ผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อต้นขาในชายสุขภาพดี

นางสาววิรัลย์พัช พินิจสถิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION WITH RESISTANCE TRAINING ON THE PERFORMANCE OF THE THIGH MUSCLES IN HEALTHY MALES

Miss Viranpatt Pinithsathil

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อต้นขาในชายสุขภาพดี
โดย	นางสาววิรัลย์พัช พินิจสถิล
สาขาวิชา	เวชศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชมพูนุท สุวรรณศรี

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ อดิศร ภัทราดูลย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชมพูนุท สุวรรณศรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. แพทย์หญิง อรอนงค์ กุละพัฒน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรธนะ ชลายนเดชะ)

วิรัลย์พัช พินิจสถิล : ผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อต้นขาในชายสุขภาพดี.
(EFFECTS OF NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION WITH RESISTANCE TRAINING ON THE PERFORMANCE OF THE THIGH MUSCLES IN HEALTHY MALES) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ชมพูนุท สุวรรณศรี, 93 หน้า.

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อการเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา

วิธีดำเนินการ: สุ่มอาสาสมัครจำนวน 52 คนออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้า(NMES), กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(RNMES), กลุ่มที่ได้รับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(R)และกลุ่มควบคุม(C) ในแต่ละกลุ่มจะทำการฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้งเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ที่ระดับความหนัก 60%ของแรงหดตัวสูงสุดที่กล้ามเนื้อสามารถทำได้ในขณะเกร็งค้างยกเว้นกลุ่มควบคุม เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้าง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออกที่ความเร็ว 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาทีภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มภายหลังการฝึก

ผลการศึกษา: ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาของอาสาสมัครภายหลังการฝึกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 กลุ่ม คือกลุ่ม NMES RNMES และกลุ่ม R โดยความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขณะเกร็งค้างและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาทีไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม แต่ที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีมีเพียงกลุ่ม RNMES เท่านั้นที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม ($p<0.05$)

สรุปผลการศึกษา: การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าสามารถใช้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านที่ระดับความหนัก 60%ของแรงหดตัวสูงสุดที่กล้ามเนื้อสามารถทำได้ในขณะเกร็งค้าง

สาขาวิชา เวชศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5074840430 : MAJOR SPORTS MEDICINE

KEYWORDS : NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION/ MUSCULAR STRENGTH/RESISTANCE TRAINING

VIRANPATT PINITHSATHIL: EFFECTS OF NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION WITH RESISTANCE TRAINING ON THE PERFORMANCE OF THE THIGH MUSCLES IN HEALTHY MALES. ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMPOL SA-NGUANRUNGSIRIKUL, M.D., M.Sc., CO-ADVISOR :ASST. PROF. CHOMPUNOOT SUWANASRI,B.Sc.,M.Sc.,93 pp.

Objective: To study the effect of neuromuscular electrical stimulation with resistance training on the performance of the thigh muscle.

Methods: Fifty-two healthy volunteers were randomized into one of 4 groups: neuromuscular electrical stimulation group(NMES) resistance exercise with neuromuscular electrical stimulation group(RNMES) resistance group(R) and control group(C). The training period was 3 times a week for 4 weeks at 60%MVIC in each group except control group. The maximum voluntary isometric contraction (MVIC) of the quadriceps,30 degrees/second eccentric/concentric isokinetic contraction of the quadriceps and 120 degrees/second eccentric/concentric isokinetic contraction of the quadriceps were compared within group and between group after training.

Results: The strengthening of volunteers' thigh muscles after training were significant increase in 3 groups; NMES, RNMES and R. There was no significant difference between groups in MVIC and 120 degrees/second isokinetic contractions. But only RNMES group was significant increase in 30 degrees/second isokinetic contractions between groups. ($p<0.05$).

Conclusion: Neuromuscular electrical stimulation can be applied to increase the capability of muscle performance efficiently same as resistance exercise especially if apply with resistance exercise training at 60%MVIC.

Field of Study : Sports Medicine Student's Signature Viranpatt Pinithsathil

Academic Year : 2010 Advisor's Signature Sompol Sa-nguanrungsirikul

Co-advisor's Signature Chompunoot Suwanasri

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รศ. นพ. สมพล สงวนรังศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ. ชมพูนุท สุวรรณศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ รศ.นพ.พงศักดิ์ ยุกตะนันทน์ ดร.พญ.อรอนงค์ กุละพัฒน์ และผศ. ดร. วรรธนะ ชลายนเดชะ คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำแก้ไข ปรับปรุง และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณโครงการทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ทำให้การทำวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณอาสาสมัครทุกคนที่สละเวลาเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณพี่น้อง นิสิตเวชศาสตร์การกีฬาทุกรุ่นทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา รับฟังปัญหา คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ ขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ตลอดมาจนทำให้วิทยานิพนธ์เรื่องนี้เสร็จสมบูรณ์

และขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในครอบครัว รวมถึงว่าที่สมาชิกในครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ให้กำลังใจและคอยผลักดันอย่างสม่ำเสมอตลอดมาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นมาได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
- คำถามการวิจัย..... 3
- วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3
- ขอบเขตของการวิจัย..... 4
- ข้อตกลงเบื้องต้น..... 5
- ข้อจำกัดของการวิจัย..... 5
- คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 5
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6
- ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย..... 7

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 8

- สมรรถภาพทางกาย..... 9
- การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ..... 10
- การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ..... 14
- การรักษาด้วยไฟฟ้า..... 15
- การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า..... 16
- ทฤษฎีการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยการกระตุ้นไฟฟ้า..... 17
- การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้า..... 19

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 23

- ประชากร..... 23
- เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 26

หน้า

- ข้นตอนการวิจัย.....29
- การเก็บรวบรวมข้อมูล.....40
- การวิเคราะห์ข้อมูล.. 41
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....49
- สรุปผลการวิจัย.....50
- อภิปรายผลการวิจัย.....52
- ข้อเสนอแนะ.....57
รายการอ้างอิง.....58
ภาคผนวก.....63
- ภาคผนวก ก.....64
- ภาคผนวก ข.....68
- ภาคผนวก ค.....69
- ภาคผนวก ง.....72
- ภาคผนวก จ.....75
- ภาคผนวก ฉ.....79
- ภาคผนวก ช.....87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงระดับความหนักของการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ.....13

4.1 แสดงข้อมูลทั่วไป อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง BMI และค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของอาสาสมัครแต่ละกลุ่มก่อนเข้ารับการฝึก(Mean ± SD).....43

4.2 แสดงค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อต้นขา ก่อนและหลังการฝึกพร้อมการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม(Mean ± SD).....45

4.3 แสดงความรู้สึกของอาสาสมัครในกลุ่ม NMES และ RNMES ขณะถูกกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าระหว่างสัปดาห์แรกและสัปดาห์สุดท้าย.....47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แสดงกรอบแนวความคิดในการวิจัย	4
3.1	แสดงเครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย	27
3.2	แสดงเครื่องออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านและเครื่องมือวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ	25
3.3	แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการวิจัย	26
3.4	แสดงจักรยานที่ใช้ในการอบอุ่นร่างกายก่อนการทดสอบ	26
3.5	แสดงวิธีดำเนินการวิจัย	30
3.6	แสดงการวัดค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งค้าง	32
3.7	แสดงการวัดค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า	34
3.8	แสดงจุด motor points ของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า	35
3.9	ตำแหน่งที่ใช้ติดขั้วกระตุ้นไฟฟ้า	36
3.10	แสดงการฝึกของกลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า	37
3.11	แสดงการฝึกของกลุ่มที่ได้รับแรงต้าน(R)	38
3.12	แสดงการฝึกของกลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน	39
4.1	แผนภูมิแสดงค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เปลี่ยนแปลงระหว่างก่อนและหลังการฝึกของแต่ละกลุ่มในรูปร้อยละ	47
5.1	แสดงความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นภายหลังเข้าร่วมโปรแกรมการฝึกเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับก่อนเข้ารับการฝึก	48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อของผู้ที่เล่นกีฬาหรือนักกีฬาเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้การเล่นกีฬาดำเนินต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการบาดเจ็บต่อโครงสร้างต่างๆหรือช่วยทำให้การบาดเจ็บที่เกิดขึ้นไม่รุนแรงนัก อันจะส่งผลถึงความสำเร็จในการแข่งขัน โปรแกรมการฝึกซ้อมมากมายถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มสมรรถภาพการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งในเรื่องของความแข็งแรงและความทนทาน (1,2,3)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ หมายถึงแรงที่มากที่สุดที่กล้ามเนื้อหรือกลุ่มของกล้ามเนื้อเป้าหมายสามารถสร้างได้ อุปกรณ์ที่ใช้วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้แก่ เครื่องวัดแรงบีบมือ เครื่องวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังและขาเป็นต้น โดยจะประเมินจากค่าของ 1 RM (REPETITION MAXIMUM) ซึ่งก็คือน้ำหนักมากที่สุดสามารถยกหรือเล่นอย่างสมบูรณ์ได้เพียง 1 ครั้ง ความทนทานของกล้ามเนื้อ หมายถึงจำนวนครั้งที่กล้ามเนื้อสามารถยกน้ำหนักซ้ำๆได้โดยไม่เกิดอาการเมื่อยล้า ซึ่งน้ำหนักในที่นี้จะคำนวณมาจากอัตราร้อยละของ 1RM(4) resistance training เป็นการฝึกเพื่อใช้เพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง ทั้งยังช่วยป้องกันหรือฟื้นฟูอาการบาดเจ็บที่เกิดขึ้น ทำให้ body composition เปลี่ยนแปลง ช่วยป้องกันหรือช่วยรักษาอาการของโรคกระดูกพรุน ช่วยเพิ่มความสามารถของนักกีฬา ช่วยบริหารจัดการความเครียด โดยโปรแกรมการฝึกจะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล เพศหรือช่วงอายุ(4,5)

ในปัจจุบันเริ่มมีการนำการกระตุ้นไฟฟ้าเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในโปรแกรมการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อสำหรับนักกีฬา นอกเหนือจากเพื่อฝึกการรับรู้ของข้อต่อและกล้ามเนื้อหรือเพื่อการฟื้นฟูภายหลังการบาดเจ็บ ลดความเจ็บปวดจากการบาดเจ็บต่างๆ แม้ว่าจะไม่เป็นที่แพร่หลายนัก การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในประเทศไทยถูกนำเข้ามาใช้ครั้งแรกในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2480-2490 ที่โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า เพื่อใช้ในการรักษาทางกายภาพบำบัด(6,7) ประวัติการรักษาด้วยไฟฟ้ามีรากฐานมาตั้งแต่สมัยกรีกประมาณ 46 ปีก่อนคริสต์กาล โดย Scribonius Largus แพทย์ชาวโรมันเพื่อรักษาโรคปวดศีรษะและโรคเก๊าต์(8) สมาคมกายภาพบำบัดแห่งสหรัฐอเมริกา(9) ได้แบ่งกลุ่มการกระตุ้นกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยงด้วยไฟฟ้าไว้เป็น 2 กลุ่มคือ neuromuscular electrical stimulation (NMES) และ functional electrical stimulation (FES) ในส่วนของ FES จะเน้นใช้ในการกระตุ้นกล้ามเนื้อ

ที่เป็นอัมพาตให้ร่างกายส่วนนั้นสามารถทำหน้าที่ได้ ลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ เร่งการฟื้นตัวของการเคลื่อนไหวที่อยู่ในอำนาจจิตใจ และใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือ (orthotic device) เพื่อส่งเสริมการทำหน้าที่ของกล้ามเนื้อที่เป็นอัมพาต สามารถใช้รักษาผู้ป่วยหลังคด หรือรักษาอาการกล้ามปัสสาวะไม่อยู่(10,11,12,13)

สำหรับ Neuromuscular electrical stimulation(NMES) เป็นเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่กระตุ้นเส้นประสาทของกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัว ใช้รักษาภาวะกล้ามเนื้อฝ่อลีบจากการไม่ได้ใช้งาน การเพิ่มหรือคงสภาพช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อ การเรียนรู้ใหม่และการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ การลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อในภาวะกล้ามเนื้อแข็งเกร็ง ใช้ทดแทน orthosis และใช้เพิ่มการระดมหน่วยยนต์ในกล้ามเนื้อปกติ เป็นต้น(9,10,11,14) ซึ่งมีทั้งกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์และกระแสสลับ ในปัจจุบัน NMES มีคลื่นหลายรูปแบบที่ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง 1. Russian current 2. rectangular, balanced, symmetric, biphasic pulse current และ 3.rectangular, balanced, asymmetric, biphasic pulse current แต่แบบที่นิยมใช้คือ asymmetrical biphasic square (rectangular) waveform และ symmetrical biphasic square (rectangular) waveform เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสเท่ากัน ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง(10,11)

แม้ว่าการกระตุ้นไฟฟ้าในระยะแรกจะถูกนำมาใช้ในทางคลินิกเพื่อรักษาอาการเกร็ง อาการปวดหรือบวมต่างๆ การสมานของเนื้อเยื่อหรือบาดแผล รวมถึงความบกพร่องทางการเคลื่อนไหวต่างๆที่เกิดกับคนไข้ ผู้ป่วยภายหลังเข้ารับการผ่าตัด ผู้พิการทางสมองหรือทุพพลภาพ แต่ในปัจจุบันการกระตุ้นไฟฟ้าถูกนำเข้ามาใช้ในคนปกติหรือในวงการกีฬามากขึ้น เพื่อประโยชน์ทั้งในด้านของลดบวม ควบคุมอาการเจ็บปวด และใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนอกเหนือจากที่เคยใช้เพื่อฟื้นฟูภายหลังการบาดเจ็บหรือการผ่าตัดเท่านั้น(15,16,17,18,19) แม้ว่าในส่วนของลักษณะคลื่นไฟฟ้า ระดับความถี่ ระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นไฟฟ้าจะแตกต่างกัน แต่งานวิจัยในเรื่องของการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในคนปกติโดยใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้ายังมีน้อยและส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทำกิจกรรมใดๆเลย ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาผลของการกระตุ้นไฟฟ้าต่อการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยพิจารณาถึงผลของการนำไปใช้ที่ระดับความหนักของการออกกำลังกายที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ทั้งผลจากการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวและผลที่ใช้การกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน ซึ่งผลของงานวิจัยที่ได้จะเป็นแนวทางในการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางกายและคุณภาพชีวิตของประชาชน สามารถช่วยลดการบาดเจ็บที่เกิดจากการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เกิดจากการใช้แรงต้านที่มากเกินความ

เหมาะสม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในนักกีฬาเพื่อประโยชน์ในการเพิ่มระดับความสามารถหรือสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในระยะเวลาอันสั้น สะดวกต่อการฝึกในที่ต่างๆได้เอง สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมการฝึกซ้อมปกติเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในวงการกีฬาหรือเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจทำการศึกษาต่อไปในอนาคต

คำถามการวิจัย (Research Question)

คำถามหลัก การฝึกโดยใช้การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านสามารถเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาในคนปกติได้มากกว่าการฝึกโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียวหรือไม่

คำถามรอง การฝึกโดยใช้การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าสามารถเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาในคนปกติได้หรือไม่

การฝึกโดยใช้การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าสามารถเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาได้แตกต่างจากการฝึกโดยใช้แรงต้านที่ระดับความหนักเดียวกันหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อการเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา

วัตถุประสงค์ย่อย

เพื่อศึกษาผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในการเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา

เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาระหว่างการฝึกโดยใช้แรงต้านกับการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า

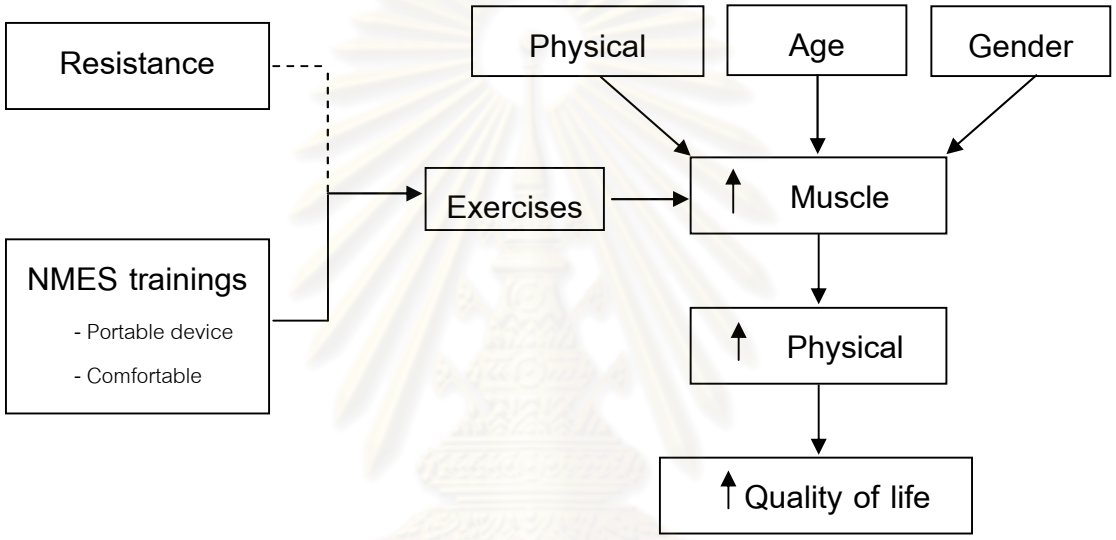
เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาระหว่างการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านกับการฝึกโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียว

สมมติฐาน

การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านสามารถเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้มากกว่าการฝึกโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียว

การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ามีผลในการเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ใกล้เคียงการฝึกโดยใช้แรงต้านที่ระดับความหนักเดียวกัน

กรอบแนวความคิดในการวิจัย



รูปที่ 1.1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในมนุษย์ เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า การออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน และการออกกำลังกายโดยใช้เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านที่มีต่อศักยภาพของกล้ามเนื้อทั้งในด้านของความแข็งแรงและความทนทานในอาสาสมัครเพศชาย สุขภาพดีอายุระหว่าง 18-25 ปี ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้าและสามารถเข้าร่วมงานวิจัยได้อย่างต่อเนื่อง

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนจะได้รับคำชี้แจงโดยละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัยชิ้นนี้ก่อนการลงนามยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย
2. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนมีสิทธิ์ในการตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยได้โดยอิสระ และสามารถขอถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกเมือ ไม่ว่าด้วยเหตุผลใดๆ ก็ตาม
3. อุปกรณ์ต่างๆรวมถึงวิธีการทดสอบต่างๆที่ใช้ในการวิจัย จะถูกตรวจสอบและฝึกฝนเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง แม่นยำ และไม่เป็นอันตรายแก่ผู้เข้าร่วมงานวิจัย
4. การวิจัยจะต้องไม่ทำให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยได้รับบาดเจ็บ หากรู้สึกว่ามีความผิดปกติของร่างกายหรืออวัยวะส่วนหนึ่งส่วนใดอันเกิดจากการเข้าร่วมการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสิทธิ์ขอถอนตัวได้ทันที
5. ข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนจะเป็นความลับ แต่ข้อมูลอาจถูกเปิดเผยต่อสาธารณะ เพื่อประโยชน์ทางวิชาการ โดยไม่ระบุชื่อของผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้ต้องอาศัยความร่วมมือจากชายสุขภาพดีอายุ 18-25 ปีที่อาสาสมัครเข้าร่วมวิจัยและผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าศึกษา
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยส่วนใหญ่ในช่วงอายุที่ใช้ในการวิจัยมักอยู่ในวัยเรียนหรือวัยทำงาน
3. ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมระดับกิจกรรมในชีวิตประจำวันของผู้เข้าร่วมวิจัยในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบให้เท่ากันหมดทุกคนได้

คำสำคัญ

Neuromuscular electrical stimulation, Muscular strength, Resistance training

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Neuromuscular electrical stimulation หมายถึง การใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าไปกระตุ้นเส้นประสาทของกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัว

Muscular strength หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อในการออกแรงที่มากที่สุด

Resistance training หมายถึง การฝึกกล้ามเนื้อโดยใช้น้ำหนักหรือแรงใดๆจากภายนอกเพื่อต้านต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวย่อที่ใช้ในงานวิจัย

MVIC	หมายถึง	Maximum Voluntary Isometric Contraction
Con	หมายถึง	Concentric contraction
Ecc	หมายถึง	Eccentric contraction
C	หมายถึง	Control
NMES	หมายถึง	Neuromuscular Electrical Stimulation
RNMES	หมายถึง	Neuromuscular Electrical Stimulation with resistance
R	หมายถึง	Resistance
Quad.	หมายถึง	Quadriceps muscle
Ham.	หมายถึง	Hamstrings muscle

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงผลของการใช้การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านในการเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การฝึกแบบใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียวและการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ที่ระดับความหนักของการออกกำลังกายที่ใกล้เคียงกัน
2. เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าในโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มกำลังกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ทำให้การฝึกความแข็งแรงหรือคงสภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทำได้ง่ายขึ้นและสะดวกขึ้น
4. ช่วยลดการบาดเจ็บที่เกิดจากการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยใช้แรงต้านที่มากเกินไป
5. เป็นข้อมูลในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในมนุษย์(Human experimental study) เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านเทียบกับการฝึกแบบใช้แรงต้านอย่างเดียวและการฝึกแบบใช้การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยจะวัดค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าแบบ isometric contraction ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทีมีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออกทีความเร็ว 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก่อนและหลังการฝึกภายในกลุ่มเดียวกันและระหว่างกลุ่ม โดยแบ่งการวิจัยออกเป็นสามช่วงคือ ช่วงทดสอบเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการวิจัย ช่วงเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ และช่วงวิเคราะห์ข้อมูล

