ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่

นางสาวสุภัทรา ศิลปบรรเลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

ACUTE EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION ON LEG MUSCULAR POWER DURING STATIC AND DYNAMIC CONTRACTIONS

Miss Supattra Sillapabanleng

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Sports Science
Faculty of Sports Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่
โดย	นางสาวสุภัทรา ศิลปบรรเลง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิม ชัยวัชราภรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไถ้ออน ชินธเนศ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สุภัทรา ศิลปบรรเลง : ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่. (ACUTE EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION ON LEG MUSCULAR POWER DURING STATIC AND DYNAMIC CONTRACTIONS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์, 89 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลฉับผลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือนิสิตคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา เพศหญิง อายุ 18-22 ปี จำนวน 16 คนความแข็งแรงสัมพัทธ์ 1.5-2.0 ใช้การถ่วงดุลลำดับ (counterbalancing) ด้วยการเลือกแบบสุ่ม โดยทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 4 แบบ สัปดาห์ละ 1 แบบ การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 ใช้ท่า Static half squat ทำการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 45 วินาที ด้วยความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลิเมตร, แบบที่2 ใช้ท่า Static half squat ทำการสั่นสะเทือน เป็นเวลา 45 วินาที ด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลิเมตร, แบบที่3 ใช้ท่า Dynamic half squat ทำการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 45 วินาที ด้วยความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลิเมตร, แบบที่4 ใช้ท่า Dynamic half squat ทำการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 45 วินาที ด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลิเมตร โดยในช่วงของการทดสอบจะทำการทดสอบทั้งหมด 2 ครั้ง คือก่อนและหลังการสั่นโดยค่าที่ได้จากการกระโดดด้วยความสามารถสูงสุด 1 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำเปรียบเทียบ 4 แบบ โดยถ้าพบความแตกต่างจึงเปรียบเทียบรายคู่โดยวิธีการของแอลเอสดีและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองโดยการทดสอบค่าที (t-test) แบบไม่เป็นอิสระต่อกันโดยทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05

จากการทดลองพบว่า พลังกล้ามเนื้อสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่ 1 นั้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่.05 ทั้งนี้แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ในแบบที่ 3 และความเร็วสูงสุดของบาร์เบลในแบบที่1และแบบที่4 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 แต่เมื่อนำค่าพลังกล้ามเนื้อสูงสุด แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดและความเร็วสูงสุดของบาร์เบลทั้งก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบมาเปรียบเทียบกันแล้วพบว่า ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่.05

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

5578419139 : MAJOR SPORTS SCIENCE
KEYWORDS: STATIC CONTRACTION / DYNAMIC CONTRACTION / WHOLE-BODY VIBRATION

SUPATTRA SILLAPABANLENG: ACUTE EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION ON LEG MUSCULAR POWER DURING STATIC AND DYNAMIC CONTRACTIONS. ADVISOR: ASST PROF. CHANINCHAI INTIRAPORN, Ph.D., 89 pp.

The purpose of this study was to investigate the acute effect of Whole-body vibration on leg muscular power during static and dynamic contractions. Sixteen female undergraduate students, 18-22 years old, relative strength 1.5-2.0 from Faculty of Sport Science, Chulalongkorn University performed four Whole-body vibration treatment in a counter-balance order. Treatment 1: Performing static half squat during 45 sec of vibration session, the frequency was 40 Hz, the amplitude was 2-4 mm, Treatment 2: Performing static half squat during 45 sec of vibration session, the frequency was 50 Hz ,the amplitude was 4-6 mm, Treatment 3: Performing dynamic half squat during 45 sec of vibration session, the frequency was 40 Hz, the amplitude was 2-4 mm and Treatment 4: Performing dynamic half squat during 45 sec of vibration session, the frequency was 50 Hz ,the amplitude was 4-6 mm within four weeks. The data of leg muscular power were assessed pre and post vibration. The obtained of data were analyzed in term of One-Way analysis of Variance with repeated measure between 4 vibration treatment (multiple comparison by LSD) and compare between before and after vibration with Paired-Sample t-test to also employed for statistical significant ($p<0.05$)

The research result indicated that the acute effect of treatment 1 significantly increase peak power comparing to before and after vibration data at the 0.05 level. Moreover, the acute effect of treatment 3 significantly increase in peak vertical ground reaction force and the acute effect of treatment 1 and 4 significantly increase in peak bar velocity. However, there were no significant differences between four Whole-body vibration treatment .

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

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

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาและให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดจนประธานและกรรมการสอบทุกท่าน

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการอนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน กลุ่มตัวอย่างทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและความช่วยในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีมาตลอด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษา พี่สาวและเพื่อนๆที่ช่วยให้คำปรึกษา และ นาวาโท ไชยวุฒิ เอี่ยมสมัย ผู้ที่เป็นกำลังใจและเป็นทุกๆอย่างที่ผลักดันให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง 1

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.5 คำจำกัดความ 4

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การกระตุ้นระบบประสาทและกล้ามเนื้อด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 6

2.1.1 กลไกการทำงานของเครื่องสั้นสะเทือนทั้งร่างกาย 7

2.1.2 การตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 10

2.1.2.1 การตอบสนองของระบบประสาทส่วนปลาย 10

2.1.2.2 การตอบสนองต่อระบบประสาทส่วนกลาง 11

2.1.3 ตัวแปรในการสั่น 13

2.1.3.1 วิธีการใช้ (Method of application) 13

2.1.3.2 ความถี่ (Frequency) 14

2.1.3.3 แอมพลิจูด (Amplitude) 15

2.1.3.4 ช่วงเวลา (Duration of vibration) 17

2.1.3.5 แบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 19

2.1.4 ผลทางสรีรวิทยาของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 20

2.1.4.1 การตอบสนองของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG response) 20

2.1.4.2 การเผาผลาญพลังงาน (Energy metabolism) 21

หน้า

2.1.4.3 อุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อ (Intramuscular temperature) 21
2.1.4.4 การไหลเวียนเลือดที่ผิวหนังและกล้ามเนื้อ (Skin and Muscle perfusion) 22
2.1.5 ผลฉับผลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 23
2.1.5.1 ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อแรงและพลังกล้ามเนื้อ 23
2.2 พลังกล้ามเนื้อ 29
2.2.1 ระบบกล้ามเนื้อ 29
2.2.1.1 หน่วยยนต์ (Motor unit) 30
2.2.1.2 การหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อลายในระดับโมเลกุล 30
2.2.1.3 ชนิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ 31
2.2.2 ระบบประสาท 33
2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบประสาทและกล้ามเนื้อ 33
2.2.4 พลังกล้ามเนื้อ 35
2.2.5 ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ 36
2.2.5.1 ความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ 37
2.2.6 ความเร็ว 38
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
2.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย 46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 47
3.1 ประชากร 47
3.2 กลุ่มตัวอย่าง 47
3.3 เครื่องมือที่ใช้ 47
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง 48
3.4.1 เกณฑ์การคัดเข้า 48
3.4.2 เกณฑ์การคัดออก 48
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 52
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รายการอ้างอิง 75
ภาคผนวก 79
ภาคผนวก ก ท่าที่ใช้ในการทดสอบและทำการทดลอง 80
ภาคผนวก ข แบบสอบถาม 84
ภาคผนวก ค รูปภาพขณะทำการทดลอง 86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดแบบการทดลองทั้ง 4 แบบ 50
ตารางที่ 2 Counter balance ของการทดลองทั้ง 4 แบบ 51
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ,น้ำหนักและความแข็งแรงสัมพัทธ์ของนิสิตคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา เพศหญิง 53
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือน 54
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 55
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ทั้ง 4 แบบ 56
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 57
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์พลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 58
ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 59
ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 60
ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 61
ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 62
ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 63
ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 64
ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 65
ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ทั้ง 4 แบบ 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 67
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1 แสดงการถ่ายโอนพลังของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายไปสู่ร่างกาย(Rittweger, 2010)..... 7
รูปที่ 2 แสดงรูป sinusoid wave (C.Merrick & J.Ponton, 1996) 8
รูปที่ 3 แสดงรูปแบบการถ่ายโอนพลังงานแบบ synchronize และ side-alternating (Rittweger, 2010)..... 9
รูปที่ 4 แสดงการตอบสนองของระบบประสาทส่วนปลายที่เกิดขึ้นจากการสั่น 10
รูปที่ 5 แสดงการตอบสนองของระบบประสาทส่วนกลางที่เกิดขึ้นจากการสั่น 12
รูปที่ 6 แสดงผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในงานวิจัยที่กำหนดค่าแอมพลิจูดแตกต่างกันต่อแรงและพลังกล้ามเนื้อ (Luo et al., 2005) 16
รูปที่ 7 แสดงถึงระยะเวลาในการสั่นที่ทำให้กล้ามเนื้อสามารทำงานได้โดยไม่เกิดการล้า 18
รูปที่ 8 แสดงผลฉับพลันของการสั่นในระหว่างกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมตริก (Luo et al., 2005) 26
รูปที่ 9 แสดงผลฉับพลันของการสั่นต่อแรงและพลังกล้ามเนื้อในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบไดนามิก (Luo et al., 2005)..... 28
รูปที่ 10 แสดงการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis ในท่า Static semi squat ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Hazell et al., 2007) 41
รูปที่ 11 แสดงการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis ในท่า Dynamic squat ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Hazell et al., 2007)..... 41
รูปที่ 12 แสดงการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Biceps femoris ในท่า Static semi squat ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Hazell et al., 2007)..... 42
รูปที่ 13 แสดงการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Bicep femoris ในท่า Dynamic squat ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Hazell et al., 2007) 42
รูปที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความสูงในการกระโดดในท่า Counter movement jump ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Cormie et al., 2006) 43
รูปที่ 15 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความสูงในการกระโดดภายหลังการสั่น 45

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายถูกพบว่า สามารถพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อ (Bosco et al., 1999) ซึ่งมีงานวิจัยหลายเรื่องพยายามอธิบายผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายดังกล่าว บทความของ Bosco และ Cardinale (2003) กล่าวว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย ที่ระบบประสาทส่วนกลางการสั่นที่เกิดขึ้นจะส่งกระแสประสาทการรับรู้ไปที่ Primary-Secondary somatosensory cortex ร่วมกับ Supplementary motor area (Naito et al., 2000) ซึ่งSupplementary motor area จะมีหน้าที่ในการควบคุมและวางแผนการเคลื่อนไหวก่อนมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น (Cunnington, Windischberger, Deecke, & Moser, 2002) และที่ระบบประสาทส่วนปลายการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะกระตุ้นการทำงานของรีเฟล็กซ์ที่ชื่อว่า Tonic vibration reflex (K.Hangbarth & G.Eklund, 1969) โดยการไหลเข้าของกระแสประสาทระหว่างการถูกกระตุ้นจะนำไปสู่การกระตุ้นการทำงานของ α-motor neuron และเพิ่มคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) โดยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะมากกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจาการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Voluntary contraction (Bosco et al., 1999) นอกจากนี้งานวิจัยของ DJ-Cochrane และคณะ (2008) กล่าวว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีผลในการเพิ่มอุณหภูมิกล้ามเนื้อได้เร็วกว่าการอบอุ่นร่างกายด้วยการปั่นจักรยานซึ่งเป็นการส่งเสริมพลังกล้ามเนื้อและเหมาะแก่การใช้ในกีฬาที่ต้องการใช้พลังกล้ามเนื้อ ทั้งนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่พยายามจะอธิบายผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายดังกล่าวนี้ อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่กล่าวมานี่ตามอาจสรุปได้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (M.Cardinale & C.Bosco, 2003) ในทางกลับกันก็ยังมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่พบว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายส่งผลทำให้พลังกล้ามเนื้อลดลง (V.Issurin & G.Tenenbaum, 1999) ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ผลของการสั่นยังไม่เป็นที่แน่นอนนั้นอาจเนื่องมาจากการกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการสั่นที่จะกล่าวถึงต่อไป

กลไกการทำงานของเครื่องสั่นสามารถอธิบายตามหลักได้ว่า เป็นกลไกของแรงสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ทำให้พลังงานเกิดการถ่ายโอนจาก Actuator ในที่นี้หมายถึงตัวเครื่องสั่นไปสู่ Resonator ซึ่งหมายถึง ร่างกายของเราระบบกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้อเปรียบเทียบได้กับระบบสปริงที่สามารถเก็บและปล่อยพลังงานได้ การสั่นจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการสะสมพลังงานและถ่ายโอนพลังงานไปที่ละส่วนโดยเริ่มจากเท้าไปสู่น่องและน่องไปสู่ต้นขาและต้นขาไปสู่ลำตัว การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายส่วน

ใหญ่จะมีรูปแบบคลื่นแบบ Sinusoid shape โดยตัวแปรที่ใช้ในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นได้แก่ ค่าความถี่ (Frequency) ค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ระยะเวลา (Duration of vibration) และวิธีการใช้ (Method of application) ทั้งนี้การกำหนดค่าตัวแปรในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ต่างกันจะได้ผลที่แตกต่างกัน (Luo, McNamara, & Moran, 2005) ซึ่งตัวแปรต่างๆเหล่านี้ได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษามาบ้างแล้วและมีแนวโน้มที่จะพบค่าตัวแปรที่สามารถทำให้การสั่นเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามยังมีอีกตัวแปรหนึ่งที่อาจจะมีความสำคัญแต่ก็ยังไม่ได้รับความสนใจในการศึกษาเท่าที่ควรนั้นก็คือ แบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายซึ่งอาจส่งผลทางใดทางหนึ่งต่อประสิทธิภาพได้ทั้งนี้ถ้าเราสามารถหาแบบท่าทางในการสั่นที่ส่งผลในทางบวกให้กับพลังกล้ามเนื้อและแรงกล้ามเนื้อก็อาจจะนำมาซึ่งแบบการสะเทือนทั้งร่างกายที่มีประสิทธิภาพและได้ผลที่คงที่

แบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่กล่าวถึงนี้ หมายถึง การหดตัวของกล้ามเนื้อในระหว่างการสั่นซึ่งได้แก่ การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่โดยการทำท่า Static half squat และการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่โดยการทำท่า Dynamic half squat แบบการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่กล้ามเนื้อจะหดตัวแบบไอโซเมตริกตลอดช่วงการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายโดยในท่า Static half squat กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) และกล้ามเนื้อน่อง (Gastocnemius) จะอยู่ในลักษณะที่เหยียดออกและกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง(Hamstring) และกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้กระดกข้อเท้า (Dorsiflexor muscle) จะอยู่ในลักษณะที่หดสั้นตลอดช่วงการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ในขณะที่การหดตัวแบบเคลื่อนที่กล้ามเนื้อจะหดตัวแบบเอคเซ็นตริก (Eccentric) สลับกับคอนเซ็นตริก (Concentric) โดยกลุ่มกล้ามเนื้อของขาจะทำการหดตัวทั้งสองแบบสลับกันระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ทั้งนี้แบบของการหดตัวกล้ามเนื้อในระหว่างการสั่นที่แตกต่างกันของทั้งการหดตัวแบบไอโซเมตตริกและการหดตัวแบบสลับกันระหว่างเอคเซ็นตริก (Eccentric) กับคอนเซ็นตริก (Concentric) อาจทำให้การสะสมพลังงานและการระดมมอร์เตอร์ยูนิตในกล้ามเนื้อขาที่แตกต่างกันซึ่งอาจทำให้การเพิ่มขึ้นของพลังกล้ามเนื้อภายหลังการสั่นในแตกต่างกัน

จากข้อมูลผลของงานวิจัยนี้ได้กล่าวมานี้ทำให้เราเข้าใจได้ว่าแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อพลังกล้ามเนื้อขาได้แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยนี้จึงมีความต้องการที่จะศึกษาผลฉับผลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อต้นขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่เพื่อที่จะนำผลการทดลองนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

ผลฉับพลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่มีผลให้พลังกล้ามเนื้อขาแตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.กลุ่มทดลองในการวิจัย คือ นิสิตคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา เพศหญิง อายุ 18-22 ปี ที่ออกกำลังกายตามตารางวิชาที่ลงเรียนปกติ ไม่ได้เป็นนักกีฬาที่ต้องเข้ารับการฝึกเฉพาะและเป็นผู้ที่ไม่มีการบาดเจ็บทางร่างกายและไม่มีโรคประจำตัว มีค่าRelative strength 1.5-2.0 สาเหตุที่ผู้วิจัยทำการศึกษาเฉพาะเพศหญิงเนื่องด้วยแบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอันได้แก่ ความถี่ แอมพลิจูด และระยะเวลาในการสั่นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้นำมาจากงานวิจัยของ Bazett-jone (2008) ที่ทำการทดลองในทั้งเพศหญิงและชายซึ่งพบว่า แบบการสั่นดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพลังกล้ามเนื้อขาในเฉพาะกลุ่มผู้ทดลองเพศหญิงเท่านั้นโดยให้เหตุผลว่าเพศชายและเพศหญิงมีความตึงตัวของกล้ามเนื้อแตกต่างกันในเพศหญิงจะมีความตึงตัวของกล้ามเนื้อน้อยกว่าจึงทำให้เกิดการตอบสนองของระบบประสาทและกล้ามเนื้อได้ดีกว่าเพศชาย

2.งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง

3.ตัวแปรที่ใช้ในการการศึกษาค้นคว้า

ตัวแปรอิสระ: -การกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยการสั่นทั้งร่างกายโดยใช้การเคลื่อนไหวแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ (ท่า Dynamic half squat และ Static half squat)

ตัวแปรตาม: - พลังกล้ามเนื้อขา (Peak power)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 คำจำกัดความ

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration) หมายถึง การทำการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดพลังงานจากตัวเครื่องสั่นไปสู่ร่างกายของเราซึ่งทำให้เกิดการกระตุ้นระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

พลังกล้ามเนื้อ (Power) หมายถึง การที่ออกแรงสูงสุดภายในระยะเวลาที่สั้นที่สุดหรือผลคูณของแรง (Force) กับความเร็ว (Velocity)

กล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่ (Static contraction) หมายถึง การที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบเกร็งค้างหรือไอโซเมตริกโดยในงานวิจัยนี้หมายถึงการทำท่า Static half squat

กล้ามเนื้อหดตัวแบบเคลื่อนที่ (Dynamic contraction) หมายถึง การที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบคอนเซ็นตริกสลับกับเอ็กเซ็นตริกโดยในงานวิจัยนี้หมายถึงการทำท่า Dynamic half squat

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

ผลของงานวิจัยเรื่องนี้จะทำให้เราทราบว่า แบบท่าทางในการสั่นนั้นมีผลต่อพลังกล้ามเนื้อขาและการหดตัวของกล้ามเนื้อในระหว่างการสั่นแบบใดสามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อขาได้มากกว่าซึ่งจะทำให้เราสามารถกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการสั่นได้อย่างเหมาะสมสำหรับการใช้เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการฝึกให้กับนักกีฬาอย่างที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การสั่นนั้นสามารถเพิ่มแรงและพลังกล้ามเนื้อได้ทั้งนี้งานวิจัยเรื่องนี้ยังเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาแบบท่าทางในการสั่นเพื่อที่จะนำไปสู่การศึกษาแบบท่าทางในการสั่นรูปแบบอื่นๆต่อไปในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องนี้ศึกษาผลแบบฉับผลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายโดยใช้การเคลื่อนไหวแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ต่อพลังกล้ามเนื้อผู้วิจัยมีความจำเป็นต้องค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีหัวข้อต่างๆดังนี้

1.การกระตุ้นระบบประสาทและกล้ามเนื้อด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

2.พลังกล้ามเนื้อ

3.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1 การกระตุ้นระบบประสาทและกล้ามเนื้อด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

การสั่นถูกพบว่า มีการใช้ในลักษณะของอุปกรณ์การแพทย์มาตั้งแต่สมัยกรีกโรมัน (Snow, 1912) ศตวรรษที่19 พบการใช้เครื่องสั่นสำหรับการนวดที่ชื่อว่า Vibratory massage ได้รับความนิยมแพร่หลายในช่วงเวลานั้น (EL.Curry & JA.Clelland, 1981) เครื่องสั่นที่ผลิตขึ้นถูกนำมาใช้โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีชื่อเสียงและเครื่องสั่นเพื่อการนวดถูกตีพิมพ์ลงในหนังสือสองเล่ม (B.Brown, 1914; Snow, 1912) การตีพิมพ์นั้นกล่าวถึงจุดประสงค์หลักของการทำงานของเครื่องนั้นก็คือ การฟื้นฟู (Restoration) และการกระตุ้น (Stimulation)

ต่อมานักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียที่ชื่อว่า Nazarov และ Spivak ได้นำเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมาใช้สำหรับการฝึกนักกีฬาเป็นครั้งแรกซึ่งพบว่า สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นและความแข็งแรงให้กับนักกีฬาได้ (Kunnemeyer & D.S., 1997) ทำให้เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายก็ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์หลายคนโดยทำการศึกษาผลของเครื่องในลักษณะของเครื่องออกกำลังกาย (Rittweger & Felsenber, 2001; V.Issurin & G.Tenenbaum, 1999)

