSPKA, Culbertson JY. Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. Journal of Athletic Training. 2005;40(2):94-103.
38. Power K, Behm D, Cahill F, Carroll M, Young W. An Acute Bout of Static Stretching: Effects on Force and Jumping Performance. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2004;36(8):1389-96.
39. Fletcher IMaRA. The acute effects of combined static and dynamic stretch protocols on fifty-meter sprint performance in track-and-field athletes. Journal of Strength and Conditioning Research. 2007;21(3):784-7.
40. BRADY WHK, L. The impact of different warm-up protocols on vertical jump performance in male collegiate athletes. Journal of Strength and Conditioning Research. 2008;22(1):226-9.
41. Yamaguchi T, Ishii K, Yamanaka M, Yasuda K. Acute effects of dynamic stretching exercise on power output during concentric dynamic constant external resistance leg extension. Journal of Strength and Conditioning Research. 2007 Nov;21(4):1238-44.
42. Thacker SB, Gilchrist J, Stroup DF, Kimsey CD, Jr. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. Med Sci Sports Exerc. 2004 Mar;36(3):371-8.
43. McMillian DJ, Moore JH, Hatler BS, Taylor DC. Dynamic vs. static-stretching warm up: the effect on power and agility performance. J Strength Cond Res. 2006 Aug;20(3):492-9.
44. McCloskey DI. Kinesthetic sensibility. Physiological reviews. 1978 Oct;58(4):763-820. PubMed PMID: 360251.
45. Johnson EO, Babis GC, Soultanis KC, Soucacos PN. Functional neuroanatomy of proprioception. Journal of surgical orthopaedic advances. 2008 Fall;17(3):159-64. PubMed PMID: 18851800.
46. Tyldesley BG. Muscles, nerves and movement: kinesiology in daily living. Boston: Blackwell Scientific publications. 1989.
47. Kennedy JC, Alexander IJ, Hayes KC. Nerve supply of the human knee and its functional importance. The American journal of sports medicine. 1982 Nov-Dec;10(6):329-35. PubMed PMID: 6897495.
48. Nyland J, Brosky T, Currier D, Nitz A, Caborn D. Review of the afferent neural system of the knee and its contribution to motor learning. J Orthop Sports Phys Ther. 1994 Jan;19(1):2-11. PubMed PMID: 8156059.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

49. HT LS. The physiological basis for open and closed kinetic chain rehabilitation for the upper extremity. J Sport Rehabil. 1996;5(1):71-87.
50. Edin BB, Abbs JH. Finger movement responses of cutaneous mechanoreceptors in the dorsal skin of the human hand. Journal of neurophysiology. 1991 Mar;65(3):657-70. PubMed PMID: 2051199.
51. Bhatt T, Yang F, Mak MK, Hui-Chan CW, Pai YC. Effect of externally cued training on dynamic stability control during the sit-to-stand task in people with Parkinson disease. Physical therapy. 2013 Apr;93(4):492-503. PubMed PMID: 23139427. Pubmed Central PMCID: 3613339.
52. James L. Patton Y-CP, Wynne A. Lee. Evaluation of a model that determines the stability limits of dynamic balance. Gait and Posture. 1999;9:38-49.
53. Robbins JW, Scheuermann BW. Varying amounts of acute static stretching and its effect on vertical jump performance. J Strength Cond Res. 2008 May;22(3):781-6. PubMed PMID: 18438240.
54. Vetter RE. Effects of six warm-up protocols on sprint and jump performance. J Strength Cond Res. 2007 Aug;21(3):819-23. PubMed PMID: 17685698.
55. Magnusson S. Passive properties of human skeletal muscle during stretching maneuvers. Scand J Med Sci Sports. 1998;8:65-77.
56. Taylor DC, Dalton JD, Jr., Seaber AV, Garrett WE, Jr. Viscoelastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching. The American journal of sports medicine. 1990 May-Jun;18(3):300-9. PubMed PMID: 2372082.
57. Laporte Y, Lloyd DP. Nature and significance of the reflex connections established by large afferent fibers of muscular origin. The American journal of physiology. 1952 Jun;169(3):609-21. PubMed PMID: 14943853.
58. Hultborn H IM, Santini M. Convergence on interneurons mediating the reciprocal Ia inhibition of motor neurons. Acta Physiol Scand. 1976;96:368-91.
59. Peterson MD, B. A. Alvar, and M. A. Rhea. The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. J Strength Cond Res. 2006;20:867-73.
60. Safran MR, Seaber AV, Garrett WE, Jr. Warm-up and muscular injury prevention. An update. Sports Med. 1989 Oct;8(4):239-49. PubMed PMID: 2692118.
61. Fletcher IM, Jones B. The effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players. J Strength Cond Res. 2004 Nov;18(4):885-8. PubMed PMID: 15574098.