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1. นำเสนอข้อมูลคุณลักษณะของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมงานวิจัย(อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าดรรชนีมวลกาย ค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่า แบบ isometric contraction และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทีมีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้น และแบบยืดยาวออก (concentric/eccentric isokinetic contraction) ทีความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาทีก่อนเข้าโปรแกรมการฝึก จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยแสดงในรูปของค่าเฉลียและส่วนเบียงเบนมาตรฐาน โดยทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk Test
2. นำเสนอข้อมูลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อ ระหว่างก่อนและภายหลังเข้าโปรแกรมการฝึก ภายในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้ paired samples t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า 0.05 ($p<0.05$)
3. นำเสนอข้อมูลการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการทดสอบความแข็งแรงก่อนและหลังการฝึก และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลียระหว่างกลุ่มโดยใช้ Univariate ANOVA : Multiple Comparisons with Bonferroni ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า 0.05 ($p<0.05$)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมรรถภาพทางกายที่ดีย่อมส่งผลให้การประกอบภารกิจต่างๆในชีวิตประจำวันสำเร็จได้ด้วยดีและมีประสิทธิภาพ โดยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ(muscular strength) และความทนทานของกล้ามเนื้อ(muscular endurance) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสมรรถภาพร่างกายนอกเหนือจาก cardiorespiratory endurance, body weight and body composition, flexibility(4,5), muscle power, neuromuscular coordination(2), agility, และ body balance (1) การออกกำลังกายเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอก็สามารถช่วยเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายได้ไม่ว่าจะเป็น isometric exercise, isotonic exercise, isokinetic exercise, aerobic exercise หรือแม้แต่ anaerobic exercise ซึ่งหลักของการฝึกเพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางกายส่วนใหญ่จะคำนึงถึงความถี่ของการฝึกความเข้มของการฝึก ระยะเวลาของการฝึก และประเภทของการออกกำลังกายเป็นสำคัญ เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าการฝึกโดยใช้น้ำหนัก(weight training) หรือการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน(resistance exercise training) สามารถช่วยเพิ่มทั้งความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งการออกกำลังกายหรือการฝึกประเภทนี้ก็เป็นที่นิยมมาโดยตลอด (1,2,4,20) แต่ในขณะเดียวกันในปัจจุบันก็ได้มีการนำเอาการกระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาทด้วยไฟฟ้ามาใช้เพื่อหวังผลในเรื่องของการเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อด้วยเช่นกัน โดยกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าจะไปกระตุ้นกล้ามเนื้อทำให้เกิดการหดตัวแบบเกร็งค้างคล้ายกับการหดตัวของกล้ามเนื้อตามธรรมชาติเพื่อหวังผลในด้านเพิ่มสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในคนปกติหรือในนักกีฬา(9,11,21)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมรรถภาพทางกาย(1,2,20)

สมรรถภาพทางกาย (Physical fitness) หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการประกอบภารกิจต่างๆหรือกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันติดต่อกันเป็นเวลานานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เหนื่อยเร็ว ซึ่งมีองค์ประกอบหลักๆดังนี้

1. *cardiorespiratory endurance*

   ความสามารถของหัวใจ ปอดและระบบไหลเวียนโลหิตในการทำงานร่วมกันเพื่อส่งออกซิเจนและสารอาหารไปยังกล้ามเนื้อเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. *musculoskeletal fitness*

   คือความสามารถของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในการทำงานร่วมกัน เช่นกิจวัตรประจำวันต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในที่นี้จะหมายรวมถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความทนทานของกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของกระดูกรวมอยู่ด้วย

3. *body weight and body composition*

   คือน้ำหนัก ขนาดขององค์ประกอบอื่นๆในร่างกาย เช่นน้ำหนักตัว รวมถึงน้ำหนักกระดูก กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อไขมัน ซึ่งโปรแกรมการออกกำลังกายแบบ aerobic และ resistance training มีผลอย่างมากในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและองค์ประกอบต่างๆของร่างกาย

4. *flexibility*

   คือความสามารถของข้อต่อหรืออนุกรมของข้อต่อที่สามารถเคลื่อนไหวได้ตลอดช่วงของมุมองศาการเคลื่อนไหว ซึ่งจะรวมถึงความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และเนื้อเยื่อต่างๆ

5. *neuromuscular relaxation*

   คือความสามารถในการลดหรือกำจัดความตึงตัวของกล้ามเนื้อหรือการเกร็งของกล้ามเนื้อที่ไม่จำเป็นออกไป อาจหมายถึงความสามารถในการทำงานร่วมกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ(1,2,22,23)

การออกกำลังกายนอกจากจะช่วยส่งเสริมสมรรถภาพทางกายแล้ว ยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและเพิ่มความแข็งแรงของกระดูกได้อีกด้วย ร่วมถึงช่วยป้องกันและฟื้นฟูการบาดเจ็บ ทำให้ body composition เปลี่ยนแปลง รูปร่างดีขึ้น หัวใจ ปอด และหลอดเลือดทำงานได้ดีขึ้น ชะลอการเสื่อมของอวัยวะต่างๆ ช่วยบริหารจัดการความเครียด โดยรวมแล้วคือการออกกำลังกายทำให้สุขภาพทั้งทางร่างกายและจิตใจดีขึ้น

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ(muscular strength) หมายถึงความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มของกล้ามเนื้อเป้าหมายในการออกแรงที่มากที่สุด(force) ความทนทานของกล้ามเนื้อ (muscular endurance) หมายถึงความสามารถของกล้ามเนื้อในการหดตัวทำงานซ้ำๆเป็นระยะเวลานานๆโดยไม่เกิดอาการเมื่อยล้า

ประเภทของการออกกำลังกาย แบ่งตามการทำงานของกล้ามเนื้อได้ดังนี้(1,2,23)

1. *การออกกำลังแบบ isometric* คือ การออกกำลังกายโดยที่กล้ามเนื้อหดตัวแต่ความความยาวของกล้ามเนื้อเท่าเดิมหรือหมายถึงการเกร็งกล้ามเนื้ออยู่กับที่โดยไม่มีการเคลื่อนไหว อาจมีแรงต้านจากภายนอกมากระทำหรือไม่มีก็ได้ มักใช้เป็นการฝึกเพื่อรักษาสุขภาพ การคงสภาพความแข็งแรงและการฟื้นฟูสมรรถภาพหลังได้รับการบาดเจ็บ
2. *การออกกำลังกายแบบ isotonic* คือการออกกำลังกายโดยที่กล้ามเนื้อหดตัวและความยาวของกล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลง อาจมีแรงต้านทานภายนอกมากระทำ โดยหากกล้ามเนื้อมีการหดตัวแล้วความยาวของกล้ามเนื้อสั้นลงจะเรียกว่า concentric เช่นการยกของ และหากกล้ามเนื้อมีการหดตัวแต่ความยาวของกล้ามเนื้อยืดยาวออกจะเรียกว่า eccentric เช่นการวางของ ซึ่งการหดตัวประเภทนี้จะเกิดความตึงตัวของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นมากที่สุดทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อได้ง่ายที่สุดเช่นกัน ทั้งการออกกำลังกายกล้ามเนื้อแบบ concentric และ eccentric นิยมใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นหลัก

3. *การออกกำลังกายแบบ isokinetic* คือ การออกกำลังกล้ามเนื้อตลอดช่วงของการเคลื่อนไหวที่ความเร็วคงที่ เป็นการออกกำลังกายที่สามารถเพิ่มทั้งความแข็งแรงและกำลัง(power) ของกล้ามเนื้อ เนื่องจากการออกกำลังกายประเภทนี้กล้ามเนื้อจะต้องทำงานสูงสุดตลอดช่วงของการเคลื่อนไหวและมีความคล้ายคลึงกับการเคลื่อนไหวในการเล่นกีฬาในหลายประเภทอีกด้วย

หลักการพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกาย(2,23)

1. ทฤษฎี *specificity training*

   การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง เนื้อเยื่อต่างๆหรือระบบเผาผลาญในร่างกายจะปรับตัวตามลักษณะแรงหรือการออกกำลังกายในแต่ละประเภทแตกต่างกันอาทิเช่น ใช้ resistance exercises เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ stretching exercises เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มองศาของการเคลื่อนไหว
2. ทฤษฎี *progressive overload training*

   ในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายหรือความแข็งแรงของกล้ามเนื้อให้ดีขึ้น ต้องใช้แรงต้านหรือการทำงานที่มากกว่าความสามารถของร่างกายหรือกล้ามเนื้อในขณะนั้น แต่ต้องเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือกล้ามเนื้อเกิดการฉีกขาดได้
3. ทฤษฎี *reversibility*

   ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะลดลงเมื่อกล้ามเนื้อไม่ได้ถูกใช้งาน โดยอัตราการลดลงของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ขาดการใช้งานนี้จะรวดเร็วกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจากการออกกำลังกาย
4. ทฤษฎี *fitness*

   ผู้ที่มีระดับสมรรถภาพทางกายต่ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงกล้ามเนื้อเมื่อออกกำลังกายเป็นประจำสูงกว่าผู้ที่มีระดับสมรรถภาพทางกายสูง แต่ผู้ที่มีระดับสมรรถภาพร่างกายต่ำหากไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำหรือหยุดออกกำลังกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะลดลงในอัตราที่เร็วกว่าผู้ที่มีระดับสมรรถภาพร่างกายสูงเช่นกัน

องค์ประกอบพื้นฐานของการออกกำลังกาย (1,2,5,22,23)

1. *รูปแบบของการฝึก (mode of exercise)*

   กิจกรรมการฝึกส่วนมากจะมุ่งเน้นด้านสมรรถภาพในด้านต่างๆแตกต่างกันออกไป ดังนั้นการออกกำลังกายแต่ละแบบอาจให้คุณค่าหรือผลที่แตกต่างกัน

2. *ความเข้มของการฝึก (intensity of exercise)*

   การฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกแบบมีช่วงพัก เป็นการฝึกหลักเพื่อใช้เพิ่มสมรรถภาพทางกาย ซึ่งความหนักของการฝึกเป็นปัจจัยสำคัญต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้น ถ้ากำหนดความเข้มของการฝึกสูงจะทำให้ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน($V°O_2$ max) สูงตามไปด้วย

3. *ความถี่และระยะเวลาของการฝึก (frequency and duration of exercise)*

   ความถี่หรือความบ่อยของการฝึกต่อสัปดาห์ และระยะเวลาในการฝึกแต่ละครั้งและระยะเวลาตลอดทั้งโปรแกรม ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการออกกำลังกาย ส่วนใหญ่ความถี่มักจะอยู่ที่ 3-5 ครั้งต่อสัปดาห์ และใช้เวลาประมาณ 15-60 นาทีต่อครั้ง

4. *ความจำเพาะของการฝึก(specificity of exercise)*

   เพื่อให้เกิดการพัฒนา ความสามารถทางสรีรวิทยา ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนที่เฉพาะเจาะจงกับกิจกรรมเฉพาะอย่าง โดยความจำเพาะของการฝึกจะขึ้นอยู่กับกระบวนการทางชีวเคมี ระบบประสาทและกล้ามเนื้อซึ่งทั้งสองอย่างนี้จะมีความเกี่ยวข้องกับระบบพลังงานในร่างกาย เช่น การเดินบนสายพานเลื่อนที่มีความชัน การถีบจักรยานในท่านั่ง การก้าวขึ้น-ลงจากม้าสูง16 นิ้ว การถีบจักรยานในท่านอนหงาย และการใช้กำลังแขนในขณะยืน จะมีความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนเรียงจากมากที่สุด เป็นต้น

โปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อ(1,2,3,5,15,24)

รูปแบบของการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางร่างกายมีด้วยกันหลากหลายประเภท ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป ในส่วนของการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความทนทานของกล้ามเนื้อ จะใช้ resistance exercise หรือ weight training exercise เป็นหลัก เช่นการยก dumbbells barbells อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักประเภทอื่นๆหรือใช้เครื่องออกกำลังกายแบบที่ใช้แรงต้านทาน ส่วนการเพิ่มความแข็งแรงของกระดูก จะใช้ weight-bearing aerobic exercise และ resistance exercise เช่น การเดิน การวิ่ง การใช้อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก เครื่องออกกำลังกาย ในส่วนของความหนักของการออกกำลังกายประเภทนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ

ตารางที่ 2.1 ความหนักของการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

รูปแบบในการออกกำลังกาย	**สูง**	**ปานกลาง**	**ต่ำ**
ความหนัก (% ของ 1RM)	80-100%	50-70%	10-40%
ปริมาณ (ต่อกลุ่มกล้ามเนื้อ)	1 exercise	2 exercises	3+ exercises
เซ็ต	1 เซ็ต	2-3 เซ็ต	4+ เซ็ต
ครั้ง	1-6 ครั้ง	8-15 ครั้ง	20+ ครั้ง
ความถี	1 ครั้ง/สัปดาห์	2-3 ครั้ง/สัปดาห์	4+ ครั้ง/สัปดาห์

หากต้องการจะเพิ่มความสามารถของกล้ามเนื้อแล้วควรใช้ความหนักอย่างน้อย 30%MVC แต่ความหนักของการฝึกที่แนะนำควรอยู่ในช่วง 40-60%ของ 1RM ซึ่งความหนักในช่วงนี้สามารถส่งเสริมให้เกิดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อปกติทั่วไปได้ ส่วนความหนักในช่วง 80-100% ของ 1 RM สามารถสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็มีข้อควรระวังคือถ้าหากเพิ่มความหนักของการฝึกมากขึ้นเท่าไหร่ก็ต้องใส่ใจและระวังเรื่องการบาดเจ็บที่เกิดจากการฝึกด้วยน้ำหนักที่มากเกินไปมากขึ้นเท่านั้น

การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ(2,5,24,25)

การทดสอบความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อสามารถทดสอบได้หลายวิธี เช่น หากต้องการทดสอบ static strength หรือ static endurance ของแรงบีบมือ กล้ามเนื้อขา หรือหลังสามารถใช้ isometric dynamometers, cable tensiometers หรือ load cells ในการวัดค่าได้ หรือจะใช้เครื่องวัดแรงบีบมือ(handgrip dynamometer) เครื่องวัดแรงเหยียดขาและกล้ามเนื้อหลัง(back and leg dynamometer)แทน ก็สามารถใช้ได้ โดยจะวัดออกมาเป็นค่า MVC (maximum voluntary contraction) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม และหากต้องการทดสอบ dynamic strength หรือ dynamic endurance ก็สามารถใช้ อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก เช่น dumbbells barbells หรือเครื่องออกกำลังกายโดยจะวัดค่าออกมาเป็น 1-RM ซึ่งมีหน่วยเป็นปอนด์หรือกิโลกรัม และสำหรับการทดสอบกำลังของกล้ามเนื้อแบบ isokinetic หรือ omnikinetic ก็สามารถใช้เครื่อง isokinetic dynamometers หรือ omnikinetic dynamometers วัดได้เช่นกันโดยจะวัดออกมาเป็นค่า peak torque ที่มีหน่วยเป็น newton-meter(Nm)หรือ foot-pound(ft-lb)

สำหรับการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยใช้เครื่อง isokinetic dynamometer มีหลักการทดสอบดังนี้ ในส่วนของความแข็งแรงกล้ามเนื้อจะใช้ความเร็วอยู่ระหว่าง 30-60 องศาต่อวินาทีโดยวัดแรงสูงสุด(peak torque) เป็นหน่วย Nm หรือ ft-lb ความทนทานของกล้ามเนื้อจะใช้ความเร็วระหว่าง 120-180 องศาต่อวินาที และกำลังของกล้ามเนื้ออยู่ระหว่าง 120-300 องศาต่อวินาที วัดแรงสูงสุดมีหน่วยเป็น Nm หรือ ft-lb เช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การรักษาด้วยไฟฟ้า

ประวัติการรักษาด้วยไฟฟ้ามีมาตั้งแต่สมัยกรีกโดยการรักษาครั้งแรกคือการใช้ปลาตอร์ปิโดหรือปลาไฟฟ้าโดยทำให้ผู้ป่วยรู้สึกชา ต่อมาจึงได้มีการนำปลาไฟฟ้านี้มาใช้ในการรักษาอาการปวดศีรษะและโรคเก๊าต์ โรคไมเกรน โรคลมชัก(8) แม้ว่าการกระตุ้นไฟฟ้าในระยะแรกจะถูกนำมาใช้ในทางคลินิกเพื่อรักษาอาการเกร็ง อาการปวดหรือบวมต่างๆ การสมานของเนื้อเยื่อหรือบาดแผล รวมถึงความบกพร่องทางการเคลื่อนไหวต่างๆที่เกิดกับคนไข้ ผู้ป่วยภายหลังเข้ารับการผ่าตัด ผู้พิการทางสมองหรือทุพพลภาพ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาจนกลายเป็นเครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในหลายรูปแบบ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ใช้ก็มีหลายลักษณะด้วยกัน เช่นเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงจะปล่อยไฟฟ้าที่มีศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 150 โวลต์ ส่วนเครื่องกระตุ้นที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำจะปล่อยไฟฟ้าที่มีศักย์น้อยกว่า 100-150 โวลต์ หรืออาจเรียกว่าเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ความถี่ปานกลาง หรือความถี่ต่ำ สามารถใช้กระตุ้นได้ทั้งกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง หรือกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยง และถูกนำเข้ามาใช้ในคนปกติหรือในวงการกีฬามากขึ้น เพื่อประโยชน์ทั้งในด้านของลดบวม ควบคุมอาการเจ็บปวด และใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนอกเหนือจากที่เคยใช้เพื่อฟื้นฟูภายหลังการบาดเจ็บหรือการผ่าตัดเท่านั้น(15,16,17,18,19)

สมาคมกายภาพบำบัดแห่งสหรัฐอเมริกาได้แบ่งกลุ่มการกระตุ้นกล้ามเนื้อที่มีเส้นประสาทมาเลี้ยงด้วยไฟฟ้าไว้เป็น 2 กลุ่มคือ neuromuscular electrical stimulation (NMES) และ functional electrical stimulation (FES) ในส่วนของ FES จะเน้นใช้ในการกระตุ้นกล้ามเนื้อที่เป็นอัมพาตให้ร่างกายส่วนนั้นสามารถทำหน้าที่ได้ ลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ เร่งการฟื้นตัวของการเคลื่อนไหวที่อยู่ในอำนาจจิตใจ และใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือ (orthotic device) เพื่อส่งเสริมการทำหน้าที่ของกล้ามเนื้อที่เป็นอัมพาต สามารถใช้รักษาผู้ป่วยหลังคด หรือรักษาอาการกลั้นปัสสาวะไม่อยู่ สำหรับ NMES เป็นเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่ไปกระตุ้นเส้นประสาทของกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัว ใช้รักษาภาวะกล้ามเนื้อฝ่อลีบจากการไม่ได้ใช้งาน การเพิ่มหรือคงสภาพช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อ การเรียนรู้ใหม่และการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ การลดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อในภาวะกล้ามเนื้อแข็งเกร็ง ใช้ทดแทน orthosis และใช้เพิ่มการระดมหน่วยยนต์ในกล้ามเนื้อปกติ เป็นต้น(9,10,11,12,13)

การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า(neuromuscular electrical stimulation)

Neuromuscular electrical stimulation(NMES) มีท้งกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์และกระแสสลับ จุดเริมต้นมาจาก Russian Current หรือ Russian stimulation ซึงเป็นกระแสไฟสลับรูปไซน์ ความถี 2500 เฮิรตซ์ ปล่อยออกมาเป็นเบอร์สทุก 10 วินาที 50 เบอร์สต่อวินาที ในปัจจุบัน NMES มีคลืนหลายรูปแบบทีถูกนำมาใช้เพือเพิมความแข็งแรง 1. Russian current 2. rectangular, balanced, symmetric, biphasic pulse current และ 3.rectangular, balanced, asymmetric, biphasic pulse current แบบทีนิยมใช้คือ asymmetrical biphasic square (rectangular) waveform และ symmetrical biphasic square (rectangular) waveform เนืองจากปริมาณกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสเท่ากัน ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ปกติเครือง NMES ส่วนมากจะมีค่าช่วงเวลาของเฟสคงทีระหว่าง 0.2 – 0.4 มิลลิวินาที ทีความถี 1-5 พัลส์ต่อวินาทีจะทำให้กล้ามเนื้อหดตัวแต่ละครั้งแยกกัน ใช้เพือบอกตำแหน่งของ motor point ทีความถีระหว่าง 10-20 พัลส์ต่อวินาทีจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการกระตุกเป็น incomplete tetany และทีความถี 30 พัลส์ต่อวินาทีจะทำให้กล้ามเนื้อหดเกร็งตัวได้เรียบขึนเรียก tetanized ซึงลักษณะของกระแสไฟฟ้าที Prentice W E. 2006(26) แนะนำให้ใช้เพือกระตุ้นเพิมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อคือ High-frequency biphasic current ทีช่วงความถีประมาณ 50 – 60 พัลส์ต่อวินาที และจะเพิมความเข้ม(intensity)ของกระแสไฟฟ้าจนกล้ามเนื้อหดตัวแบบเกร็งค้าง โดยจะเปิดกระแสไฟแบบเป็นช่วงๆ เช่น เปิด 15 วินาที ปิด 50 วินาทีเป็นต้น สำหรับกระแสไฟฟ้าทีมีความถีในช่วงระหว่าง 100-1000 เฮิรตซ์. จะมีผลต่อการเพิมของอุณหภูมิทีผิวหนังน้อย แต่กระแสไฟฟ้าทีความถี 100 เฮิรตซ์. จะทำให้ fast muscle fiber ตอบสนองมากกว่า slow muscle fiber เพือให้ได้การหดตัวเต็มทีควรใช้กระแสไฟฟ้าในช่วงความถี 50 - 80 เฮิรตซ์ ซึงจะคล้ายกับการหดตัวของกล้ามเนื้อตามธรรมชาติ ในส่วนของการตอบสนองของเส้นประสาทเมือต้งช่วงเวลาในการกระตุ้นให้อยู่ระหว่าง 20-200 ไมโครวินาที จะสามารถแยกการกระตุ้นอย่างชัดเจน อัตราส่วนระหว่างช่วงกระตุ้นและช่วงพักควรให้เป็น 1:3-4 เนืองจากถ้ากระตุ้นที่ความถีสูงกล้ามเนื้อจะล้าเร็ว(10,11)

ทฤษฎีการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยการกระตุ้นไฟฟ้า

ในปี 1990 Deitto A และ Snyder-Mackler L. ได้ทำการรวบรวมวรรณกรรมและสรุปเป็นทฤษฎีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงกล้ามเนื้อโดยใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้า(Percutaneous electrical stimulation) ได้ 2 ทฤษฎีด้วยกันคือ 1.การทีกล้ามเนื้อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าเนื่องจากกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อทีเกิดจากการกระตุ้นไฟฟ้านั้นคล้ายคลึงกับการหดตัวทีเกิดจาก voluntary exercise คือใช้แรงต้านหนักแต่ออกน้อยครั้ง(high intensity and low numbers of repetitions) สำหรับทฤษฎีทีสองคือการกระตุ้นไฟฟ้าสามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้เนื่องจากการฝึกและเน้นเฉพาะเจาะจงทีmotor unit คือจะกระตุ้น type II muscle fiber ทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่า voluntary exercise.(21)