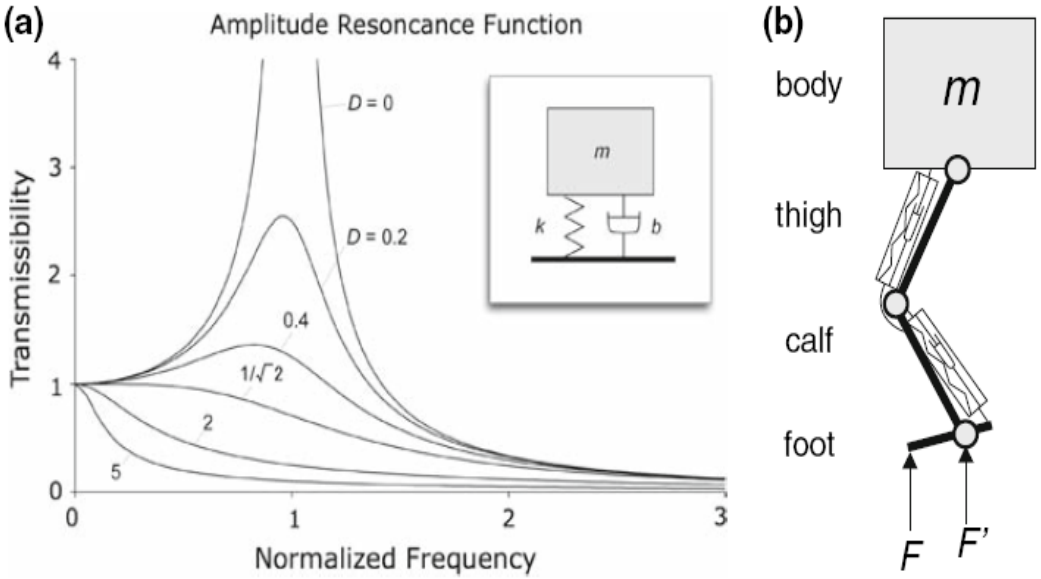
จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้เราทราบว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นเป็นแบบการกระตุ้นระบบประสาทและกล้ามเนื้อที่มีมานานแล้วและเป็นวิธีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบประสาทและกล้ามเนื้อได้ซึ่งในหัวข้อถัดไปนี้จะกล่าวถึงกลไกการทำงานของเครื่องสั่นในปัจจุบันที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบกล้ามเนื้อและเป็นที่พบเห็นได้มากในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.1 กลไกการทำงานของเครื่องสั้นสะเทือนทั้งร่างกาย

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเป็นกลไกของแรงสั่นสะเทือนที่ทำให้พลังงานเกิดการถ่ายโอนจาก Actuator ในที่นี้หมายถึงตัวเครื่องสั่นไปสู่ Resonator ซึ่งหมายถึง ร่างกายของเรา ระบบกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้อเปรียบเทียบได้กับระบบสปริงที่สามารถเก็บและปล่อยพลังงานได้ การสั่นจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการสะสมพลังงานและถ่ายโอนพลังงานไปที่ละส่วนโดยเริ่มจากเท้าไปสู่น่อง ,น่องไปต้นขาและต้นขาไปสู่ลำตัว

ทั้งนี้การสั่นส่วนใหญ่จะมีรูปแบบคลื่นแบบ sinusoid shape ซึ่งประกอบไปด้วย แอมพลิจูด (Amplitude), ความถี่ (Frequency), ช่วงมุม (Phase angle)



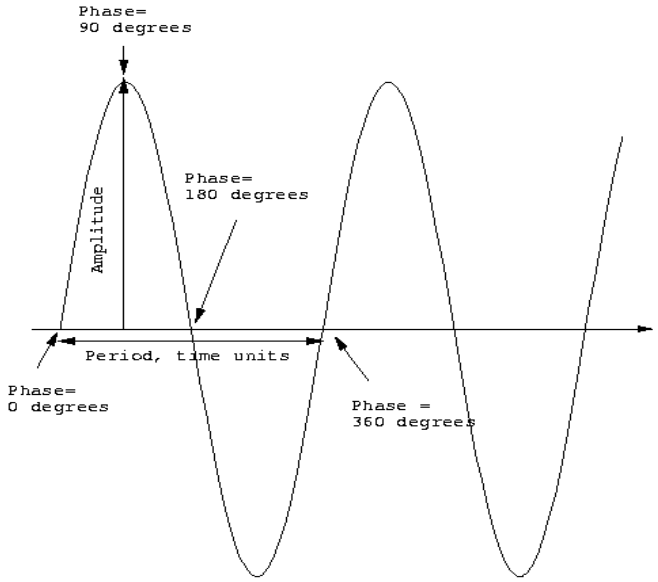
รูปที่ 1 แสดงการถ่ายโอนพลังของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายไปสู่ร่างกาย (Rittweger, 2010)

จากรูปที่ 1 K คือ ค่าความแข็งอ่อนของสปริงที่จะยุบตัวตามสัดส่วนตามน้ำหนักที่กดทับโดยมีหน่วยเป็น Kg/mm ,N/mm หรือ Lbs/in

b คือ อุปกรณ์เครื่องจักรกลการสั่นสะเทือนที่ต่อต้านการเคลื่อนไหวผ่านทางแรงเสียดทาน m คือ มวล (ร่างกาย)

F คือ แรงจากเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

D คือ ค่าความหน่วง



รูปที่ 2 แสดงรูป sinusoid wave (C.Merrick & J.Ponton, 1996)

โดยในระหว่างการสั่นร่างกายของเราจะมีความเร่งโดยความเร่งที่เกิดขึ้นคิดเป็นสมการดังนี้

$$a_{peak} = \omega^2 A \quad (1)$$

และอีกหนึ่งสมการที่บอกความเร่งโดยการใช้ root-mean square สำหรับคลื่นแบบ sinusoid คือ

$$A_{RMS} = a_{peak}\frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

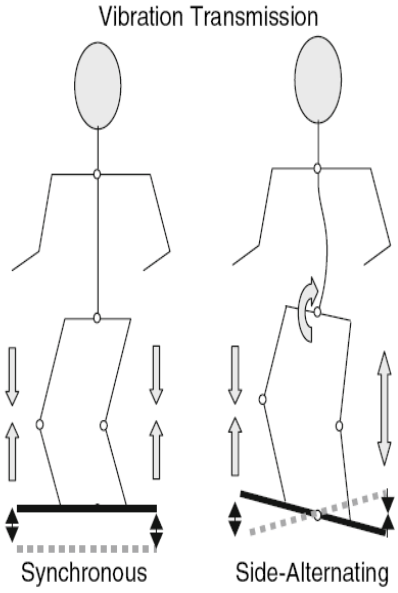
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปแบบในการถ่ายโอนพลังงาน

รูปแบบการถ่ายโอนถ่ายโอนพลังงานแบ่งได้เป็นสองแบบคือ Synchronize และ Side-alternating

1. Synchronize เป็นรูปแบบการถ่ายโอนพลังงานด้วยการยืนโดยขาสองข้างในแนวเดียวกัน

2. Side-alternating เป็นรูปแบบการถ่ายโอนพลังงานด้วยการยืนโดยขาสองข้างในลักษณะที่ขาขวาอยู่ต่ำกว่าขาซ้าย Riitweger และคณะ (2001) กล่าวว่า การถ่ายโอนพลังงานแบบ Side-alternating จะกระตุ้นให้เกิดการหมุนรอบข้อสะโพกและข้อต่อระหว่างกระดูกสะโพกกับเชิงกรานซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขององศาการเคลื่อนไหวอิสระ (Degree of Freedom) และทำให้ค่าความหน่วงของการถ่ายโอนพลังงานแบบ Side-alternating มีค่าน้อยกว่าการถ่ายโอนพลังงานแบบ Synchronize(Abercromy et al., 2007)



รูปที่ 3 แสดงรูปแบบการถ่ายโอนพลังงานแบบ synchronize และ side-alternating (Rittweger, 2010)

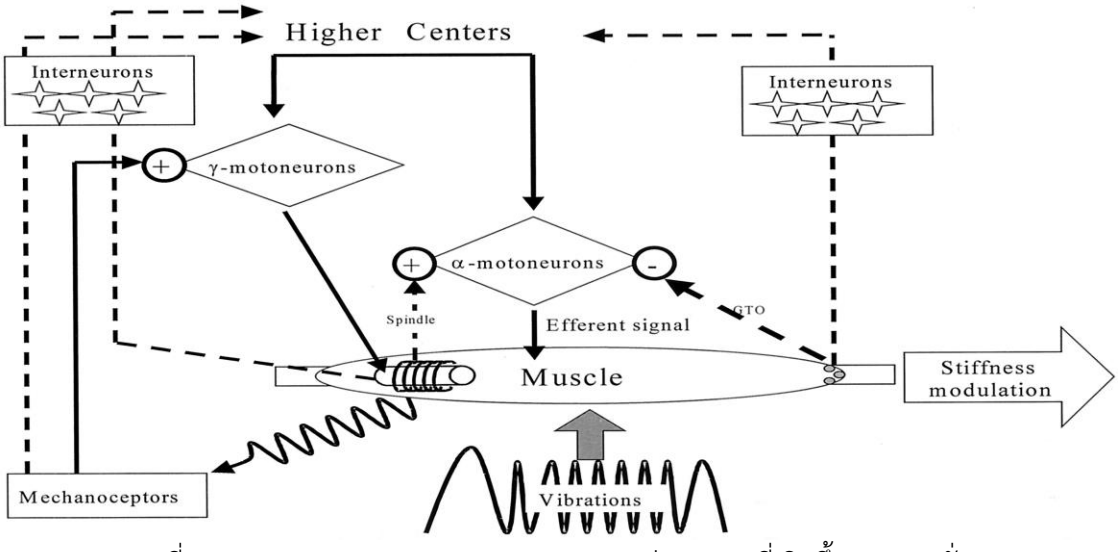
จากข้อมูลดังกล่าวเราอาจสรุปได้ว่า กลไกการทำงานของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเป็นการถ่ายทอดพลังงานจากตัวเครื่องไปสู่ร่างกายซึ่งทำให้กล้ามเนื้อเกิดการสะสมพลังงานเอาไว้โดยในหัวข้อถัดไปนี้จะกล่าวถึงการตอบสนองของระบบประสาทและกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากกลไกการทำงานของเครื่องที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.1.2 การตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลายโดยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะกระตุ้นการทำงานของรีเฟล็กซ์ที่อยู่ในระบบการทำงานของประสาทส่วนปลายและกระตุ้นการทำงานของสมองที่อยู่ในการควบคุมของระบบประสาทส่วนกลางโดยลักษณะการตอบสนองของระบบประสาททั้งสองจะเกิดขึ้นดังต่อไปนี้

2.1.2.1 การตอบสนองของระบบประสาทส่วนปลาย

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาวกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกจับสัญญานจากตัวรับความรู้สึกซึ่งควบคุมความตึงตัวของกล้ามเนื้อ การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่เกิดขึ้นกระตุ้นการทำงานของรีเฟล็กซ์ที่กระตุ้นกล้ามเนื้อมีชื่อว่า Tonic vibration reflex (K.Hangbarth & G.Eklund, 1969) การเสียรูปของเนื้อเยื่อขณะเกิดการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะเป็นผลให้เส้นใยกล้ามเนื้อทำงานนำไปสู่การกระตุ้นวงจรรีเฟล็กซ์ การไหลเข้าของกระแสประสาทระหว่างการถูกกระตุ้นจะนำไปสู่การกระตุ้นการทำงานของอัลฟ่ามอร์เตอร์นิวรอนและเพิ่มคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) โดยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการสั่นจะมากกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจาการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Voluntary contraction (Bosco et al., 1999) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายก็ช่วยเพิ่มการระดมมอเตอร์ยูนิตที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบที่เกิดขึ้นพร้อมกัน (Synchronization) อีกด้วย



รูปที่ 4 แสดงการตอบสนองของระบบประสาทส่วนปลายที่เกิดขึ้นจากการสั่น

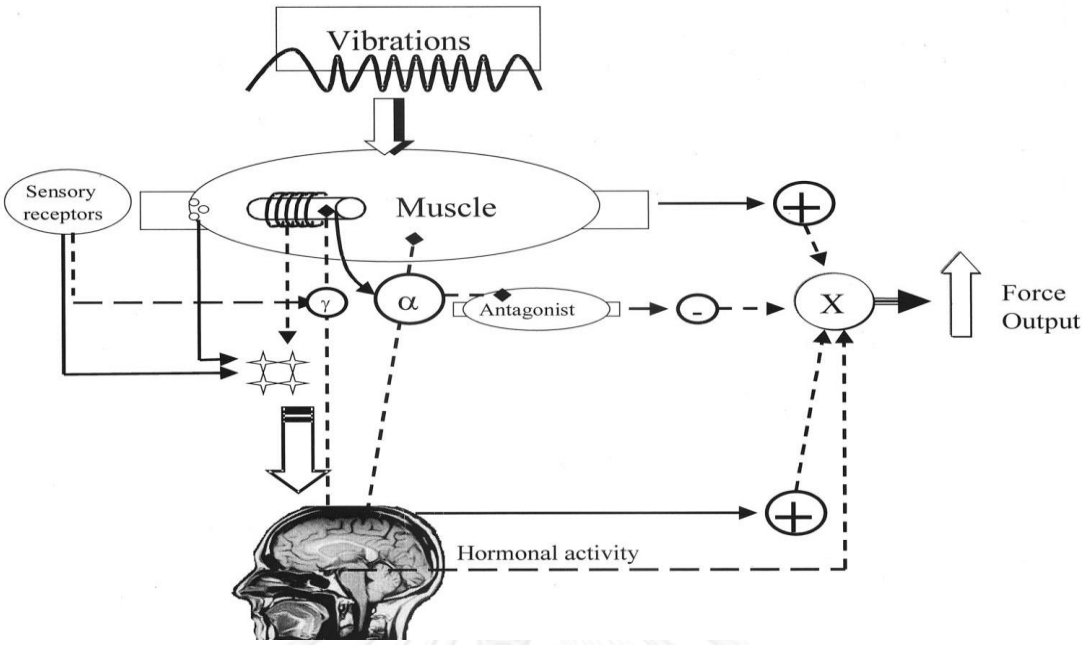
(M.Cardinale & C.Bosco, 2003)

รูปที่ 4 อธิบายถึงการตอบสนองของระบบประสาทส่วนปลายดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นซึ่งนอกจากตอบสนองของระบบประสาทส่วนปลายแล้วการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายยังกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของระบบประสาทส่วนกลางอีกด้วย

2.1.2.2 การตอบสนองต่อระบบประสาทส่วนกลาง

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่เกิดขึ้นจะส่งกระแสประสาทการรับรู้ไปที่ Primary-Secondary somatosensory cortex ร่วมกับ Supplementary motor area (Naito et al., 2000) ทั้งนี้การใช้ความถี่ที่แตกต่างกันจะมีผลให้เกิดการรับรู้การเคลื่อนไหวที่คลาดเคลื่อนซึ่งไปกระตุ้นสมองส่วน Supplementary motor area, Caudal cingulated, area a4 (Naito et al., 2000) ซึ่ง Supplementary motor area จะมีหน้าที่ในการควบคุมและวางแผนการเคลื่อนไหวก่อนมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น (Cunnington et al., 2002) นอกจากนี้การสั่นยังส่งผลให้มีการหลั่งฮอร์โมน

ปัจจัยของการหลั่งฮอร์โมนนั้นเกี่ยวข้องกับการปรับตัวของระบบประสาทและกล้ามเนื้อการตอบสนองของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่อสภาพแวดล้อมภายนอกที่เปลี่ยนแปลงซึ่งรวมถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วง (G.Mccall, R.Grindeland, R.Roy, & V.Edgerton, 2000) ทั้งนี้การอยู่ในสภาวะแรงโน้มถ่วงน้อยเป็นเวลานานส่งผลให้แรงกล้ามเนื้อลดลง (R.Fitts, D.Riley, & J.Widrick, 2001) เห็นได้จากงานวิจัยที่ศึกษาในมนุษย์อวกาศที่พบว่า ระดับการหลั่งแอนโดรเจนและโกรทฮอร์โมนลดลง (G.Mccall et al., 2000) ซึ่งเนื่องมาจากสภาวะแรงโน้มถ่วงที่ลดลงส่งผลต่อระบบโฮมิโอสเตซิซของร่างกายเนื่องจากทำความเครียดของระบบประสาทและกล้ามเนื้อและความดันลดลง ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากการออกกำลังเพื่อเพิ่มความแข็งแรงพบว่ามีการหลั่งฮอร์โมนดังที่กล่าวมาแล้วเพิ่มขึ้นเนื่องด้วยการออกกำลังกายสร้างความเครียดให้กับระบบประสาทและกล้ามเนื้อทำให้เกิดการตอบสนองทางระบบประสาทในระหว่างการออกกำลังกาย การหลั่งสารเอ็นโดรครีนถูกกระตุ้นด้วยการทำงานของสมองส่วน Central motor command และส่งต่อไปที่ Hypothalamic neurosecretory และ Autonomic centers การกระตุ้นด้วยการสั่นนั้นเป็นการกระตุ้นที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการหลั่งฮอร์โมนเฉพาะ ทั้งนี้งานวิจัยของ (Bosco et al., 2000) พบว่า การสั่นสามารถทำให้การหลั่งฮอร์โมนเทสโทสเทอโรนและโกรทฮอร์โมนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 แสดงการตอบสนองของระบบประสาทส่วนกลางที่เกิดขึ้นจากการสั่น

(M.Cardinale & C.Bosco, 2003)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลายซึ่งผลของการตอบสนองนี้ทำให้ร่างกายสามารถออกแรงและกำลังในการทำงานได้เพิ่มขึ้นตรงกับที่ Cardinale และ Bosco (2003) ได้กล่าวไว้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถพัฒนาความแข็งแรงและกำลังกล้ามเนื้อ (Bosco et al., 1999)

ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดตัวแปรในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย การกำหนดค่าตัวแปรที่ต่างกันจะได้ผลที่แตกต่างกัน (Luo et al., 2005) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาตัวแปรในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเพื่อที่เราจะสามารถกำหนดแบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีประสิทธิภาพได้

2.1.3 ตัวแปรในการสั่น

Luo et.al (Luo et al., 2005) กล่าวถึงตัวแปรในการสั่นไว้ได้แก่ วิธีการใช้ (Method of application) ความถี่ของการสั่น (Frequency), แอมพลิจูด (Amplitude) และ ช่วงเวลาในการสั่น (Duration of vibration) และได้อธิบายถึงการกำหนดค่าของตัวแปรดังกล่าวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายไว้ดังนี้

2.1.3.1 วิธีการใช้ (Method of application)

วิธีการใช้นั้นได้แก่ การสั่นแบบทางตรง (Direct vibration) และการสั่นแบบทางอ้อม (Indirect vibration) การสั่นแบบทางตรงคือ การให้การสั่นลงไปที่บริเวณกล้ามเนื้อหรือเอ็นกล้ามเนื้อแบบเฉพาะเจาะจงลงไปที่บริเวณนั้น ส่วนการสั่นแบบทางอ้อมคือการให้การสั่นแบบส่งผ่านจากจุดกำเนิดไปยังกลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมายโดยผ่านส่วนของร่างกายแล้วส่งไปยังบริเวณที่ต้องการ ยกตัวอย่างได้เช่น ถ้าต้องการส่งการสั่นไปกระตุ้นที่กล้ามเนื้อต้นขาโดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองยืนบนเครื่องสั่น คลื่นของการสั่นที่เกิดขึ้นจากจุดกำเนิดก็จะถูกส่งผ่านจากแท่นสั่นไปที่กล้ามเนื้อน่องและส่งผ่านมายังกล้ามเนื้อต้นขาซึ่งเราเรียกรูปแบบการสั่นแบบนี้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration) ความแตกต่างที่สำคัญของสองวิธีนี้ก็คือ ความถี่ (Frequency) และแอมพลิจูด (Amplitude) ที่กลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมายนั้นต่างกันเนื่องด้วยการสั่นแบบทางตรง (Direct vibration) ความถี่ (Frequency) และแอมพลิจูด (Amplitude) ที่เกิดขึ้นที่กลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมายนั้นจะไม่แตกต่างจากที่จุดกำเนิดของการสั่นเนื่องจากให้การสั่นลงไปโดยตรงที่ตัวกล้ามเนื้อ ในขณะที่การสั่นแบบทางอ้อม (Indirect vibration) ต้องมีการส่งผ่านคลื่นของการสั่นจากจุดกำเนิดไปยังตำแหน่งเป้าหมายซึ่งเป็นผลให้ความถี่ (Frequency) และแอมพลิจูด (Amplitude) ที่เกิดขึ้นที่กลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมายนั้นน้อยกว่าที่จุดกำเนิดของการสั่น ทั้งนี้วิธีการใช้ที่เรากำหนดในงานวิจัยเรื่องนี้คือการสั่นแบบทางอ้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.3.2 ความถี่ (Frequency)

ความถี่ หมายถึง จำนวนรอบของคลื่นต่อนาที มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz) งานวิจัยของ Naito (2000) กล่าวว่า การใช้ความถี่ในการสั่นที่แตกต่างกันสามารถสร้างให้เกิดการรับรู้การเคลื่อนไหวที่ไม่ตรงกับความเป็นจริงกระตุ้นการทำงานของ Supplementary motor area, Caudal cingulated motor area 4a ทั้งนี้งานวิจัยของ Cardinale & Lim (2003) ที่ทำการเปรียบเทียบความถี่ที่ใช้ในการสั่น 3 ความถี่ ได้แก่ 30 เฮิรตซ์ 40 เฮิรตซ์ และ 50 เฮิรตซ์ ที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อหน้าขา (Vastus Lateralis muscle) ในระหว่างการสั่น ซึ่งพบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมากที่สุดที่ความถี่ 30 Hzโดยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์กับ 50 เฮิรตซ์ และความถี่ 40เฮิรตซ์ กับ 50 เฮิรตซ์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความถี่ที่ 30 เฮิรตซ์ กับ 40 เฮิรตซ์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ Cardinaleและ Lim (2003) ก็ทำการศึกษาเปรียบเทียบความถี่ที่มีผลต่อความสามารถในการกระโดดในท่า Squat jump และ Counter-movement jump โดยเปรียบเทียบความถี่ 20 และ 40 เฮิรตซ์ ซึ่งพบว่า ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์สามารถเพิ่มความสูงในการกระโดดท่า Squat jump 4 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ ทำให้ความสูงในการกระโดดทั้งสองท่าลดลง ต่อมางานวิจัยของ DJ.Cochrane (2005) และ Cormie และคณะ (2006) ได้ทดลองใช้ความถี่ 26 เฮิรตซ์ และ 30 เฮิรตซ์ โดยทั้งสองงานวิจัยพบว่าความถี่ทั้งสองความถี่สามารถเพิ่มความสูงในการกระโดดท่า counter-movement jump ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งนี้ก็ยังกำหนดค่าแอมพลิจูดและระยะเวลาที่แตกต่างกันทำให้เราไม่สามารถเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นได้ แต่ต่อมางานวิจัยของ Bazett-Jones และคณะ (2008) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความถี่ที่ใช้ในการสั่นต่อผลของการกระโดดในท่า Counter-movement jump โดยเปรียบเทียบความถี่ที่ 30,35,40 และ 50 เฮิรตซ์ ในระยะเวลา 45 วินาที โดยกำหนดแบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบเคลื่อนที่ในท่า Dynamic half squat โดยพบว่า ความถี่ที่ 40 และ 50 เฮิรตซ์ สามารถเพิ่มความสามารถในการกระโดดได้