62. Pearce AJ, Kidgell DJ, Zois J, Carlson JS. Effects of secondary warm up following stretching. European journal of applied physiology. 2009 Jan;105(2):175-83. PubMed PMID: 18850108.

63. Unick J, Kieffer HS, Cheesman W, Feeney A. The acute effects of static and ballistic stretching on vertical jump performance in trained women. J Strength Cond Res. 2005 Feb;19(1):206-12. PubMed PMID: 15705036.

64. Behm DG, Bambury A, Cahill F, Power K. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. Med Sci Sports Exerc. 2004 Aug;36(8):1397-402. PubMed PMID: 15292749.

65. Faigenbaum AD, Bellucci M, Bernieri A, Bakker B, Hoorens K. Acute effects of different warm-up protocols on fitness performance in children. J Strength Cond Res. 2005 May;19(2):376-81. PubMed PMID: 15903378.

66. Rudolph K, Axe, MJ., Snyder-Mackler, L. Dynamic stability after ACL injury: who can hop? . Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000;8(5):262-9.

67. Podraza JT, White SC. Effect of knee flexion angle on ground reaction forces, knee moments and muscle co-contraction during an impact-like deceleration landing: implications for the non-contact mechanism of ACL injury. The Knee. 2010 Aug;17(4):291-5. PubMed PMID: 20303276.

68. Moss WR, Feland JB, Hunter I, Hopkins JT. Static stretching does not alter pre and post-landing muscle activation. Sports medicine, arthroscopy, rehabilitation, therapy & technology : SMARTT. 2011;3(1):9. PubMed PMID: 21569528. Pubmed Central PMCID: 3117746.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามคัดกรองผู้เข้าร่วมงานวิจัย

แบบสอบถามข้อมูลเพื่อการคัดกรองเบื้องต้น

กรุณาเติมข้อความลงในช่องว่าง หรือ ทำเครื่องหมาย ✓ ในวงเล็บหน้าคำตอบที่คุณเลือก

<u>ประวัติส่วนตัวและข้อมูลทั่วไป</u>

1. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
2. สัญชาติ ( ) ไทย ( ) อื่นๆ.....
3. อายุ ..... ปี
4. อาชีพ .....
5. หมายเลขโทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้.....
6. ท่านถนัดขาข้าง
   ( ) ซ้าย ( ) ขวา
7. ท่านมีภาวะหรือโรคต่อไปนี้หรือไม่ (**ตอบไม่มากกว่า 1 ข้อ**)
   ( ) มีอาการปวดเข่า หรือเคยได้รับการบาดเจ็บโดยตรงต่อเข่า
   ( ) มีอาการข้อเข่าเสื่อม
   ( ) เคยได้รับอุบัติเหตุรุนแรงต่อข้อเข่าโดยตรง
   ( ) มีประวัติการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อขาภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา
   ( ) เคยได้รับการบาดเจ็บในรยางค์ส่วนล่างมาก่อนทำการทดลอง 3 เดือน
   ( ) เคยได้รับการผ่าตัดบริเวณข้อเข่ามาก่อนทำการทดลอง
   ( ) มีภาวะความผิดปกติของขาแต่กำเนิด
   ( ) เคยเป็นโรคข้ออักเสบรูมาตอยด์
   ( ) เคยมีการติดเชื้อของข้อเข่ามาก่อน
   ( ) ขณะนี้มีอาการทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อของขาและเข่า
   ( ) ขณะนี้มีภาวะเนื้องอก โปรดระบุ.....
   ( ) ขณะนี้มีภาวะกระดูกพรุนหรือบาง
   ( ) ขณะนี้เป็นโรคที่ข้อเข่า ซึ่งได้รับการวินิจฉัยยืนยันจากแพทย์

ภาคผนวก ข

แบบยินยอมเพื่อเข้าร่วมการศึกษา

ชื่อและนามสกุล.....ลำดับที่.....

ชื่อโครงการ ผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า แรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำภายในข้อเข่าขณะลงสู่พื้น

ชื่อผู้วิจัย รองศาสตราจารย์นายแพทย์พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์, รองศาสตราจารย์นายแพทย์สมพล สงวนรังศิริกุล, นายกานต์ ทิพกร

เรียน ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทุกท่าน

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เนื่องจากท่านเป็น ชายไทยสุขภาพดี อายุ 18-35 ปี ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการศึกษาวิจัยดังกล่าว ขอให้ท่านอ่านเอกสารฉบับนี้อย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ท่านได้ทราบถึงเหตุผลและรายละเอียดของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เพิ่มเติม กรุณาซักถามจากทีมงานของแพทย์ผู้ทำวิจัย หรือแพทย์ผู้ร่วมทำวิจัยซึ่งจะเป็นผู้สามารถตอบคำถามและให้ความกระจ่างแก่ท่านได้

ท่านสามารถขอคำแนะนำในการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จากครอบครัว เพื่อน หรือแพทย์ประจำตัวของท่านได้ ท่านมีเวลาอย่างเพียงพอในการตัดสินใจโดยอิสระ ถ้าท่านตัดสินใจแล้วว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ขอให้ท่านลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของโครงการวิจัยนี้

<u>เหตุผลความเป็นมา</u>

การยืดกล้ามเนื้อในปัจจุบันเป็นที่นิยมแพร่หลายมากในคนทั่วไปที่ออกกำลังกาย เล่นกีฬาหรือแม้แต่นักกีฬา แต่การยืดกล้ามเนื้อนั้นมีหลากหลายรูปแบบซึ่ง ในหลายงานวิจัยให้ผลที่แตกต่างกันอาจส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บได้ถ้าเลือกใช้ไม่ถูกต้อง ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาการยืดกล้ามแบบคงค้าง (Static stretching) และ การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว(Dynamic stretching) โดยดูผลต่อแรงกระทำภายข้อเข่า เพื่อบอกถึงปัจจัยเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของข้อเข่า

<u>วัตถุประสงค์ของการศึกษา</u>

วัตถุประสงค์หลักจากการศึกษาในครั้งนี้คือ เพื่อศึกษาผลของแรงกระทำต่อพื้น (ground reaction force) และ แรงกระทำภายในข้อเข่า (joint reaction force) ขณะลงสู่พื้นโดยวิธีใช้ขาข้างเดียว (single leg landing) ทั้งก่อน-หลังทันทีและที่เวลา 30,60 นาทีหลังการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหว จำนวนผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย คือ 40 คน

<u>วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย</u>

หลังจากท่านให้ความยินยอมที่จะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะขอตรวจประวัติเบื้องต้นโดยการให้ท่านตอบแบบสอบถามที่ผู้วิจัยได้จัดเตรียมไว้ โดยจะเป็นคำถามข้อมูลส่วนตัว เช่น อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก โรคประจำตัว ประวัติการบาดเจ็บบริเวณข้อเข่าหรือขา ประวัติการรับการผ่าตัดบริเวณข้อเข่า

และอาการทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อขาและเข่า เพื่อคัดกรองว่าท่านมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะเข้าร่วมในการวิจัย

หากท่านมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้า ท่านจะได้รับเชิญให้มาพบแพทย์ตามวันเวลาที่ผู้ทำวิจัยนัดหมาย คือ ตามวันและเวลาที่ท่านสะดวก เพื่อตรวจความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และเข้ารับการทดสอบการลงสู่พื้นโดยวิธีขาข้างเดียว(single leg landing) เพื่อวัดค่าแรงกระทำต่อพื้น (ground reaction force) และ แรงกระทำภายในข้อเข่า (joint reaction force)โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนทำการยืดกล้ามเนื้อทั้งหมด 2 รูปแบบคือ ยืดแบบคงค้าง(Static stretching) และ การยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว(Dynamic stretching) ซึ่งระยะเวลาพักคือ 1 วัน โดยตลอดระยะเวลาที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัย คือ 3 ชั่วโมง และมาพบผู้วิจัยหรือผู้ร่วมทำวิจัยทั้งสิ้น 2 ครั้ง

<u>ความรับผิดชอบของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย</u>

เพื่อให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ ผู้ทำวิจัยใคร่ขอความความร่วมมือจากท่าน โดยจะขอให้ท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัยอย่างเคร่งครัด รวมทั้งแจ้งอาการผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับท่านระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัยให้ผู้ทำวิจัยได้รับทราบ

<u>ความเสี่ยงที่อาจได้รับ</u>

ความเสี่ยงที่อาจเกิดในการวิจัยคือ การทดสอบโดยการลงสู่พื้นด้วยขาข้างเดียวอาจทำให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยบางท่านรักษาสมดุลขณะลงไม่ได้เกิดผลเสียต่อร่างกาย อาจเกิดการล้มหรือข้อเท้าพลิกได้ และในผู้ที่ไม่สามารถรักษาสมดุลของร่างกายได้อาจเสียเวลาในการทดสอบนานขึ้นได้ และการทดสอบจะต้องมีการทำความสะอาดผิวหนังในบริเวณที่ติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้แอลกอฮอล์ผู้ที่ผิวบอบบางหรือแพ้ แอลกอฮอล์อาจเกิดการระคายเคืองผิวได้

กรุณาแจ้งผู้ทำวิจัยในกรณีที่พบอาการดังกล่าวข้างต้น หรืออาการอื่น ๆ ที่พบร่วมด้วย ระหว่างที่อยู่ในโครงการวิจัย ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสุขภาพของท่าน ขอให้ท่านรายงานให้ผู้ทำวิจัยทราบโดยเร็ว