ปี 2008 Maffiuletti ได้แสดงความคิดเห็นหลังจากได้ทำการทบทวนวรรณกรรมบางส่วนว่า การใช้ การกระตุ้นกล้ามเนื้อและเส้นประสาทด้วยไฟฟ้าร่วมกับ voluntary contraction มีประสิทธิภาพดีกว่า voluntary training เพียงอย่างเดียวทั้งในคนสุขภาพดีและผู้ทีมีปัญหามีความบกพร่องในการทำงานของกล้ามเนื้อ ทั้งนี้สิงสำคัญคือต้องควบคุม voluntary exercise modalities ให้ดีพอ ทั้งความหนัก ความถี และระยะเวลาทีทำต้องทัดเทียมกันเหมือนกัน(match) (27)

ผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าระหว่างเพศชายและเพศหญิง

Maffiuletti N A. และคณะ ปี 2008 ได้วัดความแตกต่างของ electrical stimulation thresholds ระหว่างเพศชายและเพศหญิง โดยจะทดสอบในขาข้างถนัดบันทึกข้อมูลก่อนและหลังการทดสอบทันทีมาเปรียบเทียบกัน มีอาสาสมัครเข้าร่วมทั้งหมด 40 คนเป็นเพศชายและหญิงอย่างละ 20 คน โดยเริมต้นจะทำการวัดความยาวของกระดูกต้นขา เส้นรอบวง และวัดความหนาของชั้นไขมันใต้ผิวหนังเพือหา พื้นทีหน้าตัดของกล้ามเนื้อ quadriceps และวัด isometric knee extension torque โดยใช้ isokinetic dynamometer หา MVCs เพือหาค่าแรงต้าน จากนั้นจึงวัด electrical sensory , motor, supramotor thresholds และ pain score ที 2 คลืนความถีคือ 10 เฮิรตซ์. และ 75 เฮิรตซ์. Pulse duration 400 μs.กระตุ้น 10 วินาทีพัก 5 วินาที แต่ละช่วงกระตุ้นจะเริมจาก standardized warm –up ด้วย submaximal ES 10 ครั้ง (frequency 5 Hz, pulse duration 350 μs.) ในระหว่างเปลียนคลืนความถีจะพัก 30 วินาที หลังจากกระตุ้นครบ 2 ช่วงแล้ว

จึงทำ MVC ทั้งหมด 3 ครั้งแต่ละครั้งค้าง 5 วินาที พัก 60 วินาที หลังจากทำครบแล้วให้พัก 10 นาทีจึงทำการเพิ่มความแรงของกระแสไฟฟ้าจนได้ค่า quadriceps torque เท่ากับ 10% of knee extension torque และทำการวัดค่า electrical sensory , motor, supramotor thresholds และ pain score อีกครั้ง พบว่า sensory threshold ของผู้หญิงน้อยกว่าผู้ชาย และใช้กระแสไฟฟ้าที่น้อยกว่าผู้ชายในการกระตุ้นให้เกิด supramotor thresholds ส่วน visual analogue scale ในผู้หญิงก็มีค่าสูงกว่าผู้ชายอย่างมีนัยสำคัญที่ motor threshold สรุปคือ ทั้ง sensory และ supramotor ถูกกระตุ้นได้ง่ายกว่าและความไวสูงกว่าผู้ชาย รวมถึงการรับรู้ความรู้สึกเจ็บปวดได้มากกว่าผู้ชาย แม้ว่าผู้หญิงจะมีเนื้อเยื่อไขมันที่มากกว่าแต่ก็ไม่ได้ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ส่งไปกระตุ้นกล้ามเนื้อถูกจำกัดความแรงลง(28)

ในปี 2007 Avila MA และคณะ ที่ได้ศึกษาเรื่องการกระตุ้นไฟฟ้าและ isokinetic training เพื่อดูผลของความแข็งแรงและคุณสมบัติของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ โดยจะประเมินจากผลของ isometric และ isokinetic concentric extensor torque ในขาทั้งสองข้างรวมทั้งวิเคราะห์ในเรื่องของ peak torque, angle of peak torque,และ acceleration time เปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และเปรียบเทียบระหว่างชายหญิงด้วย ในการทดลองครั้งนี้มีนักศึกษาอาสาสมัครเข้าร่วม 20 คนอายุเฉลี่ยประมาณ 21 ปี โดยจะทำการฝึกด้วย isokinetic training program ในกล้ามเนื้อเหยียดข้อเข่าของขาทั้งสองข้างที่ความเร็ว 30 °/s ทำ 3 เซ็ตเซ็ตละ 10 ครั้งและจะทำการสุ่มขาหนึ่งข้างเพื่อให้การกระตุ้นไฟฟ้า Russian current ที่ความถี่ 5000 Hz. 50 bursts/s. pulse duration 200 μs. ฝึกสัปดาห์ละ 2 ครั้งเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ก่อนทำการฝึกจะวัดค่า maximal voluntary isometric knee extension contractions โดยจัดให้ท่าเริ่มต้นของข้อเข่าอยู่ในมุมงอ 60 องศา หลังจากนั้นจึงทำการวัด maximal voluntary isometric knee extension contractions ที่มุมงอเข่า 90° ถึง 15° หลังจากการฝึก 4 สัปดาห์พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ peak torque ทั้งสองกลุ่มแต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม รวมถึงมีการลดลงของ acceleration time ทั้งสองกลุ่ม (29)

การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้า

ในปี 2002 Binder-macleod S A. และคณะ ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของการกระตุ้นไฟฟ้าที่มีผลต่อการเพิ่มศักยภาพของกล้ามเนื้อ quadriceps femoris ในมนุษย์โดยดูจากคุณสมบัติของกล้ามเนื้อซึ่งจะวัดจากค่า peak forces และ force time intergrals ในการกระตุ้นที่มีความถี่ ระยะเวลาการกระตุ้น จำนวน pulse ที่แตกต่างกัน โดยทำการศึกษาในชายหญิงสุขภาพดีจำนวน 11 คนอายุเฉลี่ย 23.8 ปี ใช้ computer-controlled dynamometer และเครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าเพื่อทดสอบและบันทึกผล ข้วบวกของเครื่องกระตุ้นจะถูกวางไว้บริเวณ motor point ของกล้ามเนื้อ rectus femoris ข้วลบที่กล้ามเนื้อ vastus medialis pulse duration ที่ 0.6 ms. ขณะทดสอบโดยหาค่า MVC ของผู้เข้าร่วมก่อนจากนั้นจะทำการทดสอบโดยใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นที่ความเข้มเท่ากับ 20% MVC โดยจะทำทั้งหมด 5 โหมด คือ 12 pulse – 100 Hz., 12 pulse – 31 Hz., 12 pulse – 14 Hz., 12 pulse – 5 Hz. ชนิดละ 20 ครั้ง,และ 6 pulse – 14 Hz. 40 ครั้งโดยทุกคนจะได้รับทุกโหมดของการทดสอบและใช้การสุ่มเพื่อเลือกลำดับก่อนหลัง และระหว่างโหมดจะมีระยะพัก 10 นาทีโดย 5 นาทีแรกผู้เข้าร่วมจะได้รับ single pulses ทุก 30 วินาที 5 นาทีสุดท้ายจะไม่ได้รับการกระตุ้นใดๆ ผลของการศึกษาครั้งนี้พบว่า การกระตุ้นที่ความถี่ตั้งแต่ 14 เฮิรตซ์.ขึ้นไปจำนวนของ pulse ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการพัฒนาศักยภาพของกล้ามเนื้อที่มากขึ้น(30)

ต้นศตวรรษที่ 20 Angeli T. และ Denkmeier T. ได้ทำการศึกษาเกียวกับผลของการกระตุ้นไฟฟ้าต่อ knee joint torque โดยทำการศึกษาในชายหญิงสุขภาพดีอายุเฉลี่ย 22.4 จำนวน 12 คนที่ไม่เคยได้รับการการกระตุ้นไฟฟ้ามาก่อน จากนั้นจึงทำการสุ่มเพื่อแยกกลุ่มกระตุ้นไฟฟ้าและกลุ่มควบคุมรวมทั้งทำ maximal voluntary isometric contraction ที่มุมงอเข่า 30° 60° 90° ร่วมด้วยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 8 สัปดาห์ ฝึกสัปดาห์ละ 5 ครั้ง ข้วกระตุ้นจะอยู่บริเวณ motor point ของกล้ามเนื้อ quadriceps โดยโหมดที่ใช้จะมีค่าดังตารางข้างล่างนี้ ส่วนความเข้มของกระแสไฟ (intensity) จะขึ้นอยู่กับ pain sensitivity ของผู้เข้าร่วมงานวิจัยแต่ละคนโดยทุกๆ 2 สัปดาห์จะทำการวัดแรง knee joint torque โดยใช้ dynamometer ทั้งก่อน ระหว่าง และหลังโปรแกรมการฝึกพบว่าความแข็งแรงเฉลี่ยของกลุ่มที่ใช้ไฟฟ้ากระตุ้นเพิ่มขึ้น 9.5% ในผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ และเพิ่มขึ้น 5.7% ในกลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำโดยวัดที่มุมข้อเข่าเท่ากับ 60° (31)

ในปี 2003 Parker M Gและคณะ ได้ศึกษาผลของความแข็งแรงในกล้ามเนื้อ quadriceps femoris ต่อโปรแกรมการกระตุ้นไฟฟ้า 2 แบบ วัดแรง MVIC และแรงที่เกิดระหว่างได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าที่มุมงอเข่า 60° เนื่องจากเป็นมุมที่สร้างแรง isometric quadriceps force ได้มากที่สุดโดยใช้ interface electronic load cell และวัดค่า peak isometric force หรือ inflection point (peak) จากforce time curve มีอาสาสมัคร 27 คนอายุเฉลี่ย 23.2 ปี แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เข้ารับการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ กลุ่มที่เข้ารับการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลาทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ ทำการกระตุ้น 10 รอบใน 10 นาที โดยใน 1 นาทีจะเปิด 10 วินาที ปิด 50 วินาที ที่ 50 เบอร์สต่อวินาที ความถี่ 5000 เฮิรตซ์ เป็น sinusoidal waveform ซึ่งจะเปิดความเข้มของกระแสไฟฟ้าให้ได้ isometric force หรือให้ใกล้เคียงกับ 60% MVIC พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง mean percent change ของกล้ามเนื้อ quadriceps ของ MVIC ก่อนและหลังการฝึก 4 สัปดาห์ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ(32)

ปี 2005 Herrero JA และคณะ ได้ทำการเปรียบเทียบผลของโปรแกรมการฝึกกล้ามเนื้อเหยียดเข่า 4 สัปดาห์ โดยใช้ค่าของ 20 m. sprint time, squat jump, counter movement jump, maximal isometric strength และ muscle cross-sectional area. โดยเปรียบเทียบระหว่าง 3 กลุ่มคือ 1 electromyostimulation (EMS)2. plyometric training(P) และ 3. combine EMS + P มีผู้เข้าร่วมงานวิจัยเป็นชายทั้งหมด 40 คนแบ่งเป็น 4 กลุ่มรวมกลุ่มควบคุม โดยจะทำการวัดผลก่อนการฝึก หลังเสร็จสิ้นการฝึกทันที และหลังเสร็จสิ้นการฝึกเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ในกลุ่มไฟฟ้า จะทำการฝึกสัปดาห์ละ 4 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะใช้เวลาทั้งสิ้น 34 นาที: 5 นาทีแรกใช้ความถี่ต่ำ 5 เฮิรตซ์ ต่อมาอีก 29 นาที ให้ทำ isometric contraction ทั้งหมด 53 ครั้งของกล้ามเนื้อเหยียดขาทั้งสองข้าง โดยกระตุ้น 3 วินาที พัก 30 วินาที ใช้คลื่น biphasic symmetrical square wave , frequency 120 Hz., pulse width 400 μs. สำหรับกลุ่ม plyometric training จะทำการฝึกสัปดาห์ละ 2 ครั้งแต่ละครั้งใช้เวลา 50 นาที : อบอุ่นร่างกาย15 นาที , plyometric work 25 นาที, และยืดกล้ามเนื้อ 10 นาที ส่วนกลุ่มสุดท้ายทำการฝึกสัปดาห์ละ 4 ครั้งแบ่งเป็นกระตุ้นไฟฟ้า 2 ครั้ง plyometric training 2 ครั้ง หลังเสร็จสิ้นการทดสอบพบว่า sprint time ของกลุ่มไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหลังเสร็จสิ้นการฝึก,ค่า squat jump และ counter movement jump เพิ่มขึ้นในกลุ่ม combine หลังการฝึก,ค่า MVC เพิ่มขึ้นหลังการฝึกและหลังการฝึก 2 สัปดาห์ในกลุ่มไฟฟ้า และเพิ่มขึ้นในกลุ่ม combine เมื่อวัดหลังการฝึก, muscle cross-sectional area เพิ่มขึ้นหลังการฝึกทั้งในกลุ่มไฟฟ้า และกลุ่ม combine และในกลุ่ม combine สามารถกระโดดได้สูงขึ้นและวิ่งได้เร็วขึ้นด้วย

ซึงสรุปได้ว่ากลุ่มทีกระตุ้นด้วยไฟฟ้าอย่างเดียวและกลุ่มไฟฟ้ารวมกับ plyometric training สามารถเพิม maximal strength และ ขนาดของกล้ามเนื้อได้(33)

ในปี 2007 Vanderthommen M, Duchateau J. ได้ทำการศึกษาผลของการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าต่อการเพิมความสามารถของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ โดยการรวบรวมวรรณกรรมทีเกียวข้อง พบว่าคลืนทีนิยมใช้ในงานวิจัยคือ biphasic symmetrical rectangular ช่วงความถีระหว่าง 50-100 Hz. เฟสระหว่าง 0.1-0.5 ms. และคลืน Russian current ทีมีความถี 2500 Hz. กระตุ้นครั้งละ 10 – 30 นาที เป็นระยะเวลา 4-5 สัปดาห์ 20 – 25 ชุด ทีความหนักต้งแต่ 25%-90% MVC สามารถเพิมความสามารถของกล้ามเนื้อได้(34)

ปี 2008 Dehail Pและคณะ ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมจากฐานข้อมูลของ Medline เกียวกับผลของการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าต่อการเพิมขึนของความแข็งแรงกล้ามเนื้อ พบว่าในส่วนของนักกีฬารักบีการกระตุ้นไฟฟ้าสามารถเพิมความแข็งแรงและกำลังของกล้ามเนื้อ quadriceps femoris, gluteus maximus และ triceps surae ได้โดยใช้เวลาในการฝึกทังสิน 12 สัปดาห์แต่ทักษะบางอย่างเช่นการสกรัมหรือความเร็วในการวิงระยะสันไม่ได้เพิมขึน และเมือใช้การกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับ pliometric training ก็สามารถเพิมความแข็งแรงของ quadriceps femoris รวมถึงการกระโดดในแนวดิงและความเร็วในการวิงระยะสันได้อีกด้วย และถ้าใช้การกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับ fast concentric (180 °/s) หรือ eccentric training ก็สามารถเพิม maximal concentric moment ได้เช่นกัน(35)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Toca-Herrera J L และคณะ ปี 2008 ได้ทำการศึกษาความแข็งแรงของขาข้างที่ถนัดที่เกิดจากผลของการกระตุ้นไฟฟ้า 1 ครั้งที่กล้ามเนื้อ rectus femoris ในขาข้างที่ไม่ถนัดในอาสาสมัครเพศชายจำนวน 36 คน ในกลุ่มทดลองจะให้รับการกระตุ้นไฟ 10 นาที ใช้คลื่น biphasic symmetric rectangular wave pulses ที่ความถี่ 100 Hz. Impulse 300 μs เปิด 10 วินาที ปิด 10 วินาทีทั้งหมด 30 ครั้ง โดยก่อนและหลังการทดสอบจะทำการวัดmaximal voluntary isometric strength(MVIC), electromyographic(EMG), และ mechanomyographic(MMG) ในขาข้างที่ถนัด พบว่าการกระตุ้นไฟฟ้าสามารถทำให้ขาข้างที่ไม่ได้รับการกระตุ้นมีสมรรถภาพเพิ่มขึ้นได้(36)

ในปี 2008 Paillard T และคณะ ได้ทำการศึกษาผลของการกระตุ้นไฟฟ้า 2 ชนิดบริเวณ quadriceps femoris ต่อความสามารถในการกระโดดสูงโดยจะวัดการกระโดดสูง3 ครั้งคือก่อนทำการกระตุ้นไฟฟ้า ระหว่างการฝึก 1 สัปดาห์และหลังการฝึกในสัปดาห์ที่ 5 อาสาสมัครเป็นชายสุขภาพดี 27 คนอายุระหว่าง 18-33 ปีที่เข้าร่วมงานวิจัยถูกแบ่งเป็น 3กลุ่ม กลุ่มควบคุม กลุ่มที่ฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้งเป็นเวลา 5 สัปดาห์ที่ความถี่ 80 เฮิรตซ์ เป็นเวลา 15 นาที กระตุ้นค้าง 6 วินาที พัก 18 วินาทีและกลุ่มสุดท้าย กระตุ้นที่ความถี่ 25 เฮิรตซ์ เป็นเวลา 60 นาที กระตุ้นค้าง 10 วินาที พัก 6 วินาที โดยทั้งสองกลุ่มจะได้รับการ warm up 5 นาที และ recovery 10 นาทีเท่ากัน เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่ใช้จะเป็น biphasic symmetrical rectangular wave ใช้สีข้วกระตุ้นวางบริเวณ vastus medialis และ vastus lateralis มัดละสองข้ว หลังจากเสร็จสิ้นการฝึกแล้วพบว่าในกลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าทั้ง 2 กลุ่มกระโดดได้สูงขึ้นทั้งการวัดครั้งที่สองและสามเมื่อเทียบกับที่วัดก่อนการฝึก สรุปได้ว่าการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าสามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อรวมทั้งสามารถเพิ่มกำลังของกล้ามเนื้ออันส่งผลให้กระโดดได้สูงขึ้นอีกด้วย(37)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในมนุษย์ เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยใช้เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(RNMES) เทียบกับการฝึกแบบใช้แรงต้านอย่างเดียว(R) และการฝึกแบบใช้การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว(NMES) โดยจะวัดค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและกล้ามเนื้องอเข่าขณะเกร็งค้าง(maximum voluntary isometric contraction) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออก (concentric/eccentric isokinetic contraction) ที่ความเร็ว 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก่อนและหลังการฝึกภายในกลุ่มเดียวกันและระหว่างกลุ่ม และสรุปผลการวิจัย

ประชากร

ประชากรเป้าหมาย(Target population) สำหรับการวิจัยนี้คือ ชายไทยสุขภาพดีอายุระหว่าง 18-25 ปี โดยมีประชากรตัวอย่าง(sample population) คือชายไทยสุขภาพดีอายุระหว่าง 18-25 ปีที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าศึกษาวิจัยและลงนามยินยอมเข้าร่วมวิจัย

<u>เกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าในการศึกษา</u> (Inclusion Criteria)

1. ชายไทยสุขภาพดีอายุระหว่าง 18-25 ปี
2. มีค่าดรรชนีมวลกาย(Body Mass Index) อยู่ในช่วง 18.5 -23 kg/m^2
3. ไม่ใช่นักกีฬาและไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ
4. ไม่มีความผิดปกติเกียวกับเส้นประสาทและกล้ามเนื้อในร่างกายส่วนล่าง
5. ไม่มีข้อจำกัดในการเคลือนไหวของข้อต่อช่วงล่าง
6. ไม่มีประวัติหรืออาการบาดเจ็บบริเวณหัวเข่าจนต้องเข้ารับการผ่าตัด
7. ไม่ดืมเครืองดืมทีมีส่วนผสมของแอลกอฮอล์หรือสูบบุหรีเป็นประจำ
8. สมัครใจและลงนามในใบยินยอมการเข้าร่วมวิจัย

<u>เกณฑ์ในการคัดออกจากการศึกษา</u> (Exclusion Criteria)

1. อยู่ในสภาวะเจ็บป่วย/บาดเจ็บบริเวณร่างกายส่วนล่างในปัจจุบัน
2. มีประวัติกล้ามเนื้อช่วงล่างอักเสบภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา
3. เป็นโรคหัวใจ/สงสัยจะเป็นโรคหัวใจ เนื้องอก มะเร็ง เบาหวาน หรือโรคทางระบบประสาท
4. กระดูกแตก หัก หรือเพิ่งได้รับการผ่าตัดบริเวณร่างกายส่วนล่าง
5. มีสิ่งแปลกปลอมในร่างกาย เช่น เครื่องกระตุ้นหัวใจ เหล็กดามกระดูก
6. มีประวัติหรืออาการที่เป็นข้อห้ามในการกระตุ้นไฟฟ้า
7. ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย
8. ขาดการฝึกในงานวิจัยมากกว่า 2 ครั้ง
9. ขาดการฝึกในงานวิจัยโดยไม่ทราบสาเหตุและติดต่อไม่ได้

การคำนวณขนาดตัวอย่าง

การกำหนดกลุ่มประชากรตัวอย่าง ได้มาจากการคำนวณหากลุ่มประชากรตัวอย่างจากการศึกษาของ Parker M Gและคณะ ในปี 2005 ที่ทำการศึกษาผลของโปรแกรมการกระตุ้นไฟฟ้าต่อการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ 2 โปรแกรมในชายหญิงจำนวน 27 คน โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มควบคุม กลุ่มที่ได้รับโปรแกรมฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และกลุ่มที่ได้รับโปรแกรมฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยวัดแรง MVIC และแรงที่เกิดระหว่างได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าที่มุมงอเข่า 60° โดยใช้ interface electronic load cell กลุ่มที่ได้รับโปรแกรมการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ มีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงกล้ามเนื้อเฉลี่ยภายหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ (mean ± SE) เท่ากับ 12.5 ± 3.1 ส่วนในกลุ่มควบคุมมีความแข็งแรงกล้ามเนื้อเฉลี่ยภายหลังเสร็จสิ้นการทดลองเท่ากับ -0.7 ± 3.1 สามารถคำนวณหากลุ่มประชากรตัวอย่างได้จากสูตร 2- independent group

สูตร n/group $= 2(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \sigma^2 / (x_1 - x_2)^2$

กำหนด $\alpha = 0.05$, $Z_{\alpha/2} = Z_{0.05/2} = 1.96$ (two tail)