ทั้งนี้ในงานวิจัยเรื่องนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะใช้ความถี่ที่ 40 และ 50 เฮิรตซ์ เนื่องจากเป็นความถี่ที่มีการศึกษามาแล้วและพบว่า สามารถเพิ่มความสามรถในการกระโดดได้และในตัวแปรต่อไปเราจะกล่าวถึงค่าแอมพลิจูดที่เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่เราได้ศึกษาเพื่อที่จะเลือกใช้ค่าที่ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกระโดดได้มากที่สุด

2.1.3.3 แอมพลิจูด (Amplitude)

แอมพลิจูด หมายถึง ระยะทางครึ่งหนึ่งของระหว่างจุดสูงสุดกับจุดต่ำสุดของคลื่นที่เกิดจากการสั่น (C.Merrick & J.Ponton, 1996) งานวิจัยสองเรื่องของ Torvinen และคณะ (2002) โดยกำหนดแอมพลิจูดที่ 4 และ 1 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการสั่น 4 นาทีโดยทำร่วมกับการท่าออกกำลังกายเบาๆบนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายพบว่า การเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อน่องและกล้ามเนื้อต้นขาซึ่งพบว่า คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อทั้งสองมัดมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงการสั่นเป็นเวลา 4 นาที โดยการสั่นที่กำหนดค่าแอมพลิจูด เท่ากับ 4 มิลลิเมตรพบว่า ค่า Mean power frequency ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อลดลงในทั้งสองกล้ามเนื้อและมีการเพิ่มขึ้นของค่า EMG root mean square ของกล้ามเนื้อตั้งแต่ 1 นาทีแรกไปจนถึงนาทีที่ 4 ซึ่งหลักจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายพบว่า ทำให้กล้ามเนื้อน่องเกิดการล้า ในทางตรงกันข้ามการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่กำหนดค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญในช่วง 4 นาทีของการสั่น ดังแสดงในรูปที่6

จากผลของงานวิจัยทั้งสองนี้อาจกล่าวได้ว่าค่าแอมพลิจูดที่มากสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างการสั่นได้และอาจทำให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Study	Subject	Vibration and exercise characteristics					Neuromuscular performance change				
		method (location)	amp (mm)	freq (Hz)	exercise	duration (min)	contraction performed	tp (min)	force or torque	RFD	EMG
Jackson and Turner[8]	10 UT M	D (RF)	1.5–2.0	30	None	30	Knee extension (100% MVC)	0.5	7%↓*+#	70%↓*+#	IEMG: RF: 15 mV.sec ↓* VL: 8 mV.sec ↓ NS
		D (RF)	1.5–2.0	120	None	30	Knee extension (100% MVC)	0.5	4.2%↓* (NSC)	30%↓* (NSC)	IEMG: RF: 7 mV.sec ↓ NS VL: 7 mV.sec ↓ NS
		Control	NA	NA	None	30	Knee extension (100% MVC)	0.5	2%↓*	19%↓ NS	IEMG: RF: 2.5 mV.sec ↓ NS VL: 0 mV.sec ↓ NS
Rittweger et al.[4]	19 UT (10 F, 9 M)	I (WBV)	6	26	Squatting on platform with load	5.8	Knee extension (70% MVC)	0 10	NM NM	NM NM	EMG_{mf}: VL: 55.2Hz EMG_{mf}: VL: 50Hz (NSC)
		Control	NA	NA	Squatting on platform with load	9.6	Knee extension (70% MVC)	0 10	NM NM	NM NM	EMG_{mf}: VL: 42.4Hz EMG_{mf}: VL: 40Hz
Torvinen et al.[16]	16 UT (8 M, 8 F)	I (WBV)	4	15–30	Standing on platform with light exercise	4	Knee extension (100% MVC)	2 60	1.0%↑+ 0.8%↓ (NSC)	NM NM	NM NM
		Sham vibration	NA	NA	Standing on platform with light exercise	4	Knee extension (100% MVC)	2 60	2.0%↓ 3.2%↓	NM NM	NM
Torvinen et al.[7]	16 UT (8 M, 8 F)	I (WBV)	1	25–40	Standing on platform with light exercise	4	Knee extension (100% MVC)	2 60	1.3%↑ (NSC) 1.5%↓ (NSC)	NM NM	NM NM
		Sham vibration	NA	NA	Standing on platform with light exercise	4	Knee extension (100% MVC)	2 60	0.1%↑ 0.9%↓	NM NM	NM NM

รูปที่ 6 แสดงผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในงานวิจัยที่กำหนดค่าแอมพลิจูดแตกต่างกันต่อแรงและพลังกล้ามเนื้อ (Luo et al., 2005)

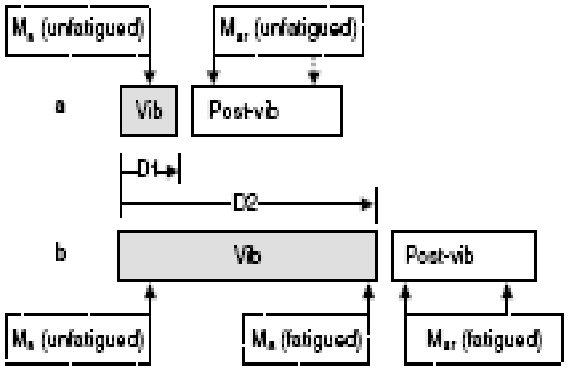
นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ผลของงานวิจัยในรูปด้านบนนี้แสดงให้เห็นว่าการกำหนดค่าแอมพลิจูดที่มากสามารถเพิ่มแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อและความสูงในการกระโดดได้มากกว่ากลุ่มควบคุมผลดังกล่าวนี้สนันสนุนการวิเคราะห์ที่กล่าวว่า การกำหนดค่าแอมพลิจูดที่มากสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อได้มากกว่าซึ่งอาจกล่าวได้ว่าค่าแอมพลิจูดต้องมีขนาดที่เพียงพอที่จะกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อให้เกิดประสิทธิภาพได้ งานวิจัยของ Rittwerger และคณะ (2003) กล่าวว่าแอมพลิจูดที่ 6 มิลลิเมตร เพียงพอที่จะกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง (Rittweger, M.Mutschelknauss, & Felsenberg, 2003)

2.1.3.4 ช่วงเวลา (Duration of vibration)

ช่วงเวลาเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากสามารถส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายได้ จากรูปที่7 ด้านล่างแสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาที่สั้นสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อโดยไม่ทำให้เกิดการล้า ในขณะที่การใช้ช่วงเวลาที่นานการล้าของกล้ามเนื้อก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งการล้าที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกายจึงส่งผลให้เกิดการล้าเพิ่มขึ้นหรืออาจเกิดจากกระบวนการยับยั้งทางระบบประสาทที่เกิดขึ้น

ทั้งนี้งานวิจัยของ Cormie และคณะ (2006) ได้ศึกษาการใช้ระยะเวลาในการสั่นสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 30 วินาทีต่อความสูงในการกระโดดท่า Counter-movement jump แล้วพบว่า ความสูงในการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่เพิ่มขึ้นเพียง 0.7 เปอรเซ็นต์ ซึ่งถือว่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ Cormie และคณะ ได้ตั้งความหวังว่าระยะเวลาในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ 45 วินาทีน่าจะสามารถเพิ่มความสามารถในการกระโดดได้มากกว่า

ต่อมา Bazett-Jones และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีต่อความสูงในการกระโดดโดยใช้ระยะตามความคาดหวังของ Cormie และพบว่า ความสูงในการกระโดดที่ใช้ระยะเวลา 45 วินาทีเพิ่มขึ้นมากกว่าระยะเวลา 30 วินาที ที่ใช้ในงานวิจัยของ Cormie ดังนั้นในงานวิจัยเรื่องนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ 45 วินาที (Bazett-jone, Finch, & Dugan, 2008)



รูปที่ 7 แสดงถึงระยะเวลาในการสั่นที่ทำให้กล้ามเนื้อสามารทำงานได้โดยไม่เกิดการล้า (Luo et al., 2005)

ตัวแปรทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้เป็นตัวแปรที่มีงานวิจัยที่ศึกษามาบ้างแล้วและมีแนวโน้มที่จะพบค่าตัวแปรที่สามารถทำให้การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามยังมีอีกตัวแปรหนึ่งที่อาจจะมีความสำคัญแต่ก็ยังไม่ได้รับความสนใจในการศึกษาเท่าที่ควรนั้นก็คือ แบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายซึ่งอาจส่งผลทางใดทางหนึ่งต่อประสิทธิภาพในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายได้ ทั้งนี้ถ้าเราสามารถหาแบบในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ส่งผลในทางบวกก็อาจจะนำมาซึ่งรูปแบบของโปรแกรมการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีประสิทธิภาพและได้ผลที่คงที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.3.5 แบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

แบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่กล่าวถึงนี้ หมายถึง แบบการหดตัวของกล้ามเนื้อในระหว่างการสั่นซึ่งได้แก่ การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ (Static) โดยการทำท่า Static half squat และการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ (Dynamic) โดยการทำท่า Dynamic half squat แบบการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่กล้ามเนื้อจะหดตัวแบบไอโซเมตริกตลอดช่วงการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายโดยในท่า Static half Squat กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadricep) และกล้ามเนื้อน่อง (Gastocnemius) จะอยู่ในลักษณะที่เหยียดออกและกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstring) และกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้กระดกข้อเท้า (Dorsiflexor muscle) จะอยู่ในลักษณะที่หดสั้นตลอดช่วงการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ในขณะที่แบบการหดตัวแบบเคลื่อนที่กล้ามเนื้อจะหดตัวแบบเอคเซ็นตริก (Eccentric) สลับกับคอนเซ็นตริก (Concentric) โดยกลุ่มกล้ามเนื้อของขาจะหดตัวทั้งสองแบบสลับกันระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

ทั้งนี้แบบของการหดตัวกล้ามเนื้อในระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่แตกต่างกันของทั้งการหดตัวแบบไอโซเมตตริกและการหดตัวแบบสลับกันระหว่างเอคเซ็นตริก (Eccentric) กับคอนเซ็นตริก (Concentric) อาจทำให้การสะสมพลังงานและการระดมมอร์เตอร์ยูนิตในกล้ามเนื้อขาที่แตกต่างกันซึ่งอาจทำให้การเพิ่มขึ้นของพลังกล้ามเนื้อภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นแตกต่างกัน ทั้งนี้มีงานวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะสั่นโดยกำหนดแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อในการสั่นแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ในท่า Static half squat และ Dynamic half squat แบบโดยศึกษาในกล้ามเนื้อ Vastus lateralis และ Biceps femoris ซึ่งพบการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในแบบ Dynamic half squat มากกว่า Static half squat (Hazell, Jakobi, & Kenno, 2007) อย่างไรก็ตามงานวิจัยก่อนหน้านี้ส่วนมากจะกำหนดแบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบอยู่นิ่งซึ่งได้แก่ ท่า Static half squat ซึ่งผลที่เกิดขึ้นพบว่า บางงานวิจัยที่ใช้แบบนี้สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อขา (Cormie, Deane, Triplett, & Mcbride, 2006) และบางงานวิจัยก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของพลังกล้ามเนื้อขา (V.Issurin & G.Tenenbaum, 1999) ทั้งนี้งานวิจัยของ Bazett-Jones และคณะ (2008) ที่กำหนดแบบท่าทางในการสั่นแบบเคลื่อนไหวโดยใช้ท่า Dynamic half squat ที่ทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เคยได้รับการฝึกทั้งหญิงและชายซึ่งพบว่าในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้หญิงที่ใช้ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด2-4 มิลลิเมตร และที่ใช้ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลลิเมตร ภายหลังการสั่นพบว่า สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อขาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่ทำการเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อทั้งสองต่อพลังกล้ามเนื้อขาและทั้งหมดที่กล่าวมานี่คือตัวแปรของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่เราได้ศึกษาและเลือกใช้ในงานวิจัยนี้

2.1.4 ผลทางสรีรวิทยาของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

2.1.4.1 การตอบสนองของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG response)

การคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ค่อนข้างลำบากเนื่องจากมีหลายทางในการเคลื่อนไหวระหว่างการสั่นที่จะทำให้เกิดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเทียม (EMG artefacts) ซึ่งรวมถึงการเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสายเคเบิลที่กำลังสั่นและ Piezoelectric (Meyer-Waarden, 1985) ในทางกลับกันมีหลักฐานที่ปรากฏชัดว่า กล้ามเนื้อที่ถูกสั้นมีการปล่อยออกของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและมีการปรับให้มีการกำจัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเทียมออกจากกการวัดครั้งนี้ด้วย (LG.Bongiovanni, Hagbarth, & Stjernberg, 1990)

มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาความถี่ที่ใช้ในการสั่นต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis พบว่า แอมพลิจูดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ มากกว่าที่ความถี่ 40 และ 50 เฮิรตซ์ (M.Cardinale & C.Bosco, 2003) นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในระหว่างการสั่นสะเทือนในแบบ Side-alternating และแบบ Synchronous (Abercromy et al., 2007) ในการวิจัยนี้มีการเพิ่ม Stop-band filler ขึ้นมาเพื่อกำจัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเทียมที่อาจเกิดขึ้นซึ่งผลที่เกิดจะแสดงเฉพาะการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยไม่ได้มาจากการถูกกระตุ้นโดย Monosynaptic reflexs

ทั้งนี้คำอธิบายเดียวที่น่าจะสามารถคาดหวังผลได้นั้นก็คืองานวิจัยของ Hangbarth และคณะ (1969) ที่สรุปว่า การสั่นนั้นสามารถเพิ่มการทำงานของหน่วยยนต์ได้ในช่วงการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ระดับ Submaximal ไม่ใช่ในระดับการหดตัวที่ Maximal เนื่องด้วยมีหลายกลไกที่แสดงบทบาทในช่วงนั้นโดยหนึ่งในนั้นคือกลไกการยับยั้งที่เกิดจาก Golgi tendon organ ซึ่งเนื่องมาจากการให้แรงที่มาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.4.2 การเผาผลาญพลังงาน (Energy metabolism)

งานวิจัยของ Wang และ Kerrick (2002) พบว่า การให้การสั่นลงในบริเวณผิวหนังตำแหน่งเฉพาะสามารถเพิ่มการหมุนวียนของ ATP ในกล้ามเนื้อได้ ดังนั้นจึงมีความคาดหวังว่า ความต้องการที่เฉพาะเจาะจงของพลังงานสามารถเพิ่มขึ้นจากการสั่นในกรณีนี้ได้ (Jorn Rittweger et al., 2002; Rittweger & Felsenber, 2001) ภายใต้เงื่อนไขหลายประการอันได้แก่ การทำท่ายืน, การทำท่าสควอทโดยไม่ใช้น้ำหนักและการทำท่าสควอททีใช้น้ำหนัก ที่ความถี่ 26 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 3 มิลลิเมตร มีอัตราการใช้ออกซิเจน 4.5 ml min^{-1} kg^{-1} (Rittweger & Felsenber, 2001) ซึ่งอัตราการใช้ออกซิเจนสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการเพิ่มความถี่, เพิ่มแอมพลิจูด หรือ การเพิ่มน้ำหนัก(Jorn Rittweger et al., 2002) นอกจากนี้ก็ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่าง ความถี่ กับ ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่ดูมีแนวโน้มว่า มีความต้องการออกซิเจนที่ 2.5 µl kg^{-1} ต่อการสั่นที่แอมพลิจูด 5 มิลลิเมตร ในทางตรงกันข้ามอิทธิพลของแอมพลิจูดดูเหมือนว่าจะมีความสัมพันธ์ในแบบที่ไม่ใช่เส้นตรง (Zange, Haller, Muller, Liphardt, & Mester, 2008)

คำถามที่ว่า อัตราการใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นนี้สามารถช่วยในการลดน้ำหนักได้หรือไม่จะแสดงให้เห็นด้วยการยกตัวอย่างต่อไปนี้ บุคลที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม ที่ทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะใช้ออกซิเจนต่อชั่วโมงประมาณ 201 KJ/L ซึ่งเป็นที่เข้าใจกันว่าเราต้องใช้ออกซิเจนเท่ากับ 20.9 KJ/L และต้องใช้แคลลอรี่ 39 KJ สำหรับ 1 กรัมของไขมันในร่างกาย (DI.Cook, Lingard, Wegman, & Young, 2000) ซึ่งแสดงว่า เราจะลดปริมาณไขมันได้แค่ 10 กรัมต่อหนึ่งชั่วโมง ที่เราทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การออกกำลังกายด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายไม่สามารถที่จะลดปริมาณไขมันได้โดยตรงเช่นเดียวกัน ลำพังแค่การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเพียงอย่างเดียวไม่สามารที่จะมีผลต่อระบบแอโรบิกได้ (Jorn Rittweger et al., 2002; Rittweger & Felsenber, 2001)

2.1.4.3 อุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อ (Intramuscular temperature)

มีความคาดหวังว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถเพิ่มการเผาพลาญพลังงานกล้ามเนื้อเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของความร้อน โดยแท้จริงแล้วอุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นในระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Cochrane, Stannard, Sargeant, & Rittweger, 2008) อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกล้ามเนื้อจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นเพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าการปั่นจักรยานซึ่งแสดงให้เห็นว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นมีความเกี่ยวข้องกับผลของการอบอุ่นร่างกายในส่วนของกลไก Shock-absorbing ภายในกล้ามเนื้อ (JM.Wakeling, Nigg, & Al.Rozitis, 2002)

2.1.4.4 การไหลเวียนเลือดที่ผิวหนังและกล้ามเนื้อ (Skin and Muscle perfusion)

จากที่กล่าวมาแล้วว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถเพิ่มการหมุนเวียนและการเพิ่มอุณหภูมิซึ่งชัดเจนว่าในระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายพบว่า มีการเพิ่มขึ้นของการไหลเวียนเลือดที่บริเวณผิวหนังซึ่งวัดได้จากเครื่อง Laser-Doppler Flowmetry (C.Maloney-Hinds, JS.Petrofsky, & Zimmerman, 2007; Jorn Rittweger et al., 2002; Lohman, JS.Petrofsky, C.Maloney-Hinds, Betts-Schwab, & D.Thorpe, 2007) ดูเหมือนว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะทำให้เกิดแรงเฉือนที่ผิวหนังซึ่งก็ให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด (Vasodilation)

เมื่อกล่าวถึงการไหลเวียนเลือดในกล้ามเนื้อ งานวิจัยของ Kerschan-Schind และคณะ (2001) พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของการไหลเวียนเลือด 100 เปอร์เซ็นต์ที่กล้ามเนื้อ Popliteal และร่วมกับกล้ามเนื้อ Gastrocnemius และกล้ามเนื้อ Vastus lateralis ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายด้วยความถี่ 26 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 3 มิลลิเมตร โดยการสั่นแบบ Side-alternating

มีงานวิจัยหนึ่งที่ทำการศึกษามุ่งเน้นไปที่ การหล่อเลี้ยงด้วยออกซิเจน (Oxygenation) ร่วมกับ Near-infrared spectroscopy (NRIS) ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายด้วยความถี่ 15 เฮิรตซ์ แอพลิจูด 2.5 มิลลิเมตร ร่วมกับการทำท่าสควอทโดยพบว่า มีการลดลงของการหล่อเลี้ยงออกซิเจนในระหว่างการทำท่าสควอทในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (E.Yamada et al., 2005) จากงานวิจัยนี้จึงอาจสรุปได้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถลดปริมาณการหล่อเลี้ยงออกซิเจนในกล้ามเนื้อและนอกจากนี้อาจจะส่งผลต่อผลของการฝึกในระยะยาวได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยบางเรื่องมีการโต้เถียงในแง่มุมนี้และกล่าวว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นมีผลต่อการไหลเวียนเลือดในกล้ามเนื้อในเฉพาะบางความถี่เท่านั้น (M.Cardinale, Ferrari, & V.Quaresima, 2007)

โดยสรุปแล้วดูเหมือนว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นสามารถส่งผลต่อการไหลเวียนเลือดได้โดยอาจจะขึ้นอยู่กับ อัตราการเผาผลาญพลังงาน, อุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อ หรือปัจจัยอื่นๆ ซึ่งดูเหมือนว่า การไหลเวียนเลือดในกล้ามเนื้อภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง มีความพยายามที่จะจับคู่กับความต้องการการเผาผลาญพลังงานของการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Zange et al., 2008) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของ Vascular endothelial growth factor (VEGF) ในระหว่างการออกกำลังกายที่ใกล้เคียงกับอัตราการเผาพลาญพลังงานสูงสุดบน Vibrating bicycle อย่างไรก็ตามการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่อัตราการเผาผลาญพลังงานที่ต่ำไม่สามารถนำไปสู่การเพิ่มของระดับ Vascular endothelial growth factor ได้ (Rittweger, Moss, Colier, Stewart, & Degens, 2010)