<u>ความเสี่ยงที่ไม่ทราบแน่นอน</u>

ท่านอาจเกิดอาการข้างเคียง หรือความไม่สบาย นอกเหนือจากที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้ ซึ่งอาการข้างเคียงเหล่านี้เป็นอาการที่ไม่เคยพบมาก่อน เพื่อความปลอดภัยของท่าน ควรแจ้งผู้ทำวิจัยให้ทราบทันทีเมื่อเกิดความผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น

หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจได้รับจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านสามารถสอบถามจากผู้ทำวิจัยได้ตลอดเวลา

หากมีการค้นพบข้อมูลใหม่ ๆ ที่อาจมีผลต่อความปลอดภัยของท่านในระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัย ผู้ทำวิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบทันที เพื่อให้ท่านตัดสินใจว่าจะอยู่ในโครงการวิจัยต่อไปหรือจะขอถอนตัวออกจากการวิจัย

<u>การพบแพทย์นอกตารางนัดหมายในกรณีที่เกิดอาการข้างเคียง</u>

หากมีอาการข้างเคียงใด ๆ เกิดขึ้นกับท่าน ขอให้ท่านรีบมาพบแพทย์ที่สถานพยาบาลทันที ถึงแม้ว่าจะอยู่นอกตารางการนัดหมาย เพื่อแพทย์จะได้ประเมินอาการข้างเคียงของท่าน และให้การรักษาที่เหมาะสมทันที หากอาการดังกล่าวเป็นผลจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะไม่เสียค่าใช้จ่าย

<u>ประโยชน์ที่อาจได้รับ</u>

ท่านจะไม่ได้รับประโยชน์ใดๆจากการเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ แต่ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นองค์ความรู้เกี่ยวกับรูปแบบการยืดกล้ามเนื้อที่มีผลต่อสมดุลของร่างกายขณะเคลื่อนไหว ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึง

ความเสี่ยงที่อาจเกิดการบาดเจ็บของข้อเข่าได้ และได้นำความรู้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการเลือกรูปแบบการยืดกล้ามเนื้อที่เหมาะสมต่อไป

ข้อปฏิบัติของท่านขณะที่ร่วมในโครงการวิจัย

ขอให้ท่านปฏิบัติดังนี้

- ขอให้ท่านให้ข้อมูลทางการแพทย์ของท่านทั้งในอดีต และปัจจุบัน แก่ผู้ทำวิจัยด้วยความสัตย์จริง
- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างที่ท่านร่วมในโครงการวิจัย

อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัยและความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัย

หากพบอันตรายที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ท่านจะได้รับการรักษาอย่างเหมาะสมทันที และท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของทีมผู้ทำวิจัยแล้ว ผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัยยินดีจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของท่าน และการลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี

ในกรณีที่ท่านได้รับอันตรายใด ๆ หรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ท่านสามารถ

ติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ นายกานต์ ทิพกร ได้ตลอด 24 ชั่วโมง

ค่าใช้จ่ายของท่านในการเข้าร่วมการวิจัย

ค่าธรรมเนียมทางการแพทย์ และ ค่าวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ผู้สนับสนุนการวิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบทั้งหมด รวมทั้งค่าเดินทางตามความถี่ที่ท่านได้มาพบแพทย์

ค่าตอบแทนสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี)

ท่านจะไม่ได้รับเงินค่าตอบแทนจากการเข้าร่วมในการวิจัย แต่ท่านจะได้รับค่าเดินทางและเงินชดเชยการสูญเสียรายได้ หรือความไม่สะดวก ไม่สบาย ในการมาพบแพทย์ทุกครั้ง ครั้งละ 250 บาท รวมทั้งหมด 2 ครั้ง

การเข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมโครงการวิจัย

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจ หากท่านไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการศึกษาแล้ว ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา การขอถอนตัวออกจากโครงการวิจัยจะไม่มีผลต่อการดูแลรักษาโรคของท่านแต่อย่างใด

ผู้ทำวิจัยอาจถอนท่านออกจากการเข้าร่วมการวิจัย เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัยของท่าน หรือเมื่อผู้สนับสนุนการวิจัยยุติการดำเนินงานวิจัย หรือ ในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่านไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย

การปกป้องรักษาข้อมูลความลับของอาสาสมัคร

ข้อมูลที่อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่ผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำโครงการวิจัยของท่าน

จากการลงนามยินยอมของท่านผู้ทำวิจัย และผู้สนับสนุนการวิจัยสามารถเข้าไปตรวจสอบบันทึกข้อมูลทางการแพทย์ของท่านได้แม้จะสิ้นสุดโครงการวิจัยแล้วก็ตาม หากท่านต้องการยกเลิกการให้สิทธิ์

ดังกล่าว ท่านสามารถแจ้ง หรือเขียนบันทึกขอยกเลิกการให้คำยินยอม โดยส่งไปที่ บ้านเลขที่ 199/122 หมู่ 7 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

หากท่านขอยกเลิกการให้คำยินยอมหลังจากที่ท่านได้เข้าร่วมโครงการวิจัยแล้ว ข้อมูลส่วนตัวของท่านจะไม่ถูกบันทึกเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามข้อมูลอื่น ๆ ของท่านอาจถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลการวิจัย และท่านจะไม่สามารถกลับมาเข้าร่วมในโครงการนี้ได้อีก ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลของท่านที่จำเป็นสำหรับใช้เพื่อการวิจัยไม่ได้ถูกบันทึก

จากการลงนามยินยอมของท่านแพทย์ผู้ทำวิจัยสามารถบอกรายละเอียดของท่านที่เกี่ยวกับการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ให้แก่แพทย์ผู้รักษาท่านได้

<u>สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย</u>

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิ์ดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับระเบียบวิธีการของการวิจัยทางการแพทย์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านอาจจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะได้รับการเปิดเผยถึงทางเลือกในการรักษาด้วยวิธีอื่น ยา หรืออุปกรณ์ซึ่งมีผลดีต่อท่านรวมทั้งประโยชน์และความเสี่ยงที่ท่านอาจได้รับ
6. ท่านจะได้รับทราบแนวทางในการรักษา ในกรณีที่พบโรคแทรกซ้อนภายหลังการเข้าร่วมในโครงการวิจัย
7. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
8. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการโดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น
9. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่
10. ท่านมีสิทธิ์ในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้ โดยปราศจากการใช้อิทธิพลบังคับข่มขู่ หรือการหลอกลวง

หากท่านไม่ได้รับการชดเชยอันควรต่อการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นโดยตรงจากการวิจัย หรือท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามที่ปรากฏในเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในการวิจัย ท่านสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตึกอานันทมหิดลชั้น 3 โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ถนนพระราม 4 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 0-2256-4455 ต่อ 14, 15 ในเวลาราชการ

ขอขอบคุณในการร่วมมือของท่านมา ณ ที่นี้

.....

ภาคผนวก ค

เอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลของการยืดกล้ามเนื้อแบบคงค้างและแบบเคลื่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อรอบข้อเข่า แรงกระทำต่อพื้นและแรงกระทำภายในข้อเข่าขณะลงสู่พื้น

วันให้คำยินยอม วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า นาย.....ที่อยู่ .....ได้อ่านรายละเอียดจากเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยวิจัยที่แนบมาฉบับวันที่..... และข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยโดยสมัครใจ

ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยที่ข้าพเจ้าได้ลงนาม และ วันที่ พร้อมด้วยเอกสารข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ทั้งนี้ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระยะเวลาของการทำวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย หรือจากยาที่ใช้ รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย และแนวทางรักษาโดยวิธีอื่นอย่างละเอียด ข้าพเจ้ามีเวลาและโอกาสเพียงพอในการซักถามข้อสงสัยจนมีความเข้าใจอย่างดีแล้ว โดยผู้วิจัยได้ตอบคำถามต่าง ๆ ด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้ารับทราบจากผู้วิจัยว่าหากเกิดอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกเข้าร่วมในโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคหรือสิทธิอื่น ๆ ที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะเมื่อได้รับการยินยอมจากข้าพเจ้าเท่านั้น คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนอาจได้รับอนุญาตให้เข้ามาตรวจและประมวลข้อมูลของข้าพเจ้า ทั้งนี้จะต้องกระทำไปเพื่อวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเท่านั้น โดยการตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษานี้ข้าพเจ้าได้ให้คำยินยอมที่จะให้มีการตรวจสอบข้อมูลประวัติทางการแพทย์ของข้าพเจ้าได้

ผู้วิจัยรับรองว่าจะไม่มีการเก็บข้อมูลใด ๆ เพิ่มเติม หลังจากที่ข้าพเจ้าขอยกเลิกการเข้าร่วมโครงการวิจัย และต้องการให้ทำลายเอกสารและ/หรือ ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมดที่สามารถสืบค้นถึงตัวข้าพเจ้าได้

ข้าพเจ้าเข้าใจว่า ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าและสามารถยกเลิกการให้สิทธิในการใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าได้ โดยต้องแจ้งให้ผู้วิจัยรับทราบ

ข้าพเจ้าได้ตระหนักว่าข้อมูลในการวิจัยรวมถึงข้อมูลทางการแพทย์ของข้าพเจ้าที่ไม่มีการเปิดเผยชื่อ จะผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลในแบบบันทึกและในคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการรายงานข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการ รวมทั้งการใช้ข้อมูลทางการแพทย์ในอนาคต เท่านั้น ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการแล้ว ยินดีเข้าร่วมในการวิจัยด้วยความเต็มใจ จึงได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมนี้

.....ลงนามผู้ให้ความยินยอม

(.....) ชื่อผู้ยินยอมตัวบรรจง

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้าได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการไม่พึงประสงค์หรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด ให้ผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยตามนามข้างต้นได้ทราบและมีความเข้าใจดีแล้ว พร้อมลงนามลงในเอกสารแสดงความยินยอมด้วยความเต็มใจ

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

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

แบบบันทึกผลการวิจัย

1. Body weight
   - น้ำหนัก ..... กิโลกรัม
2. Height
   - ส่วนสูง ..... เซนติเมตร
3. ดัชนีมวลกาย (Body mass index : BMI)
   - ค่าดัชนีมวลกาย ..... กิโลกรัม/เมตร^2

4. ความหนาของชั้นไขมันใต้ผิวหนัง

Skinfold : muscle	ครั้งที่		เฉลี่ย (mm)
	1	2	
1. Vastus medialis			
2. Vastus lateralis			
3. Semitendinosus(medial hamstring)			
4. Biceps femoris (lateral hamstring)			
5. Medial gastrocnemius			
6. Lateral gastrocnemius			

5. Maximum voluntary isometric contraction

ครั้งที่	Muscle activity (μv)											
	VMO		VL		ST		BF		MG		LG	
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST
1												
2												
3												
Peak												
% change												

6. Ground reaction force (GRF)

Type	Static stretch		Dynamic stretch	
	pre	post	pre	post
1				
2				
3				
Mean				
SD				

7. Joint reaction force (JRC)

Type	Static stretch		Dynamic stretch	
	pre	post	pre	post
1				
2				
3				
Mean				
SD				

หมายเหตุ

.....

.....

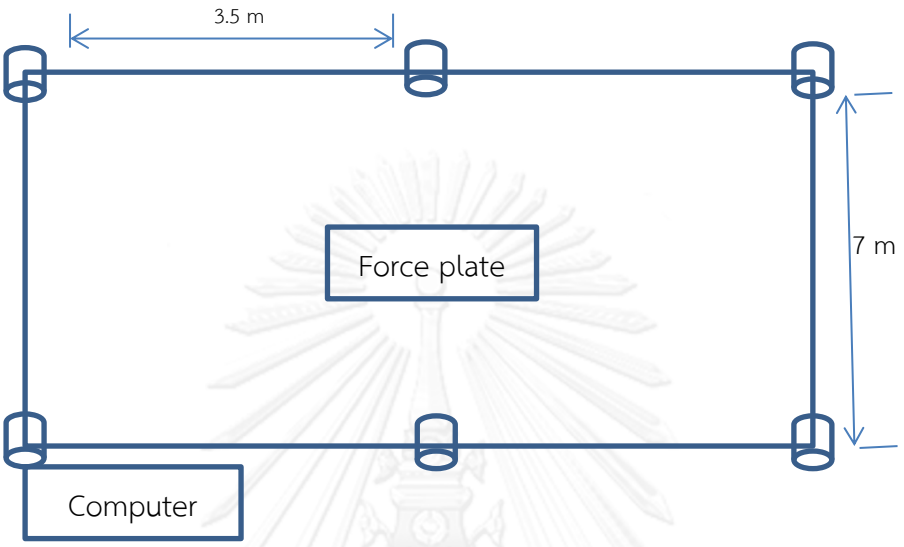
.....

.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการสำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของรยางค์ขา



แผนภาพจำลองตำแหน่งกล้องในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ปฏิบัติในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยกอบด้วย

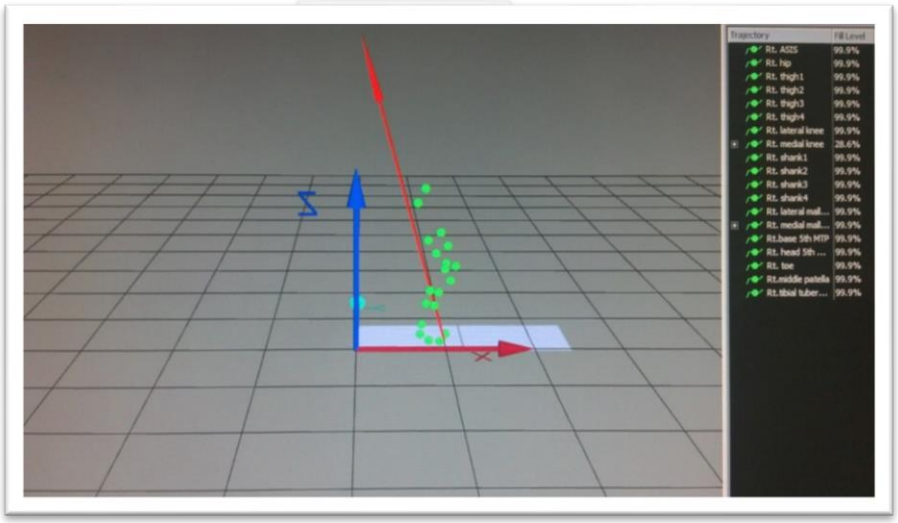
1. ชุดกล้องอินฟราเรดความเร็วสูงจำนวน 6 ตัว (Qualisys Camera Oqus 500 รุ่น 5-series) ตั้งสูงจากพื้นประมาณ 2.5 เมตร

2. แผ่นวัดแรงกด (Bertec force Plate รุ่น FP 4060-08)

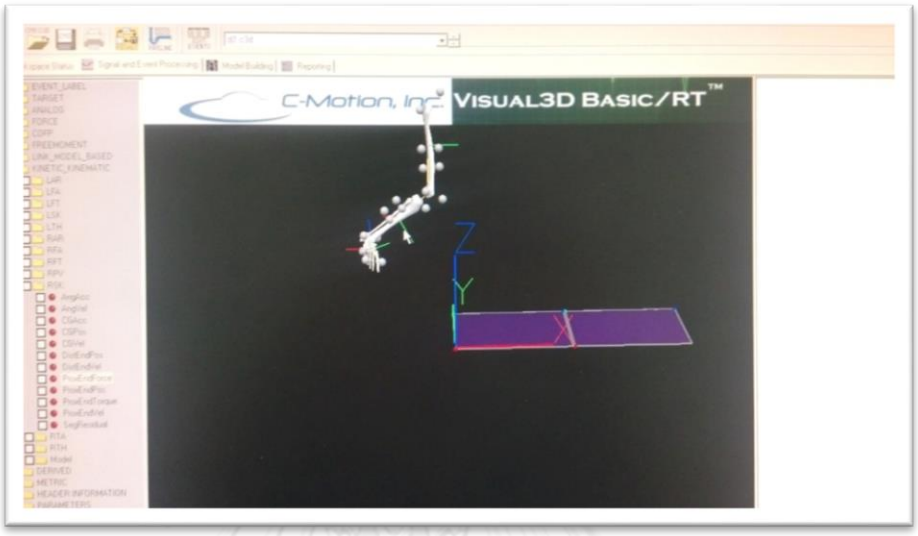
<u>การ calibration</u>

- ทำการ calibration ภายใต้โปรแกรม QTM (Qualisys Track Manager เวอร์ชั่น 2.7)
- Calibration type :wand calibration
- Calibration kit ประกอบด้วย wand kit ยาว 750 มิลลิเมตร และด้ามจับยาว 750.3 มิลลิเมตร

การวิเคราะห์ข้อมูลทางจลนศาสตร์ (kinematic) สามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยกล้องอินฟราเรดความเร็วสูง และ marker สะท้อนแสง ที่บันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม Qualisys Track Manager ดังรูป



หลังจาการบันทึกด้วยโปรแกรม Qualisys Track Manager เวอร์ชั่น 2.7 (build 783) จะได้ข้อมูลของตำแหน่ง marker สะท้อนแสง ซึ่งจะต้องได้รับการระบุตำแหน่งของ marker สะท้อนแสง เพื่อการนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติ Visual3D Basic v3.99.25.6 สำหรับการวิเคราะห์ช่วงการเคลื่อนไหว และข้อมูลทางจลนศาสตร์ต่อไป ดังรูป



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

วิธีการคำนวณค่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ

ในการศึกษาครั้งนี้ จากการทดสอบค่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อโดยใช้ surface EMG จะสามารถบันทึกผลของค่าสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในรูปแบบของ raw EMG ซึ่งยังไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ข้อมูลได้เนื่องจากค่า raw EMG จะแสดงสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่รวมเข้ากับสัญญาณรบกวนต่าง (noise) จึงนำไปสู่กระบวนการในการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเพื่อจะสามารแสดงข้อมูลที่แท้จริงได้มากที่สุด กระบวนการโดยทั่วไปของการวิเคราะห์ค่า raw EMG มีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการทำให้เป็นค่าที่ถูกต้อง (full-wave rectification) ในบางครั้งอาจเรียกว่าการหาค่าสัมบูรณ์

2. การขจัดข้อมูลให้ราบรื่น (smoothing) คือการกรองข้อมูลด้วยความถี่ของคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่ต่ำกว่าเพื่อลดสัญญาณไฟฟ้าที่สูงเกินไป โดยทั่วไปการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อมักใช้วิธี Butterworth low-pass filtering ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$X'(nT) = a_0X(nT) + a_1X(nT-T)+a_2X(nT-2T) +b_1X'(nT-T) +b_2X'(nT-2T)$$

กำหนดให้ X' = ข้อมูลที่ได้รับการ filter แล้ว

X = ข้อมูลที่ยังไม่ได้ filter

nT = ข้อมูลที่ n

(nT-T) = ข้อมูลที่ (n-1)

(nT-2T) = ข้อมูลที่ (n-2)

a_0,.....,b_0,.... = เลขสัมประสิทธิ์ของการทำ filter

เลขสัมประสิทธิ์ของการทำ filter คำนวณได้จากสมการ

$w_c = [\tan(\pi f_c/f_s)]/C$; f_c คือความถี่ที่ต้องการในการ filter, f_s คือความถี่ที่ใช้ในการบันทึก EMG

กำหนดให้ C คือตัวเลขแสดงถึงปัจจัยของการเคลื่อนที่ที่ต้องการเช่น single pass filter C = 1

สำหรับ Butterworth filter ค่า $C = (2^{1/n}-1)^{0.25}$ โดยสำหรับ dual pass ค่า C = 0.802

$K = \sqrt{2Wc}$ สำหรับ Butterworth filter

$K_2 = w_c^2$, $a_0 = K_2/(1 +K_1 +K_2)$, $a_1 = 2a_0$, $a_2 = a_0$

$K_3 = 2a_0/K_2$, $b_1 = -2a_0 + K_3$

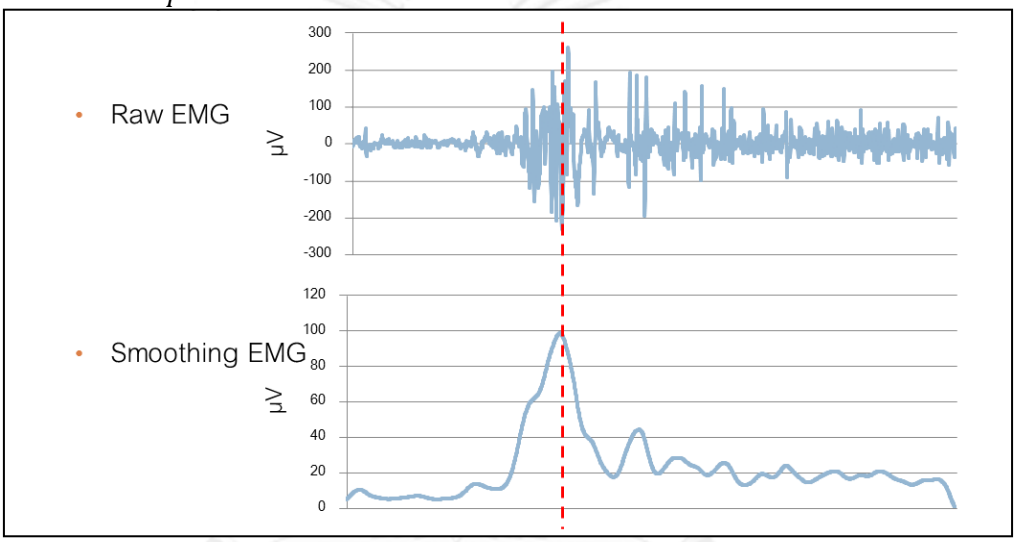
$b_2 = 1-2a_0 -K_3$

3. Integration EMG มักใช้สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อที่สัมพันธ์กันกับแรงที่เกิดขึ้นของกล้ามเนื้อ โดยคำนวณจากกระบวนการ full-wave rectification เพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟของ EMG ที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{IEMG} = \int_{T}^{1+T} |EMG(t)| * dt$$

4. RMS EMG มักใช้สำหรับการวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อที่สามารถทำได้ไปจนถึงความล้า โดยคำนวณจากค่า raw EMG ด้วยพื้นที่ใต้กราฟของการยกกำลังสองค่าเฉลี่ย EMG ในช่วงเวลาต่างๆ และทำการถอดด้วยรากที่สองในผลรวม สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{RMS} = \left(\int_{T}^{1+T} EMG^2(t) * dt\right)^{1/2}$$



ภาพแสดงการเปรียบเทียบ raw EMG และ Smoothing EMG

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกานต์ ทิพกร เกิดวันที่ 9 มกราคม พ.ศ.2531 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (กายภาพบำบัด) จากคณะสหเวชสาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ในปีการศึกษา 2552 ขณะทำการศึกษาปริญญามหาบัณฑิต ได้เข้าทำงานเป็นนักกายภาพบำบัดประจำทีม Intensive Care Unit Team (ICU Team) ที่โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University