$\beta = 0.10$, $Z_{\beta} = Z_{0.10} = 1.28$

σ^2 = Pooled variance

$$= \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{(n_1 - 1)(SE_1 \times \sqrt{n_1})^2 + (n_2 - 1)(SE_2 \times \sqrt{n_2})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$= \frac{(9-1)(3.1 \times \sqrt{9})^2 + (9-1)(3.1 \times \sqrt{9})^2}{9 + 9 - 2}$$

$$= \frac{8(86.49) + 8(86.49)}{16}$$

$$= 86.49$$

แทนค่า n/group $= 2\,(1.96 + 1.28)^2(86.49) / (12.5 - (-0.7))^2$

$$= 10.4216877$$

ดังนั้นจะต้องใช้จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่มทั้งสิ้น 11 คน แต่เพื่อป้องกันการสูญหายของกลุ่มตัวอย่างในขณะทำการศึกษาวิจัย ในการวิจัยนี้จึงเพิ่มจำนวนตัวอย่างอีกร้อยละ 10 การศึกษาครั้งนี้จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น กลุ่มละ 13 คน

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ใช้วิธีการเลือกตัวอย่างตามจุดมุ่งหมาย(Purposive Sampling) โดยสมัครใจและจากการสัมภาษณ์ผู้เข้าร่วมการศึกษาวิจัย ตามเกณฑ์การคัดเลือกเข้าและแบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง จากนั้นจะทำการแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยโดยการสุ่มแบบจับสลากออกเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มควบคุมโดยจะไม่ได้รับการฝึกใดๆ(C) กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาเพียงอย่างเดียว(NMES) กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(RNMES)และกลุ่มที่ได้รับการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียว(R) โดยสลากจะมีทั้งหมด 52 ใบ กลุ่มละ 13 ใบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เอกสารแนะนำเกี่ยวกับการวิจัยและใบยินยอมเข้าร่วมโครงการ(ดูตัวอย่างในภาคผนวก ก และ ข)
2. แบบสอบถามเพื่อใช้ในการคัดกรอง(ดูตัวอย่างในภาคผนวก ค)
3. แบบบันทึกข้อมูล (ดูตัวอย่างในภาคผนวก ง)
4. กางเกงขาสั้น
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก(InBody 230,Biospace®,Korea)
6. ที่วัดส่วนสูง
7. เครื่อง isokinetic dynamometer (Cybex 6000)
8. เครื่องกระตุ้นไฟฟ้า balanced rectangular symmetrical biphasic pulse current (CefarCompex Rehab400)
9. ข้วกระตุ้นไฟฟ้า(Dura stick Electrodes 1.5”x 3.5”,Chattanooga, USA)
10. จักรยานออกกำลังกาย
11. นาฬิกาจับเวลา
12. โกนิโอมิเตอร์
13. ที่วัดความดัน
14. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูลและโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.1 CefarCompex Rehab400

รูปที่ 3.2 Cybex 6000 (isokinetic dynamometer)

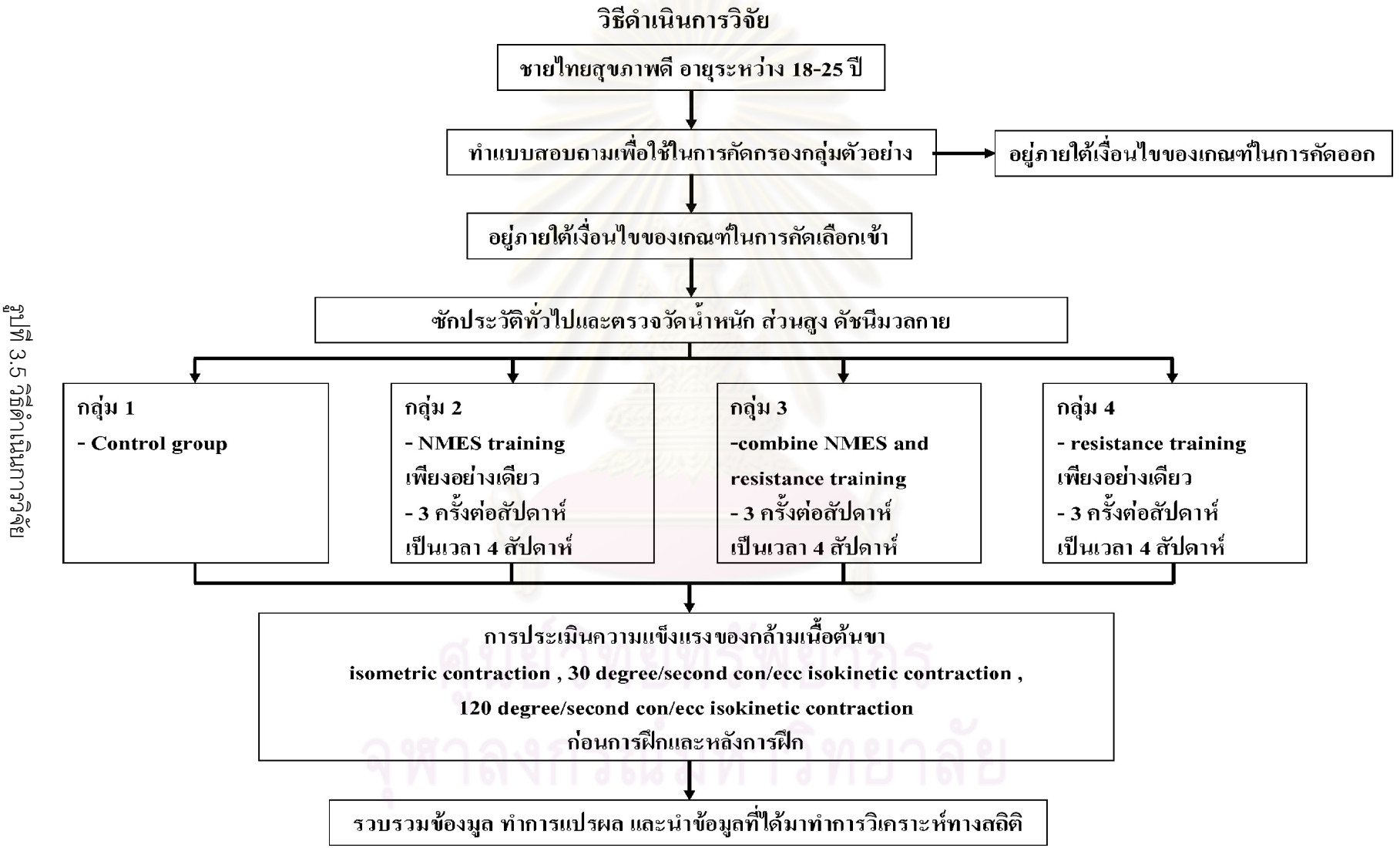
รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 3.4 จักรยานออกกำลังกาย

ขั้นตอนการวิจัย

1. อธิบายจุดประสงค์ของการวิจัยให้อาสาสมัครทราบ
2. คัดเลือกอาสาสมัครตามเกณฑ์คัดเลือก
3. อาสาสมัครเซ็นยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
4. กรอกแบบบันทึกข้อมูลเบื้องต้นของอาสาสมัคร
5. ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง คำนวณ BMI
6. สุ่มอาสาสมัครออกเป็น 4 กลุ่ม
    1) กลุ่มที่ 1 control group(C)
    2) กลุ่มที่ 2 NMES training group(NMES)
    3) กลุ่มที่ 3 combine NMES and resistance training group(RNMES)
    4) กลุ่มที่ 4 resistance training group(R)
7. อธิบายถึงวิธีการทดลองให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเข้าใจถึงวิธีปฏิบัติ
8. ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องสวมกางเกงขาสั้นที่สามารถทำการติดขั้วกระตุ้นไฟฟ้าได้โดยสะดวก ไม่สวมรองเท้าเพื่อความสะดวกในการทดสอบ
9. ทำการโกนขนและทำความสะอาดผิวบริเวณที่ติดขั้วกระตุ้นด้วยสำลีชุบน้ำ
10. ใช้ขาข้างที่ไม่ถนัดในการทดสอบ (โดยการซักถามและสังเกตจากการให้ผู้เข้าร่วมวิจัยใช้เท้าวาดรูปเลขแปด หยิบยางลบขึ้นจากพื้น)
11. ทำการทดสอบความสามารถของกล้ามเนื้อต้นขาก่อนเข้าร่วมโปรแกรมการฝึกในอาสาสมัครทุกคนทุกกลุ่ม บันทึกข้อมูลของแต่ละคนในการทดสอบแต่ละครั้ง
12. ทำการหาค่าความเข้มของกระแสไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ทำให้ข้อเข่าเหยียดตรงและหยุดค้างที่ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนสามารถทนได้โดยไม่รู้สึกแสบ ร้อนหรือเจ็บใต้ขั้วกระตุ้น หรืออาการอื่นๆที่รู้สึกว่าอาจเป็นอันตราย เพื่อเก็บเป็นข้อมูลพื้นฐานในการฝึกของแต่ละคนแต่ละกลุ่มต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบความสามารถของกล้ามเนื้อต้นขา (Thigh Muscle Performance)

วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยใช้ Cybex 6000 ในการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าแบบ isometric contraction และวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าแบบ isokinetic contraction ที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที เพื่อประเมินค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความทนทานของกล้ามเนื้อและกำลังของกล้ามเนื้อ

<u>วิธีการทดสอบ</u>

<u>Isometric Strength Test</u>

1. ก่อนทำการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยทำการยืดกล้ามเนื้อเหยียดเข่า กล้ามเนื้องอเข่าและกล้ามเนื้อน่องท่าละ 3 ครั้ง ครั้งละ 20 วินาที(stretching) และ ทำการอบอุ่นร่างกาย (warm up)โดยปั่นจักรยานแบบไม่มีแรงต้าน 3-5 นาที
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งเก้าอี้เอนตัวพิงพนักด้านหลังโดยปรับให้ข้อตะโพกอยู่ที่มุมงอ100° ใช้ขาข้างที่ไม่ถนัดในการทดสอบ โดยลำตัว ตะโพก และขาท่อนบน จะถูกรัดด้วยเข็มขัดไม่ให้มีการเคลื่อนไหว เข่างออยู่ที่มุม 60 องศา ตำแหน่งข้อเข่าบริเวณ transverse knee joint จะตรงกับจุดหมุน(Axis) ของเครื่อง Cybex 6000
3. ทำการทดสอบกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่า ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำความคุ้นเคยกับเครื่องมือและโปรแกรมที่ตั้งไว้ โดยให้อาสาสมัครออกแรงเหยียดขาปานกลางค้างไว้ 5 วินาทีพัก 10 วินาทีแล้วออกแรงงอขาปานกลางค้างไว้ 5 วินาทีพัก 10 วินาทีแล้วออกแรงเหยียดขาใหม่ทำซ้ำสามครั้ง จากนั้นพัก 60 วินาทีเพื่อทำการทดสอบจริง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเกร็งกล้ามเนื้อเหยียดเข่าให้ได้มากที่สุด ค้างไว้ 5 วินาทีพัก 10 วินาทีจากนั้นให้ออกแรงเกร็งงอเข่าให้มากที่สุดค้างไว้อีก 5 วินาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกค่าpeak torque (Nm)ที่มากที่สุดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์
4. พัก 3 นาทีโดยนั่งพักอยู่กับเก้าอี้ ก่อนเริ่มการทดสอบ Isokinetic Strength ต่อไป

รูปที่ 3.6 วิธีทดสอบ isometric strength test

Isokinetic Strength Test

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งเก้าอี้เอนตัวพิงพนักด้านหลังโดยปรับให้ข้อตะโพกอยู่ที่มุมงอ100° ใช้ขาข้างที่ไม่ถนัดในการทดสอบ โดยลำตัว ตะโพก และขาท่อนบน จะถูกรัดด้วยเข็มขัดไม่ให้มีการเคลื่อนไหว เข่างออยู่ที่มุม 90 องศา ตำแหน่งข้อเข่าบริเวณ transverse knee joint จะตรงกับจุดหมุน(Axis) ของเครื่อง Cybex 6000 มุมการเคลื่อนไหวของข้อเข่าจะเริ่มจากมุมงอ 90 องศา – 15 องศา (โดย มุม 0 องศา คือมุมที่เข่าเหยียดตรง)
2. ทำการทดสอบกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (concentric/eccentric isokinetic test) ที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเหยียดเข่าให้เร็วและแรงปานกลางจากมุมที่ข้อเข่างอ 90 องศาไปจนสุดช่วงของการเคลื่อนไหวที่ตั้งไว้ จากนั้นให้ออกแรงเหยียดเข่าต้านน้ำหนักแรงกดของเครื่อง จนกลับมาที่มุมเริ่มต้น ทำซ้ำ 3 ครั้งพัก 60 วินาทีเพื่อทำการทดสอบจริง โดยอาสาสมัครต้องออกแรงเหยียดเข่าให้มากที่สุดเร็วและแรงที่สุดจนสุดช่วงของการเคลื่อนไหวที่ตั้งไว้ เมื่อสุดแล้วจึงออกแรงต้านให้มากที่สุดจนขากลับมาสู่ที่เดิมทำติดต่อกัน 3 ครั้ง
3. พัก 3 นาที
4. ทำการทดสอบกล้ามเนื้อเหยียดเข่า(concentric/eccentric isokinetic test) ที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงเหยียดเข่าปานกลางจากมุมเริ่มต้นไปจนสุดช่วงของการเคลื่อนไหวที่ตั้งไว้ จากนั้นให้ออกแรงเหยียดเข่าต้านน้ำหนักแรงกดของเครื่อง จนกลับมาที่มุมเริ่มต้นทำซ้ำ 3 ครั้งพัก 60 วินาที ทำการทดสอบจริง โดยอาสาสมัครต้องออกแรงเหยียดเข่าให้มากที่สุดเร็วและแรงที่สุดจนสุดช่วงของการเคลื่อนไหวที่ตั้งไว้ เมื่อเข่าเหยียดสุดแล้วจึงออกแรงต้านกับแรงกดของเครื่องให้มากที่สุดจนกลับมาที่จุดเริ่มต้นทำติดต่อกัน 3 ครั้ง

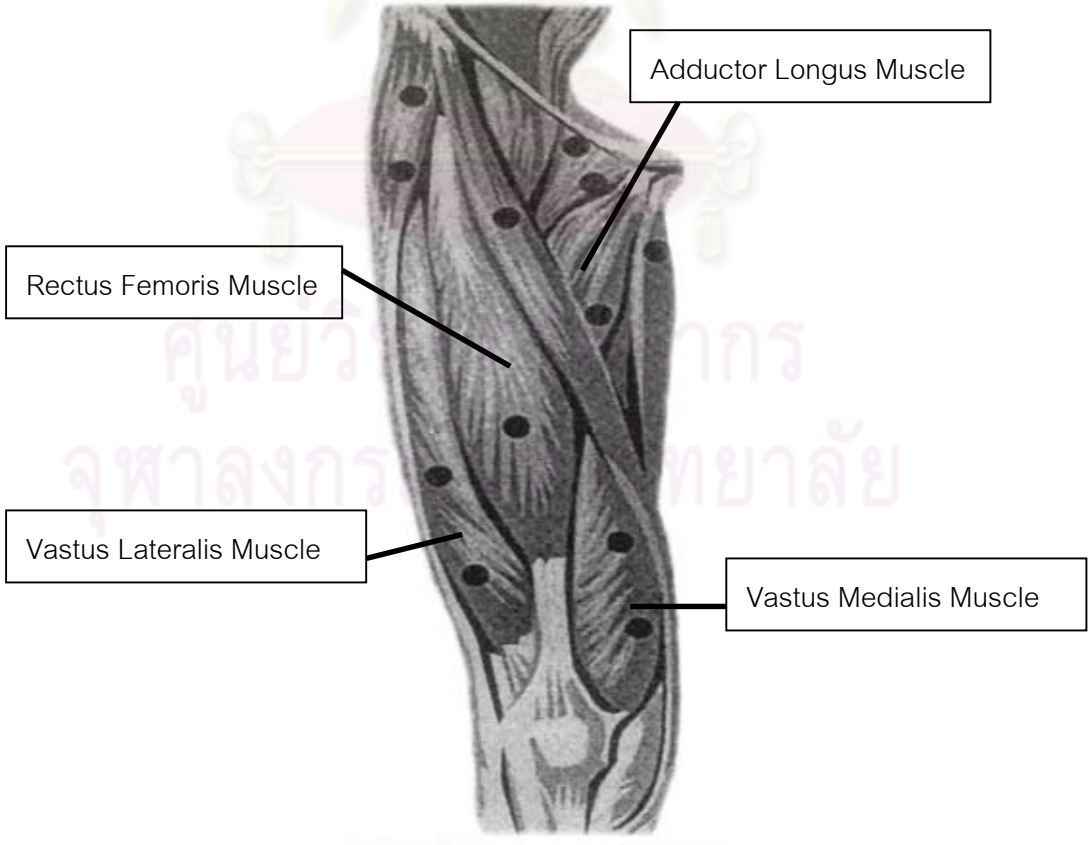
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.7 isokinetic strength test

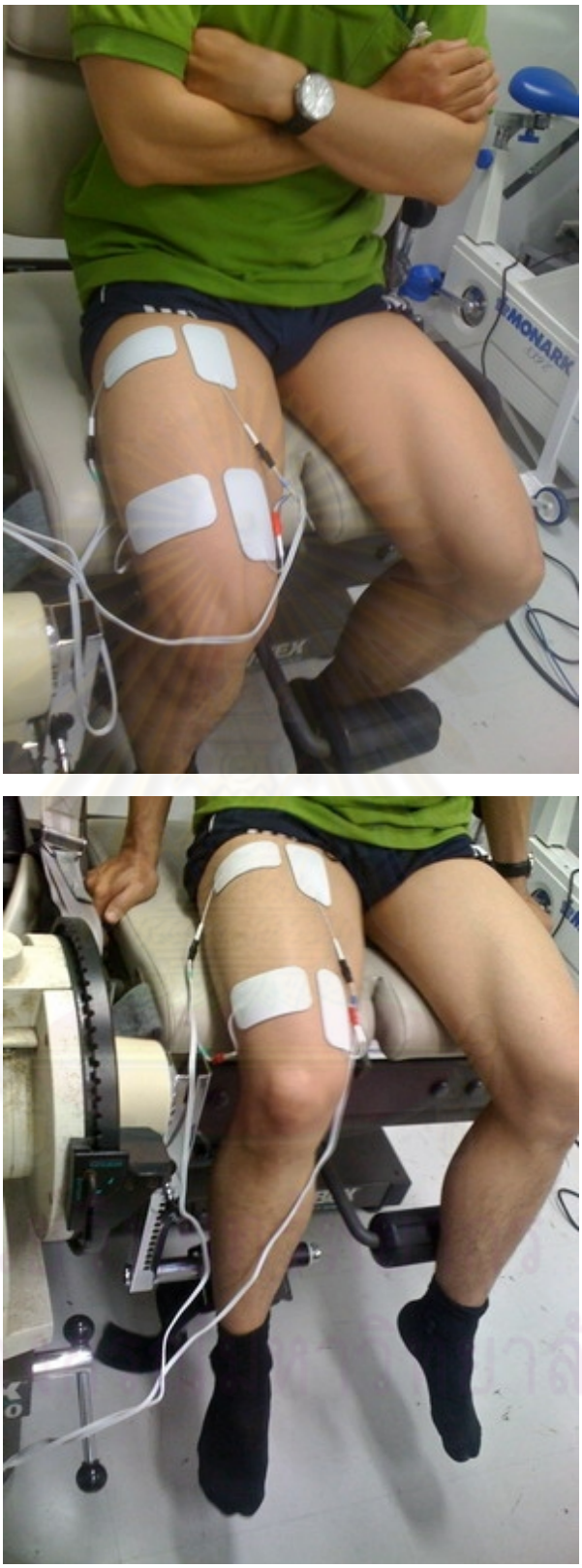
NMES Intensity Test

1. ปรับให้เข่างออยู่ที่มุม 90 องศา ตำแหน่งข้อเข่าบริเวณ transverse knee joint จะตรงกับจุดหมุน(Axis) ของเครื่อง Cybex 6000
2. ติดขั้วกระตุ้นไฟฟ้าบริเวณจุด Motor Point ของกล้ามเนื้อ Vastus Medialis กล้ามเนื้อ Vastus Lateralis กล้ามเนื้อ Adductor Longus และบริเวณกล้ามเนื้อ Rectus Femoris รูปแบบของคลื่นที่ใช้คือ symmetrical biphasic square (rectangular) waveform frequency 75 Hz.
3. เปิดกระแสไฟฟ้าให้มีความเข้มของกระแสไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ทำให้ข้อเข่าเหยียดตรงและหยุดนิ่งที่ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนสามารถทนได้โดยไม่รู้สึกแสบหรือเจ็บใต้ขั้วกระตุ้นหรือรู้สึกว่าอาจเป็นอันตราย และเก็บเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการฝึกของแต่ละคน

*** Motor point คือบริเวณที่เส้นประสาทมาติดต่อกับกล้ามเนื้อ (neuromuscular junction) เมื่อทำการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าจะเป็นจุดที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวมากที่สุดโดยใช้ความเข้มของกระแสไฟฟ้าที่น้อยที่สุด***



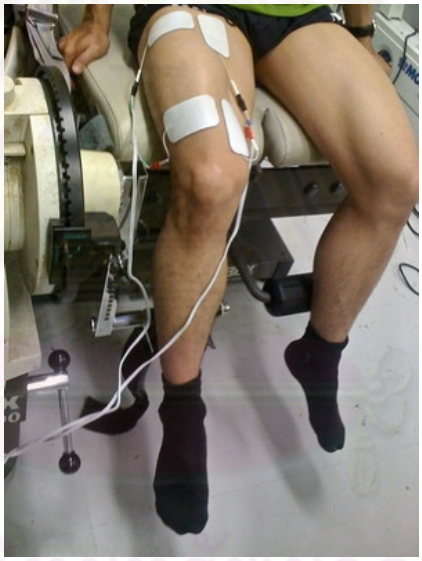
รูปที่ 3.8 motor points บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งที่ใช้ติดขั้วกระตุ้นไฟฟ้า

<u>วิธีการฝึกของกลุ่ม NMES training group</u> (NMES)