2.1.5 ผลฉับผลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

2.1.5.1 ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อแรงและพลังกล้ามเนื้อ

จากบทความทางวิชาการของ Jorn Rittweger และคณะ (2010) เรื่อง Vibration as an exercise modality :may it work and What's it potential might be? กล่าวถึงผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อแรงกล้ามเนื้อและพลังกล้ามเนื้อไว้ดังต่อไปนี้

Bosco และคณะ (1999) เป็นกลุ่มแรกที่ศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาโดยภายหลังจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 10 ครั้ง ครั้งละ 60 วินาที ที่ความถี่ 26 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 5 มิลลิเมตร โดยการยืนบนขาข้างเดียว พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของพลังกล้ามเนื้อ 6-8 เปอร์เซ็นต์ในนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชน ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั้นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อในการงอศอกในนักมวยอาชีพ (Bosco et al., 1999) และได้ผลเช่นเดียวกันกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาในนักกีฬาอาชีพในหลายประเภทรวมกัน (V.Issurin & G.Tenenbaum, 1999)

ทั้งนี้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อความสามารถในการกระโดด งานวิจัยของ Cochrane และ Stannard (2005) ทำการศึกษาในนักกีฬาฮ๊อกกี้อาชีพ โดยทำการสั่นที่ความถี่ 26 เฮิรตซ์ โดยทำการสั่นทั้งหมด 6 ท่า ภายหลังการสั่นพบว่า ความสูงในการกระโดดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถติ นอกจากนี้งานวิจัยของ Bosco (2000) ทำศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายพบว่า ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายพลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น 7 เปอร์เซ็นต์และความสามารถในการกระโดดท่า Vertical jump เพิ่มขึ้น 3.8 เปอร์เซ็นต์ ในทางตรงกันข้ามมีงานวิจัยที่แสดงว่า แรงกล้ามเนื้อในแบบไอโซเมตริกลดลงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ภายหลังการสั่น (J.Erskine, I.Smillie, Leipe, D.Ball, & M.Cardinale, 2007; Ruiter, Raak, & JV.Schilperoort, 2003; TJ.Herda et al., 2008)

โดยสรุปแล้วจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ผลฉับพลันของการสั้นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นสามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อได้ในขณะที่แรงกล้ามเนื้อมีแนวโน้มที่จะลดลงซึ่งยังเป็นข้อถกเถียงว่า พลังกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นภายหลังการสั่นสะเทือทนทั้งร่างกายนั้นเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (D.J. Cochrane & S.R. Stannard., 2005; Ruiter et al., 2003; V.Issurin & G.Tenenbaum, 1999) อย่างไรก็ตามข้อสังเกตนี้ยังไม่สอดคล้องกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบประสาทและกล้ามเนื้อที่กล่าวมาข้างต้นและในทางตรงข้าม แรงกล้ามเนื้อก็มีแนวโน้มที่ลดลง (J.Erskine et al., 2007; Ruiter et al., 2003; TJ.Herda et al., 2008) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการยับยั้งมากกว่าการกระตุ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของพลังกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นภายหลังการสั่นสะเทือนก็เป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภมิกล้ามเนื้อซึ่งมีงานวิจัยของจากงานวิจัยของ Cochrane (2008) ที่ทำการทดสอบอุณหภูมิกล้ามเนื้อ (Muscle

temperature) ในระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายซึ่งพบว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถเพิ่มอุณหภูมิกล้ามเนื้อได้และกล่าวว่า การอบอุ่นร่างกายด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเป็นผลดีต่อกีฬาที่ใช้พลังกล้ามเนื้อเป็นหลักซึ่งทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกล้ามเนื้อผลส่งผลมากต่อพลังกล้ามเนื้อและส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อแรงกล้ามเนื้อ

นอกจากนี้ยังมีบทความวิชาการของ Jin Lou และคณะ (2005) เรื่อง The use of vibration training to enhance muscle strength and power กล่าวถึงผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อแรงกล้ามเนื้อและพลังกล้ามเนื้อไว้ดังต่อไปนี้

ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อแรงกล้ามเนื้อและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในระหว่างกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมตริก

- กล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมตริกสูงสุด

ดังแสดงในรูปที่ 8 มีงานวิจัย 4 เรื่องที่ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตริก งานวิจัย 2 เรื่อง ใช้ระยะเวลาในการสั่นและการหดตัวของกล้ามเนื้อในระยะเวลาที่สั้น (5 วินาที) และอีก 2 เรื่องใช้ระยะเวลาในการสั่นและการหดตัวของกล้ามเนื้อในระยะเวลาที่ยาว (1นาที และจนกระทั่งกล้ามเนื้อล้า) งานวิจัย1 เรื่องจากทั้งหมดนี้พบว่า ในขณะทำการสั่นสามารถเพิ่มแรงกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้ ซึ่งแรงกล้ามเนื้อในการหดตัวแบบไอโซเมตริกสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการกระดกข้อมือ (Wrist extensors musles) เพิ่มขึ้น 3.7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กลุ่มที่ทำการหดตัวกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตริกสูงสุดโดยไม่ได้ทำการสั่น ค่าแรงแรงกล้ามเนื้อในการหดตัวแบบไอโซเมตริกสูงสุดลดลง 3.9 เปอร์เซ็นต์ จาก base line (EL.Curry & JA.Clelland, 1981) นอกจากนี้งานวิจัยอีก 2 เรื่องที่เหลือ (Humphries, Warman, & Purton, 2004; Samuelson, Jorfeldt, & Ahlborg, 1989) พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของแรงกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากพอที่จะมีนัยสำคัญทางสถิติ

มีเพียงงานวิจัยเดียวที่รายงานผลของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของแรงกล้ามเนื้อในการหดตัวแบบไอโซเมตริกสูงสุดในระหว่างการสั่นซึ่งพบว่า คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกล้ามเนื้อ Rectus femoris ในขณะการเหยียดเข่าเต็มที่

Humphries และคณะ (2004) ได้ศึกษาอัตราการพัฒนาของแรง (Rate of force development) ที่เวลา .05, 0.01, 0.1 และ 0.5 ในระหว่าง 5 วินาทีของการเหยียดเข่าแบบเต็มที่ โดยพบว่า การสั่นไม่สามารถเพิ่มอัตราการพัฒนาของแรงในทุกช่วงเวลา

งานวิจัยของ Samuelson และคณะ (1989) และ Bongiovanni และคณะ (1990) บ่งชี้ว่าการสั่นสามารถทำให้การล้าของของกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบสูงสุดต่อเนื่องเด่นชัดขึ้นโดยการระดม

หน่วยยนต์ในกล้ามเนื้อระหว่างการหดตัวของกล้ามเนื้อในช่วงต้น Bongiovanni และคณะ (1990) กล่าวว่า การสั่นจะมีผลในการยับยั้งที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการสั่นต่อการส่งสัญญาณออกของการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบสูงสุดซึ่งผลของการยับยั้งนี้ส่งผลโดยตรงในการลดความสามารถในการสร้างอัตราการจุดชนวนที่สูงของระดับเทรชโฮลของหน่วยยนต์ ซึ่งสรุปได้ว่า การสั่นในเวลาต่อเนื่องจะสามารถลดความสามารถของระบบประสาทและกล้ามเนื้อโดยการยับยั้งการระดมหน่วยยนต์มากกว่าการทำให้เกิดการล้าจากการระดมหน่วยยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Study	Subjects	Vibration characteristics			Neuromuscular performance change		
		method (location)	amp (mm)	freq (Hz)	contraction performed	force	EMG
Bongiovanni et al.[8]	25 UT	D (ankle dorsiflexor tendon)	1.5	150	1 min dorsiflexion (100% MVC)	Fm (5%↓ NSC) Fd (13%↓+)	NR
		Control	NA	NA	1 min dorsiflexion (100% MVC)	Fm Fd	NR
Curry and Clelland[13]	30 UT (15 M, 15 F)	D (wrist extensor muscle)	1.5	120	5 sec wrist extension (100% MVC)	Fm: 3.7%↑*	NM
	30 UT (20 M, 10 F)	Control	NA	NA	5 sec wrist extension (100% MVC)	Fm: 3.9%↓*	NM
Humphries et al.[14]	16 UT	D (upper thigh)	0.13	50	5 sec knee extension (100% MVC)	Fm: 581N (17.8%↑ NSC) $RFD_{0.01}$: 983 N/sec (NSC) $RFD_{0.05}$: 1349 N/sec (NSC) $RFD_{0.1}$: 1525 N/sec (NSC) $RFD_{0.5}$: 913 N/sec (NSC)	EMGrms: RF: 84.74% (NSC)
		Control	NA	NA	5 sec knee extension (100% MVC)	Fm: 493N $RFD_{0.01}$: 658 N/sec $RFD_{0.05}$: 1240 N/sec $RFD_{0.1}$: 1620 N/sec $RFD_{0.5}$: 786 N/sec	EMGrms: RF: 88.1%
Kihlberg et al.[19]	15 UT	I (hand)	8 m/sec^{2a}	50	Hand grip and arm push (30N)	NM	IEMG: forearm flexor (83.3%↑+) Forearm extensor (45.5%↑+) Triceps brachii (100%↑+)
		Control	NA	NA	Hand grip and arm push (30N)	NM	IEMG: forearm flexor Forearm extensor Triceps brachii
		I (hand)	8 m/sec^{2a}	137	Hand grip and arm push (30N)	NM	IEMG: forearm flexor (40%↑+) Forearm extensor (27.3%↑+) Triceps brachii (30%↑ NSC)
Samuelson et al.[20]	14 UT M	I (applied to one leg)	1.8	20	Sustained knee extension until exhausted (100% MVC)	Fm: 594N (6%↑ NSC) Td: 15.8 sec (30%↓+)	NM
		Control (the other leg of the subject)	NA	NA	Sustained knee extension until exhausted (100% MVC)	Fm: 561N Td: 22.5 sec	NM

รูปที่ 8 แสดงผลฉับพลันของการสั่นในระหว่างกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมตริก (Luo et al., 2005)

ผลฉับพลันของการสั่นต่อแรงและพลังกล้ามเนื้อในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบไดนามิก

- **กล้ามเนื้อหดตัวแบบไดนามิกสูงสุด**

มีงานวิจัยเพียง 2 เรื่องที่ทำการศึกษาในเรื่องนี้ซึ่งทั้ง 2 เรื่องนี้ทำการศึกษา การสั่นแบบทางอ้อมต่อกล้ามเนื้อ Biceps ซึ่งพบว่า แรงกล้ามเนื้อและพลังกล้ามเนื้อในการงอศอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Issurin และ Tenenbaum (1999) พบว่า สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อสูงสุดนักกีฬาอาชีพ (10.4เปอร์เซ็นต์) มากกว่าในนักกีฬาสมัครเล่น (7.9เปอร์เซ็นต์) Lieberman และคณะ (1997) ทำการทดสอบค่า 1RM ในนักกีฬา 4 กลุ่มที่มีระดับความชำนาญแตกต่างกันและพบว่าในกลุ่มที่ทำการสั่นสามารถยกน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 9

- **กล้ามเนื้อหดตัวแบบไดนามิกต่ำกว่าระดับสูงสุด**

งานวิจัยของ Rittweger และคณะ (2003) โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 ให้ทำท่าสควอทพร้อมกับน้ำหนัก 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวจนล้า รวมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย กลุ่มที่2 ให้ทำท่าสควอทพร้อมกับน้ำหนัก 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวจนล้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งพบว่า กลุ่มที่ทำท่าสควอทพร้อมกับน้ำหนัก 40 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวจนล้ารวมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นใช้เวลาในการทำท่าสควอทจนล้าสั้นกว่ากลุ่มที่ทำท่าสควอทเพียงอย่างเดียว และปริมาณการใช้ออกซิเจนในขณะสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผู้วิจัยกล่าวว่า การที่ระยะเวลาในการทำท่าสควอทจนล้านั้นสั้นลงเนื่องมาจากกล้ามเนื้อมัดใหญ่นั้นทำงานระหว่างการทำท่าสควอท ดังแสดงในรูปที่ 9

ทั้งนี้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไดนามิกระหว่างการสั่นนั้นสามาราถเพิ่มแรงและพลังกล้ามเนื้อได้แต่ก็ยังไม่เป็นที่ชัดเจนว่าการสั่นสามารถเพิ่มแรงในกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบไอโซเมตริกได้หรือไม่ อย่างไรก็ตามการสั่นต่อเนื่องในเวลานานสามารถทำให้กล้ามเนื้อเกิดการล้าและการล้าของกล้ามเนื้อนั้นเกิดจาก ผลของการสั่นที่กระตุ้นแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อและการทำงานของกล้ามเนื้อในช่วงต้นของการทำงานและผลของการสั่นที่ยับยั้งความสามารถในการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

Study	Subjects	Vibration characteristics			Neuromuscular performance change		
		method (location)	amp (mm)	freq (Hz)	contraction performed	performance measure	EMG
Issurin and Tenenbaum[17]	28 T M (14 = elite, 14 = amateur)	I (hand)	0.3–0.4	44	Concentric bicep curl (MVC)	P_{max}: elite: 10.4%↑*§+; amateur: 7.9%↑*+ P_{mean}: elite: 10.2%↑*+; amateur: 10.7%↑*+	NM
		Control	NA	NA	Concentric bicep curl (MVC)	P_{max}: elite: 0.3%↑ NS; amateur: 0.9%↑ NS P_{mean}: elite: 2.9%↓ NS; amateur: 3%↓ NS	NM
Liebermann and Issurin[21]	41 T M (8 Olympic, 11 national, 11 amateur, 11 junior)	I (hand)	0.3–0.4	44	Concentric bicep curl (MVC)	1RM strength: Olympic (8.3%↑+#), national (4.8%↑+), junior (6.2%↑+), amateur (4.9%↑+)	NM
		Control	NA	NA	Concentric bicep curl (MVC)	1RM strength: Olympic, national, junior, amateur	NM
Rittweger et al.[4]	19 UT (10 F, 9 M)	I (WBV)	6	26	Squatting on platform with load till exhaustion	Endurance time: 5.8 min +	NM
		Control	NA	NA	Squatting on platform with load till exhaustion	Endurance time: 8.6 min	NM

รูปที่ 9 แสดงผลฉับพลันของการสั่นต่อแรงและพลังกล้ามเนื้อในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบไดนามิก (Luo et al., 2005)

2.2 พลังกล้ามเนื้อ

เนื่องจากงานวิจัยเรื่องนี้ทำการศึกษาพลังกล้ามเนื้อขาดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและทบทวนความรู้พื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.2.1 ระบบกล้ามเนื้อ

ระบบกล้ามเนื้อเป็นระบบที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อในร่างกายคนเราประกอบด้วยเส้นใย 2 ชนิด คือ

1. Type I fiber เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีสีแดงเป็นเส้นใยที่หดตัวช้า (Slow twitch muscle) พลังงานที่ใช้ในการหดตัวมาจากขบวนการ Oxidative phosphorylation ดังนั้นจึงเรียกกล้ามเนื้อชนิดนี้ว่า Slow oxidative fiber และเนื่องจากพลังงานที่ใช้มาจาก Aerobic metabolism จึงทำให้มีความทนต่อการล้ากล้ามเนื้อชนิดนี้จึงมีปริมาณของ Mitochondria และไขมันสูงมีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงมาก

2. Type II fiber เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีสีขาวและหดตัวเร็ว (Fast twitch fibers) เนื่องจากมีความสามารถในการหดตัวเร็วหรืออาจเรียกว่า Fast glycolytic fiber เพราะพลังงานที่ใช้มาจาก glycolysis และเนื่องจากพลังงานที่ใช้มาจากระบบพลังงานแบบ Anaerobic metabolism ซึ่งให้พลังงานจำกัดจึงทำให้เกิดการล้าได้อย่างรวดเร็วซึ่งอาจเรียกว่า Fast Fatigue แต่สามารถสลาย ATP ได้เร็ว ในเซลล์กล้ามเนื้อชนิดนี้มีปริมาณ Mitochondria และไขมันต่ำมีเส้นเลือดมาเลี้ยงน้อยกว่าจึงมีสีซีดขาวกว่า เส้นใยชนิดนี้มีขนาดใหญ่ พบได้บริวณแขนและขา จะใช้ในการเคลื่อนไหวที่ต้องการความเร็วสูง กล้ามเนื้อชิดนี้จำเป็นต้องได้รับการฝึก ซึ่งจะทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อโตขึ้นเป็นผลให้พื้นที่หน้าตัดขยายใหญ่ขึ้นจึงหดตัวได้แรงและเร็ว (มาลีรัตน์ มาเขียว, 2544)

โดยเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้สามารถแบ่งย่อยได้ดังนี้

1. เส้นใยชนิดหดตัวเร็วเอ (Type II a) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่สามารถหดตัวได้อย่างรวดเร็วและยาวนานเนื่องจากมีคุณลักษณะบางอย่างเหมือนเส้นใยชนิดหดตัวเร็วเช่น มีหน่วยยนต์และเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ มีสารฟอสเฟตและไกลโคเจนจำนวนมาก และคุณสมบัติบางอย่างเหมือนเส้นใยชนิดหดตัวช้า เช่น ปริมาณไมโอโกลบินสูงมีสีแดง มีความสามารถสูงในการผลิต ATP โดยอาศัยกระบวนการเผาผลาญอาหารแบบใช้ออกซิเจนและสามารถสลาย ATP ได้อย่างรวดเร็ว จึงมีอัตราความเร็วในการหดตัวและทนต่อความเมื่อยล้าแต่พบน้อยในร่างกายมนุษย์

2 เส้นใยชนิดหดตัวเร็วบี (Type II b) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่ สามารถหดตัวได้เร็วที่สุด มีหลอดเลือดมาหล่อเลี้ยงจำนวนน้อยจึงมีสีซีดและมีปริมาณไมโตคอนเดรียและไมโอโกลบินจำนวนน้อยแต่ปริมาณไกลโคเจนสูง มีความสามารถในการผลิต ATP โดยอาศัยกระบวนการเผาผลาญอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีความสามารถในการสลาย ATP จึงทำให้หดตัวได้อย่างรวดเร็ว สามารถผลิตพลังงานได้จำนวนน้อยจึงไม่สามารถผลิต ATP ได้อย่างพอเพียงพอที่จะทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้อย่างต่อเนื่องและในการผลิต ATP ที่ก่อให้เกิดของเสียจึงเกิดความเมื่อยล้าง่าย(ชูศักดิ์ เวชแพศย์ & กันยา ปาละวิวัธน์, 2536)

2.2.1.1 หน่วยยนต์ (Motor unit)

กล้ามเนื้อแต่ละมัดมีเส้นประสาทมาเลี้ยงมากมาย เส้นประสาทแต่ละเส้นที่มาเลี้ยงยังกล้ามเนื้อจะแตกออกเป็นแขนงย่อยๆไปเลี้ยงกล้ามเนื้อเป็นจำนวน มอเตอร์นิวรอน (Motorneuron) หนึ่งเซลล์และกลุ่มของเซลล์กล้ามเนื้อที่ถูกเลี้ยงด้วยมอเตอร์นิวรอนนั้นๆ จะประกอบขึ้นเป็นหนึ่งมอเตอร์ยูนิต (Motor unit) ขนาดของมอเตอร์ยูนิตจะใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับจำนวนของเซลล์กล้ามเนื้อที่ถูกเลี้ยงด้วยมอเตอร์นิวรอนนั้นๆกล้ามเนื้อที่ทำงานเกี่ยวกับความละเอียดและความแม่นยำ เช่น กล้ามเนื้อมือและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการกรอกลูกตาจะมีเซลล์กล้ามเนื้อประมาณ 3-6 เซลล์ต่อมอเตอร์นิวรอน ในขณะที่กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการทรงตัวจะมีเซลล์กล้ามเนื้อถึง 120-165 เซลล์ต่อ 1 มอเตอร์นิวรอน (กัลยพงษ์ จตุรพาณิชย์, 2545)

2.2.1.2 การหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อลายในระดับโมเลกุล

การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อลายในระดับโมเลกุลสามารถอธิบายได้ด้วยการเคลื่อนไหวของ Thin และ Thick filaments ดังที่ พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์(2551) ได้กล่าวว่า การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อลายเป็นการเลื่อนซ้อนกันของ Thin และ Thick filaments โดยการจับและปล่อยระหว่างครอสบริดของ thin และ Thick filaments อย่างเป็นวงจรดังนี้

1. ATP จะจับกับหัวของไมโอซินกับแอกทินและมีการสลาย ATP เพื่อให้เกิดพลังงาน โมเลกุลจะอยู่ในรูปของ Myosin-ADP-Pi ซึ่งมีพลังงานอิสระสูงและมีความเฉพาะเจาะจงชอบจับกับแอกทินมาก ในขณะที่หัวของไมโอซินอยู่ในลักษณะตั้งฉากและยังไม่ได้จับกับแอกทินเมื่อโมเลกุลเชิงซ้อนโทรโพนินโทร โพไมซินจับกับแคลเซียม จะเปิดตำแหน่งการทำงานของแอกทินหัวของไมโอซินจึงจับกับแอกทินฟิลาเมนต์ได้อย่างรวดเร็ว

2 .หลังจากไมโอซินจับกับแอกทิน หัวของโมเลกุลไมโอซินซึ่งมีพลังงานสะสมอยู่ในรูปของ ADP-Pi จะงอในทิศทางเดียวกับแขนของครอสบริดส์พร้อมกับมีการปล่อย ADP-Pi ออกมาจากโมเลกุลของไมโอซิน ทำให้เกิดพลังงานในการดึงฟิลาเมนต์แอกทินเข้าสู่ศูนย์กลางของซาร์โครเมียการเคลื่อนที่ของไมโอซินนี้เรียกว่าเพาเวอร์สโตรก (Power stroke) การหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นซึ่งขณะนี้หัวของโมเลกุลไมโอซินจะมีพลังอิสระลดลง