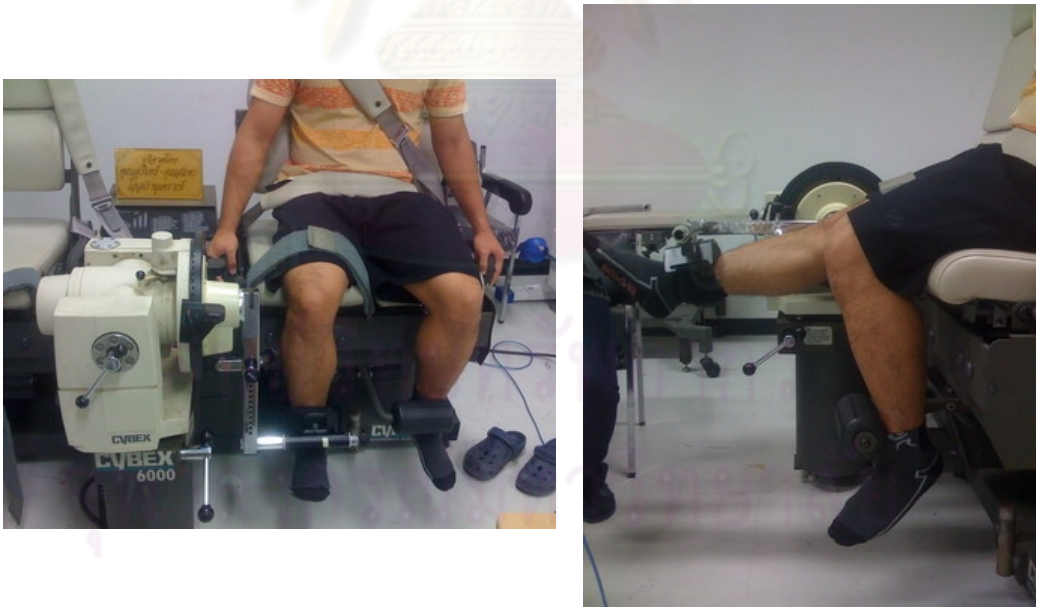
1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนุ่งกางเกงขาสั้น ไม่ใส่รองเท้า ทำการฝึกโดยใช้เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า รูปแบบของคลื่นที่ใช้คือ symmetrical biphasic square (rectangular) waveform frequency 75 Hz.
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งบนเก้าอี้เอนตัวพิงพนักด้านหลังปรับความสูงให้เหมาะสมให้อยู่ในท่าที่รู้สึกสบายไม่เกร็ง ติดขั้วกระตุ้นไฟฟ้าที่จุด Motor Point ของกล้ามเนื้อ Vastus Medialis
3. เปิดความเข้มของกระแสไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ทำให้กล้ามเนื้อเหยียดเข่าสามารถเหยียดจนเต็มช่วงของการเคลื่อนไหวที่กำหนดและหยุดนิ่ง
4. กระตุ้น 4 วินาที พัก 19 วินาที เป็นระยะเวลา17 นาที
5. ทำการฝึก 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 3.10 การฝึกของกลุ่ม NMES

<u>วิธีการฝึกของ resistance training group</u> (R)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยนุ่งกางเกงขาสั้น ไม่ใส่รองเท้า ทำการฝึกโดยใช้เครื่อง isokinetic dynamometer (Cybex 6000)
2. ปรับระดับแกนฝึกให้เหมาะสมกับความยาวขา จากนั้นนั่งโดยเอาขาสอดไว้ใต้แกนฝึก ให้ตำแหน่งของข้อเข่าตรงกับจุดหมุน
3. ออกแรงเตะขาไปข้างหน้าเบาๆให้เข่าเกือบจะเหยียดตรงจากนั้นค่อยๆผ่อนขาลงจน กลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น ข้อเข่าเริ่มจากมุมงอ 90 องศา – 5 องศา (โดย มุม 0 องศาคือ มุมที่เข่าเหยียดตรง)
4. ระดับความหนักที่ใช้จะเท่ากับ 60% MVIC
5. ทำจำนวน 15 ครั้งต่อเซ็ต ทำ 3 เซ็ต พักระหว่างเซ็ต 1 นาที
6. ทำการฝึก 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 3.11 การฝึกของกลุ่มที่ใช้แรงต้าน(R)

<u>วิธีการฝึกของกลุ่ม combine NMES and resistance training group</u> (RNMES)

1. วิธีการเตรียมตัวเหมือนกลุ่ม NMES training group และ resistance training group
2. ความหนักของแรงต้านที่ใช้จะเท่ากับ 60% MVIC
3. ขณะทำการฝึกแบบ resistance training จะทำการกระตุ้นไฟฟ้าที่กล้ามเนื้อ Rectus Femorisและ Vastus Medialis ด้วยโดยขณะที่กระแสไฟฟ้าเข้าก็ให้ออกแรงเตะขาให้เหยียดตรง และผ่อนแรงลงเมื่อกระแสไฟฟ้าหยุดไหล
4. ทำจำนวน 15 ครั้งต่อเซ็ต ทำ 3 เซ็ต พักระหว่างเซ็ต 1 นาที
5. ทำการฝึก 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

รูปที่ 3.12 วิธีการฝึกของกลุ่ม RNMES

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ศึกษารายละเอียด วิธีการใช้ และวัดความเที่ยงตรงของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
2. ติดต่ออาสาสมัคร เข้าร่วมการศึกษาวิจัยจากนักศึกษามหาวิทยาลัยต่างๆ
3. ใช้แบบสอบถามเพื่อคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยตามเกณฑ์การคัดเลือก
4. อธิบายวัตถุประสงค์ ประโยชน์ และขั้นตอนวิธีการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบโดยละเอียด และให้ผู้ที่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยลงชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
5. ซักประวัติและเก็บข้อมูลพื้นฐานต่างๆบันทึกลงในแบบบันทึกข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมวิจัย
6. ทำการสุ่มอาสาสมัครออกเป็น 4 กลุ่ม โดยการจับสลาก
7. ทำการตรวจวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ก่อนการฝึกทั้ง 4 กลุ่มตัวอย่าง
8. ทำการตรวจวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ หลังการฝึกทั้ง 4 กลุ่มตัวอย่าง
9. บันทึกความรู้สึกขณะถูกกระตุ้นว่ามีอาการ แสบ/คันใต้ขั้ว ร้อนใต้ขั้ว เจ็บ หรืออาการอื่นๆที่เปลี่ยนแปลงระหว่างสัปดาห์แรกและสัปดาห์สุดท้ายอย่างไร
10. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล
11. สรุปผลการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้คอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 15 ใช้สถิติเชิงพรรณนา ในการบรรยายลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร แสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย(mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(standard deviation) ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk Test เนื่องจากมีจำนวนประชากรประมาณ 50 คน เปรียบเทียบความแตกต่างของผลการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าแบบ isometric strength test และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าแบบ isokinetic strength test (concentric contraction/eccentric contraction) ที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที ทั้งก่อนและหลังการฝึก และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้ Univariate ANOVA : Multiple Comparisons with Bonferroni และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึกภายในกลุ่มเดียวกันใช้ paired samples t-test ทั้งนี้ได้กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า 0.05 ($p<0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยในครั้งนี้ได้มาจากการติดประกาศที่หอพักนิสิตภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การติดประกาศที่ห้องออกกำลังกายของสำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา การติดประกาศในลิฟท์และกระดานประชาสัมพันธ์ภายในอาคารแพทยพัฒน์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ มีผู้สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัยทั้งสิ้น 126 คน ภายหลังสอบถามข้อมูลทางโทรศัพท์มีผู้ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้า 83 คน ทำการนัดหมายเพื่อซักประวัติและเก็บข้อมูลเบื้องต้น เมื่ออาสาสมัครมาตามการนัดหมายเต็มจำนวนประชากรที่กำหนดไว้ในงานวิจัยคือกลุ่มละ 11 คนรวม 44 คน และเพื่อป้องกันการสูญหายของประชากรจึงรับผู้เข้าร่วมการวิจัยเพิ่มอีกกลุ่มละ 10%รวมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 52 คน อาสาสมัครแต่ละคนจะถูกทำการชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง คำนวณ BMI และทำแบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง ก่อนจะถูกสุ่มเพื่อแยกกลุ่มโดยการจับสลากที่มีจำนวน 52 ใบ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาเพียงอย่างเดียว(NMES) กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(RNMES) กลุ่มที่ได้รับการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียว(R)และกลุ่มควบคุม(C) กลุ่มละ 13 ใบจำนวน 4 กลุ่มด้วยกัน ในระหว่างโปรแกรมการฝึกอาสาสมัครในกลุ่ม NMES และ RNMES ได้ถอนตัวออกจากการวิจัยไปกลุ่มละ 1 คนหนึ่งอาทิตย์ก่อนเสร็จสิ้นโปรแกรมการฝึกเนื่องจากน้ำท่วมบ้านที่ต่างจังหวัดและไม่สามารถกลับมาเข้าร่วมการฝึกภายในระยะเวลาที่กำหนด อาสาสมัครในกลุ่มควบคุม 2 คนถอนตัวออกไปก่อนการวัดครั้งสุดท้ายเนื่องจากติดภารกิจส่วนตัวทำให้เหลืออาสาสมัครที่เข้าร่วมงานวิจัยทั้งสิ้น 48 คน ทำการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าของอาสาสมัครในกลุ่ม NMES RNMES และ R สัปดาห์ละ 3 ครั้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยจะใช้ขาข้างที่ไม่ถนัดในการฝึกและพักระหว่างทำการฝึกแต่ละครั้งอย่างน้อย 1 วัน เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าที่ใช้ในโปรแกรมการฝึก CefarCompex Rehab400 รูปแบบคลื่นที่ใช้ symmetrical biphasic square (rectangular) waveform frequency 75 Hz. กระตุ้น 4 วินาที พัก 19 วินาที เป็นระยะเวลา17 นาที โดยวางขั้วกระตุ้นไว้บริเวณกล้ามเนื้อ Vastus Medialis กล้ามเนื้อ Vastus Lateralis กล้ามเนื้อ Adductor Longus และบริเวณกล้ามเนื้อ Rectus Femoris โปรแกรมการเพิ่มความแข็งแรงโดยใช้แรงต้านจะใช้เครื่อง cybex 6000 ใช้แรงต้านแบบ isokinetic ที่ความหนัก 60%MVIC จำนวน 15 ครั้ง 3 ชุด ทำการทดสอบความสามารถของกล้ามเนื้อขา(Thigh Muscle Performance) โดยใช้ Cybex 6000 (isokinetic dynamometer) ในการวัดค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้าง (Maximum Voluntary Isometric Contraction) ที่มุมของข้อเข่างอ 60 องศา และวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทั้งที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออก

(concentric/eccentric isokinetic contraction) ในช่วงงอเข่า 90 องศาถึงช่วงเหยียดเข่า 15 องศา โดยวัดที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศา/วินาทีและ 120 องศา/วินาที ก่อนการฝึก และหลังการฝึก โดยก่อนการทดสอบแต่ละครั้งอาสาสมัครจะทำการยืดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ด้านหลัง กล้ามเนื้อน่อง และปั่นจักรยานแบบไม่มีแรงต้านเป็นระยะเวลา 3 นาที โดยอาสาสมัครจะได้ทำความคุ้นเคยกับเครื่องมือ isokinetic dynamometer(Cybex 6000) และโปรแกรมที่ตั้งไว้ก่อนทำการทดสอบจริง

ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร

ลักษณะทั่วไปของอาสาสมัครแต่ละกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าร่วมงานวิจัย จำนวนทั้งสิ้นจำนวน 48 คน ถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย จากการทดสอบทางสถิติของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าดัชนีมวลกาย ค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้าง(Maximum Voluntary Isometric Contraction) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทั้งที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออก (concentric /eccentric isokinetic contraction) ที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที พบว่าทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันและมีการแจกแจงแบบปกติ($p>0.05$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครแต่ละกลุ่มจำนวน 48 คน

Variables	group (Mean ± SD)			
	C(n=11)	NMES(n=12)	RNMES(n=12)	R(n=13)
Age (years)	19.90 ± 2.601	21.92 ± 2.429	20.83 ± 1.528	20.85 ± 2.340
Weight (kg.)	59.86 ± 6.357	60.57 ± 6.234	59.93 ± 5.452	59.26 ± 5.883
Height (cm.)	172.20 ± 6.713	167.50 ± 4.583	171.17 ± 7.383	170.08 ± 4.838
BMI (kg/m^2)	20.20 ±1.965	21.55 ±1.654	20.44 ± 1.098	20.48 ± 1.830
Maximum Voluntary Isometric Contraction - pre test (Nm./kg)				
quadriceps muscle	2.45 ± 0. 417	2.52 ± 0.445	2.61 ± 0.403	2.17 ± 0.596
hamstrings muscle	1.24 ± 0. 167	1.33 ± 0.237	1.33 ± 0.271	1.12 ± 0.373
30 degrees/second (quadriceps muscle) - pre test (Nm./kg)				
concentric contraction	1.66 ±0.697	2.19 ± 0.445	1.86 ± 0.658	1.82 ± 0.618
eccentric contraction	2.15 ± 0.462	2.20 ± 0.722	2.41 ± 0.931	1.91 ± 0.716
120 degrees/second (quadriceps muscle) – pre test (Nm./kg)				
concentric contraction	1.24 ± 0.558	1.50 ± 0.357	1.42 ± 0.438	1.22 ± 0.473
eccentric contraction	1.79 ± 0.316	1.77 ± 0.537	2.07 ± 0.717	1.90 ± 0.536

* ทดสอบความสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$

จากตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ย (mean) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) ดังนี้

อายุเฉลี่ยของอาสาสมัครในแต่ละกลุ่มอยู่ที่ 19.90, 21.92, 20.83 และ 20.85 ปี ของกลุ่ม C NMES RNMES และ R ตามลำดับ น้ำหนักตัวเฉลี่ยของกลุ่ม C อยู่ที่ 59.86 กิโลกรัม กลุ่ม NMES 60.57 กิโลกรัม กลุ่ม RNMES 59.93 กิโลกรัม และกลุ่ม R 59.26 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มเท่ากับ 172.20 ซม. 167.50 ซม. 171.17 ซม. และ 170.08 ซม. BMI เฉลี่ยของแต่ละกลุ่มเท่ากับ 20.02, 21.55, 20.44 และ 20.48 กิโลกรัม/เมตร^2 ตามลำดับ

ในส่วนของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก่อนทำการฝึกในแต่ละกลุ่มจะมีค่าดังต่อไปนี้ ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขณะเกร็งค้าง(Maximum Voluntary Isometric Contraction) ของแต่ละกลุ่มเท่ากับ 2.45, 2.52, 2.61 และ 2.17 นิวตันเมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้องอเข่าขณะเกร็งค้างของกลุ่ม C NMES RNMES และ R เท่ากับ1.24, 1.33, 1.33 และ 1.12 นิวตันเมตร/กิโลกรัม

ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีของอาสาสมัครกลุ่ม C NMES RNMES และ R อยู่ที่ 1.66, 2.19, 1.86 และ 1.82 นิวตันเมตร/กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวแบบยืดยาวออกอยู่ที่ 2.15, 2.20, 2.41 และ 1.91 นิวตันเมตร/กิโลกรัม

ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาทีของแต่ละกลุ่มเท่ากับ 1.24, 1.50, 1.42, 1.22 นิวตันเมตร/กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวแบบยืดยาวออกของกลุ่ม C NMES RNMES และR เท่ากับ 1.79, 1.77, 2.07 และ 1.90 นิวตันเมตร/กิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งทุกตัวแปรข้างต้นนี้เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ($p<0.05$) พบว่าแต่ละตัวแปรมีการแจกแจงแบบปกติและไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม ($p >0.05$)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้าง(Maximum Voluntary Isometric Contraction) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า ทั้งที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออก(concentric/eccentric isokinetic contraction)ที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที ระหว่างก่อนและหลังการฝึกภายในกลุ่มเดียวกันและระหว่างกลุ่ม แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา ก่อนและหลังโปรแกรมการฝึกของอาสาสมัครแต่ละกลุ่ม

Variables	Group (Mean ± SD)			
	C	NMES	RNMES	R
Maximum Voluntary Isometric Contraction(Nm./kg)				
quadriceps m. pre test	2.45 ± 0. 417	2.52 ± 0.445	2.61 ± 0.403	2.17 ± 0.596
post test	2.51 ± 0.429	3.07 ±0.511*†	3.17 ±0.470*†	2.75±0.388*†
hamstrings m. pre test	1.24 ± 0. 167	1.33 ± 0.237	1.33 ± 0.271	1.12 ± 0.373
post test	1.25 ± 0.182	1.44 ± 0.264	1.44 ± 0.307	1.33± 0.177*
30 degrees/second isokinetic contraction –Quadriceps muscle (Nm./kg)				
concentric contraction pre test	1.66 ±0.697	2.19 ± 0.445	1.86 ± 0.658	1.82 ± 0.618
post test	1.85 ± 0.760	2.67± 0.495*	2.70±0.408*†	2.22± 0.647*
eccentric contraction pre test	2.15 ± 0.462	2.20 ± 0.722	2.41 ± 0.931	1.91 ± 0.716
post test	2.42 ± 0.605	3.19± 0.906*	2.81 ± 0.719	2.75± 0.726*
120 degrees/second isokinetic contraction – Quadriceps muscle (Nm./kg)				
concentric contraction pre test	1.24 ± 0.558	1.50 ± 0.357	1.42 ± 0.438	1.22 ± 0.473
post test	1.29 ± 0.176	1.95±0.343*†	2.19±0.326*†	1.97±0.424*†
eccentric contraction pre test	1.79 ± 0.316	1.77 ± 0.537	2.07 ± 0.717	1.90 ± 0.536
post test	2.16± 0.535*	2.39± 0.664*	2.68± 0.678*	2.61± 0.567*

* มีความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังทำการทดสอบภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

† มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม (C) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

§ มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ได้รับโปรแกรมการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา ก่อนและหลังทำการฝึกของอาสาสมัครแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ย(mean) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD)

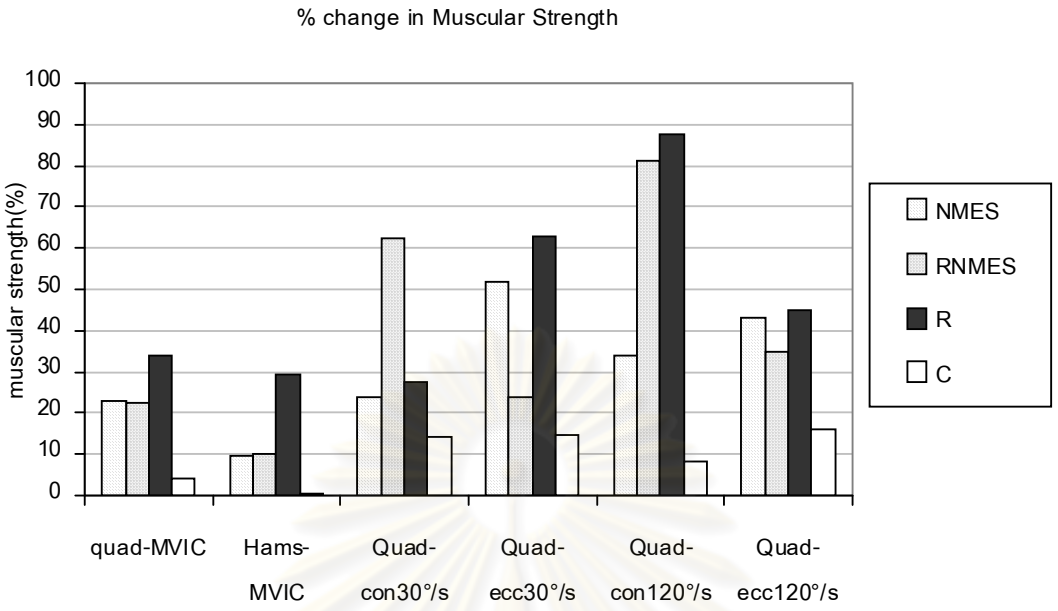
พบว่าค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขณะเกร็งค้างภายหลังการฝึกในกลุ่ม NMES RNMES และ R มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเข้าโปรแกรมการฝึกอย่างมีนัยสำคัญ โดยในกลุ่ม NMES มีค่า 3.07 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม กลุ่ม RNMES 3.17 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม และกลุ่ม R 2.75 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม โดยค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นทั้งสามกลุ่มนี้มีความแตกต่างกับกลุ่ม C ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 2.51 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม NMES RNMES และ R ด้วยกัน ค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้องอเข่าในกลุ่ม C NMES RNMES และ R เท่ากับ 1.25, 1.44, 1.44 และ 1.33 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม โดยเฉพาะในกลุ่ม R ที่มีค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที ผลการฝึกของกลุ่ม C NMES RNMES และ R มีค่าเท่ากับ 1.85, 2.67, 2.70 และ 2.22 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้งกลุ่ม NMES RNMES และ R มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญ และค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อของกลุ่ม RNMES ยังแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่าทั้ง 4 กลุ่มมีค่าดังนี้ 2.42, 3.19, 2.81 และ 2.75 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม แต่เฉพาะในกลุ่ม NMES และ R เท่านั้นที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนและหลังเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก

สำหรับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่ทำงานแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที ภายหลังการฝึกทั้งสามกลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้นชัดเจนและแตกต่างกับกลุ่ม C อย่างมีนัยสำคัญโดยกลุ่ม NMES RNMES และ R มีค่าเท่ากับ 1.95, 2.19 และ 1.97 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัมตามลำดับ กลุ่ม C เท่ากับ 1.29 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม โดยค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึก ส่วนความแข็งแรงของกล้ามเนื้องอเข่าภายหลังทำการฝึกในทุกกลุ่มคือทั้งกลุ่ม C NMES RNMES และ R มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.16, 2.39, 2.68 และ 2.61 นิวตันเมตรต่อกิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อนำค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้างและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที ของอาสาสมัครแต่ละคนมาคำนวณการเปลี่ยนแปลงระหว่างก่อนและหลังการฝึกเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม ให้ผลดังแผนภูมิที่ 4.1

แผนภูมิที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เปลี่ยนแปลงระหว่างก่อนและหลังการฝึก



จากแผนภูมิที่ 4.1 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นภายหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกในรูปร้อยละ โดยค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขณะเกร็งค้าง ในกลุ่ม NMES มีค่าเพิ่มขึ้น 22.97% กลุ่ม RNMES เพิ่มขึ้น 22.48% กลุ่ม R เพิ่มขึ้น 33.74% เมื่อเทียบกับก่อนเข้าโปรแกรมการฝึก ซึ่งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขณะเกร็งค้างที่เพิ่มขึ้นในสามกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มแต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่ม C ที่เพิ่มขึ้น 4.03% ค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้องอเข่าขณะเกร็งค้างกลุ่ม NMES เพิ่มขึ้น 9.32%, RNMES 9.91%, R 29.42% และกลุ่ม C เพิ่มขึ้น 0.3% และเฉพาะในกลุ่ม R ที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้องอเข่าขณะเกร็งค้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที มีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงกล้ามเนื้อในกลุ่ม NMES 23.82% กลุ่ม RNMES 62.31% กลุ่ม R 27.68% และกลุ่ม C 16.73% เมื่อเทียบกับก่อนเข้าโปรแกรมโดยกลุ่ม RNMES ให้ผลในการเพิ่มกำลังกล้ามเนื้อสูงกว่ากลุ่มอื่น ผลของการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม30 องศาต่อวินาที มีเพียงกลุ่ม NMES ที่เพิ่มขึ้น 51.74% และกลุ่ม R ที่เพิ่มขึ้น 62.76% เท่านั้นที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ซึ่งกลุ่ม RNMES เพิ่มขึ้นเพียง 23.75%และกลุ่ม C เพิ่มขึ้นเพียง 16.33%

สำหรับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทีมีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นที ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที ในกลุ่มNMES เพิมขึ้น 33.74% กลุ่มRNMES เพิมขึ้น 81.37% กลุ่มR เพิมขึ้น 87.84% ซึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทีเพิมขึ้นในสามกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มแต่แตกต่างกับกลุ่ม C ทีเพิมขึ้น 8.09%อย่างมีนัยสำคัญและค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าทีมีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออกทีความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที ในกลุ่ม NMES เพิมขึ้น 43.22% กลุ่ม RNMES เพิมขึ้น 34.97% กลุ่ม R เพิมขึ้น 45.08% และกลุ่ม C เพิมขึ้น 18.37% ซึงค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนี้เมือเทียบระหว่างก่อนและหลังการฝึกพบว่ามีการเพิมขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสีกลุ่ม

ความรู้สึกของอาสาสมัครขณะทำการกระตุ้นไฟฟ้า

ความรู้สึกขณะทำการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า ในช่วงสัปดาห์แรกและสัปดาห์สุดท้ายก่อนเสร็จสิ้นการฝึกของอาสาสมัครแต่ละคนในกลุ่ม NMES และ RNMES บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีดังนี้

ตารางที 4.3 ความรู้สึกขณะถูกกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า

กลุ่ม	เจ็บ (คน)		แสบ/ คันใต้ขัว (คน)		ร้อนใต้ขัว (คน)		อาการอืน ๆ			
							จักจี้/ตกใจ(คน)		หนัก/บีบ/กด(คน)	
	1st wk.	4th wk.	1st wk.	4th wk.	1st wk.	4th wk.	1st wk.	4th wk.	1st wk.	4th wk.
NMES	1	0	0	1	0	1	12	3	9	6
RNMES	0	0	0	1	0	0	12	4	8	1

จากตารางที 4.3 ความรู้สึกขณะถูกกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในสัปดาห์แรกของกลุ่ม NMES มีอาสาสมัคร รู้สึกเจ็บ 1 คน รู้สึกจักจี้/ตกใจ 12 คน และรู้สึกหนัก/บีบ/กด 9 คน บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ในสัปดาห์สุดท้ายมีอาสาสมัครทีรู้สึกแสบ/คันใต้ขัว 1 คน ร้อนใต้ขั้ว 1 คน จักจี้/ตกใจ 3 คน คน รู้สึกหนัก/บีบ/กด 6 คน

ความรู้สึกของอาสาสมัครกลุ่ม RNMES ขณะถูกกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในสัปดาห์แรก พบว่ารู้สึก รู้สึกจักจี้/ตกใจ 12 คน และรู้สึกหนัก/บีบ/กด 8 คน และในส่วนของสัปดาห์สุดท้าย มีอาสาสมัครที่รู้สึกแสบ/คันใต้ขั้ว 1 คน รู้สึกจักจี้/ตกใจ 4 คน และรู้สึกหนัก/บีบ/กด 1 คน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในมนุษย์ เพื่อศึกษาผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าต่อการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเมื่อเทียบกับการฝึกโดยใช้แรงต้านที่นิยมกันในปัจจุบัน เนื่องจากการกระตุ้นไฟฟ้าก็สามารถใช้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในคนปกติยังมีน้อย และส่วนใหญ่มักเทียบผลกับกลุ่มควบคุมซึ่งไม่มีกิจกรรมใดเลยหรือเทียบผลระหว่างก่อนฝึกกับหลังฝึกเท่านั้น สำหรับโปรแกรมการฝึกโดยใช้แรงต้านที่ใช้ในครั้งนี้จะใช้ความหนักของการออกกำลังกายปานกลางที่ 60% ของน้ำหนักที่มากที่สุดที่อาสาสมัครสามารถออกแรงได้(60%MVIC) ในส่วนของกลุ่มที่ใช้การกระตุ้นไฟฟ้า รูปแบบคลื่นไฟฟ้าที่ใช้คือ symmetrical biphasic square (rectangular) waveform frequency 75 Hz. อาสาสมัครที่อยู่ในกลุ่มที่ได้รับโปรแกรมการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อจะทำการฝึก 3 ครั้งใน 1 สัปดาห์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และจะทำการวัดค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อภายใน 2-3 วันหลังจากการฝึกครั้งสุดท้ายเพื่อให้กล้ามเนื้อได้พักเต็มที่ก่อนจะทำการวัดผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร

จากการทดสอบทางสถิติ ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าดัชนีมวลกาย ค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้าง (MVIC) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออก (concentric /eccentric isokinetic contraction) ที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที แสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย(mean) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD) ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk Test ได้ผลดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่าอาสาสมัครในกลุ่ม C NMES RNMES และ R มีค่าเฉลี่ยของอายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง ค่า BMI รวมถึงค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้าง ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและ 120 องศาต่อวินาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีการแจกแจงแบบปกติในแต่ละตัวแปรก่อนเข้าร่วมการฝึก($p<0.05$)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

ผลของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อระหว่างก่อนและหลังการฝึก ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 เห็นได้ว่ากลุ่ม NMES RNMES และ R ทั้งสามกลุ่มสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขณะเกร็งค้างได้ไม่แตกต่างกัน($p<0.05$) แต่เฉพาะกลุ่ม R ที่สามารถทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อฝั่งตรงข้ามคือกล้ามเนื้องอเข่า(hamstrings muscle – maximum voluntary isometric contraction) มีค่าที่สูงขึ้นภายหลังทำการฝึกในกลุ่มเดียวกัน ($p<0.05$)ในขณะที่กลุ่มอื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม($p>0.05$)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าในกลุ่ม NMES RNMES และR สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ เมื่อเทียบกับก่อนเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก($p<0.05$) โดยไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่ได้รับโปรแกรมการฝึก($p>0.05$) แต่กลุ่ม RNMES จะมีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงกล้ามเนื้อดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างชัดเจนกว่ากลุ่มอื่นๆ($p<0.05$) ในส่วนของกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบยืดยาวออกจะมีแค่กลุ่ม NMES และกลุ่ม R เท่านั้นที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อได้($p<0.05$)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที สำหรับกลุ่ม NMES RNMES และ R สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนเข้ารับการฝึก($p<0.05$) แต่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 กลุ่มนี้ไม่มีแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม($p>0.05$) ในส่วนของกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบยืดยาวออก กลุ่ม NMES RNMES และ R สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้เมื่อเทียบกับก่อนการฝึกในกลุ่มเดียวกัน แต่กลุ่ม C ก็สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขึ้นได้เองเช่นกัน($p<0.05$)

ความรู้สึกของอาสาสมัครขณะทำการกระตุ้นไฟฟ้า

เนื่องจากอาสาสมัครในกลุ่ม NMES RNMES ทุกคนไม่เคยได้รับการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้ามาก่อน ผู้วิจัยจะทำการซักถามอาการและความรู้สึกระหว่างทำการกระตุ้นและหลังทำการกระตุ้นทุกครั้งตลอด 12 ครั้งเพื่อความปลอดภัย เนื่องจากการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าอาจทำให้เกิดการระคายเคืองของผิวหนังที่ได้รับการกระตุ้นคืออาการเจ็บที่ใต้ข้วหรืออาการแสบร้อนที่ใต้ขั้วได้ และอาสาสมัครแต่ละคนจะได้ทำแบบสอบถามความรู้สึกของการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าหนึ่งครั้งภายในสัปดาห์แรกและอีกหนึ่งครั้งในสัปดาห์สุดท้ายของการวิจัย

จากการสอบถามความรู้สึกขณะถูกกระตุ้นในสัปดาห์แรกอาสาสมัครส่วนใหญ่จะรู้สึกจักจี้/ตกใจเมื่อกระแสไฟฟ้าเริมเข้ามาที่ข้วกระตุ้น ทั้งในกลุ่ม NMES และ กลุ่ม R กลุ่มละ 12 คน กลุ่ม NMES ที่รู้สึกหนัก/บีบ/กดที่กล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้น มี 9 คน และเจ็บใต้ข้ว 1 คน ในสัปดาห์สุดท้ายยังมีอาสาสมัครที่รู้สึกจักจี้/ตกใจเมื่อไฟฟ้าเริมเข้าไปที่ข้วอยู่ 3 คน รู้สึก หนัก/บีบ/กดบริเวณกล้ามเนื้อ 6 คน ร้อนและแสบ/คันใต้ข้วอย่างละ 1 คน อาสาสมัครกลุ่ม RNMES ที่รู้สึก หนัก/บีบ/กด มี 8 คนและในสัปดาห์สุดท้ายอาสาสมัครที่รู้สึกจักจี้/ตกใจเมื่อไฟฟ้าเริมเข้ามี 4 คน รู้สึก หนัก/บีบ/กด มี 1 คน และแสบ/คันใต้ขั้วมี 1 คน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อภิปรายผล

ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร

จากข้อมูลอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง BMI และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในลักษณะต่างๆ พบว่าทุกตัวแปรของแต่ละกลุ่มมีการแจกแจงปกติและไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าวิธีที่ใช้ทำการสุ่มเพื่อแบ่งกลุ่ม สามารถกระจายความสามารถของอาสาสมัครได้ใกล้เคียงกัน และเมื่อทดสอบทางสถิติก็พบว่าค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันระหว่างอาสาสมัครในแต่ละกลุ่ม แสดงว่าทั้ง 4 กลุ่มคือ C NMES RNMES และ R มีค่าเริ่มต้นอยู่ในเกณฑ์เดียวกันสามารถใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกได้ สำหรับอาสาสมัครจำนวน 48 คนนี้ ทุกคนมาเข้าร่วมในงานวิจัยเป็นประจำอย่างต่อเนื่องและตรงตามตารางเวลานัดหมาย ซึ่งจากข้อมูลในแบบสอบถามเพื่อการคัดกรองพบว่าอาสาสมัครแต่ละคนมีระดับกิจกรรมที่ใกล้เคียงกันแต่จากการสอบถามพูดคุยพบว่ามีความแตกต่างกันในส่วนของกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

จากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้(ตารางที่ 4.2 และแผนภูมิที่ 4.1) พบว่าโปรแกรมที่ใช้ในการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้งสามกลุ่มคือ NMES RNMES และกลุ่ม R สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อนเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก

โดยในกลุ่ม R สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ในทุกตัวแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้าง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาทีและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที เนื่องจากโปรแกรมการฝึกที่ใช้ในกลุ่ม resistance training หรือกลุ่ม R นี้จะเป็นแบบ isokinetic exercise ที่ทำให้เกิดการออกแรงต้านตลอดช่วงการเคลื่อนไหว ทั้งในส่วนของ concentric/eccentric contraction ความเร็วที่ใช้ในการฝึกจะเท่ากับ 120 องศา/วินาที เพื่อให้อาสาสมัครรู้สึกเหมือนกับใช้เครื่องออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านทั่วไป เมื่ออาสาสมัครออกแรงเหยียดเข่าต้านน้ำหนักจนเต็มช่วงการเคลื่อนไหวแล้วอาสาสมัครออกแรงลากน้ำหนักที่ต้านกลับสู่ท่าเริ่มต้นอีกด้วย ทำให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในทุกตัวแปรอย่างชัดเจน(2,4,20)

ค่าความแข็งแรงกล้ามเนื้อในกลุ่ม NMES และ RNMES ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เกิดจากการกระตุ้นไฟฟ้านั้นคล้ายคลึงกับการหดตัวที่เกิดจาก voluntary exercise และการกระตุ้นไฟฟ้าที่เน้นเฉพาะเจาะจงบริเวณ neuromuscular junction หรือ motor unit ของกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อให้ทำงาน ส่งผลให้กล้ามเนื้อที่ได้รับการกระตุ้นมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น(21,27,29)

แต่ทว่าในส่วนค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที ในกลุ่ม RNMES กลับไม่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับก่อนเข้าร่วมการฝึก ทั้งที่ใช้การกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านนั้น เกิดจากอาสาสมัครมีความรู้สึกว่าเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าช่วยในการเคลื่อนไหว ซึ่งขณะออกแรงเหยียดเข่าต้านน้ำหนักนั้นอาสาสมัครจะรู้สึกว่าเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าทำหน้าที่ช่วยในการเหยียดขาต้านน้ำหนักด้วยทำให้อาสาสมัครออกแรงน้อยลงแต่สามารถยกน้ำหนักได้ตามที่ตั้งไว้ ดังนั้นเมื่อเหยียดเข่าสุดแล้วอาสาสมัครจึงปล่อยให้ไฟฟ้าคลายตัวเองโดยไม่ได้ช่วยออกแรงประคองน้ำหนักของขาเพื่อกลับสู่ท่าเริ่มต้นจึงทำให้กลุ่ม RNMES ไม่มีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในรูปแบบนี้มากนัก ซึ่งแตกต่างจากกลุ่ม NMES ที่อาสาสมัครจะออกแรงประคองขาของตัวเองขณะไฟฟ้าลดระดับความเข้มในช่วงของการเหยียดเข่าสุดถึงท่าเริ่มต้นลงเนื่องจากกลัวเจ็บ

สำหรับค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาทีที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มควบคุม(C) มาจากอาสาสมัครมีกิจกรรมที่ให้ผลคล้ายการออกกำลังกาย เช่นการเดินไปยังตึกเรียนเพื่อเรียนวิชาต่างๆ กิจกรรมในช่วงเย็นเช่นเดินไปสยามหรือเล่นปิงปองระหว่างรอเรียน และความคุ้นเคยต่ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Cybex 6000) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น แต่หากดูจากค่าที่เพิ่มขึ้นแล้วยังคงน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรแกรมการฝึกอยู่มาก (1,2,5,25)

การจัดท่านั่งและตำแหน่งองศาของการวัดความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าและงอเข่าขณะเกร็งค้าง จะวัดที่มุมงอเข่า 60 องศาและหลังทำมุม 100 องศา กับเบาะนั่ง เนื่องจากเป็นมุมที่กล้ามเนื้อเหยียดเข่าสามารถสร้างแรงได้มากที่สุด(29,31,32) ซึ่งการวิจัยนี้จะวัดทั้งกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเหยียดเข่าและงอเข่าเนื่องจากมีการศึกษาในอดีตพบว่ากล้ามเนื้อในฝั่งตรงข้ามมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย และในกล้ามเนื้อในแต่ละมัดหรือแต่ละกลุ่มก็มีการทำงานทั้งแบบหดสั้นและแบบยืดยาวออกด้วยกันทั้งสิ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้งในส่วนที่มีการหดตัวแบบหดสั้น(concentric contraction)และในส่วนที่มีการหดตัวแบบยืดยาว

ออก(eccentric contraction)ของกล้ามเนื้อเป้าหมาย/กล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึก ส่วนการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ความเร็ว 30 องศา/วินาที และ 120 องศาต่อวินาที เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและกำลังของกล้ามเนื้อสำหรับใช้ในการประเมินผลของการฝึกในรูปแบบต่างๆ(2,4,5)

การกระตุ้นไฟฟ้าสามารถใช้เพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อทั้งในเพศชายและเพศหญิงได้ไม่แตกต่างกัน แต่ทว่าเพศหญิงจะรับรู้ความรู้สึกเจ็บปวดได้ง่ายกว่างานวิจัยในครั้งนี้จึงใช้อาสาสมัครเป็นเพศชายเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดจากการกระตุ้นไฟฟ้า(28) ซึ่งก่อนเข้าร่วมงานวิจัยนี้นอกจากอาสาสมัครจะต้องชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง และค่าดรรชนีมวลกายเพื่อให้ตรงตามเกณฑ์การคัดเข้าแล้ว อาสาสมัครยังต้องทำแบบสอบถามเพื่อการคัดกรองอีกครั้งหนึ่งทั้งนี้เพื่อประเมินระดับกิจกรรมในชีวิตประจำวันให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ทั้งเรื่องของการบาดเจ็บ การออกกำลังกาย ซึ่งหากเคยเกิดการบาดเจ็บหรือมีการออกกำลังกายมากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ครั้งละ 30นาทีขึ้นไปอย่างสม่ำเสมอแล้วนั้น จะถูกคัดออกทันที สำหรับในกลุ่มที่ได้รับโปรแกรมการฝึกนั้นจะใช้ขาข้างที่ไม่ถนัดในการทดสอบเพื่อให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด นอกจากใช้การซักถามแล้วจะทำการทดสอบโดยให้ตั้งท่าเตะลูกบอล ใช้เท้าวาดเลขแปด ใช้เท้าหยิบของจากพื้นเป็นต้น

การทดสอบความเข้มของกระแสไฟฟ้าและการฝึกโดยใช้การกระตุ้นไฟฟ้า จะติดขั้วกระตุ้นไฟฟ้าบริเวณกล้ามเนื้อ Vastus Medialis กล้ามเนื้อ Vastus Lateralis กล้ามเนื้อ Adductor Longus และบริเวณกล้ามเนื้อ Rectus Femoris (CefarCompex Rehab400 manual) รูปแบบของคลื่นที่ใช้คือ symmetrical biphasic square (rectangular) waveform frequency 75 Hz. กระตุ้น 4 วินาที พัก 19 วินาที เป็นระยะเวลา17 นาที จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าควรใช้กระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่ 50 - 80 เฮิรตซ์เพื่อให้ได้การหดตัวเต็มที่ และช่วงกระตุ้นต่อช่วงพักควรให้อยู่ในช่วง 1:3-5 เพื่อป้องกันไม่ให้กล้ามเนื้อล้าเร็ว สำหรับความเข้ม(intensity)ของกระแสไฟฟ้าต้องทำการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกล้ามเนื้อหดตัวแบบเกร็งค้าง โดยหากใช้ความหนักในช่วง 25%-90%MVC นี้จะสามารถเพิ่มความสามารถของกล้ามเนื้อได้(10,11,26,30,32,34) ซึ่งผู้วิจัยใช้ความหนักที่ 60%MVIC เพราะต้องการเทียบกับผลของการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านที่ความหนักระดับปานกลาง(50-70%) เพื่อให้สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกโดยการกระตุ้นไฟฟ้าในแต่ละการศึกษามีด้วยกันหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการวัดผลก่อนและหลังในการกระตุ้นครั้งเดียว และมีงานวิจัยจำนวนไม่น้อยที่ใช้ระยะเวลา 2 สัปดาห์ในการประเมินผล แต่งานวิจัยส่วนใหญ่มักใช้ 4 สัปดาห์

ผู้วิจัยจึงกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกเป็นจำนวน 4 สัปดาห์เพื่อให้สามารถเทียบผลกับการฝึกโดยใช้แรงต้านได้อย่างชัดเจน(29,32,33)

กลุ่มที่ได้รับการฝึกโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียว(R) จะได้รับแรงต้านที่ระดับความหนัก 60%MVIC ตลอดทั้งโปรแกรมการฝึก ทั้งนี้เพื่อให้สามารถควบคุมระดับความหนักและงานที่เกิดจากการออกกำลังกายให้เท่ากับกลุ่มอื่นๆ อาสาสมัครในกลุ่มนี้จะได้รับการฝึกแบบ isokinetic exercise ซึ่งในปัจจุบันถือว่าเป็นการฝึกที่ดีที่สุดและปลอดภัยที่สุดเนื่องจากแรงต้านจะปรับเปลี่ยนตามความสามารถของกล้ามเนื้อในแต่ละช่วงของการเคลื่อนไหวเพื่อให้ได้ความเร็วในการเคลื่อนที่คงที่ ซึ่งอาสาสมัครในกลุ่มที่ต้องใช้แรงต้านในการฝึกนี้ จะได้รับคำแนะนำว่าให้เหยียดเข่าเต็มที่แล้วปล่อยตกตามธรรมชาติ ไม่ต้องลากขาหรือออกแรงเพื่อให้ขากลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิมก่อนทำการเหยียดเข่าในครั้งต่อไป ซึ่งความเร็วที่ใช้ในการฝึกนี้จะอยู่ที่ 120 องศา/วินาที เพื่อให้อาสาสมัครสามารถออกแรงได้เต็มที่ ด้วยความเร็วปกติใกล้เคียงกับเครื่องออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านทั่วไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความรู้สึกของอาสาสมัครขณะทำการกระตุ้นไฟฟ้า

อาการส่วนใหญ่ที่อาสาสมัครในกลุ่ม NMES และ RNMES รู้สึกเมื่อได้รับการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าของอาสาสมัครส่วนใหญ่จะเกิดจากไม่คุ้นเคยกับการกระตุ้นไฟฟ้า จึงรู้สึกตกใจหรือหนักกล้ามเนื้อเวลากระแสไฟผ่านเข้าไปยังข้วกระตุ้น แต่เมื่อกระตุ้นไปสักระยะหนึ่งอาการเหล่านี้จะลดลงแต่ก็มีอาสาสมัครบางส่วนที่ยังรู้สึกตกใจบ้างในระยะเริ่มต้นของการกระตุ้นไฟฟ้า แต่โดยรวมแล้วไม่มีปัญหาที่เกิดจากการกระตุ้นไฟฟ้าโดยตรงเช่นแสบหรือร้อนใต้ขั้วจนก่อให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อ

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าหากนำการกระตุ้นไฟฟ้ามาใช้ร่วมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านที่นิยมกันในปัจจุบัน สามารถช่วยในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งยังช่วยเสริมแรงของกล้ามเนื้อผู้ฝึกขณะยกน้ำหนักได้อีกด้วย และในส่วนของการใช้การกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวก็สามารถทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นได้เมื่อเทียบกับการออกกำลังกายระดับที่หนักปานกลางคือ 60%MVIC เนื่องจากกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เกิดจากการกระตุ้นไฟฟ้านั้นคล้ายคลึงกับการหดตัวที่เกิดจาก voluntary exercise และการฝึกโดยการกระตุ้นไฟฟ้าจะเน้นเฉพาะเจาะจงที่motor unit โดยตรงทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่า voluntary exercise (9,13,21,26) อีกทั้งยังสามารถใช้คงสภาพกล้ามเนื้อให้แข็งแรงอย่างสม่ำเสมอในกรณีที่ไม่สามารถใช้เครื่องออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านได้ เนื่องจากเครื่องกระตุ้นไฟฟ้ามีขนาดเล็กกระทัดรัดสามารถพกพาติดตัวได้ เป็นตัวช่วยสำหรับผู้ที่เริ่มต้นออกกำลังกายได้เป็นอย่างดี แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือหากต้องการเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อให้มากขึ้น ต้องใช้ความหนักของการออกกำลังกายที่สูงขึ้นก็ต้องเพิ่มความเข้มของกระแสไฟฟ้าให้มากยิ่งขึ้น อาจทำให้เกิดความรู้สึกปวดหนักกล้ามเนื้อ รู้สึกไม่สบายกล้ามเนื้อมากกว่าการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านอย่างที่ใช้ในปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้คือความหนักของการออกกำลังกายที่ใช้ทดสอบอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น อีกทั้งยังไม่สามารถจำกัดในเรื่องของกิจวัตรประจำวัน กิจกรรมต่างๆ และโภชนาการของอาสาสมัครแต่ละคนให้เหมือนกันได้ โดยอาสาสมัครส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มนิสิตนักศึกษาหลายระดับชั้น แต่บางส่วนก็เป็นกลุ่มทีทำงานแล้วจึงทำให้มีความหลากหลายของพื้นฐานการดำเนินชีวิตหรือกิจวัตรประจำวันของแต่ละคนซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยเช่นกัน อีกทั้งระยะเวลาทีอาสาสมัครแต่ละคนพักระหว่างครั้งของการฝึกในแต่ละสัปดาห์ต่างกันอาทิเช่น อาสาสมัครบางกลุ่มมาวันเว้นวัน บางกลุ่มวันเว้นสองวัน สลับกันกันตลอดระยะเวลาการฝึก การศึกษาในครั้งนี้เน้นที่ระดับความหนักของการออกกำลังกายเป็นหลัก คืออยู่ที 60%MVIC แต่ในกลุ่ม RNMES ผู้วิจัยไม่สามารถกำหนดระดับความหนักของแรงกระตุ้นไฟฟ้าและแรงทีอาสาสมัครออกร่วมกันแบบครึงๆได้ สามารถเพียงแค่ให้ได้ปริมาณงานตามระดับความหนักทีกำหนดเท่านั้น ทั้งการวัดในครั้งนี้เทียบระหว่างก่อนและหลังโปรแกรมการฝึกเท่านั้นทำให้ไม่สามารถระบุระยะเวลาทีสั้นทีสุดทีเครืองกระตุ้นไฟฟ้าสามารถเพิมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. เปรียบเทียบกับการออกกำลังกายในรูปแบบอืน หรือเปรียบเทียบผลกับระดับความหนักของการออกกำลังกายทีแตกต่างจากงานวิจัยในครั้งนี้
2. เปรียบเทียบการเพิมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในรูปแบบของคลืนไฟฟ้าให้หลากหลาย
3. กำหนดกลุ่มประชากรให้แคบลงเพือลดความหลากหลายของกิจวัตรประจำวันในอาสาสมัครแต่ละคน
4. วัดระดับความหนักของการฝึกแต่ละแบบทีใช้ร่วมกันให้ชัดเจน เพือให้สามารถวัดผลของการฝึกแต่ละแบบทีใช้ร่วมกันได้
5. ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นระยะๆเพือให้สามารถระบุระยะเวลาทีสั้นทีสุดทีกล้ามเนื้อเริมตอบสนองต่อการฝึกเพือเพิมความแข็งแรงของกลุ่มทีใช้เครืองกระตุ้นไฟฟ้า
6. เพิมจำนวนประชากรให้มากขึ้นเพือให้ผลที่ได้น่าเชือถือมากขึ้น
7. ศึกษาผลของการนำมาใช้ร่วมกับการฝึกหรือใช้ในการเล่นกีฬาจริง เนืองจากการวิจัยในครั้งนี้ทำการฝึกภายในห้องฝึกปฏิบัติการเท่านั้น

รายการอ้างอิง

(1.) พิชิต ภูติจันทร์. เวชศาสตร์การกีฬา. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2535.

(2.) Heyward, V.H. Advanced fitness assessment and exercise prescription. 3rd ed. United States of America : Human Kinetics, 1997.

(3.) Giam, C.K., and Teh, K.C. Sports medicine exercise and fitness. Singapore :Continental Press , 1988.

(4.) Swain, D.P., and Leutholtz BC. Exercise prescription: a case study approach to the ACSM guildlines. 2nd ed. United State of America : Library of Congress, 2007.

(5.) American College of Sports Medicine. ACSM's Resources for the Personal Trainer. 1st ed. United Stated of America : Lippincott Williams & Wilkins, 2005.

(6.) ขุนปทุม โรคประหาร. กายภายบำบัด. วิทยาสารเสนารักษ์2(2492): 27-39.

(7.) ประเดิม พืชผล. ผลงาน 10 ปีของกายภาพบำบัดในทหารบก. วิทยาสารเสนารักษ์ 10(2500): 299-303.

(8.) ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวิวัธน์. การรักษาด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, 2529.

(9.) American Physical Therapy Association. Electrotherapeutic terminology in physical therapy. Section on clinic Electrophysiology. Alexandria, VA: American Physical Therapy Assoc, 1990.

(10.) ชมพูนุท สุวรรณศรี และ โสภา พิชัยยงค์วงศ์ดี. การวินิจฉัยและการรักษาด้วยไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยมหิดล : โครงการจัดตั้งคณะกายบำบัดและวิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหวประยุกต์.

(11.) กันยา ปาละวิวัธน์. การรักษาแด้วยเครื่องไฟฟ้าทางกายภาพบำบัด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เดอะบุ๊คส์, 2543.

(12.) Singer B. Functional electrical stimulation of the extremities in the neurological patient: a review. Aust J Physiother 33(1987): 33-42.

(13.) Vodovnik, L., Bajd, T., Kralj, A., Gracanin, F., and Strojnik, P. Functional electrical stimulation for control of locomotor system. C R C Critical Reviews in Bioengineering 6(1981): 63-131.

(14.) Devahl, J. Neuromuscular electrical stimulation in rehabilitation. In: Gresh MR, editor. Electrotherapy in rehabilitation. Philadelphia : F.A. Davis(1992): 218-68.

(15.) Kamen, G. Foundations of exercise science. United Stated of America : A Wolters Kluwer Company, 2001.

(16.) Bax, L., Staes, F., and Verhagen, A. Does neuromuscular electrical stimulation strength the quadriceps femoris? A systematic review of randomized controlled trails. Sports Med 35(March 2005):191-212.

(17.) Dobsak, P. et.al. Electrical stimulation of skeletal muscles an alternative to aerobic exercise training in patients with chronic heart failure? Int Heart J 47(2006):441-53.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(18.) Demchak, T.J., Linderman, J.K., Mysiw, W.J., Jackson, R., Suun, J., and Devor, S.T. Effects of functional electrical stimulation cycle ergometry training on lower limb musculature in acute SCI individuals. J Sports Sci & Med 4(2005):263-71.

(19.) Petrofsky, J.S., and Laymon, M. The effect of previous weight training and concurrent weight training on endurance for functional electrical stimulation cycle ergometry. Eur J Appl Physiol 91(2004):392-98.

(20.) Kisner, C., and Colby, L.A. Therapeutic exercise foundations and techniques. 3rd ed. Philadelphia : F.A. Davis Company,1996.

(21.) Deittom, A., and Snyder-Mackler, L. Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation. Physical Therapy 70(March1990) :158-164.

(22.) ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวิวัธน์. สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย. 1,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: เทพรัตน์การพิมพ์, 2528.

(23.) ประวิตร เจนวรรธนะกุล. กายภาพบำบัดทางการกีฬา. 2,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551

(24.) Grana, W.A., Lombardo, J.A., Sharkey, B.J. and Stone, J.A. Advances in Sports Medicine and Fitness. Year Book Medical Publishers Inc. Volume 1, 1988.

(25.) Winter, E.M., Jones, A.M., Davison, R.C.R., Bromley, P.D., and Mercer, T.H. Sport and exercise physiology testing guidelines. The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide. Volume 1. London and New York : Routledge Taylor & Francis Group,2007.

(26.) Prentice, W.E. Arnheim's principles of athletic training : a competency-based approach. 12th ed. McGraw-Hill International Edition, 2006.

(27.) Maffiuletti, N.A. Caution is required when comparing the effectiveness of voluntary versus stimulated versus combined strength training modalities. Sports Med 38(May 2008):437-438.

(28.) Maffiuletti, N.A., Herrero, A.J., Jubeau, M., Impellizzeri, F.M., and Bizzini, M. Differences in electrical stimulation thresholds between men and women. Ann Neurol 63(2008):507-512.

(29.) Avila, M.A., Brasileiro, J.S., Salvini, T.F. Electrical stimulation and isokinetic training : effects on strength and neuromuscular properties of healthy young adults. Rev Bras de Fisioter 12(June 2008):435-40.

(30.) Binder-Macleod, S.T., Dean, J.C., and Ding, J. Electrical stimulation factors in potentiation of human quadriceps femoris. Muscle and Nerve 25(2002): 271-279.

(31.) Angeli, T., and Denkmeier, T. Effects of training with electrical stimulation on knee joint torque. Vienna. Austria : Institute of Machine and Machine Design, University of Technology..

(32.) Parker, M.G., Bennett, M.J., Hieb, M.A., Hollar, A.C., and Roe, A.A. Strength response in human quadriceps femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs. J Orthop Phys Ther 33(2003):719-26.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(33.) Herrero, J.A., Izquierdo, M., Maffiuletti, N.A., and Garcia-Lopez, J. Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. Int J Sports Med. 2005; 533-39.

(34.) Vanderthommen, M., and Duchateau, J.. Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. Exerc and Sport Sci Rev35(April 2007):180-185.

(35.) Dehail, P., Duclos, C., and Barat, M. Electrical stimulation and muscle strengthening. Annales de re´adaptation et de me´decine physique 51(2008):441–51.

(36.) Toca-Herrera, J.L., Gallach, J.E., Gomis, M., and Gonzalez, L.M. Cross-Education after one session of Unilateral surface electrical stimulation of the rectus femoris. Journal of Strength and Conditioning Research 22(February 2008):614-618.

(37.) Paillard, T., Noe, F., Bernard, N., and Dupui, P. Effects of two types of Neuromuscular electrical stimulation training on vertical jump performance. Journal of Strength and Conditioning Research 22(April 2008):1273-78.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
เอกสารชี้แจงข้อมูล/คำแนะนำแก่ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย
(Participant Information Sheet)

ชื่อโครงการ ผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อต้นขาในชายสุขภาพดี
(Effects of neuromuscular electrical stimulation with resistance training on the performance of the thigh muscles in healthy males)

ชื่อผู้วิจัย

นางสาววิรัลย์พัช พินิจสถิล	ผู้วิจัย
รศ.นพ. สมพล สงวนรังศิริกุล	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย
ผศ. ชมพูนุท สุวรรณศรี	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย (ร่วม)

ผู้ดูแลที่ติดต่อได้

1. รศ. นพ. สมพล สงวนรังศิริกุล ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เบอร์โทรศัพท์ (02) 252-7854 ต่อ 129 (ที่ทำงาน)
2. ผศ. ชมพูนุท สุวรรณศรี คณะกายภาพบำบัดและวิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว ประยุกต์ มหาวิทยาลัยมหิดล เบอร์โทรศัพท์ (02)441-5450 ต่อ 21003(ที่ทำงาน)
3. น.ส. วิรัลย์พัช พินิจสถิล ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เบอร์โทรศัพท์ 089-9661149

ความเป็นมาของโครงการวิจัย

ความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อสำหรับผู้ที่เล่นกีฬาหรือนักกีฬาเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้การเล่นกีฬาสามารถดำเนินต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังช่วยป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดต่อโครงสร้างต่างๆหรือช่วยลดความรุนแรงของการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะส่งผลไปถึงความสำเร็จในการแข่งขันหรือการเพิ่มสมรรถภาพทางร่างกายอย่างที่คาดหวังเอาไว้ โปรแกรมการฝึกซ้อมมากมายถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มสมรรถภาพการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งในเรื่องความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความทนทานของกล้ามเนื้อresistance training เป็นการฝึกเพื่อเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยป้องกันหรือฟื้นฟูอาการบาดเจ็บที่เกิดขึ้น ทำให้ body composition เปลี่ยนแปลง ช่วยป้องกันหรือช่วยรักษาอาการของโรคกระดูกพรุน โปรแกรมการฝึกจะแตกต่างกันในแต่ละบุคคล เพศหรือช่วงอายุ ในปัจจุบันเริ่มมี

การนำการกระตุ้นไฟฟ้าเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในโปรแกรมการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อท้งในนักกีฬาและในคนสุขภาพดีทั่วไป นอกเหนือจากเพื่อฝึกการรับรู้ของข้อต่อและกล้ามเนื้อหรือเพื่อการฟื้นฟูภายหลังการบาดเจ็บ ลดความเจ็บปวดจากการบาดเจ็บต่างๆ เนื่องจากคุณสมบัติที่สามารถกระตุ้นเส้นประสาทของกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวได้เหมือนการหดตัวที่เกิดภายใต้การควบคุมของจิตใจหรือโดยความตั้งใจ สามารถเพิ่มการระดมหน่วยยนต์ในกล้ามเนื้อปกติ และทำให้เส้นประสาทมีการปรับตัว(neural adaptation) ส่งผลให้ศักยภาพในการทำงานดีขึ้น แต่งานวิจัยในเรื่องการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในคนปกติโดยใช้เครื่องกระตุ้นไฟฟ้ายังมีน้อยมากและส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทำกิจกรรมใดๆเลย

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการกระตุ้นไฟฟ้าต่อการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยพิจารณาถึงผลของการนำไปใช้ที่ระดับความหนักของการออกกำลังกายที่เท่ากัน ทั้งผลจากการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวและผลที่ใช้การกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน ซึ่งผลของงานวิจัยที่ได้จะเป็นแนวทางในการออกกำลังกาย สามารถช่วยลดการบาดเจ็บที่เกิดจากการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เกิดจากการใช้แรงต้านที่มากเกินความเหมาะสม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในนักกีฬาเพื่อประโยชน์ในการเพิ่มระดับความสามารถหรือสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในระยะเวลาอันสั้น สะดวกต่อการฝึกในที่ต่างๆได้เอง สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมการฝึกซ้อมปกติเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในด้านการกีฬา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Objectives)

1. เพื่อศึกษาผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อการเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา
2. เพื่อศึกษาผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าในการเพิ่มสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา

รายละเอียดที่จะปฏิบัติต่อผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัยโดยย่อ และได้รับการแจ้งให้ทราบว่าการเข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ ทั้งสิ้น ได้รับการสัมภาษณ์ กรอกแบบสอบถามโดยผู้วิจัยตามเกณฑ์คัดเข้าศึกษา อธิบายจุดประสงค์ของการวิจัยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทราบ เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยตัดสินใจเข้าร่วมงานวิจัย ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องลงนามยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย

2. สุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยโดยการจับสลากออกเป็น 4 กลุ่มคือ

   กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม

   กลุ่มที่ 2 กลุ่มทีได้รับการฝึกโดยการกระตุ้นไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

   กลุ่มที่ 3 กลุ่มทีได้รับการฝึกโดยการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน

   กลุ่มที่ 4 กลุ่มทีได้รับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(น้ำหนักต้าน)เพียงอย่างเดียว

3. อธิบายวิธีการฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อให้ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละกลุ่มทราบ โดยจะทำการฝึกทั้งหมด 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นจำนวน 4 สัปดาห์(สัปดาห์ที่ 2-5) ทำการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลเริมต้นและประเมินผลความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้งหมด 3 ครั้ง คือก่อนการฝึก (สัปดาห์ที่ 1), ต้นสัปดาห์ที่ 3 ของการฝึกและหลังเสร็จสิ้น(สัปดาห์ที่ 6)
4. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำความคุ้นเคยกับเครื่องพร้อมทั้งอธิบายถึงระบบการทำงานของเครื่องและระบบรักษาความปลอดภัย ผู้เข้าร่วมวิจัยควรสวมใส่เสื้อผ้าทีสะดวกต่อการทดสอบ ควรเป็นกางเกงขาสั้นทีสามารถติดข้วกระตุ้นทีต้นขาได้สะดวก ไม่สวมรองเท้าหรือถุงเท้าขณะทำการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบจะต้องทำการโกนขนและทำความสะอาดผิวบริเวณทีติดข้วกระตุ้นในระหว่างการฝึกดังกล่าวผู้เข้าร่วมวิจัยจะอยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของผู้วิจัย ซึงจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายใดๆแก่ท่าน

ผลหรือประโยชน์ทีผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับจากการร่วมงานวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้ทราบถึงสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทั้งทีเป็น isometric strength และ isokinetic strength ของตนเอง
2. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้ทราบถึงผลของการกระตุ้นไฟฟ้าต่อการเพิมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในวิธีการใช้ที่ต่างกัน
3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการฝึกเพือเพิมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
4. เพือเป็นทางเลือกใหม่ในการเพิมความแข็งแรงหรือคงสภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กทำให้สะดวกต่อการพกพาและการนำไปใช้
5. เป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกซื้อเครื่องกระตุ้นไฟฟ้าแบบพกพา
6. เป็นข้อมูลในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

ผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นแก่ผู้เข้าร่วมโครงการ

ท่านจะไม่ได้รับความเสี่ยงใดๆเนื่องจากมีนักกายภาพบำบัดคอยดูแลอย่างใกล้ชิด หากมีอาการปวดล้าบริเวณกล้ามเนื้อขามากจนทนไม่ได้ สามารถแจ้งผู้วิจัยได้ทันที หรือหากนักกายภาพบำบัดเห็นว่าท่านมีอาการดังกล่าว จะทำการหยุดการทดสอบทันทีพร้อมกับปฐมพยาบาล และถ้าท่านมีอาการไม่ดีขึ้นจะทำการส่งพบแพทย์โดยทันที

การเก็บข้อมูลเป็นความลับ

ผู้ทำการวิจัยขอยืนยันว่า ข้อมูลเกี่ยวกับตัวผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะถูกเก็บไว้เป็นความลับ และจะใช้สำหรับงานวิจัยนี้เท่านั้น และชื่อของผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะไม่ปรากฏในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล และในฐานข้อมูลทั่วไป โดยมีผู้ทำวิจัยเพียงคนเดียวเท่านั้นที่ทราบรายละเอียดของข้อมูลนี้ ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณผู้เข้าร่วมงานวิจัยที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้

ท่านสามารถขอถอนตัวออกจากโครงการวิจัยได้ทุกเวลา

หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ สามารถสอบถามได้ที่ น.ส.วิรัลย์พัช พินิจสถิล โทรศัพท์ 089-966-1149 ซึ่งยินดีตอบคำถามทุกเวลา

ทั้งนี้ หากท่านมีปัญหาทางด้านจริยธรรมการวิจัย ท่านสามารถร้องเรียนได้ต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยที่เบอร์ (02) 256-4455 ต่อ 14, 15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent Form)

การวิจัยเรื่อง ผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อต้นขาในชายสุขภาพดี

วันให้คำยินยอมวันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยครั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด และมีความเข้าใจดีแล้ว

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่างๆที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ

ข้าพเจ้าเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้โดยสมัครใจและมีสิทธิที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้โดยการบอกยกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้จะไม่มีผลต่อการรักษาโรคที่ข้าพเจ้าพึงได้รับต่อไป

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะในรูปที่เป็นสรุปผลการวิจัย การเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าต่อหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง กระทำได้เฉพาะกรณีจำเป็นด้วยเหตุผลทางวิชาการเท่านั้น

ผู้วิจัยรับรองว่าหากเกิดอันตรายหรือการบาดเจ็บใดๆ อันเนื่องมาจากการเข้าร่วมการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลในโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ และจะได้รับการชดเชยรายได้ที่สูญเสียไประหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าว ตลอดจนเงินทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้นตามความเหมาะสม

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้วและมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม.....ผู้ยินยอม

(.....)

ลงนาม.....พยาน

(.....)

ลงนาม.....ผู้ทำวิจัย

(.....)

ภาคผนวก ค
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย

เรื่อง ผลของการกระตุ้นเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อต้นขาในชายสุขภาพดี

วันที่ ที่ทำการเก็บข้อมูล ...../...../..... ลำดับที่ .....
รหัสอาสาสมัคร .....
สถานที่ ที่ทำการเก็บข้อมูล .....

คำแนะนำในการตอบแบบสอบถาม

1. แบบสอบถามประกอบด้วย 2 ตอน
   - ตอนที่ 1 เกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐาน
   - ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพและประวัติการออกกำลังกาย
2. การตอบแบบสอบถามในแต่ละตอนให้ใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง และในส่วนที่เป็นช่องว่างให้เติมข้อความให้ครบถ้วน
3. ให้ทำการตอบแบบสอบถามให้ครบทุกข้อเพื่อให้แบบสอบถามสมบูรณ์ และสามารถนำผลมาวิเคราะห์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Screening Questionnaire

(แบบสอบถามเพื่อการคัดกรอง)

ลำดับที่ .....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เบอร์โทรศัพท์.....

E-mail Address……..……

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ❒ หญิง ❒ ชาย

วัน/เดือน/ปีเกิด..... อายุ.....ปี.....เดือน

เชื้อชาติ..... สัญชาติ.....อาชีพ……..……

2. น้ำหนัก..... กิโลกรัม ส่วนสูง.....เมตร BMI…… kg/m^2

3. การศึกษา ❒ ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า

❒ สูงกว่าระดับปริญญาตรี

❒ อื่นๆโปรดระบุ.....

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ

โปรดตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ❒ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่เว้นไว้

1. ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

❒ ไม่มี

❒ มี โปรดระบุ.....

❒ ไม่ได้รับการรักษา ❒ได้รับการรักษา.....

2. ท่านรับประทานยา/ วิตามิน หรืออาหารเสริมอยู่หรือไม่

❒ ไม่ ❒ รับประทาน.....

3. ท่านเคยมีอาการเจ็บหน้าอก (Chest Pain) หรือหายใจติดขัดหรือไม่

❒ ไม่ ❒ เคย เมื่อ.....

4. ท่านเคยมีประวัติการเจ็บป่วยที่สำคัญ หรือได้รับการผ่าตัดหรือไม่

❒ ไม่มี ❒ มี โปรดระบุ.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ท่านเคยมีปัญหาการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ เช่น อาการปวดกล้ามเนื้อ หรือบาดเจ็บบริเวณข้อต่อหรือไม่

❒ ไม่มี ❒ มี โปรดระบุ.....

6. ปัจจุบันยังมีอาการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้ออยู่หรือไม่

❒ ไม่มี ❒ มี โปรดระบุ.....