3. ATP โมเลกุลใหม่จะเข้ามาแทนตำแหน่งเดิมของ ADP-Pi บนโมเลกุลไมโอซินและแอกทินที่เกาะกันอยู่ (Myosin-actin complex) และสลาย ATP เพื่อให้เกิดพลังงานในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทำให้ลดความสามารถของไมโอซิน ในการชอบจับแอกทิน จากนั้นหัวของครอสบริดจ์ก็หลุดจากแอกทินฟิลาเมนต์พร้อมกับการคลายตัวของกล้ามเนื้อ

4. จะมีการสลาย ATP เพื่อสร้าง Myosin-ADP-Pi ซึ่งมีพลังานอิสระสูงขึ้นมาใหม่เพื่อพร้อมที่จะทำงานในวงจรถัดไป เชื่อว่าครอสบริดจ์นี้ทำงานอิสระจากกัน แต่ละครอสบริดจ์จะเกาะและดึงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นยิ่งมีจำนวนครอสบริดจ์เกาะกับแอกทินได้มากเท่าไหร่ที่เวลาหนึ่งของแรงในการหดตัวก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น (พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์, 2551)

2.2.1.3 ชนิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ

การหดตัวของกล้ามเนื้อ สนธยา สีละมาด (2547) กล่าวไว้ว่า สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว (ไอโซโทนิก) และการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ (ไอโซเมตริก) (สนธยา สีละมาด, 2547) ซึ่งในแต่ละชนิดสามารถสร้างแรงได้แตกต่างกันดังนี้

1. การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไอโซโทนิก (Isotonic contraction)

การหดตัวของแบบไอโซโทนิกยังสามารถแบ่งออกเป็นการหดตัวแบบคอนเซนตริก (Concentric) และการหดตัวแบบเอกเซนตริก (Eccentric) เนื่องจากการพัฒนาแรงของกล้ามเนื้อมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าแรงต้านทาน

- การหดตัวแบบคอนเซนตริก (Concentric) เป็นการหดตัวสั้นเข้าของกล้ามเนื้อและเกิดขึ้นเมื่อกล้ามเนื้อหดตัวสร้างแรงอย่างเพียงพอในการกระทำต่อแรงต้านทานเป็นการหดชนิดที่กล้ามเนื้อมีการพัฒนาแรงขึ้นมากกว่าแรงต้านทาน

- การหดตัวแบบเอกเซนตริก (Eccentric) เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะที่กล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกภายใต้ความตึง เช่น การค่อยๆวางน้ำหนักลงสู่พื้นกล้ามเนื้อจะมีความตึงลดลงที่ละน้อย เนื่องจากน้ำหนักหรือแรงต้านทานมากกว่าแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อแต่ไม่ถึงกับกล้ามเนื้อไม่สามารถควบคุมการคลื่อนไหวได้เป็นการหดตัวที่มีการสร้างแรงขึ้นน้อยกว่าแรงต้านทาน

แต่การหดตัวแบบแอกเซนตริกนี้จะสามารถสร้างแรงได้มากกว่าการหดตัวแบบไอโซเมตริกและการหดตัวแบบคอนเซนตริกตามลำดับ

2. การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตริก (Isometric contraction)

การหดตัวของกล้ามเนื้อลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อกล้ามเนื้อมีการพัฒนาความตึงขึ้นแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมข้อต่อหรือความยาวของกล้ามเนื้อหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการหดเกร็งอยู่กับที่เป็นการหดตัวที่มีการสร้างแรงเท่ากับแรงต้าน

3. การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic contraction)

เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่จะต้องออกแรงต้านกับเครื่องมือที่ออกแบบมาเป็นพิเศษให้ปรับความเร็วคงที่ได้โดยที่กล้ามเนื้อของผู้เข้ารับการฝึกจะต้องหดตัวสั้นเข้า (Concentric) และเหยียดออก (Eccentric) ต้านกับแรงต้านจากเครื่องมือฝึกซึ่งแรงต้านทานจากเครื่องมือฝึกจะเท่ากับแรงหดตัวของกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อ การฝึกให้กล้ามเนื้อหดตัวในลักษณะนี้จะทำให้กล้ามเนื้อต้องหดตัวออกแรงตลอดช่วงการเคลื่อนไหวสามารถช่วยป้องกันและลดปัญหามุมการเคลื่อนไหวที่เป็นจุดอ่อนของกล้ามเนื้อในการปฏิบัติทักษะกีฬาและทักษะในการเคลื่อนไหวได้เป็นอย่างดี (เจริญ กระบวนรัตน์, 2548)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 ระบบประสาท

ระบบประสาทเป็นระบบที่บทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวร่างกายและทำให้เกิดการทรงตัวที่ดี โดยระบบประสาทจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ระบบประสาทส่วนกลาง ได้แก่ สมองและไขสันหลังและอีกส่วนหนึ่งคือ ระบบประสาทส่วนปลาย คือ เส้นประสาทและปมประสาทที่อยู่ภายนอกสมองและไขสันหลัง

การควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบประสาทส่วนกลาง สมองจะเป็นตัวรับข้อมูลจากระบบประสาทรับความรู้สึกต่างๆไปควบคุมการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เคลื่อนไหวได้ถูกต้องแม่นยำ การควบคุมการเคลื่อนไหวของระบบประสาทส่วนปลายควบคุมโดยรีเฟล็กซ์ซึ่งมีส่วนรับความรู้สึกจากผิวหนัง กล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และข้อต่อ จะส่งสัญญานเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางโดยเมื่อระบบประสาทรับความรู้สึกจากมัสเซิลสปินเดิล (Muscle spindle) ที่อยู่ในกล้ามเนื้อรับความรู้สึกจะไปกระตุ้นปลายประสาทเพื่อนำสัญญานคลื่นประสาทไปกระตุ้นแอลฟ่ามอเตอร์นิวรอนของกล้ามเนื้อส่วนเอกตราฟิวชัล (Extrafusal muscle fiber) ในกล้ามเนื้อมัดนั้นทำให้กล้ามเนื้อมัดนั้นหดตัว ขณะเดียวกันสัญญานจากตัวรับรู้การยืดกล้ามเนื้อประเภทยับยั้งกล้ามเนื้อกลุ่มตรงข้ามให้คลายตัวจึงเกิดการเคลื่อนไหวไปในทิศทางหนึ่งโดยไม่ถูกต่อต้าน (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ & กันยา ปาละวิวัธน์, 2536)

2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

ในการเคลื่อนไหวของร่างกายกล้ามเนื้อเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหวอยู่ในความควบคุมของระบบประสาทที่ทำหน้าที่สั่งงานเพื่อให้กล้ามเนื้อทำงานตามภาวะต่างๆ การเคลื่อนไหวของร่างกายจึงเกิดจากการที่กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นโดยได้รับคำสั่งจากสมองซึ่งเป็นส่วนที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆของร่างกายทำให้กล้ามเนื้อทำงานกันตามหน้าที่และระบบกล้ามเนื้อจึงทำงานประสานกันอย่างต่อเนื่อง

การเคลื่อนไหวของร่างกายนั้นเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ได้รับการกระตุ้นโดยไขสันหลังจะได้รับคำสั่งจากสมองที่ศูนย์สั่งการจะสั่งการไปยังกล้ามเนื้อบริเวณที่ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าที่มากระทบร่างกายแล้วส่งกระแสความรู้สึกนั้นไปยังไขสันหลัง

การเคลื่อนไหวในการออกกำลังกายในระยะต้นอยู่ในอำนาจจิตใจซึ่งมาจากสมองที่อยู่ใต้สมองใหญ่ คือ สมองน้อย (Cerebellum) เป็นบริเวณสมองที่ทำหน้าที่นึกคิดเพื่อออกกำลังกายแล้วส่งไปยังสมองที่เรียกว่า Association motor area ซึ่งเป็นศูนย์ที่จะส่งคำสั่งไปยังไขสันหลังโดยมีเซลล์ประสาทส่วนบน (Upper motor neuron) เป็นตัวส่งพลังประสาทผ่านตรงมายังเซลล์ประสาทส่วนล่าง (Lower motor neuron) ซึ่งอยู่ในไขสันหลังด้วย

ในระหว่างการปฏิบัติกิจกรรม ระบบประสาทส่วนกลางจะรับแรงกระตุ้นตลอดเวลาเพื่อตอบสนองต่อแรงกระตุ้นจากประสาทรับความรู้สึกของกล้ามเนื้อ เอ็นข้อต่อ และข้อต่อ สมองน้อยและศูนย์ประสาทรับจะรับรู้สภาพของกล้ามเนื้อและข้อต่อเพื่อลำดับขั้นการปฏิบัติงานอย่างถูกต้องแน่นอนโดยอัตโนมัติ ซึ่งแรงกระตุ้นจากภายนอกจะผ่านไปยังระบบประสาทรับความรู้สึก (Afferent nerve) จะนำความรู้สึกหรือคำสั่งจากศูนย์กลางไปสู่ส่วนต่างๆของร่างกายหรือกล้ามเนื้อโดยซีรีเบลลัมจะส่งสัญญานให้กล้ามเนื้อกลุ่มเดียวกันทำงานและกล้ามเนื้อกลุ่มตรงข้ามจะถูกยับยั้งการทำงานให้ช้าลงและหยุดการเคลื่อนไหวซึ่งเกี่ยวข้องกับความสมดุลและการทรงตัวที่เกิดจากการทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดของซีรีเบลลัมในขณะปฏิบัติกิจกรรม ทั้งนี้นอกจากสมองจะควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อแล้วยังทำหน้าที่เตรียมร่างกายให้พร้อมเพื่อปฏิบัติงานโดยกระตุ้นระบบหายใจและไหลเวียนเลือดเพื่อการปฏิบัติงานด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 พลังกล้ามเนื้อ

พลังกล้ามเนื้อเป็นองค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายที่สำคัญด้านหนึ่งของกีฬาเกือบทุกประเภท ในกีฬาเกือบทุกประเภทจะต้องมีการเคลื่อนไหวที่อาศัยพลังซึ่งพลังมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ แรง (ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ) และความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังที่ (Newton & Kraemer, 1994) กล่าวว่า พลังกล้ามเนื้อคือ การที่ออกแรงสูงสุดภายในระยะเวลาที่สั้นที่สุดซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

พลัง = แรง x ความเร็ว

พลังสูงสุดของกล้ามเนื้อเป็นผลมาจากการผสมผสานที่เหมาะสมระหว่างแรงสูงสุดที่แสดงออกมาที่ความเร็วสูงสุดของบาร์เบลเท่าที่จะทำได้ การเพิ่มของพลังกล้ามเนื้อนั้นเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของแรงหรือความเร็วหรือเกิดจากการเพิ่มขึ้นของทั้งแรงและความเร็ว ทั้งนี้นอกจากปัจจัยที่สำคัญอันได้แก่ ความแข็งแรงและความเร็วที่จะส่งผลต่อพลังกล้ามเนื้อแล้วยังมีอีก 3 ปัจจัย คือ การอบอุ่นร่างกายก่อนการฝึกซ้อม การประสานงานที่ดีของระบบประสาทกล้ามเนื้อในการเคลื่อนไหว และประสิทธิภาพในการทำงานของกล้ามเนื้อ (A.Fisher & Jensen, 1989)

ทั้งนี้เมื่อเราได้ทำการศึกษาส่วนประกอบของพลังกล้ามเนื้อและปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อพลังกล้ามเนื้อแล้วและนำมาเชื่อมโยงกับผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเราจะเห็นว่าการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีผลในการเพิ่มพลังกล้ามเนื้อได้ดังต่อไปนี้

1. งานวิจัยของ Bosco (2000) ทำศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายพบว่าภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายพลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น 7 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการกระโดดท่า vertical jump เพิ่มขึ้น 3.8 เปอร์เซ็นต์

2. จากงานวิจัยของ Cardinaleและ Lim (2003a) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลฉับพลันของความถี่ที่ใช้ในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายว่ามีผลต่อความสามารถในการกระโดดในท่า Squat jump และ Counter-movement jump โดยเปรียบเทียบความถี่ 20 และ 40 เฮิรตซ์ ซึ่งพบว่า ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ สามารถเพิ่มความสูงในการกระโดดท่า Squat jump 4 เปอร์เซ็นต์

3. จากงานวิจัยของ Cochrane (2008) ที่ทำการทดสอบอุณหภูมิกล้ามเนื้อ (Muscle temperature) ในระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายซึ่งพบว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถเพิ่มอุณหภูมิกล้ามเนื้อได้เร็วกว่าการอบอุ่นร่างกายด้วยการปั่นจักรยานและกล่าวว่า การอบอุ่นร่างกายด้วยการใช้เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีผลในการส่งเสริมพลังกล้ามเนื้อและเหมาะแก่การใช้ในกีฬาที่ต้องการใช้พลังกล้ามเนื้อ

2.2.5 ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นความสามารถในการออกแรงทำงานของกล้ามเนื้อส่วนใดส่วนหนึ่งหรือหลายส่วนร่วมกันเพื่อต่อต้านกับแรงต้านทานที่มากระทำด้วยความพยายามสูงสุดในการหดตัวแต่ละครั้ง (ทวีชัย เหลี่ยมศิริวัฒนา, 2541)

ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) ได้กล่าวถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเนื้อเกิดจากปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

1. ผลรวมของแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อหลายๆมัดทำให้เกิดการเคลื่อนไหว
2. ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อในกลุ่มเดียวกัน (Agonist) ทำงานประสานกับกลุ่มกล้ามเนื้อตรงข้าม (Antagonist) โดยการเพิ่มความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อแต่ละมัด
3. อัตราส่วนทางกลไกการทำงานของระบบคานระหว่างกระดูกและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องขึ้นอยู่กับมุมในการดึงของกล้ามเนื้อและความยาวของแขนของแรงต้านและแรงพยายาม

ทั้งนี้กล้ามเนื้อจะต้องทำงานประสานกันในทุกๆปัจจัยจึงจะสามารถเพิ่มความแข็งแรงกล้ามเนื้อให้สูงขึ้นได้ วิธีการฝึกที่สามารถเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก็คือ การฝึกให้กล้ามเนื้อได้ออกแรงทำงานต่อต้านกับแรงต้านทานที่เพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ (Overload) ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบประสาทสั่งการดีขึ้นประสิทธิภาพในการทำงานของกล้ามเนื้อดีขึ้น การฝึกเพื่อสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะมีผลทำให้กล้ามเนื้อเกิดการตอบสนองในลักษณะของการเพิ่มขนาดและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานระหว่างหน่วยยนต์ (Motor unit) ในกล้ามเนื้อกล่าวคือการฝึกความแข็งแรงจะเป็นการฝึกให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีความไวต่อการตอบสนองและหดตัวพร้อมกันเมื่อได้รับการกระตุ้นจากประสาทสั่งการที่มาหล่อเลี้ยง (ทวีชัย เหลี่ยมศิริวัฒนา, 2541)

Chulalongkorn University

2.2.5.1 ความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นพื้นฐานที่สำคัญที่นำไปสู่ประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อ การเกิดพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อเป็นผลมาจากการผสมผสานที่เหมาะสมระหว่างแรงสูงสุดที่แสดงออกมาด้วยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลเท่าที่จะทำได้ ถ้าเราต้องการจะเพิ่มพลังกล้ามเนื้อเราจำเป็นจะต้องคำนึงถึง การเพิ่มแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยจะต้องลดเวลาในการออดแรงให้น้อยที่สุดหรืออีกนัยหนึ่งก็คือการเพิ่มความเร็วให้มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับ ชูศักย์ เวชแพทย์ (2539) ได้กล่าวว่าพลังกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทั้งแรงและความเร็ว ดังนั้นสามารถเพิ่มกำลังได้โดยการเพิ่มแรงหรือเพิ่มความเร็วหรือเพิ่มทั้งสองอย่าง(ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2539)

ทั้งนี้มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อการตอบสนองของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อกล้ามเนื้อพบว่า

1. งานวิจัยของ Hagbarth (1965) พบว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะกระตุ้นการทำงานของรีเฟล็กซ์ที่ชื่อว่า Tonic vibration reflex โดยการไหลเข้าของกระแสประสาทระหว่างการถูกกระตุ้นจะนำไปสู่การกระตุ้นการทำงานของ α-motor neuron และเพิ่มคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ(EMG) โดยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะมากกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจาการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Voluntary contraction (Bosco et al., 1999a)

2. งานวิจัยของ Roelants (2006) ศึกษาคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อหน้าขาและกล้ามเนื้อน่องในระหว่างการสั่นสะเทือนทั่งร่างกายเปรียบเทียบกับการทำท่า High squat และ Low squat ซึ่งพบว่า คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อระหว่างการสั่นมากกว่าการทำท่า High squat และ Low squat

3. งานวิจัยของ Hazell และคณะ (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในขณะสั่นสะเทือนทั้งร่างกายโดยกำหนดแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ในท่า Static half squat และ Dynamic half squat แบบโดยศึกษาในกล้ามเนื้อ Vastus lateralis และ Biceps femoris ซึ่งพบการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในแบบ Dynamic half squat มากกว่า Static half squat

2.2.6 ความเร็ว

ความเร็วในงานวิจัยนี้ หมายถึง ความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นผลสืบเนื่องมาจากความถี่ในการหดตัวของกล้ามเนื้ออันเกิดจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ความเข้มข้นของสิ่งเร้าที่มากระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อ ความไวในการตอบสนองของสิ่งเร้าของกล้ามเนื้อและเกิดจากแรงต้านทานที่มากระทำต่อกล้ามเนื้อ (ทวีชัย เหลี่ยมศิริวัฒนา, 2541)

วิธีการเพิ่มความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อมีปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพราะชนิดกล้ามเนื้อที่ต่างกันจะสามารถหดตัวได้ด้วยความเร็วแตกต่างกันโดยเส้นใยกล้ามเนื้อสีขาวจะมีคุณสมบัติในการทำงานได้สั้นๆมีความไวต่อการกระตุ้นจึงทำให้เคลื่อนไหวได้เร็ว (ธวัช วีระศิริวัตน์, 2538) อัตราในการเพิ่มความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อสามารถเพิ่มขึ้นได้บ้างแต่อยู่ในขอบเขตที่จำกัดซึ่งถ้าหากทำการฝึกการเคลื่อนไหวเร็วๆซ้ำๆติดต่อกันเป็นเวลานานนอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพของคำสั่งของระบบประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อแล้วยังทำให้ประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นด้วย

2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเนื่องด้วยการเคลื่อนไหวของร่างกายจะเกี่ยวข้องกับการออกแรงทำงานของกล้ามเนื้อเพื่อต่อสู้กับแรงต้านทาน แม้ว่าแรงต้านทานนั้นจะเป็นเพียงน้ำหนักของร่างกายส่วนต่างๆก็ตามแต่เมื่อกล้ามเนื้อแข็งแรงขึ้นความต้านทานภายนอกจะมีผลต่อความเร็วน้อยลงทำให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้เร็วขึ้น (ธวัช วีระศิริวัตน์, 2538)

3. การประสานงานร่วมกันของกล้ามเนื้อเนื่องจากประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยทำให้ความเร็วในการทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากกลุ่มที่ทำงาน (Agonists) และกล้ามเนื้อที่อยู่ตรงข้าม (Antagonists) ประสานการทำงานร่วมกันนั้นคือในขณะที่กลุ่มกล้ามเนื้อทำงานหดตัว กลุ่มกล้ามเนื้อที่อยู่ตรงข้ามจะคลายตัวพร้อมกันจึงสามารถออกแรงต่อต้านแรงต้านภายนอกได้รวดเร็ว การประสานงานของกล้ามเนื้อยังรวมถึงการทำงานของกล้ามเนื้อหลายๆกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับทักษะในการเคลื่อนไหวนั้น (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ & กันยา ปาละวิวัธน์, 2536)

การเสริมสร้างความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อควรมุ่งเน้นประสิทธิภาพในการการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นสำคัญ ทั้งนี้เพราะการออกแรงทำงานของกล้ามเนื้อในการเคลื่อนไหวของร่างกายเกิดจากการประสานการทำงานของระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อ

ธวัช (2538) กล่าวว่า ความเร็วในการเคลื่อนไหวจะถูกควบคุมโดยประสาทเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการฝึกเพื่อเสริมสร้างความเร็วของกล้ามเนื้อจึงควรมุ่งเน้นกิจกรรมเฉพาะอย่างที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวนั้นและควรทำการฝึกด้วยความเร็วที่มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ระบบประสาททำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ & กันยา ปาละวิวัธน์, 2536)

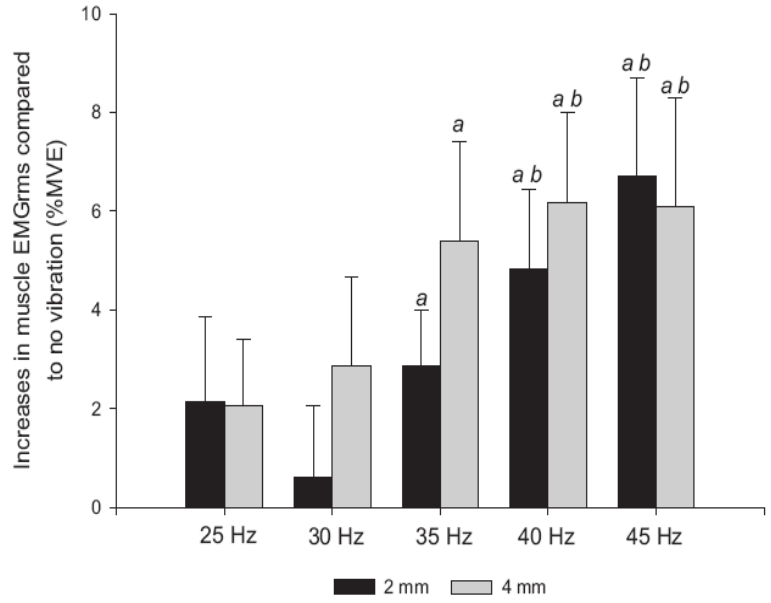
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

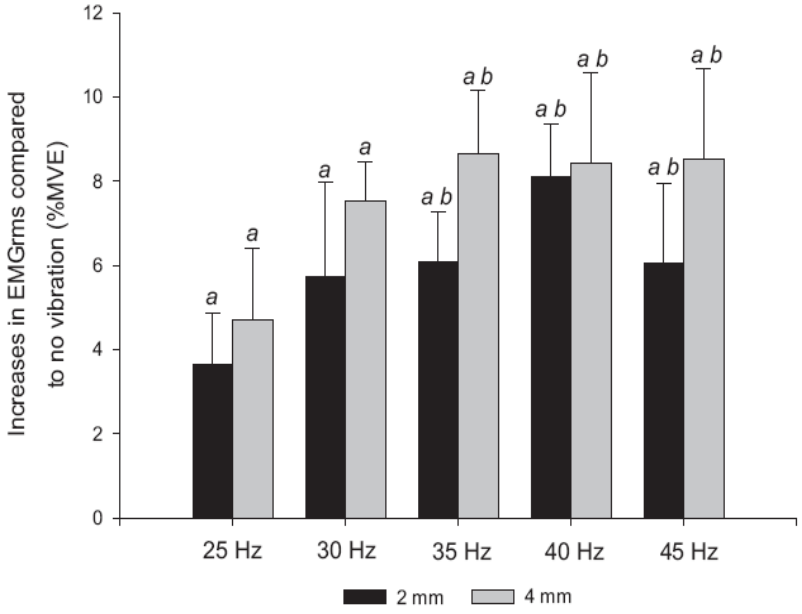
2.3.1 งานวิจัยของ Hazell (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบอยู่นิ่ง (Static) และ เคลื่อนที่ (Dynamic) ในกล้ามเนื้อ Vastus lateralis และ Bicep femoris โดยผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นเพศชายสุขภาพดี จำนวน 10 คน ใช้ความถี่ 5 ความถี่ ได้แก่ 25,30,35,40 และ 45 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2 และ 4 มิลลิเมตร ระยะเวลา 45 วินาที ซึ่งพบว่า ในการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่นิ่งคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 0.6-6.7 เปอร์เซ็น เมื่อเทียบกับก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความถี่ 40 และ 45 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2 และ 4 มิลลิเมตร และในการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 3.7-8.7 เปอร์เซ็น เมื่อเทียบกับก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความถี่ 35,40 และ 45 เฮิรตซ์

จากการทดลองนี้พบว่า การเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบเคลื่อนที่ (Dynamic) มีการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบอยู่นิ่ง (Static) ซึ่งทำให้เราทราบว่า การหดตัวของกล้ามเนื้อขณะการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ดังนั้นจากงานวิจัยเรื่องนี้ทำให้เราคิดว่า แบบท่าทางระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายน่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบประสาทและกล้ามเนื้อภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายซึ่งทำให้เกิดการศึกษางานวิจัยเรื่องอื่นต่อไป

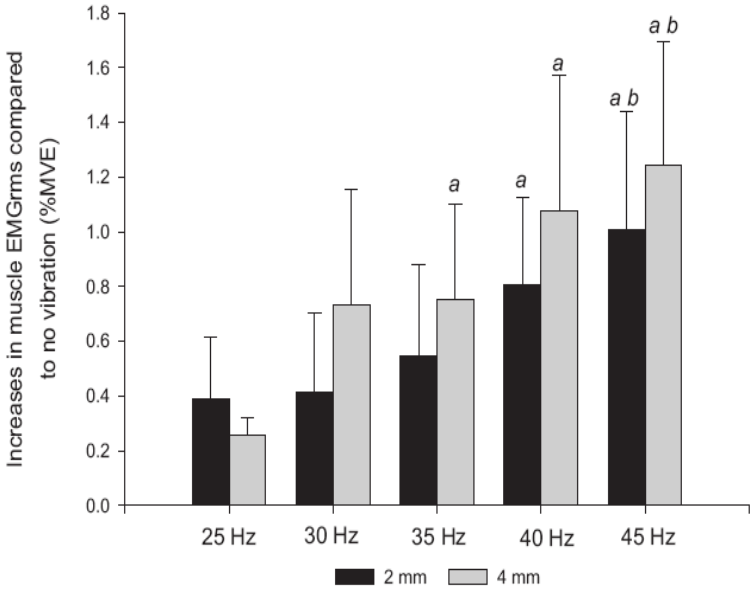
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



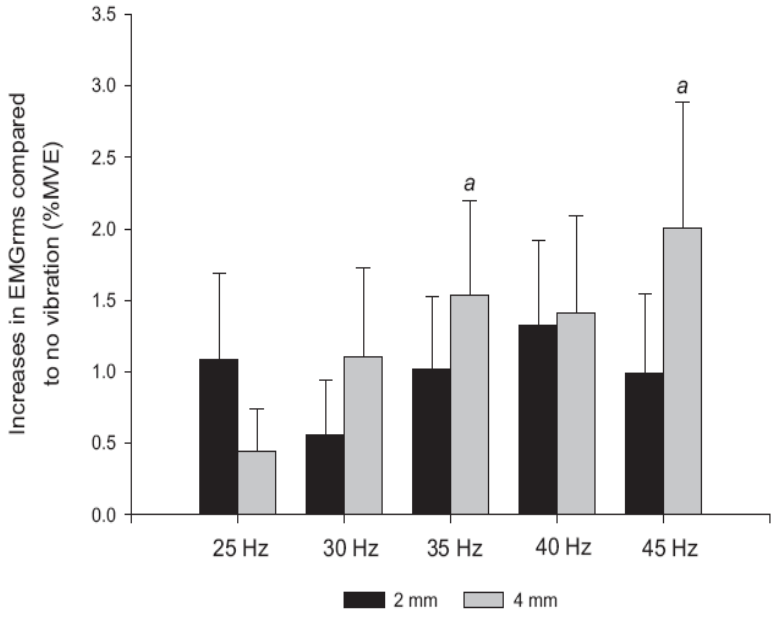
รูปที่ 10 แสดงการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis ในท่า Static semi squat ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Hazell et al., 2007)



รูปที่ 11 แสดงการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis ในท่า Dynamic squat ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Hazell et al., 2007)



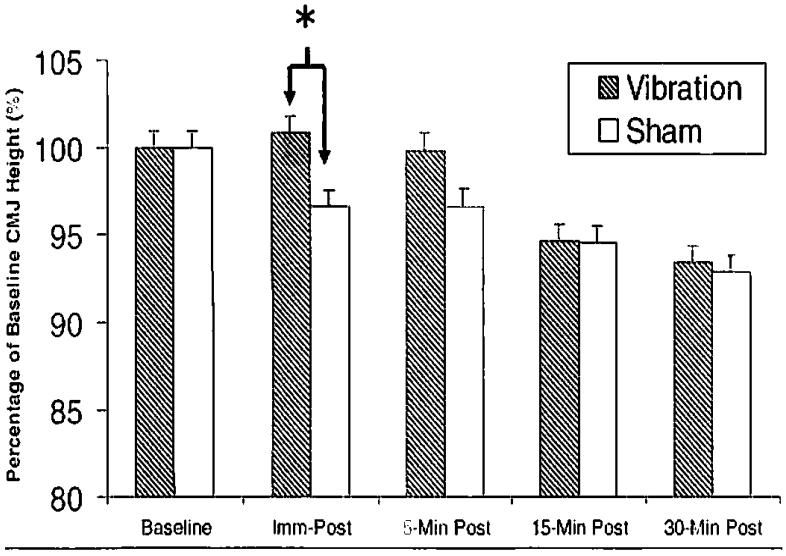
รูปที่ 12 แสดงการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Biceps femoris ในท่า Static semi squat ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Hazell et al., 2007)



รูปที่ 13 แสดงการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Bicep femoris ในท่า Dynamic squat ระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Hazell et al., 2007)

2.3.2. งานวิจัยของ Cormie (2006) ศึกษาผลแบบฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อความสามารถในการกระโดดในท่า Counter-movement jump และการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อผู้เข้าร่วมการทดลองเพศชายที่เคยผ่านการฝึกแบบใช้แรงต้านจำนวน 10 คน โดยกำหนดตัวแปรในการสั่นดังนี้ ความถี่ในการสั่น 30 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด2.5 มิลลิเมตร ระยะเวลา 30 วินาที ทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในท่า Static half squat โดยผลการทดลองพบว่า ความสูงในการกระโดดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อ Vastus medialis,Vastus lateralis และ Bicep femoris

ทั้งนี้ Cormie กล่าวว่า งานวิจัยที่การกำหนดระยะเวลาในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีผลต่อความสามารถในการกระโดดซึ่งการเพิ่มขึ้นของความสูงในการกระโดดในการทดลองนี้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอีกทั้งยังไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อดังนั้นจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อไปและจากงานวิจัยนี้ Cormie มีความคาดหวังว่าระยะเวลาในการสั่นที่ 45 วินาที น่าจะส่งผลดีต่อความสามารถในการกระโดดได้มากกว่าระยะเวลาในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในงานวิจัยนี้และในงานวิจัยที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นงานวิจัยที่นำระยะเวลาในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ Cormie คาดหวังไปใช้ในการทดลอง



รูปที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความสูงในการกระโดดในท่า Counter movement jump ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Cormie et al., 2006)

จากรูป Vibration หมายถึง กลุ่มทดลองที่ทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

Sham หมายถึง กลุ่มทดลองที่ทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบหลอก

2.3.3 งานวิจัยของ Bazett-jone (2008) ศึกษาผลแบบฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายโดยเปรียบเทียบความเร่งที่ใช้ในการสั่นที่มีผลต่อความสามารถในการกระโดด งานวิจัยเรื่องนี้เป็นงานวิจัยเรื่องเดียวที่กำหนดแบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบเคลื่อนที่โดยใช้ท่า Dynamic half squat โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่า ไม่เคยมีงานวิจัยที่ใช้ท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบคลื่นที่มาก่อน

ทั้งนี้ทำการศึกษาผู้ชายและผู้ผญิงที่ไม่เคยได้รับการฝึกจำนวนทั้งหมด 44 คน โดยต้องทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้งหมด 4 ความเร่ง ได้แก่ -2.18g (30 เฮิรตซ์ 2-4 มิลิเมตร) -2.80g (40 เฮิรตซ์ 2-4 มิลลิเมตร) -4.87g (35 เฮิรตซ์ 4-6 มิลลิเมตร) -5.83g (50 เฮิรตซ์ 4-6 มิลลิเมตร) และใช้ระยะเวลาตามความคาดหวังของ Cormie (2006) นั้นคือระยะเวลา 45 วินาที ซึ่งพบว่า ในกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองที่เป็นผู้ชายไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความสูงในการกระโดดอย่างมีนัยสำคัญทางสิติ แต่ในกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองผู้หญิงพบว่า การใช้ความเร่งที่ -2.80g (40 เฮิรตซ์ 2-4 มิลลิเมตร) และ -5.83g(50 เฮิรตซ์ 4-6 มิลลิเมตร) ความสูงในการกระโดดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 9.0 เปอร์เซ็นต์ และ 8.3เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า ความถี่ที่ 40 และ 50 เฮิรตซ์ สามารถเพิ่มความสามารถในการกระโดดได้

จากงานวิจัยนี้ทำให้เราทราบว่า การใช้ท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบเคลื่อนที่สามารถทำให้พลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นถึงแม้ว่าการที่พลังกล้ามเนื้อขาที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจมีผลมาจากตัวแปรอื่นที่ใช้ในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมด้วยก็ตามแต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ก็ทำให้ทราบถึงการกำหนดตัวแปรเหล่านั้น (ความถี่,แอมพลิจูด และระยะเวลา) ที่เหมาะสมกับการหดตัวของกล้ามเนื้อในขณะสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบเคลื่อนที่ที่สามารถทำให้พลังกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นได้

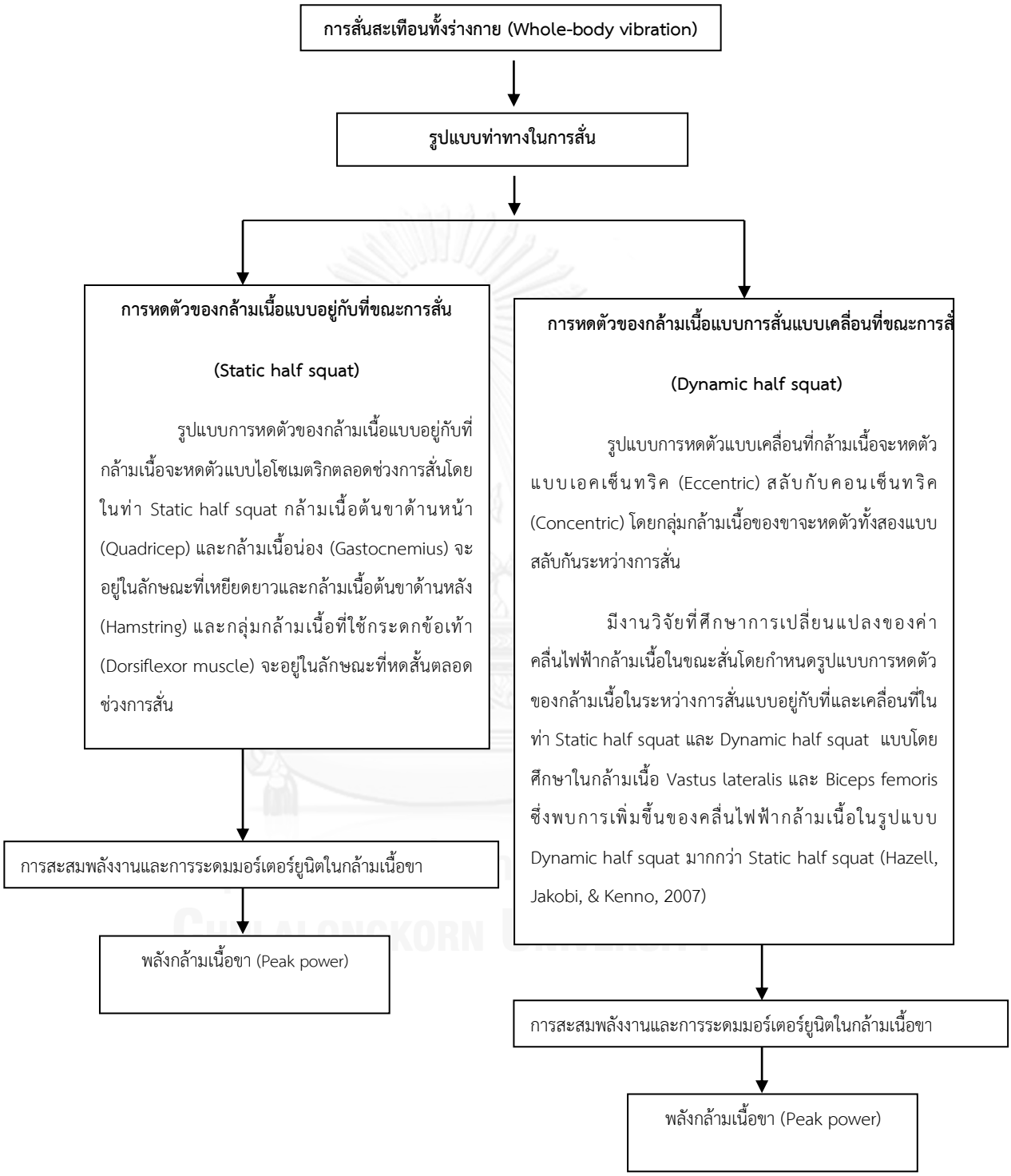
ดังนั้นงานวิจัยเรื่องนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลฉับผลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่เพื่อศึกษาว่า แบบท่าทางในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่แตกต่างกันนั้นมีผลต่อพลังกล้ามเนื้อขาที่เกิดขึ้นภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายหรือไม่และแบบท่าทางแบบใดที่สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อขาได้มากกว่ากัน

	Male		Female	
	Jump Height (cm)	% of Pre WBV	Jump Height (cm)	% of Pre WBV
1g (0 Hz, 0 mm)	20.6 (5.11)	96.5 (9.9)	12.6 (3.72)	93.3 (9.9)
2.16g (30 Hz, 2-4 mm)	20.7 (4.64)	94.9 (9.6)	12.9 (4.15)	98.8 (17.4)
2.80g (40 Hz, 2-4 mm)	21.0 (4.82)	95.9 (9.7)	13.1 (3.35)	108.9 (29.7)
4.87g (35 Hz, 4-6 mm)	21.2 (5.06)	99.1 (10.9)	12.9 (3.32)	101.5 (17.6)
5.83g (50 Hz, 4-6 mm)	20.9 (4.71)	99.1 (9.8)	12.5 (3.70)	108.3 (20.5)

รูปที่ 15 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความสูงในการกระโดดภายหลังการสั่น (Bazett-jone et al., 2008)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย



บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตคณะวิทยศาสตร์การกีฬา เพศหญิง ช่วงอายุ 18-22 ปี ที่มีค่า Relative strength 1.5-2.0

3.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตคณะวิทยศาสตร์การกีฬา เพศหญิง ช่วงอายุ 18-22 ปี จำนวน 12 คน(ค่า Power=0.80 ค่า Effect size=0.50) แต่ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการที่ผู้เข้าร่วมการทดลองขอถอนตัวระหว่างการทดลอง ผู้วิจัยจึงเพิ่มจำนวนประชากรเป็น 16 คน

3.3 เครื่องมือที่ใช้

1.เครื่อง Whole-body vibration ผลิตโดยบริษัท Power plate International Ltd.
ในประเทศ สหรัฐอเมริกา ชื่อรุ่น Power plate Pro5 Silver
2.เครื่องทดสอบกำลัง FT 700 Power และ Ballistic measurement system software

ระบบประกอบด้วย แผ่นแรง (Force plate) และมิเตอร์สายขยาย (ตัวแปลงสัญญาณระยะทาง) USB อินเตอร์เฟซการเก็บรวบรวมข้อมูลและซอฟต์แวร์ที่กำหนดเองแม่นยำในการวัดการเคลื่อนไหวในแนวตั้งของนักกีฬา บาร์เบลล์หรือเครื่องยกน้ำหนัก ความเร็ว ความเร่ง แรงและพลังนั้นจะสามารถวัดได้

ทั้งนี้โปรแกรมยังสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมเพื่อแสดงพลังสูงสุด (Peak power) และความเร็วสูงสุดของบาร์เบล (Peak bar velocity) และแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) รายงานบนความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบ reveals การทำซ้ำที่ดีของการวัด

พลังกล้ามเนื้อสูงสุด (Peak power) หมายถึง ผลคูณของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) กับความเร็วสูงสุดของบาร์เบล (Peak bar velocity)

ความเร็วสูงสุดของบาร์เบล (Peak bar velocity) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อที่ออกแรงทำให้บาร์เบลเกิดการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูงสุดโดยบาร์เบลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นบาร์เบลที่ไม่มีน้ำหนัก

แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุด (Peak vertical ground reaction force) หมายถึง แรงปฏิกิริยาสูงสุดในแนวดิ่งจากพื้นที่เกิดขึ้นจากการออกแรงเหยียดสะโพกและขากระแทกลงบนแผ่นตรวจจับแรงกระแทก (Force plate) ได้มากที่สุด

3. นาฬิกาจับเวลา

4. Goniometer

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

1. ทำการตรวจสอบคุณภาพของโปรแกรมการฝึกโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (IOC) โดยค่าดัชนีความสอดคล้องที่ได้เท่ากับ 0.84

2. คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อเข้าร่วมการทดลอง

1. ผู้วิจัยจะทำประกาศรับสมัครผู้เข้าร่วมการทดลอง

2. จากนั้นจะให้ผู้ที่ต้องการเข้าร่วมการทดลองตอบแบบสอบถามเพื่อคัดกรองว่าผู้สมัครมีคุณสมบัติอยู่ ในเกณฑ์คัดเข้าของงานวิจัย

3.4.1 เกณฑ์การคัดเข้า

1. ผู้เข้าร่วมการทดลองต้องเป็นนิสิตคณะวิทยศาสตร์การกีฬาเพศหญิง ช่วงอายุ 18-22 ปี

2. เป็นผู้ที่ออกกำลังกายตามตารางวิชาที่ลงเรียนปกติ ไม่ได้เป็นนักกีฬาที่ต้องเข้ารับการฝึกเฉพาะผู้ที่ไม่มีการบาดเจ็บทางร่างกายและไม่มีโรคประจำตัว

3. มีค่า Relative strength 1.5-2.0

3.4.2 เกณฑ์การคัดออก

1. เป็นผู้ที่ไม่มีค่า Relative strength อยู่ในช่วง 1.5-2.0

2. ได้รับการบาดเจ็บทางร่างกาย

3. ผู้เข้าร่วมการทดลองมีความต้องการที่จะออกจากการทดลอง

4. เป็นผู้ที่เข้าร่วมการทดลองต่ำกว่า 3 ครั้ง

3 นำผู้สมัครที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้ามาทำการทดสอบหาค่า Relative strength

การหาค่า Relative Strength

1. ผู้วิจัยจะเป็นผู้ทดสอบและหาค่าด้วยการหาค่า 1RM ของผู้ที่เข้าร่วมการคัดกรองทุกคนโดยทำการทดสอบบนเครื่อง Keiser A-300 squat ให้ผู้ที่เข้าร่วมการคัดกรองทำท่าสควอทต้านกับน้ำหนักที่กำหนดไว้ที่ตัวเครื่อง

โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1. ผู้วิจัยจะให้ผู้ที่เข้าร่วมการคัดกรองประมาณน้ำหนักที่น่าจะสามารถต้านได้ 5-6 ครั้ง

1.2. จากนั้นให้ผู้ที่เข้าร่วมการคัดกรองทำท่าสควอทต้านกับน้ำหนักที่เลือกไว้โดยทำท่าสควอทไปจนกว่าจะไม่สามารถทำได้

1.3. นำจำนวนครั้งที่ทำได้และน้ำหนักที่ต้านมาแทนลงในสมการ

1-RM = (weight lifted)/[1.0278 – (repetitions x 0.0278)]

อ้างอิงจาก Brzycki, M. (1993). Strength testing - Predicting a one-rep max from a reps-to fatigue.Journal of Physical Education, Recreation and Dance 64 (1), 88-90.

1.4. จากนั้นนำค่า 1RM ที่ได้มาหารด้วยน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ของผู้เข้าร่วมการคัดกรองก็จะได้ค่า Relative Strength ของผู้ที่เข้าร่วมการคัดกรอง

Relative Strength = 1RM/Body weigth (kg.)

1.5. ผู้ที่มีค่า Relative strength ในเกณฑ์ที่กำหนดจะได้เข้าร่วมการทดลองในกรณีที่มีผู้ผ่านเกณฑ์เกินกว่าจำนวนที่กำหนดผู้วิจัยจะทำการการสุ่มโดยการจับฉลากเลือกผู้เข้าร่วมการทดลอง 16 คนจากจำนวนทั้งหมด

1.6. ในกรณีที่มีผู้ที่ไม่ผ่านการคัดกรองผู้วิจัยจะมอบของที่ระลึกเป็นปากกาให้กับผู้ที่ไม่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมด

3. ชี้แจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองรวมถึงความเสี่ยงและประโยชน์ต่างๆที่กลุ่มตัวอย่างอาจได้รับจากการเข้าร่วมโดยผู้เข้าร่วมการทดลองต้องมาเข้าร่วมการทดลองตามวันที่กำหนดและในการทดลองทุกครั้งผู้เข้าร่วมการทดลองต้องแต่งกายด้วยชุดกีฬาและสวมรองเท้ากีฬา

4. เมื่อกลุ่มตัวอย่างทราบรายละเอียดและยินดีเข้าร่วมการวิจัยจึงให้กลุ่มตัวอย่างลงนามยินยอม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 16 คนต้องทำการสั่นทั้งหมด 4 แบบโดยกลุ่มตัวอย่างจะถูกสุ่มในการทำการทดลองในแต่ละแบบโดยการสุ่มแบบ Counter balancing (กลุ่ม A,B,C,D) ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน ซึ่งรูปแบบการสั่นทั้ง 4 แบบได้แก่

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดแบบการทดลองทั้ง 4 แบบ

แบบที่1	แบบที่2	แบบที่3	แบบที่4
Static half Squat ความถี่ 40 เฮิรตซ์ ความสูง 2-4 มม. ระยะเวลา 45 วินาที	Static half Squat ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ความสูง 4-6 มม. ระยะเวลา 45 วินาที	Dynamic half squat ความถี่ 40 เฮิรตซ์ ความสูง 2-4 มม. ระยะเวลา 45 วินาที	Dynamic half squat ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ความสูง 4-6 มม. ระยะเวลา 45 วินาที

ความถี่ แอมพลิจูดและระยะเวลาในการสั่น อ้างอิงจากงานวิจัยของ Bazett-jone(2008) ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างต้องทำการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขาก่อนและหลังการสั่นในทุกครั้งของการทดลอง

หมายเหตุ เนื่องจากงานวิจัยมีความเสี่ยงน้อยแต่หากมีการบาดเจ็บจะมีการปฐมพยาบาลเบื้องต้น ทั้งนี้ผู้วิจัยจะไม่แจ้งผลการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมการทดลองทราบ

3.1.4 การทดลองมีขั้นตอนดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) โดยการปั่นจักรยาน (Cycle ergometer) เป็นเวลา 5 นาทีความหนักที่ 60% HRR

2. กลุ่มตัวอย่างฝึกซ้อมการกระโดดท่า Counter-movement jump 2 ครั้ง และภายหลังการฝึกซ้อมกลุ่มตัวอย่างพักเป็นเวลา 1 นาทีเพื่อป้องกันการล้าของกล้ามเนื้อขา

3. ทำการทดสอบพลังกล้ามเนื้อโดยการกระโดดบนเครื่อง FT 700 Power system และ Ballistic measurement system โดยทำการกระโดดทั้งหมด 3 ครั้งโดยเลือกครั้งที่ดีที่สุด (อ้างอิงจากงานวิจัยของ Bazett-jone 2008) ในแต่ละครั้งพักเป็นเวลา 10-15 วินาที

4. ทำการสั่นในท่าตามรูปแบบที่สุ่มได้

แบบที่1 ทำการสั่นในท่า Static half squat กำหนดมุมข้อเข่าให้คงที่ที่ 90 องศา เป็นเวลา 45 วินาที โดยใช้ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลิเมตร และพักภายหลังการสั่นเป็นเวลา 1 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบที่ 2 ทำการสั่นในท่า Static half squat กำหนดมุมข้อเข่าให้คงที่ที่ 90 องศา เป็นเวลา 45 วินาที โดยใช้ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลิเมตร และพักภายหลังการสั่นเป็นเวลา 1 นาที

แบบที่ 3 ทำการสั่นในท่า Dymamic half squat โดยทำท่า Squat ทั้งหมด 9 ครั้ง กำหนดมุมข้อเข่าให้ที่ 90 องศา ในแต่ละครั้งใช้ 5 วินาที ในช่วง Eccentric ของกล้ามเนื้อ Quadricep ใช้เวลา 3 วินาที ในช่วง Concentric ใช้เวลา 2 วินาที รวมเวลาในการสั่นทั้งหมดเป็นเวลา 45 วินาที โดยใช้ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลิเมตร

แบบที่ 4 ทำการสั่นในท่า Dymamic half squat โดยทำท่า Squat ทั้งหมด 9 ครั้ง กำหนดมุมข้อเข่าให้ที่ 90 องศา ในแต่ละครั้งใช้ 5 วินาที ในช่วง Eccentric ของกล้ามเนื้อ Quadricep ใช้เวลา 3 วินาที ในช่วง Concentric ใช้เวลา 2 วินาที รวมเวลาในการสั่นทั้งหมดเป็นเวลา 45 วินาที โดยใช้ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลิเมตร

5 กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบพลังกล้ามเนื้อตามแบบข้อที่3อีกครั้ง

ตารางที่ 2 Counter balance ของการทดลองทั้ง 4 แบบ

รอบ	แบบที่1	แบบที่2	แบบที่3	แบบที่4
สัปดาห์ที่1	กลุ่มA	กลุ่มB	กลุ่มC	กลุ่มD
สัปดาห์ที่2	กลุ่มB	กลุ่มD	กลุ่มA	กลุ่มC
สัปดาห์ที่3	กลุ่มC	กลุ่มA	กลุ่มD	กลุ่มB
สัปดาห์ที่4	กลุ่มD	กลุ่มC	กลุ่มB	กลุ่มA

ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน ทำการทดลองในวันเสาร์ของสัปดาห์นั้น ในแต่ละวันของการฝึกผู้วิจัยจะมีน้ำ 1 ขวดและขนมของว่าง 1อย่างมอบให้กับผู้เข้าร่วมการทดลองและผู้วิจัยจะมอบปากกาเป็นของที่ระลึกให้กับผู้เข้าร่วมการทดลองทุกคนภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดลอง

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการทดลองทั้ง 4 กลุ่มมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 20

1. นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation).

2. วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยก่อนการทดลองและหลังการทดลองภายในแบบการสั่นทั้ง 4 แบบโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-way ANOVA with repeated measure) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยถ้าพบความแตกต่างจึงเปรียบเทียบรายคู่โดยวิธีการของแอลเอสดี

3. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยก่อนการทดลองและหลังการทดลองในแต่ละแบบโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองโดยการทดสอบค่าที (t-test) แบบไม่เป็นอิสระต่อกัน ทดสอบความมีนัยสำคัญที่.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบและทำการทดสอบพลังกล้ามเนื้อก่อนและหลังการทดลองในระหว่างการทดลองมีผู้เข้าร่วมการทดลอง 2 คนขอถอนตัวออกจากการทดลองจึงเหลือผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 14 คน และในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอค่าแรงปฏิกริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดและความเร็วสูงสุดของบาร์เบลร่วมด้วยเนื่องจากแรงและความเร็วเป็นตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องและมีความสำคัญกับพลังกล้ามเนื้อและอาจทำให้เราสามารถทำการศึกษาผลการทดลองได้ละเอียดมากขึ้น

ผลของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ,น้ำหนักและความแข็งแรงสัมพัทธ์ (Relative strength) ของนิสิตคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาเพศหญิงทั้งหมด 14 คน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ,น้ำหนักและความแข็งแรงสัมพัทธ์ของนิสิตคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา เพศหญิง

คุณลักษณะ	$\bar{X}$	S.D.
อายุ (ปี)	21.0	0.39
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	53.48	6.75
ความแข็งแรงสัมพัทธ์	1.78	0.17

จากตารางแสดงค่าเฉลี่ยอายุของผู้เข้าร่วมการวิจัยเท่ากับ 21.0 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.39 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของผู้เข้าร่วมการทดลองเท่ากับ 53.48 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.57 ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงสัมพัทธ์ (Relative strength) เท่ากับ 1.78 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.17

ผลของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ทั้ง 4 แบบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

แบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย	$\bar{X}$±S.D. **(วัตต์ต่อกิโลกรัม)**
แบบที่1	49.33±7.7
แบบที่2	48.71±8.11
แบบที่3	50.66±8.41
แบบที่4	50.81±6.62

จากตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เท่ากับ 49.33±7.7 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 เท่ากับ 48.71±8.11 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 เท่ากับ 50.66±8.41 และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 เท่ากับ 50.81±6.62 โดยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 มีค่ามากที่สุดและค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 มีค่าน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่8 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวกระจายตัวเป็นโค้งปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between People		1031.620	13	79.355		
	Between Items	44.145	3	14.715	0.274	0.844
Within People	Residual	2096.449	39	53.755		
	Total	2140.594	42	50.967		
Total		3172.214	55	57.677		

p>.05

จากตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ พบว่า ค่าเฉลี่ยของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ทั้ง 4 แบบ

แบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย	$\overline{X}$±S.D. **(วัตต์ต่อกิโลกรัม)**
แบบที่1	51.29±7.5
แบบที่2	49.56±7.53
แบบที่3	50.32±8.13
แบบที่4	51.37±7.23

จากตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เท่ากับ 51.29±7.5 แบบที่2 เท่ากับ 49.65±7.53 แบบที่3 เท่ากับ 50.32±8.13 แบบที่4 เท่ากับ 51.37±7.23 โดยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่4 มีค่ามากที่สุดและค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่2 มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวกระจายตัวเป็นโค้งปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดภายหลังการการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between People		905.436	13	69.649		
	Between Items	31.124	3	10.375	0.193	0.901
Within People	Residual	2099.972	39	53.845		
	Total	2131.096	42	50.740		
Total		3036.532	55	55.210		

p>.05

จากตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำพบว่า ค่าเฉลี่ยของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดหลังการทดลองทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของค่าพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนและหลังการทดลองก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์พลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

		ก่อนการสั่น		หลังการสั่น		t	p	%Change
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD			
พลังกล้ามเนื้อ	แบบที่1	49.33	7.77	51.29	7.50	-3.095	0.009*	3.97
สูงสุด	แบบที่2	48.71	8.11	49.56	7.53	-0.894	0.387	1.75
(วัตต์ต่อกิโลกรัม)	แบบที่3	50.66	8.41	50.32	8.13	0.463	0.651	-0.67
	แบบที่4	50.81	6.62	51.37	7.23	-1.279	0.223	1.10

*p<.05

จากตารางแสดงค่าพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนและหลังการทดลองพบว่า ค่าพลังกล้ามเนื้อสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่1 มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 3.97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

แบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย	$\overline{X}$±S.D. **(นิวตันต่อกิโลกรัม)**
แบบที่1	42.61±7.85
แบบที่2	39.41±7.9
แบบที่3	40.16±7.42
แบบที่4	43.31±9.58

จากตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เท่ากับ 42.61±7.85 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 เท่ากับ 39.41±7.9 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 เท่ากับ 40.16±7.42 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 เท่ากับ 43.31±9.58 โดยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 มีค่ามากที่สุด และค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่ 2 มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวกระจายตัวเป็นโค้งปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between People		1942.481	13	149.422		
	Between Items	148.523	3	49.508	1.224	0.314
Within People	Residual	1577.419	39	40.447		
	Total	1725.942	42	41.094		
Total		3668.422	55	66.699		

p>.05

จากตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวพบแบบวัดซ้ำพบว่า ค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนการทดลองทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

แบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย	$\bar{X}$±S.D. **(นิวตันต่อกิโลกรัม)**
แบบที่1	40.78±10.21
แบบที่2	39.30±7.9
แบบที่3	44.08±8.6
แบบที่4	40.70±10.14

จากตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เท่ากับ 40.78±10.21 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 เท่ากับ 39.30±7.9 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 เท่ากับ 44.08±8.6 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 เท่ากับ 40.70±10.14 โดยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 มีค่ามากที่สุดและค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวกระจายตัวเป็นโค้งปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between People		3298.484	13	253.730		
	Between Items	172.615	3	57.538	1.058	0.378
Within People	Residual	2120.551	39	54.373		
	Total	2293.166	42	54.599		
Total		5591.650	55	101.666		

p>.05

จากตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวพบว่า ค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุด หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของค่าแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

		ก่อนการสั่น		หลังการสั่น		t	p	%Change
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD			
แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุด (นิวตันต่อกิโลกรัม)	แบบที่1	42.61	7.85	40.78	10.21	.994	0.338	-4.29
	แบบที่2	39.41	7.90	39.30	11.65	.047	0.963	-0.28
	แบบที่3	40.16	7.42	44.08	8.60	-2.892	0.013*	9.17
	แบบที่4	43.31	9.58	40.70	10.14	1.522	0.152	-6.03

*p<.05

จากตารางแสดงค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนและหลังการทดลองพบว่าแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่3 มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 9.17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

แบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย	$\bar{X}$±S.D. **(เมตรต่อวินาที)**
แบบที่1	2.44±0.3
แบบที่2	2.43±0.31
แบบที่3	2.47±0.28
แบบที่4	2.48±0.28

. จากตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เท่ากับ 2.44±0.3 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 เท่ากับ 2.43±0.31 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 เท่ากับ 2.47±0.28 และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 เท่ากับ 2.48±0.28 โดยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 มีค่ามากที่สุดและค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 มีค่าน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 18 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวกระจายตัวเป็นโค้งปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between People		2.394	13	0.184		
	Between Items	0.022	3	0.007	0.137	0.937
Within People	Residual	2.096	39	.054		
	Total	2.118	42	.050		
Total		4.512	55	0.082		

p>.05

จากตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ทั้ง 4 แบบ

แบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย	$\bar{X}$±S.D. **(เมตรต่อวินาที)**
แบบที่1	2.51±0.28
แบบที่2	2.45±0.3
แบบที่3	2.51±0.26
แบบที่4	2.53±0.33

จากตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1เท่ากับ 2.51±0.28 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 เท่ากับ 2.45±0.3 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 เท่ากับ 2.51±0.26 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 เท่ากับ 2.53±0.33 โดยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่ 4 มีค่ามากที่สุดและค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่ 2 มีค่าน้อยที่สุดซึ่งข้อมูลดังกล่าวกระจายตัวเป็นโค้งปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Between People		2.229	13	0.171		
	Between Items	.052	3	0.017	0.314	0.815
Within People	Residual	2.142	39	.055		
	Total	2.194	42	.052		
Total		4.423	55	0.080		

p>.05

จากตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางดียวแบบวัดซ้ำพบว่า ค่าเฉลี่ยของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ

		ก่อนการสั่น		หลังการสั่น		t	p	%Change
		$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD			
ความเร็วสูงสุด	แบบที่1	2.44	0.30	2.51	0.28	-2.199	0.047*	2.87
ของบาร์เบล	แบบที่2	2.43	0.31	2.45	0.30	-1.122	0.282	0.82
(เมตรต่อวินาที)	แบบที่3	2.47	0.28	2.51	0.26	-2.075	.058	1.62
	แบบที่4	2.48	0.28	2.53	0.33	-2.197	0.047*	2.02

*p<.05

จากตารางแสดงค่าความเร็วสูงสุดของบาร์เบลขาก่อนและหลังการทดลองพบว่า ความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่1 และ 4 มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 2.87 และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่4 มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 2.02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองในกลุ่มตัวอย่างคือวิจัยคือ นิสิตคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา เพศหญิง อายุ 18-22 ปี จำนวน 16 คน ความแข็งแรงสัมพัทธ์ 1.5-2.0 ผู้วิจัยได้ทำการถ่วงดุลลำดับ (Counterbalancing) ด้วยการเลือกแบบสุ่มให้กลุ่มตัวอย่างเข้ารับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 4 แบบ สัปดาห์ละ 1 แบบ

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 ใช้ท่า Static half squat ทำการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 45 วินาที ด้วยความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลิเมตร

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 ใช้ท่า Static half squat ทำการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 45 วินาที ด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลิเมตร

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 ใช้ท่า Dynamic half squat ทำการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 45 วินาที ด้วยความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลิเมตร

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 ใช้ท่า Dynamic half squat ทำการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 45 วินาที ด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลิเมตร

โดยในช่วงของการทดสอบจะทำการทดสอบทั้งหมด 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายโดยค่าที่ได้จากการกระโดดด้วยความสามารถสูงสุด 1 ครั้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล :

นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการทดลองทั้ง 4 แบบมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistic 20

1. นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation).

2. วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยก่อนการทดลองและหลังการทดลองภายในแบบการสั่นทั้ง 4 แบบโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-way ANOVA with repeated measure) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยถ้าพบความแตกต่างจึงเปรียบเทียบรายคู่โดยวิธีการของแอลเอสดี

3. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยก่อนการทดลองและหลังการทดลองในแต่ละรูปแบบโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองโดยการทดสอบค่าที (t-test) แบบไม่เป็นอิสระต่อกัน ทดสอบความมีนัยสำคัญที่.05

สรุปผลการวิจัย

1. ค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. ค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 3.97

3. ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกันอย่

4. ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตที่ระดับ.05 โดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 9.17

5. ค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกัน

6. ค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตที่ระดับ.05 โดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 2.87 และค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตที่ระดับ.05 โดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 2.02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อภิปรายผลการวิจัย

ในการอภิปรายผลนี้เนื่องจากพลังกล้ามเนื้อนั้นเป็นผลคูณระหว่างแรงกับความเร็ว (Newton et al., 1994) เนื่องด้วยพลังกล้ามเนื้อคือ การที่ออกแรงสูงสุดภายในระยะเวลาที่สั้นที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าแรงกล้ามเนื้อและความเร็วก็เป็นตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องและมีความสำคัญกับพลังกล้ามเนื้อและอาจทำให้เราสามารถทำการศึกษาผลการทดลองได้ละเอียดมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้นำผลของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดและความเร็วสูงสุดของบาร์เบลมานำเสนอในงานวิจัยนี้ด้วย

1. จากสมมุติฐานการวิจัยที่ว่า การกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่มีผลให้พลังกล้ามเนื้อขาแตกต่างกัน ซึ่งผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดก่อนการทดลองและหลังการทดลองทั้ง 4 แบบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบเรียงจากแบบที่มีค่ามากที่สุดไปหาค่าที่น้อยที่สุดดังนี้ แบบที่ 4 51.37 w/kg แบบที่1 51.29 w/kg แบบที่3 50.32 w/kg แบบที่2 49.56 w/kg

2. การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 (ใช้ท่า Static half squat กำหนดมุมข้อเข่าให้คงที่ที่ 90 องศา เป็นเวลา 45 วินาที โดยใช้ ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลิเมตร) เป็นแบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบเดียวที่ค่าเฉลี่ยพลังกล้ามเนื้อสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งพบว่า ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีการเพิ่มขึ้นของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดและความเร็วสูงสุดของบาร์เบลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้พยายามอธิบายเหตุผลที่ทำให้การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อได้ซึ่งได้แก่ งานวิจัยของ Bosco และคณะ (2003) กล่าวว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะกระตุ้นการทำงานของรีเฟล็กซ์ที่ชื่อว่า Tonic vibration reflex (K.Hangbarth & G.Eklund, 1969) โดยการไหลเข้าของกระแสประสาทระหว่างการถูกกระตุ้นจะนำไปสู่การกระตุ้นการทำงานของ α-motor neuron และเพิ่มคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) โดยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะมากกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจาการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Voluntary contraction (Bosco et al., 1999) ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อได้หรืองานวิจัยของของ DJ-Cochrane และคณะ (2008) กล่าวว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีผลในการเพิ่มอุณหภูมิกล้ามเนื้อได้เร็วกว่าการอบอุ่นร่างกายด้วยการปั่นจักรยานซึ่งเป็นการส่งเสริมพลังกล้ามเนื้อและเหมาะแก่การใช้ในกีฬาที่ต้องการใช้พลังกล้ามเนื้อ

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยเรื่องนี้เราได้ทำการศึกษาแรงและความเร็วร่วมด้วยซึ่งทำให้เราพบว่าการเพิ่มขึ้นของพลังกล้ามเนื้อสูงสุดในแบบที่1 นี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความเร็วตามสมการที่ได้กล่าวมาแล้วว่า พลัง = แรง x ความเร็ว เมื่อตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเพิ่มขึ้น (แรง,ความเร็ว) ก็จะส่งให้ผลลัพท์ (พลัง) นั้นเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งสาเหตุที่ทำให้การสั่นมีผลในการเพิ่มความเร็วนั้นอาจเนื่องมาจากการสั่นที่เกิดขึ้นจะส่งกระแสประสาทการรับรู้ไปที่ Primary-Secondary somatosensory cortex ร่วมกับ Supplementary motor area (Naito et al., 2000) และกระตุ้นการทำงานของ Supplementary motor area ซึ่ง Supplementary motor area จะมีหน้าที่ในการควบคุมและวางแผนการเคลื่อนไหวก่อนมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น ซึงผู้วิจัยขออธิบายอย่างละเอียดในข้อที่ 6

3. ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบเรียงจากแบบที่มีค่ามากที่สุดไปน้อยที่สุดดังนี้ แบบที่3 44.08 N/kg แบบที่1 40.78 N/kg แบบที่4 40.70 N/kg แบบที่2 39.41 N/kg

4. การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 (ใช้ท่า Dymamic half squat โดยทำท่า Squat ทั้งหมด 9 ครั้งกำหนดมุมข้อเข่าให้ที่ 90 องศา เวลาในการสั่นทั้งหมดเป็นเวลา 45 วินาที โดยใช้ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด2-4 มิลิเมตร) เป็นแบบเดียวที่ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตที่ระดับ.05 การเพิ่มขึ้นของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดนี้อาจเป็นผลมาจากในแบบการสั่นนี้กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบเอคเซนตริกและคอนเซนตริกตลอดช่วงการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะทำให้เกิดการระดมคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้มากกว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตตริก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hazell และคณะ (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่ในกล้ามเนื้อ Vastus lateralis และ Bicep femoris โดยผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นเพศชายสุขภาพดีจำนวน 10 คน พบว่า ในการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 0.6-6.7 เปอร์เซ็นเมื่อเทียบกับก่อนการสั่นและการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 3.7-8.7 เปอร์เซ็นเมื่อเทียบกับก่อนการสั่นจากการทดลองนี้พบว่า การเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นมากกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อที่หดตัวแบบอยู่กับที่

5. ความเร็วสูงสุดของบาร์เบลก่อนการทดลองและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบเรียงจากแบบที่มีค่ามากที่สุดไปน้อยที่สุดดังนี้ แบบที่4 2.48 m/s แบบที่3 2.47 m/s แบบที่1 2.44 m/s แบบที่2 2.43 m/s

6. ค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดของบาร์เบลในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 (ใช้ท่า Static half squat กำหนดมุมข้อเข่าให้คงที่ที่ 90 องศา เป็นเวลา 45 วินาที โดยใช้ ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลิเมตร) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่4 (ใช้ท่า Dymamic half squat โดยทำท่า Squat ทั้งหมด 9 ครั้งกำหนดมุมข้อเข่าให้ที่ 90 องศา เป็นเวลา 45 วินาที โดยใช้ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลิเมตร) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตที่ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย การเพิ่มขึ้นของความเร็วภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนี้ยังไม่มีงานวิจัยเรื่องไหนได้อธิบายอย่างแน่ชัดแต่อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกับดีว่า ความเร็วในการเคลื่อนไหวจะถูกควบคุมโดยประสาทเป็นส่วนใหญ่ (ธวัช วีระศิริวัตน์, 2538) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของความเร็วภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนี้อาจเป็นเพราะระบบประสาทถูกกระตุ้นก็เป็นได้

บทความของ Bosco และ Cardinale (2003) กล่าวว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย ที่ระบบประสาทส่วนกลางการสั่นที่เกิดขึ้นจะส่งกระแสประสาทการรับรู้ไปที่ Primary-Secondary somatosensory cortex ร่วมกับ Supplementary motor area (Naito et al., 2000) ซึ่ง Supplementary motor area จะมีหน้าที่ในการควบคุมและวางแผนการเคลื่อนไหวก่อนมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น (Cunnington et al., 2002) ผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่กล่าวมานี้อาจทำให้สามารถเพิ่มความเร็วได้ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการสั่นในแบบที่1 และแบบที่4 ก็พบว่า ในทั้งสองแบบกำหนดตัวแปรที่แตกต่างกัน มีเพียงระยะเวลาในการสั่นเท่านั้นที่กำหนดให้เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของทั้งสองแบบพบว่า เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงในแบบที่1 มีค่ามากกว่าแบบที่4 ทั้งนี้ความแตกต่างของผลของค่าความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายของทั้งสองแบบนี้ก็ยังไม่สามารถอธิบายได้ อย่างไรก็ตามการตอบสนองของระบบประสาทต่อการสั้นสะเทือนทั้งร่างกายยังมีความซับซ้อนและต้องการการศึกษาเพิ่มเติมอีกในอนาคต

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่1 นั้นเป็นแบบเดียวที่สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อสูงสุดภายหลังการทดลองได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและยังเพิ่มความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ในขณะที่การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่4 มีเพียงการเพิ่มขึ้นของความเร็วสูงสุดของบาร์เบลภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและ

ในแบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 มีเพียงการเพิ่มขึ้นของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าใดเลยและมีแนวโน้มทำให้แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดลดลง จากผลทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นว่าการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เป็นแบบที่ดีที่สุดจากทั้ง 4 แบบที่สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อสูงสุดภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1.จากการทดลองนี้การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่1 เป็นแบบที่เหมาะสำหรับเพิ่มพลังกล้ามเนื้อและการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่3 เป็นแบบที่สามารถเพิ่มแรงได้

2.ข้อสังเกตุจากงานวิจัยนี้ ประสิทธิภาพของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายนั้นอาจมีความเกี่ยวข้องกับระดับความตื่นตัว (Arousal level) จากกฎของ Yerkes และ Dodson ที่กล่าวว่าความตื่นตัวมีความเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงาน ระดับความตื่นตัวที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานแต่ถ้าความตื่นตัวที่มากเกินไปก็จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานนั้นลดลงซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการกำหนดตัวแปรในสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ต่างกันอาจทำให้ระดับความตื่นตัวนั้นแตกต่างกันและเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการสั่นนั้นแตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่อธิบายหรือสนับสนุนข้อสังเกตุนี้ทั้งนี้อาจต้องศึกษาต่อไปนอนาคต

3.ท่าในการสั่นในแบบ Dymamic half squat ที่จะต้องทำท่ายืนขึ้นและย่อตัวลง ในช่วงที่ยืนตรงจะรู้สึกถึงการสั่นสะเทือนที่ศีรษะมากที่สุดอาจทำให้ผู้ที่ได้รับการสั่นบางท่านรู้สึกเวียนศีรษะหรือรู้สึกไม่สบายได้ ดังนั้นการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบนี้อาจต้องการการฝึกฝนล่วงหน้าเพื่อให้ผู้ที่ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถปรับตัวต่อการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบนี้ได้

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1.งานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาในช่วงความถี่และแอมพิจูดเพียง 2 ค่าเท่านั้นและยังศึกษาระยะเวลาในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเพียงแค่ระยะเวลาเดียว ทั้งนี้ในการกำหนดค่าความถี่ แอมพลิจูดและระยะเวลาในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอื่นๆอาจได้ผลกการทดลองที่แตกต่างกับงานวิจัยเรื่องนี้ก็เป็นได้

2.ตามความคิดเห็นของผู้วิจัยคิดว่าในแต่ละบุคคลอาจมีการตอบสนองต่อแบบของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่แตกต่างกัน ดังนั้นการทดลองเพื่อหาว่าบุคคลผู้นั้นสามารถตอบสนองต่อแบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบไหนได้ดีที่สุด อาจทำให้ได้ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ดีที่สุดต่อบุคคลนั้นก็เป็นได้

รายการอ้างอิง

A.Fisher, G., & Jensen, G. F. (1989). *Scientific Basic of Athletic Conditioning* Pensylvania, United State of America: Lea and Febiger Ltd.

Abercromy, A. F. J., Amonette, W. E., Layne, C. S., Mcfarlin, B. K., Hinman, M. R., & Palsaki, W. H. (2007). Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training *Medcine and Science in Sports and Exercise, 39*, 1642-1650.

B.Brown. (1914). *Vibration technique*: Scientific Author's Publishing Company.

Bazett-jone, D. M., Finch, H. W., & Dugan, E. L. (2008). Comparing effect of various whole-body vibration acceleration on countermovement jump performance. *Journal of Sports Science and Medicine, 7*, 144-150.

Bosco, C., Colli, R., Introini, E., cardinale, M., Iacovelli, M., & Viru, A. (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical Physiology, 19*, 183.

Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, A., & Thianyi, J. (2000). Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Journal of Apply Physiology, 81*, 449.

C.Maloney-Hinds, JS.Petrofsky, & Zimmerman, G. (2007). The effect of 30 Hz vs. 50 Hz passive vibration and duration of vibration on skin blood flow in the arm. *Medical Science Monitor, 14*, 112-116.

C.Merrick, & J.Ponton. (1996). The Ecosse control hyper course. *Computer and Chemical Enginearing, 20*, 1353-1358.

Cochrane, D. J., Stannard, S. R., Sargeant, A. J., & Rittweger, J. (2008). The rate of muscle temperature increase during acute whole-body vibration exercise. *European Journal of Apply Physiology, 103*, 441-448.

Cormie, P., Deane, R. S., Triplett, N. T., & Mcbride, J. M. (2006). Acute effect of whole-body vibration on muscle activity,strength,and power. *Journal of Strength and Conditioning Reserch, 20*(2), 257-261.

Cunnington, R., Windischberger, C., Deecke, L., & Moser, E. (2002). The preparation and execution os self initiate and externally triggerd movement: a study evevt-revealed MRI. *Neuroimage, 15*, 373-385.

D.J. Cochrane, & S.R. Stannard. (2005). Acute whole body vibration training increase vertical jump and flexibility performance in elite female feild hockey players. . *journal of Sport Medicine, 39*, 860-865.

DI.Cook, Lingard, J., Wegman, E., & Young, J. (2000). *Erna¨hrung,Energiehaushalt und Stoffwechsel (Nutrition, Energy Balance and Metabolism). In: Klinke R, Silbernagl S (eds) Lehrbuch der Physiologie (Textbook of Physiology)*: Thieme.

E.Yamada, Kusaka, T., K.Miyamoto, S.Tanaka, S.Morita, S.Tanaka, . . . S.Itoh. (2005). Vastus lateralis oxygenation and blood volume measured by near-infrared spectroscopy during whole body vibration. *Clinical Physiology, 25*, 203-208.

EL.Curry, & JA.Clelland. (1981). Effects of the asymmetric tonic neck reflex and high-frequency muscle vibration on isometric wrist extension strength in normal adults. *Journal of Physical Therapy, 61*(4), 487-495.

G.Mccall, R.Grindeland, R.Roy, & V.Edgerton. (2000). Muscle afference activity modulates bioassayable growth hormone in human plasma. *Journal of Apply Physiology, 89*, 1137-1141.

Hazell, T. J., Jakobi, J. M., & Kenno, K. A. (2007). The effect of whole-body vibration on upper-and lower-body EMG during static and dynamic contractions. *Apply Physiology Nutrition and Metabolism, 32*, 1156-1163.

Humphries, B., Warman, G., & Purton, J. (2004). The influence of vibration on muscle activation and rate of force development • Examination of acute effects have shown that during maximal isometric contractions. *Journal of Sport Science and medicine, 3*, 16-22.

J.Erskine, I.Smillie, Leipe, J., D.Ball, & M.Cardinale. (2007). Neuromuscular and hormonal responses to a single session of whole body vibration exercise in healthy young men. *Clinical Physiology, 27*(242-248).

JM.Wakeling, Nigg, B., & AI.Rozitis. (2002). Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations. *Journal of Apply Physiology, 93*, 1093-1103.

Jorn Rittweger, Ehrig, J., K.Just, Mutschelknauss, M., Kirsch, K., & D.Felsenberg. (2002). Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *International Journal of Sports Medicine, 23*, 428.

K.Hangbarth, & G.Eklund. (1969). The muscle vibratory-a useful tool in neurological therapeutic work. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, 1*, 26.

Kunnemeyer, J., & D.S. (1997). Die rhythmische neuromuskulare stimulation (RNS). *Leistungssport, 2*, 39-42.

LG.Bongiovanni, Hagbarth, K., & Stjernberg, L. (1990). Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contrac in man. *Journal of Physiology, 423*, 15-26.

Lohman, E. r., JS.Petrofsky, C.Maloney-Hinds, Betts-Schwab, H., & D.Thorpe. (2007). The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Medical Science Monitor, 13*, 71-16.

Luo, J., McNamara, B., & Moran, K. (2005). The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Medicine, 35*(1), 23-41.

M.Cardinale, & C.Bosco. (2003). The Use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Science, 31*, 3-7.

M.Cardinale, Ferrari, M., & V.Quaresima. (2007). Gastrocnemius medialis and vastus lateralis oxygenation during whole-body vibration exercise. *Medcine and Science in Sports and Exercise, 39*, 694-700.

Meyer-Waarden, K. (1985). *Bioelektrische signale und ihre ableitverfahren [Bio-electric signals and their recording methods].* Stuttgart: Schattauer.

Naito, E., Kinomura, S., Geyer, S., Kawashima, R., Roland, P. E., & Zilles, K. (2000). Fast Reaction to Different sensory modalities activates common fields in the motor areas, but the anterior cingulate cortex is involved in the speed of reaction. *Journal of Neurophysiology, 83*, 1701-1709.

Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing explosive muscular power: implication for a mixed methods training strategy. *Journal of Strength and Conditioning Reserch*, 20-31.

R.Fitts, D.Riley, & J.Widrick. (2001). Functional and structure adaptations of skeletal muscle to microgravity. *The Journal of Experimental Biology, 204*, 3201-3208.

Rittweger, J. (2010). Vibration as an exercise modalities : may it work, and what its potential migth be. *European Journal of Apply Physiology, 108*, 877-904.

Rittweger, J., & Felsenber, D. H. (2001). Oxygen uptake during whole-body vibration exercise comparison with squatting as slow voluntary movement. *Journal of Apply Physiology, 86*, 169-173.

Rittweger, J., M.Mutschelknauss, & Felsenberg, D. (2003). Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clinical Physiology Function image, 23*, 81-86.

Rittweger, J., Moss, A., Colier, W., Stewart, C., & Degens, H. (2010). Muscle tissue oxygenation and VEGF in Vo2-matched vibration and squatting exercise. *Clinical Physiology*.

Ruiter, C. d., Raak, S. V., & JV.Schilperoort. (2003). The effects protocol (training type, intensity and volume). In of 11 weeks whole body vibration training on jump height,

addition, a dearth in research in chronic-based by-contractile properties and activation of human knee extensors. *European Journal of Apply Physiology, 16*.

Samuelson, B., Jorfeldt, L., & Ahlborg, B. (1989). Influence of vibration on endurance of maximal isometric contraction. *Clinical Physiology, 9*, 21-25.

Snow, M. L. H. A. (1912). *Mechanical Vibration*: Scientific Author's Publishing Company.

TJ.Herda, ED.Ryan, Smith, A., AA.Walter, MG.Bemben, Stout, J., & JT.Cramer. (2008). Acute effects of passive stretching vs vibration on the neuromuscular function of the plantar flexors. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 19*(5), 703-713.

V.Issurin, & G.Tenenbaum. (1999). Acute and residual effect vibratory stimulation on explosive strength in elite and ameture athletes. *Journal of Sport Science, 17*, 177-182.

Zange, J., Haller, T., Muller, K., Liphardt, A., & Mester, J. (2008). Energy metabolism in human calf muscle performing isometric plantar flexion superimposed by 20-Hz vibration. *Journal of applied physiology, 105*(2), 265-270.

กัลยพงษ์ จตุรพาณิชย์. (2545). ระบบกล้ามเนื้อในสรีรวิทยา. กรุงเทพฯ: เท็กแอนด์เจอรนัล พับลิเคชั่น.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2548). *Human Performance*. กรุงเทพฯ: สเป็ค ครีเอทีฟ.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์. (2539). หลักการฝึกความเร็ว. กรุงเทพฯ: ไทยมิตรการพิมพ์.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์, & กันยา ปาละวิวัธน์. (2536). สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ: ธรรกมลการพิมพ์.

ทวีชัย เหลี่ยมศิริวัฒนา. (2541). การศึกษาความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อกระตุกและข้อต่อเนื่องจากการทำงานนาน. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

ธวัช วีระศิริวัตน์. (2538). หลักการฝึกกีฬา. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์. (2551). สรีรวิทยาระบบกล้ามเนื้อ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรังสิต.

มาลีรัตน์ มาเขียว. (2544). ผลการฝึกวิ่งแบบรูปตัว *S* และรูปแบบตัว *z* ที่มีต่อความคล่องแคล่วว่องไวของนักกีฬารักบี้ฟุตบอล. (มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนธยา สีละมาด. (2547). หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

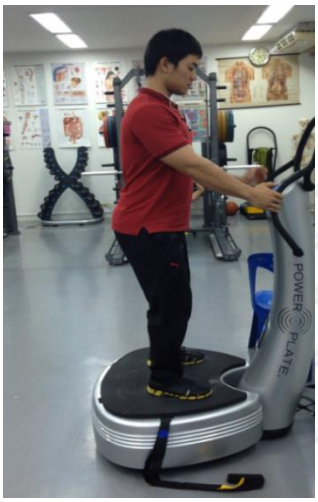
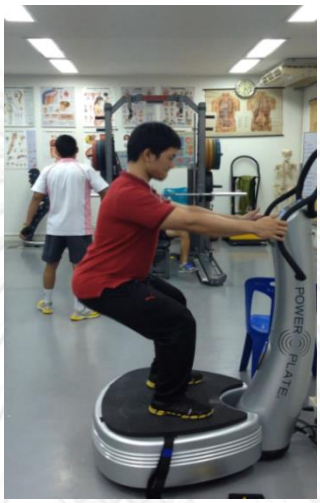
ภาคผนวก ก
ท่าที่ใช้ในการทดสอบและทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ท่าที่ใช้ในการทดลอง

1. ท่า Dynamic half squat

ผู้เข้าร่วมการทดลองเริ่มต้นในท่ายืน (มุมข้อเข่า 0 องศา) จากนั้นงอเข่าลงยอตัวลงจนมุมเข่าอยู่ที่ 90 องศา ในช่วงของการงอเข่าย่อตัวลงใช้เวลา 3 วินาที ในช่วงเหยียดเข่ายกตัวขึ้นกลับมาอยู่ในท่ายื่นใช้เวลา 2 วินาที โดยทำท่าสควอททั้งหมด 9 ครั้ง

2. ท่า Static half squat

ผู้เข้าร่วมการทดลองเริ่มต้นท่าสควอทแบบอยู่กับที่กำหนดมุมข้อเข่าให้คงที่ที่ 90 องศาตลอดการสั่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ท่าทางในการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขา

ท่ากระโดด Countermovement jump โดยแบกท่อพลาสติกไว้บนบ่า

ท่าทางในการทดสอบหาค่า 1RM จากเครื่อง Keiser A-300 squat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

แบบสอบถาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมายถูก ลงใน □ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างตรงตามความเป็นจริง

1. ท่านเป็นนิสิตเพศ

□ ชาย □ หญิง

2. ท่านอายุ.....ปี

3.ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

1. □ ไม่มี

2. □ มีโรคประจำตัว โปรดระบุ.....

4.ท่านเป็นนักกีฬาที่ต้องฝึกซ้อมเฉพาะหรือไม่

1. □ ไม่เป็น

2. □ เป็น

5.ท่านมีอาการบาดเจ็บหรือไม่

1. □ ไม่มี

2. □ มี โปรดระบุ.....

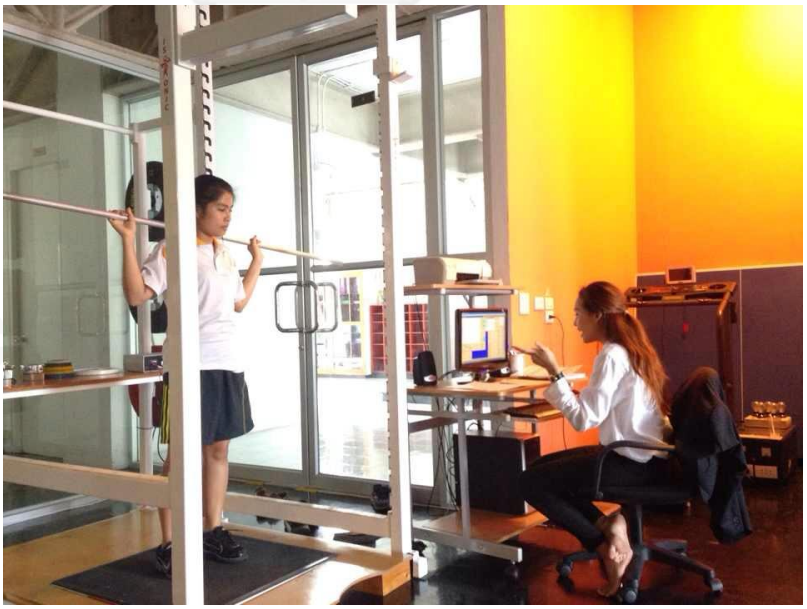
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
รูปภาพขณะทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปภาพขณะทำการทดลอง

กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) โดยการปั่นจักรยาน (Cycle ergo meter) เป็นเวลา 5 นาที



ทำการทดสอบพลังกล้ามเนื้อขาก่อนและหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

ทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายตามแบบที่กำหนด (แบบstatic)

ทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายตามแบบที่กำหนด (แบบstatic)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล : นางสาวสุภัทรา ศิลปบรรเลง

เกิดวันที่ : 28 ตุลาคม พ.ศ.2532

สถานที่เกิด : กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 13 ซ.แจ้งวัฒนะ 4 แยก 9 ถ.แจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กทม.10220

ประวัติการศึกษา : สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขากายภาพบำบัด
คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เมื่อปีการศึกษา 2554

เข้าศึกษาต่อปริญญาวิทยศาสตร์มหาบัณฑิต
วิทยาศาสตร์การกีฬา แขนงวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
คณะวิทยศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เมื่อปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University