7. การรักษาที่ท่านได้รับในปัจจุบัน (เช่น ยา/กายภาพบำบัด/อื่นๆ)

❒ ไม่มี ❒ มี โปรดระบุ.....

8. ท่านออกกำลังกายหรือไม่

❒ ไม่ ❒ ใช่

9. ท่านออกกำลังกายชนิดใด

❒ เดิน ❒ วิ่ง

❒ ว่ายน้ำ ❒ ปั่นจักรยาน❒ อื่นๆ.....

10. ท่านออกกำลังกายกี่ครั้งต่อสัปดาห์

❒ ทุกวัน (ถ้ามากกว่าวันละ 1 ครั้ง โปรดระบุ.....)

❒ 5-6 ครั้งต่อสัปดาห์ ❒ 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์

❒ 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ ❒ อื่นๆ.....

11. ท่านออกกำลังกายเป็นระยะเวลาเท่าไรต่อครั้ง

❒ น้อยกว่า 20 นาที ❒ 20-30 นาที ❒ 30-60 นาที

❒ มากกว่า 60 นาที ❒ อื่นๆ.....

12. ขณะนี้ท่านมีการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านหรือฝึกเล่นกีฬาใดๆอยู่หรือไม่

❒ ไม่มี ❒ มี โปรดระบุ.....

13. ขณะนี้ท่านมีปัญหาสุขภาพ และ/หรือมีภาวะเครียดหรือไม่

❒ ไม่มี ❒ มี

14. ท่านเคยสูบบุหรี่หรือไม่

❒ ไม่เคย ❒ เคย.....มวน/วัน เป็นระยะเวลา.....ปี

❒ เลิกสูบมาแล้ว ..... ปี ❒ นานๆครั้ง โปรดระบุ.....

15. ท่านดื่มเครื่องดื่มที่ผสมแอลกอฮอล์หรือไม่

❒ ไม่เคยดื่ม ❒ นานๆครั้ง โปรดระบุ.....

❒ ดื่มเป็นประจำ

16. ท่านดื่มแอลกอฮอล์ภายใน 24-48 ชม. ที่ผ่านมานี้หรือไม่

❒ ไม่ดื่ม ❒ ดื่ม

ภาคผนวก ง

Data Collection Form

แบบบันทึกข้อมูลของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการวิจัย

ลำดับที่ .....

1. ข้อมูลส่วนตัว

เพศ.....อายุ.....ปี

น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม. BMI……..……kg/m^2

2. กลุ่ม

- ☐ control group
- ☐ NMES training group
- ☐ resistance training group
- ☐ combine NMES and resistance training group

สำหรับผู้วิจัย	
ขาข้างที่ถนัด.....	ความดันโลหิต.....มล.

3. Isokinetic testing

3.1 Positioning Chair

1. Chair Front/Back =……
2. Chair Height =……
3. Chair Rotation =……
4. Seatback Tilt =……
5. Seatback Fore/Aft =……
6. Attachment Length =……

3.2 Limb Weight =……Nm.

3.3 Limited ROM

Flexion……degrees Extension……degrees

Date of Visit:		Quadriceps muscle 30 degrees/second		Quadriceps muscle 120 degrees/second	
Parameters (isokinetic strength test)		Concentric contraction	Eccentric contraction	Concentric contraction	Eccentric contraction
Peak Torque (Nm)	1st test				
	2nd test				
	3rd test				
Total Work (Nm)	1st test				
	2nd test				
	3rd test				
Average Power (W)	1st test				
	2nd test				
	3rd test				

4. Isometric test

Isometric Strength Test	**Quadriceps Muscle**		**Hamstrings muscle**	
	Peak Torque (Nm)	**Force(N)**	**Peak Torque (Nm)**	**Force(N)**
1st test				
2nd test				
3rd test				

5. Resistance Weight

Resistance Weight	**Expected Weight**	**Test Weight**
1st week of training		
2nd week of training		
3rd week of training		
4th week of training		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.NMES Intensity

Intensity	1st day			2nd day			3rd day		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
1st week of training									
2nd week of training									
3rd week of training									
4th week of training									

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครแต่ละกลุ่ม

กลุ่มควบคุม(C)

อายุ	ส่วนสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	BMI
25	157	56.3	22.84068
24	173	68	22.72044
18	174	68.1	22.49306
18	174	62	20.47827
18	175	60	19.59184
18	168	51.8	18.35317
19	170	53.8	18.61592
21	177	72.2	23.04574
19	180	61.3	18.91975
18	179	57.8	18.03939
19	169	55.4	19.39708
20	174	60.2	19.88374
20	175	66.3	21.64898

BMI = Body Mass Index

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว(NMES)

อายุ	ส่วนสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	BMI
23	171	67	22.91303
19	174	61.6	20.34615
25	162	50.2	19.12818
24	169	55.6	19.46711
24	163	60.1	22.62035
25	162	54.5	20.76665
25	166	62.6	22.71738
18	167	65.1	23.34254
21	167	64.9	23.27082
20	166	60.2	21.84642
21	176	70.7	22.82412
21	165	51	18.73278
21	171	58.9	20.14295

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(RNMES)

อายุ	ส่วนสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	BMI
25	160	53.2	20.78125
21	160	53.6	20.9375
22	159	51	20.17325
20	167	60.3	21.62143
21	170	57.6	19.9308
20	180	67.3	20.7716
19	177	56.5	18.03441
20	170	59.4	20.55363
21	182	67.7	20.43835
20	178	69.6	21.96692
22	165	56.8	20.86318
21	175	57.5	18.77551
20	170	59.7	20.65744

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มที่ได้รับการฝึกโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียว(R)

อายุ	ส่วนสูง(ซม.)	น้ำหนัก(กก.)	BMI
18	171	66.4	22.70784
24	172	63.4	21.4305
24	163	60.1	22.62035
18	160	47.5	18.55469
18	170	56.4	19.51557
25	174	67.1	22.16277
21	170	58.3	20.17301
20	174	59.7	19.71859
20	170	62	21.45329
21	179	58.4	18.22665
20	169	65.7	23.0034
20	172	53.6	18.1179
22	167	51.8	18.57363

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ
ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก่อนและหลังเข้ารับการฝึกในแต่ละกลุ่ม

Quadriceps and hamstrings muscle strength (Nm/kg)

กลุ่มควบคุม(C)

quadriceps muscle-MVIC		Hamstrings muscle- MVIC	
pre test	post test	pre test	post test
2.433393	2.557726	1.030195	1.012433
2.088235	2.588235	1.308824	1.25
2.290749	0	1.835536	0
1.967742	1.919355	0.983871	1.112903
3.1	2.583333	1.4	1.4
2.374517	2.084942	1.274131	1.119691
2.806691	3.30855	1.486989	1.579926
2.423823	2.409972	1.232687	1.481994
1.843393	2.316476	1.076672	1.239804
2.975779	3.096886	1.228374	1.107266
2.454874	2.220217	1.389892	1.227437
1.395349	1.521893	0.647841	0.521297
2.533937	0	1.282051	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มทีได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว(NMES)

quadriceps muscle- MVIC		Hamstrings muscle- MVIC	
pre test	post test	pre test	post test
2.104478	2.61194	1.432836	1.208955
2.970779	3.538961	1.737013	1.899351
2.52988	3.466135	1.573705	1.673307
2.589928	0	1.097122	0
2.712146	2.778702	1.347754	1.830283
3.284404	4.036697	1.174312	1.33945
2.603834	2.923323	1.341853	1.533546
1.920123	2.089094	0.93702	1.059908
1.941448	2.681048	1.124807	1.278891
2.026578	3.272425	1.196013	1.395349
2.970297	3.352192	1.35785	1.145686
2.45098	2.960784	1.627451	1.54902
2.699491	3.123939	1.103565	1.375212

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(RNMES)

quadriceps muscle- MVIC		Hamstrings muscle- MVIC	
pre test	post test	pre test	post test
2.387218	3.157895	1.710526	1.597744
2.201493	2.33209	1.044776	1.156716
2.372549	0	0.843137	0
2.271973	3.71476	1.558872	1.509121
2.03125	2.5	1.076389	1.180556
3.150074	3.803863	1.352155	0.965825
2.495575	3.079646	1.486726	1.699115
2.929293	3.468013	1.043771	1.077441
2.127031	2.776957	0.84195	1.196455
3.074713	3.405172	1.594828	1.810345
2.90493	3.292254	1.478873	1.690141
3.026087	2.869565	1.478261	1.547826
2.696817	3.58459	1.273032	1.842546

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มทีได้รับการฝึกโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียว(R)

quadriceps muscle- MVIC		Hamstrings muscle- MVIC	
pre test	post test	pre test	post test
2.424699	3.027108	1.340361	1.445783
2.886435	2.9653	1.782334	1.514196
1.381032	2.429285	0.698835	0.998336
2.673684	3.052632	0.989474	1.578947
2.712766	3.528369	1.578014	1.41844
2.205663	2.608048	1.23696	1.311475
2.075472	3.121784	1.303602	1.252144
1.18928	2.41206	0.586265	1.323283
2.596774	2.532258	1.177419	1.403226
2.414384	2.791096	1.35274	1.421233
1.552511	2.267884	0.761035	0.974125
1.399254	2.182836	0.615672	1.268657
2.741313	2.857143	1.196911	1.332046

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Isokinetic Contraction of The Quadriceps

กลุ่มควบคุม(C)

30 degrees/second isokinetic contraction				120 degrees/second isokinetic contraction			
concentric		eccentric		concentric		eccentric	
pre test	post test	pre test	post test	pre test	post test	pre test	post test
2.309059	1.811723	1.953819	1.349911	1.740675	1.634103	1.403197	1.349911
1.441176	2.132353	1.970588	2.426471	0.852941	1.455882	2.220588	2.573529
1.967695	0	2.643172	0	1.33627	0	2.907489	0
0.790323	1.290323	1.677419	2.596774	0.629032	0.419355	1.419355	1.709677
2.35	2.366667	2.716667	2.8	1.833333	1.833333	2.05	2.3
1.100386	0.714286	2.181467	2.181467	0.34749	0.27027	1.969112	2.142857
2.806691	3.475836	2.825279	3.550186	2.100372	1.412639	2.193309	2.806691
1.066482	1.481994	2.257618	1.745152	1.094183	1.218837	1.897507	1.620499
0.978793	1.223491	1.305057	2.218597	1.011419	1.451876	1.598695	2.055465
1.6609	2.093426	2.491349	2.768166	1.470588	1.989619	1.712803	3.044983
2.129964	1.949458	2.075812	2.563177	1.353791	1.191336	1.462094	2.00361
1.0299	1.270157	1.976744	2.410987	0.813953	1.094771	2.159468	1.982041
2.171946	0	3.06184	0	1.47813	0	1.855204	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว(NMES)

30 degrees/second isokinetic contraction				120 degrees/second isokinetic contraction			
concentric		eccentric		concentric		eccentric	
pre test	post test	pre test	post test	pre test	post test	pre test	post test
1.970149	2.208955	1.985075	2.38806	1.537313	1.835821	115.6393	2.149254
2.678571	2.548701	2.857143	3.295455	1.915584	2.159091	2.11039	3.149351
2.828685	3.645418	1.87251	4.920319	2.211155	2.669323	1.115538	2.410359
2.21223	0	2.05036	0	1.636691	0	1.852518	0
2.512479	2.828619	2.196339	3.178037	1.830283	2.096506	1.913478	1.780366
2.605505	3.357798	2.807339	3.706422	1.541284	1.963303	2.53211	1.724771
1.821086	2.507987	3.913738	4.153355	1.29393	1.629393	2.635783	2.332268
1.397849	2.211982	1.213518	2.642089	0.890937	1.797235	1.735791	2.580645
1.587057	1.895223	2.126348	3.281972	1.355932	1.587057	1.694915	2.989214
2.159468	2.574751	2.259136	3.33887	1.528239	1.79402	1.910299	2.82392
2.404526	2.432815	2.050919	2.475248	1.202263	1.414427	1.202263	1.994342
2.235294	2.784314	1.392157	1.392157	1.490196	2.215686	0.823529	1.196078
2.020374	2.988115	1.765705	3.514431	1.205433	2.190153	1.680815	3.497453

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มที่ได้รับการกระตุ้นไฟฟ้าร่วมกับการฝึกโดยใช้แรงต้าน(RNMES)

30 degrees/second isokinetic contraction				120 degrees/second isokinetic contraction			
concentric		eccentric		concentric		eccentric	
pre test	post test	pre test	post test	pre test	post test	pre test	post test
3.139098	2.932331	4.43609	4.022556	1.710526	2.12406	3.890977	3.890977
2.108209	2.108209	1.940299	2.276119	1.697761	1.865672	1.847015	2.257463
1.411765	0	3.117647	0	0.686275	0	2.901961	0
1.840796	2.968491	1.691542	2.421227	1.708126	2.072968	1.658375	2.852405
1.076389	1.961806	1.319444	1.701389	1.006944	1.701389	1.388889	1.701389
2.659733	3.105498	1.768202	2.095097	1.872214	2.734027	1.604755	1.931649
1.964602	3.097345	1.769912	3.327434	1.893805	2.141593	2.176991	2.672566
0.959596	2.542088	2.373737	2.558923	1.094276	2.188552	1.279461	2.693603
1.920236	2.599705	1.6839	2.703102	1.418021	2.319055	1.728213	2.230428
1.077586	3.275862	3.764368	3.247126	0.502874	2.729885	2.801724	3.462644
1.426056	2.411972	2.799296	2.288732	0.933099	1.989437	2.007042	2.024648
2.295652	2.591304	2.713043	3.826087	1.634783	1.930435	1.982609	3.269565
1.909548	2.864322	2.696817	3.266332	1.60804	2.495812	2.445561	3.19933

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลุ่มทีได้รับการฝึกโดยใช้แรงต้านเพียงอย่างเดียว(R)

30 degrees/second isokinetic contraction				120 degrees/second isokinetic contraction			
concentric		eccentric		concentric		eccentric	
pre test	post test	pre test	post test	pre test	post test	pre test	post test
2.123494	2.46988	2.454819	3.388554	1.777108	2.123494	1.957831	2.620482
2.350158	2.302839	3.233438	2.649842	1.750789	2.113565	2.223975	2.712934
1.447587	1.514143	1.24792	1.697171	1.148087	1.347754	1.381032	1.946755
2.147368	2.715789	2.884211	3.368421	1.852632	2.231579	2.505263	3.536842
2.216312	2.287234	1.560284	3.900709	1.08156	1.489362	2.234043	3.102837
1.579732	2.116244	1.997019	2.280179	0.983607	1.773472	1.922504	1.654247
2.349914	3.516295	1.423671	3.464837	1.698113	2.795883	1.886792	3.156089
0.954774	1.222781	1.155779	2.093802	0.552764	1.9933	1.005025	2.244556
2.145161	2.741935	2.467742	2.516129	1.370968	2.258065	2.935484	2.870968
1.969178	2.106164	2.020548	2.859589	1.113014	1.455479	1.626712	2.671233
0.821918	1.628615	0.715373	2.313546	0.639269	1.719939	1.202435	2.267884
0.876866	1.436567	1.828358	3.507463	0.485075	1.828358	1.660448	3.208955
2.664093	2.741313	1.776062	1.698842	1.389961	2.490347	2.220077	1.969112

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช
ผลการทดสอบทางสถิติ

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขณะเกร็งค้าง (Quadriceps muscle - Maximum Voluntary Isometric Contraction) ระหว่างก่อนและหลังโปรแกรมการฝึกในแต่ละกลุ่ม

group	n	Quadriceps muscle strength (Nm./kg)		Sig.
		Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	
Control	11	2.45 ± 0. 417	2.51 ± 0.429	.595
NMES	12	2.52 ± 0.445	3.07 ±0.511	.000*
RNMES	12	2.61 ± 0.403	3.17 ±0.470	.001*
R	13	2.17 ± 0.596	2.75±0.388	.000*

* มีความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าขณะเกร็งค้าง (Quadriceps muscle - Maximum Voluntary Isometric Contraction) ภายหลังโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่ม NMES RNMES R และ กลุ่ม C

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Sig.
NMES	RNMES	-.038	1.000
	R	.097	1.000
	C	.516(*)	.005
RNMES	R	.135	1.000
	C	.554(*)	.003
R	C	.419(*)	.036

* ทดสอบทางสถิติโดย UNIANOVA : Multiple Comparisons with Bonferroni ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้องอเข่าขณะเกร็งค้าง (Hamstrings muscle - Maximum Voluntary Isometric Contraction) ระหว่างก่อนและหลังโปรแกรมการฝึกในแต่ละกลุ่ม

group	n	Quadriceps muscle strength (Nm./kg)		Sig.
		Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	
Control	11	1.24 ± 0. 167	1.25 ± 0.182	.796
NMES	12	1.33 ± 0.237	1.44 ± 0.264	.080
RNMES	12	1.33 ± 0.271	1.44 ± 0.307	.136
R	13	1.12 ± 0.373	1.33± 0.177	.034*

* มีความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้องอเข่าขณะเกร็งค้าง (Hamstrings muscle - Maximum Voluntary Isometric Contraction) ภายหลังโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่ม NMES RNMES R และ กลุ่ม C

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Sig.
NMES	RNMES	.001	1.000
	R	.009	1.000
	C	.142	.582
RNMES	R	.008	1.000
	C	.141	.591
R	C	.133	.684

* ทดสอบทางสถิติโดย UNIANOVA : Multiple Comparisons with Bonferroni ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที (quadriceps muscle – 30 degree/second concentric isometric contraction) ระหว่างก่อนและหลังโปรแกรมการฝึกในแต่ละกลุ่ม

group	n	Quadriceps muscle strength (Nm./kg)		Sig.
		Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	
Control	11	1.66 ±0.697	1.85 ± 0.760	.194
NMES	12	2.19 ± 0.445	2.67± 0.495	.000*
RNMES	12	1.86 ± 0.658	2.70±0.408	.001*
R	13	1.82 ± 0.618	2.22± 0.647	.002*

* มีความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที (quadriceps muscle – 30 degree/second concentric isometric contraction) ภายหลังโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่ม NMES RNMES R และ กลุ่ม C

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Sig.
NMES	RNMES	-.254	.944
	R	.204	1.000
	C	.461	.118
RNMES	R	.459	.060
	C	.716(*)	.002
R	C	.257	.957

* ทดสอบทางสถิติโดย UNIANOVA : Multiple Comparisons with Bonferroni ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$

ตารางที 7 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที (quadriceps muscle – 30 degree/second eccentric isometric contraction) ระหว่างก่อนและหลังโปรแกรมการฝึกในแต่ละกลุ่ม

group	n	Quadriceps muscle strength (Nm./kg)		Sig.
		Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	
Control	11	2.15 ± 0.462	2.42 ± 0.605	.141
NMES	12	2.20 ± 0.722	3.19± 0.906	.002*
RNMES	12	2.41 ± 0.931	2.81 ± 0.719	.060
R	13	1.91 ± 0.716	2.75± 0.726	.004*

* มีความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที 8 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที (quadriceps muscle – 30 degree/second eccentric isometric contraction) ภายหลังโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่ม NMES RNMES R และ กลุ่ม C

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Sig.
NMES	RNMES	.486	.483
	R	.290	1.000
	C	.741	.073
RNMES	R	-.196	1.000
	C	.255	1.000
R	C	-.451	.686

* ทดสอบทางสถิติโดย UNIANOVA : Multiple Comparisons with Bonferroni ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที (quadriceps muscle – 120 degree/second concentric isometric contraction) ระหว่างก่อนและหลังโปรแกรมการฝึกในแต่ละกลุ่ม

group	n	Quadriceps muscle strength (Nm./kg)		Sig.
		Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	
Control	11	1.24 ± 0.558	1.29 ± 0.176	.729
NMES	12	1.50 ± 0.357	1.95±0.343	.000*
RNMES	12	1.42 ± 0.438	2.19±0.326	.001*
R	13	1.22 ± 0.473	1.97±0.424	.000*

* มีความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบหดสั้นที่ความเร็วเชิงมุม 120 องศาต่อวินาที (quadriceps muscle – 120 degree/second concentric isometric contraction) ภายหลังโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่ม NMES RNMES R และ กลุ่ม C

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Sig.
NMES	RNMES	-.281	.375
	R	-.157	1.000
	C	.538(*)	.008
RNMES	R	.124	1.000
	C	.819(*)	.000
R	C	.695(*)	.000

* ทดสอบทางสถิติโดย UNIANOVA : Multiple Comparisons with Bonferroni ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม120 องศาต่อวินาที (quadriceps muscle – 120 degree/second eccentric isometric contraction) ระหว่างก่อนและหลังโปรแกรมการฝึกในแต่ละกลุ่ม

group	n	Quadriceps muscle strength (Nm./kg)		Sig.
		Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	
Control	11	1.79 ± 0.316	2.16± 0.535	.025*
NMES	12	1.77 ± 0.537	2.39± 0.664	.018*
RNMES	12	2.07 ± 0.717	2.68± 0.678	.001*
R	13	1.90 ± 0.536	2.61± 0.567	.001*

* มีความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังเข้าร่วมโปรแกรมการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเหยียดเข่าที่มีการหดตัวแบบยืดยาวออกที่ความเร็วเชิงมุม120 องศาต่อวินาที (quadriceps muscle – 120 degree/second eccentric isometric contraction) ภายหลังโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่ม NMES RNMES R และ กลุ่ม C

(I) group	(J) group	Mean Difference (I-J)	Sig.
NMES	RNMES	-.131	1.000
	R	-.153	1.000
	C	.236	1.000
RNMES	R	-.022	1.000
	C	.367	.747
R	C	-.389	.565

* ทดสอบทางสถิติโดย UNIANOVA : Multiple Comparisons with Bonferroni ที่ระดับนัยสำคัญ p<0.05

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิรัลย์พัช พินิจสถิล เกิดเมื่อวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2526 กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขากายภาพบำบัด จากมหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2547

ปัจจุบันปฏิบัติงานในตำแหน่ง นักกายภาพบำบัดประจำสมาคมกีฬา(อาทิเช่น สมาคมตะกร้อแห่งประเทศไทย สมาคมว่ายน้ำแห่งประเทศไทย สมาคมยูโด สมาคมบาสเก็ตบอล ฯ) สังกัดการกีฬาแห่งประเทศไทย และนักกายภาพบำบัดประจำนพรัตน์คลินิกกายภาพบำบัด รวมทั้งเป็นนักกายภาพบำบัดอิสระ ดูแลรักษาอาการบาดเจ็บนักกีฬาประจำมหาวิทยาลัยต่างๆในงานมหกรรมกีฬามหาวิทยาลัย(อาทิเช่น มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ มหาวิทยาลัยมหิดล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นต้น)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย