# ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง

น.ส.พัชรพร พ่อค้าชำนาญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ACUTE EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON ELECTROMYOGRAPHY, BLOOD LACTATE LEVEL AND JUMPING PERFORMANCE IN FEMALE VOLLEYBALL PLAYERS

Miss Pacharaporn Porkachamnan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Sports and Exercise Science
Common Course
FACULTY OF SPORTS SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2019
Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง |
| โดย | น.ส.พัชรพร พ่อค้าชำนาญ |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ดร.ทศพร ยิ้มลมัย |

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

............................................................ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

............................................................ ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

............................................................ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร.ทศพร ยิ้มลมัย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

............................................................ กรรมการ

(ดร.คนางค์ ศรีหิรัญ)

............................................................ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์)

พัชรพร พ่อค้าชำนาญ : ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง. ( ACUTE EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON ELECTROMYOGRAPHY, BLOOD LACTATE LEVEL AND JUMPING PERFORMANCE IN FEMALE VOLLEYBALL PLAYERS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ดร.ทศพร ยิ้มลมัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย การจำกัดการไหลเวียนเลือด และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นนักกีฬาวอลเลย์บอล ระดับมหาวิทยาลัย เพศหญิง อายุ 18-25 ปี จำนวน 12 คน โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนต้องเข้าร่วมการทดลองครบทั้ง 4 เงื่อนไข ประกอบด้วยเงื่อนไขควบคุม (CON) เงื่อนไขการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) เงื่อนไขการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และเงื่อนไขการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) โดยใช้วิธีการถ่วงดุลลำดับ ทดสอบตัวแปรความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและวัดระดับแลคเตทในเลือด ก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) โดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ผลการวิจัยพบว่า ไม่พบความแตกต่างของทุกตัวแปรที่ทดสอบในเงื่อนไขควบคุม ก่อนและหลังการทดสอบ หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) อัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อน่องด้านในขณะยืนย่อเข่ากระโดดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของค่าพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์ในการกระโดดทั้งสองรูปแบบ หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) พบว่าค่าพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในการยืนย่อเข่ากระโดดและการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ ขณะที่ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ และหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) พบว่าค่าพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในการกระโดดทั้งสองรูปแบบ ขณะที่อัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อน่องลดลงในการยืนย่อเข่ากระโดดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive strength) ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (Leg stiffness) และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) เพิ่มขึ้นในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเงื่อนไขการทดลอง เวลาในการทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยที่มีต่อความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างหลังการทดลองระหว่างเงื่อนไขควบคุม (CON) และเงื่อนไขการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) ที่มีต่ออัตราการสร้างแรงในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความแตกต่างของเวลาในการทดสอบมีต่อระดับแลคเตทในเลือดในทุกเงื่อนไขการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สรุปผลการวิจัย การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและช่วยพัฒนาพลังสูงสุดในการกระโดดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายรูปแบบอื่น ถึงแม้ว่าจะไม่ส่งผลต่อความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอล

| | | |
|---|---|---|
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย | ลายมือชื่อนิสิต ................................................ |
| ปีการศึกษา | 2562 | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .............................. |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# # 6178309739 : MAJOR SPORTS AND EXERCISE SCIENCE

KEYWORD: Volleyball, Whole-body vibration, Blood flow restriction, Electromyography, Jumping performance

Pacharaporn Porkachamnan : ACUTE EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON ELECTROMYOGRAPHY, BLOOD LACTATE LEVEL AND JUMPING PERFORMANCE IN FEMALE VOLLEYBALL PLAYERS. Advisor: Tossaporn Yimlamai, Ph.D.

This study aimed to examine and compare the acute effects of whole-body vibration (WBV), blood flow restriction (BFR), and its combination (WBV+BFR) on electromyography, blood lactate level, and jumping performance in female volleyball players. Twelve university female volleyball players, aged between 18-25 years, participated in this study. Each subject performed a dynamic squatting exercise under 4 different conditions, namely control (CON), whole-body vibration (WBV), blood flow restriction (BFR), and combined whole-body vibration and blood flow restriction (WBV+BFR), in a randomized counterbalanced design. Electromyography (EMG) and jumping performance test included countermovement jump (CMJ) and squat jump (SJ), were recorded before and after the experiment in each condition. Two-way ANOVA was applied for data analysis with a statistical significant at p-value < .05.

The results showed that there were no significant differences in all variables examined in CON condition before and after intervention. However, WBV resulted in significant increases ($p < 0.05$) in rate of force development during take-off phase, leg stiffness, as well as the amplitude of EMG from medial gastrocnemius for CMJ. In addition, jump height and flight time were significantly increases ($p < 0.05$) for SJ while no significant differences were found in absolute and relative peak power in both jumping test. BFR elicited significant increases ($p < 0.05$) in absolute and relative peak power for CMJ and SJ, although the leg stiffness was significant decreased ($p < 0.05$) for SJ. WBV+BFR resulted in significant increases ($p < 0.05$) in both absolute and relative peak power for CMJ and SJ. In addition, while the rate of force development during take-off phase and EMG activity from gastrocnemius showed significant decreases ($p < 0.05$) for CMJ, the reactive strength, leg stiffness and EMG activity of rectus femoris were significant increased ($p < 0.05$) for SJ. There were no significant main effects of condition, of time, and an interaction of condition x time on all variables for CMJ. However, there was a significant main effect of condition (BFR vs WBV+BFR) on leg stiffness for SJ and a significant main effect of time ($p < 0.05$) on blood lactate level for all conditions.

In conclusion, these findings demonstrated that both whole-body vibration and its combination with blood flow restriction were effective in enhancing muscular power, with greater improvements observed in the latter, although they appeared to have no effect on jumping performance in female volleyball players.

| | | |
|---|---|---|
| Field of Study: | Sports and Exercise Science | Student's Signature ............................... |
| Academic Year: | 2019 | Advisor's Signature ............................. |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอบรมสั่งสอนและการแนะนำทางด้านการเรียน ผู้วิจัยตระหนักและซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.คนางค์ ศรีหิรัญ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ หิรญรัตน์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้เมตตาให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล อาจารย์ ดร.ชลชัย อานามนารถ คุณวุฒินันท์ พรมนัส และคุณสุเทพ ทองศรี ที่ได้กรุณาสละเวลาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อตรวจเครื่องมือการวิจัยและให้คำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงเจริญพระชนมายุครบ ๗๒ พรรษา และทุน ๙๐ ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อน ๆ พี่ ๆ แขนงวิชาการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬาและแขนงอื่น ๆ สำหรับการสนับสนุนช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่าง ๆ และกำลังใจ รวมทั้งขอขอบคุณผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกท่านที่ได้สละเวลาและให้ความร่วมมือในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ตลอดจนญาติพี่น้อง ที่ได้อบรมสั่งสอนชี้นำแนวทางการดำเนินชีวิต รวมทั้งให้คำปรึกษา และกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

พัชรพร พ่อค้าชำนาญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ........ ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ........ ง

กิตติกรรมประกาศ ........ จ

สารบัญ ........ ฉ

สารบัญตาราง ........ ช

สารบัญรูป ........ ฌ

สารบัญแผนภูมิ ........ ฏ

บทที่ 1 บทนำ ........ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ........ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย ........ 5

คำถามในการวิจัย ........ 5

สมมุติฐานของการวิจัย ........ 5

ขอบเขตของการวิจัย ........ 6

คำจำกัดความของการวิจัย ........ 7

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ........ 9

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ........ 10

1. กีฬาวอลเลย์บอล ........ 10

2. รูปแบบการฝึกในกีฬาวอลเลย์บอล ........ 17

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ ........ 54

กรอบแนวความคิดในการวิจัย ........ 57

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ........ 58


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มตัวอย่างและวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง ........ 58
รูปแบบของการวิจัย ........ 60
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ........ 65
ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล ........ 66
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ........ 72
ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางสรีรวิทยาพื้นฐานและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ........ 73
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ........ 74
ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของแรงในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ........ 82
ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) 92
ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจและระดับแลคเตทในเลือด ........ 99
ตอนที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Takeoff phase ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ........ 102
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ........ 107
ผลการวิจัย ........ 107
อภิปรายผลการวิจัย ........ 110
สรุปผลการวิจัย ........ 117
ข้อจำกัดของการวิจัย ........ 117
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย ........ 117
บรรณานุกรม ........ 118
ภาคผนวก ........ 132

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power) ..... 133
ภาคผนวก ข การติดเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ..... 134
ภาคผนวก ค การติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective markers) ..... 141
ภาคผนวก ง การออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (Dynamic squatting exercise) ..... 142
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 1 ..... 143
ภาคผนวก ฉ ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 2 ..... 145
ภาคผนวก ช ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 3 ..... 147
ภาคผนวก ซ ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 4 ..... 149
ภาคผนวก ฌ การทดสอบความสามารถในการกระโดด ..... 151
ภาคผนวก ญ การวัดระดับแลคเตทในเลือด ..... 163
ภาคผนวก ฎ เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-Body Vibration) ..... 164
ภาคผนวก ฏ แบบบันทึกข้อมูลพื้นฐาน ..... 165
ภาคผนวก ฐ การประเมินคุณภาพ IOC ..... 166
ภาคผนวก ฑ การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) ..... 172
ภาคผนวก ฒ การคลายอุ่นร่างกาย (Cool down) ..... 175
ภาคผนวก ณ ใบรับรองโครงการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน ..... 178
ประวัติผู้เขียน ..... 180

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญตาราง

**หน้า**

**ตารางที่ 1** แสดงคำแนะนำในการจำกัดการไหลเวียนเลือดระหว่างออกกำลังกายด้วยแรงต้านเพื่อเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ........ 46

**ตารางที่ 2** แสดงวิธีการถ่วงดุลลำดับของกลุ่มตัวอย่าง ........ 67

**ตารางที่ 3** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางสรีรวิทยาพื้นฐาน ........ 73

**ตารางที่ 4** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ........ 75

**ตารางที่ 5** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ทุกเงื่อนไขการทดลอง ก่อนและหลังการทดสอบ ........ 75

**ตารางที่ 6** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อความสามารถในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ........ 79

**ตารางที่ 7** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของความสามารถในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ทุกเงื่อนไขการทดลองก่อนและหลังการทดสอบ ........ 79

**ตารางที่ 8** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อแรงในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ........ 83

**ตารางที่ 9** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของแรงในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ทุกเงื่อนไขการทดลอง ก่อนและหลังการทดสอบ ........ 83

**ตารางที่ 10** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อแรงในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ........ 88

**ตารางที่ 11** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของแรงในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ทุกเงื่อนไขการทดลอง ก่อนและหลังการทดสอบ...... 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ตารางที่ 12** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ..... 93

**ตารางที่ 13** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ..... 93

**ตารางที่ 14** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ..... 96

**ตารางที่ 15** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง ..... 96

**ตารางที่ 16** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่ออัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ..... 97

**ตารางที่ 17** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของอัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง ..... 97

**ตารางที่ 18** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่ออัตราการเต้นของหัวใจและระดับแลคเตทในเลือด ..... 100

**ตารางที่ 19** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของอัตราการเต้นของหัวใจและระดับแลคเตทในเลือดก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข ..... 100

# สารบัญรูป

**หน้า**


**รูปที่ 1** ระบบกลไกการสร้างพลังงานภายในกล้ามเนื้อลาย ........ 13

**รูปที่ 2** แสดงสัดส่วนการใช้ระบบพลังงานในกีฬาชนิดต่าง ๆ ........ 15

**รูปที่ 3** แสดงการถ่ายโอนพลังงานของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายผ่านสู่ร่างกาย ........ 22

**รูปที่ 4** แสดงการสั่นสะเทือนแบบ Sinusoidal ........ 23

**รูปที่ 5** แสดงรูปแบบการถ่ายโอนพลังงานแบบ Side – alternating และ Synchronize ........ 24

**รูปที่ 6** แสดงกลไกการกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลางภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ........ 26

**รูปที่ 7** แสดงกลไกการกระตุ้นระบบประสาทส่วนปลายภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ........ 27

**รูปที่ 8** กลไกการบวมของเซลล์กล้ามเนื้อ ........ 40

**รูปที่ 9** กลไกการหลั่งสารที่ก่อให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อ ........ 41

**รูปที่ 10** กรอบแนวความคิดในการวิจัย ........ 57

**รูปที่ 11** เงื่อนไขที่ 1: ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (CON) ........ 61

**รูปที่ 12** เงื่อนไขที่ 2: การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) ........ 62

**รูปที่ 13** เงื่อนไขที่ 3: การจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) ........ 63

**รูปที่ 14** เงื่อนไขที่ 4: การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) 64

**รูปที่ 15** ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ........ 71

**รูปที่ 16** การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power) ........ 133

**รูปที่ 17** แสดงขั้วการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อของร่างกายด้านหน้า ........ 135

**รูปที่ 18** แสดงขั้วการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อของร่างกายด้านหลัง ........ 136

**รูปที่ 19** แสดงการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Rectus femoris ........ 137

**รูปที่ 20** แสดงการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Biceps femoris ........ 138

**รูปที่ 21** แสดงการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Gastrocnemius (Lateral head) ........ 139

**รูปที่ 22** แสดงการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Gastrocnemius (Medial head) ........ 140


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**รูปที่ 23** แสดงการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง ........ 141
**รูปที่ 24** ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 1 ........ 143
**รูปที่ 25** ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 2 ........ 145
**รูปที่ 26** ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 3 ........ 147
**รูปที่ 27** ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 4 ........ 149
**รูปที่ 28** แสดงค่าพลังสูงสุด (Peak power) ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ........ 152
**รูปที่ 29** แสดงค่าพลังสูงสุด (Peak power) ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)........ 152
**รูปที่ 30** แสดงแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Ground reaction force) ........ 154
**รูปที่ 31** แสดงแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Ground reaction force) ........ 155
**รูปที่ 32** แสดงอัตราการสร้างแรง (Rate of force development) ........ 158
**รูปที่ 33** แสดงอัตราการสร้างแรง (Rate of force development) ........ 158
**รูปที่ 34** แสดงระยะเวลาในช่วง Take-off phase ........ 160
**รูปที่ 35** แสดงระยะเวลาในช่วง Take-off phase ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ........ 160
**รูปที่ 36** แสดงแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ........ 162
**รูปที่ 37** แสดงแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ........ 162
**รูปที่ 38** Lactate Analyzer ยี่ห้อ Lactate Scout plus ........ 163
**รูปที่ 39** เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ยี่ห้อ Power plate รุ่น Power plate Pro5 Silver ........ 164
**รูปที่ 40** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอสะโพก ........ 172
**รูปที่ 41** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดสะโพก ........ 172
**รูปที่ 42** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มสะโพกด้านใน ........ 173
**รูปที่ 43** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอเข่า ........ 173
**รูปที่ 44** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดเข่า ........ 174

**รูปที่ 45** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง (1)....174

**รูปที่ 46** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านข้าง....175

**รูปที่ 47** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (1)....175

**รูปที่ 48** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (2)....176

**รูปที่ 49** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง....176

**รูปที่ 50** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง....177

**รูปที่ 51** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง (2)....177

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญแผนภูมิ

**หน้า**

**แผนภูมิที่ 1** แสดงการเปรียบเทียบ (A) พลังสูงสุด และ (B) พลังสูงสุดสัมพัทธ์ ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........ 76

**แผนภูมิที่ 2** แสดงการเปรียบเทียบ (A) ความสูงในการกระโดด และ (B) เวลาในการลอยตัว ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ... 77

**แผนภูมิที่ 3** แสดงการเปรียบเทียบ (A) พลังสูงสุด และ (B) พลังสูงสุดสัมพัทธ์ ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 .......................... 80

**แผนภูมิที่ 4** แสดงการเปรียบเทียบ (A) ความสูงในการกระโดด และ (B) เวลาในการลอยตัว ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขและก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.0581

**แผนภูมิที่ 5** แสดงการเปรียบเทียบ (A) แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น ช่วง Concentric phase และ (B) แรงดล ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 .......................................................................................................... 84

**แผนภูมิที่ 6** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที และ (B) อัตราการสร้างแรงช่วง 250 มิลลิวินาที ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง.......................................................................................... 85

**แผนภูมิที่ 7** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase และ (B) ระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุด ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........................................................................................ 86

**แผนภูมิที่ 8** แสดงการเปรียบเทียบ (A) แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น ช่วง Concentric phase และ (B) แรงดล ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 .......................................................................................................... 89

**แผนภูมิที่ 9** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที และ (B) อัตราการสร้างแรงช่วง 250 มิลลิวินาที ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........................................................................................ 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**แผนภูมิที่ 10** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase และ (B) ระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุด ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........ 91

**แผนภูมิที่ 11** แสดงการเปรียบเทียบ (A) ความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง และ (B) ความแข็งตัวของกล้ามเนื้อขา ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........ 94

**แผนภูมิที่ 12** แสดงการเปรียบเทียบ (A) ความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง และ (B) ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........ 98

**แผนภูมิที่ 13** แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อภายในและระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........ 99

**แผนภูมิที่ 14** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการเต้นของหัวใจ และ (B) ระดับแลคเตทในเลือดภายในและระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........ 101

**แผนภูมิที่ 15** แสดงการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (A) Rectus femoris และ (B) Biceps femoris ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05 ........ 103

**แผนภูมิที่ 16** แสดงการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (A) Lateral Gastrocnemius และ (B) Medial Gastrocnemius ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข *p < 0.05 ........ 104

**แผนภูมิที่ 17** แสดงการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (A) Rectus Femoris และ (B) Biceps femoris ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข *p < 0.05 ........ 105

**แผนภูมิที่ 18** แสดงการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (A) Lateral Gastrocnemius และ (B) Medial Gastrocnemius ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข *p < 0.05 ........ 106

# บทที่ 1
# บทนำ

**ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา**

กีฬาวอลเลย์บอล จัดเป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในหลายประเทศทั่วโลก โดยจะมีการแข่งขันทั้งในระดับเยาวชน ระดับชาติ และระดับนานาชาติ กีฬาวอลเลย์บอลเป็นกีฬาประเภททีมที่มีผู้เล่นสองทีม บนสนามที่แบ่งแดนด้วยตาข่าย จุดมุ่งหมายของการเล่น คือ การส่งลูกบอลให้ข้ามตาข่ายไปลงบนพื้นในแดนของฝ่ายตรงข้าม และป้องกันไม่ให้ฝ่ายตรงข้ามส่งลูกบอลข้ามตาข่าย มาตกบนพื้นในแดนของตน สำหรับทักษะที่สำคัญในการเล่นกีฬาวอลเลย์บอล ประกอบด้วย การเสิร์ฟ การเล่นลูกสองมือล่าง การเล่นลูกสองมือเหนือศีรษะ การเล่นลูกมือเดียว การเซต การตบลูก การสกัดกั้น การหยอด และการเคลื่อนไหวร่างกาย (ขวัญเรียม ก้อนแก้ว, 2546) โดยลักษณะของกีฬาวอลเลย์บอลจัดเป็นกิจกรรมทางกายที่มีระดับความหนักหรือความเข้มข้นค่อนข้างสูง (High intensity exercise) มีทั้งการเคลื่อนที่ในระยะสั้น และมีการกระโดดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะต้องอาศัยทั้งระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกและระบบพลังงานแอโรบิก (Papadopoulou, 2015) โดยร่างกายจะใช้พลังงานจากสารที่ให้พลังงานสูง เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate; ATP) และฟอสโฟครีอะติน (Phosphocreatine; PCr) เป็นอันดับแรกและมีความสำคัญอย่างยิ่งในจังหวะที่ต้องใช้พลังระเบิดและจังหวะการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว เช่น จังหวะการรุก (กระโดดตบ) และการสกัดกั้น (กระโดดบล็อก) (Casey et al., 1991) ขณะที่ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ไกลโคไลซิส) ยังมีความจำเป็นในช่วงของการวิ่งหรือการปรับเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งกระบวนการสร้างพลังงานดังกล่าวจะก่อให้เกิดกรดแลคติก ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Bogdanis et al., 1996) นอกจากนี้ระบบพลังงานแอโรบิก ยังมีความสำคัญสำหรับนักกีฬาเช่นกันในขณะที่ร่างกายต้องการพลังงานที่สูงต่อเนื่องเพื่อคงระยะของการทำงานของกล้ามเนื้อให้ได้ตลอดการแข่งขัน (ประมาณ 90 นาที) ทั้งนี้ระบบพลังงานที่นักกีฬาวอลเลย์บอลต้องการ (Papadopoulou et al., 2008) จะมีความแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเพศ อายุ สัดส่วนของร่างกาย และตำแหน่งของผู้เล่น รวมทั้งสภาพแวดล้อมในขณะแข่งขัน (Medicine, 2009) โดยนักกีฬาวอลเลย์บอลชายจะมีความได้เปรียบทางด้านสรีรวิทยาทั้งด้านความสูง น้ำหนักตัว มวลกล้ามเนื้อที่มีมากกว่านักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง ส่งผลให้นักกีฬาวอลเลย์บอลชายมีทักษะและประสิทธิภาพในการเล่นกีฬาวอลเลย์บอลที่ดีกว่านักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง (Puhl et al., 1982)

ดังนั้นในการฝึกเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการเล่นในกีฬาวอลเลย์บอล ผู้ฝึกสอนจำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการทั้งด้านสรีรวิทยาและสมรรถภาพทางกายที่สอดคล้องกับการเคลื่อนไหวและ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สัมพันธ์กับทักษะในกีฬาวอลเลย์บอล อาทิเช่น ความแข็งแรงสูงสุด (Maximum strength) จะใช้ในการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว ขณะที่ความแข็งแรงแบบยืดหยุ่น (Elastic strength) จะเหมาะกับทักษะในการกระโดดหรือการออกตัวอย่างรวดเร็ว รวมทั้งการเปลี่ยนทิศทาง (Change of direction) และความแข็งแรงอดทน (Strength endurance) จะใช้ในขณะปฏิบัติกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ กันและใช้เวลานาน เช่น การกระโดดซ้ำ ๆ อย่างต่อเนื่อง

ปัจจุบันรูปแบบการฝึกเพื่อมุ่งพัฒนาความแข็งแรงในกีฬาวอลเลย์บอลที่ได้รับความนิยม ได้แก่ การฝึกโดยใช้น้ำหนักตัวเป็นแรงต้าน (Weight training) การฝึกโดยใช้แรงจากภายนอกเป็นแรงต้าน (Resistance training) การฝึกแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training) รวมทั้งการฝึกแบบผสมผสาน หรือการฝึกเชิงซ้อน (Complex training) เป็นต้น นิวตันและคณะ (Newton et al., 1999) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึก Ballistic training ที่มีต่อประสิทธิภาพการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลระดับมืออาชีพ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้รูปแบบการฝึก Ballistic training ในท่า Squat jump ที่ระดับความหนัก 30%, 60% และ 80% ของ 1RM (One repetition maximum) จำนวน 2 เซต ๆ ละ 6 ครั้ง โดยพบว่า ประสิทธิภาพในการกระโดดมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งมีพลัง (Peak power) และอัตราการสร้างแรง (Rate of force development) ในการกระโดดเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลทำให้ความสูงในการกระโดดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โวลเซคและคณะ (Voelzke et al., 2012) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริก เปรียบเทียบกับการกระตุ้นด้วยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริก ที่มีต่อแรงระเบิดในนักกีฬาวอลเลย์บอลระดับอาชีพ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์โดยพบว่า การฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริกช่วยทำให้ความสูงในการทดสอบ Squat jump เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่การกระตุ้นด้วยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อร่วมกับการฝึก พลัยโอเมตริกทำให้ความสูงทั้งในการยืนย่อกระโดด (Countermovement jump, CMJ) และการกระโดดลงจากกล่อง (Drop jump, DJ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับเวลิคโควิคและคณะ (Veličković et al., 2018) ที่ได้ศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อพลังระเบิดในการกระโดดสูง (Vertical jump) ของนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า การฝึกพลัยโอเมตริกมีผลต่อการพัฒนาพลังระเบิด (Rate of force development) ในนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชนหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามรูปแบบการฝึกโดยใช้แรงต้านก็มีข้อจำกัด คือ ต้องการระยะเวลาที่ใช้ในการพักหรือฟื้นตัวของร่างกายที่ค่อนข้างจะใช้เวลานานหลายวัน เนื่องจากภายหลังจากการฝึกด้วยแรงต้านจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดอาการอักเสบ รวมทั้งมีอาการล้าและปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ (Delayed onset muscle soreness; DOMs) ซึ่งอาจส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการเล่นกีฬาลดลง ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันอาการล้าสะสม นักกีฬาจึงไม่ควรทำการฝึกโดยใช้แรงต้านต่อเนื่องทุกวัน หรือควรมีการฝึกกล้ามเนื้อส่วนบนสลับกับส่วนล่างของร่างกาย (Ebbeling & Clarkson, 1989)

ในปัจจุบันการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration) และการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction) กำลังได้รับความสนใจจากทั้งผู้ฝึกสอนและนักกีฬา ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่ารูปแบบการฝึกทั้งสองนี้สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหว (Biomotor abilities) ส่งผลให้นักกีฬามีขีดความสามารถในการเล่นกีฬาสูงขึ้น (Bompa & Buzzichelli, 2018)

โดยรูปแบบการฝึกด้วยเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย จะอาศัยหลักการส่งคลื่นสั่นสะเทือนจากจุดกำเนิดไปกระตุ้นกล้ามเนื้อเป้าหมายทำให้เกิดการหดตัวเพิ่มมากขึ้น (Post-activation potentiation; PAP) โดยให้ยืนบนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Cardinale & Bosco, 2003) ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาของทอร์วิเนนและคณะ (Torvinen et al., 2002) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายโดยกำหนดความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนที่ 15-30 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 1-4 มิลลิเมตร เป็นเวลา 4 นาที ต่อประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อและการควบคุมความสมดุลของร่างกาย พบว่า ภายหลังออกกำลังกาย 2 นาที คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในกลุ่มกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius) และความสูงในการกระโดดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งมีการรักษาความสมดุลของร่างกายได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยของบาเซตต์โจนส์และคณะ (Bazett-Jones et al., 2008) ที่ได้ศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ที่ความเร่งของเครื่องสั่นสะเทือนระดับต่าง ๆ ที่มีต่อความสามารถในการยืนย่อกระโดด (Countermovement jump) โดยให้ออกกำลังกายด้วยท่าสควอทที่มุมข้อเข่า 90 องศา (Half squat) พบว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ความเร่ง 2.80g (ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร) และ 5.83g (ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลลิเมตร) ช่วยเพิ่มความสามารถในการกระโดดได้อย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิจัยที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมาประยุกต์ใช้ในช่วงของการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการกระโดดของนักกีฬาในการแข่งขัน โดยงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การกำหนดความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนที่ช่วงความถี่ 26-50 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูดที่ 1-6 มิลลิเมตร ร่วมกับการออกกำลังกายด้วยท่าสควอท สามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้รวดเร็วและแรงขึ้น ส่งผลให้พลังระเบิดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นได้ (Di Giminiani et al., 2014)

ในขณะที่การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยการใช้สายรัด (Cuffs) พันรอบส่วนต้นของกล้ามเนื้อบริเวณแขนหรือขาในขณะออกกำลังกาย มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาระดับการไหลเวียนของเลือดจากหลอดเลือดแดงสู่กล้ามเนื้อ ในขณะเดียวกันลดการไหลของเลือดดำจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา โดยวิลสันและคณะ (Wilson et al., 2013) ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ การบวมและการอักเสบของกล้ามเนื้อ โดยกำหนดการจำกัดการไหลเวียนเลือด

ที่ระดับปานกลาง (ระดับ 7 จาก 10) และออกกำลังกายด้วยท่า Leg press ที่ระดับความหนัก 30% 1RM จำนวน 4 เซต (30, 15, 15 และ 15 ครั้ง) พักระหว่างเซต 30 วินาที พบว่า การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับความหนักปานกลางจะช่วยเพิ่มกระบวนการเผาผลาญพลังงาน และกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือการอักเสบของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อได้ โดยเพิ่มการกระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนและระดับของโกรทฮอร์โมน (Growth hormone) ในพลาสมาภายหลังจากการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด สอดคล้องกับยะซุดะและคณะ (Yasuda et al., 2014) ที่ได้ทำศึกษาผลของการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ กำหนดระดับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอยู่ที่ 170–260 มิลลิเมตรปรอท บริเวณส่วนต้นของแขนทั้ง 2 ข้าง และออกกำลังกายด้วยท่า Triceps Extension และ Biceps Flexion จำนวน 4 เซต (เซตที่ 1 จำนวน 30 ครั้ง และเซตที่ 2-4 จำนวน 15 ครั้ง) พักระหว่างเซต 30 วินาที และพักระหว่างท่าออกกำลังกาย 30 วินาที ผลการทดลองพบว่า ระดับแลคเตทในเลือดภายหลังการฝึกจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Triceps brachii และ Biceps brachii ขณะออกกำลังกายก็เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด อาจมีผลทำให้มีการคลั่งของสาร Metabolites เช่น กรดแลคติกภายในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้มีการระดมหน่วยยนต์ของกล้ามเนื้อมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการปรับตัวของหลอดเลือดและกระดูกอีกด้วย (Kouzaki et al., 1997)

ไคและคณะ (Cai et al., 2018) ที่ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนในร่างกาย โดยกำหนดให้ออกกำลังกายด้วยท่าสควอทค้างไว้ครั้งละ 1 นาที และพักระหว่างครั้ง 1 นาที จำนวน 10 ครั้ง และกำหนดค่าความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนที่ 26 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูดที่ 4 มิลลิเมตร ส่วนการจำกัดการไหลเวียนเลือดใช้แรงดันที่บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาในจังหวะยืนเท่ากับ 140 มิลลิเมตรปรอท และจังหวะการสควอทเท่ากับ 180 มิลลิเมตรปรอท ผลการวิจัยพบว่า ระดับคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ Rectus femoris และ Vastus lateralis จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ระดับแลคเตทในเลือดและระดับโกรทฮอร์โมนจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เซนต์เนอร์และคณะ (Centner et al., 2019) ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และการสะสมของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี (Metabolites) โดยกำหนดความถี่ที่ 30 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูดที่ 4 มิลลิเมตร ส่วนการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะใช้แรงดันเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 140 มิลลิเมตรปรอท โดยให้ออกกำลังกายในท่าสควอท ข้อเข่าทำมุม 120 องศา สควอทเซตละ 120

วินาที จำนวน 3 เซต และพักระหว่างเซต 60 วินาที พบว่า ระดับแลคเตทที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis และ Vastus medialis

**อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาถึงผลระยะยาวหรือผลจากการฝึกโดยใช้การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย หรือการจำกัดการไหลเวียนเลือดเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง ยังไม่มีการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอล** ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลฉับพลันของการฝึกการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงระดับมหาวิทยาลัย **โดยมีสมมติฐานการวิจัยว่าการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้นักกีฬามีความสามารถในการกระโดดดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย หรือการจำกัดการไหลเวียนเลือดเพียงอย่างเดียว** ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นรูปแบบในการอบอุ่นร่างกายก่อนการฝึกซ้อมและการแข่งขันเพื่อกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

**วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือด และความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**คำถามในการวิจัย**

การฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด มีผลฉับพลันต่อการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือด และความสามารถในการกระโดดของนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงหรือไม่ อย่างไร

**สมมุติฐานของการวิจัย**

การฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดจะกระตุ้นคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือด และความสามารถในการกระโดดของนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงได้ดีกว่าการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย หรือการจำกัดการไหลเวียนเลือดเพียงอย่างเดียว

**ขอบเขตของการวิจัย**

**ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

ประชากร คือ นักกีฬาวอลเลย์บอล ระดับมหาวิทยาลัย

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักกีฬาวอลเลย์บอล เพศหญิง อายุระหว่าง 18 – 25 ปี จำนวน 12 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องเข้าร่วมการทดลองทั้ง 4 เงื่อนไข โดยใช้การถ่วงดุลลำดับ (Counterbalancing design) ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1: ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่แต่ไม่มีการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Control, CON)

เงื่อนไขที่ 2: ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration, WBV)

เงื่อนไขที่ 3: ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ และการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction, BFR)

เงื่อนไขที่ 4: ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR)

**ขอบเขตด้านเนื้อหา**

ตัวแปรต้น คือ

1. การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV)
2. การจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR)

ตัวแปรตาม คือ

1. คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography; EMG)
    - กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) ส่วน Rectus femoris
    - กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings) ส่วน Biceps femoris
    - กล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius) ด้านนอก (Lateral head)
    - กล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius) ด้านใน (Medial head)
2. ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration)
3. ความสามารถในการกระโดด (Jumping performance variables)
    - ความสูงในการกระโดด (Jump height; cm)
    - เวลาในการลอยตัว (Flight time; s)
    - อัตราการสร้างแรง (Rate of force development; N/s)
    - ระยะเวลาในการสร้างแรงสูงสุด (Time to peak force; s)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- พลังสูงสุด (Peak power; Watts)
- แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Ground reaction force; N)
- แรงดล (Ground reaction force impulse; Ns)
- ความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive strength; m/s)
- ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (Leg stiffness; N/m)
- อัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Eccentric utilization ratio)

**ขอบเขตด้านสถานที่**

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูลคือ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ขอบเขตด้านระยะเวลา**

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประมาณ 4 – 6 สัปดาห์

**คำจำกัดความของการวิจัย**

**กีฬาวอลเลย์บอล (Volleyball)** หมายถึง กีฬาที่เล่นโดยทีมสองทีมบนสนามที่แบ่งแดนด้วยตาข่าย อาศัยการส่งลูกบอลให้ข้ามตาข่ายไปลงบนพื้นในแดนของฝ่ายตรงข้าม และป้องกันไม่ให้ฝ่ายตรงข้ามส่งลูกบอลข้ามตาข่ายมาตกบนพื้นในแดนของตน

**การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-Body Vibration; WBV)** หมายถึง การสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดพลังงานจากตัวเครื่องสั่น ส่งแรงสั่นสะเทือนผ่านไปยังร่างกายของบุคคล เพื่อให้เกิดการกระตุ้นระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ในการศึกษาในครั้งนี้ กำหนดความถี่ 40 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร ขณะออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่

**การจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow Restriction; BFR)** หมายถึง การใช้ผ้ารัด (Cuffs) พันรอบส่วนต้นของกล้ามเนื้อแขนหรือขา มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับตัวของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ในการศึกษาในครั้งนี้ กำหนดให้ผ้ารัดที่บริเวณส่วนต้นของกล้ามเนื้อต้นขา แรงดัน 140 มิลลิเมตรปรอท ขณะออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่

**คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography; EMG)** หมายถึง การบันทึกการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดจากการควบคุมของเซลล์ประสาทสั่งการ (Motor Unit Action Potential; MUAP) เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวตามที่ต้องการ โดยอาศัยการติดอิเล็กโทรดที่ผิวหนังบริเวณกล้ามเนื้อที่จะทำการทดสอบ ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings) และกล้ามเนื้อน่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(Gastrocnemius) โดยทำการวิเคราะห์จากข้อมูลจริง แปลงเป็นข้อมูล Rectified และ Root mean square (RMS) EMG และแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพื้นฐาน (Pretest)

**ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate level)** หมายถึง ระดับของกรดแลคติกในเลือดซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic metabolism) มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

**ความสามารถในการกระโดด (Jumping Performance)** หมายถึง ประสิทธิภาพในการยืนย่อกระโดด (Countermovement jump) และการย่อกระโดด (Squat jump) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ทำการกระโดดเต็มที่รูปแบบละ 2 ครั้ง พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที และนำค่าพลังสูงสุด (Absolute peak power) มาใช้ในการคำนวณตัวแปรอื่น ๆ ที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการกระโดด ดังนี้

- ความสูงในการกระโดด (Jump height) มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- เวลาในการลอยตัว (Flight time) มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- อัตราการสร้างแรง (Rate of Force Development; RFD) หมายถึง ค่าของพลังระเบิด (Explosive power) ที่นักกีฬาสามารถพัฒนาแรงได้สูงสุดในจังหวะกำลังกระโดดขึ้น มีหน่วยเป็นนิวตันต่อวินาที
- ระยะเวลาในการสร้างแรงสูงสุด (Time to peak force) หมายถึง ระยะเวลาจากจุดที่มีแรงต่ำสุดไปจนถึงจุดที่มีแรงมากที่สุดในช่วงจังหวะการส่งแรง (Takeoff phase) มีหน่วยเป็นวินาที
- แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Ground Reaction Force; GRF) หมายถึง แรงปฏิกิริยาสูงสุดในแนวดิ่งจากพื้นที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับวัตถุหรือแรงที่กระทำลงบนแผ่นวัดแรง (Force platform) มีหน่วยเป็นนิวตัน
- แรงดล (Ground reaction force impulse) หมายถึง พื้นที่ใต้กราฟในช่วงจังหวะการส่งแรง (Takeoff phase) มีหน่วยเป็นนิวตันวินาที
- ความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive strength) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยคำนวณจากสัดส่วนของความสูงในการกระโดดต่อระยะเวลาในการส่งแรงเพื่อกระโดด ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ถึงการที่กล้ามเนื้อมีการหดและเหยียดตัวออกอย่างรวดเร็ว (Stretch-shortening cycle) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที
- ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (Leg stiffness) หมายถึง สัดส่วนระหว่างแรงสูงสุดต่อจุดศูนย์กลางมวลของร่างกาย ในจังหวะที่กล้ามเนื้อเหยียดออกระหว่างการกระโดด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- อัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Eccentric utilization ratio) หมายถึง สัดส่วนของพลังสูงสุดในการกระโดดรูปแบบ Countermovement jump ต่อการกระโดดรูปแบบ Squat jump

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. เพื่อได้ทราบถึงผลฉับพลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดของนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง

2. นำรูปแบบการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดไปประยุกต์ใช้ในการอบอุ่นร่างกาย เพื่อกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อขณะฝึกซ้อมและแข่งขันให้มีประสิทธิภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น

3. เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจนำการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนของเลือดไปประยุกต์ใช้ในการฝึกนักกีฬาประเภทอื่นที่ต้องอาศัยการกระโดดเป็นพื้นฐานต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลต่างๆ จากหนังสือ วารสาร เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ โดยนำเสนอตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. กีฬาวอลเลย์บอล
    1.1 ลักษณะการเล่นกีฬาวอลเลย์บอล
    1.2 ระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬาวอลเลย์บอล
    1.3 สรีรวิทยาของกีฬาวอลเลย์บอล
2. รูปแบบการฝึกในกีฬาวอลเลย์บอล
    2.1 การฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ
    2.2 การฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย
    2.3 การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ
    3.1 งานวิจัยในประเทศ
    3.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

**1. กีฬาวอลเลย์บอล**

**1.1 ลักษณะการเล่นกีฬาวอลเลย์บอล**

กีฬาวอลเลย์บอลเป็นกีฬาประเภททีม โดยรูปแบบการแข่งขัน ประกอบด้วย 2 ทีม ทีมละ 6 คน อาศัยการตีลูกโต้กันในอากาศโดยทีมที่สามารถทำให้ลูกตกในแดนฝ่ายตรงข้ามจะได้รับคะแนน (ขวัญเรียม ก้อนแก้ว, 2546) ซึ่งการแข่งขันจะแบ่งออกเป็น 5 เซต ทีมที่ชนะ 3 เซตก่อนจะเป็นผู้ชนะในการแข่งขันครั้งนั้น ซึ่ง 4 เซตแรกจะต้องทำคะแนนให้ได้ 25 คะแนน โดยต้องมีคะแนนห่างจากฝ่ายตรงข้าม 2 คะแนน แต่ถ้าทั้ง 2 ฝ่ายเสมอกันทีมละ 2 เซต จะต้องเล่นเซตตัดสินในเซตที่ 5 ซึ่งจะเล่น 15 คะแนน ทักษะที่สำคัญในการเล่นกีฬาวอลเลย์บอลประกอบด้วย การเสิร์ฟ การเล่นลูกสองมือล่าง การเล่นลูกสองมือเหนือศีรษะ การเล่นลูกมือเดียว การเซต การตบลูก การสกัดกั้น การหยอด และการเคลื่อนไหวร่างกาย สมรรถภาพทางกาย (Physical fitness) ที่สำคัญในการเล่นวอลเลย์บอลระดับสูง ประกอบด้วย ความแข็งแรง ความคล่องตัว ความเร็ว ความอดทน ความอ่อนตัว ความสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อและระบบประสาท เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สหพันธ์วอลเลย์บอลนานาชาติ (2560) ได้กล่าวเกี่ยวกับลักษณะของการเล่นกีฬาวอลเลย์บอลไว้ว่าเป็นกีฬาที่เล่นโดยทีมสองทีม บนสนามที่แบ่งแดนด้วยตาข่าย ลักษณะของการเล่นอาจแตกต่างกันได้ตามสภาพที่จำเป็น เพื่อให้เล่นกันได้อย่างแพร่หลาย โดยจุดมุ่งหมายของการเล่นคือ การส่งลูกบอลให้ข้ามตาข่ายไปลงบนพื้นในแดนของฝ่ายตรงข้าม และป้องกันไม่ให้ฝ่ายตรงข้ามส่งลูกบอลข้ามตาข่าย มาตกบนพื้นในแดนของตน แต่ละทีมจะถูกลูกบอลได้ 3 ครั้งในการส่งลูกบอลไปยังแดนของฝ่ายตรงข้าม (ยกเว้นการถูกลูกบอลในการสกัดกั้น) การเล่นเริ่มต้นด้วยการเสิร์ฟลูกบอลโดยผู้เสิร์ฟส่งลูกบอลข้ามตาข่ายไปยังฝ่ายตรงข้าม การเล่นจะดำเนินไปจนกว่าลูกบอลจะตกลงบนพื้นในเขตสนามหรือนอกเขตสนาม หรือฝ่ายไม่สามารถส่งลูกบอลกลับไปยังฝ่ายตรงข้ามได้อย่างถูกต้องตามกติกา การเล่นวอลเลย์บอลนั้น ทีมที่ชนะการเล่นลูกจะได้ 1 คะแนน และได้สิทธิทำการเสิร์ฟ ผู้เล่นทีมนั้นต้องหมุนตามเข็มนาฬิกาไป 1 ตำแหน่ง

**1.2 ระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬาวอลเลย์บอล**

โดยทั่วไประบบพลังงานในร่างกายสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic metabolism) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic metabolism) ทั้ง 2 ระบบมีเงื่อนไขที่ระยะเวลาและความหนักของกิจกรรมที่ต่างกัน โดยสามารถสรุปได้ ดังนี้ (รูปที่ 1)

**1.2.1 ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic metabolism)**

ระบบแอนแอโรบิก หมายถึง การผลิตพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ รูปแบบกิจกรรมการเคลื่อนไหวในการเล่นกีฬาส่วนใหญ่ที่กล้ามเนื้อทำงานโดยไม่ต้องการออกซิเจนหรือมีออกซิเจนไม่เพียงพอ มักจะเป็นการหดตัวออกแรงของกล้ามเนื้อที่ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกจึงมีความสำคัญมากโดยเฉพาะในช่วงแรกของการเริ่มต้นออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา รวมถึงการเล่นกีฬาและออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนที่แล้วหยุดหรือมีการปรับเปลี่ยนจังหวะในการเล่นตลอดเวลา ซึ่งพบมากในกิจกรรมเคลื่อนไหวในหลาย ๆ ชนิดกีฬาที่มีการปรับเปลี่ยนจังหวะ ทิศทาง ความเร็ว หรือมีการเตะ การเลี้ยงบอลที่ปรับเปลี่ยนทิศทางด้วยความรวดเร็ว รวมทั้งการกระโดด เป็นต้น

กิจกรรมเคลื่อนไหวของร่างกายในรูปแบบต่าง ๆ เหล่านี้ ร่างกายจะต้องดึงเอาพลังงานที่สะสมไว้ในกล้ามเนื้อมาใช้เป็นพลังงาน เนื่องจากในช่วงแรกของการออกกำลังกายระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) ยังไม่มีประสิทธิภาพ ร่างกายจึงต้องผลิตพลังงานเพื่อมาใช้ในการออกแรงเคลื่อนไหวโดยดึงเอาระบบพลังงาน ATP-CP มาใช้ (ช่วงระยะเวลา 5-10 วินาทีแรก) และเมื่อเวลาผ่านไป 1-3 นาที ร่างกายจะเริ่มดึงเอาไกลโคเจน (Glycogen) ที่สะสมไว้ในกล้ามเนื้อมาใช้ อย่างไรก็ตามไกลโคเจนที่ร่างกายสะสมมีปริมาณจำกัด ไม่เพียงพอต่อการทำงานระยะยาว นอกจากนี้การสลายไกลโคเจน (Glycogenolysis) ยังทำให้เกิดของเสีย คือ กรดแลคติก ซึ่งส่งผลทำ

ให้เกิดอาการเมื่อยล้า (Fatigue) อย่างไรก็ตามกรดแลคติกนี้สามารถที่จะเปลี่ยนเป็นกลูโคส (Gluconeogenesis) แล้วถูกเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนในขณะพัก เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กล้ามเนื้อได้ใหม่เช่นกัน

**1.2.2 ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic metabolism)**

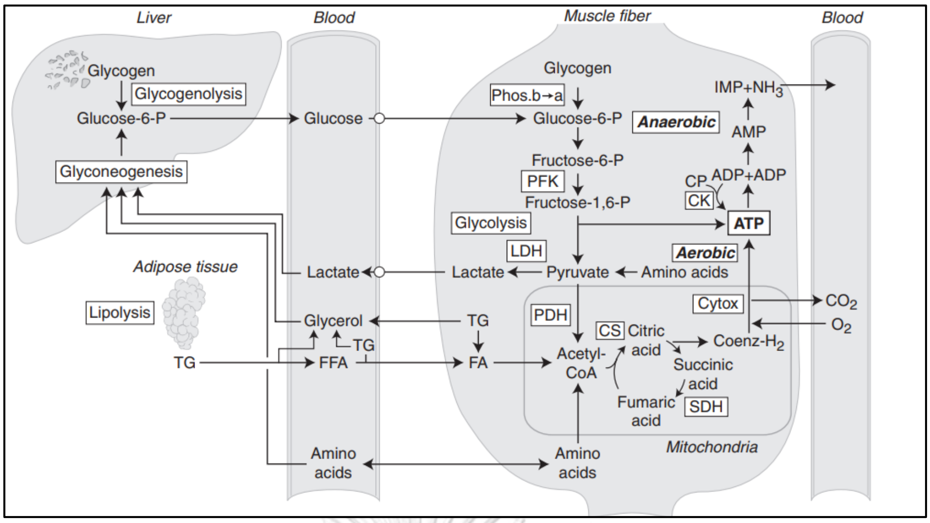
การออกกำลังกายแบบแอโรบิกหรือการใช้ออกซิเจนเป็นระบบพลังงานที่นักกีฬาทุกประเภทควรได้รับการฝึก เพราะเป็นระบบพลังงานพื้นฐานที่จะใช้เป็นพลังงานสำรองให้กล้ามเนื้อดึงไปเป็นพลังงานในการหดตัวออกแรงได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวในการเล่นกีฬามีประสิทธิภาพสูงสุด

ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน คือ ระบบที่นำคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) และไขมัน (Fat) มาเผาผลาญผ่านกระบวนการปฏิกิริยาเคมี (Oxidative phosphorylation) หลายขั้นตอน จนสุดท้ายได้เป็น ATP (Adenosine triphosphate) สำหรับกล้ามเนื้อนำไปใช้เป็นพลังงานในการหดตัว โดยจะมีออกซิเจนเป็นตัวรับไฮโดรเจนไอออน ($H^+$) และรวมกันเป็นน้ำ กล่าวอีกนัยหนึ่ง การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise) หมายถึง การออกกำลังกายหรือการปฏิบัติกิจกรรมในการเคลื่อนไหวที่กล้ามเนื้อได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอมาผลิตพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ให้กล้ามเนื้อนำมาใช้เป็นพลังงานในการหดตัวในการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาได้อย่างต่อเนื่อง

ส่วนใหญ่ร่างกายจะดึงระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนมาใช้ในขณะที่ออกกำลังกายหรือเคลื่อนไหวร่างกายที่ไม่หนักมากแต่ใช้เวลานาน แต่ถ้าร่างกายมีการออกแรงหรือการเคลื่อนไหวที่แรงหรือเร็วขึ้น กล้ามเนื้อจำเป็นต้องหดตัวแรงขึ้น ดังนั้นร่างกายจึงต้องปรับมาใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนแทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สภาวะที่ร่างกายเริ่มเข้าสู่การทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic threshold) ซึ่งหมายถึง ระดับความหนักของการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาที่ค่อนข้างหนักจนถึงหนักมาก (Heavy exercise) ที่ทำให้กล้ามเนื้อไม่ได้รับออกซิเจนมาใช้อย่างเพียงพอต่อความต้องการผลิตพลังงาน รวมทั้งมีการระดมการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมากขึ้น จึงส่งผลให้กล้ามเนื้อเริ่มผลิตพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนและทำให้ร่างกายเริ่มมีการสะสมกรดแลคติก (Lactic acid) ในเลือดเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเมื่อยล้าหรือเรียกว่าจุดเริ่มล้า




**รูปที่ 1** ระบบกลไกการสร้างพลังงานภายในกล้ามเนื้อลาย

ที่มา : (Bangsbo, 2000)

กีฬาวอลเลย์บอลเป็นกีฬาที่มีระดับความหนักหรือความเข้มข้นค่อนข้างสูง (High intensity intermittent exercise) ที่อาศัยทั้งระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกและระบบพลังงานแอโรบิก ในระดับสูง (Papadopoulou, 2015) ในการแข่งขันวอลเลย์บอลที่ใช้ระยะเวลานาน ร่างกายจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานอันดับแรก (Bangsbo, 2000; Papadopoulou et al., 2002) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตจัดเป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่จะช่วยรักษาระดับพลังงานในการทำกิจกรรมที่มีระดับความเข้มข้นสูง เช่น การวิ่งด้วยความเร็วคงที่ การกระโดดอย่างต่อเนื่อง การตีบอล และการรับบอล เป็นต้น (Larson-Meyer, 2003) ดังนั้นการได้รับปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เพียงพอ ก็อาจนำไปสู่ภาวะของการขาดไกลโคเจนในกล้ามเนื้อระหว่างการฝึกซ้อม หรือการแข่งขันได้ รวมทั้งอาจเป็นสาเหตุในการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ไกลโคเจนภายหลังการออกกำลังกาย และส่งผลให้ประสิทธิภาพของนักกีฬาลดลงในที่สุด (Rico-Sanz et al., 1999) ในส่วนของพลังงานที่ร่างกายต้องการในนักกีฬาวอลเลย์บอลจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระดับของการแข่งขัน เพศ อายุ และสภาพแวดล้อม (ACSM, 2009; Papadopoulou et al., 2008) นอกจากนี้อัตราการใช้พลังงานจะแปรผันตามขนาดของร่างกาย มวลน้ำหนักตัวไม่รวมไขมัน และกิจกรรมทางกาย รวมทั้งระดับความหนัก ความถี่ ระยะเวลา และชนิดของกีฬา เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานในหนึ่งวัน (Manore et al., 2009; Montoye, 1996)

คาซาบาลิสและคณะ (Kasabalis et al., 2005) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานที่ร่างกายต้องการของนักกีฬาวอลเลย์บอลในระหว่างการฝึกซ้อมและการแข่งขัน พบว่า ในช่วงการฝึกซ้อมประมาณ 90 นาที นักกีฬาจะมีระดับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดอยู่ที่ 90%$HR_{max}$ และอัตราการใช้

ออกซิเจนสูงสุดอยู่ที่ 77-78%$VO_{2max}$ ส่วนในช่วงการแข่งขัน ประมาณ 90 นาที นักกีฬาจะมีระดับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดอยู่ที่ 92-95%$HR_{max}$ และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดอยู่ที่ 84-88%$VO_{2max}$ ซึ่งค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดและอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในช่วงการทดสอบในห้องปฏิบัติการ อาจจะไม่สูงเท่ากับช่วงการฝึกซ้อมและการแข่งขัน เนื่องจากนักกีฬาต้องรักษาระดับพลังงานให้เพียงพอตลอดช่วงการแข่งขันและการฝึกซ้อม นอกจากนี้ระดับแลคเตทในเลือดช่วงการฝึกซ้อมและการแข่งขัน จะมีระดับที่ต่ำกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ถึงแม้ว่าการแข่งขันวอลเลย์บอลจะอาศัยการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ระดับแลคเตทที่เกิดขึ้นอาจไม่มีผลในการลดศักยภาพของนักกีฬา โดยสารที่ให้พลังงานสูง เช่น ฟอสโฟครีอะติน (Phosphocreatine) จะมีความสำคัญมากกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวะที่ต้องใช้พลังระเบิดและจังหวะการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว เช่น จังหวะการรุก (กระโดดตบ) และการสกัดกั้น (กระโดดบล็อก) (Casey et al., 1996; Hultman et al., 1991) อย่างไรก็ดีระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน ยังคงมีความจำเป็นสำหรับนักกีฬาในช่วงการวิ่งและการปรับเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะก่อให้เกิดกรดแลคติกและส่งผลให้เกิดอาการเมื่อยล้า (Bogdanis et al., 1996) ในขณะที่พลังงานจากระบบแอโรบิก จะมีความสำคัญมากในขณะที่ร่างกายต้องการพลังงานที่สูงมากขึ้นและเพื่อคงระยะของสภาพร่างกายให้ได้ตลอดการแข่งขัน ประมาณ 90 นาที

ดังนั้นกล่าวโดยสรุป กีฬาวอลเลย์บอลเป็นกีฬาที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ระยะสั้น มีการกระโดดอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งอาศัยแรงระเบิดในจังหวะการกระโดดตบและการบล็อก นักกีฬาวอลเลย์บอลจึงอาศัยพลังงานจากทั้งระบบแอโรบิกควบคู่กับแอนแอโรบิก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะการเคลื่อนที่เป็นหลัก โดยนักกีฬาวอลเลย์บอลใช้ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ประมาณ 85% ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด และระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) ประมาณ 15% ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ดังรูปที่ 2

| Sport | ATP-PCr & Glycolysis | Glycolysis & Oxidative | Oxidative |
|---|---|---|---|
| Basketball | 60 | 20 | 20 |
| Fencing | 90 | 10 | 0 |
| Field Events | 90 | 10 | 0 |
| Golf swing | 95 | 5 | 0 |
| Gymnastics | 80 | 15 | 5 |
| Hockey | 50 | 20 | 30 |
| Rowing | 20 | 30 | 50 |
| Running (distance) | 10 | 20 | 70 |
| Skiing | 33 | 33 | 33 |
| Soccer | 50 | 20 | 30 |
| Swimming (distance) | 10 | 20 | 70 |
| Swimming (50m freestyle)* | 40 | 55 | 5 |
| Tennis | 70 | 20 | 10 |
| Volleyball | 80 | 5 | 15 |

Taken from Foss ML and Keteyian S. (1998) *The Physiological Basis of Exercise & Sport: 6th Edition.*

* Stager JM and Tanner DA. (2005) *Swimming: 2nd Edition.*

**รูปที่ 2** แสดงสัดส่วนการใช้ระบบพลังงานในกีฬาชนิดต่าง ๆ

ที่มา : (Fox et al., 1998)

**1.3 สรีรวิทยาในกีฬาวอลเลย์บอล** (ถาวร กมุทศรี, 2560)

สรีรวิทยาการกีฬาเป็นศาสตร์ที่กล่าวถึงการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับผลของการฝึกซ้อมหรือเล่นกีฬาที่เกิดต่อร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบประสาท ระบบกล้ามเนื้อ ระบบหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบฮอร์โมน และระบบที่ควบคุมสมดุลต่าง ๆ ภายในร่างกาย ทั้งในขณะที่มีการฝึกซ้อมหรือเล่นกีฬา (Acute effect) และผลที่เกิดขึ้นต่อร่างกายในระยะยาว (Long-term effect) ดังต่อไปนี้

**1.3.1 ผลที่เกิดขึ้นทันทีทันใดหรือเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลัน (Acute effect)**

หมายถึง การเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของชีพจร อัตราการหายใจและอัตราการเผาผลาญพลังงานเพิ่มสูงขึ้นทุกระบบ รวมทั้งอุณหภูมิในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นการเร่งอัตราการทำงานของระบบต่าง ๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของการปฏิบัติกิจกรรมการออกแรงเคลื่อนไหวร่างกายในขณะฝึกซ้อมหรือเล่นกีฬา

**1.3.2 ผลที่เกิดขึ้นในระยะยาว (Long-term effect)**

การจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของร่างกายเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับกระบวนการและวิธีการฝึกซ้อมของนักกีฬา โดยเฉพาะการกำหนดความหนักเบา

ความบ่อยครั้งและระยะเวลาในการฝึกยาวนานเพียงใด ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ กระบวนการสร้างพลังงาน (Energy pathway) การทำงานของระบบหัวใจและการไหลเวียนเลือด (Cardiovascular system) ระบบหายใจ (Respiratory system) รวมถึงอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามวิธีการฝึกซ้อมนั้น ๆ

ปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงในด้านต่าง ๆ ของร่างกายทั้งในขณะเล่นกีฬาและภายหลังเล่นกีฬาเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีทั้งการศึกษาในระดับโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบที่เล็กสุดของเซลล์ จนถึงระดับการเปลี่ยนแปลงระบบโครงสร้าง (Structure) และการทำงาน (Function) ของอวัยวะ หรือระบบการทำงานต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อดูการปรับตัวของร่างกายต่อวิธีการฝึก และหลักการฝึกรูปแบบต่าง ๆ ว่าส่งผลต่อสมรรถภาพทางกาย เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ กำลัง ความเร็ว ความอดทน ความสามารถในการใช้ออกซิเจนหรือการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกสูงสุดของนักกีฬาประเภทต่าง ๆ อย่างไร

โดยพูลล์และคณะ (Puhl et al., 1982) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางด้านร่างกายและสรีรวิทยาในนักกีฬาวอลเลย์บอล โดยพบว่า ความสูง และน้ำหนัก ของเพศชายจะมีค่ามากกว่าเพศหญิง ส่วนปริมาณไขมัน เพศชายจะมีสัดส่วนที่น้อยกว่าเพศหญิง ซึ่งความได้เปรียบดังกล่าวจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเล่นกีฬาวอลเลย์บอล ดังตัวอย่างเช่น ความสูงในการกระโดด ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยเพศชายจะมีความสามารถดังกล่าวที่ดีกว่าเพศหญิง แต่อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกายและระดับแลคเตทในเลือดภายหลังการออกกำลังกายทั้งเพศชายและเพศหญิงมีระดับที่ใกล้เคียงกัน

ลิดอร์และซิฟ (Lidor & Ziv, 2010) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางร่างกาย ลักษณะทางสรีรวิทยา และประสิทธิภาพการเล่นของนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง โดยจากการศึกษาพบว่า ผู้เล่นที่มีรูปร่างสูง จะสามารถกระโดดในแนวดิ่งได้สูงกว่าผู้เล่นที่มีรูปร่างเตี้ยกว่า ส่วนสมรรถภาพทางด้านแอโรบิกในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงมีระดับที่ใกล้เคียงกันกับนักกีฬาบาสเกตบอลหญิง และการฝึกโดยใช้แรงต้านเพื่อกระตุ้นให้กล้ามเนื้อยืดออกและหดตัวอย่างรวดเร็ว (Plyometric exercise) จะทำให้เพิ่มความสูงในการกระโดดในแนวดิ่งได้มากขึ้นในนักกีฬาวอลเลย์บอล รวมทั้งในช่วงการเตรียมความพร้อมของร่างกายควรที่จะดำเนินการเพื่อป้องกันความล้าและการลดประสิทธิภาพในช่วงต้นของฤดูกาลการแข่งขัน (Pre-season) ดังนั้นผู้ฝึกสอนควรคำนึงถึง 3 สิ่งที่สำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงของร่างกายในนักกีฬาวอลเลย์บอล ได้แก่ 1) ควบคุมปริมาณในการฝึกซ้อมควรให้มีความสมดุลกันระหว่างปริมาณ ความหนัก และระยะเวลาในการพักในแต่ละรูปแบบการฝึก เพราะการฝึกซ้อมที่มากเกินไป (Overtraining) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเล่นลดลง ความล้าและความเครียดของร่างกายเพิ่มมากขึ้น (Urhausen et al., 1995) รวมทั้งส่งผลเสียให้ร่างกายขาดการปรับตัวเป็นเวลานาน ดังนั้นควรรักษาสมดุลระหว่างระยะเวลาในการฝึกและการฟื้นฟูสมรรถภาพ

ร่างกาย เพื่อป้องกันผลเสียจากการฝึกซ้อมที่มากเกินไป (Meeusen et al., 2006) 2) การวางแผนในการฝึกซ้อมควรมีการฝึกแบบพลัยโอเมตริก เนื่องจากการฝึกด้วยแรงต้านเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการพัฒนาประสิทธิภาพของนักกีฬาวอลเลย์บอลโดยเฉพาะในทักษะสำคัญ เช่น การกระโดดบล็อก การเสิร์ฟ และการตบ ดังนั้นแรงระเบิดที่เกิดจากการฝึกพลัยโอเมตริกจะช่วยเพิ่มพลังระเบิดของกล้ามเนื้อขาได้ และ 3) การป้องกันการเกิดอาการบาดเจ็บ โดยมาเควสและคณะ (Marques et al., 2008) ได้กล่าวว่า นักกีฬาที่ขาดประสบการณ์ในการกระโดดควรที่จะหลีกเลี่ยงการกระโดดควบคู่กับการเพิ่มน้ำหนัก แต่ควรที่จะให้ความสนใจในการฝึกความแข็งแรงและพัฒนาเทคนิคในการกระโดดให้มากขึ้น หลังจากนั้นจึงเริ่มฝึกความแข็งแรงแบบมีแรงต้าน ซึ่งในบางครั้งจะพบว่านักกีฬามีปัญหาอาการบาดเจ็บที่เอ็นบริเวณลูกสะบ้าอักเสบ เนื่องจากการใช้งานที่มากเกินไป การเพิ่มปริมาณและจำนวนครั้งในการกระโดดที่มากเกินไป และขาดการผ่อนแรงในจังหวะการกระโดดที่ถูกต้อง (Reeser et al., 2006)

**2. รูปแบบการฝึกในกีฬาวอลเลย์บอล**

การพัฒนาสมรรถภาพทางกายเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับนักกีฬาที่มุ่งพัฒนาความสามารถสู่ความเป็นเลิศ รวมถึงนักกีฬาที่มีความสามารถระดับสูงของแต่ละชนิดกีฬา เพราะการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายเป็นการทำให้ร่างกายสามารถออกแรงเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ปฏิบัติเทคนิคหรือทักษะในขณะแข่งขันให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านสรีรวิทยาหรือพัฒนาการทำงานของอวัยวะและระบบต่าง ๆ ภายในร่างกาย รวมทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพหรือความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหว (Biomotor abilities) ให้มีความสามารถสูงขึ้น (Bompa & Buzzichelli, 2018) ซึ่งในกีฬาวอลเลย์บอลความแข็งแรงของกล้ามเนื้อถือว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสมรรถภาพทางกายที่ส่งผลต่อความสามารถและทักษะการเคลื่อนไหวของร่างกาย ดังนั้นนักกีฬาวอลเลย์บอลจำเป็นต้องมีพื้นฐานความแข็งแรง เพื่อทำให้การเคลื่อนไหวและการออกแรงในการปฏิบัติเทคนิคและทักษะมีประสิทธิภาพในขณะแข่งขัน

**2.1 การฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ** (ถาวร กมุทศรี, 2560)

รูปแบบในการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงในกีฬาวอลเลย์บอลที่ได้รับความนิยม ได้แก่ การฝึกโดยใช้น้ำหนักตัวเป็นแรงต้าน (Bodyweight) การฝึกโดยใช้แรงจากภายนอกเป็นแรงต้าน (Resistance training) การฝึกแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training) การฝึกแบบผสมผสานหรือการฝึกเชิงซ้อน (Complex training) จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่าการฝึกในรูปแบบดังกล่าวสามารถช่วยพัฒนาความแข็งแรง พลังกล้ามเนื้อรวมทั้งความสามารถในการกระโดดเป็นต้น

รูปแบบของการฝึกในกีฬาวอลเลย์บอล จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติในการเล่น โดยเฉพาะการออกแรงของร่างกายควรเป็นไปตามจังหวะการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวของแต่ละทักษะ ส่งผลให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อถูกนำไปใช้ต่างกัน (Gabbett et al., 2006; Stanganelli et al., 2008) จึงแบ่งความแข็งแรงออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการใช้งานหรือทำงานของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะต่าง ๆ ดังนี้

**- ความแข็งแรงสูงสุด (Maximum strength)**

หมายถึง ความสามารถในการหดตัวออกแรงแต่ละครั้งของกล้ามเนื้อที่ได้แรงสูงสุด ความแข็งแรงประเภทนี้เส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกกระตุ้นด้วยการฝึกจากแรงต้านหรือน้ำหนักสูง (Heavy resistance training) ให้กล้ามเนื้อออกแรงหดตัวสู้กับแรงต้านอย่างช้า ๆ จนสุดระยะการหดตัว แล้วจึงคลายตัว ในลักษณะผลักหรือดึง ตามชนิดแรงต้านจากอุปกรณ์ ด้วยจำนวนครั้งน้อย การกระตุ้นการออกแรงตลอดช่วงการเคลื่อนไหวดังกล่าวจะทำให้เกิดความแข็งแรงสูงสุด และเมื่อฝึกอย่างต่อเนื่องเป็นประจำสม่ำเสมอ เส้นใยกล้ามเนื้อจะมีขนาดใหญ่และแข็งแรงขึ้น ซึ่งรูปแบบการฝึกความแข็งแรงสูงสุดเหมาะกับจังหวะในการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว

**- ความแข็งแรงแบบยืดหยุ่น (Elastic strength)**

ความแข็งแรงแบบยืดหยุ่นหรือกำลังของกล้ามเนื้อ (Muscle power) เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อด้วยแรง (Force) และความเร็ว (Speed) สูงสุด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการหดหรือยืดตัวของกล้ามเนื้อให้เกิดกำลัง (Power) สูงสุดภายในระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งการหดตัวรูปแบบนี้สอดคล้องกับทักษะในการกระโดดหรือการออกตัวเพื่อเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว รวมทั้งการเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งส่งผลให้สามารถออกแรงในการเคลื่อนไหวและปฏิบัติเทคนิคหรือทักษะของนักกีฬาได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**- ความแข็งแรงอดทน (Strength endurance)**

ความแข็งแรงอดทนเป็นการทำงานโดยใช้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในการหดตัวออกแรงเพื่อปฏิบัติกิจกรรมเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ซ้ำ ๆ เป็นระยะเวลานาน ในสภาวะที่ร่างกายมีอาการล้า ทำให้กล้ามเนื้อต้องออกแรงต่อเนื่องจนกว่าจะหมดแรง ลักษณะดังกล่าวเป็นการหดตัวโดยใช้ความแข็งแรงอดทนของกล้ามเนื้อ โดยในกีฬาวอลเลย์บอลจะมีการออกแรงเป็นจังหวะ เช่น การกระโดดซ้ำ ๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งกิจกรรมออกแรงในลักษณะนี้เป็นการนำระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาใช้เพื่อให้กล้ามเนื้อหดตัวออกแรงได้อย่างต่อเนื่อง ผสมผสานกับระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน เพื่อให้สามารถรักษาสมดุลและความต่อเนื่องไว้ตลอดช่วงเวลาการเคลื่อนไหว

นิวตันและคณะ (Newton et al., 1999) ได้ศึกษาผลของการฝึก Ballistic Training ที่มีต่อประสิทธิภาพการกระโดดในช่วงการเตรียมความพร้อมของนักกีฬาวอลเลย์บอลมืออาชีพ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลมืออาชีพ เพศชาย จำนวน 16 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่ม

เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง กำหนดให้ทั้ง 2 กลุ่ม ทำการฝึกด้วยแรงต้าน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยกลุ่มควบคุมฝึกด้วยท่า Squat และ Leg press จำนวน 2 เซต ที่ความหนัก 6RM ส่วนกลุ่มทดลองฝึก Ballistic training ด้วยท่า Squat jump แบ่งการฝึกตามความหนัก 30% 60% และ 80% ของ 1RM Squat ซึ่งในแต่ละระดับความหนักให้ฝึกจำนวน 2 เซต เซตละ 6 ครั้ง ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกระโดดในช่วงก่อนและหลังการฝึก แบ่งการทดสอบเป็น 2 แบบ คือ ยืนกระโดดสูง (Standing Vertical Jump Reach) และการก้าว 3 ก้าวแล้วตามด้วยการกระโดดสูง (Jump and Reach from a three-step approach) โดยพบว่า กลุ่มทดลองมีประสิทธิภาพในการกระโดดเพิ่มขึ้นทั้ง 2 แบบอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งมีการพัฒนาที่มากกว่ากลุ่มควบคุม แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างรูปแบบการทดสอบในการกระโดดทั้ง 2 แบบ นอกจากนี้พบว่า พลังและอัตราการสร้างแรงในการกระโดดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสูงในการกระโดดเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถสรุปผลการศึกษาได้ คือ การฝึกด้วย Ballistic Training สามารถพัฒนาประสิทธิภาพการกระโดดได้

ขวัญเรียม ก้อนแก้ว (2546) ได้ศึกษาผลการฝึกพลัยโอเมตริกเทคนิค Rim jumps และ Split squat jump ที่มีต่อแรงเหยียดขาและความสามารถในการกระโดดของนักกีฬาวอลเลย์บอล โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงโรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ จำนวน 12 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มฝึกเทคนิค Rim jumps (6 คน) และกลุ่มฝึกเทคนิค Split squat jump (6 คน) โดยทำการฝึกพลัยโอเมตริกเทคนิคดังกล่าวเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลอง พบว่า หลังการฝึกพลัยโอเมตริกทั้ง 2 เทคนิค นักกีฬาทั้ง 2 กลุ่ม มีกำลังของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นและมีสามารถกระโดดได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแรงเหยียดขาและความสูงในการกระโดด ระหว่างเทคนิคการฝึกพลัยโอเมตริก 2 รูปแบบ และนักกีฬาที่ฝึกพลัยโอเมตริกด้วยเทคนิค Split squat jump มีความสัมพันธ์ระหว่างแรงเหยียดขาและความสูงในการกระโดดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสรุปผลการศึกษาได้ว่า การฝึกพลัยโอเมตริกสามารถช่วยพัฒนาแรงเหยียดขาและความสูงในการกระโดดได้

วาสซิลและบาซาโนฟ (Vassil & Bazanovk, 2012) ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีต่อนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชน กลุ่มตัวอย่างจำนวน 21 คน แบ่งเป็นเพศชาย 9 คน และเพศหญิง 12 คน มีอายุระหว่าง 12-19 ปี ระยะเวลาในการฝึกพลัยโอเมตริก 16 สัปดาห์ ทุกวันจันทร์และวันพุธ ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 ก่อนการฝึกพลัยโอเมตริก ครั้งที่ 2 ภายหลังฝึกพลัยโอเมตริก 4 สัปดาห์ และครั้งที่ 3 ภายหลังฝึกพลัยโอเมตริก 16 สัปดาห์ โดยทำการทดสอบ 6 รูปแบบ คือ ยืนกระโดดไกล (Standing long jump) กระโดดลงจากกล่องตามด้วยกระโดดไกล (Depth leap long jump) โยนลูกบอลน้ำหนักขึ้นข้างบนภายใน 10 วินาที (Medicine ball throws up in 10 seconds) โยนลูกบอลน้ำหนักเหนือศีรษะชนกำแพงภายใน 10 วินาที (Medicine ball overhead throws forward against the wall in 10 seconds) ความสูงในการกระโดดใน

แนวดิ่งอย่างต่อเนื่องภายใน 10 วินาที (Maximal vertical jumps to the maximal height in 10 seconds) และความสูงในการกระโดดในแนวดิ่ง (Maximal vertical jump height) ผลที่ได้จากการทดสอบยืนกระโดดไกลและกระโดดลงจากกล่องตามด้วยกระโดดไกล พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากในทักษะการกระโดดลงจากกล่องตามด้วยกระโดดไกล เป็นทักษะใหม่ ต้องอาศัยระยะเวลาในการเรียนรู้ ส่วนการทดสอบที่ใช้ลูกบอลน้ำหนักจะพบว่า นักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชนเพศหญิงสามารถพัฒนาการส่งแรงของแขนได้เร็วกว่าเพศชาย ส่วนการทดสอบ Maximal Vertical Jump Height ลักษณะจะมีความคล้ายคลึงกับทักษะการกระโดดบล็อก ซึ่งอาศัยการทำงานในการส่งแรงของกล้ามเนื้อขา และการทดสอบความสูงในการกระโดดในแนวดิ่งอย่างต่อเนื่องภายใน 10 วินาที พบว่า เป็นทักษะที่สำคัญสำหรับการแข่งขันที่ใช้ระยะเวลานานประมาณ 90 นาที หรือการแข่งขัน 5 เซต ซึ่งนักกีฬาต้องใช้จังหวะการส่งแรงระเบิดประมาณ 250-300 จังหวะ (Stojanovic and Kostic, 2002) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้รูปแบบการฝึกพลัยโอเมตริกจะช่วยเพิ่มแรงระเบิดของกล้ามเนื้อ รวมทั้งการวางแผนการฝึกซ้อมควรต้องคำนึงถึงทักษะการกระโดดส่วนบุคคล และอายุของนักกีฬา

โวเอลซ์เคะและคณะ (Voelzke et al., 2012) ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลระยะสั้นของรูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริก กับการกระตุ้นด้วยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริก ที่มีต่อแรงระเบิดในนักกีฬาวอลเลย์บอลมืออาชีพ กำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลจำนวน 16 คน ถูกคัดเลือกแบบสุ่มเข้าสู่ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริก (จำนวน 8 คน) และกลุ่มที่ฝึกด้วยการกระตุ้นคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริก (จำนวน 8 คน) ระยะเวลาในการฝึกดังกล่าวเป็นช่วง 5 สัปดาห์สุดท้ายของตารางแผนการฝึกซ้อม มีการทดสอบการกระโดดก่อนและหลังการฝึกดังนี้ Squat jump, Countermovement jump และ Drop jump บนแผ่นวัดแรง รวมทั้งมีการทดสอบความสูงในการกระโดดแตะ (Reach height) และวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า (S15s) และเคลื่อนที่ไปด้านข้าง (S151) ผลที่ได้จากการทดลอง คือ การฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริกส่งผลให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความสูงในการทดสอบ Squat jump และ Reach height ส่วนการกระตุ้นด้วยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริกจะทำให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการทดสอบ Countermovement jump, Drop jump, Reach height ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปด้านข้าง และความเร็วในการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า (S15s) ของระยะ 5 เมตรและ 10 เมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริกจะส่งผลในการพัฒนาประสิทธิภาพในการกระโดด ส่วนการกระตุ้นด้วยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริกจะเพิ่มศักยภาพในการกระโดด ความเร็ว และความคล่องแคล่วว่องไวสำหรับนักกีฬาวอลเลย์บอลมืออาชีพ

ชิเมนลีและคณะ (Çimenli et al., 2016) ทำการศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริก 8 สัปดาห์ บนพื้นไม้และพื้นสังเคราะห์ ที่มีต่อประสิทธิภาพการกระโดดของนักกีฬาวอลเลย์บอล กลุ่มตัวอย่างจำนวน 36 คน เป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลเพศชาย อายุ 18-24 ปี ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะถูกแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ด้วยวิธีการสุ่ม คือ กลุ่มที่ฝึกบนพื้นไม้ กลุ่มที่ฝึกบนพื้นสังเคราะห์ และกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 12 คน โดยกำหนดให้กลุ่มที่ฝึกบนพื้นไม้และพื้นสังเคราะห์เป็นกลุ่มทดลอง ทำการฝึกพลัยโอเมตริกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งของการฝึกประกอบด้วยการอบอุ่นร่างกาย 10 นาที การฝึกพลัยโอเมตริก 35-45 นาที โดยกำหนดจำนวนในการฝึก 1-2 เซต เซตละ 10 ครั้ง ซึ่งจำนวนเซตจะขึ้นอยู่กับโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริกในแต่ละสัปดาห์ พักระหว่างเซต 2 นาที ในส่วนของกลุ่มควบคุม ไม่มีการฝึกพลัยโอเมตริก ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกระโดดก่อนและหลังการฝึก 8 สัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการกระโดดบนพื้นไม้และพื้นสังเคราะห์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปผลการศึกษาได้ว่า การฝึกพลัยโอเมตริกสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการกระโดดสำหรับนักกีฬาวอลเลย์บอลได้ แต่ในการศึกษานี้พื้นผิวที่ใช้ในระหว่างการฝึกพลัยโอเมตริกไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกระโดด

เวลิกโควิกและคณะ (Veličković et al., 2018) ศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกที่มีต่อพลังระเบิดในการกระโดดสูง (Vertical jump) ในนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชนหญิง โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลเพศหญิง อายุระหว่าง 14-16 ปี จำนวน 30 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง 15 คน จากทีม OK Desetka และกลุ่มควบคุม 15 คน จากทีม OK Millennium โดยจะทำการฝึกตามโปรแกรมเพื่อพัฒนาพลังระเบิด 2 ครั้ง ต่อสัปดาห์ ครั้งละ 45 นาที เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ทำการฝึกในช่วงการเตรียมความพร้อมร่างกายก่อนเข้าสู่ฤดูกาลการแข่งขัน ทำการทดสอบการกระโดดก่อนและหลังการฝึก ทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ Squat jump, Countermovement jump, Depth jump และ One leg countermovement jump (OLCMJ) ใช้สถิติ ANCOVA ในการเปรียบเทียบ ซึ่งผลจากการทดลอง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มทดลองเพียงกลุ่มเดียว ยกเว้นรูปแบบการกระโดด OLCMJ ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ารูปแบบโปรแกรมการฝึกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังระเบิดในนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชนหญิง

อย่างไรก็ตามรูปแบบการฝึกดังกล่าวมีข้อจำกัดเกี่ยวกับน้ำหนักหรือแรงต้านที่ใช้ในการฝึกค่อนข้างสูง (70-80% 1RM) ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับคนทุกกลุ่ม นอกจากนี้ระยะเวลาในการพักหรือฟื้นตัวของร่างกายค่อนข้างจะใช้ระยะเวลานาน 24-48 ชั่วโมง เนื่องจากภายหลังจากการฝึกอาจทำให้กล้ามเนื้อเกิดอาการอักเสบ รวมทั้งมีอาการล้า (DOMs) ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเล่นกีฬาลดลง (Ebbeling and Clarkson, 1989) ในปัจจุบันจึงได้มีการคิดค้นรูปแบบการฝึกอื่น ๆ เช่น การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration) และการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด

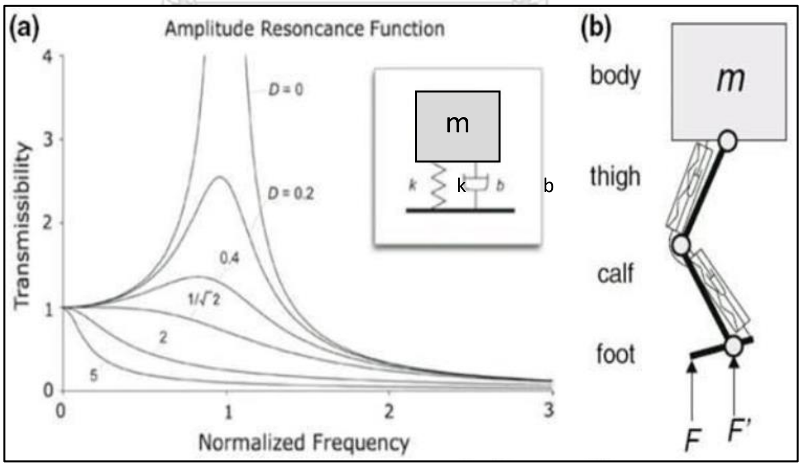
(Blood flow restriction) มาใช้ร่วมหรือทดแทนรูปแบบการฝึกเดิมในการพัฒนาและเพิ่มสมรรถภาพของนักกีฬามากขึ้น

### 2.2 การฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-Body Vibration)

เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย มีรูปแบบในการใช้งานการสั่นสะเทือนทางอ้อม (Indirect vibration) ซึ่งอาศัยการสั่นสะเทือนให้ส่งการสั่นผ่านจากจุดกำเนิดไปยังกล้ามเนื้อเป้าหมายโดยผ่านส่วนของร่างกายแล้วส่งไปยังบริเวณกล้ามเนื้อที่ต้องการ เช่น กรณีที่ต้องการกระตุ้นกล้ามเนื้อต้นขา ให้ยืนบนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ตัวเครื่องสั่นจะส่งการสั่นไปกระตุ้นกล้ามเนื้อโดยคลื่นของการสั่นที่เกิดจากจุดกำเนิด จะถูกส่งผ่านจากแท่นสั่นสะเทือนผ่านไปที่กล้ามเนื้อน่องแล้วจึงส่งผ่านมายังกล้ามเนื้อต้นขา เป็นต้น ซึ่งรูปแบบการสั่นแบบนี้ เรียกว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration)

#### 2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเป็นกลไกของแรงสั่นสะเทือนที่ทำให้พลังงานเกิดการถ่ายโอนจากตัวเครื่องสั่นไปสู่ร่างกายของบุคคล โดยระบบกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้อจะทำงานเปรียบเสมือนสปริงที่สามารถเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานได้ ซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการสะสมพลังงานและถ่ายโอนพลังงานไปทีละส่วนของร่างกาย (Kinetic chain) เริ่มจากเท้าไปสู่น่อง จากน่องไปสู่ต้นขา และต้นขาไปสู่ลำตัว (สลิษา ยูนุช, 2557) ดังรูปที่ 3




**รูปที่ 3** แสดงการถ่ายโอนพลังงานของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายผ่านสู่ร่างกาย

ที่มา : (Rittweger, 2010)

จากภาพริทวีเจอร์ได้กล่าวถึงตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

k คือ ค่าความยืดหยุ่นของสปริง โดยมีหน่วยเป็น Kg/mm, N/mm หรือ Lbs/in

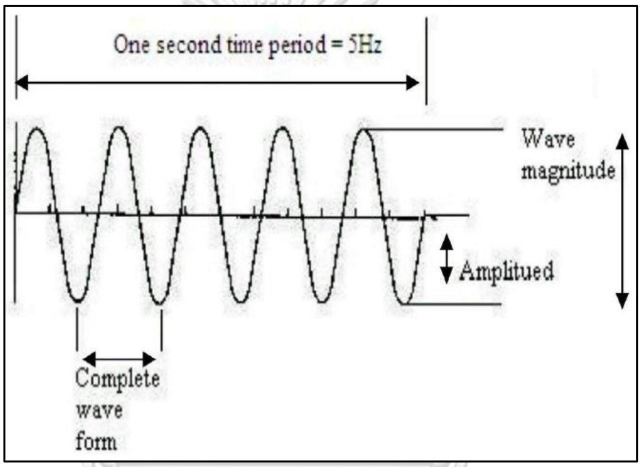
b คือ อุปกรณ์การสั่นสะเทือนที่ต้านการเคลื่อนไหวผ่านแรงเสียดทาน

m คือ มวลร่างกาย

F คือ แรงจากเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

D คือ ค่าความหน่วง

การสั่นสะเทือนจะอาศัยรูปแบบคลื่น Sinusoidal คือ มีลักษณะการเคลื่อนไหวขึ้นลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลา ซึ่งประกอบด้วยความถี่ (Frequency) และแอมพลิจูด (Amplitude) ดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4** แสดงการสั่นสะเทือนแบบ Sinusoidal

ที่มา : (Adams et al., 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

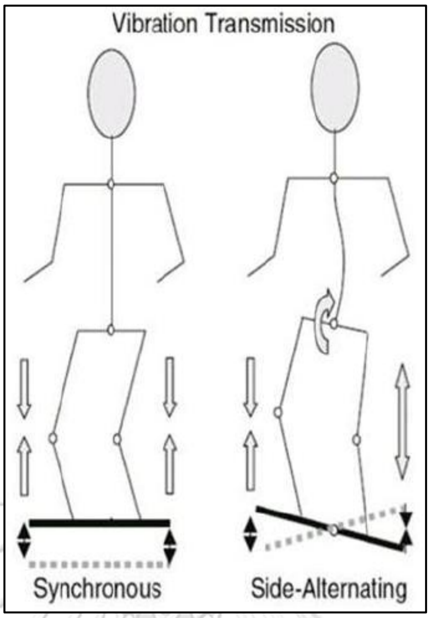
จากข้อมูลข้างต้น สรุปได้ว่า เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีกลไกการทำงานที่ทำให้เกิดพลังงานจากตัวเครื่องส่งผ่านไปยังร่างกายจึงทำให้เกิดการสะสมพลังงานในกล้ามเนื้อ

**2.2.2 รูปแบบการถ่ายโอนพลังงาน** แบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

**2.2.2.1 แบบ Synchronize** หมายถึง รูปแบบการถ่ายโอนพลังงาน โดยการยืนด้วยขาทั้งสองข้างในแนวเดียวกัน ดังรูปที่ 5

**2.2.2.2 แบบ Side – alternating** หมายถึง รูปแบบการถ่ายโอนพลังงาน โดยการยืนด้วยขาทั้งสองข้าง ในลักษณะที่ขาขวาอยู่ต่ำกว่าขาซ้าย การถ่ายโอนพลังงานในรูปแบบ Side – alternating จะกระตุ้นให้เกิดการหมุนของรอบข้อสะโพก และข้อต่อระหว่างกระดูกสะโพกกับกระดูกเชิงกราน ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ Degree of freedom ซึ่งค่าความหน่วงของ

รูปแบบการถ่ายโอนพลังงาน แบบ Side – alternating จะมีค่าน้อยกว่ารูปแบบการถ่ายโอนพลังงาน แบบ Synchronize (Abercromby et al., 2007; Rittweger et al., 2001) ดังรูปที่ 5




**รูปที่ 5** แสดงรูปแบบการถ่ายโอนพลังงานแบบ Side – alternating และ Synchronize
ที่มา : (Rittweger, 2010)

ในการศึกษาการวิจัยนี้ ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการถ่ายโอนพลังงานจากเครื่องไปสู่ร่างกายตามรูปแบบการถ่ายโอนพลังงานแบบ Synchronize ซึ่งเป็นรูปแบบการยืนด้วยขาทั้งสองข้างในแนวเดียวกัน ร่วมกับแบบท่าทางในการสั่นสะเทือน

**2.2.3 แบบท่าทางที่ใช้ในการฝึกการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย**

แบบท่าทางที่ใช้ในการฝึกการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในงานวิจัยนี้ หมายถึง รูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อขณะฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย และมุมข้อเข่าขณะฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ดังนี้

**2.2.3.1 รูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อขณะฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย**

หมายถึง รูปแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ได้แก่ การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ (Static contraction) และการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ (Dynamic contraction)

- การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ (Static contraction) คือ การหดตัวของกล้ามเนื้อโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ หรือการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Isometric ตลอดช่วงการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

- การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ (Dynamic contraction) คือ การหดตัวของกล้ามเนื้อโดยมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ หรือการหดตัวของกล้ามเนื้อสลับกันระหว่างการหดตัวแบบ Eccentric และ Concentric ตลอดช่วงการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

*รูปแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาในส่วนของการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่

**2.2.3.2 มุมข้อเข่าขณะฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย**

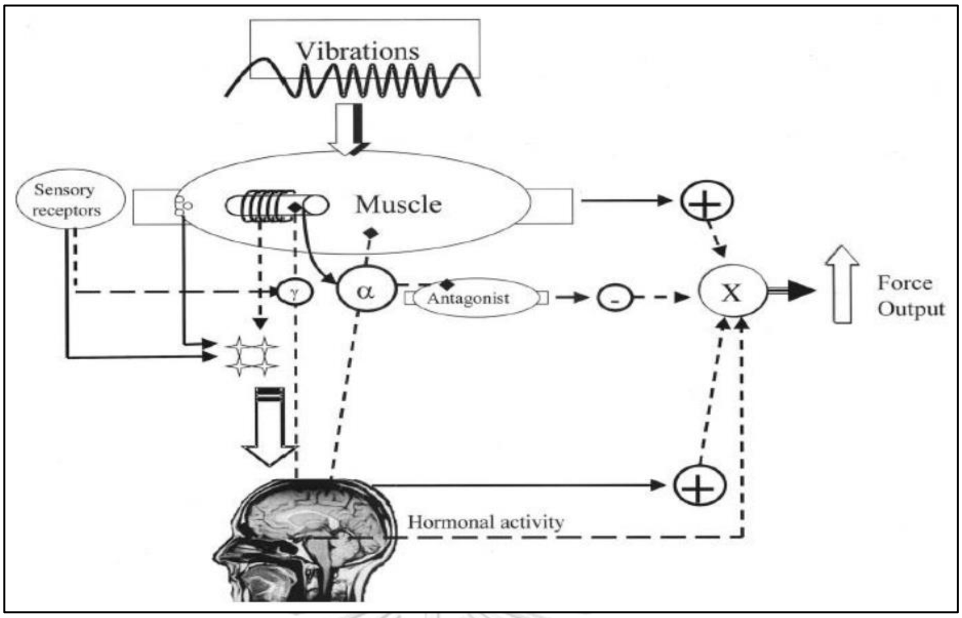
หมายถึง มุมของข้อเข่าขณะทำท่าย่อตัว (Squat) ที่ใช้ในการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในงานวิจัยนี้ คือ ท่าย่อตัวค้างไว้ให้เข่าทำมุม 90 องศา (Static half squat) โดยเป็นมุมที่ใช้ในการเร่งความเร็ว กล้ามเนื้อจะหดตัวแบบ Isometric ตลอดช่วงการสั่นสะเทือนทั้งร่ายการ โดยมีกล้ามเนื้อที่ทำงานหลัก ๆ คือ กล้ามเนื้อ Quadriceps femoris ทำหน้าที่เหยียดเข่า กล้ามเนื้อ Gluteus maximus ทำหน้าที่เหยียดสะโพก ส่วนกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญรองลงมา คือ กล้ามเนื้อ Gastrocnemius ทำหน้าที่เหยียดข้อเข่า จะอยู่ในลักษณะยืดยาว และกล้ามเนื้อ Hamstrings ทำหน้าที่ช่วงเหยียดสะโพกโดยมีบทบาทเพียงเล็กน้อย จะอยู่ในลักษณะที่หดสั้นตลอดช่วงการสั่น

**2.2.4 การตอบสนองของระบบประสาทต่อเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย**

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system) และส่วนปลาย (Peripheral nervous system) ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นของปฏิกิริยาตอบสนอง (Reflex) โดยระบบประสาททั้งสองระบบนี้จะมีการตอบสนองต่อการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ดังนี้

**2.2.4.1 การตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนของระบบประสาทส่วนกลาง**

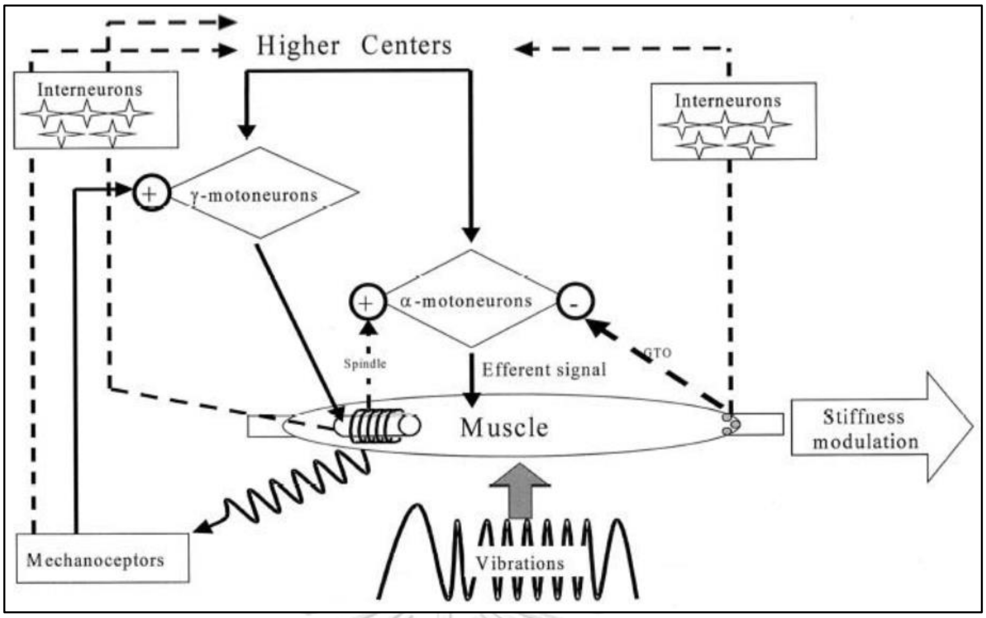
เมื่อร่างกายถูกกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย การสั่นที่เกิดขึ้นจะส่งกระแสประสาทการรับรู้ไปที่ Primary-secondary somatosensory cortex ร่วมกับ Supplementary motor area (รูปที่ 6) ทั้งนี้การใช้ความถี่ในการสั่นที่แตกต่างกันจะมีผลให้เกิดการรับรู้การเคลื่อนไหวที่คลาดเคลื่อน ซึ่งจะไปกระตุ้นการทำงานของสมองส่วน Caudal cingulated motor area 4a และ Supplementary motor area ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว (Cunnington et al., 2002; Naito et al., 2000) ดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** แสดงกลไกการกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลางภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย
ที่มา : (Cardinale & Bosco, 2003)

**2.2.4.2 การตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนของระบบประสาทส่วนปลาย**

คาร์ดินาลล์และบอสโก (Cardinale & Bosco, 2003) กล่าวว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาวกล้ามเนื้อและเอ็นกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว โดยความแปรปรวนที่เกิดขึ้นนั้น จะรับรู้ได้จากตัวรับความรู้สึกซึ่งควบคุมความตึงตัวในกล้ามเนื้อ เมื่อมีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเกิดขึ้น จะกระตุ้นการทำงานของ “Tonic vibration reflex” รีเฟล็กซ์ที่ทำหน้าที่กระตุ้นการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Cardinale & Bosco, 2003; Hagbarth, 1969) โดยการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อระหว่างการสั่นสะเทือน เป็นผลให้เส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการหดตัวขึ้น จึงนำไปสู่การกระตุ้นของวงจรรีเฟล็กซ์ ขณะที่ถูกกระตุ้นเกิดการไหลเข้าของกระแสประสาท ซึ่งนำไปสู่การกระตุ้นการทำงานของอัลฟ่ามอร์เตอร์นิวรอน (Alpha-motorneuron) และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) โดยบอสโกและคณะ (Bosco et al., 1999) พบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนนั้น จะมากกว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเกิดขึ้นเอง (Voluntary contraction) ตลอดจนเพิ่มการระดมมอเตอร์ยูนิต (Motor unit recruitment) อีกด้วย ดังรูปที่ 7




**รูปที่ 7** แสดงกลไกการกระตุ้นระบบประสาทส่วนปลายภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย
ที่มา : (Cardinale & Bosco, 2003)

กล่าวโดยสรุปได้ว่าการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย ซึ่งผลของการตอบสนองของระบบประสาทส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการออกแรงและกำลังในการทำงานได้มากขึ้น สอดคล้องกับคาร์ดินาลล์และบอสโก (Cardinale & Bosco, 2003) ที่กล่าวว่า การใช้เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถพัฒนาความแข็งแรงและกำลังกล้ามเนื้อได้

ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าตัวโปรแกรมของเครื่องสั่นสะเทือนและตัวแปรที่ต่างกัน โดยลูโอและคณะ (Luo et al, 2005) พบว่าการกำหนดค่าตัวแปรที่ต่างกัน ผลที่ได้ก็จะแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาค่าตัวโปรแกรมของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและตัวแปรที่ใช้ในการสั่น เพื่อที่จะสามารถกำหนดแบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**2.2.5 โปรแกรมที่ใช้ในการฝึกการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย**

โปรแกรมที่ใช้ในการฝึกการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ได้แก่ รูปแบบการสั่น ความถี่ของการสั่น (Frequency) แอมพลิจูดของการสั่น (Amplitude) และช่วงระยะเวลาในการสั่น (Duration of vibration) โดยกำหนดโปรแกรมเป็นไปตามขอบเขตความสามารถของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration) รุ่น Power plate Pro 5 Silver ผลิตโดยบริษัท Power plate International Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยค่าความถี่ของการสั่นและค่าแอมพลิจูดของการสั่นที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพต้องเป็นค่าที่ไม่สูงมากถึงจะไม่เป็นอันตรายสำหรับบุคคลทั้งระบบ

กล้ามเนื้อและกระดูก จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาจะกำหนดค่าความถี่ในช่วง 15-60 (Hz) และแอมพลิจูดในช่วง <1-10 (mm) ซึ่งมีหลายโปรโตคอลที่สามารถนำมาใช้กับบุคคลได้อย่างปลอดภัย และในปัจจุบันมีการศึกษาช่วงความถี่และแอมพลิจูดที่เหมาะสม มีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ อีกทั้งสามารถนำมาใช้เพื่อพัฒนาระบบกล้ามเนื้อได้อีกด้วย

**2.2.5.1 รูปแบบการสั่นของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย** แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ

- รูปแบบการสั่นโดยตรง (Direct vibration) หมายถึง การส่งแรงสั่นสะเทือนไปยังบริเวณเอ็นและกล้ามเนื้ออย่างเฉพาะเจาะจงในบริเวณที่ต้องการสั่น
- รูปแบบการสั่นโดยอ้อม (Indirect vibration) หมายถึง การส่งคลื่นการสั่นสะเทือนผ่านส่วนของอวัยวะของร่างกายไปยังบริเวณที่ต้องการให้เกิดการสั่น เช่น การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body Vibration) จะมีการสร้างคลื่นจากแหล่งกำเนิด (Actuator) ไปสู่ร่างกาย (Resonator) (Rittweger, 2010) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้รูปแบบการสั่นโดยอ้อมจากเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย

**2.2.5.2 ความถี่ (Frequency)**

ความถี่ หมายถึง อัตราการเกิดซ้ำของคลื่น วัดตามความถี่ของจำนวนรอบของคลื่นต่อนาที มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz) (Cardinale & Bosco, 2003; Naito et al., 2000) กล่าวว่า การใช้ความถี่ในการสั่นที่แตกต่างกันสามารถสร้างให้เกิดการรับรู้การเคลื่อนไหวที่คลาดเคลื่อน ซึ่งจะไปกระตุ้นการทำงานของสมองส่วน Caudal cingulated motor area 4a และ Supplementary motor area ที่ทำหน้าที่วางแผนและควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**2.2.5.3 แอมพลิจูด (Amplitude)**

แอมพลิจูด หมายถึง ระยะทางครึ่งหนึ่งระหว่างจุดสูงสุดกับจุดต่ำสุดของคลื่นที่เกิดจากการสั่น มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) โดยค่าแอมพลิจูดที่มากสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างการสั่นได้ แต่อาจทำให้เกิดความล้าของกล้ามเนื้อ ในขณะเดียวกันค่าแอมพลิจูดที่น้อยก็ไม่สามารถทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นค่าแอมพลิจูดที่จะกำหนดนั้น ต้องมีขนาดที่เพียงพอที่จะกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ ถึงจะก่อให้เกิดการพัฒนาและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ต้องการ

**2.2.5.4 ช่วงระยะเวลาในการสั่น (Duration of vibration)**

ช่วงระยะเวลาของการสั่นสะเทือนที่ใช้มีความสำคัญมาก เนื่องจากสามารถกำหนดประสิทธิภาพการทำงานของการสั่นสะเทือนที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ

ที่เกิดขึ้นภายหลังได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย หากช่วงระยะเวลาของการสั่นสะเทือนแตกต่างกันก็จะทำให้ผลของการสั่นแตกต่างกันไปด้วย

บอสโกและคณะ (Bosco et al., 1999) ได้ทำการศึกษาผลของการสั่นสะเทือนที่มีต่อกลไกการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอล จำนวน 6 คน (อายุ 19-22 ปี) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (ขาข้างที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือน) และกลุ่มทดลอง (ขาที่ได้รับการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือน) ทั้งนี้ขาข้างที่ได้รับการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือน กำหนดความถี่ 26 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร โดยให้ขาข้างที่ต้องได้รับการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนยืนบนแผ่นของเครื่องสั่น ให้ข้อเข่าทำมุม 100 องศา เป็นเวลา 1 นาที พักระหว่างครั้ง 1 นาที จำนวนทั้งหมด 10 ครั้ง ทำการทดสอบวัดพลังเฉลี่ย (Average power; AP) ความเร็วเฉลี่ย (Average velocity; AV) และแรงเฉลี่ย (Average force; AF) ในการออกกำลังกายด้วยท่า Leg press โดยมีการใส่น้ำหนักแรงต้านที่ 70, 90, 110 และ 130 กิโลกรัม ก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือน พบว่า ภายหลังจากการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนที่ขามีการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังเฉลี่ย ความเร็วเฉลี่ย และแรงเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในการทดสอบ Leg press ที่ทุกระดับความหนัก จึงสรุปผลการศึกษาได้ว่า การถูกกระตุ้นของระบบประสาทจะนำมาสู่การเพิ่มขึ้นของค่าพลังเฉลี่ย ความเร็วเฉลี่ย และแรงเฉลี่ยของการออกกำลังกายด้วยท่า Leg press ในนักกีฬาวอลเลย์บอล

ทอร์วิเนนและคณะ (Torvinen et al., 2002) ได้ทำการศึกษาผลของการสั่นสะเทือน 4 นาทีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อและการควบคุมความสมดุลของร่างกาย โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลทั่วไปที่มีสุขภาพแข็งแรง จำนวน 16 คน (เพศชาย 8 คน และเพศหญิง 8 คน) อายุระหว่าง 24-33 ปี แบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลอง คือ Sham-intervention (ไม่มีการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือน) และ Vibration-intervention (กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือน โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องเข้ารับการทดลองทั้ง 2 กลุ่ม โดยมีรูปแบบการออกกำลังกายประกอบด้วยการสควอท 10 วินาที (วินาทีที่ 0-10) การยืนตรง 10 วินาที (วินาทีที่ 10-20) การยืนงอเข่าเล็กน้อย 10 วินาที (วินาทีที่ 20-30) การกระโดดแบบเบา 10 วินาที (วินาทีที่ 30-40) ยืนแล้วสลับการถ่ายเทน้ำหนักตัวจากขาข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่ง 10 วินาที (วินาทีที่ 40-50) และยืนด้วยส้นเท้า 10 วินาที (วินาทีที่ 50-60) ทั้งนี้ในกลุ่มที่กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนกำหนดความถี่จะทำการเพิ่มความถี่ในทุก ๆ 1 นาที โดยนาทีที่ 1 เพิ่ม 15 เฮิรตซ์ นาทีที่ 2 เพิ่ม 20 เฮิรตซ์ ส่วนนาทีที่ 3 เพิ่ม 25 เฮิรตซ์ และนาทีที่ 4 เพิ่ม 30 เฮิรตซ์ นอกจากนี้กำหนดให้มีระยะพักระหว่างแต่ละการทดลอง 1-2 สัปดาห์ รวมทั้งทำการทดสอบการทรงตัว (Stability platform) แรงบีบมือ (Grip strength) ความแข็งแรงแบบคงค้างของกล้ามเนื้อส่วนล่าง (Isometric extension strength of lower extremities) การทรงตัวโดยการเดินบนเส้นตรงที่กำหนด (Tandem-walk) ความสูงในการกระโดดแนวดิ่ง (Vertical jump) และการวิ่งเก็บของ

(Shuttle run) ก่อนการออกกำลังกาย ภายหลังออกกำลังกาย 2 นาที และ 60 นาที ในทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง พบว่า ภายหลังออกกำลังกาย 2 นาที กลุ่มที่กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของค่าความสูงในการกระโดดเพิ่มสูงขึ้น และมีความแข็งแรงแบบคงค้าง (Isometric extension strength) ของกล้ามเนื้อส่วนล่างของร่างกาย นอกจากนี้ยังพบว่าในมีการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius) ดังนั้นจึงสรุปผลการศึกษานี้ว่า การกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนจะช่วยกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อส่วนล่างของร่างกายและช่วยเพิ่มการรักษาความสมดุลได้ดียิ่งขึ้น

คาร์ดินาลล์และลิม (Cardinale & Lim, 2003) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการใช้ความถี่ในระดับต่ำและระดับสูงของการสั่นสะเทือนที่มีต่อประสิทธิภาพในการกระโดด Vertical jump โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นคนทั่วไป (Sedentary) อายุระหว่าง 19-23 ปี จำนวน 15 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนด้วยความถี่ต่ำ 20 เฮิรตซ์ (Low frequency group; LFG) 8 คน และกลุ่มที่กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนด้วยความถี่สูง 40 เฮิรตซ์ (High frequency group; HGF) 7 คน โดยให้ทำท่า Semi-squatting (กำหนดข้อเข่าทำมุมประมาณ 90 องศา) เป็นเวลา 5 นาที ทำการทดสอบ Squat jump, Countermovement jump และ Sit and reach ก่อนและหลังกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือน พบว่า กลุ่ม LFG พบว่าความอ่อนตัวของกลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstrings และความสูงในการกระโดด Squat jump เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลุ่ม HFG พบว่าความสามารถในการกระโดด Squat jump และ Countermovement jump ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปผลการศึกษาได้ว่า ในกลุ่มบุคคลที่มีสุขภาพแข็งแรง (Sedentary) จะมีการพัฒนาของระบบประสาทกล้ามเนื้อเมื่อกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนในระดับต่ำ

โคเฮรนและสแตนนาร์ด (Cochrane & Stannard, 2005) ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีต่อ Arm countermovement jump (ACMVJ), Grip strength (แรงบีบมือ) และความอ่อนตัว โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฮอกกี้ระดับมืออาชีพ จำนวน 18 คน ทำการทดสอบ ACMVJ, แรงบีบมือ และความอ่อนตัวก่อนและหลังการทดสอบ โดยแบ่งเงื่อนไขการทดลองเป็น 3 เงื่อนไข คือ 1) กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) 2) ไม่มีการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Control) 3) ปั่นจักรยาน (Seated cycling) โดยที่กลุ่ม WBV กำหนดความถี่ 26 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 6 มิลลิเมตร รวมทั้งกำหนดท่าทางในการออกกำลังกายโดยท่าที่ 1 ยืนบนเครื่องโดยเท้าทั้ง 2 ข้างขนานกัน; ท่าที่ 2 ทำ Isometric squat (มุมข้อเข่า 120 องศา); ท่าที่ 3 มือทั้ง 2 ข้างวางบนเครื่อง WBV และเข่าทั้ง 2 ข้าง สัมผัสที่พื้น; ท่าที่ 4 ทำการสควอทเป็นจังหวะขึ้นและลงอย่างละ 2 วินาที โดยมุมข้อเข่าประมาณ 120 องศา; ท่าที่ 5 ทำท่า Lunge โดยขาข้างซ้ายอยู่บน WBV และขาข้างขวาอยู่บนพื้น; ท่าที่ 6 ทำท่า Lunge โดยขาข้างขวาอยู่บน WBV และขาข้างซ้ายอยู่บนพื้น โดยที่ท่าที่ 1 ถึง 4 ทำค้างไว้ท่าละ 1 นาที ส่วนท่าที่ 5 และ 6 ทำค้างไว้ท่าละ 30

วินาที สำหรับเงื่อนไข Control ทำเหมือนเงื่อนไขที่ 1 แต่ไม่มีการใช้เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย และเงื่อนไขที่ 3 ทำการปั่นจักรยาน กำหนดรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลาต่อเนื่อง 5 นาที และใส่น้ำหนัก 50 วัตต์ พบว่า ความสูงในการกระโดด ACMVJ และความอ่อนตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม WBV จึงสรุปผลการศึกษา คือ ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย เกิดจากการสั่งการของระบบประสาทผ่านวงจร Stretch reflex ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระโดด ACMVJ และความอ่อนตัว

คอร์มีร์และคณะ (Cormie et al., 2006) ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงและพลัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการทดสอบครั้งเดียวของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีต่อประสิทธิภาพการกระโดดท่า Isometric squat (IS) และ Countermovement jump (CMJ) โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายอายุ 19-23 ปี จำนวน 9 คน ที่มีประสบการณ์ในการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับปานกลางมาก่อน แบ่งการทดลองเป็น 2 เงื่อนไข คือ Sham (ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย) และ Vibration (สั่นสะเทือนทั้งร่างกาย) โดยกำหนดให้ในเงื่อนไข Vibration มีความถี่ของเครื่องสั่น 30 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 2.5 มิลลิเมตร รูปแบบการออกกำลังกายเป็นท่า Isometric squat (ข้อเข่าทำมุม 100 องศา) 30 วินาที ทำการทดสอบการกระโดดแบบ Isometric squat (IS) และ Countermovement jump รวมทั้งวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของ Vastus medialis, Vastus lateralis และ Biceps femoris ผลการวิจัยพบว่า ความสูงในการกระโดดในรูปแบบ CMJ จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม Vibration แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus medialis, Vastus lateralis และ Biceps femoris จึงสรุปได้ว่า การใช้เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในช่วงการอบอุ่นร่างกายจะมีผลในการเพิ่มความสูงในการกระโดดแนวดิ่งได้มากขึ้น

ฮาเซลล์และคณะ (Hazell et al., 2007) ทำการศึกษาระดับของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่เหมาะสมของความถี่และแอมพลิจูดที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนบนและส่วนล่างของร่างกาย ในการเคลื่อนไหว 3 รูปแบบ คือ การสควอทแบบคงค้าง ข้อเข่าทำมุม 120 องศา (Isometric semi-squat) การสควอทแบบมีการเคลื่อนไหว ข้อเข่าทำมุม 120 องศา (Dynamic leg squats) และการทำ Bilateral bicep curls ทั้งแบบคงที่และแบบมีการเคลื่อนไหว ข้อศอกทำมุม 90 องศา กำหนดผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นเพศชายสุขภาพดีจำนวน 10 คน โดยแบ่งความถี่ในการสั่นสะเทือนออกเป็น 5 ระดับ คือ 25, 30, 35, 40 และ 45 เฮิรตซ์ แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน 2 และ 4 มิลลิเมตร ระยะเวลาในการสั่นสะเทือน 30 วินาที ให้ทำการพักระหว่างการเปลี่ยนความถี่และแอมพลิจูด 5 นาที และให้เว้นระยะห่าง 1 สัปดาห์ในแต่ละรูปแบบการเคลื่อนไหว พบว่า สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบอยู่นิ่งกับที่ (Isometric semi-squat และ Static bilateral bicep curls) คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการก่อนได้รับการ

สั่นสะเทือนทั้งร่างกาย และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความถี่ 40 และ 45 เฮิรตซ์ ที่แอมพลิจูด 2 และ 4 มิลลิเมตร ส่วนการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ (Dynamic leg squats และ Dynamic bilateral bicep curls) คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการก่อนได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความถี่ 35, 40 และ 45 เฮิรตซ์ ที่แอมพลิจูด 2 และ 4 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า ที่ระดับแอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร และความถี่ 35, 40 และ 45 เฮิรตซ์ จะกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้มากที่สุด

บาเซตต์-โจนส์และคณะ (Bazett-Jones et al., 2008) ได้ศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย เพื่อเปรียบเทียบความเร่งของเครื่องสั่นสะเทือนที่มีต่อความสามารถในการกระโดด Countermovement jump (CMJ) กำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลที่ไม่ได้รับการฝึกมาก่อนจำนวน 44 คน (เพศหญิง 11 คน และเพศชาย 33 คน) โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องเข้ารับการทดลองด้วยการสั่นสะเทือนที่ความเร่ง 5 ระดับ คือ 1g (ความถี่ 0 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 0 มิลลิเมตร), 2.16g (ความถี่ 30 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร), 2.80g (ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร), 4.87g (ความถี่ 35 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลลิเมตร), 5.83g (ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลลิเมตร) ทำการสควอททุก ๆ 5 วินาที เป็นเวลา 45 วินาที (รวม 9 ครั้ง) ที่มุมข้อเข่า 90 องศา และทดสอบ CMJ ก่อนการสั่นสะเทือน และหลังการสั่นสะเทือนในทันที 5 นาที และหลัง 10 นาที พบว่า ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงภายหลังได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ความเร่ง 2.80g (ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร) และ 5.83g (ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลลิเมตร) มีการเปลี่ยนแปลงของความสูงในการกระโดด CMJ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความสูงในการกระโดด CMJ ในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย จึงสรุปผลการศึกษานี้ว่า การกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในช่วงของการอบอุ่นร่างกายก่อนทำการแข่งขันได้

เรียห์และเคนน์ (Rhea & Kenn, 2009) ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังระหว่างการออกกำลังกายด้วยการสควอท กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาระดับมหาวิทยาลัย เพศชาย จำนวน 16 คน โดยให้ทำการออกกำลังกายด้วยท่า Back squats ความหนัก 75% 1RM จำนวน 2 เซต เซตละ 3 ครั้ง และพักระหว่างเซต โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำระหว่างการพักคือ กลุ่ม REST (นั่งพักบนเก้าอี้ 3 นาที) และ กลุ่ม WBV (นั่งพัก 2 นาที และทำการสควอท 30 วินาที บนเครื่อง WBV) ซึ่งเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายกำหนดความถี่ 35 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร พบว่า ค่าพลังของการสควอทในเซตที่ 2 จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม WBV มากกว่ากลุ่ม REST จึงสามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะช่วยกระตุ้นอัตราการสร้างแรงได้ในทันที

แมคไบรท์และคณะ (McBride et al., 2010) ทำการศึกษาผลฉับพลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีต่อแรงของกล้ามเนื้อและการกระตุ้นหน่วยยนต์ของระบบประสาท โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นคนที่ออกกำลังกายสม่ำเสมอ จำนวน 19 คน จัดเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม WBV (จำนวน 10 คน) และกลุ่ม Sham (จำนวน 9 คน) ให้ทำการออกกำลังกายด้วยการสควอท ข้อเข่าทำมุม 100 องศา จำนวน 6 เซต โดยในกลุ่ม WBV กำหนดให้เซตที่ 1 ถึง 3 ออกกำลังกายด้วยการสควอทโดยขาทั้ง 2 ข้างยืนบนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 3.5 มิลลิเมตร เซตละ 30 วินาที และในเซตที่ 4 ถึง 6 ให้ทำการสควอทสลับขาข้างซ้ายและขวา อีก 3 นาที ส่วนกลุ่ม Sham ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับกลุ่ม WBV แต่ไม่มีการเปิดเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ทำการทดสอบความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum voluntary contraction; MVC) ของกล้ามเนื้อน่องและวัดการทำงานของระบบประสาทที่บริเวณ Tibial nerve ด้วยวิธี H-reflex และ M-wave ในช่วงก่อนออกกำลังกาย และหลังออกกำลังกายทันที 8 นาที และ 16 นาที พบว่า กลุ่ม WBV มีแรงสูงสุดในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายหลังการออกกำลังกายทันทีและ 8 นาที แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 2 กลุ่ม ของค่าเฉลี่ยการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ อัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของ H-reflex และ M-wave รวมทั้งอัตราการสร้างแรงภายหลังจากออกกำลังกายในทันที 8 และ 16 นาที จึงสรุปผลการศึกษาได้ว่า ผลฉับพลันของการออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบนิ่งอยู่กับที่ร่วมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะเพิ่มแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อจนกระทั่งถึงนาทีที่ 8 หลังการออกกำลังกาย อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อไม่ได้ส่งผลต่อการระดมหน่วยยนต์ ดังนั้นการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะมีผลฉับพลันในการเพิ่มแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อสำหรับนักกีฬาในทันทีก่อนทำการแข่งขัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สลิษา ยูนุช (2557) ที่ได้เปรียบเทียบผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายระหว่างท่าฝึกและช่วงระยะเวลาแตกต่างกันที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬากรีฑาและนักกีฬาซอฟต์บอลของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพศหญิง จำนวน 12 คน ในการทดลองใช้วิธีถ่วงดุลลำดับ ให้กลุ่มตัวอย่างทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 6 แบบ การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่ 1-3 ใช้ท่า Static half squat โดยแบบที่ 1 ใช้ช่วงระยะเวลา 15 วินาที แบบที่ 2 ใช้ช่วงระยะเวลา 30 วินาที แบบที่ 3 ใช้ช่วงระยะเวลา 45 วินาที และแบบที่ 4-6 ใช้ท่า Static quarter squat โดยแบบที่ 4 ใช้ช่วงระยะเวลา 15 วินาที แบบที่ 5 ใช้ช่วงระยะเวลา 30 วินาที แบบที่ 6 ใช้ช่วงระยะเวลา 45 วินาที ใช้ความถี่ในการสั่น 45 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร โดยในช่วงของการทดสอบจะทำการทดสอบทั้งหมด 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการสั่น จากการทดลอง พบว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในการทำ Static half squat ที่ระยะเวลา 30 และ 45 วินาที และการทำ Static quarter squat ที่ระยะเวลา 30 และ 45 วินาที สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อสูงสุดได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ท่าฝึกที่ต่างกันไม่มีผลทำ

ให้ค่าพลังกล้ามเนื้อสูงสุดแตกต่างกัน และช่วงระยะเวลาในการกระตุ้นที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ค่าพลังกล้ามเนื้อสูงสุดแตกต่างกัน แต่ท่าย่อตัวค้างไว้ให้เข่าทำมุม 135 องศา และช่วงระยะเวลาในการกระตุ้น 45 วินาที จะทำให้ค่าพลังกล้ามเนื้อสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้เป็นรูปแบบในการฝึกนักกีฬาเพื่อเพิ่มพลังกล้ามเนื้อร่วมกับโปรแกรมการฝึกปกติได้

บุชและคณะ (Bush et al., 2015) ได้ศึกษาผลฉับพลันของการใช้เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการสควอทแบบค้างอยู่กับที่เปรียบเทียบกับมีการเคลื่อนไหวที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อต้นขา กลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลที่สุขภาพดี แต่ไม่ได้รับการฝึกด้วยแรงต้านมาก่อน อายุ 18-25 ปี จำนวน 21 คน โดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำทุกเงื่อนไขการทดลอง ประกอบด้วยเงื่อนไขที่ 1 สควอทแบบเคลื่อนไหว (Dynamic squat) ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย จำนวน 5 เซต เซตละ 10 ครั้ง; เงื่อนไขที่ 2 สควอทแบบค้างอยู่กับที่ (Static squat) ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย จำนวน 5 เซต ค้างไว้เซตละ 30 วินาที; เงื่อนไขที่ 3 สควอทแบบเคลื่อนไหว (Dynamic squat) ร่วมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ความถี่ 30 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร จำนวน 5 เซต เซตละ 10 ครั้ง; เงื่อนไขที่ 4 สควอทแบบค้างอยู่กับที่ (Static squat) ร่วมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ความถี่ 30 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร จำนวน 5 เซต ค้างไว้เซตละ 30 วินาที และกำหนดมุมข้อเข่าในขณะทำสควอทที่ 100 องศา ทำการทดสอบวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าก่อนเริ่มออกกำลังกายแต่ละเงื่อนไข 5 นาที และหลังการออกกำลังกาย 1 นาที พบว่า ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นภายหลังจากออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนไหว โดยใช้เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย จึงสรุปผลการศึกษาได้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะส่งผลให้มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น รวมทั้งรูปแบบการสควอทที่มีการเคลื่อนไหวจะกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นการนำรูปแบบการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการออกกำลังกายแบบมีการเคลื่อนไหวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในช่วงการอบอุ่นร่างกายก่อนทำการฝึกด้วยแรงต้าน

สุภัทรา ศิลปบรรเลง และชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ (2558) ที่ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่ โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลทั่วไป เพศหญิง อายุ 18-22 ปี จำนวน 16 คน ใช้วิธีถ่วงดุลลำดับ ให้กลุ่มตัวอย่างทำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 4 แบบ การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายแบบที่ 1 ใช้ท่า Static half squat ด้วยความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร แบบที่ 2 ใช้ท่า Static half squat ด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลลิเมตร แบบที่ 3 ใช้ท่า Dynamic half squat ด้วยความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร แบบที่ 4 ใช้ท่า Dynamic half squat ด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลลิเมตร ใช้เวลาการสั่น 45 วินาที โดยทดสอบ 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการสั่น พบว่า ค่าพลังสูงสุด ค่าแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นสูงสุดและค่าความเร็วสูงสุดของบาร์เบลในการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายทั้ง 4 แบบไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ค่าพลังสูงสุดในการสั่นในแบบที่แรงปฏิกิริยาใน

แนวดิ่งจากพื้นสูงสุดในแบบที่ 3 และความเร็วสูงสุดของบาร์เบลในแบบที่ 1 และแบบที่ 4 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงสรุปผลการวิจัยว่า ผลฉับพลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่มีผลให้พลังกล้ามเนื้อขาไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในแบบที่ 1 สามารถเพิ่มพลังกล้ามเนื้อในลักษณะของผลฉับพลัน

อธิวัฒน์ สายทอง (2558) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายด้วยระยะเวลาแตกต่างกันร่วมกับการฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อ กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครนิสิตเพศหญิงคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 52 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 13 คน ได้แก่ กลุ่มที่ฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศเพียงอย่างเดียว กลุ่มที่ฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายระยะเวลา 15 วินาทีร่วมกับการฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศ กลุ่มที่ฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายระยะเวลา 30 วินาทีร่วมกับการฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศ และกลุ่มที่ฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายระยะเวลา 45 วินาทีร่วมกับการฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศ การฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายกำหนดความถี่ 45 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร และท่าสควอทที่มุมเข่า 135 องศา ส่วนการฝึกแรงต้านด้วยท่าสควอทที่มุมเข่า 90 องศา สัปดาห์ละ 2 ครั้ง ระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 4 กลุ่มทดลองมีการพัฒนาพลังสูงสุดและพลังอดทนหลังจากการฝึกไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่า กลุ่มที่ฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายระยะเวลา 30 วินาทีร่วมกับการฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศ มีการเพิ่มขึ้นของค่าพลังสูงสุดและพลังอดทนในการกระโดดด้วยท่า Countermovement jump สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศมีแนวโน้มพัฒนาพลังกล้ามเนื้อได้สูงกว่าการฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศเพียงอย่างเดียว

โดนาฮูและคณะ (Donahue et al., 2016) ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการอบอุ่นร่างกายด้วยวิธีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีต่อความไวในการตอบสนองของเท้า (Quick feet count test) กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ชายจำนวน 20 คน ที่มีสุขภาพแข็งแรง และออกกำลังกายด้วยแรงต้านมากกว่า 4 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ มีเงื่อนไขการทดลอง 4 เงื่อนไข โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องปฏิบัติทุกรูปแบบ คือ รูปแบบ No warm-up; รูปแบบ Traditional warm-up (การยืดเหยียดแบบ static และ dynamic); รูปแบบ WBV warm-up only (ความถี่ 35 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร ระยะเวลา 60 วินาที และทำการสควอท); รูปแบบ Combined traditional and WBV warm-up (เริ่มจากรูปแบบ Traditional แล้วตามด้วยรูปแบบ WBV) หลังจากที่อบอุ่นร่างกายเรียบร้อยให้พัก 1 นาที แล้วจึงทำการทดสอบความไวในการตอบสนองของเท้า (Quick feet count test; QFT) ผลที่ได้จากการศึกษา คือ ในกลุ่มที่ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการสั่นสะเทือนจะทำให้ค่าความไวในการตอบสนองของเท้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการอบอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบ

Static และ Dynamic ร่วมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะมีค่าความไวในการตอบสนองเท้า (QFT) มากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า การอบอุ่นร่างกายด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะทำให้ระบบประสาทมีการระดมหน่วยยนต์มายังกล้ามเนื้อมากขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้เร็วขึ้น และลดเวลาในช่วง Amortization phase

วอลแมนน์และคณะ (Wallmann et al., 2019) ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายต่อพลังในการกระโดดแบบ Vertical jump ความสมดุล และความคล่องแคล่วว่องไว ในบุคคลที่ไม่ได้รับการฝึก เพศหญิง จำนวน 16 คน และเพศชาย 20 คน โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องทำการสควอท ข้อเข่าทำมุม 60 องศา บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่กำหนดความถี่ 30 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร เป็นเวลา 60 วินาที ทำการทดสอบพลังในการกระโดดแบบ Vertical jump ความสมดุล และความคล่องแคล่วว่องไวเปรียบเทียบก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและเปรียบระหว่างเพศชายและหญิง พบว่า มีความแตกต่างระหว่างการทดสอบก่อนและหลังของทั้งเพศชายและเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญของความคล่องแคล่วว่องไว รวมทั้งยังพบว่าเพศชายจะมีค่าของพลังการกระโดดและความคล่องแคล่วว่องไวที่มากกว่าเพศหญิง ดังนั้นจึงสรุปการศึกษานี้ได้ว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความคล่องแคล่วว่องไว ในเพศหญิงจะมีความสมดุลที่ดีขึ้น และเพศชายจะมีความคล่องแคล่วว่องไวและพลังในการกระโดดที่มากขึ้น

**จากการศึกษาเรื่องการฝึกด้วยเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย โดยการกำหนดค่าความถี่ 15 – 50 เฮิรตซ์ ค่าแอมพลิจูด 2 – 6 มิลลิเมตร และช่วงเวลาตั้งแต่ 30 วินาที จนถึง 5 นาที จะส่งผลในการกระตุ้นระบบประสาทให้มีการระดมหน่วยยนต์มายังกล้ามเนื้อเป้าหมายเพิ่มมากขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้แรงและเร็วมากขึ้น รวมทั้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในช่วงของการอบอุ่นร่างกาย หรือในการฝึกร่างกายระยะยาวเพื่อกระตุ้นให้กล้ามเนื้อมีพลังและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น**

### 2.3 การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction)

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction) เป็นกลยุทธ์ในการฝึกที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้ผ้ารัดรอบ ๆ ส่วนต้นของรยางค์แขนหรือขาในขณะออกกำลังกาย เพื่อรักษาระดับการไหลของเลือดจากหลอดเลือดแดงสู่กล้ามเนื้อ ลดปริมาณการไหลเวียนเลือดในหลอดเลือดแดง และป้องกันการไหลกลับของเลือดดำจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา ส่งผลให้เกิดการรวมกันของเลือดและสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Kouzaki et al., 1997) ข้อดีของการจำกัดการไหลเวียนเลือดไม่เพียงแต่เพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แต่ยังส่งผลต่อการปรับตัวของหลอดเลือดและกระดูก ทั้งนี้การฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งในกลุ่มที่ฟื้นฟูจากอาการบาดเจ็บ ผู้สูงอายุ คนทั่วไป และนักกีฬา โดย

ส่วนใหญ่พบว่าการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือดค่อนข้างมีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากกว่าการฝึกด้วยแรงต้านแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงต้านสูง เนื่องจากช่วยลดความเครียดของกล้ามเนื้อที่ต้องออกแรงสู้กับแรงต้านจากภายนอก (Colomer-Poveda et al., 2017) อย่างไรก็ตามการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดสามารถนำมาประยุกต์ร่วมกับการฝึกด้วยการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า การออกกำลังกายแบบแอโรบิก หรือการฝึกโดยใช้แรงต้านจากภายนอก

**2.3.1 การประยุกต์การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการออกกำลังกายรูปแบบอื่น ๆ** (Jessee et al., 2018)

**2.3.1.1 การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดเพียงอย่างเดียว (Blood flow restriction alone)**

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นวิธีการฝึกที่ช่วยในการปรับตัวของกล้ามเนื้อ เหมาะสำหรับบุคคลที่อยู่ในช่วงการฟื้นฟูร่างกาย หรือถูกจำกัดการเคลื่อนไหว รวมทั้งผู้ป่วยติดเตียง ซึ่งส่งผลให้เกิดอาการของกล้ามเนื้อลีบและอ่อนล้า การนำวิธีการจำกัดการไหลเวียนเลือดมาประยุกต์ใช้จะช่วยรักษาระดับของการเกิดกล้ามเนื้อลีบและรักษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

ตัวอย่างเช่น การใช้ผ้ารัด (Cuff) ที่บริเวณต้นขา ในผู้ป่วยที่อยู่ในช่วงการฟื้นฟูจากอาการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าซึ่งถูกจำกัดการเคลื่อนไหว เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อลีบที่บริเวณต้นขา พบว่า กลุ่มที่ทำการฟื้นฟูการบาดเจ็บเอ็นไขว้หน้าด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด (แรงดันในระดับต่ำ) สามารถช่วยรักษาระดับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อให้คงอยู่ได้มากกว่ากลุ่มควบคุม (Fahs et al., 2012)

**2.3.1.2 การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (Blood flow restriction with electrostimulation)**

การขาดการออกกำลังกาย (Physical inactivity) จะส่งผลให้มวลกล้ามเนื้อและความแข็งแรงลดลง แต่เมื่อมีการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้าจะช่วยลดการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อได้ นอกจากนี้การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าภายหลังการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะทำให้ความหนาและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น (Dankel et al., 2016)

ดังนั้น การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าสามารถพัฒนาขนาดของกล้ามเนื้อให้เพิ่มมากขึ้นได้ แต่การนำการจำกัดการไหลเวียนเลือดมาประยุกต์ร่วมกับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า จะส่งผลให้กล้ามเนื้อมีขนาดเพิ่มขึ้นมากกว่าการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้สามารถนำวิธีดังกล่าวมาประยุกต์ได้ในคนทั่วไป ผู้ป่วย นักกีฬา หรือผู้ที่อยู่ในช่วงการฟื้นฟูร่างกายจากการบาดเจ็บ เพื่อที่จะสามารถกระตุ้นระบบประสาทกล้ามเนื้อให้มีการปรับตัวได้เร็วขึ้นและเตรียมความพร้อมสำหรับการเคลื่อนไหวร่างกายให้มากขึ้น

**2.3.1.3 การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Blood flow restriction with aerobic exercise)**

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกหรือการออกกำลังกายโดยใช้ออกซิเจนมาสันดาปเป็นพลังงานร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด โดยกำหนดความหนักที่ระดับต่ำจะพัฒนาขนาดของกล้ามเนื้อและความแข็งแรง ตัวอย่างเช่น อัลเลนและทราจาโนฟสกา (Allen & Trajanovska, 2012) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกเดินที่ระดับความเร็ว 50 เมตรต่อนาทีร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างเป็นวัยรุ่นเพศชาย พบว่า กลุ่มที่ฝึกเดินร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดมีพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงแบบ Isometric และความสามารถในการออกแรงสูงสุด (1RM) มากกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้ การฝึกเดินที่ระดับความหนัก 45% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 4 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ในกลุ่มผู้หญิงสูงอายุ พบว่า มีการปรับตัวของกล้ามเนื้อ ระบบหัวใจและหลอดเลือด โดยสามารถเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ดีขึ้น รวมทั้งการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือด ร่วมกับโปรแกรมการปั่นจักรยาน ที่ระดับความหนัก 40% $VO_{2max}$ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า สามารถพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้

กล่าวโดยสรุป การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เช่น การเดิน หรือ การปั่นจักรยาน สามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของกล้ามเนื้อและระบบหัวใจและหลอดเลือด รวมทั้ง ช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและความแข็งแรงในบางกลุ่มประชากร

**2.3.1.4 การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้าน (Blood flow restriction with resistance exercise)**

การฝึกด้วยแรงต้านมีความมุ่งเน้นในการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและความแข็งแรงสูงสุด โดยกำหนดระดับความหนักที่มากกว่า 60% 1RM การฝึกด้วยแรงต้านในรูปแบบเดิม ตัวอย่างเช่น Gundermann และคณะ (Gundermann et al., 2014) ได้เปรียบเทียบการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำกับระดับความหนักสูง พบว่า กลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูง จะมีขนาดกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ นอกจากนี้รูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ (30% 1RM) โดยให้ปฏิบัติจนกระทั่งไม่สามารถปฏิบัติได้ (Hara et al., 2012; Hawke, 2005) ผลการทดลอง พบว่า สามารถเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อได้ แต่กล้ามเนื้อจะทำงานภายใต้ความเครียดของกล้ามเนื้อสูง ด้วยระยะเวลานาน จึงมีความสนใจในการนำการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้าน โดยกำหนดระดับความหนักต่ำ (20% 1RM) ผลการทดลอง พบว่า สามารถเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ได้เทียบเท่ากับการฝึกด้วยแรงต้านโดยกำหนดระดับความหนักสูง (80% 1RM)

สรุปได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ (20-30% of 1RM) ร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดจึงช่วยพัฒนากำลังของกล้ามเนื้อ ความเร็วในการวิ่ง และความอดทน นอกจากนี้การฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด และใช้ระดับความหนักที่ต่ำ จะกระตุ้นการทำงานและการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อได้เร็วขึ้น ส่วน Growth hormone จะมีระดับที่สูงขึ้น และมีการส่งสัญญาณในการตอบสนองได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ทำการฝึกด้วยแรงต้านเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะช่วยเพิ่มจำนวนของเส้นใยกล้ามเนื้อส่งผลให้เพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อได้

**2.3.2 กลไกของการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ (Mechanisms of hypertrophy)** (Jessee et al., 2018)

การจำกัดการไหลเวียนเลือดจะมีผลต่อกลไกทางด้านสรีรวิทยาในการกระตุ้นให้เซลล์กล้ามเนื้อมีการตอบสนอง เช่น การบวมของกล้ามเนื้อ การหลั่งของสาร รวมทั้งกระตุ้นให้กล้ามเนื้อทำงานเพิ่มขึ้นในสภาวะที่มีอาการล้า ซึ่งจะส่งผลต่อให้เซลล์กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาศัยการรักษาระดับความสมดุลของการเพิ่มการสังเคราะห์ และลดการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ

โดยทั่วไปกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน จะเกี่ยวข้องกับสารต่าง ๆ เช่น Rapamycin (TOR) ที่สังเคราะห์มาจาก mRNA รวมทั้ง S6K1 (Ribosomal protein S6 kinase beta-1) โดยสารดังกล่าวมีความสำคัญในการกระตุ้นตัวส่งสัญญาณ mTORC1 (Mechanistic target of rapamycin complex 1) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนอีกทีหนึ่ง

ทั้งนี้มีการศึกษาเปรียบเทียบการฝึกด้วยแรงต้านกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้าน พบว่า กลุ่มที่ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ (20% 1RM) มีการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านเพียงอย่างเดียว (Iversen et al., 2016)

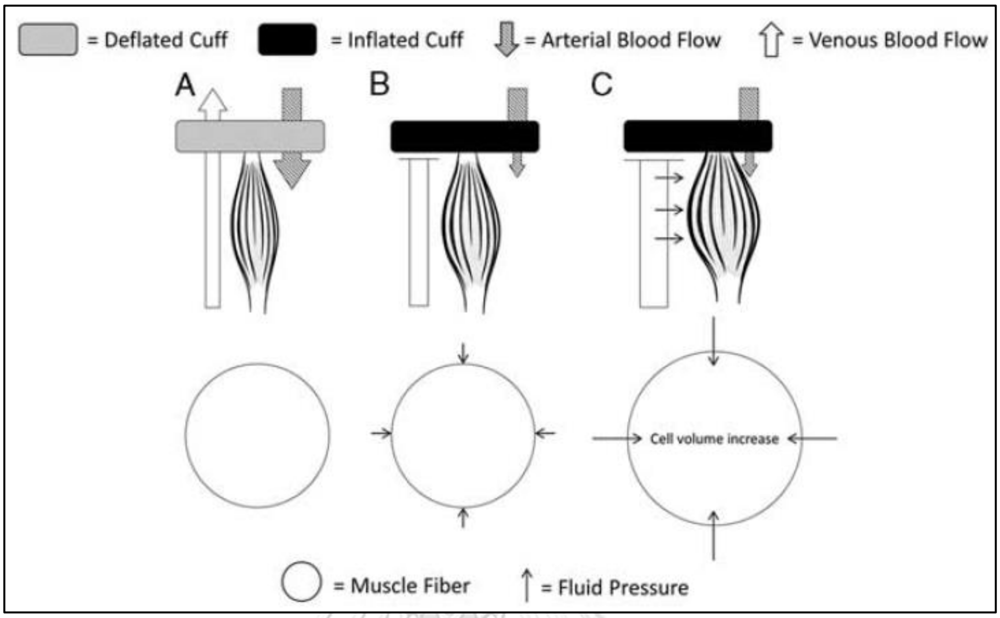
**2.3.2.1 การบวมของกล้ามเนื้อ (Cell swelling) และการหลั่งสารที่ทำให้เกิดอาการล้า (Metabolite-induced fatigue)**

การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดกระบวนการปรับตัวผ่าน 2 กลไก คือ การบวมของกล้ามเนื้อ และการหลั่งสารที่ทำให้เกิดอาการล้า

**- การบวมของกล้ามเนื้อ (Cell swelling)**

ผลฉับพลันที่เกิดจากการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะพบว่า บริเวณกล้ามเนื้อส่วนปลายที่ถูกรัดและจำกัดการไหลเวียนเลือด จะมีความหนาของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น พร้อมกับมีการลดลงของปริมาณพลาสมา ทั้งนี้การจำกัดการไหลเวียนเลือดจะทำให้เกิดการบวม ซึ่งจะเป็น

ตัวยับยั้งการสลายและการสังเคราะห์โปรตีน ส่งผลต่อการรักษาสมดุลของระดับโปรตีนในกล้ามเนื้อ ดังรูปที่ 8




**รูปที่ 8** กลไกการบวมของเซลล์กล้ามเนื้อ

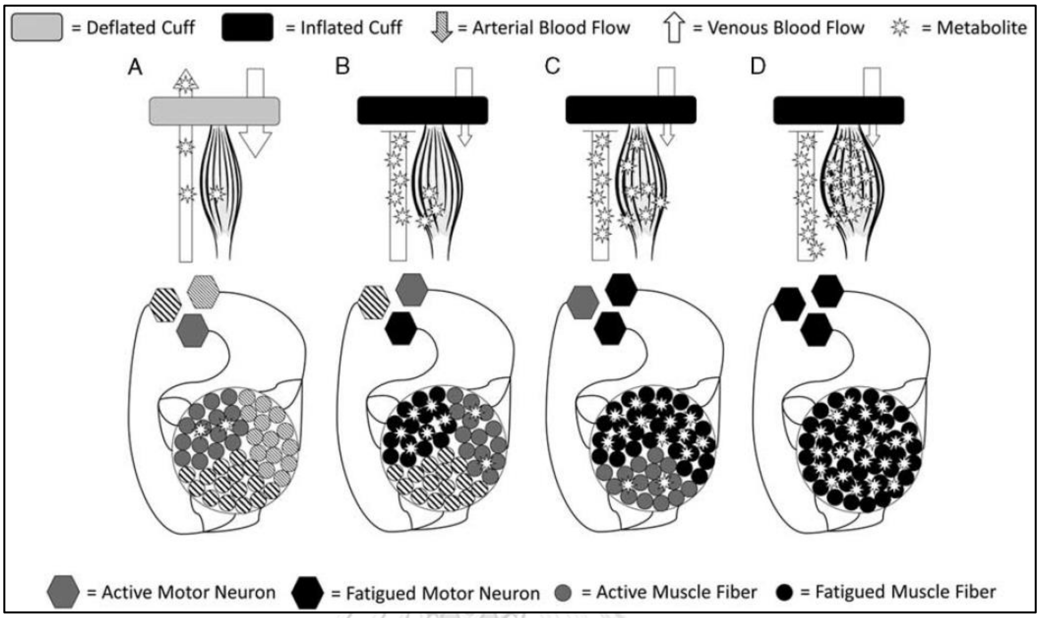
ที่มา : (Jessee et al., 2018)

จากรูปที่ 8 การใส่ผ้ารัด (Cuff) โดยไม่มีการเพิ่มแรงดัน จะทำให้มีการจำกัดการไหลเวียนเลือดเพียงเล็กน้อย (A) เมื่อเริ่มทำการเพิ่มแรงดันบริเวณผ้ารัด (Cuff) ทำให้การไหลเวียนของเลือดแดงในหลอดเลือดจะลดลงและการไหลกลับของเลือดดำในหลอดเลือดจะถูกปิดกั้น ส่งผลให้เลือดดำจะเริ่มรวมกันบริเวณรยางค์ส่วนปลายที่ถูกจำกัดการไหลเวียนเลือด (B) และเมื่อเวลาผ่านไประยะเวลาหนึ่ง การอุดกั้นการไหลกลับของเลือดดำจะสมบูรณ์ ทำให้เลือดดำในหลอดเลือดจะมารวมกับของเหลวทั้งหมดที่บริเวณกล้ามเนื้อส่วนปลายที่ถูกรัดด้วยผ้า (Cuff) ทำให้เกิดแรงดันของของเหลวบริเวณกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และมีการส่งสัญญาณในการควบคุมระดับโปรตีน (C)

**- การหลั่งสารที่ทำให้เกิดอาการล้า (Metabolite-induced fatigue)**

นอกจากนี้การจำกัดการไหลเวียนเลือดดังกล่าวจะส่งผลต่อการกระตุ้นการสังเคราะห์สาร S6K1 ในกล้ามเนื้อ ภายหลังจากการจำกัดการไหลเวียนเลือด 1 ชั่วโมง จะเกิดการสะสมของสารที่จะก่อให้เกิดความล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ รวมทั้งยับยั้งการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้นการออกกำลังกายในรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งการจำกัดการไหลเวียนเลือด

ส่งผลให้มีการระดมหน่วยยนต์ (Motor unit recruitment) ได้มากขึ้น ส่งผลทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 9




**รูปที่ 9** กลไกการหลั่งสารที่ก่อให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อ

ที่มา : (Jessee et al., 2018)

จากรูปที่ 9 ขณะออกกำลังกายที่มีแรงต้านในระดับต่ำ โดยไม่มีการเพิ่มแรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือด พบว่า การไหลเวียนของเลือดมีการหยุดชะงักเล็กน้อย อย่างไรก็ตามความดันภายในกล้ามเนื้อเกิดจากแรงในการหดตัวที่ต่ำซึ่งยังคงมีประสิทธิภาพเพียงพอในการกำจัดสาร (Metabolites) และลำเลียงออกซิเจนในเลือดเข้าสู่กล้ามเนื้อ ดังนั้นการออกกำลังกายยังคงสามารถปฏิบัติได้ปกติ (A) เมื่อเพิ่มการจำกัดการไหลเวียนเลือดผ่านการเพิ่มแรงดันที่ผ้ารัด (Cuff) พบว่า ระดับออกซิเจนในหลอดเลือดแดงจะลดลงและการไหลกลับของเลือดดำจะถูกปิดกั้น ทำให้การกำจัดสาร (Metabolites) ได้น้อยลงและยังเหลือคงค้างสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ รวมทั้งพบว่าเริ่มมีการสั่งการของหน่วยยนต์ที่นำความล้า (Fatigued motor neuron) มายังกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อบางส่วนเริ่มมีอาการล้า (B) และเมื่อยังคงให้ออกกำลังกายต่อเนื่องร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด พบว่า จะมีการสร้างสาร (Metabolites) อยู่รอบ ๆ บริเวณกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำงาน ซึ่งจะไปขัดขวางการทำงานของหน่วยยนต์ที่กระตุ้นการทำงาน (Active motor neuron) ดังนั้นเมื่อยังคงออกกำลังกายต่อเนื่อง จะมีระดับของหน่วยยนต์ที่ถูกกระตุ้นให้ทำงานเพิ่มสูงขึ้น และมีการเพิ่มขึ้นของหน่วยยนต์ที่นำความล้ามากขึ้น ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีอาการล้ามากยิ่งขึ้น (C) จนกระทั่ง

พบว่ามีการสร้างสาร (Metabolites) ในปริมาณที่มาก จะทำให้กล้ามเนื้อมีอาการล้า ทำให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวได้ ส่งผลให้ต้องหยุดออกกำลังกาย (D)

แดนน์เคลและคณะ (Dankel et al., 2016) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อ โดยเปรียบเทียบการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูง การฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำร่วมกับระดับความหนักสูง และการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ (ไม่จำกัดจำนวนครั้งจนไม่สามารถปฏิบัติต่อได้) ซึ่งผลการวิจัย พบว่า กลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ (ไม่จำกัดจำนวนครั้งจนไม่สามารถปฏิบัติต่อได้) และกลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูง มีการสังเคราะห์โปรตีนที่ระดับเดียวกัน ซึ่งมากกว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ

**2.3.2.2 การสะสมของสาร (Metabolic accumulation)**

การนำรูปแบบการจำกัดการไหลเวียนเลือดมาประยุกต์ควบคู่กับการออกกำลังกายในรูปแบบต่าง ๆ พบว่า มีสาร (Metabolites) สะสมอยู่ในบริเวณกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำงาน ซึ่งสารดังกล่าวส่งผลโดยตรงทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการกระตุ้นกระบวนการของฮอร์โมน (Anabolic hormone) ที่เสริมสร้างเนื้อเยื่อต่าง ๆ

ทั้งนี้ ภายหลังการออกกำลังกายด้วยการเดินร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (ใช้แรงดันระดับต่ำ) พบว่าไม่มีการสะสมของสาร (Metabolic accumulation) ในกลุ่มกล้ามเนื้อ รวมทั้งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในทันที ทำให้กล้ามเนื้อไม่มีการเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น

อย่างไรก็ตาม จากรูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูง ร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด โดยกำหนดท่า Elbow flexion จำนวน 1 เซต เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลอง พบว่า กลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านควบคู่กับการจำกัดการไหลเวียนเลือดและกลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านเพียงอย่างเดียวไม่มีความแตกต่างของขนาดเซลล์กล้ามเนื้อ ดังนั้นการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงจะไม่ส่งผลให้เกิดสาร (Metabolites) ที่ทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น (Loenneke et al., 2015)

**2.3.2.3 การเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน (Systemic Hormones)**

งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ทันทีภายหลังการฝึกด้วยแรงต้านมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮอร์โมน ทั้งโกรทฮอร์โมน (Growth hormone) และเทสโทสเทอโรน (Testosterone) ซึ่งฮอร์โมนดังกล่าวส่งผลต่อการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อโดยตรง โดยรูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงจะกระตุ้นการหลั่งเพียงโกรทฮอร์โมนเท่านั้น เช่นเดียวกันกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนทั้งในกลุ่มวัยรุ่นชายและผู้สูงอายุชาย

นอกจากนี้ เลินเนะเกะและคณะ (Loenneke et al., 2012) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงกับโปรแกรมการฝึกด้วย

แรงต้านที่ระดับความหนักต่ำควบคู่กับการจำกัดการไหลเวียนเลือด เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นวัยรุ่นเพศหญิง พบว่า การเพิ่มขึ้นของขนาดกล้ามเนื้อและความแข็งแรงไม่มีความแตกต่างกันในทั้ง 2 รูปแบบการฝึก แต่การตอบสนองของฮอร์โมนมีความแตกต่างกันโดยรูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำควบคู่กับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะมีการกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะกระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมนเพิ่มขึ้น ทั้งโกรทฮอร์โมนและเทสโทสเทอโรน โดยที่โกรทฮอร์โมนจะเป็นฮอร์โมนที่ช่วยในการเพิ่มขนาดของเซลล์กล้ามเนื้อ ขณะที่ฮอร์โมนเทสโทสเทอโรนไม่ได้มีผลในการเปลี่ยนแปลงขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

**2.3.2.4 อนุมูลอิสระของออกซิเจน (Reactive Oxygen Species)** (Jessee et al., 2018)

อนุมูลอิสระของออกซิเจน อาจเป็นกลไกที่มีส่วนในการทำให้กล้ามเนื้อมีการเจริญเติบโต โดยมีสาร Metabolites ที่ไม่สามารถกำจัดได้หมดภายหลังการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณอนุมูลอิสระของออกซิเจนจะทำให้เกิดกระบวนการอักเสบของกล้ามเนื้อโดยการส่งสัญญาณผ่าน NF-kappa B ในทางตรงกันข้ามมีบางการศึกษาพบว่าภายหลังการออกกำลังกาย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ Interleukin-6 รวมทั้งขนาดของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุมูลอิสระ แต่เกิดจากการกระตุ้น Satellite cell หรือเซลล์ต้นกำเนิดของกล้ามเนื้อลาย ทั้งนี้ระดับความสมดุลของอนุมูลอิสระจะส่งผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

นอกจากนี้การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดเพียงอย่างเดียวทำให้ระดับความสมดุลของสารต้านอนุมูลอิสระเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกับการฝึกด้วยแรงต้านที่มีระดับความหนักสูง ส่วนเมื่อทำการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่มีระดับความหนักสูง พบว่าจะทำให้ระดับความสมดุลของสารต้านอนุมูลอิสระของออกซิเจนเพิ่มขึ้น

สรุปได้ว่าระดับความสมดุลของอนุมูลอิสระของออกซิเจนมีผลต่อความสามารถในการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและการปรับตัวทางด้านความแข็งแรง รวมทั้งมีการนำรูปแบบการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านทำให้ขนาดของกล้ามเนื้อใหญ่เพิ่มขึ้น (Hypertrophy)

**2.3.2.5 เซลล์ต้นกำเนิด (Satellite Cells)** (Jessee et al., 2018)

Satellite cells เป็นเซลล์ที่มีความจำเป็นในกระบวนการซ่อมแซมหรือการสร้างเนื้อเยื่อขึ้นใหม่ รวมทั้งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ โดยอาศัยสาร

อนุพันธ์ระดับเซลล์ในกระบวนการแปลรหัสสายโปรตีน รวมทั้งนิวเคลียสของเส้นใยกล้ามเนื้อถูกสร้างมาจากการกระตุ้นและการแบ่งตัวของ Satellite cells

ดังนั้นการฝึกด้วยแรงต้านจะเป็นรูปแบบการฝึกที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Satellite cells และกระตุ้นให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น (Hypertrophy) รวมทั้งรูปแบบการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะช่วยกระตุ้นการเกิด Satellite cells ส่งผลให้มีนิวเคลียสเพิ่มมากขึ้นในเส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง (Slow twitch fiber) และเส้นใยกล้ามเนื้อสีขาว (Fast twitch fiber)

การนำโปรแกรมการกระตุ้นด้วยเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายประยุกต์เข้ากับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด ซึ่งการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะเพิ่มการเผาผลาญในระหว่างการใช้เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ส่งผลให้เกิดความตึงตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น เช่น การทำท่า Half squat 12 นาที (แบ่งเป็น 3 เซต เซตละ 4 นาที) ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ทำให้เกิดแรงดันภายในเซลล์กล้ามเนื้อ รวมทั้งสภาพแวดล้อมภายในเซลล์มีความคล้ายคลึงกับสภาวะมีออกซิเจนต่ำ ส่งผลให้เกิดการกระตุ้น Hypoxia-inducible factor 1 (HIF-1) ใช้ในกระบวนการสร้างเส้นเลือดใหม่ (Vascular endothelial growth factor; VEGF) และเอนไซม์ Nitric oxide synthase ในทางกลับกันเอนไซม์ Nitric oxide synthase และ Hepatocyte growth factor (HGF) เพื่อกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดและเซลล์ผิว หลังจากนั้นจะไปจับกับตัวรับ (Receptor) c-Met และกระตุ้นให้ Satellite cells ทำงาน (Kouzaki et al., 1997; Spranger et al., 2015)

**2.3.3 วิธีการฝึกการจำกัดการไหลเวียนเลือด (The methodology of blood flow restriction application)** (Jessee et al., 2018)

การจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นรูปแบบที่มีการประยุกต์โดยใช้อุปกรณ์ เช่น Elastic bands หรือ Pneumatic cuffs รัดบริเวณส่วนต้นของรยางค์แขนหรือขา โดยในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการใช้วิธีการจำกัดการไหลเวียนเลือด ดังนั้นการเลือกรูปแบบการจำกัดการไหลเวียนเลือดต้องได้รับความปลอดภัยโดยคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น การเลือกขนาดของผ้ารัด ชนิดของผ้ารัด และลักษณะเฉพาะบุคคล

- การเลือกขนาดของผ้ารัด ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของรยางค์ของร่างกาย โดยผ้ารัดที่มีความกว้างจะจำกัดการไหลเวียนของเลือดได้ในระดับมาก

- สัดส่วนรอบรยางค์ โดยพบว่า รยางค์ที่มีเส้นรอบวงใหญ่จะใช้แรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดมากกว่ารยางค์ที่มีเส้นรอบวงเล็ก

- ระดับของการใช้แรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือด พบว่า เมื่อใช้แรงดันที่ระดับสูง จะส่งผลให้การตอบสนองในขณะออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดของระบบหัวใจและหลอดเลือดมีการทำงานเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อร่างกายมากขึ้น

เทคนิคการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยทั่วไปมีความเกี่ยวข้องกับการใช้สายรัดทั้งแบบ Tourniquet หรือ Inflatable cuff รวมทั้ง Elastic knee wraps ที่บริเวณส่วนต้นของแขนหรือขา เพื่อจำกัดการไหลเวียนของเลือดสู่กล้ามเนื้อ และป้องกันไหลกลับของเลือดออกจากกล้ามเนื้อ ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในประเทศญี่ปุ่น เน้นจำกัดการไหลเวียนเลือดที่กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ รูปแบบการใช้งานมีความหลากหลาย ทำได้ง่าย อุปกรณ์มีราคาไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของเครื่องออกกำลังกายแบบอื่น ๆ

ปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาเมื่อทำการจำกัดการไหลเวียนเลือด คือ ขนาดความกว้างของผ้ารัด ซึ่งในหลายงานวิจัยที่ผ่านมาใช้ความกว้างของผ้ารัดบริเวณขา 4.5 - 18.5 เซนติเมตร และบริเวณแขน 3 - 12 เซนติเมตร โดยจากการศึกษาของรอสโซวและคณะ (Rossow et al., 2012) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ ท่า Knee extension ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด โดยใช้ผ้ารัดที่มีขนาดความกว้างต่างกันต่อระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดและระดับความรับรู้ กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 27 คน ให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนใส่ผ้ารัดที่มีความกว้างทั้ง 5 เซนติเมตร และ 13.5 เซนติเมตร ที่บริเวณต้นขา พบว่า ผ้ารัดขนาดกว้าง 13.5 เซนติเมตร จะมีระดับความปวดและการรับรู้ที่มากกว่าผ้ารัดขนาด 5 เซนติเมตร จึงสรุปได้ว่า การใช้ผ้ารัดที่มีความกว้างมากเหมาะกับการใช้บริเวณรยางค์ส่วนล่างของร่างกาย อย่างไรก็ตาม ขนาดของผ้ารัดที่มีความกว้างไม่เหมาะสมจะยับยั้งการเคลื่อนไหว รวมทั้งจะส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพในการออกกำลังกายและการปรับตัวของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

นอกจากนี้เลินเนะเกะและคณะ (Loenneke et al., 2013) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแรงดันและขนาดผ้ารัดที่แตกต่างกันในการจำกัดการไหลเวียนเลือด โดยกำหนดขนาดผ้ารัดไว้ 2 รูปแบบ คือ ขนาดกว้าง (13.5 cm x 83 cm) และขนาดแคบ (5 cm x 135 cm) รวมทั้งมีการวัดขนาดความยาวรอบกล้ามเนื้อต้นขา พบว่า ขนาดผ้ารัดที่มีความกว้างมากจะใช้แรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่น้อยกว่าขนาดผ้ารัดที่แคบ

สรุปได้ว่าการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นอีกหนึ่งวิธีในการเพิ่มการปรับตัวของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ โดยมีความหลากหลายในรูปแบบการใช้และกลุ่มบุคคลในกลุ่มประชากร สามารถประยุกต์ใช้ทั้งบริเวณรยางค์ส่วนบนหรือส่วนล่างของร่างกาย รูปแบบอาจจะเป็นการจำกัดการไหลเวียนเลือดเพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า หรือร่การออกกำลังกายแบบแอโรบิก หรือการฝึกด้วยแรงต้าน

กลไกที่เกิดจากการฝึกด้วยจำกัดการไหลเวียนเลือด คือ กระตุ้นการปรับตัวของกล้ามเนื้อ เช่น การบวมของกล้ามเนื้อ และการหลั่งสารให้กล้ามเนื้อเกิดการล้า ซึ่งจะช่วยเพิ่มการตอบสนองในการสังเคราะห์โปรตีนของกล้ามเนื้อ ทั้งนี้การจำกัดการไหลเวียนเลือดจะกระตุ้น

Corticomotor ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ซึ่งส่งผลระยะยาวในการเปลี่ยนแปลงการระดมหน่วยยนต์ (Motor unit)

ชิโนะฮาระและคณะ (Kouzaki et al., 1997) พบว่า การฝึกด้วยรูปแบบ Isometric เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่ระดับความหนักต่ำ (40% Maximal Voluntary Contraction; ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด) จะช่วยพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แต่เมื่อฝึกด้วยโปรแกรมดังกล่าวร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะส่งผลให้ความแข็งแรงมากกว่าการฝึกด้วยรูปแบบ Isometric อย่างเดียว เนื่องจากการจำกัดการไหลเวียนเลือดระหว่างการออกกำลังกายจะช่วยเพิ่มการเผาผลาญของสารสื่อประสาทซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการตอบสนองของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

ดังนั้นการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำจะทำให้ขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น โดยระดับกลไกความเครียดและปริมาณการออกกำลังกายที่ต่ำ จึงเกิดความสนใจในการนำการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูงเพื่อกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อให้มากขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นควรพิจารณาหลีกเลี่ยงความการใช้แรงดันในระดับสูง และคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก

**ตารางที่ 1** แสดงคำแนะนำในการจำกัดการไหลเวียนเลือดระหว่างออกกำลังกายด้วยแรงต้านเพื่อเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

| | **คำแนะนำ** | **สิ่งที่ควรพิจารณา** |
|---|---|---|
| **การใช้ผ้ารัด** | บริเวณส่วนต้นของรยางค์ร่างกาย | กล้ามเนื้อบริเวณลำตัวจะได้รับประโยชน์จากการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดได้ดีระหว่างการออกกำลังกายโดยใช้หลายข้อต่อ (Multi-joint) |
| **ชนิดของผ้ารัด** | - ผ้ารัดขนาดกว้าง 6 – 13.5 เซนติเมตร เหมาะสำหรับรัดบริเวณขา<br>- ผ้ารัดขนาดกว้าง 3 – 6 เซนติเมตร เหมาะสำหรับรัดบริเวณแขน | การใช้ผ้ารัดชนิด Inflatable และ Elastic knee wraps ได้รับความนิยม |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | คำแนะนำ | สิ่งที่ควรพิจารณา |
|---|---|---|
| **แรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือด** | - ผ้ารัดชนิด Inflatable ควรใช้แรงดันที่ 50 – 80 % เพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือด ในขณะพัก<br>- ผ้ารัดชนิด Elastic wraps ควรให้รู้สึกสบาย แต่ไม่สามารถจำกัดการไหลเวียนเลือดได้ทั้งหมด | - ขนาดรอบรยางค์ที่มีขนาดใหญ่จะใช้แรงดันที่มาก<br>- ความกว้างของผ้ารัดที่มากจะใช้แรงดันในการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่น้อย |
| **การกระตุ้นด้วยการออกกำลังกาย** | - การจำกัดการไหลเวียนเลือดเพียงอย่างเดียว ทำให้มวลและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง<br>- การจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการเดินหรือปั่นจักรยานที่ระดับความหนักปานกลางจะทำให้รักษามวลและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ<br>- การจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ จะทำให้เพิ่มมวลและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ | รูปแบบในการออกกำลังกายควรคำนึงถึงข้อจำกัดและความสามารถของร่างกายเฉพาะบุคคล |
| **รูปแบบการออกกำลังกาย** | ทำให้เกิดประโยชน์ได้ทั้งการออกกกำลังกายโดยใช้ข้อต่อ 1 ข้อต่อ และหลายข้อต่อ | การเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อบริเวณลำตัวจะเกิดจากการฝึกด้วยรูปแบบการเคลื่อนไหวหลายข้อต่อ |
| **ความหนักของการออกกำลังกาย** | ระดับความหนักต่ำ (20-40% 1RM หรือ MVC) | การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับความหนักต่ำ แต่มีจำนวนเซ็ตที่มากจะกระตุ้นการหลั่งสารได้เหมือนกับการฝึกที่ระดับความหนักสูง |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| | **คำแนะนำ** | **สิ่งที่ควรพิจารณา** |
|---|---|---|
| **ปริมาณการฝึก** | 50 – 80 ครั้ง ต่อการออกกำลังกาย (ไม่แนะนำให้ทำต่อเนื่องจนไม่สามารถทำต่อได้) | รูปแบบมาตรฐาน คือ 30-15-15-15 ครั้ง รวมทั้งหมดเป็น 75 ครั้ง |
| **ระยะเวลาการพักระหว่างเซ็ต (Inter-set)** | 30 – 45 วินาที | เพื่อการสะสมของเลือดดำ รวมทั้งควรรักษาระดับในการจำกัดการไหลเวียนเลือดตลอดช่วงระยะเวลาในการพัก |
| **ความถี่ในการฝึก** | - กลุ่มฟื้นฟูร่างกาย กำหนด 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์<br>- กลุ่มนักกีฬา กำหนด 2-4 ครั้งต่อสัปดาห์ | สามารถฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดได้ 2 ครั้งต่อวัน |

ที่มา : (Scott et al., 2015)

แพทเทอร์สันและเฟอร์กูสัน (Patterson & Ferguson, 2010) ได้ศึกษาผลของการฝึกแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด 4 สัปดาห์ต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง กลุ่มตัวอย่างเป็นคนที่ไม่ได้รับการฝึก เพศหญิง อายุ 19-26 ปี จำนวน 16 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้าน 25% 1RM (จำนวน 8 คน) และกลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้าน 50% 1RM (จำนวน 8 คน) ทั้ง 2 กลุ่มการทดลองต้องทำการใส่ผ้ารัดที่ต้นขาเพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ขา 1 ข้าง โดยใส่แรงดัน 110 มิลลิเมตรปรอท และขาอีกข้างคือไม่มีการจำกัดการไหลเวียนเลือด โดยกำหนดให้ออกกำลังกายด้วยท่า Unilateral plantar-flexion เริ่มการฝึกขาข้างที่จำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นลำดับแรก แล้วจึงต่อด้วยขาอีกข้างที่ไม่ได้จำกัดการไหลเวียนเลือด ฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้ง ครั้งละ 3 เซตจำนวนครั้งในแต่ละเซตไม่ได้กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างออกแรงจนไม่สามารถปฏิบัติได้ในแต่ละเซต พักระหว่างเซต 1 นาที ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการไหลเวียนของเลือดในกลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด และการความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่องจะเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้าน 50% 1RM มากกว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้าน 25% 1RM มากไปกว่านั้นการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ 4 สัปดาห์ จะมีผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่องได้

รอสโซว์และคณะ (Rossow et al., 2012) ได้ศึกษาผลฉับพลันของการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน และชนิดของผ้ารัดที่ต่างกันในการจำกัดการ

ไหลเวียนเลือดที่มีผลต่อการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระดับการรับรู้ กลุ่มตัวอย่างเป็นวัยรุ่น อายุ 22-24 ปี จำนวน 27 คน (เพศชาย 13 คน และเพศหญิง 14 คน) โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนใส่ผ้ารัดรอบกล้ามเนื้อต้นขา ทั้งแบบอิลาสติก (Elastic cuff) ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ใส่แรงดัน 40-60 มิลลิเมตรปรอท และแบบไม่ใช่อิลาสติก (Non-elastic cuff) ขนาดกว้าง 13.5 เซนติเมตร ใส่แรงดัน 50 มิลลิเมตรปรอท โดยกำหนดระยะเวลาในการใส่แรงดัน 30 วินาที และทำการปล่อยออก 10 วินาที และจะทำการเพิ่มแรงดัน 20 มิลลิเมตรปรอททุก ๆ รอบของ 30 วินาที จนกระทั่งถึงระดับความดันเป้าหมายที่ 130% ของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Brachial systolic; bSBP) และกำหนดให้ออกกำลังกายด้วยท่า Knee extension ที่ความหนัก 20% 1RM จำนวน 4 เซต จำนวนครั้งต่อเซต ได้แก่ เซตที่ 1 จำนวน 30 ครั้ง พักระหว่างเซต 30 วินาที; เซตที่ 2 จำนวน 15 ครั้ง พักระหว่างเซต 60 วินาที; เซตที่ 3 จำนวน 15 ครั้ง พักระหว่างเซต 30 วินาที; เซตที่ 4 จำนวน 15 ครั้ง ทำการทดสอบวัดความดันโลหิต (Blood pressure; BP) และดัชนีการสูงขึ้นของความดันเลือดแดง (Aortic augmentation index; AIx) ในช่วงก่อนและหลังการใส่ผ้ารัด หลังการฝึกด้วยแรงต้านในเซตที่ 2 และ 4 และภายหลังจากการออกกำลังกาย 5 นาที และ 15 นาที ส่วนระดับของความเมื่อยล้าและการปวดก็จะวัดก่อนออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกายในเซตที่ 2 และ 4 ผลการศึกษา พบว่า ในขณะทำการออกกำลังกายด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเลือด พบว่าความดันโลหิตเพิ่มขึ้น แต่ดัชนีการสูงขึ้นของความดันเลือดแดงจะลดลง และจะกลับสู่ระดับปกติภายใน 15 นาทีภายหลังการออกกำลังกาย ในส่วนของขนาดความกว้างผ้ารัดจะทำให้อัตราการเต้นหัวใจ ความดันโลหิตและระดับความเจ็บปวดเพิ่มขึ้น แต่ดัชนีการสูงขึ้นของความดันเลือดแดงจะลดลงในขณะออกกำลังกาย สรุปผลการศึกษาได้คือ การออกกำลังกายที่ใช้แรงต้านระดับความหนักต่ำร่วมกับการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะไม่ส่งผลฉับพลันทางด้านลบต่อระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด แต่ในขณะที่ขนาดผ้ารัดจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด รวมทั้งระดับการรับรู้ ดังนั้นขนาดผ้ารัดเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

ต่อมาวิลสันและคณะ (Wilson et al., 2013) ได้ศึกษาผลฉับพลันของการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ การบวมและการอักเสบของกล้ามเนื้อ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา เพศชาย จำนวน 12 คน อายุ 18-24 ปี มีประสบการณ์ในการออกกำลังกายด้วยแรงต้านอย่างน้อย 1 ปี โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (Control; wrapped at PP of 0 out of 10) และกลุ่มจำกัดการไหลเวียนเลือด (LI-BFR; wrapped at PP of 7 out of 10) กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนทำ Leg press ที่ระดับความหนัก 30% 1RM จำนวน 4 เซต (30, 15, 15 และ 15 ครั้ง) พักระหว่างเซต 30 วินาที ทำการอัลตราซาวน์วัดความหนาของกล้ามเนื้อก่อนทดลอง หลังใส่ผ้ารัดในทันที (นาทีที่ 0) และหลังจากนำผ้ารัด

ออกในทันที (นาทีที่ 0), นาทีที่ 5 และนาทีที่ 10 ทดสอบวัดการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในเซตที่ 4 ทดสอบวัดระดับแลคเตทในเลือดภายหลังจากนำผ้ารัดออก 1, 5 และ 15 นาที รวมทั้งหลังจากนำผ้ารัดออก 10 นาที ทำการทดสอบ Vertical jump ซึ่งจากการทดลองพบว่า ความหนาของกล้ามเนื้อจะเพิ่มมากขึ้น ในกลุ่ม LI-BFR ขณะที่ใส่ผ้ารัดทันที และ 5 นาทีภายหลังนำผ้ารัดออก รวมทั้งการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านจะช่วยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มควบคุม ขณะที่ระดับแลคเตทในเลือดจะสูงขึ้นภายหลังออกกำลังด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับปานกลาง และพลังสูงสุดในการกระโดด Vertical jump จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการฝึก 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลได้ว่า การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับความหนักปานกลางจะส่งผลให้เพิ่มในการกระบวนการเผาผลาญพลังงาน การบวมของกล้ามเนื้อ และการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยที่ไม่ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บหรือการอักเสบของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้จะช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อเนื่องจากเพิ่มการกระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนและช่วยเพิ่ม Growth Hormone ภายหลังจากการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

ยาซูดะและคณะ (Yasuda et al., 2014) ได้ศึกษาผลของการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำ โดยใช้ Elastic Band ที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ชายสุขภาพดี จำนวน 9 คน อายุระหว่าง 23-41 ปี แบ่งเป็น 2 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขควบคุม (Con; ไม่จำกัดการไหลเวียนเลือด) และเงื่อนไขการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องเข้าร่วมทั้ง 2 เงื่อนไข โดยให้ออกกำลังกายด้วยท่า Triceps Extension และ Biceps Flexion จำนวน 4 เซต (เซตที่ 1 จำนวน 30 ครั้ง และเซตที่ 2-4 จำนวน 15 ครั้ง) พักระหว่างเซต 30 วินาที และพักระหว่างท่าออกกำลังกาย 30 วินาที ทั้งนี้ในกลุ่ม BFR ขณะทำการออกกำลังกายจะใส่แรงดัน 170 – 260 มิลลิเมตรปรอท ที่ส่วนต้นของแขนทั้ง 2 ข้าง ทำการทดสอบวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Biceps brachii และกล้ามเนื้อ Triceps brachii และวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนและหลังการออกกำลังกาย ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า กลุ่ม BFR มีระดับแลคเตทในเลือดที่ระดับสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างออกกำลังกายท่า Triceps Extension พบว่า กลุ่ม BFR จะมีการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Triceps brachii มากที่สุดในเซตสุดท้ายของการออกกำลังกาย และการออกกำลังกายท่า Biceps Flexion จะมีการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Biceps brachii มากที่สุดในเซตที่สองของการออกกำลังกาย จึงสรุปได้ว่า การฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักระดับต่ำ จะส่งผลให้เพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ

บรีห์รินเกอร์และคณะ (Behringer et al., 2017) ได้ศึกษาผลของการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่บริเวณกล้ามเนื้อขาด้วยการวิ่งสปรินท์ที่ระยะ 100 เมตร กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬา

เพศชาย จำนวน 24 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด (จำนวน 12 คน) และกลุ่มควบคุม (ไม่ได้ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด จำนวน 12 คน) โดยให้ทั้งสองกลุ่มทำการฝึกวิ่ง 100 เมตร ที่ระดับ 60-70% ของความเร็วสูงสุด จำนวน 6 รอบ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทั้งนี้ในกลุ่มที่จำกัดการไหลเวียนเลือดจะใช้ Elastic knee ที่ระดับปานกลาง พันบริเวณต้นขา พบว่า ความเร็วในการวิ่ง 100 เมตร ในกลุ่มที่จำกัดการไหลเวียนเลือดจะลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งสารชีวเคมีที่แสดงถึงการอักเสบของกล้ามเนื้อ h-FABP จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มควบคุมมากกว่ากลุ่มฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด ดังนั้นการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะช่วยเพิ่มความเร็วในการวิ่ง ลดระดับการอักเสบของกล้ามเนื้อ และเพิ่มความหนาของกล้ามเนื้อ Rectus femoris รวมทั้งช่วยพัฒนาอัตราในการสร้างแรงได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนี้เลินเนะเกะและคณะ (Loenneke et al., 2017) ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อความหนาของกล้ามเนื้อ และระดับแลคเตทในเลือด โดยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 คน เป็นเพศชายที่มีกิจกรรมทางกายสม่ำเสมอ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม โดยวิธีการสุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มจะได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ความหนักของแรงต้าน และปริมาณของการออกกำลังกายที่แตกต่างกัน ทำการทดสอบวัดความหนาของกล้ามเนื้อ และระดับแลคเตทในเลือดก่อนและหลังการทดลอง ผลการทดลองพบว่า การออกกำลังกายที่ระดับความหนักของแรงต้าน 30% 1RM ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะส่งผลให้ความหนาของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นมากที่สุด ขณะที่ระดับความหนักของแรงต้านที่ 20% 1RM และ 30% 1RM จะพบการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับแลคเตทในเลือด รวมทั้งที่ระดับความหนักของแรงต้าน 30% 1RM ควบคู่กับการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะมีผลฉับพลันของความหนาของกล้ามเนื้อและระดับแลคเตทในเลือดที่ใกล้เคียงกับระดับความหนักของแรงต้านที่ 70% 1RM และ 20% และ 30% จนถึงความหนักที่ไม่สามารถออกกำลังต่อได้ ในปริมาณของการออกกำลังกายต่ำ จึงสรุปได้ว่า การจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับปานกลาง (40% ของการจำกัดการไหลเวียนเลือดทั้งหมด) ร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้าน Knee extension ที่ระดับความหนัก 30% 1RMจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนาของกล้ามเนื้อและระดับแลคเตทในเลือดมากที่สุด แต่ที่ระดับ 50% และ 60% ของการจำกัดการไหลเวียนเลือดทั้งหมด จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับแลคเตทในเลือดและความหนาของกล้ามเนื้อ

แบคเกอริและคณะ (Bagheri et al., 2018) ได้ทำการศึกษาผลการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่ออัตราส่วนของโปรตีน Follistatin ต่อ Myostatin องค์ประกอบของร่างกายและพลังการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วโดยไม่ใช้ออกซิเจนในนักกีฬาวอลเลย์บอล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอล อายุ 20-25 ปี จำนวน 18 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มที่ฝึก

ด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFRT; n=9) และกลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านเพียงอย่างเดียว (WBFRT; n=9) ทั้งนี้ในกลุ่ม BFRT จะใส่แรงดันที่ 160 มิลลิเมตรปรอท และทำการเพิ่มแรงดัน 10 มิลลิเมตรปรอท ในทุก ๆ สัปดาห์ จนกระทั่งแรงดันถึง 240 มิลลิเมตรปรอท โดยกลุ่มตัวอย่างต้องเข้ารับการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ กำหนดให้ออกกำลังกายจำนวน 3 เซต เซตละ 15 ครั้ง พักระหว่างเซต 30 วินาที รวมทั้งทำการเพิ่มจำนวน 1 เซต ทุก ๆ 2 สัปดาห์ จนกระทั่งเพิ่มถึง 6 เซต และในช่วงสัปดาห์ที่ 1-4 กำหนดความหนัก 20% 1RM และในช่วงสัปดาห์ที่ 5-8 กำหนดความหนัก 30% 1RM ท่าการออกกำลังกายประกอบด้วย Barbell squat, Leg extension, Leg curl และ Dumbbell lunges ทำการทดสอบวัดระดับความเข้มข้นของ Follistatin และ Myostatin องค์ประกอบของร่างกาย และพลังการหดตัวของกล้ามเนื้อ เปรียบก่อนและหลังการฝึกตามโปรแกรมดังกล่าว ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองคือ กลุ่ม ระดับของ Follistatin จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มที่ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะมีระดับของ Follistatin ที่สูงกว่า ส่วนระดับของ Myostatin จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มที่ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะมีระดับของ Myostatin ที่สูงกว่า ทำให้อัตราส่วนระหว่าง Follistatin ต่อ Myostatin จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งกลุ่มที่ฝึกและไม่ฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด และพลังแบบแอนแอโรบิกจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 2 กลุ่ม ดังนั้นสรุปผลการทดลองได้ว่า การจำกัดการไหลเวียนเลือดอาจส่งผลให้เกิดการเป็นหนี้ออกซิเจน (Oxygen debt) รวมทั้งกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน และการกระตุ้นการทำงานของ mTOR Pathway ที่ทำหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์ในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีขนาดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนครั้งให้มากขึ้น และการฝึกการจำกัดการไหลเวียนที่ระดับความหนักสูง จะส่งผลให้กล้ามเนื้อมีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้พลังแบบแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นด้วย

นอกจากนี้มิลเลอร์และคณะ (Miller et al., 2018) ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration; WBV) และการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximal voluntary contraction; MVC) ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction; BFR) มีกลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายที่มีกิจกรรมทางกายสม่ำเสมอ จำนวน 20 คน อายุ 19-24 ปี โดยกลุ่มตัวอย่างต้องเข้าร่วมทั้งหมด 3 เงื่อนไข ด้วยวิธีการสุ่ม แบ่งเงื่อนไขดังนี้ เงื่อนไขที่ 1 CON (Control) เงื่อนไขที่ 2 WBV และ WBV + BFR และเงื่อนไขที่ 3 MVC และ MVC + BFR ทำการทดสอบ Countermovement Jump จำนวน 3 ครั้ง เพื่อวัดความสูงและพลังของการกระโดดก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข ซึ่งกำหนดความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย 40 เฮิรตซ์ และกำหนดความดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือด 160 มิลลิเมตรปรอท ผลที่ได้จากการศึกษา พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความสูงในการกระโดดระหว่างการทดสอบก่อนและหลังของเงื่อนไข WBV เงื่อนไข WBV + BFR และเงื่อนไข MVC + BFR แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าพลังการกระโดด จึงสามารถสรุปได้ว่า การกระตุ้นด้วยการ

สั่นสะเทือนทั้งร่างกายเพียงอย่างเดียว การกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด และการกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหดตัวสูงสุดร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะพัฒนาความสูงในการกระโดด รวมทั้งระยะเวลาการลอยตัวในอากาศได้

ไคและคณะ (Cai et al., 2018) ที่ได้ทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนในร่างกาย มีกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ใหญ่สุขภาพดี เพศชาย จำนวน 8 คน (ออกกำลังกายไม่สม่ำเสมอ) โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องเข้าร่วมการทดลอง 2 เงื่อนไข คือ กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายเพียงอย่างเดียว (WBV) และกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ทั้งนี้กำหนดให้ออกกำลังกายด้วยการสควอทค้างไว้ครั้งละ 1 นาที และพักระหว่างครั้ง 1 นาที จำนวน 10 ครั้ง และกำหนดค่าความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือน 26 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร ส่วนการจำกัดการไหลเวียนเลือดใส่แรงดันที่กล้ามเนื้อต้นขาในจังหวะยืน 140 มิลลิเมตรปรอท และจังหวะสควอท 180 มิลลิเมตรปรอท ทดสอบการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Rectus femoris, Biceps femoris และ Vastus lateralis รวมทั้งทำการเจาะเลือดที่บริเวณปลายนิ้วชี้ในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที (0 นาที) 15 นาที และ 30 นาที พบว่า ระดับคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ของกลุ่มกล้ามเนื้อ rectus femoris และ vastus lateralis จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่ทำ WBV+BFR มากกว่ากลุ่ม WBV นอกจากนี้ระดับแลคเตทในเลือดจะเพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกายทันทีในทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกลุ่ม WBV+BFR จะเพิ่มขึ้นมากที่สุด ส่วนระดับ Growth hormone จะเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในกลุ่มของ WBV+BFR และไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของฮอร์โมนเทสโทสเทอโรนในทั้ง 2 กลุ่ม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การนำรูปแบบการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมากระตุ้นร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะส่งผลให้ระดับของแลคเตทและ Growth hormone เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อกล้ามเนื้อมีการหดตัวจะทำให้เกิดการสะสมของ metabolite ภายในกล้ามเนื้อ รวมทั้งสภาวะของกล้ามเนื้อที่มีระดับของออกซิเจนที่น้อย ส่งผลให้มีการสะสมของกรดแลคติก และนำไปสู่การเพิ่มระดับของ Growth hormone

เซนต์เนอร์และคณะ (Centner et al., 2019) ได้ทำการศึกษาเพื่อดูผลฉับพลันของการจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและการสะสมของสาร metabolic กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ชายที่มีกิจกรรมทางกายสม่ำเสมอ จำนวน 15 คน อายุ 21-28 ปี แบ่งเป็น 3 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขควบคุม (CON) เงื่อนไขการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) และเงื่อนไขการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) โดยกลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องเข้ารับการทดลองทุกเงื่อนไข สำหรับเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย กำหนดความถี่ 30 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร ส่วนการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะแรงดันเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 140 มิลลิเมตรปรอท โดยให้ออกกำลังกายในท่าสควอท ข้อเข่าทำมุม 120 องศา สควอทเซ

ตละ 120 วินาที จำนวน 3 เซต และพักระหว่างเซต 60 วินาที ทำการทดสอบวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Soleus, Gastrocnemius medialis, Tibialis anterior, Rectus femoris, Vastus medialis และ Vastus lateralis รวมทั้งสาร metabolic ในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันทีและ 15 นาที ผลการทดลองพบว่า การทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในเซต 3 ของกลุ่ม WBV+BFR จะเพิ่มมากขึ้นในทุกกลุ่มกล้ามเนื้อ ยกเว้นกล้ามเนื้อ Tibialis anterior ส่วนระดับของระดับแลคเตทในเลือดจะมีการเปลี่ยนแปลงภายหลังออกกำลังกายในทุกกลุ่ม แต่กลุ่ม BFR+WBV มีระดับแลคเตทในเลือดสูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างระดับแลคเตทกับการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Vastus lateralis และ Vastus medialis ดังนั้นจึงสรุปการศึกษาได้ว่า การจำกัดการไหลเวียนเลือดร่วมกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมีผลฉับพลันต่อการกระตุ้นระบบประสาทกล้ามเนื้อและการปรับตัวของสาร metabolic ต่าง ๆ

**3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ**

**3.1 งานวิจัยในประเทศ**

ชำนาญ ชินสีห์ (2545) ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์กลไกการเคลื่อนไหวทักษะการกระโดดสกัดกั้นสองมิติของข้อสะโพก ข้อเข่าและข้อเท้า คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและกล้ามเนื้อน่อง รวมทั้งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักกีฬาวอลเลย์บอล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลชาย ทีมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 14 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามความสูงที่กระโดดได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่กระโดดสกัดกั้นได้สูงกับกลุ่มที่กระโดดสกัดกั้นได้ต่ำ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ความสูงที่กระโดดได้ในกลุ่มที่กระโดดสกัดกั้นได้สูง คือ 73 ± 3.10 เซนติเมตร ส่วนกลุ่มที่กระโดดสกัดกั้นได้ต่ำ คือ 60.57 ± 5.50 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยมุมของข้อต่อขณะย่อตัวต่ำสุดก่อนการกระโดดสกัดกั้น ดังนี้ มุมข้อสะโพก 85.85 ± 3.48 องศา มุมข้อเข่า 93.85 ± 4.67 องศา และมุมข้อเท้า 94.14 ± 5.08 องศา และความสัมพันธ์ของการเคลื่อนไหวสองมิติของข้อต่อ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและกล้ามเนื้อน่องรวมทั้งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความสูงที่กระโดดสกัดกั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเชิงสถิติ ดังนั้นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้นักกีฬาวอลเลย์บอลสามารถกระโดดสกัดกั้นได้สูง คือ ความสูง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และมุมของข้อต่อขณะย่อตัวต่ำสุดก่อนการกระโดดสกัดกั้น

วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และ ถาวร กมุทศรี (2557) ได้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกระโดดระหว่างนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงทีมชาติไทยและยุวชนทีมชาติไทย ทำการทดสอบ Squat Jump และ Countermovement Jump กลุ่มตัวอย่างจำนวน 21 คน เป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงทีมชาติไทย 11 คน และนักกีฬาวอลเลย์บอลยุวชนทีมชาติไทย 10 คน โดยทำการทดสอบบนแผ่นวัดแรง และใช้โปรแกรม SMART Capture และ SMART Analyzer กำหนดท่าเริ่มต้นของ Squat

Jump คือ นักกีฬายืนย่อเข่า โดยให้ต้นขาขนานกับพื้น ส่วนท่าเริ่มต้นของ Countermovement Jump คือ นักกีฬายืนตรง มือจับเอวเพื่อป้องกันมือช่วยเหวี่ยงในจังหวะการกระโดด ผลการทดสอบพบว่า นักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงทีมชาติไทยมีกำลังขาขวาที่มากกว่านักกีฬาวอลเลย์บอลยุวชนทีมชาติไทย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 2 ท่าการกระโดด และไม่พบความแตกต่างของกำลังขาระหว่างขาทั้ง 2 ข้าง ของนักกีฬาในแต่ละกลุ่ม จึงสามารถสรุปการทดลองได้ว่า กลุ่มนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิงทีมชาติไทยมีกำลังของขาขวาที่มากกว่า แต่ในส่วนของอัตราการพัฒนาแรงและความสูงในการกระโดดมีความใกล้เคียงกันของทั้ง 2 กลุ่ม ดังนั้น ในกลุ่มนักกีฬาวอลเลย์บอลยุวชน ควรมีโปรแกรมการฝึกในการสร้างความเร็วเพิ่มด้วย

ธนาวรรณ นุ่นจันทร์ (2560) ทำการศึกษาผลการฝึกเสริมด้วยโปรแกรมการประสานงานของตาและเท้าที่มีต่อความเร็วในการเคลื่อนที่สู่ตำแหน่งการกระโดดสกัดกั้นในนักกีฬาวอลเลย์บอลเยาวชน โดยมีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน เป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ระดับเยาวชน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (15 คน) ฝึกตามโปรแกรมการฝึกซ้อมปกติในแต่ละวัน และกลุ่มทดลอง (15 คน) ฝึกตามโปรแกรมการฝึกซ้อมปกติและเพิ่มการฝึกเสริมการประสานงานของตาและเท้า 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่สู่ตำแหน่งการกระโดดสกัดกั้นในช่วงก่อนและหลังการทดลอง ซึ่งผลการวิจัย พบว่า เวลาปฏิกิริยา (Reaction Time) และเวลาตอบสนอง (Response Time) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มทดลองมากกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนเวลาเคลื่อนไหว (Movement Time) ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง จึงสรุปผลการวิจัย ได้ว่า การฝึกเสริมด้วยโปรแกรมการประสานงานของตาและเท้า จะช่วยพัฒนาเวลาปฏิกิริยา (Reaction Time) และเวลาตอบสนอง (Response Time) ในการเคลื่อนที่สู่ตำแหน่งการกระโดดสกัดกั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**3.2 งานวิจัยในต่างประเทศ**

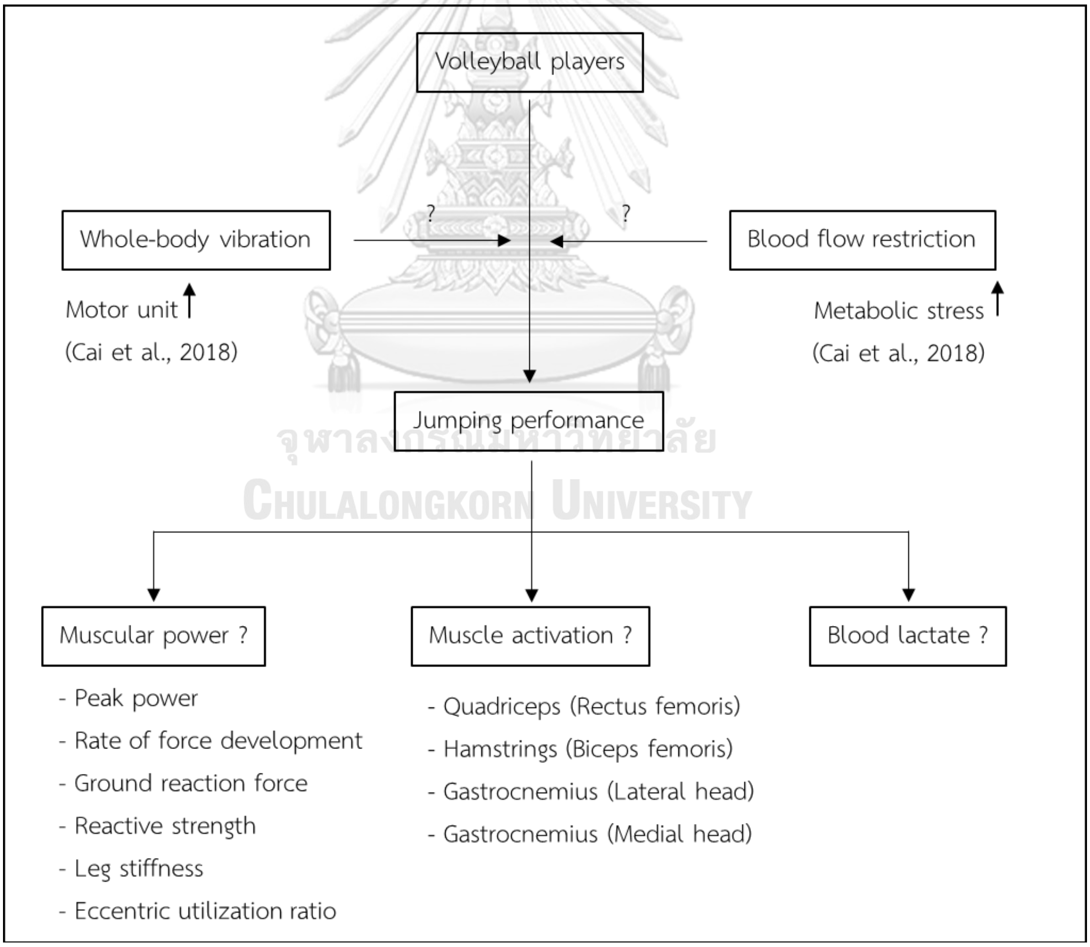
คิปป์และคณะ (Kipp et al., 2016) ทำการศึกษาความเหมาะสมของการใช้ดัชนีการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงในการคำนวณพลังระเบิดของรยางค์ส่วนล่างของร่างกาย (ขา) มีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอลระดับมหาวิทยาลัย เพศหญิง จำนวน 15 คน โดยทำการทดสอบกระโดด Countermovement Jump 3 ครั้งบนแผ่นวัดแรง พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 20-30 วินาที การวิเคราะห์ใช้โปรแกรม Matlab แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นจะสามารถวัดได้ระหว่างการกระโดดบนแผ่นวัดแรง ซึ่งสามารถใช้คำนวณความสูงของการกระโดด เวลาที่ใช้ในจังหวะเริ่มกระโดด เวลาในการเกิดแรงสูงสุด แรงสูงสุด อัตราการสร้างแรงสูงสุด และพลังสูงสุด ส่วนดัชนีการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงจะถูกคำนวณโดยใช้อัตราส่วนระหว่างความสูงของการกระโดดและระยะเวลาที่ใช้ในจังหวะเริ่มกระโดด โดยทำการแบ่งตัวแปรเป็น 2 ปัจจัย คือปัจจัยจากแรง และปัจจัย

จากความเร็ว ซึ่งตัวแปรดัชนีการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงจะถูกเลือกให้อยู่ในทั้ง 2 ปัจจัย จึงพบว่า ดัชนีการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงจะมีองค์ประกอบของทั้งแรงและความเร็วสูงสุด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการทดสอบ Countermovement Jump เกิดจากการรวมกันของแรงและความเร็ว ของรยางค์ส่วนล่างของร่างกาย ดังนั้นดัชนีการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงจึงเป็นตัวแปรที่เหมาะสมในการใช้วัดแรงระเบิดของรยางค์ส่วนล่าง

แมคมาฮอนและคณะ (McMahon et al., 2016) ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงระดับการเกร็งของกล้ามเนื้อขาในจังหวะกล้ามเนื้อเหยียดยาวออก (Eccentric) ที่มีต่อความสัมพันธ์ของแรงและความเร็วในจังหวะกล้ามเนื้อหดตัวสั้นลง (Concentric) ของการทดสอบ Countermovement Jump มีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน กำหนดรูปแบบการทดสอบ Countermovement Jump 3 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 Preferred (Squat โดยย่อเข่าในระดับที่ตนเองถนัด) แบบที่ 2 Compliant (Squat โดยย่อเข่าให้มากกว่าระดับที่ตนเองถนัด) และแบบที่ 3 Stiff (Squat โดยย่อเข่าให้น้อยกว่าระดับที่ตนเองถนัด) โดยทำการทดสอบ Countermovement Jump 3 ครั้งต่อรูปแบบบนแผ่นวัดแรง ระดับการเกร็งของกล้ามเนื้อขาถูกคำนวณมาจากอัตราส่วนของแรงสูงสุด (Peak Force) และระยะกระจัดของจุดศูนย์กลางมวล (COM) ในจังหวะกล้ามเนื้อเหยียดยาวออก (Eccentric) ของการทดสอบ Countermovement Jump โดยพบว่า ระดับการเกร็งของกล้ามเนื้อขา มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่าง 3 รูปแบบ เนื่องจากมีความแตกต่างของค่าแรงสูงสุดและระยะกระจัดของจุดศูนย์กลางมวล (COM) ระหว่างการกระโดดแต่ละรูปแบบ ซึ่งรูปแบบ Stiff มีค่าแรงสูงสุดและแรงที่จุดพลังสูงสุดของจังหวะกล้ามเนื้อหดตัวสั้นลง (Concentric) ที่มากสุด แต่รูปแบบ compliant มีค่าความเร็วสูงสุดและความเร็วที่จุดพลังสูงสุดของจังหวะกล้ามเนื้อหดตัวสั้นลง (Concentric) ที่มากสุด และในส่วนพื้นที่ใต้กราฟระหว่างความสัมพันธ์ของแรงและความเร็ว โดยค่าของพื้นที่ใต้กราฟที่มีค่ามากสุดคือ รูปแบบ stiff แต่ไม่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 รูปแบบ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นและการลดลงของระดับการเกร็งกล้ามเนื้อขาในจังหวะกล้ามเนื้อเหยียดยาวออก (Eccentric) ระหว่างการทำ Countermovement Jump ที่มีการเปลี่ยนแปลงพลังในจังหวะกล้ามเนื้อหดสั้นลง (Concentric) จะนำไปสู่การเกิดความสัมพันธ์ระหว่างความแรงและความเร็ว

**กรอบแนวความคิดในการวิจัย**

กีฬาวอลเลย์บอลเป็นกีฬาที่มีระดับความหนักค่อนข้างสูง ซึ่งอาศัยพลังงานจากระบบฟอสฟาเจนและระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการปฏิบัติทักษะการกระโดด เช่น กระโดดเสิร์ฟ กระโดดตบ และกระโดดบล็อก เป็นต้น โดยรูปแบบการฝึกในกีฬาวอลเลย์บอลที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันทั้งการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration) ที่ช่วยกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อส่งผลให้กล้ามเนื้อหดตัวได้เร็วและแรงขึ้น รวมทั้งการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction) ทำให้มีการระดมหน่วยยนต์ส่งผลต่อพลังในการทำงานของกล้ามเนื้อ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate) และความสามารถในการกระโดด (Jumping performance) ในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง ดังรูปที่ 10




**รูปที่ 10** กรอบแนวความคิดในการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือด และความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มตัวอย่างและวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. รูปแบบของการวิจัย
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

## กลุ่มตัวอย่างและวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

### ประชากร

นักกีฬาวอลเลย์บอล ระดับมหาวิทยาลัย

### กลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬาวอลเลย์บอล เพศหญิง อายุระหว่าง 18 – 25 ปี จากนักกีฬาวอลเลย์บอลระดับมหาวิทยาลัยที่ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยคำนวณกลุ่มตัวอย่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาของไคและคณะ (Cai et al., 2018) กำหนดให้อำนาจการทดสอบ ($1-\beta$) = 0.8 ระดับความมีนัยสำคัญ ($\alpha$) = 0.05 ขนาดอิทธิพล (d) = 1.0 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน และเพื่อป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้เพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างอีก 20% ดังนั้นจะได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 14 คน (ภาคผนวก ก) อย่างไรก็ตามในระหว่างการทดลองมีผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ขอถอนตัวจากการวิจัยจำนวน 2 คน เนื่องจากผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ครบทั้ง 4 เงื่อนไข ดังนั้นจึงเหลือจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 12 คน

### เกณฑ์ในการคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัย (Inclusion Criteria)

1. เป็นนักกีฬาวอลเลย์บอล เพศหญิง อายุระหว่าง 18 – 25 ปี
2. มีประสบการณ์ในการเล่น/แข่งขันกีฬาวอลเลย์บอลในระดับมหาวิทยาลัย อย่างน้อย 1 ปี
3. มีการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอ (5 วัน/สัปดาห์) ในช่วง 6 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัยนี้
4. ไม่มีประวัติการบาดเจ็บเรื้อรังจากโรคทางกระดูกกล้ามเนื้อ 3 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัยนี้

5. มีค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index; BMI) 18.5 – 22.9 kg/$m^2$ ตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก (Organization)

6. ไม่เป็นโรคความดันโลหิตสูง (Hypertension; ความดันโลหิตมากกว่า 140/90 มิลลิเมตรปรอท) และไม่เป็นโรคความดันโลหิตต่ำ (Hypotension; ความดันโลหิตต่ำกว่า 90/60 มิลลิเมตรปรอท) (Carey & Whelton, 2018)

7. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

**เกณฑ์ในการคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย (Exclusion Criteria)**

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดการบาดเจ็บจนเป็นอุปสรรคต่อการวิจัย

2. ผู้ร่วมวิจัยเข้าร่วมการวิจัยไม่ครบทั้ง 4 เงื่อนไข

3. ผู้วิจัยไม่สมัครใจทำการวิจัยต่อ

**วิธีการได้มาและการเข้าถึงผู้เข้าร่วมวิจัย**

ผู้วิจัยติดต่อหัวหน้าผู้ฝึกสอนชมรมกีฬาวอลเลย์บอลของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ และขออนุญาตประชาสัมพันธ์โดยการติดแผ่นประชาสัมพันธ์ที่ชมรมวอลเลย์บอลของมหาวิทยาลัย เพื่อรับสมัครนักกีฬาวอลเลย์บอลที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย จากนั้นทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์การคัดเข้า

**วิธีการพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและการจัดการกับความเสี่ยง**

ผู้วิจัยจะแนะนำตัวแก่ผู้ร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะอธิบายถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยกระบวนการขั้นตอนการวิจัยและชี้แจงให้ทราบว่าผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถตอบรับหรือปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะโดยไม่ต้องให้เหตุผล ไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ และไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อผู้เข้าร่วมวิจัย ข้อมูลทุกอย่างจะถูกเก็บเป็นความลับและนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะขอให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยลงชื่อในใบยินยอมเข้ารับการวิจัย ทั้งนี้ผู้วิจัยจะเป็นผู้ควบคุมการทดลองด้วยตนเองและดำเนินการทดลองในห้องที่เป็นสัดส่วน โดยดำเนินการเป็นรายบุคคล หากผู้เข้าร่วมการวิจัยเกิดอาการบาดเจ็บ ผู้วิจัยจะหยุดการทดลองทันทีและสังเกตอาการพร้อมนำส่งโรงพยาบาลทันที เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้ว ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัยรวมทั้งภาพการเคลื่อนไหวทั้งหมดจะถูกทำลายทันที

**รูปแบบของการวิจัย**

ในการวิจัยนี้จะใช้รูปแบบ Randomized crossover design โดยผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนจะได้รับการทดลองครบทั้ง 4 เงื่อนไข

**- เงื่อนไขที่ 1 ควบคุม (CON)** (ภาคผนวก จ) ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (ไม่มีการเปิดการทำงานของเครื่อง) (รูปที่ 11)

**- เงื่อนไขที่ 2 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration; WBV)** (ภาคผนวก ฉ) และทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย โดยกำหนดความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ และแอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร (รูปที่ 12)

**- เงื่อนไขที่ 3 การจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction; BFR)** (ภาคผนวก ช) และทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ไม่มีการเปิดการทำงานของเครื่อง) ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้ผ้า (Cuffs) ยี่ห้อ Hokanson พันรอบบริเวณต้นขาทั้ง 2 ข้าง ทำการบีบแรงดันเพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับ 140 มิลลิเมตรปรอท โดยใช้เวลาบีบแรงดันประมาณ 10 วินาที (รูปที่ 13)

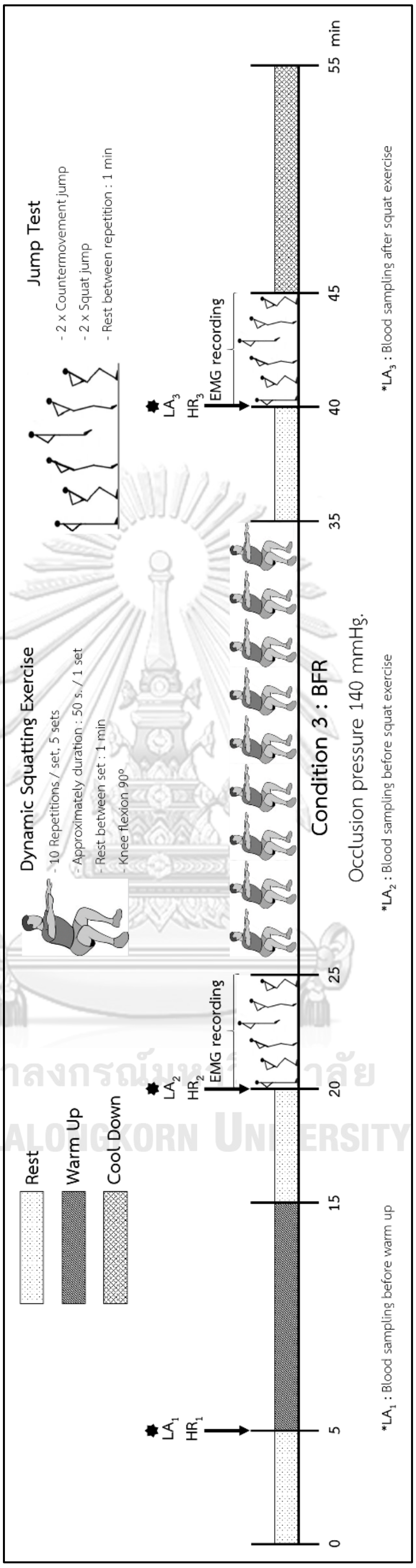
**- เงื่อนไขที่ 4 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR)** (ภาคผนวก ซ) และทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่กำหนดความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ และแอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้ผ้า (Cuffs) ยี่ห้อ Hokanson พันรอบบริเวณต้นขาทั้ง 2 ข้าง ทำการบีบแรงดันเพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับ 140 มิลลิเมตรปรอท โดยใช้เวลาบีบแรงดันประมาณ 10 วินาที (รูปที่ 14)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**รูปที่ 11** เงื่อนไขที่ 1: ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (CON)

**รูปที่ 12** เงื่อนไขที่ 2: การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV)




จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**รูปที่ 13** เงื่อนไขที่ 3: การจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR)

**รูปที่ 14** เงื่อนไขที่ 4: การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

1. เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-Body Vibration) รุ่น Power plate Pro5 Silver. บริษัท Power plate International Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาคผนวก ฎ)

2. Rapid Version Cuffs รุ่น SC12D$^{TM}$ ขนาด 13 x 85 cm บริษัท Hokanson. ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้สำหรับพันรอบบริเวณกล้ามเนื้อต้นขา เพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือด

3. Aneroid Sphygmomanometer รุ่น DS400 บริษัท Hokanson. ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้สำหรับแสดงแรงดัน (มิลลิเมตรปรอท) เมื่อทำการบีบแรงดันเพื่อจำกัดการไหลเวียนเลือด

4. เครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) รุ่น Wave Plus Wireless EMG ยี่ห้อ Cometa ประเทศอิตาลี

5. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแลคเตทในเลือด (Lactate Analyzer) ยี่ห้อ Lactate Scout plus

6. ชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Qualisys motion capture system) ประกอบด้วยกล้องจับภาพการเคลื่อนไหว รุ่น Oqus 7 + Series จำนวน 8 ตัว และกล้องวิดีโอความเร็วสูง รุ่น Oqus 210c จำนวน 1 ตัว ยี่ห้อ Qualisys บริษัท Qualisys Medical AB ประเทศสวีเดน ใช้ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการกระโดด

7. อิเล็กโทรดติดบนผิวหนัง (Surface Electromyography)

8. แผ่นวิเคราะห์ปริมาณแลคเตทในเลือด (Strips)

9. แผ่นวัดแรงปฏิกิริยา (Force Plate) ขนาด 90 x 90 ซม.

10. มาร์กเกอร์สะท้อนแสง (Retro Reflective marker)

11. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) รุ่น ioi 353 ยี่ห้ออินบอดี้ (In body) ประเทศเกาหลีใต้ ใช้ในการเก็บข้อมูลด้านสรีรวิทยาพื้นฐาน เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีมวลกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

12. เครื่องวัดความดันโลหิต (Digital blood pressure) ยี่ห้อออมรอน (Omron) ประเทศญี่ปุ่น

13. นาฬิกาจับเวลา

14. Goniometer

15. สำลีและแอลกอฮอล์

16. ถุงมือยาง

17. แบบบันทึกข้อมูลการทดลอง

**ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล**

**ขั้นตอนที่ 1 เตรียมการก่อนการทดลอง**

1. ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี บทความ เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งรายละเอียดวิธีการใช้เครื่องมือและรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะของเครื่องมือทั้งในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

2. กำหนดเงื่อนไขการทดลองโดยใช้การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด

3. ทำการศึกษานำร่องก่อนการวิจัย (Pilot study) เพื่อทดสอบเงื่อนไขการทดลองแต่ละเงื่อนไข และทดสอบวิธีการใช้เครื่องมือวัดตัวแปรต่าง ๆ กับกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างที่จะดำเนินการวิจัย

4. นำรูปแบบการทดลองแต่ละเงื่อนไขในนักกีฬาวอลเลย์บอลไปพิจารณาตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา หรือเป็นผู้ฝึกสอนกีฬาวอลเลย์บอลทีมชาติไทยหรือระดับเยาวชน หรือเป็นอาจารย์ประจำมหาวิทยาลัย มีความชำนาญด้านการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา เพื่อหาความสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ (Item Objective Congruence; IOC) โดยกำหนดค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป ซึ่งผลจากการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ได้ค่า IOC เท่ากับ 0.93 (ภาคผนวก ฐ)

5. นำเสนอโครงการวิจัยเพื่อเข้ารับการพิจารณาทางจริยธรรมจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ดำเนินการติดต่อทำหนังสือจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อขอความอนุเคราะห์ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาหรือหัวหน้าผู้ฝึกสอนชมรมวอลเลย์บอลของมหาวิทยาลัย เพื่อขอตัวนักกีฬาวอลเลย์บอล เพศหญิง มาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

7. ดำเนินการติดต่อขอใช้สถานที่และยืมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยใช้ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นสถานที่ในการทดลองและเก็บข้อมูล

8. ผู้วิจัยทำการอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และขั้นตอนการปฏิบัติอย่างละเอียดกับผู้ช่วยวิจัย 2 คน เพื่อให้รับทราบและเข้าใจตรงกัน

9. คัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยตามข้อกำหนดเกณฑ์คัดเข้าและคัดออกจากการศึกษา โดยผู้เข้าร่วมวิจัยต้องตอบแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป แบบคัดกรองสำหรับการเข้าร่วมวิจัยด้วยตนเอง รวมทั้งทำการวัดอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ความดันโลหิต และมวลไขมันในร่างกาย ทั้งนี้ผู้ควบคุมการคัดกรองทำโดยผู้วิจัย ณ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้เวลาประมาณ 30 นาที

10. ผู้วิจัยทำการอธิบายเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ การดำเนินงานวิจัย และขั้นตอนการปฏิบัติก่อนการทดลองจริงแก่กลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งลงนามยินยอมในหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

11. การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอล อายุ 18-25 ปี เพศหญิง ทั้งหมด 14 คน จะเข้ารับเงื่อนไขการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด ซึ่งดัดแปลงมาจากโปรแกรมของ Cai และคณะ (Cai et al., 2018) ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 จำนวน 4 คน กลุ่มที่ 2 จำนวน 4 คน กลุ่มที่ 3 จำนวน 3 คน และกลุ่มที่ 4 จำนวน 3 คน ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) เป็นแบบวิธีการจับฉลาก โดยแต่ละลำดับจะทำตามการถ่วงดุลลำดับ (Counterbalancing) ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** แสดงวิธีการถ่วงดุลลำดับของกลุ่มตัวอย่าง

| **กลุ่มตัวอย่าง** | **การทดลองครั้งที่ 1** | **การทดลองครั้งที่ 2** | **การทดลองครั้งที่ 3** | **การทดลองครั้งที่ 4** |
|---|---|---|---|---|
| **กลุ่มที่ 1** (4 คน) | CON | WBV | BFR | WBV+BFR |
| **กลุ่มที่ 2** (4 คน) | WBV+BFR | CON | WBV | BFR |
| **กลุ่มที่ 3** (3 คน) | BFR | WBV+BFR | CON | WBV |
| **กลุ่มที่ 4** (3 คน) | WBV | BFR | WBV+BFR | CON |

**หมายเหตุ :**

- เงื่อนไขที่ 1 (CON) ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่แต่ไม่มีการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด
- เงื่อนไขที่ 2 (WBV) ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย
- เงื่อนไขที่ 3 (BFR) ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ และการจำกัดการไหลเวียนเลือด
- เงื่อนไขที่ 4 (WBV+BFR) ทำการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

กลุ่มตัวอย่างทุกคน ปฏิบัติการทดลองทั้ง 4 เงื่อนไขโดยใช้การสุ่มแบบถ่วงดุลลำดับ (Counterbalance) การทดลองแต่ละเงื่อนไข เว้นระยะห่าง 1 สัปดาห์ โดยจะทดลองในช่วงวันและเวลาเดียวกันของสัปดาห์

12. ผู้วิจัยปฐมนิเทศให้กับกลุ่มตัวอย่างทราบและเข้าใจเกี่ยวกับจุดมุ่งหมาย วิธีการฝึก กำหนดการของวันและเวลาในการวิจัย รวมทั้งเก็บข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกาย ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) รุ่น ioi 353

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ขั้นตอนที่ 2 การเก็บข้อมูลการทดลองในแต่ละเงื่อนไข**

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะเข้าร่วมการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ จุฬาพัฒน์ 10 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ทำความสะอาดผิวหนังของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์เช็ด และติดตัวรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electrode) บนตำแหน่ง Motor points ของกลุ่มกล้ามเนื้อเป้าหมาย จำนวน 3 มัด ได้แก่ กล้ามเนื้อเรกตัส ฟีเมอริส (Rectus femoris) กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ ฟีเมอริส (Biceps femoris) และกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Gastrocnemius) บนขาทั้ง 2 ข้าง (ภาคผนวก ข) และติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่จุดกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum) (ภาคผนวก ค)

2. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที

3. ทำการวัดความพร้อมขั้นพื้นฐานของร่างกาย ได้แก่ ความดันโลหิต อัตราการเต้นหัวใจ ($HR_1$) ก่อนการทดลอง โดยมีเกณฑ์ดังนี้

- อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (Resting heart rate; RHR) 60-80 ครั้งต่อนาที
- ความดันโลหิต (Blood pressure; BP) แบ่งเป็น Systolic blood pressure (SBP) 91-139 มิลลิเมตรปรอท และ Diastolic blood pressure (DBP) 61-89 มิลลิเมตรปรอท

4. ทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้เพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดลอง ($LA_1$) (ภาคผนวก ญ)

5. อบอุ่นร่างกาย (Warm up) เป็นเวลา 10 นาที โดยเริ่มจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเดิน 2 นาที ตามด้วยการวิ่งเหยาะ 3 นาที (ภาคผนวก ฑ)

6. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที

7. ทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้เพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดก่อนการออกกำลังกาย ($LA_2$) (ภาคผนวก ญ) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_2$)

8. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับการบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ทำการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015) (ภาคผนวก ฌ)

9. ออกกำลังกายด้วยท่าทางการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (Dynamic squatting exercise) (ภาคผนวก ง) ข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat) กำหนดให้สควอททั้งหมด 5 เซต เซตละ 10 ครั้ง โดยจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นใช้เวลา 3 วินาที และจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อลดลงใช้เวลา 1

วินาที รวมระยะเวลาในการออกกำลังกาย 50 วินาทีต่อเซต และระยะพักระหว่างเซต 1 นาที โดยออกกำลังกายด้วยท่าทางการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ ทั้ง 4 เงื่อนไข

*หมายเหตุ:

- รูปแบบออกกำลังกายด้วยท่าสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ รวมทั้งความถี่และแอมพลิจูดของการสั่น ได้อ้างอิงมาจากงานวิจัยของบุชและคณะ (Bush et al., 2015) งานวิจัยของสุภัทรา ศิลปบรรเลงและชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ (2558) และงานวิจัยของวอลล์แมนน์และคณะ (Wallmann et al., 2019)

- แรงดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือด ได้อ้างอิงจากงานวิจัยของเซนต์เนอร์และคณะ (Centner et al., 2019) ซึ่งระดับแรงดัน 140 มิลลิเมตรปรอทที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะสามารถจำกัดการไหลเวียนของเลือดได้ 60% ของการจำกัดการไหลเวียนเลือดทั้งหมด (Giles et al., 2017; Loenneke et al., 2013) รวมทั้งที่ระดับแรงดันดังกล่าวจะทำให้เกิดการสะสมของสาร (Metabolic accumulation) ภายในกล้ามเนื้อ และเพิ่มระดับของแลคเตทในเลือด ทำให้มีการระดมหน่วยยนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระดับการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ส่วนการบีบแรงดันเลือด เริ่มจากการใช้ผ้า (Cuffs) ยี่ห้อ Hokanson พันรอบบริเวณต้นขาทั้ง 2 ข้าง จากนั้นทำการบีบแรงดันไปที่ระดับ 140 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งจากทำการศึกษานำร่อง (Pilot study) ใช้เวลาในการบีบแรงดันประมาณ 10 วินาที จากนั้นทำการปิดกั้นการไหลเวียนของเลือดไว้ตลอดช่วงการออกกำลังกายด้วยท่าสควอทแบบมีการเคลื่อนที่

10. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที

11. ทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้เพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดหลังการออกกำลังกาย ($LA_3$) (ภาคผนวก ญ) และวัดอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_3$)

12. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับการบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ทำการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของวีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015) (ภาคผนวก ฌ)

13. คลายอุ่นร่างกาย (Cool down) เป็นเวลา 10 นาที โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (ภาคผนวก ฒ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อจำกัดของงานวิจัย** คือ การกำหนดแอมพลิจูดของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ระดับ 2-4 มิลลิเมตร เนื่องจากเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย รุ่น Power plate Pro5 Silver. สามารถตั้งค่าแอมพลิจูดได้ในระดับ Low (2-4 มิลลิเมตร) และระดับ High (4-6 มิลลิเมตร) เท่านั้น

**หมายเหตุ:** ผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมการทดสอบความสามารถในการกระโดด และการฝึกออกกำลังกาย โดยมีผู้ช่วยวิจัยทำหน้าที่ควบคุมเครื่องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

- สถานที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ 4 - 6 สัปดาห์

- ผู้ช่วยวิจัย จำนวน 2 คน ได้แก่ นิสิตระดับปริญญามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำหน้าที่ช่วยจัดเตรียมสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และแผ่นวัดแรงปฏิกิริยา ณ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10 และนักเทคนิคการแพทย์ ทำหน้าที่เจาะเลือดเพื่อวัดระดับปริมาณแลคเตทในเลือด ณ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์ อาคารจุฬาพัฒน์ 10

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

1. วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

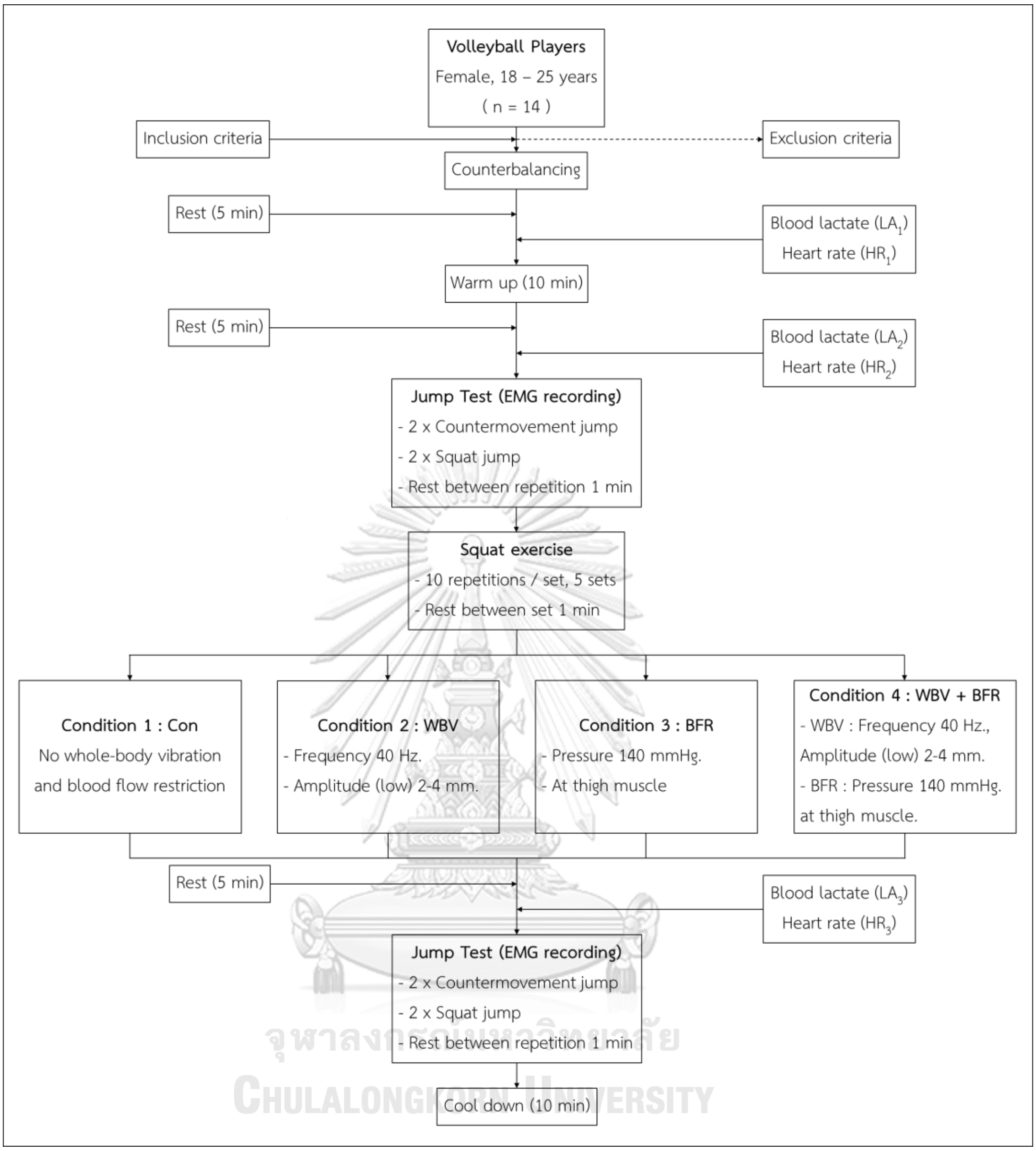
2. วิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลด้วยวิธีโคโมโกรอฟ-สเมอรนอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test)

3. เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางชนิดวัดซ้ำ (Two-way analysis of variance with repeated measure) หากพบความแตกต่างทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni)

4. เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามภายในเงื่อนไข ก่อนและหลังการทดลอง ด้วยการทดสอบค่าที (Paired sample t-test)

5. กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 15** ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

# บทที่ 4
# ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบไขว้ (Crossover study design) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือด และความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง กลุ่มตัวอย่าง คือ นักกีฬาวอลเลย์บอล ระดับมหาวิทยาลัย เพศหญิง อายุระหว่าง 18-25 ปี จำนวน 12 คน โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนจะได้รับเงื่อนไขการทดลองทั้ง 4 เงื่อนไข ได้แก่ ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด และไม่ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด (เงื่อนไขควบคุม) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไขมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IBM SPSS Statistics 22 และนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปของตารางข้อมูลและแผนภูมิประกอบความเรียง แบ่งเป็น 6 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางสรีรวิทยาพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรเกี่ยวกับแรงในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจและระดับแลคเตทในเลือด

ตอนที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) ในช่วง Takeoff phase ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางสรีรวิทยาพื้นฐานและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา**

**ตารางที่ 3** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทางสรีรวิทยาพื้นฐาน

| | $\bar{X}$ | S.D. |
|---|---|---|
| Age (Years) | 20.50 | 2.32 |
| Weight (Kg) | 63.07 | 7.55 |
| Height (cm) | 171.33 | 4.98 |
| Body mass index (BMI; Kg/m$^2$) | 21.41 | 1.68 |
| Fat mass (%) | 25.78 | 3.25 |
| Resting heart rate (bpm) | 71.92 | 5.32 |
| Systolic blood pressure (SBP; mmHg) | 114.92 | 7.85 |
| Diastolic blood pressure (DBP; mmHg) | 69.25 | 5.21 |
| Absolute peak torque (Nm) | | |
| - Quadriceps muscle | 126.60 | 25.54 |
| - Hamstrings muscle | 75.06 | 18.27 |
| Relative peak torque (Nm/Kg) | | |
| - Quadriceps muscle | 2.01 | 0.34 |
| - Hamstrings muscle | 1.19 | 0.26 |
| HQ ratio | 0.59 | 0.07 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 3 พบว่า กลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน มีค่าเฉลี่ยของอายุ 20.50 ± 2.32 ปี น้ำหนัก 63.07 ± 7.55 กิโลกรัม ส่วนสูง 171.33 ± 4.98 เซนติเมตร ดัชนีมวลกาย 21.41 ± 1.68 กิโลกรัมต่อตารางเมตร มวลไขมันร้อยละ 25.78 ± 3.25 อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก 71.92 ± 5.32 ครั้งต่อนาที ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว 114.92 ± 7.85 มิลลิเมตรปรอท ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว 69.25 ± 5.21 มิลลิเมตรปรอท ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าสูงสุด 126.60 ± 25.54 นิวตันเมตร ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังสูงสุด 75.06 **±** 18.27 นิวตันเมตร ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า สูงสุดสัมพัทธ์ 2.01 ± 0.34 นิวตันเมตร ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังสูงสุดสัมพัทธ์ 1.19 ± 0.26 นิวตันเมตร และอัตราส่วนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังต่อกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าเท่ากับ 0.59 ± 0.07 ตามลำดับ

**ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)**

**1. การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump; CMJ)**

1.1 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเงื่อนไขการทดลอง เวลาในการทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยที่มีต่อพลังสูงสุด พลังสูงสุดสัมพัทธ์ ความสูงในการกระโดด และเวลาในการลอยตัว

1.2 จากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์ระหว่างเงื่อนไขการทดลอง (แผนภูมิที่ 1) นอกจากนี้ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัวระหว่างเงื่อนไขการทดลอง (แผนภูมิที่ 2)

1.3 จากการเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง (Paired sample t-test) พบว่า ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดเพิ่มขึ้น 5.15% และ 7.10% หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ในขณะเดียวกัน ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 5.24% และ 6.90% หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (แผนภูมิที่ 1) อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัวไม่มีความแตกต่างกันในทุกเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง (แผนภูมิที่ 2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 4** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)

| | Absolute peak power (Watts) | | Relative peak power (Watts/Kg) | | Jump height (cm) | | Flight time (s) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F | p-value | F | p-value | F | p-value | F | p-value |
| Condition | 0.17 | 0.92 | 0.24 | 0.87 | 2.46 | 0.07 | 0.63 | 0.60 |
| Time | 0.80 | 0.37 | 1.45 | 0.23 | 0.02 | 0.88 | 0.10 | 0.76 |
| Condition x Time | 0.47 | 0.70 | 1.10 | 0.35 | 0.16 | 0.92 | 0.10 | 0.96 |

**ตารางที่ 5** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของความสามารถในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ทุกเงื่อนไขการทดลอง ก่อนและหลังการทดสอบ

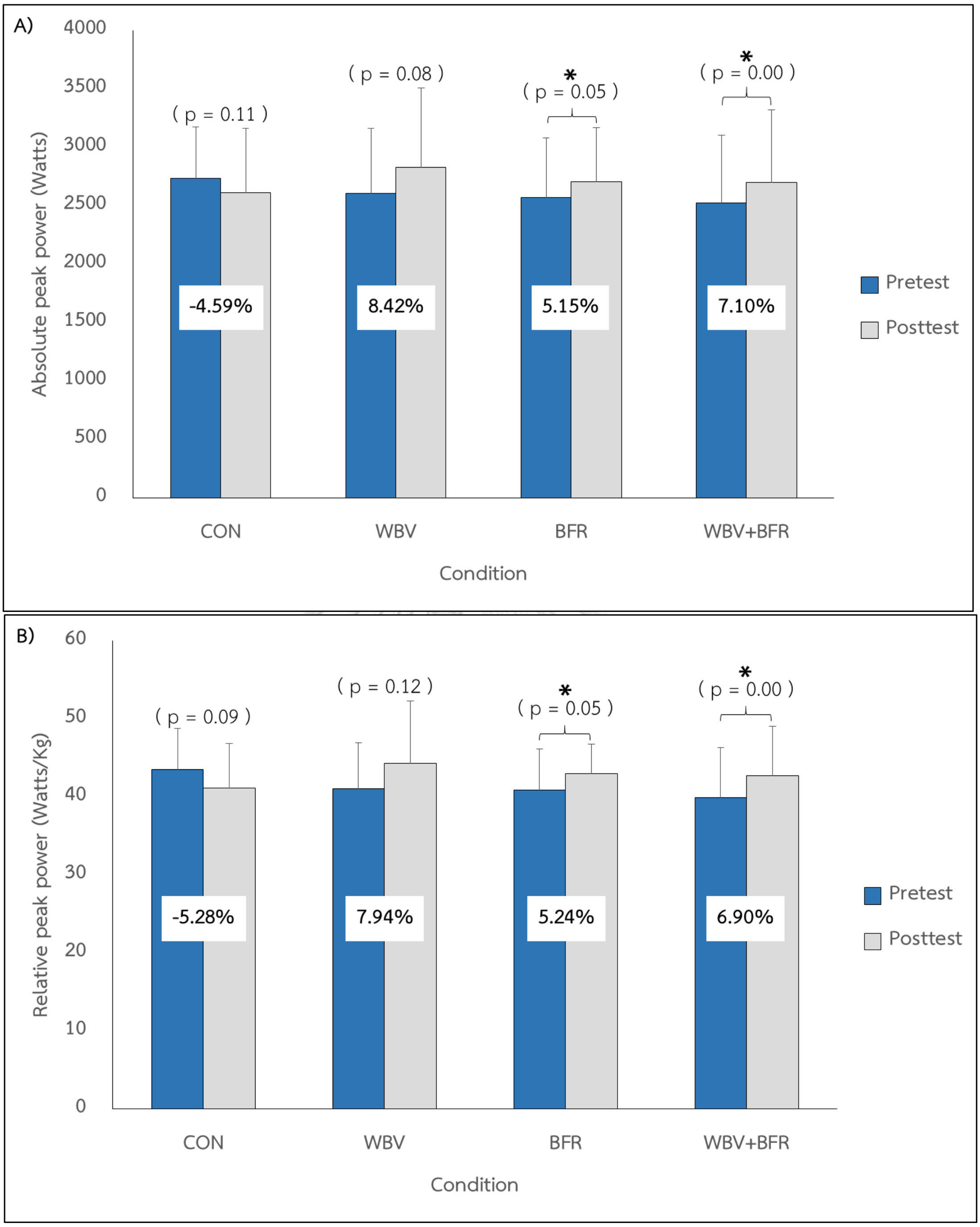
| Variables | CON | | WBV | | BFR | | WBV + BFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest |
| Absolute peak power (Watts) | 2735.94±434.80 | 2610.47±552.88 | 2606.51±555.06 | 2826.08±678.91 | 2571.80±509.08 | 2704.19±460.13* | 2520.05±580.34 | 2698.93±619.13* |
| Relative peak power (Watts/Kg) | 43.48 ± 5.28 | 41.18 ± 5.63 | 41.05 ± 5.87 | 44.30 ± 8.03 | 40.83 ± 5.35 | 42.97 ± 3.76* | 39.92 ± 6.40 | 42.68 ± 6.40* |
| Jump height (cm) | 34.3 ± 4.4 | 34.0 ± 4.7 | 38.3 ± 6.4 | 37.6 ± 6.4 | 35.0 ± 4.1 | 36.2 ± 4.7 | 35.6 ± 3.9 | 35.9 ± 3.7 |
| Flight time (s) | 0.44 ± 0.05 | 0.45 ± 0.04 | 0.46 ± 0.04 | 0.46 ± 0.03 | 0.45 ± 0.03 | 0.45 ± 0.04 | 0.45 ± 0.04 | 0.46 ± 0.04 |

CON = ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด; WBV = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว;

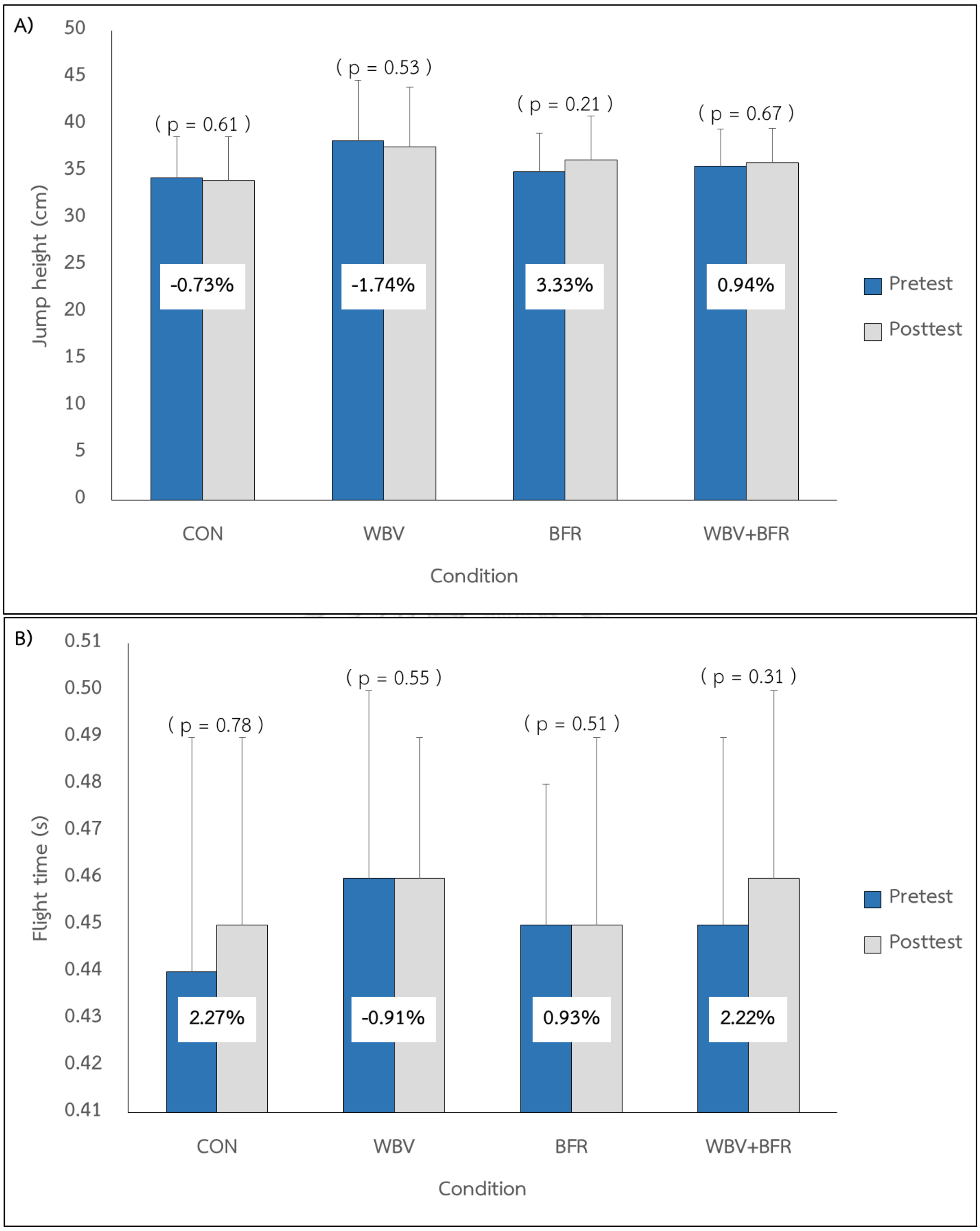
BFR = ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว; WBV+BFR = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

*$p < 0.05$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




**แผนภูมิที่ 1** แสดงการเปรียบเทียบ (A) พลังสูงสุด และ (B) พลังสูงสุดสัมพัทธ์ ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *p < 0.05




**แผนภูมิที่ 2** แสดงการเปรียบเทียบ (A) ความสูงในการกระโดด และ (B) เวลาในการลอยตัว ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง $*p < 0.05$

**2. การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump; SJ)**

2.1 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของทั้งเงื่อนไขการทดลอง เวลาในการทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยที่มีต่อพลังสูงสุด พลังสูงสุดสัมพัทธ์ ความสูงในการกระโดด และเวลาในการลอยตัว

2.2 จากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์ระหว่างเงื่อนไขการทดลอง (แผนภูมิที่ 3) นอกจากนี้ยังไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัวระหว่างเงื่อนไขการทดลอง (แผนภูมิที่ 4)

2.3 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง (Paired sample t-test) พบว่าค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดเพิ่มขึ้น 8.93% และ 6.94% หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ในขณะเดียวกัน ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 8.60% และ 8.12% หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (แผนภูมิที่ 3) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยความสูงในการกระโดด (2.74%) เวลาในการลอยตัว (2.61%) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) เท่านั้น (แผนภูมิที่ 4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 6** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อความสามารถในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

| | Absolute peak power (Watts) | | Relative peak power (Watts/Kg) | | Jump height (cm) | | Flight time (s) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F | p-value | F | p-value | F | p-value | F | p-value |
| Condition | 0.10 | 0.96 | 0.70 | 0.98 | 2.01 | 0.12 | 0.79 | 0.50 |
| Time | 0.99 | 0.32 | 2.61 | 0.11 | 0.30 | 0.59 | 0.33 | 0.57 |
| Condition x Time | 0.20 | 0.90 | 0.31 | 0.82 | 0.23 | 0.88 | 0.30 | 0.83 |

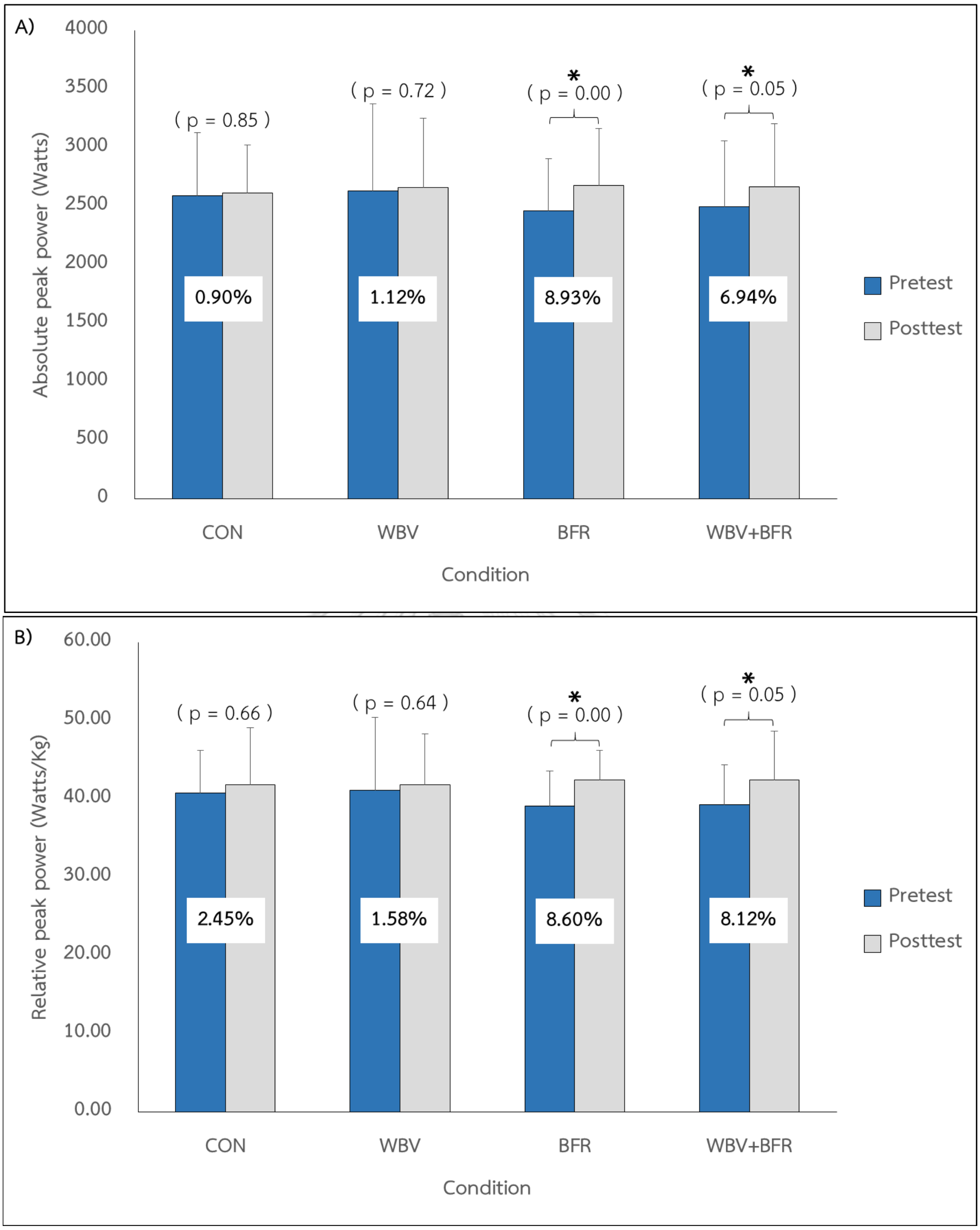
**ตารางที่ 7** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของความสามารถในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ทุกเงื่อนไขการทดลองก่อนและหลังการทดสอบ

| Variables | CON | | WBV | | BFR | | WBV + BFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest |
| Absolute peak power (Watts) | 2588.19±541.56 | 2611.43±410.87 | 2632.16±743.01 | 2661.75±589.63 | 2457.68±446.01 | 2677.21±484.93* | 2493.13±564.50 | 2666.17±540.32* |
| Relative peak power (Watts/Kg) | 40.78 ± 5.41 | 41.78 ± 7.34 | 41.14 ± 9.26 | 41.80 ± 6.51 | 39.09 ± 4.45 | 42.45 ± 3.75* | 39.26 ± 5.11 | 42.45 ± 6.22* |
| Jump height (cm) | 34.2 ± 4.3 | 33.3 ± 4.4 | 36.5 ± 5.9 | 37.5 ± 5.9* | 35.2 ± 3.5 | 36.0 ± 5.0 | 34.3 ± 4.3 | 35.4 ± 3.6 |
| Flight time (s) | 0.45 ± 0.04 | 0.44 ± 0.04 | 0.45 ± 0.03 | 0.46 ± 0.03* | 0.45 ± 0.03 | 0.46 ± 0.04 | 0.44 ± 0.03 | 0.45 ± 0.03 |

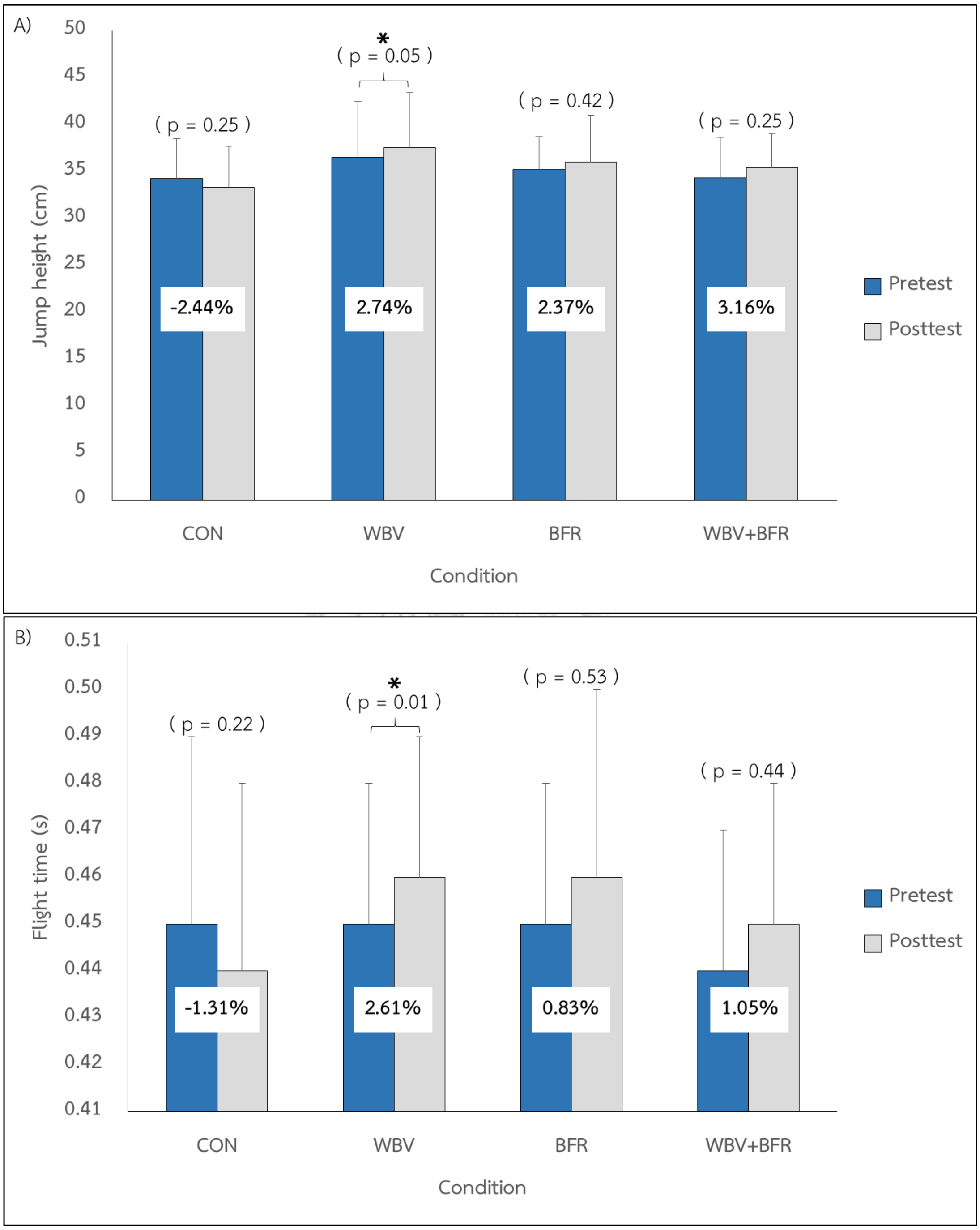
CON = ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด; WBV = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว;

BFR = ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว; WBV+BFR = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

*$p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 3** แสดงการเปรียบเทียบ (A) พลังสูงสุด และ (B) พลังสูงสุดสัมพัทธ์ ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *$p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 4** แสดงการเปรียบเทียบ (A) ความสูงในการกระโดด และ (B) เวลาในการลอยตัว ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขและก่อนและหลังการทดลอง *$p < 0.05$

**ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของแรงในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)**

**1. การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump; CMJ)**

1.1 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า ทั้งเงื่อนไขการทดลอง เวลาในการทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยไม่มีผลต่อแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในช่วง Concentric phase แรงดล (Impulse) อัตราการสร้างแรง ช่วง 100 มิลลิวินาที และ 250 มิลลิวินาที ในช่วง Take-off phase และระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

1.2 จากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Vertical ground reaction force) ในช่วง Concentric phase (แผนภูมิที่ 5) ค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที และ 250 มิลลิวินาทีระหว่างเงื่อนไขการทดลอง (แผนภูมิที่ 6) นอกจากนี้ยังไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรง (Rate of force development) ในช่วง Take-off phase และระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุด (Time to peak force) ระหว่างเงื่อนไขการทดลอง (แผนภูมิที่ 7)

1.3 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง (Paired sample t-test) พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในช่วง Concentric phase เพิ่มขึ้น (3.94%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 5) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงดล อัตราการสร้างแรงในช่วง 100 มิลลิวินาที และ 250 มิลลิวินาที ในทุกเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 6) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรงในช่วง Take-off phase เพิ่มขึ้น (15.92%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) ขณะที่ค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรงในช่วงดังกล่าวลดลง (3.33%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 7) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุดในทุกเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง (แผนภูมิที่ 7)

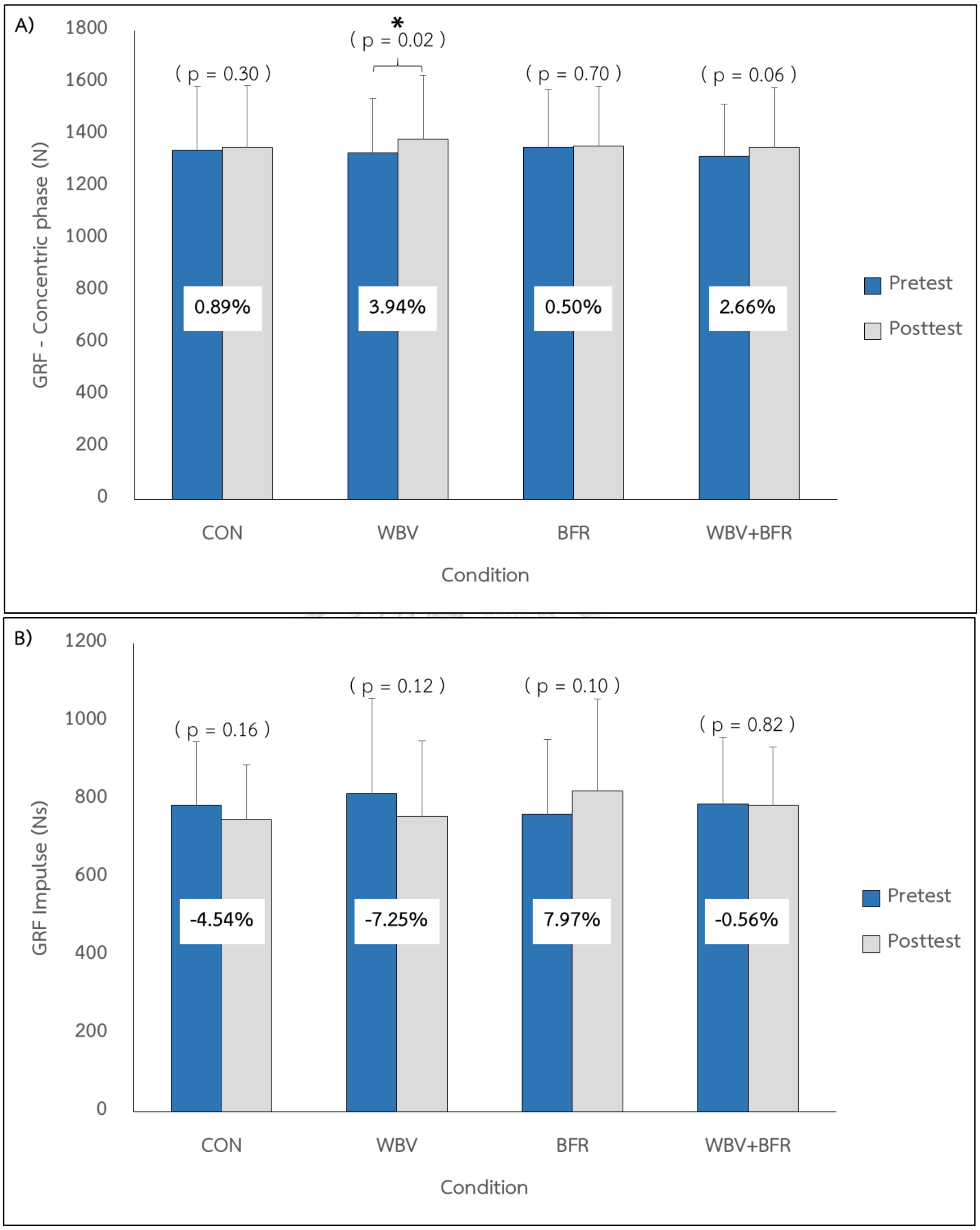
**ตารางที่ 8** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อแรงในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)

| | Ground reaction force (GRF) | | | | Rate of force development (RFD) | | | | | | Time to peak force | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concentric phase (N) | | Impulse (Ns) | | 100 ms (N/s) | | 250 ms (N/s) | | Takeoff phase (N/s) | | (s) | |
| | F | p-value | F | p-value | F | p-value | F | p-value | F | p-value | F | p-value |
| Condition | 0.05 | 0.99 | 0.08 | 0.97 | 0.56 | 0.64 | 0.18 | 0.91 | 0.19 | 0.90 | 0.34 | 0.80 |
| Time | 0.33 | 0.57 | 0.06 | 0.80 | 0.55 | 0.46 | 0.52 | 0.47 | 0.07 | 0.79 | 0.00 | 0.98 |
| Condition x Time | 0.05 | 0.98 | 0.45 | 0.72 | 0.44 | 0.73 | 0.32 | 0.81 | 0.61 | 0.61 | 1.03 | 0.38 |

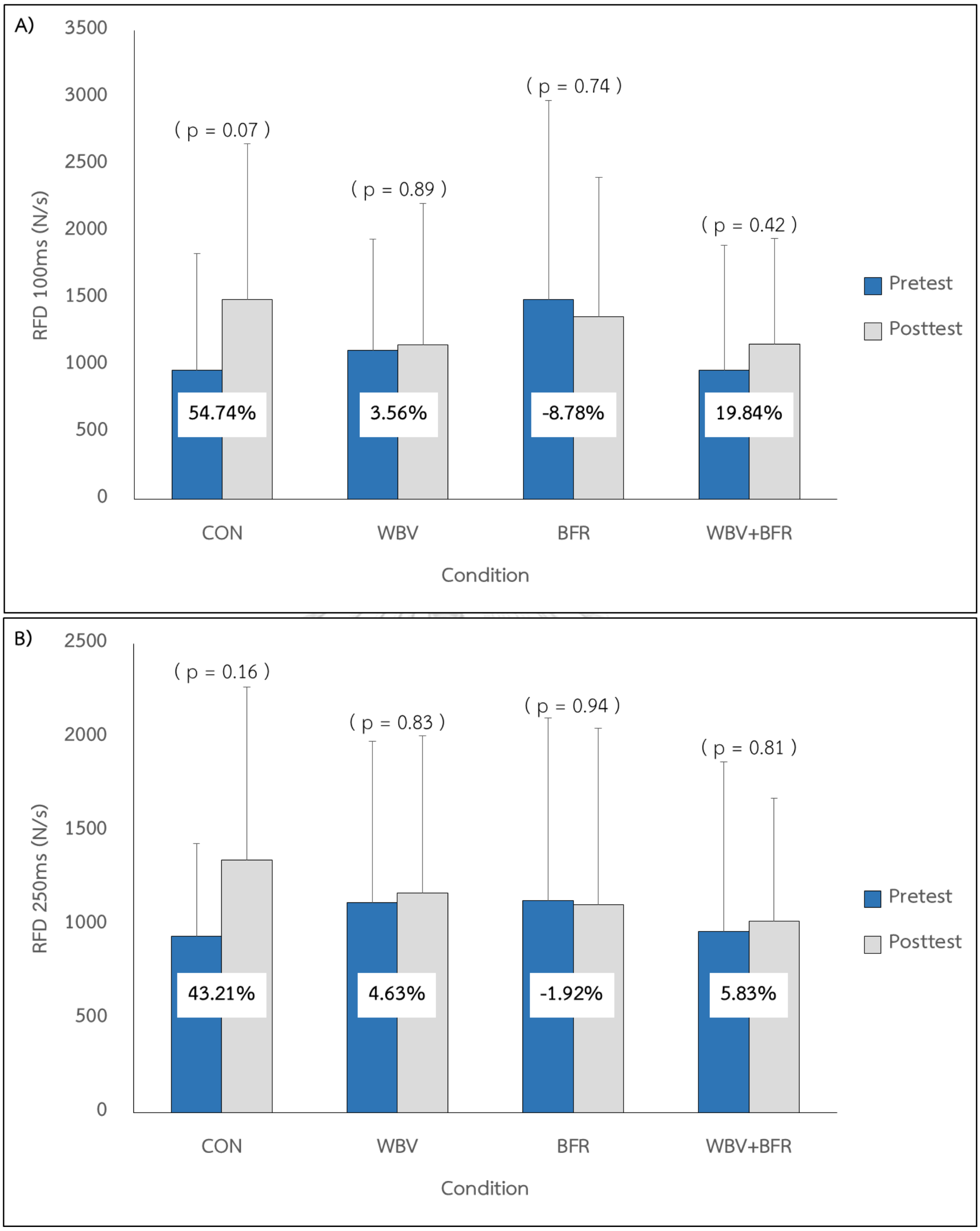
**ตารางที่ 9** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของแรงในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ทุกเงื่อนไขการทดลอง ก่อนและหลังการทดสอบ

| Variables | CON | | WBV | | BFR | | WBV + BFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest |
| Ground reaction force (GRF) | | | | | | | | |
| - Concentric phase (N) | 1340.33±244.32 | 1352.28±236.95 | 1329.47±208.18 | 1381.88±246.11* | 1350.04±222.50 | 1356.73±229.13 | 1315.68±201.62 | 1350.68±229.01 |
| - Impulse (Ns) | 784.54±163.15 | 748.89±140.35 | 815.45±244.01 | 756.34±193.72 | 761.65±191.20 | 822.34±234.30 | 789.39±170.42 | 784.95±148.65 |
| Rate of force development (RFD; N) | | | | | | | | |
| - 100ms | 965.39±872.58 | 1493.87±1160.62 | 1112.63±828.28 | 1152.28±1056.92 | 1494.37±1485.33 | 1363.14±1041.97 | 966.18±928.67 | 1157.91±791.14 |
| - 250ms | 939.96±495.26 | 1346.15±924.11 | 1119.50±858.64 | 1171.38±836.82 | 1131.40±972.84 | 1109.74±939.46 | 964.48±903.75 | 1020.72±654.68 |
| - Takeoff phase | 1303.16±321.80 | 1368.98±436.50 | 1262.56±475.82 | 1463.52±459.88* | 1399.69±509.29 | 1271.18±540.91 | 1290.81±404.55 | 1247.81±371.43* |
| Time to peak force (s) | 0.78 ± 0.18 | 0.76 ± 0.14 | 0.83 ± 0.26 | 0.73 ± 0.16 | 0.76 ± 0.21 | 0.86 ± 0.28 | 0.81 ± 0.20 | 0.83 ± 0.18 |

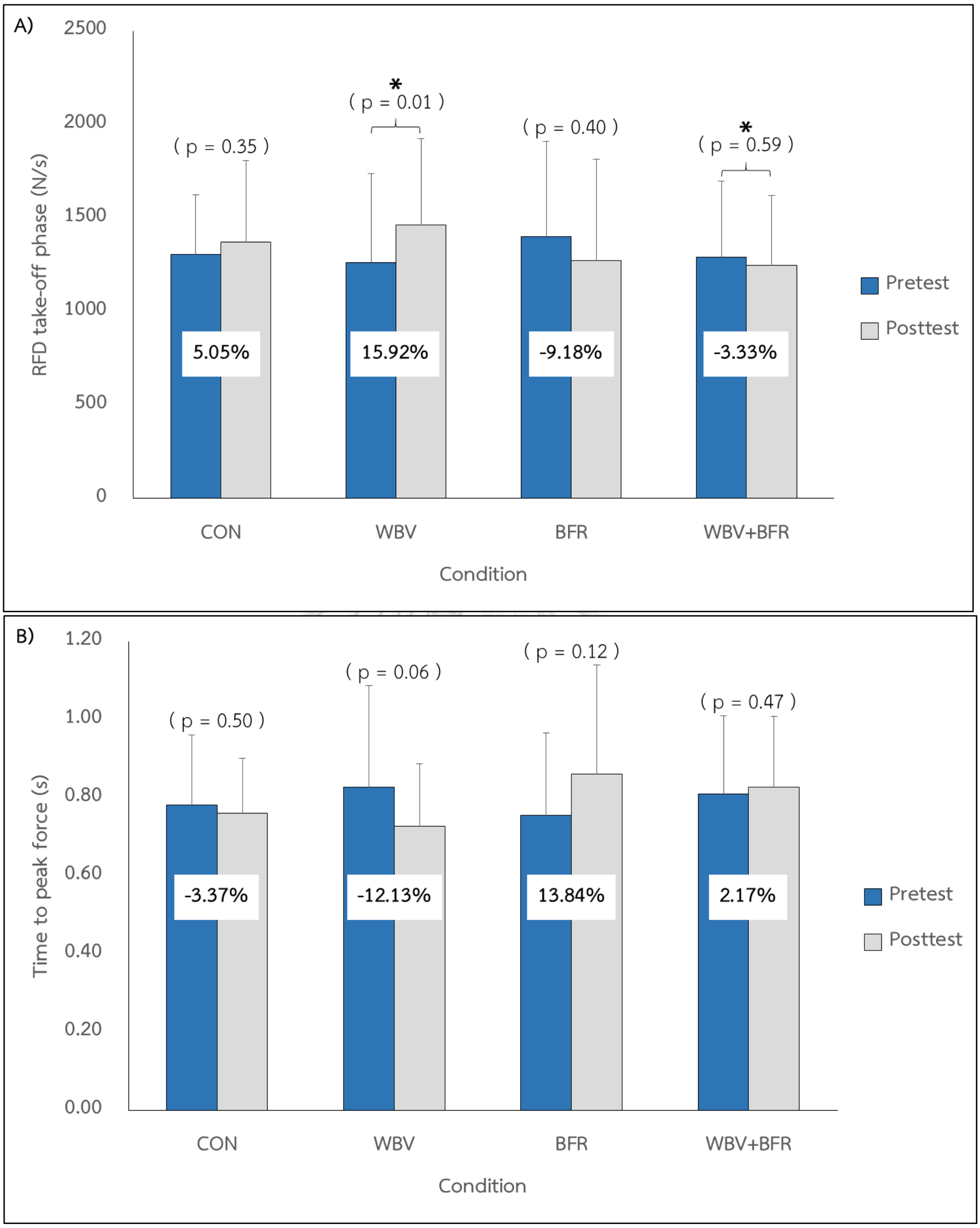
CON = ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด; WBV = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว;
BFR = ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว; WBV+BFR = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด
*p < 0.05




**แผนภูมิที่ 5** แสดงการเปรียบเทียบ (A) แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น ช่วง Concentric phase และ (B) แรงดล ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง $^*p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 6** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที และ (B) อัตราการสร้างแรงช่วง 250 มิลลิวินาที ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง




**แผนภูมิที่ 7** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase และ (B) ระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุด ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง $*p < 0.05$

**2. การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump; SJ)**

2.1 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่ามีเพียงเงื่อนไขการทดลองที่มีผลต่ออัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที อัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase และระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่เวลาในการทดสอบและปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรที่กล่าวมาข้างต้น

2.2 จากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น ช่วง Concentric phase แรงดล และค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรงช่วง 250 มิลลิวินาที ระหว่างเงื่อนไขการทดลอง (แผนภูมิที่ 8) ขณะที่ค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 9) นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase ระหว่างเงื่อนไขการทดลอง อย่างไรก็ตามพบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุดระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) รวมทั้งระหว่างการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 10)

2.3 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง (Paired sample t-test) พบว่าค่าเฉลี่ยแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น ในช่วง Concentric phase เพิ่มขึ้น (1.37%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในทำนองเดียวกันค่าเฉลี่ยแรงดลเพิ่มขึ้น (6.85%) หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ขณะที่ค่าเฉลี่ยแรงดลลดลง (3.73%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 8)

อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที และ 250 มิลลิวินาที ในทุกเงื่อนไขการทดลองก่อนและหลังการทดลอง (แผนภูมิที่ 9) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการสร้างแรงในช่วง Take-off phase เพิ่มขึ้น (13.73%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) และค่าเฉลี่ยระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุดเพิ่มขึ้น (12.48%) หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 10) ขณะที่ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุดลดลง (8.17%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 10)

**ตารางที่ 10** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อแรงในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

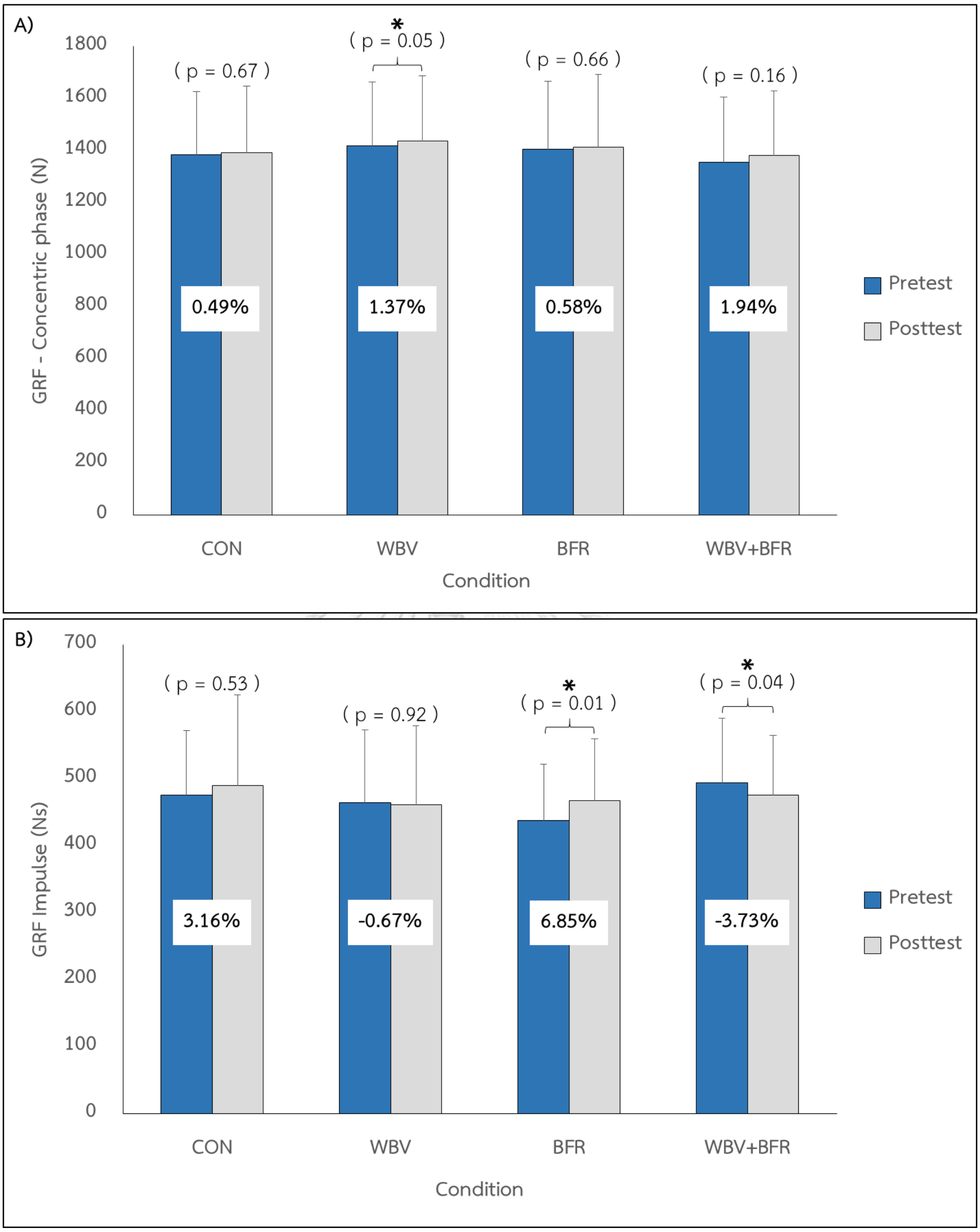
| | Ground reaction force (GRF) | | | | Rate of force development (RFD) | | | | | | Time to peak force | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concentric phase (N) | | Impulse (Ns) | | 100 ms (N/s) | | 250 ms (N/s) | | Takeoff phase (N/s) | | (s) | |
| | F | p-value | F | p-value | F | p-value | F | p-value | F | p-value | F | p-value |
| Condition | 0.24 | 0.87 | 0.56 | 0.64 | 3.06 | 0.03* | 1.70 | 0.17 | 2.72 | 0.05* | 3.00 | 0.04* |
| Time | 0.08 | 0.77 | 0.08 | 0.78 | 0.20 | 0.65 | 0.05 | 0.83 | 0.05 | 0.82 | 0.56 | 0.46 |
| Condition x Time | 0.01 | 1.00 | 0.25 | 0.86 | 1.49 | 0.22 | 0.22 | 0.88 | 0.43 | 0.74 | 1.06 | 0.37 |

*p < 0.05

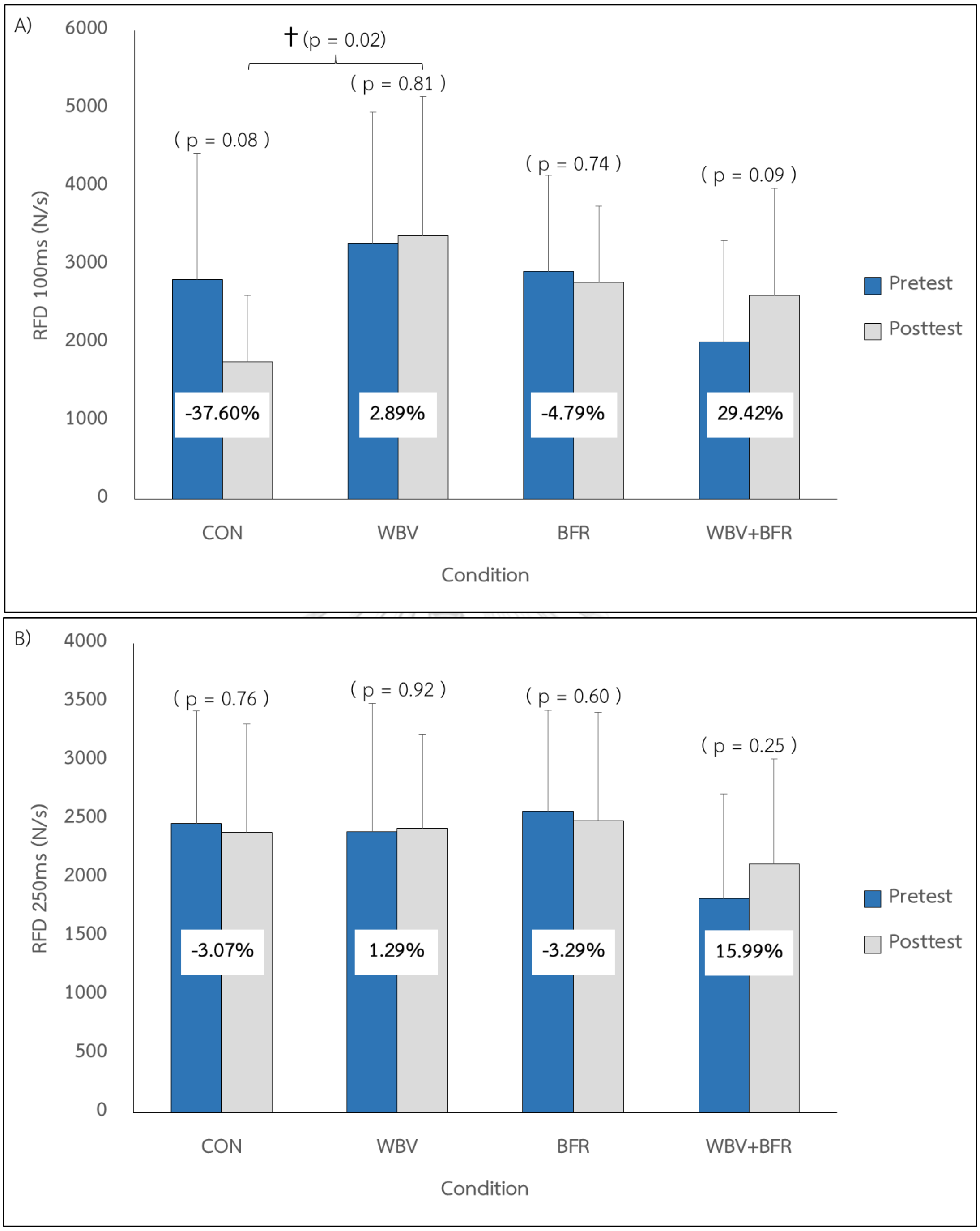
**ตารางที่ 11** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของแรงในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ทุกเงื่อนไขการทดลอง ก่อนและหลังการทดสอบ

| Variables | CON | | WBV | | BFR | | WBV + BFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest |
| Ground reaction force (GRF) | | | | | | | | |
| - Concentric phase (N) | 1383.89±241.79 | 1390.66±257.23 | 1416.32±246.92 | 1435.77±250.21* | 1403.42±262.43 | 1411.51±281.25 | 1353.17±250.66 | 1379.39±249.79 |
| - Impulse (Ns) | 475.07±96.55 | 490.08±135.11 | 464.19±108.32 | 461.09±118.08 | 437.14±83.90 | 467.07±92.11* | 494.17±95.48 | 475.75±88.21* |
| Rate of force development (RFD; N) | | | | | | | | |
| - 100ms | 2813.35±1616.79 | 1755.53±853.85† | 3278.67±1678.39 | 3373.51±1786.82† | 2919.06±1232.73 | 2779.17±971.00 | 2017.47±1299.05 | 2611.07±1370.41 |
| - 250ms | 2464.53±963.86 | 2388.75±926.08 | 2394.14±1097.52 | 2425.14±801.98 | 2570.94±861.57 | 2486.40±927.41 | 1829.04±889.40 | 2121.41±892.58 |
| - Takeoff phase | 2030.57±610.66 | 1986.39±625.55 | 2309.02±877.50 | 2404.10±778.98 | 2377.92±652.71 | 2206.52±762.14 | 1764.08±422.30 | 2006.21±508.36* |
| Time to peak force (s) | 0.78 ± 0.18 | 0.76 ± 0.14 | 0.83 ± 0.26 | 0.73 ± 0.16 | 0.76 ± 0.21 | 0.86 ± 0.28 | 0.81 ± 0.20 | 0.83 ± 0.18 |

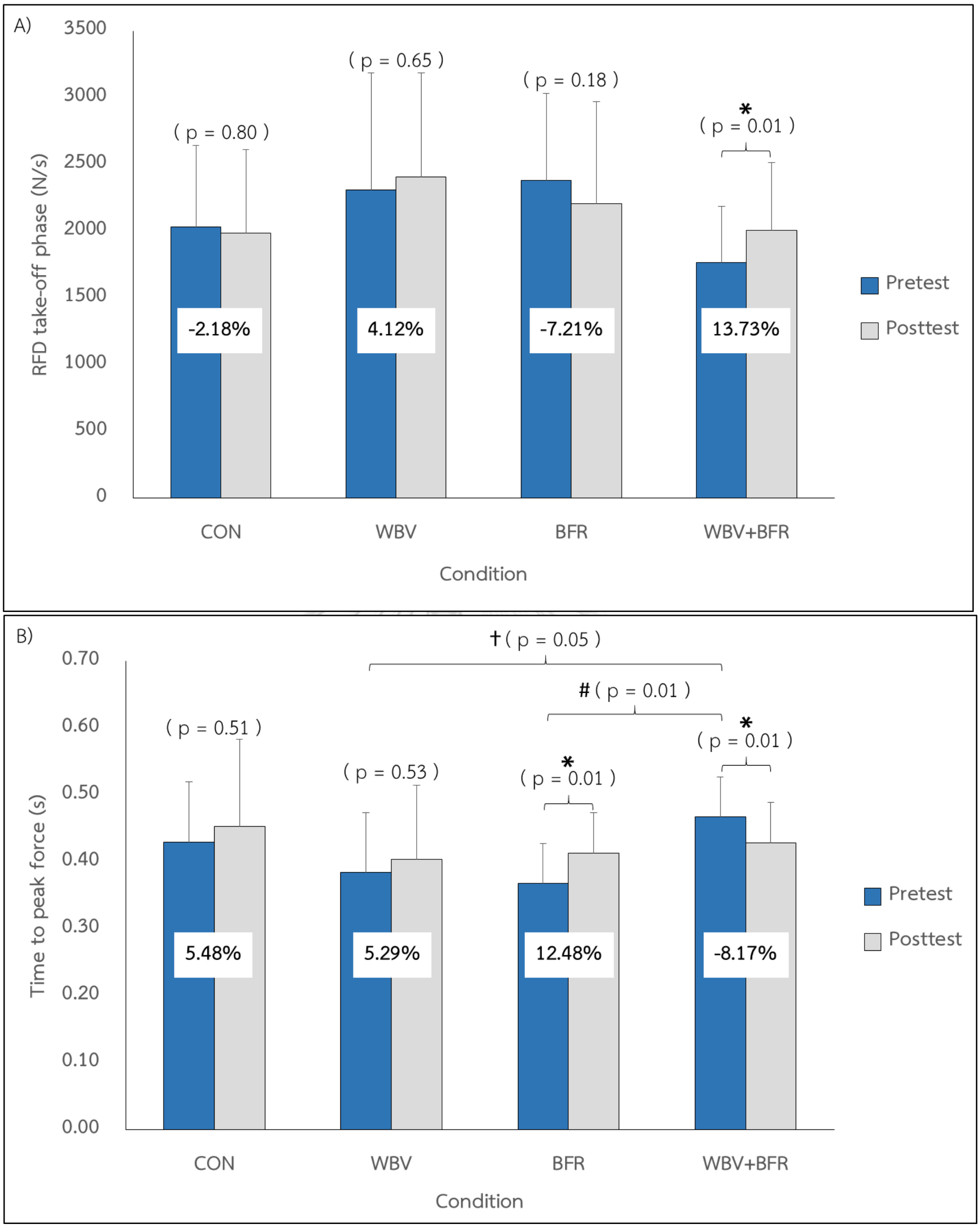
CON = ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด; WBV = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว;
BFR = ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว; WBV+BFR = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด
*p < 0.05




**แผนภูมิที่ 8** แสดงการเปรียบเทียบ (A) แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น ช่วง Concentric phase และ (B) แรงดล ของการกระโดดแบบสควอททจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *$p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 9** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที และ (B) อัตราการสร้างแรงช่วง 250 มิลลิวินาที ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง $^*p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 10** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase และ (B) ระยะเวลาการสร้างแรงสูงสุด ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *$p < 0.05$

**ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)**

**1. การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump; CMJ)**

1.1 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่าไม่มีความแตกต่างของทั้งเงื่อนไขการทดลอง เวลาในการทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยที่มีต่อความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive strength) และความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (Leg stiffness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

1.2 จากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง และความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาระหว่างเงื่อนไขการทดลอง (แผนภูมิที่ 11)

1.3 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง (Paired sample t-test) พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง ไม่มีความแตกต่างในทุกเงื่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น (11.36%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 11)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ตารางที่ 12** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)

| | Reactive strength (m/s) | | Leg stiffness (N/m) | |
|---|---|---|---|---|
| | F | p-value | F | p-value |
| Condition | 1.32 | 0.27 | 0.08 | 0.97 |
| Time | 0.01 | 0.92 | 0.15 | 0.70 |
| Condition x Time | 0.20 | 0.90 | 0.54 | 0.65 |

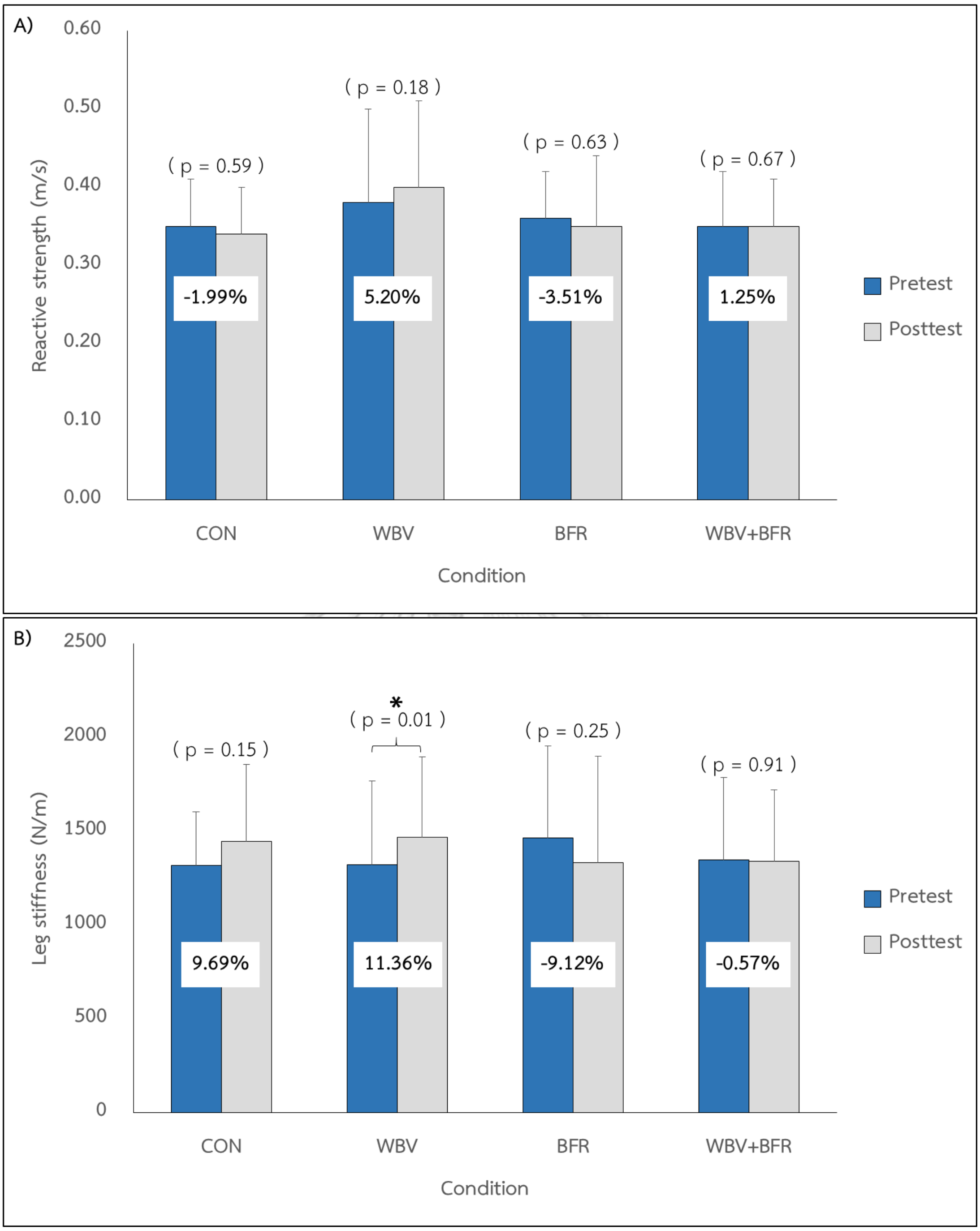
**ตารางที่ 13** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)

| Variables | CON | | WBV | | BFR | | WBV + BFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest |
| Reactive strength (m/s) | 0.35 ± 0.06 | 0.34 ± 0.06 | 0.38 ± 0.12 | 0.40 ± 0.11 | 0.36 ± 0.06 | 0.35 ± 0.09 | 0.35 ± 0.07 | 0.35 ± 0.06 |
| Leg stiffness (N/m) | 1317.74±285.84 | 1445.41±410.61 | 1318.90±448.48 | 1468.76±426.06* | 1465.08±488.11 | 1331.43±567.11 | 1346.44±438.86 | 1338.77±382.55 |

CON = ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด; WBV = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว;

BFR = ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว; WBV+BFR = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

*$p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 11** แสดงการเปรียบเทียบ (A) ความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง และ (B) ความแข็งตัวของกล้ามเนื้อขา ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *$p < 0.05$

**2. การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump; SJ)**

2.1 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่า มีเพียงเงื่อนไขการทดลองที่มีผลต่อความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive strength) และความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (Leg stiffness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.2 จากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนองระหว่างเงื่อนไขการทดลอง ขณะที่ค่าเฉลี่ยความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาก่อนการทดลองในการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 12)

2.3 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง (Paired sample t-test) พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนองเพิ่มขึ้น (11.48%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของเงื่อนไขอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาลดลง (14.38%) หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) ขณะที่ค่าเฉลี่ยความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น (13.29%) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 12)

**3. อัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)**

3.1 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่าทั้งเงื่อนไขการทดลอง เวลาในการทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่ออัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.2 จากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของอัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อระหว่างเงื่อนไขการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แผนภูมิที่ 13)

3.3 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง (Paired sample t-test) พบว่า ไม่มีความแตกต่างอัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ หลังการทดลองทุกเงื่อนไขอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แผนภูมิที่ 13)

**ตารางที่ 14** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่อสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

| | Reactive strength (m/s) | | Leg stiffness (N/m) | |
|---|---|---|---|---|
| | F | p-value | F | p-value |
| Condition | 3.50 | 0.02* | 2.97 | 0.04* |
| Time | 0.00 | 1.00 | 0.58 | 0.45 |
| Condition x Time | 0.88 | 0.45 | 1.18 | 0.32 |

*$p < 0.05$

**ตารางที่ 15** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง

| Variables | CON | | WBV | | BFR | | WBV + BFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest |
| Reactive strength (m/s) | 0.67 ± 0.18 | 0.63 ± 0.14 | 0.75 ± 0.21 | 0.78 ± 0.21 | 0.76 ± 0.12 | 0.71 ± 0.13 | 0.61 ± 0.10 | 0.68 ± 0.12* |
| Leg stiffness (N/m) | 4135.21±1209.01 | 3938.58±1163.25 | 4731.49±1339.31 | 4476.74±1196.00 | 4848.80±1067.42† | 4151.34±1002.37* | 3557.23±728.89† | 4030.05±881.10* |

CON = ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด; WBV = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว;

BFR = ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว; WBV+BFR = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

*$p < 0.05$

**ตารางที่ 16** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่ออัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

| | Eccentric utilization ratio (EUR) | |
|---|---|---|
| | F | p-value |
| Condition | 0.30 | 0.83 |
| Time | 0.69 | 0.41 |
| Condition x Time | 1.16 | 0.33 |

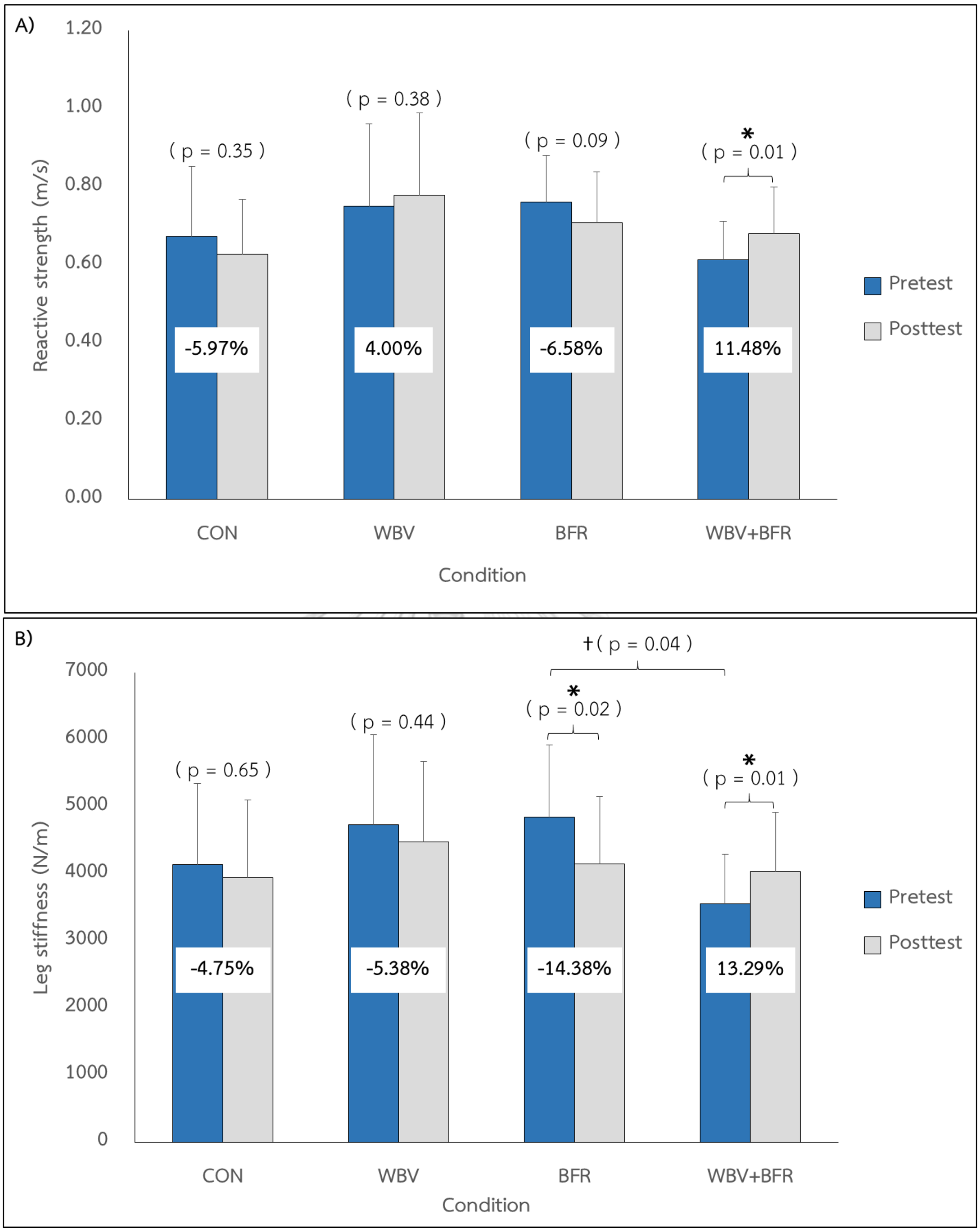
**ตารางที่ 17** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของอัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง

| Variables | CON | | WBV | | BFR | | WBV + BFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest |
| EUR | 1.07 ± 0.10 | 1.00 ± 0.14 | 1.02 ± 0.12 | 1.06 ± 0.11 | 1.05 ± 0.11 | 1.01 ± 0.06 | 1.02 ± 0.12 | 1.01 ± 0.08 |

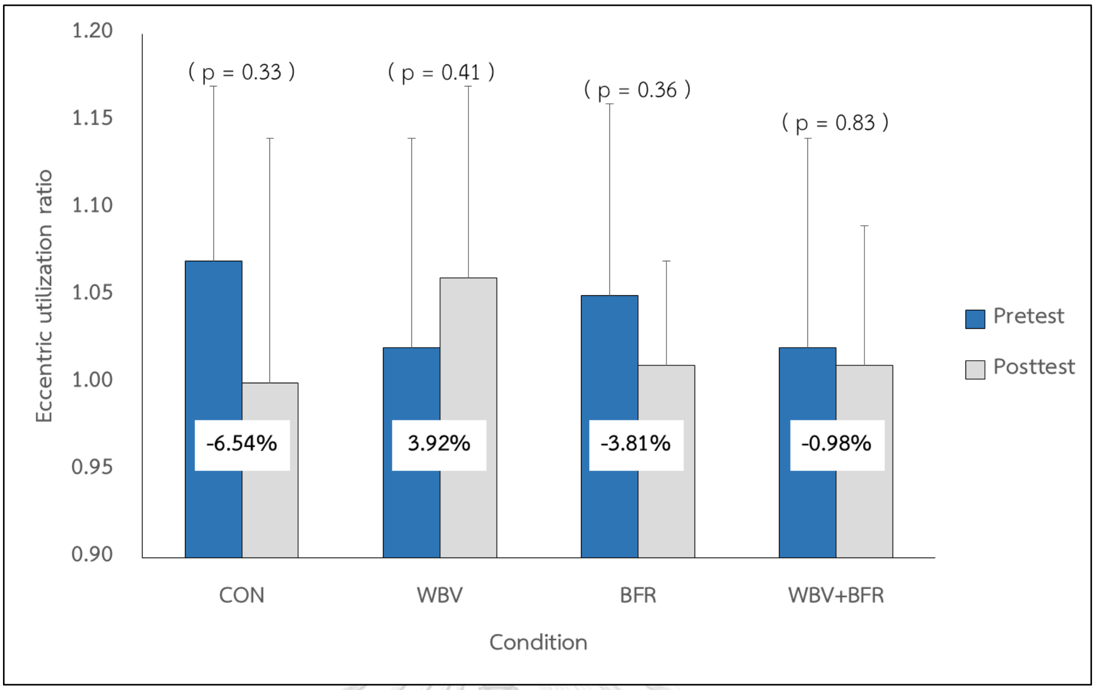
CON = ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด; WBV = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว;

BFR = ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว; WBV+BFR = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**แผนภูมิที่ 12** แสดงการเปรียบเทียบ (A) ความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง และ (B) ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *$p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 13** แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อภายในและระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *$p < 0.05$

**ตอนที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจและระดับแลคเตทในเลือด**

5.1 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 18 พบว่าทั้งเงื่อนไขการทดลอง เวลาในการทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ ขณะที่มีเพียงเวลาในการทดสอบที่มีผลต่อระดับแลคเตทในเลือดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5.2 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง (Paired sample t-test) พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้น 47.37%, 47.06%, 27.27% และ 23.81% หลังเงื่อนไขควบคุม (CON) การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) การจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (แผนภูมิที่ 14) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง

**ตารางที่ 18** วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของเงื่อนไขการทดลองและเวลาในการทดสอบที่มีต่ออัตราการเต้นของหัวใจและระดับแลคเตทในเลือด

| | Heart rate (BPM) | | Blood lactate (mmol) | |
|---|---|---|---|---|
| | F | p-value | F | p-value |
| Condition | 0.33 | 0.80 | 0.94 | 0.43 |
| Time | 1.11 | 0.30 | 17.80 | 0.00* |
| Condition x Time | 0.35 | 0.79 | 0.18 | 0.91 |

*p < 0.05

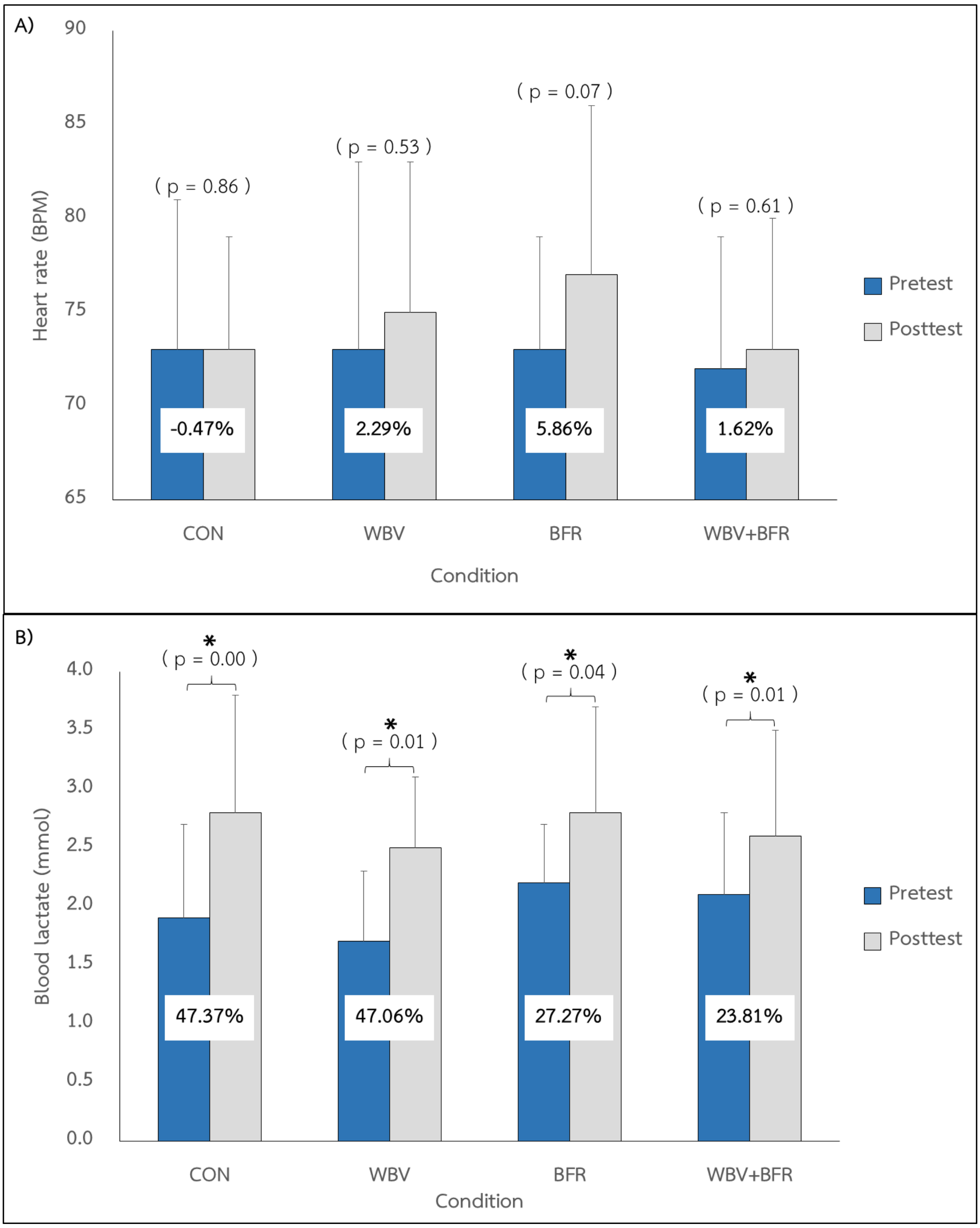
**ตารางที่ 19** แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของอัตราการเต้นของหัวใจและระดับแลคเตทในเลือดก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข

| Variables | CON | | WBV | | BFR | | WBV + BFR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest | Pretest | Posttest |
| Heart rate (BPM) | 72.9 ± 7.8 | 72.6 ± 5.7 | 73.0 ± 10.4 | 74.7 ± 8.4 | 72.6 ± 6.4 | 76.8 ± 8.6 | 72.3 ± 7.4 | 73.4 ± 7.1 |
| Blood lactate (mmol) | 1.9 ± 0.8 | 2.8 ± 1.0* | 1.7 ± 0.6 | 2.5 ± 0.6* | 2.2 ± 0.5 | 2.8 ± 0.9* | 2.1 ± 0.7 | 2.6 ± 0.9* |

CON = ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด; WBV = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายอย่างเดียว;

BFR = ได้รับการจำกัดการไหลเวียนเลือดอย่างเดียว; WBV+BFR = ได้รับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

*p < 0.05




**แผนภูมิที่ 14** แสดงการเปรียบเทียบ (A) อัตราการเต้นของหัวใจ และ (B) ระดับแลคเตทในเลือด ภายในและระหว่างเงื่อนไขก่อนและหลังการทดลอง *$p < 0.05$

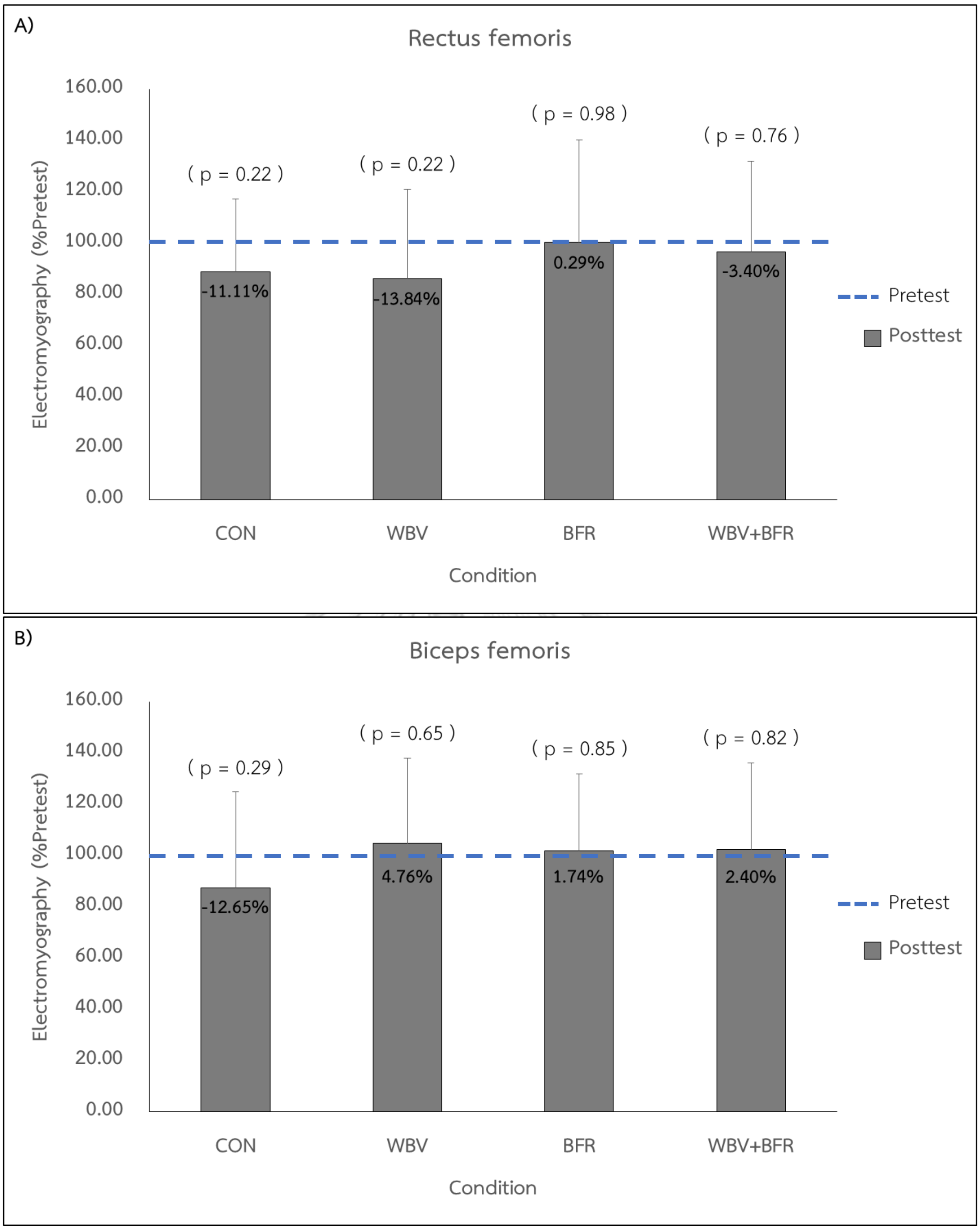
**ตอนที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography) ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Takeoff phase ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) และการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)**

**1. การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump; CMJ)**

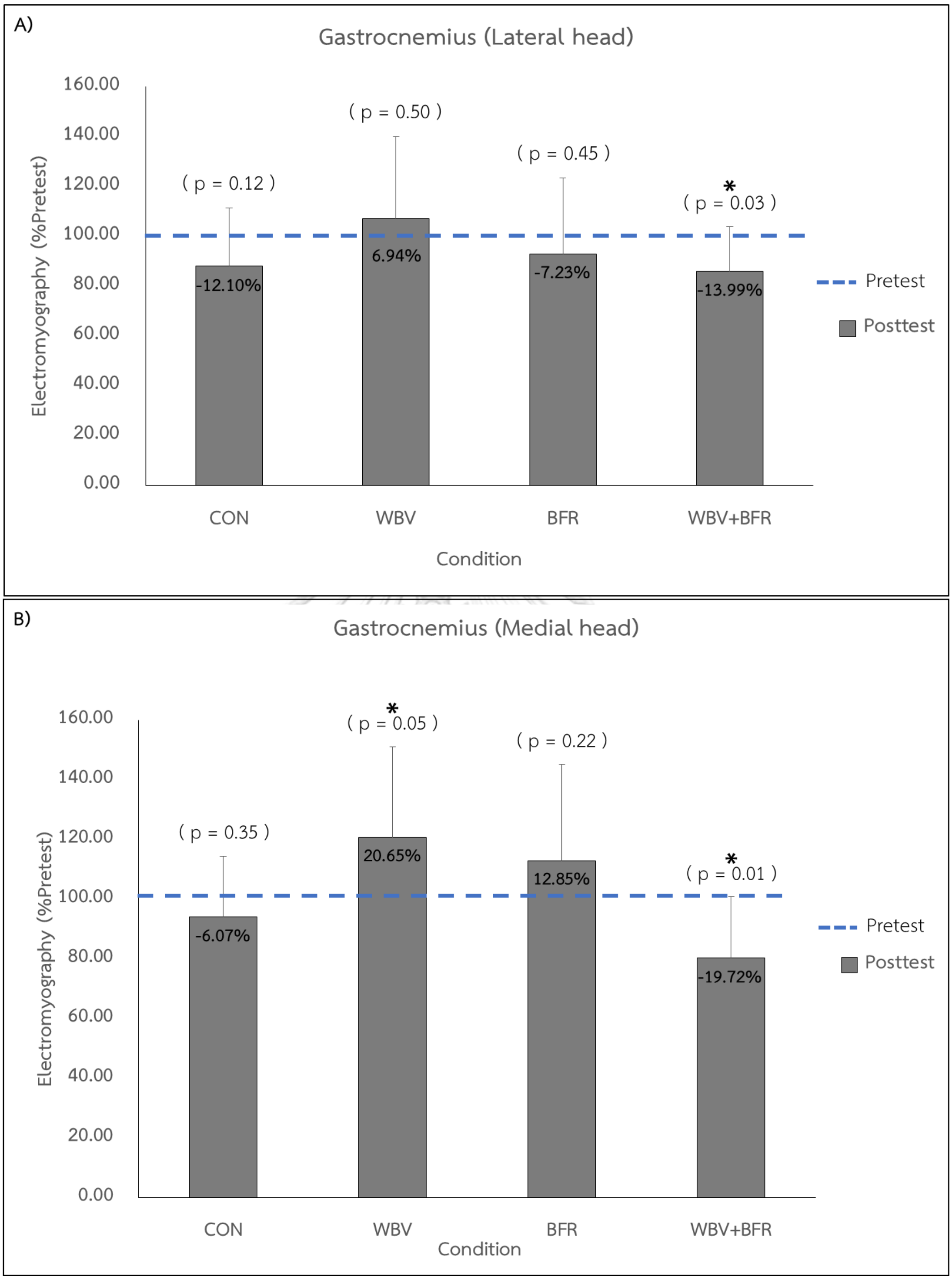
เนื่องจากก่อนการทดลองคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีความแตกต่างกันในแต่ละเงื่อนไข ดังนั้นในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไขเท่านั้น (Paired sample t-test) โดยพบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) และกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Biceps femoris) ไม่แตกต่างกันก่อนและหลังการทดลองในทุกเงื่อนไข (แผนภูมิที่ 15) อย่างไรก็ตามพบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อน่องด้านนอก (Lateral Gastrocnemius) ลดลง (11.31%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (แผนภูมิที่ 16) นอกจากนี้ยังพบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อน่องด้านใน (Medial Gastrocnemius) เพิ่มขึ้น (22.40%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) ขณะที่ลดลง (19.46%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (แผนภูมิที่ 16)

**2. การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump; SJ)**

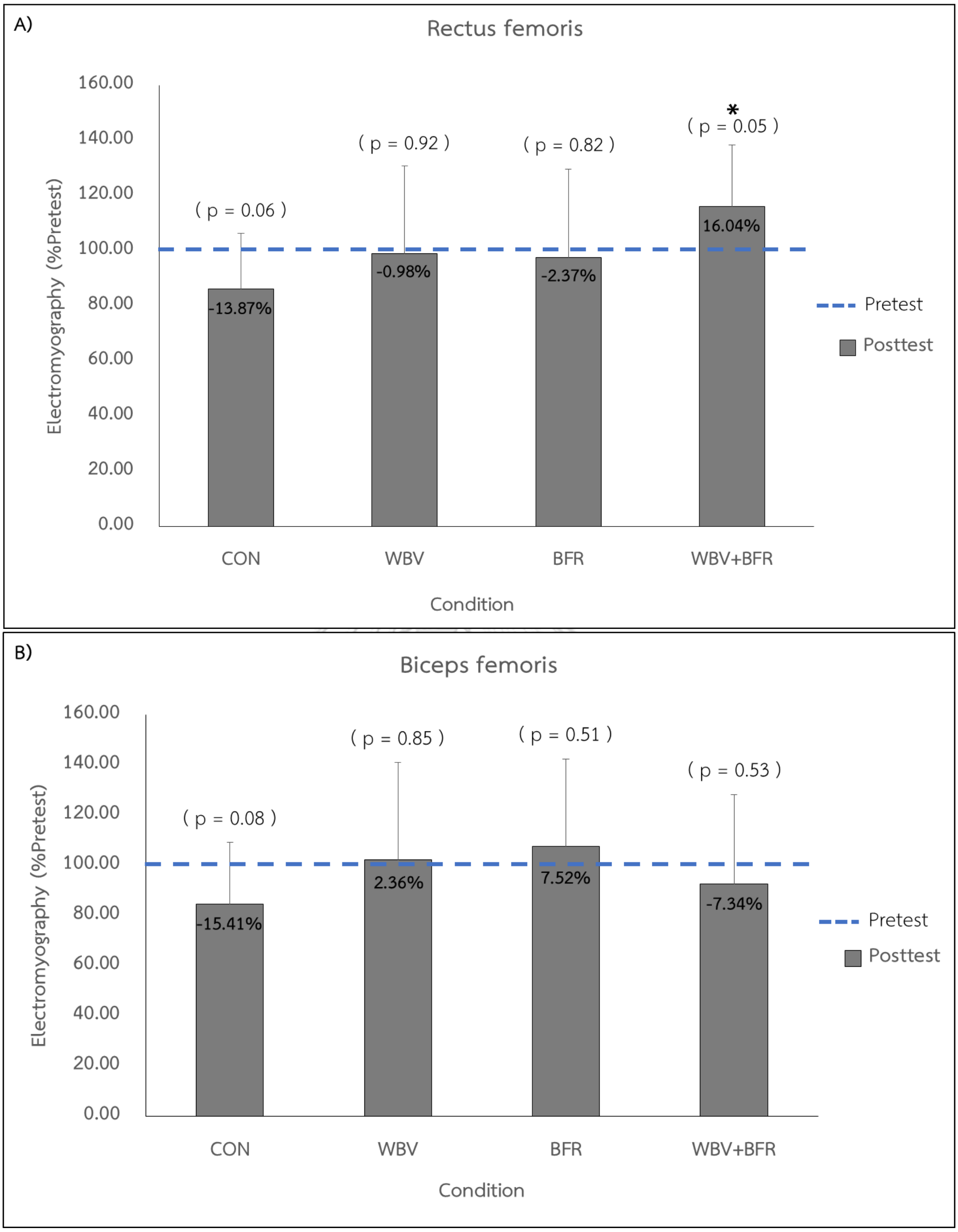
ในทำนองเดียวกัน เนื่องจากก่อนการทดลองคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีความแตกต่างกันในแต่ละเงื่อนไข ดังนั้นในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไขเท่านั้น (Paired sample t-test) โดยพบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) เพิ่มขึ้น (16.04%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ไม่พบความแตกต่างกันของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Biceps femoris) กล้ามเนื้อน่องด้านนอก (Lateral Gastrocnemius) และกล้ามเนื้อน่องด้านใน (Medial Gastrocnemius) ก่อนและหลังการทดลองในทุกเงื่อนไข (แผนภูมิที่ 17 และ 18)



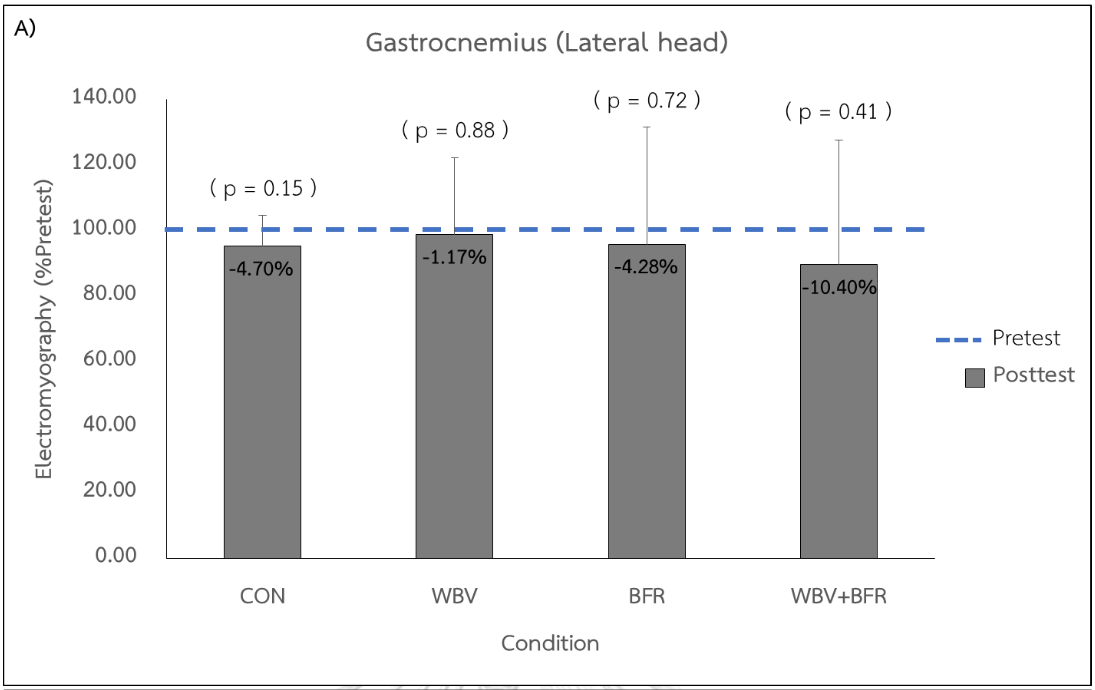

**แผนภูมิที่ 15** แสดงการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (A) Rectus femoris และ (B) Biceps femoris ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ก่อนและหลังการทดลอง $*p < 0.05$

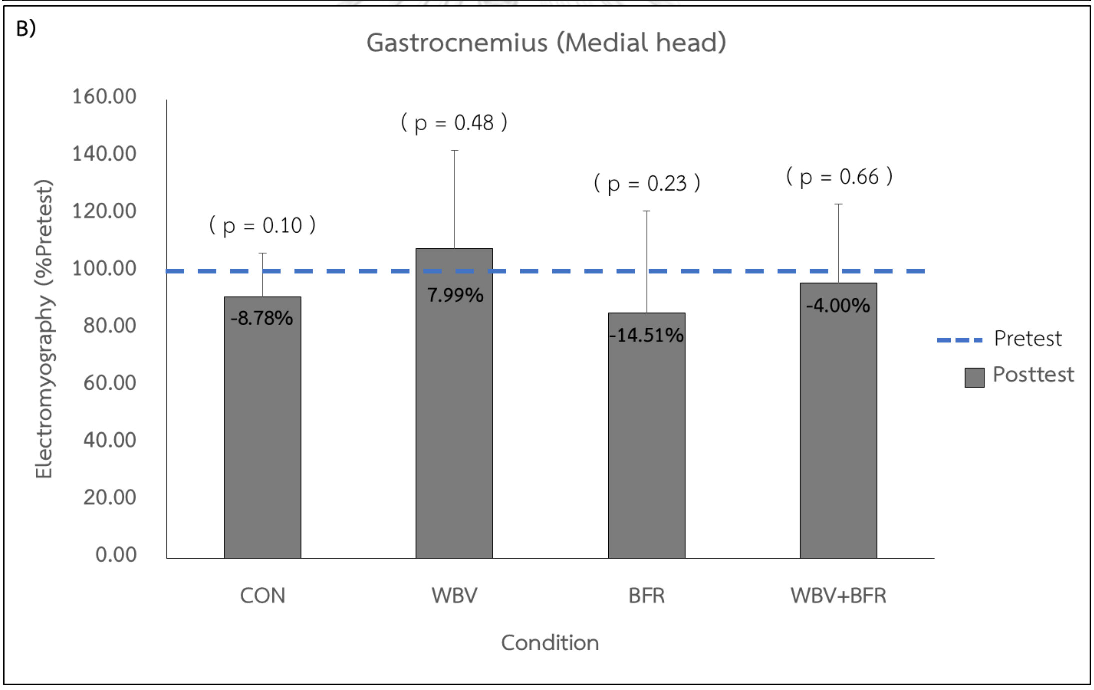



**แผนภูมิที่ 16** แสดงการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (A) Lateral Gastrocnemius และ (B) Medial Gastrocnemius ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ในการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) ก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข *$p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 17** แสดงการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (A) Rectus Femoris และ (B) Biceps femoris ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข *$p < 0.05$




**แผนภูมิที่ 18** แสดงการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (A) Lateral Gastrocnemius และ (B) Medial Gastrocnemius ในการสร้างแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) ก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข $^*p < 0.05$

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือด และความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวอลเลย์บอล ระดับมหาวิทยาลัย เพศหญิง อายุระหว่าง 18-25 ปี จำนวน 12 คน ได้มาด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องมีประสบการณ์ในการเล่นหรือเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาวอลเลย์บอลในระดับมหาวิทยาลัยอย่างน้อย 1 ปี มีการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอ 5 วันต่อสัปดาห์ ในช่วง 6 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัย และไม่มีประวัติการบาดเจ็บเรื้อรังจากโรคทางกระดูกกล้ามเนื้อ 3 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัย โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนจะได้รับการทดสอบทั้ง 4 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขที่ 1 ออกกำลังกายในท่าสควอทอย่างเดียว (CON) เงื่อนไขที่ 2 ออกกำลังกายในท่าสควอทบนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) เงื่อนไขที่ 3 ออกกำลังกายในท่าสควอทและมีการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และเงื่อนไขที่ 4 ออกกำลังกายในท่าสควอทบนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) โดยการถ่วงดุลลำดับ (Counterbalancing) ทดสอบระดับแลคเตทในเลือด คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และความสามารถในการกระโดดก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไข

นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไขมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IBM SPSS Statistics 22 เพื่อหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบปฏิสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขและเวลาการทดสอบด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) จากนั้นเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) และเปรียบเทียบภายในเงื่อนไขการทดลองด้วยการทดสอบค่าที (Paired sample t-test) โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลการวิจัย**

**1. ตัวแปรด้านความสามารถในการกระโดด**

**การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)** พบว่า หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) มีความ

แตกต่างของพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในขณะเดียวกันไม่พบความแตกต่างของความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัว

**การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)** พบว่า หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) มีความแตกต่างของความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในขณะเดียวกันไม่พบความแตกต่างของพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์ อย่างไรก็ตามหลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) มีความแตกต่างของพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในขณะเดียวกันไม่พบความแตกต่างของความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัว

**2. ตัวแปรทางด้านแรงในการกระโดด**

**การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)** พบว่า หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) มีความแตกต่างของอัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase และแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Concentric phase เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ทำให้มีความแตกต่างของอัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของแรงดลและระยะเวลาในการสร้างแรงสูงสุดหลังการทดลองทุกเงื่อนไข

**การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)** พบว่า หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) มีความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Concentric phase เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) มีความแตกต่างของแรงดลและระยะเวลาในการสร้างแรงสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) มีความแตกต่างของอัตราการสร้างช่วง Take-off phase เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่พบความแตกต่างของแรงดลและระยะเวลาในการสร้างแรงสูงสุด ทั้งนี้ยังพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในเงื่อนไขการทดลองที่มีต่ออัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที หลังการทดลองระหว่างเงื่อนไขควบคุม (CON) และเงื่อนไขการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV)

**3. ตัวแปรทางด้านสมรรถภาพกล้ามเนื้อขา**

**การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)** พบว่า หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) มีความแตกต่างของความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ไม่พบความแตกต่างของความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนองและความ

แข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาหลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR)

**การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)** พบว่า หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) มีความแตกต่างของความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) มีความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนองและความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของตัวแปรดังกล่าวหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) รวมทั้งไม่พบความแตกต่างของอัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อหลังการทดลองในทุกเงื่อนไข ในขณะเดียวกันพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในเงื่อนไขการทดลองที่มีต่อความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา ก่อนการทดลองระหว่างการจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR)

**4. ตัวแปรทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจและระดับแลคเตทในเลือด**

พบว่า ทั้งเงื่อนไขการทดลอง เวลาในการทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ ขณะที่เวลาในการทดสอบมีผลต่อระดับแลคเตทในเลือดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยค่าเฉลี่ยระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้น 47.37%, 47.06%, 27.27% และ 23.81% หลังเงื่อนไขควบคุม (CON) การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) การจำกัดการไหลเวียนเลือด (BFR) และการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง

**5. ตัวแปรทางด้านคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ**

**การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)** พบว่า หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) มีความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อน่องด้านใน (Medial Gastrocnemius) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) มีความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากลุ่มกล้ามเนื้อน่องลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)** พบว่า หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) มีความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่หลังการทดลองของเงื่อนไขอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ

**อภิปรายผลการวิจัย**

จากผลการทดลองสามารถอภิปรายผลการตอบสนองของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือด และความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง ได้ดังนี้

**1. ผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อความสามารถในการกระโดด**

ในปัจจุบันได้มีการนำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) มาใช้ทั้งในการฝึกและการอบอุ่นร่างกาย เพื่อช่วยพัฒนาพลังกล้ามเนื้อในนักกีฬา (Cochrane & Stannard, 2005; Cochrane, 2011) โดยเชื่อว่าเครื่องสั่นสะเทือนจะสามารถสร้างการเคลื่อนไหวร่างกายทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ซึ่งจะมีผลกระตุ้นการทำงานของ Tonic vibration reflex หรือรีเฟล็กซ์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ รวมทั้งวงจร Stretch reflex ที่ควบคุมการระดมหน่วยยนต์ (Motor units recruitment) และส่งผลกระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle spindles) (Cochrane, 2011) โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย โดยใช้ความถี่สูงจะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อได้มากขึ้น (Hazell et al., 2007; Rønnestad, 2009) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าความสูงของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) เพิ่มขึ้น 2.74% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของหยางและคณะ (Yang et al., 2017) ที่พบว่า การกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ความถี่ 35 เฮิรตซ์ และ 45 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร สามารถเพิ่มความสูงในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ และทอร์วิเนนและคณะ (Torvinen et al., 2002) ที่ได้ศึกษาผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ที่ความถี่ 15-30 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 1-4 มิลลิเมตร พบว่า ภายหลังออกกำลังกาย 2 นาที ความสูงในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของโคเครนและสแตนนาร์ด (Cochrane & Stannard, 2005) รวมทั้งอาร์มสตรองและคณะ (Armstrong et al., 2010) ที่ที่ได้ใช้การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ความถี่ 26-50 เฮิรตซ์ เป็นระยะเวลา 1-5 นาที พบว่าทำให้ความสูงในการกระโดดเพิ่มขึ้นได้ 2.5%-8.1% จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสามารถในการกระโดดคือ ความถี่และแอมพลิจูดของสั่นสะเทือน อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่า พลังการกระโดดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายในการยืนย่อเข่ากระโดดและการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของคอร์มีร์และคณะ (Cormie et al., 2006) ที่ไม่พบความแตกต่างของพลังการกระโดดหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย โดยความถี่ 30 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่และแอมพลิจูดที่ใช้ในการศึกษานี้

นอกจากนี้ยังพบว่าการจำกัดการไหลเวียนเลือด (แรงดัน 140 มิลลิเมตรปรอท) ไม่มีผลต่อความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของมาซาฮิโระและคณะ (Horiuchi et al, 2018) ที่ทำการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่แรงดัน 200 มิลลิเมตรปรอท ร่วมกับการทำสควอทจั๊มพ์ จำนวน 10 ครั้งต่อเซต ทั้งหมด 5 เซต ฝึกเป็น 4 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 4 สัปดาห์ ซึ่งผลไม่พบความแตกต่างของการยืนย่อเข่ากระโดดและการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์เช่นกัน จากผลการทดลองดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลต่อ PAP นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าความสามารถในการกระโดดมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อของนักกีฬาไม่น่าแตกต่างกันเนื่องจากเป็นการศึกษาผลฉับพลันเท่านั้น

นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด ความสูงในการยืนย่อกระโดดและเวลาในการลอยตัวไม่มีความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการทดลองเช่นกัน ขณะที่ค่าพลังสูงสุดและพลังสูงสุดสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 7.10% และ 6.90% ตามลำดับ ผลการทดลองนี้ตรงข้ามกับการศึกษาของมิลเลอร์และคณะ (Miller et al., 2018) ที่พบว่าค่าพลังสูงสุดในการยืนย่อเข่ากระโดดมีแนวโน้มลดลง ส่วนความสูงในการกระโดดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ความถี่ 40 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4-6 มิลลิเมตร) ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (160 มิลลิเมตรปรอท) โดยพบว่าการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดจะเหนี่ยวนำให้เกิดการปรับตัวของระบบประสาทกล้ามเนื้อ โดยเพิ่มการระดมหน่วยยนต์ในสันใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (กล้ามเนื้อสีขาว) มากขึ้น ผ่านกลไก Post-activation potentiation (PAP) (Yasuda et al., 2014) ทั้งนี้การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะกระตุ้นการทำงานของ PAP ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกระโดด โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความถี่ 40 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูดในระดับสูง 4-6 มิลลิเมตร เป็นระดับที่เหมาะสมในการกระตุ้นการตอบสนองของ PAP (Avelar et al., 2013; Harwood et al., 2017; Naclerio et al., 2014) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าความสูงในการกระโดดไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่านักกีฬาที่มาเข้าร่วมการวิจัยเป็นนักกีฬาที่ทำการฝึกซ้อมเป็นประจำสม่ำเสมอ ซึ่งอาจจะมีการตอบสนองของ PAP ในระดับที่สูง ดังนั้นการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ใช้ในการศึกษานี้ อาจไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นการตอบสนองของ PAP ให้เพิ่มขึ้นได้ (Smith & Fry, 2007)

**2. ผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อแรงในการกระโดด**

การยืนย่อกระโดด (Countermovement jump) เป็นรูปแบบวิธีที่นิยมนำมาทดสอบและใช้อธิบายเกี่ยวกับการทำงานและการปรับตัวของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักกีฬาภายหลังการฝึก

(Gathercole et al., 2015) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายสามารถเพิ่มพลังของกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างและความสูงในการกระโดดได้ (Bedient et al., 2009) รวมทั้งเพิ่มความแข็งแรงแบบยืดหยุ่น (Elastic strength) และพัฒนาวงจรการยืดและหดสั้นเข้า (Stretch-shortening cycle) ของกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวอย่างรวดเร็วและการทำงานประสานกันของระบบประสาท นอกจากนี้การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะกระตุ้นให้คลื่นสั่นสะเทือนจากจุดกำเนิดไปกระตุ้นกล้ามเนื้อเป้าหมายทำให้การสร้างแรงของกล้ามเนื้อ (Force) เพิ่มขึ้นหลังจากการหดตัวของกล้ามเนื้อก่อนหน้า กล่าวคือการหดตัวของกล้ามเนื้อในลำดับก่อนหน้ามีผลต่อกลไกการเพิ่มสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในการหดตัวหรือการออกแรงในครั้งถัดไป โดยกล้ามเนื้อต้องไม่เกิดอาการล้า และต้องอยู่ในระดับการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ให้แรงสูงสุด (Maximum voluntary contraction; MVC) โดยสามารถอธิบายกลไกทางสรีรวิทยา คือ เกิดการเพิ่มกระบวนการ Phosphorylation ของ Myosin light chains ซึ่งจะกระตุ้นความไวในการจับกันของเส้นใย Actin และ Myosin เมื่อแคลเซียมไอออนถูกปล่อยออกจาก Sarcoplasmic reticulum (SR) ในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัว จึงส่งผลให้การหดตัวของกล้ามเนื้อในครั้งถัดไปได้แรงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มการระดมกระแสประสาทไปยังกล้ามเนื้อ โดยกระตุ้นให้เกิดการ Synapse ของกระแสประสาทในไขสันหลังมากขึ้น จากการเพิ่มจำนวนและประสิทธิภาพของสารสื่อประสาทใน Presynaptic ซึ่งจะส่งผลต่อ Post-synaptic ด้วย ทำให้มีการระดมหน่วยยนต์ในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดแรงในการหดตัวเพิ่มขึ้น (Cardinale & Bosco, 2003) จึงทำให้มีอัตราการสร้างแรงในช่วง Take-off phase เพิ่มขึ้น

ทั้งนี้จากการศึกษาก่อนหน้าพบว่าการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ เป็นความถี่ที่มีความเหมาะสมสำหรับการกระตุ้นกล้ามเนื้อ (Bedient et al., 2009) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้กำหนดความถี่ 40 เฮิรตซ์ พบว่า อัตราการสร้างแรงในช่วง Take-off phase เพิ่มขึ้น 15.92% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของโฮและคณะ (Ho et al., 2016) ที่กำหนดความถี่ 28 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 10 มิลลิเมตร และพบว่า อัตราการสร้างแรงและแรงดลของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขณะที่การจำกัดการไหลเวียนเลือด ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลต่ออัตราการสร้างแรง (Rate of force development) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนีลเซนและคณะ (Nielsen et al., 2018) ที่ได้ทำการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่แรงดัน 100 มิลลิเมตรปรอท ร่วมกับการออกกำลังกายด้วยการเหยียดเข่าที่ความหนัก 20% 1RM ผลพบว่าอัตราการสร้างแรงไม่แตกต่างภายหลังจากฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นระยะเวลา 5 วัน อย่างไรก็ตามนีลเซนและคณะยังพบว่าอัตราการสร้างแรง (Rate of force development) เพิ่มขึ้นภายหลังการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดเป็นระยะเวลา 12 วัน เนื่องจากมีการปรับตัวของระบบประสาท ทำให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัว

ได้เร็วและแรงมากขึ้น ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการจำกัดการไหลเวียนเลือดในการศึกษาครั้งนี้อาจยังมีความหนักที่ไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการปรับตัวดังกล่าว ดังนั้นในการศึกษาครั้งถัดไปควรมีการจำกัดการไหลเวียนเลือดเพิ่มขึ้นเพื่อจะดูความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจำกัดการไหลเวียนเลือดกับอัตราการสร้างแรง

**3. ผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อสมรรถภาพกล้ามเนื้อขาในการกระโดด**

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการวัดความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive strength) เพื่อเป็นการทดสอบพลังของกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างของร่างกาย โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำคำนวณค่าพลังสูงสุดในการกระโดด (Peak power) จากแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Concentric phase และความเร็วในช่วง Take-off phase โดยพบว่าความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แม้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของโคลกซ์และคณะ (Cloak et al., 2014) ที่พบว่าการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนองก่อนและหลังการทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนองที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการตอบสนองระบบประสาทกล้ามเนื้อ ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย เนื่องจากการทำงานของวงจร Stretch-shortening cycle (SSC) เกิดได้เร็วขึ้น (Fernandes et al., 2013) นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (Leg stiffness) ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (SSC) เช่นเดียวกัน โดยพบว่าภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (Leg stiffness) เพิ่มขึ้น 11.36% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เดลาฟอนเทนต์และคณะ (Delafontaine et al., 2019) โดยพบว่า ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ความถี่ 50 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร) ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น รวมทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของพาราดิซิสและคณะ (Paradisis et al., 2019) ที่พบว่า ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น 3.4% หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (50 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขาอาจเป็นผลมาจากพลังของกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างที่เพิ่มขึ้นแม้ว่ากลไกที่เกิดขึ้นภายหลังการวอร์มอัพด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด (Cochrane, 2013) งานวิจัยที่ผ่านมากล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดจากกลไก Post-activation potentiation (PAP) โดยมีการเพิ่มการ Phosphorylation ของ Myosin regulatory light chains การระดมหน่วยยนต์เพิ่มขึ้น (Motor units recruitment) และมุมของแนวการวางตัวของกล้ามเนื้อกับแนวแรงที่มากระทำกันเพิ่มขึ้น (Pennation angle) (Cochrane, 2013) อย่างไรก็

ตามเมื่อทำการวิเคราะห์อัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ (EUR) ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเงื่อนไขอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของหยางและคณะ (Yang et al., 2017) พบว่า พบว่า การกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ความถี่ 35 เฮิรตซ์ และ 45 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร) ไม่ส่งผลต่ออัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อเช่นเดียวกัน ขณะที่ภายหลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด ไม่พบความแตกต่างของความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของโดมาและคณะ (Doma et al., 2018) ที่ได้ทำการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่แรงดัน 130% ของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) ร่วมกับการทำท่าลังค์ (Lunge) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ก็ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนองเช่นเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากลไกการเกิด Post-activation potentiation (PAP) ต้องใช้ระยะเวลาในการปรับตัวที่มากกว่า 3 สัปดาห์ขึ้นไป และ/หรือระดับความหนักของการกระตุ้นดังในการศึกษานี้ไม่เพียงพอที่จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว รวมทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ารูปแบบการออกกำลังกายที่มีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มกลไก PAP จะเป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบคงค้าง (Isometric exercises) เมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายที่ความยาวกล้ามเนื้อหดสั้นเข้า (Isotonic or dynamic exercise) (Miller et al., 2018)

**4. ผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีระดับแลคเตทในเลือด**

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้น 47.06% หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเซนต์เนอร์และคณะ (Centner et al., 2019) ที่พบว่าระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ภายหลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย โดยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะช่วยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อและเพิ่มระดับการเผาผลาญพลังงาน (Rittweger, 2010) เนื่องจากใช้ในการเหยียดและหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยในการส่งเสริมการทำงานของรยางค์ส่วนล่างระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย รวมทั้งเพิ่มอุณหภูมิของกล้ามเนื้อ (Cochrane et al., 2010; Cochrane et al., 2008) ทั้งนี้การจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับปานกลาง (40% ของการจำกัดการไหลเวียนเลือดทั้งหมด) ร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้าน Knee extension ที่ระดับความหนัก 30% 1RM จะส่งต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนาของกล้ามเนื้อและระดับแลคเตทในเลือดมากที่สุด (Loenneke et al., 2017) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีความแตกต่างก่อนและหลังการทดลองของค่าเฉลี่ยระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้น 23.81% หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเซนต์เนอร์และคณะ (Centner et al.,

2019) ที่ระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ภายหลังเงื่อนไขเงื่อนไขการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด

ดังนั้นการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะส่งผลให้มีการสะสมของระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก  นอกจากนี้ยังลดระดับการไหลของเลือดดำ ส่งผลให้มีระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อลดลง และนำไปสู่การเพิ่มการเผาผลาญ โดยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะช่วยเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อและเพิ่มระดับการเผาผลาญพลังงาน (Rittweger, 2010) เนื่องจากใช้ในการเหยียดและหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยในการส่งเสริมการทำงานของรยางค์ส่วนล่างระหว่างการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย รวมทั้งเพิ่มอุณหภูมิของกล้ามเนื้อ (Cochrane et al., 2010; Cochrane et al., 2008)

**5. ผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการกระโดด**

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อน่องด้านใน (Medial Gastrocnemius) เพิ่มขึ้น (22.40%) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (WBV) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองในการยืนย่อเข่ากระโดด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเซนต์เนอร์และคณะ (Centner et al., 2019) ที่พบว่าการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ความถี่ 30 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร) สามารถเพิ่มการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อน่องด้านใน

โดยการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายส่งผลให้เพิ่มการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้มากถึง 50% ของแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (MVC) ทั้งนี้การกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความถี่ แอมพลิจูดของเครื่องสั่นสะเทือน และมุมของข้อต่อ (Abercromby et al., 2007; Cardinale & Lim, 2003; Pollock et al., 2010; Ritzmann et al., 2013)

อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไม่มีความแตกต่างของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อทั้งกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Biceps femoris) กล้ามเนื้อน่องด้านนอก (Lateral Gastrocnemius) และกล้ามเนื้อน่องด้านใน (Medial Gastrocnemius) หลังการจำกัดการไหลเวียนเลือด ทั้งการยืนย่อกระโดดและการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองนี้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานและไม่สอดคล้องกับการศึกษาของฟาเตลาและคณะ (Fatela et al., 2016) ที่พบว่า การจำกัดการไหลเวียนเลือด (80% ของการไหลเวียนเลือดทั้งหมด) สามารถกระตุ้นคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) ขณะที่กล้ามเนื้อมี

การหดตัวแบบไม่เปลี่ยนความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Isometric contractions) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อน่องด้านนอกและด้านในลดลง 11.31% และ 19.46% ตามลำดับ ขณะทำการยืนย่อกระโดด (Countermovement jump) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ขณะที่คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) เพิ่มขึ้น 16.04% ขณะกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (WBV+BFR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ซึ่งผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับผลการศึกษาของเซนต์เนอร์และคณะ (Centner et al., 2019) ที่พบว่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อน่องด้านในจะเพิ่มขึ้นทันทีในเซตที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ความถี่ 30 เฮิรตซ์ แอมพลิจูด 4 มิลลิเมตร) ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด (140 มิลลิเมตรปรอท) และการศึกษาของไคและคณะ (Cai et al., 2018) ที่พบว่า คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) มีการทำงานเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Rectus femoris) เป็นกล้ามเนื้อหลักที่ถูกจำกัดการไหลเวียนเลือด จึงส่งผลให้คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าเพิ่มขึ้นในการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์

ทั้งนี้จากการศึกษาที่ผ่านมาของเชนและคณะ (Chen et al., 2018) พบว่า การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายความถี่ 35-40 เฮิรตซ์ ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่บริเวณกลางต้นขา จะส่งผลต่อการกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้มากขึ้น (ประมาณ 71% ของ MVC) นอกจากนี้การจำกัดการไหลเวียนเลือดจะกระตุ้นให้กล้ามเนื้อส่วนปลายที่ถูกบีบรัดมีการปรับตัว รวมทั้งการหลั่งสารที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดอาการล้า นอกจากนี้ยังกระตุ้น Corticomotor ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ทำให้มีการระดมหน่วยยนต์ (Motor unit recruitment) เพิ่มมากขึ้น (Jessee et al., 2018) ในส่วนของกลไกการทำงานของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย จะอาศัยหลักการส่งคลื่นสั่นสะเทือนจากจุดกำเนิดไปกระตุ้นกล้ามเนื้อเป้าหมายให้เกิดการหดตัวเพิ่มมากขึ้น (Postactivation potentiation; PAP) (Cardinale & Bosco, 2003) ดังนั้นเมื่อนำการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดในช่วงของการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) จะสามารถช่วยกระตุ้นในส่วนของระบบประสาทให้มีการระดมหน่วยยนต์มากขึ้น ทำให้ความสามารถของการกระโดดเพิ่มมากขึ้น โดยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามากกว่าด้านหลัง เนื่องจากกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าเป็นกล้ามเนื้อหลักสำหรับการออกกำลังกายท่าสควอท (Perchthaler et al., 2015)

**สรุปผลการวิจัย**

การสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการทำงานของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและช่วยพัฒนาพลังสูงสุดในการกระโดดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายรูปแบบอื่น ถึงแม้ว่าจะไม่ส่งผลต่อความสูงในการกระโดดและเวลาในการลอยตัวในนักกีฬาวอลเลย์บอล

**ข้อจำกัดของการวิจัย**

ในการวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดคือ

1. การจำกัดการไหลเวียนเลือด จะทำในขณะยืน ซึ่งส่งผลให้ขณะทำการสควอทจะมีแรงดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่บริเวณต้นขาทั้งสองข้างมากกว่า 140 มิลลิเมตรปรอท

2. ในการทดสอบความสามารถในการกระโดด จังหวะในการกระโดดของผู้เข้าร่วมวิจัยอาจจะแตกต่างกันแม้ว่าผู้วิจัยจะมีการให้สัญญาณก่อนการกระโดดทุกครั้ง

**ข้อเสนอแนะจากการวิจัย**

1. ควรทำการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการหดตัวเพื่อออกแรงสูงสุด (Maximum voluntary contraction) ขณะทำท่าสควอท และเพิ่มรูปแบบการทดสอบการกระโดดลงจากกล่อง (Drop jump)

2. ปรับรูปแบบการสควอทเป็นแบบไม่มีการเคลื่อนไหว (Static squat) รวมทั้งอาจจะมีการเพิ่มการใส่น้ำหนักในขณะสควอทเพิ่มขึ้น เพื่อกระตุ้นให้กล้ามเนื้อมีการทำงานที่เพิ่มขึ้น

3. ทำการศึกษาเป็นผลระยะยาวของการฝึกด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บรรณานุกรม


**ภาษาไทย**

ขวัญเรียม ก้อนแก้ว. (2546). **ผลการฝึกพลัยโอเมตริกเทคนิค Rim jumps และ Split squat jump ที่มีต่อแรงเหยียดขาและความสามารถในการกระโดดของนักกีฬาวอลเลย์บอล** (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ชำนาญ ชินสีห์. (2545). **การวิเคราะห์การกระโดดสกัดกั้นในกีฬาวอลเลย์บอลเชิงชีวกลศาสตร์** (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ถาวร กมุทศรี. (2560). **การเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย Physical Fitness Conditioning.** กรุงเทพฯ: หจก. มีเดีย เพรส

ธนาวรรณ นุ่นจันทร์. (2560). **ผลของการฝึกเสริมด้วยโปรแกรมการประสานงานของตาและเท้าที่มีต่อความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งกระโดดสกัดกั้นในกีฬาวอลเลย์บอล** (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สลิษา ยูนุช. (2557). **ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายโดยใช้ท่าฝึกและช่วงระยะเวลาแตกต่างกันที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อ** (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุภัทรา ศิลปบรรเลง. (2558). **ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้ง ร่างกายต่อพลังกล้ามเนื้อขาในขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบอยู่กับที่และเคลื่อนที่** (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อธิวัฒน์ สายทอง. (2558). **ผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายด้วยระยะเวลาแตกต่างกันร่วมกับการฝึกแรงต้านจากแรงดันอากาศที่มีต่อพลังกล้ามเนื้อ** (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

**ภาษาอังกฤษ**

Abercromby, A. F., Amonette, W. E., Layne, C. S., McFarlin, B. K., Hinman, M. R., & Paloski, W. H. (2007). Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training. *Medicine and science in sports and exercise, 39*(10), 1794.

Adams, J. B., Edwards, D., Serviette, D., Bedient, A. M., Huntsman, E., Jacobs, K. A., & Signorile, J. F. (2009). Optimal frequency, displacement, duration, and recovery patterns to maximize power output following acute whole-body vibration. *The*


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

*Journal of Strength & Conditioning Research, 23*(1), 237-245.

Allen, D. G., & Trajanovska, S. (2012). The multiple roles of phosphate in muscle fatigue. *Frontiers in physiology, 3*, 463.

American College of Sports Medicine, (2009). American dietetic association and Dietitians of Canada: Joint Position Statement Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc, 41*, 709-731.

Armstrong, W. J., Grinnell, D. C., & Warren, G. S. (2010). The acute effect of whole-body vibration on the vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 24*(10), 2835-2839.

Avelar, N. C., Ribeiro, V. G., Mezêncio, B., Fonseca, S. F., Tossige-Gomes, R., da Costa, S. J., & Lacerda, A. C. R. (2013). Influence of the knee flexion on muscle activation and transmissibility during whole body vibration. *Journal of Electromyography and Kinesiology, 23*(4), 844-850.

Bagheri, R., Rashidlamir, A., & Attarzadeh Hosseini, S. R. (2018). Effect of resistance training with blood flow restriction on follistatin to myostatin ratio, body composition and anaerobic power of trained-volleyball players. *Medical Laboratory Journal, 12*(6), 28-33.

Bangsbo, J. (2000). Nutrition in Sport. In: Oxford, Blackwell Science Ltd.

Barnes, K., Hopkins, W., McGuigan, M., & Kilding, A. (2015). Warm-up with a weighted vest improves running performance via leg stiffness and running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport, 18*(1), 103-108.

Bazett-Jones, D. M., Finch, H. W., & Dugan, E. L. (2008). Comparing the effects of various whole-body vibration accelerations on counter-movement jump performance. *Journal of sports science & medicine, 7*(1), 144.

Bedient, A. M., Adams, J. B., Edwards, D. A., Serravite, D. H., Huntsman, E., Mow, S. E., & Signorile, J. F. (2009). Displacement and frequency for maximizing power output resulting from a bout of whole-body vibration. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 23*(6), 1683-1687.

Behringer, M., Behlau, D., Montag, J. C., McCourt, M. L., & Mester, J. (2017). Low-intensity sprint training with blood flow restriction improves 100-m dash. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 31*(9), 2462-2472.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of applied physiology, 80*(3), 876-884.

Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. (2018). *Periodization-: theory and methodology of training*: Human kinetics.

Bosco, C., Colli, R., Introini, E., Cardinale, M., Tsarpela, O., Madella, A., & Viru, A. (1999). Adaptive respsonses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical physiology, 19*(2), 183.

Bush, J. A., Blog, G. L., Kang, J., Faigenbaum, A. D., & Ratamess, N. A. (2015). Effects of quadriceps strength after static and dynamic whole-body vibration exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 29*(5), 1367-1377.

Cai, Z.-Y., Chen, W.-C., & Wu, C.-M. (2018). Acute effects of whole body vibration combined with blood restriction on electromyography amplitude and hormonal responses. *Biology of Sport, 35*(3), 301.

Cardinale, M., & Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and sport sciences reviews, 31*(1), 3-7.

Cardinale, M., & Lim, J. (2003). The acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jump performance. *Medicina Dello Sport, 56*(4), 287-292.

Cardinale, M., & Lim, J. (2003). Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 17*(3), 621-624.

Carey, R. M., & Whelton, P. K. (2018). Prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: synopsis of the 2017 American College of Cardiology/American Heart Association Hypertension Guideline. *Annals of internal medicine, 168*(5), 351-358.

Casey, A., Constantin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E., & Greenhaff, P. (1996). Metabolic response of type I and II muscle fibers during repeated bouts of maximal exercise in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 271*(1), E38-E43.

Centner, C., Ritzmann, R., Schur, S., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Blood flow restriction increases myoelectric activity and metabolic accumulation during

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

whole-body vibration. *European Journal of Applied Physiology, 119*(6), 1439-1449.

Chen, W., Wu, C., & Cai, Z. (2018). Effect of one bout of local vibration exercise with blood flow restriction on neuromuscular and hormonal responses. *Physiology International, 105*(2), 166-176.

Çimenli, Ö., Koç, H., Çimenli, F., & Kaçoglu, C. (2016). Effect of an eight-week plyometric training on different surfaces on the jumping performance of male volleyball players. *Journal of Physical Education and Sport, 16*(1), 162.

Cloak, R., Nevill, A., Smith, J., & Wyon, M. (2014). The acute effects of vibration stimulus following FIFA 11+ on agility and reactive strength in collegiate soccer players. *Journal of Sport and Health Science, 3*(4), 293-298.

Cochrane, D., & Stannard, S. (2005). Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite female field hockey players. *British journal of sports medicine, 39*(11), 860-865.

Cochrane, D. J. (2011). The potential neural mechanisms of acute indirect vibration. *Journal of sports science & medicine, 10*(1), 19.

Cochrane, D. J. (2013). The effect of acute vibration exercise on short-distance sprinting and reactive agility. *Journal of sports science & medicine, 12*(3), 497.

Cochrane, D. J., Stannard, S. R., Firth, E. C., & Rittweger, J. (2010). Acute whole-body vibration elicits post-activation potentiation. *European Journal of Applied Physiology, 108*(2), 311.

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 Applied Physiology, 103*(4), 441-448.

Colomer-Poveda, D., Romero-Arenas, S., Vera-Ibanez, A., Vinuela-Garcia, M., & Márquez, G. (2017). Effects of 4 weeks of low-load unilateral resistance training, with and without blood flow restriction, on strength, thickness, V wave, and H reflex of the soleus muscle in men. *European Journal of Applied Physiology, 117*(7), 1339-1347.

Cook, C. J., Beaven, C. M., & Kilduff, L. P. (2013). Three weeks of eccentric training combined with overspeed exercises enhances power and running speed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

performance gains in trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 27*(5), 1280-1286.

Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R., & Doyle, T. L. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International journal of sports physiology and performance, 3*(2), 131-144.

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

Cunnington, R., Windischberger, C., Deecke, L., & Moser, E. (2002). The preparation and execution of self-initiated and externally-triggered movement: a study of event-related fMRI. *Neuroimage, 15*(2), 373-385.

Dankel, S. J., Buckner, S. L., Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Mouser, J. G., Counts, B. R., & Loenneke, J. P. (2016). Post-exercise blood flow restriction attenuates muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology, 116*(10), 1955-1963.

Day, S. (2002). Important factors in surface EMG measurement. *Bortec Biomedical Ltd publishers*, 1-17.

Delafontaine, A., Vialleron, T., Fischer, M., Laffaye, G., Cheze, L., Artico, R., & Yiou, E. (2019). Acute effects of whole-body vibration on the postural organization of gait initiation in young adults and elderly: a randomized sham intervention study. *Frontiers in Neurology, 10*, 1023.

Delagi, E. F., & Perotto, A. (1980). *Anatomic guide for the electromyographer--the limbs*: Charles C. Thomas Publisher.

Di Giminiani, R., Fabiani, L., Baldini, G., Cardelli, G., Giovannelli, A., & Tihanyi, J. (2014). Hormonal and neuromuscular responses to mechanical vibration applied to upper extremity muscles. *PloS one, 9*(11), e111521.

Doma, K., Leicht, A. S., Boullosa, D., & Woods, C. T. (2020). Lunge exercises with blood-flow restriction induces post-activation potentiation and improves vertical jump performance. *European Journal of Applied Physiology, 120*(3), 687-695.

Donahue, R. B., Vingren, J. L., Duplanty, A. A., Levitt, D. E., Luk, H.-Y., & Kraemer, W. J. (2016). Acute effect of whole-body vibration warm-up on footspeed quickness. *Journal of strength and conditioning research, 30*(8), 2286-2291.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Ebbeling, C. B., & Clarkson, P. M. (1989). Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports medicine, 7*(4), 207-234.

Fahs, C. A., Rossow, L. M., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Kim, D., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2012). Effect of different types of lower body resistance training on arterial compliance and calf blood flow. *Clinical physiology and functional imaging, 32*(1), 45-51.

Fatela, P., Reis, J. F., Mendonca, G. V., Avela, J., & Mil-Homens, P. (2016). Acute effects of exercise under different levels of blood-flow restriction on muscle activation and fatigue. *European Journal of Applied Physiology, 116*(5), 985-995.

Fernandes, I. A., Kawchuk, G., Bhambhani, Y., & Gomes, P. S. C. (2013). Does whole-body vibration acutely improve power performance via increased short latency stretch reflex response? *Journal of Science and Medicine in Sport, 16*(4), 360-364.

Fox, E. L., Keteyian, S. J., & Foss, M. L. (1998). Fox's Physiological Basis for Exercise and Sport: WCB/McGraw-Hill.

Gabbett, T., Georgieff, B., Anderson, S., Cotton, B., Savovic, D., & Nicholson, L. (2006). Changes in skill and physical fitness following training in talent-identified volleyball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 20*(1), 29-35.

Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International journal of sports physiology and performance, 10*(1), 84-92.

Giles, L., Webster, K. E., McClelland, J., & Cook, J. L. (2017). Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial. *British journal of sports medicine, 51*(23), 1688-1694.

Gundermann, D. M., Walker, D. K., Reidy, P. T., Borack, M. S., Dickinson, J. M., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2014). Activation of mTORC1 signaling and protein synthesis in human muscle following blood flow restriction exercise is inhibited by rapamycin. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 306*(10), E1198-E1204.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hagbarth, K. (1969). The muscle vibrator-a useful tool in neurological therapeutic work. *Scand J Rehabil Med., 1*(1), 26-34.

Halvorsen, K., Eriksson, M., Gullstrand, L., Tinmark, F., & Nilsson, J. (2009). Minimal marker set for center of mass estimation in running. *Gait & posture, 30*(4), 552-555.

Hara, M., Tabata, K., Suzuki, T., Do, M.-K. Q., Mizunoya, W., Nakamura, M., & Sunagawa, K. (2012). Calcium influx through a possible coupling of cation channels impacts skeletal muscle satellite cell activation in response to mechanical stretch. *American Journal of Physiology-Cell Physiology, 302*(12), C1741-C1750.

Harwood, B., Scherer, J., Brown, R., Cornett, K., Kenno, K., & Jakobi, J. (2017). Neuromuscular responses of the plantar flexors to whole‐body vibration. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 27*(12), 1569-1575.

Hawke, T. J. (2005). Muscle stem cells and exercise training. *Exercise and sport sciences reviews, 33*(2), 63-68.

Hazell, T. J., Jakobi, J. M., & Kenno, K. A. (2007). The effects of whole-body vibration on upper-and lower-body EMG during static and dynamic contractions. *Applied physiology, nutrition, and metabolism, 32*(6), 1156-1163.

Ho, C.-S., Lin, K.-C., Chen, K.-C., Chiu, P.-K., & Chen, H.-J. (2016). System design and application for evaluation of blocking agility in volleyball. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology, 230*(3), 195-202.

Horiuchi, M., Endo, J., Sato, T., & Okita, K. (2018). Jump training with blood flow restriction has no effect on jump performance. *Biology of sport, 35*(4), 343-348.

Hultman, E., Greenhaff, P. L., Ren, J.-M., & Söderlund, K. (1991). Energy metabolism and fatigue during intense muscle contraction. In: Portland Press Ltd.

Iversen, E., Røstad, V., & Larmo, A. (2016). Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sport and Health Science, 5*(1), 115-118.

Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Mouser, J. G., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). Mechanisms of blood flow restriction: the new

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

testament. *Techniques in Orthopaedics, 33*(2), 72-79.

Kamutsri, T., & Limroongreungrat, W. (2014). Comparison of vertical jump performance between female Thai national and youth national volleyball players. *Journal of Sports Science and Technology, 14*(2), 17-24.

Kasabalis, A., Douda, H., Volaklis, K., & Pilianidis, T. (2005). Energy requirements of elite volleyball players in training and competition. *Journal of Human Movement Studies, 48*(5), 365-378.

Kipp, K., Kiely, M. T., & Geiser, C. F. (2016). Reactive strength index modified is a valid measure of explosiveness in collegiate female volleyball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 30*(5), 1341-1347.

Konrad, P. (2006). The ABC of EMG: A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. Version 1.4. Noraxon USA. In: Inc.

Kouzaki, M., Yoshihisa, T., & Fukunaga, T. (1997). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 77*(1-2), 189-191.

Larson-Meyer, D. E. (2003). Optimal nutrition and hydration for the volleyball athlete. *Handbook of Sports Medicine and Science, Volleyball*, 45.

Lidor, R., & Ziv, G. (2010). Physical and physiological attributes of female volleyball players-a review. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 24*(7), 1963-1973.

Loenneke, J., Abe, T., Wilson, J., Thiebaud, R., Fahs, C., Rossow, L., & Bemben, M. (2012). Blood flow restriction: an evidence based progressive model. *Acta Physiologica Hungarica, 99*(3), 235-250.

Loenneke, J. P., Allen, K. M., Mouser, J. G., Thiebaud, R. S., Kim, D., Abe, T., & Bemben, M. G. (2015). Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *European Journal of Applied Physiology, 115*(2), 397-405.

Loenneke, J. P., Kim, D., Fahs, C. A., Thiebaud, R. S., Abe, T., Larson, R. D., & Bemben, M. G. (2017). The influence of exercise load with and without different levels of blood flow restriction on acute changes in muscle thickness and lactate. *Clinical physiology and functional imaging, 37*(6), 734-740.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Abe, T., & Bemben, M. G. (2013). Effect of cuff type on arterial occlusion. *Clinical physiology and functional imaging, 33*(4), 325-327.

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

Manore, M. M., Meyer, N. L., & Thompson, J. (2009). *Sport nutrition for health and performance*: Human Kinetics.

Marques, M. C., Van Den Tillaar, R., Vescovi, J. D., & González-Badillo, J. J. (2008). Changes in strength and power performance in elite senior female professional volleyball players during the in-season: a case study. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 22*(4), 1147-1155.

McBride, J. M., Nuzzo, J. L., Dayne, A. M., Israetel, M. A., Nieman, D. C., & Triplett, N. T. (2010). Effect of an acute bout of whole body vibration exercise on muscle force output and motor neuron excitability. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 24*(1), 184-189.

McMahon, J., Ripley, N., & Rej, S. (2016). Effect of modulating eccentric leg stiffness on concentric force-velocity characteristics demonstrated in the countermovement jump. *J Sports Sci, 34*(S1), 19.

McMahon, T. A., & Cheng, G. C. (1990). The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *Journal of biomechanics, 23*, 65-78.

Meeusen, R., Duclos, M., Gleeson, M., Rietjens, G., Steinacker, J., & Urhausen, A. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: ECSS position statement 'task force'. *European Journal of Sport Science, 6*(01), 1-14.

Miller, R. M., Keeter, V. M., Freitas, E. D., Heishman, A. D., Knehans, A. W., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2018). Effects of blood-flow restriction combined with postactivation potentiation stimuli on jump performance in recreationally active men. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 32*(7), 1869-1874.

Montoye, H. (1996). Measuring physical activity and energy expenditure. Champaign. *Human Kinetics, IL*.

Naclerio, F., Faigenbaum, A. D., Larumbe-Zabala, E., Ratamess, N. A., Kang, J., Friedman, P., & Ross, R. E. (2014). Effectiveness of different postactivation potentiation

protocols with and without whole body vibration on jumping performance in college athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 28*(1), 232-239.

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*(3), 1701-1709.

Newton, R. U., Kraemer, W. J., & Haekkinen, K. (1999). Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Medicine and science in sports and exercise, 31*, 323-330.

Nielsen, J. L., Frandsen, U., Prokhorova, T., Bech, R. D., Nygaard, T., Suetta, C., & Aagaard, P. (2017). Delayed effect of blood flow-restricted resistance training on rapid force capacity. *Medicine and science in sports and exercise, 49*(6), 1157-1167.

Organization, W. H. International Association for the Study of Obesity (IASO), International Obesity Task Force (IOTF)(2000). *The Asia–Pacific Perspective: Redefining Obesity and Its Treatment. Geneva: World Health Organization*.

Papadopoulou, S., Papadopoulou, S., Vamvakoudis, E., & Tsitskaris, G. (2008). Comparison of nutritional intake between volleyball and basketball women athletes of the olympic national teams. *Gazz. Med. Ital. Arch. Per Sci. Med, 167*, 147-152.

Papadopoulou, S. D. (2015). Impact of energy intake and balance on the athletic performance and health of top female volleyball athletes. *Medicina Sportiva: Journal of Romanian Sports Medicine Society, 11*(1), 2477.

Papadopoulou, S. K., Papadopoulou, S. D., & Gallos, G. K. (2002). Macro-and micro-nutrient intake of adolescent Greek female volleyball players. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism, 12*, 73-80.

Paradisis, G. P., Pappas, P., Dallas, G., Zacharogiannis, E., Rossi, J., & Lapole, T. (2019). Acute Effects of Whole-Body Vibration Warm-up on Leg and Vertical Stiffness During Running. *The Journal of Strength & Conditioning Research*.

Patterson, S. D., & Ferguson, R. A. (2010). Increase in calf post-occlusive blood flow and

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

strength following short-term resistance exercise training with blood flow restriction in young women. *European Journal of Applied Physiology, 108*(5), 1025-1033.

Perchthaler, D., Grau, S., & Hein, T. (2015). Evaluation of a six-week whole-body vibration intervention on neuromuscular performance in older adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 29*(1), 86-95.

Pollock, R. D., Woledge, R. C., Mills, K. R., Martin, F. C., & Newham, D. J. (2010). Muscle activity and acceleration during whole body vibration: effect of frequency and amplitude. *Clinical biomechanics, 25*(8), 840-846.

Puhl, J., Case, S., Fleck, S., & Van Handel, P. (1982). Physical and physiological characteristics of elite volleyball players. *Research quarterly for exercise and sport, 53*(3), 257-262.

Reeser, J. C., Verhagen, E., Briner, W. W., Askeland, T., & Bahr, R. (2006). Strategies for the prevention of volleyball related injuries. *British journal of sports medicine, 40*(7), 594-600.

Rhea, M. R., & Kenn, J. G. (2009). The effect of acute applications of whole-body vibration on the iTonic platform on subsequent lower-body power output during the back squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 23*(1), 58-61.

Rico-Sanz, J., Zehnder, M., Buchli, R., Dambach, M., & Boutellier, U. (1999). Muscle glycogen degradation during simulation of a fatiguing soccer match in elite soccer players examined noninvasively by 13C-MRS. *Medicine and Science in Sports & Exercise, 31*(11), 1587-1593.

Rittweger, J. (2010). Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *European Journal of Applied Physiology, 108*(5), 877-904.

Rittweger, J., Schiessl, H., & Felsenberg, D. (2001). Oxygen uptake during whole-body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. *European Journal of Applied Physiology, 86*(2), 169-173.

Ritzmann, R., Gollhofer, A., & Kramer, A. (2013). The influence of vibration type, frequency, body position and additional load on the neuromuscular activity during whole body vibration. *European Journal of Applied Physiology, 113*(1), 1-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

11.

Rønnestad, B. R. (2009). Acute effects of various whole-body vibration frequencies on lower-body power in trained and untrained subjects. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 23*(4), 1309-1315.

Rossow, L. M., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Sherk, V. D., Abe, T., & Bemben, M. G. (2012). Cardiovascular and perceptual responses to blood‐flow‐restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clinical physiology and functional imaging, 32*(5), 331-337.

Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports medicine, 45*(3), 313-325.

Smith, J. C., & Fry, A. C. (2007). Effects of a ten-second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic performance measures. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 21*(1), 73-76.

Spranger, M. D., Krishnan, A. C., Levy, P. D., O'Leary, D. S., & Smith, S. A. (2015). Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: a call for concern. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 309*(9), H1440-H1452.

Stanganelli, L. C. R., Dourado, A. C., Oncken, P., Mançan, S., & da Costa, S. C. (2008). Adaptations on jump capacity in Brazilian volleyball players prior to the under-19 World Championship. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 22*(3), 741-749.

Torvinen, S., Kannus, P., SievaÈnen, H., JaÈrvinen, T. A., Pasanen, M., Kontulainen, S., & Vuori, I. (2002). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross‐over study. *Clinical physiology and functional imaging, 22*(2), 145-152.

Urhausen, A., Gabriel, H., & Kindermann, W. (1995). Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports medicine, 20*(4), 251-276.

Vassil, K., & Bazanovk, B. (2012). The effect of plyometric training program on young volleyball players in their usual training period. *Journal of Human Sport and*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

*Exercise, 7*(1), S34-S40.

Veličković, M., Bojić, I., & Berić, D. (2018). The Effects Of Programmed Training On Development Of Explosive Strength In Female Volleyball Players. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport, 15*(3), 493-499.

Voelzke, M., Stutzig, N., Thorhauer, H.-A., & Granacher, U. (2012). Promoting lower extremity strength in elite volleyball players: effects of two combined training methods. *Journal of Science and Medicine in Sport, 15*(5), 457-462.

Wallmann, H. W., Bell, D. L., Evans, B. L., Hyman, A. A., Goss, G. K., & Paicely, A. M. (2019). The effects of whole body vibration on vertical jump, power, balance, and agility in untrained adults. *International journal of sports physical therapy, 14*(1), 55.

Wilson, J. M., Lowery, R. P., Joy, J. M., Loenneke, J. P., & Naimo, M. A. (2013). Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 27*(11), 3068-3075.

Yang, W.-W., Chou, L.-W., Chen, W.-H., Shiang, T.-Y., & Liu, C. (2017). Dual-frequency whole body vibration enhances vertical jumping and change-of-direction ability in rugby players. *Journal of Sport and Health Science, 6*(3), 346-351.

Yasuda, T., Fukumura, K., Fukuda, T., Iida, H., Imuta, H., Sato, Y., & Nakajima, T. (2014). Effects of low‐intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 24*(1), 55-61.

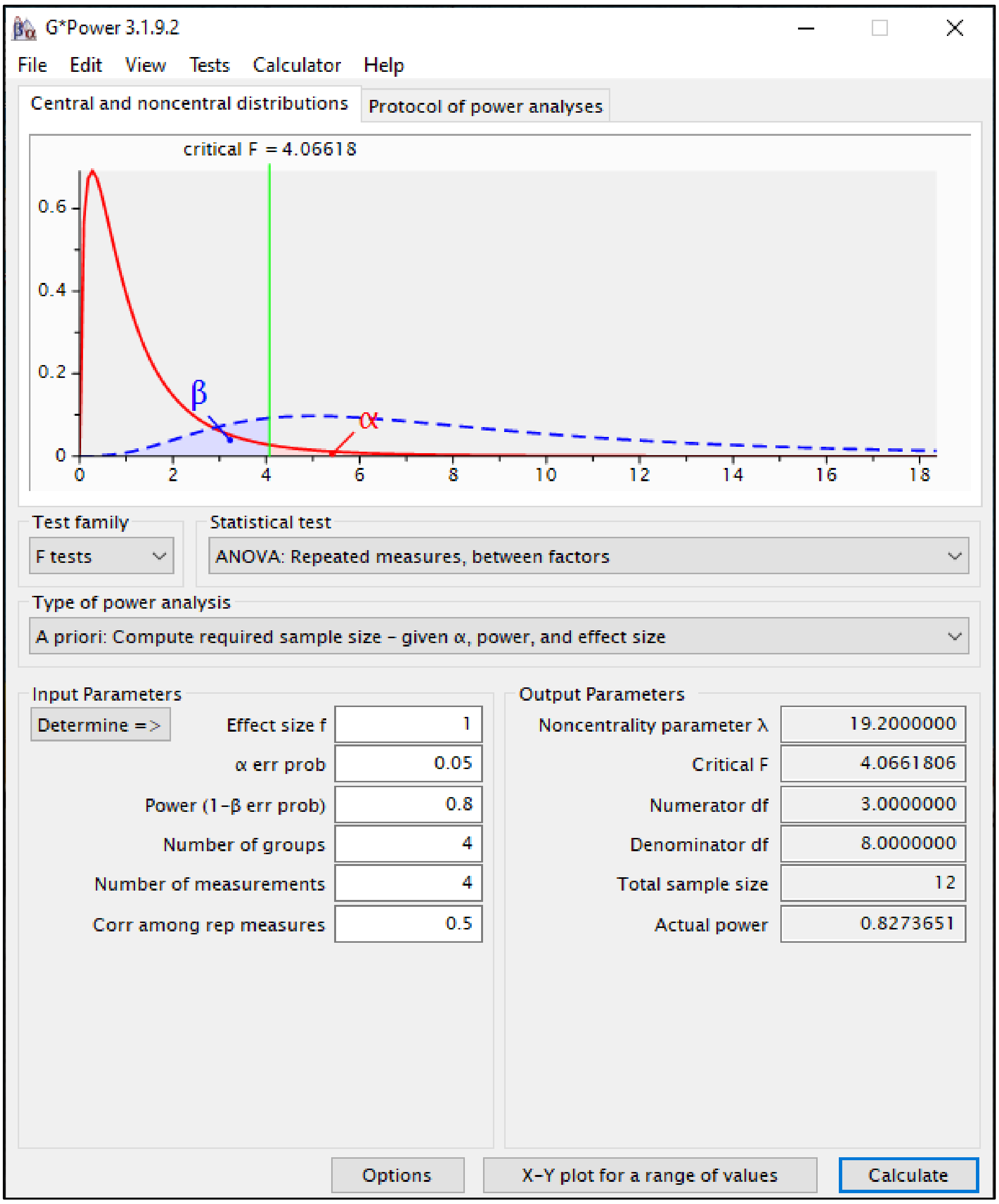
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ภาคผนวก ก
## การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power)

คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power) และใช้ข้อมูลของ Cai และคณะ (Cai et al., 2018) กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of the test; β) ที่ 0.8 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Probable Error; α) ที่ 0.05 ได้ขนาดของผลกระทบ (Effect size; d) ที่ 1.0




**รูปที่ 16** การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power)

# ภาคผนวก ข
# การติดเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

## การติด Electrodes ของ Electromyography บนกล้ามเนื้อ

การเซนเซอร์ตำแหน่งเป็นตัวบอกตำแหน่งของ 2 bipolar sites ที่จะวางบนกล้ามเนื้อในความสัมพันธ์ของเส้นระหว่าง 2 anatomical landmarks เป้าหมายของ sensor placement คือเพื่อให้ถึงตำแหน่งที่มีสัญญาณและความคงที่ของ surface EMG สามารถรับได้ มีสองวิธีในการวางขั้วไฟฟ้าสามารถวางได้ตามแกนแนวยาวของกล้ามเนื้อและตามแนวขวางของแนวยาวของกล้ามเนื้อได้

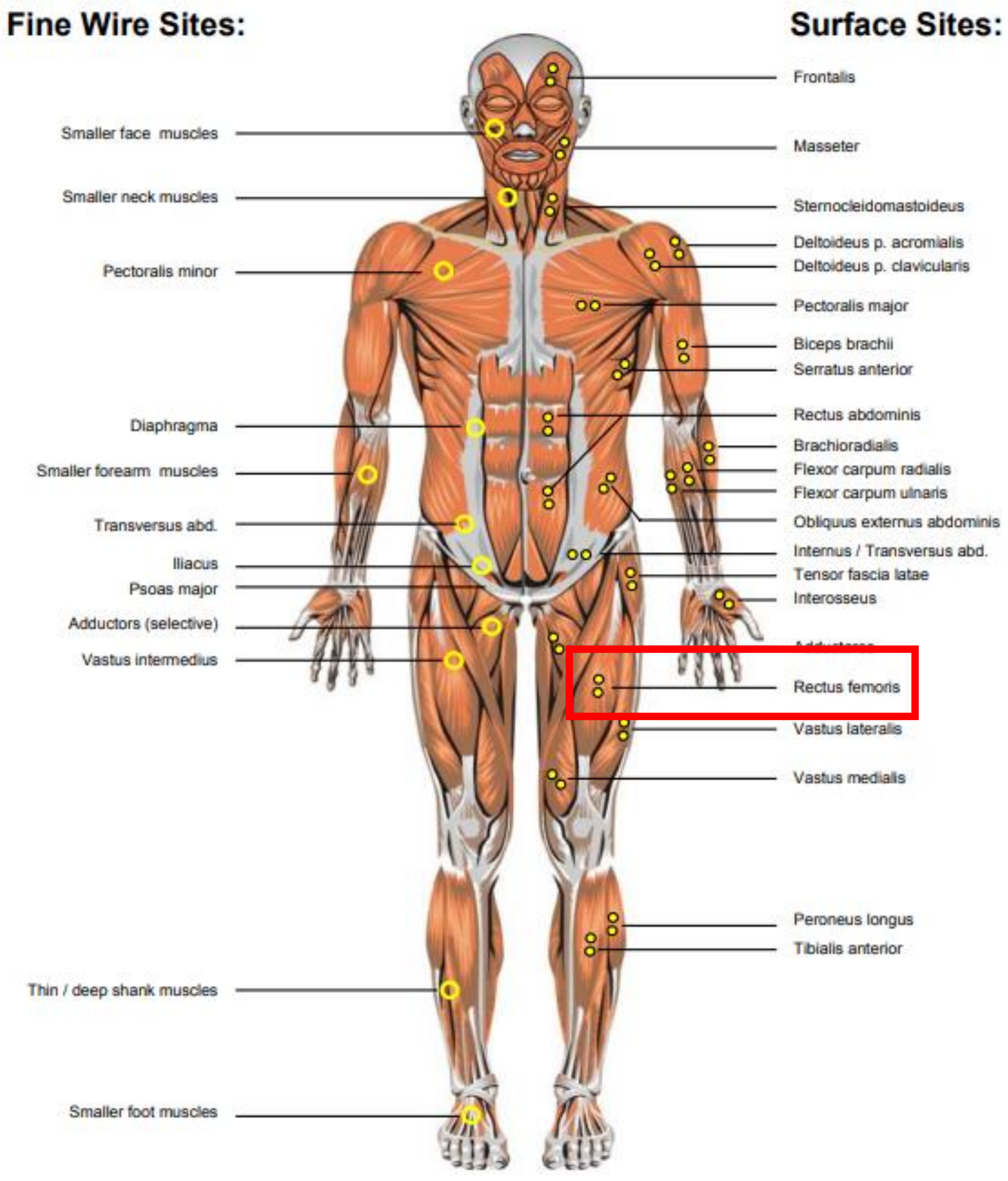
**1. ตามแนวยาวของกล้ามเนื้อ** ข้อเสนอแนะคือการวางขั้วไฟฟ้าสองขั้วครึ่งหนึ่งจากปลายมอเตอร์ปลายแผ่น (ประมาณ - กลางแนวกล้ามเนื้อ) โซนปลายเส้นเอ็น เป้าหมายคือการหลีกเลี่ยงการเซ็นเซอร์ที่มากเกินไปของโซนเส้นประสาทหรือระหว่างเส้นเอ็นตลอดช่วงของการเคลื่อนไหว

**2. ตามแนวขวางของกล้ามเนื้อ** ข้อเสนอแนะคือการวางขั้วไฟฟ้าสองขั้วบนกล้ามเนื้อเพื่อให้ว่าแต่ละเซ็นเซอร์อยู่ห่างจากเขตของพื้นที่บันทึกกล้ามเนื้อที่สนใจ การวางขั้วไฟฟ้าสองขั้วบนกล้ามเนื้อสามารถมีช่องของกล้ามเนื้อขนาดใหญ่และใกล้เคียงกล้ามเนื้อที่อยู่ต่ำกว่าขั้วไฟฟ้า โดยปกติแล้วจะหมายความว่าสายระหว่างศูนย์ของเซ็นเซอร์ไฟฟ้าคือประมาณขนานไปตามแนวยาวของกล้ามเนื้อ

## Inter-Electrode Distance (ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า)

ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งระหว่างพื้นที่ที่ติดของอิเล็กโทรด โดย Seniam แนะนำให้ใช้ the bipolar sEMG electrodes รอบๆ พื้นที่รับเซนเซอร์กับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าห่างกัน 20 มิลลิเมตร ทั้งนี้เมื่อใช้ bipolar electrodes กับกล้ามเนื้อมัดเล็กระยะทางระหว่างขั้วไฟฟ้าไม่ควรเกินหนึ่งในสี่ของความยาวเส้นใยกล้ามเนื้อ (Day, 2002)

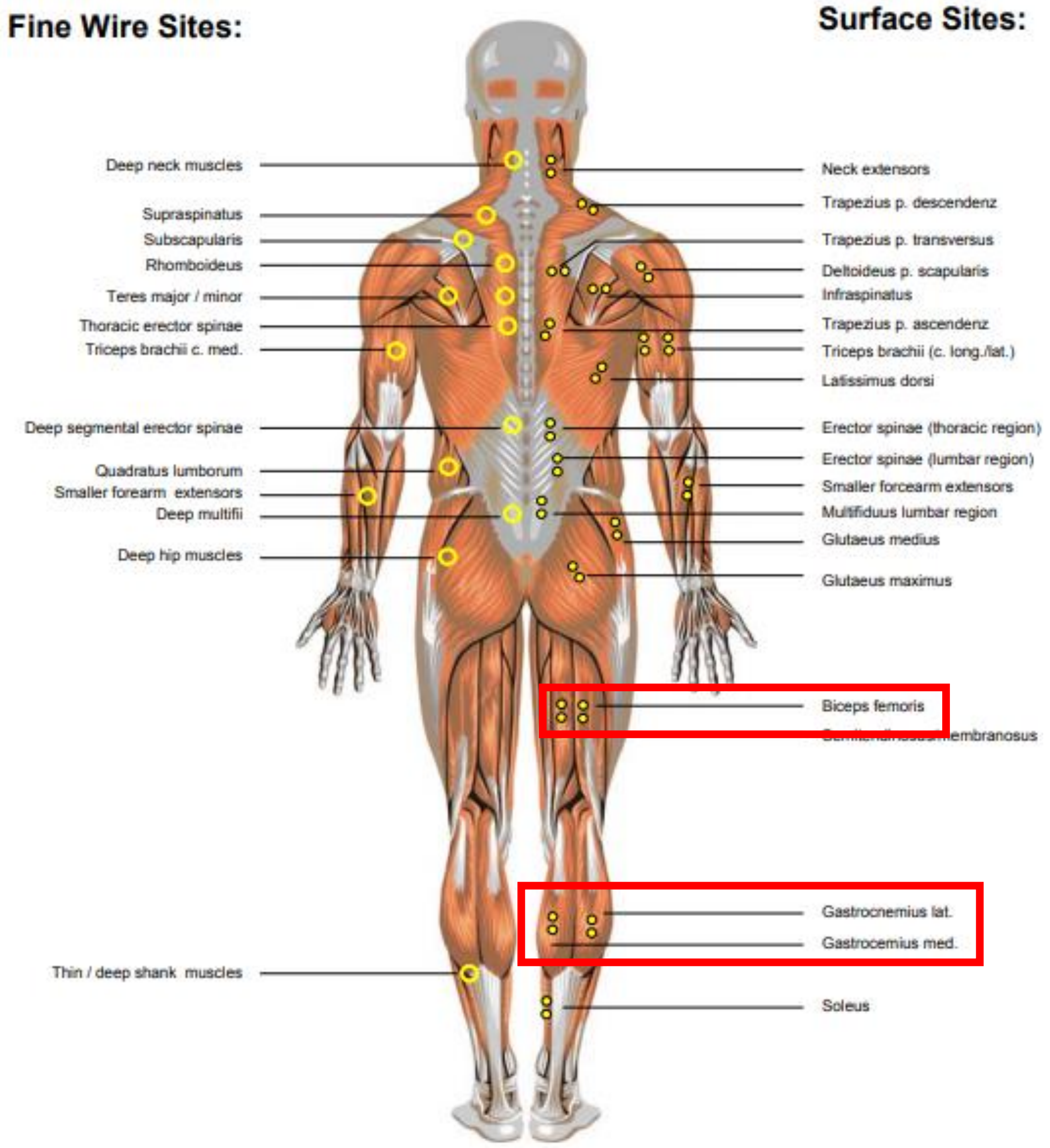
**ตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อของร่างกายด้านหน้า**




**รูปที่ 17** แสดงขั้วการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อของร่างกายด้านหน้า

ที่มา : (Konrad, 2006)

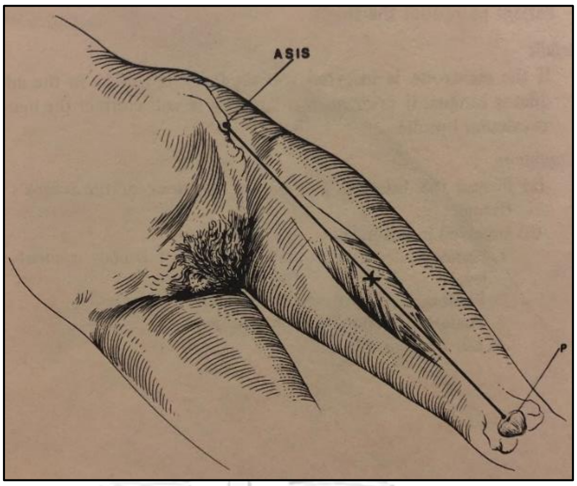
**<u>ตำแหน่งการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อของร่างกายด้านหลัง</u>**




**รูปที่ 18** แสดงขั้วการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อของร่างกายด้านหลัง

ที่มา : (Konrad, 2006)

<u>**การติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Rectus femoris**</u>




**รูปที่ 19** แสดงการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Rectus femoris
ที่มา : (Delagi & Perotto, 1980)

**จุดเกาะต้น** : กระดูกสะโพกส่วน Illium โดยเกาะจากปุ่ม anterior inferior iliac spine และจากส่วนของกระดูก Illium ที่อยู่เหนือขอบของ Acetabulum

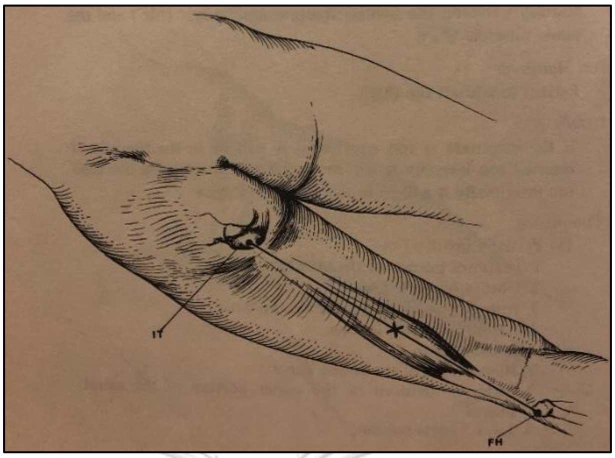
**จุดเกาะปลาย** : Tibial tuberosity

**Electrode (X)** : บริเวณด้านหน้าของกล้ามเนื้อต้นขา และอยู่บริเวณกลางระหว่างด้านบนขอบกระดูก Patella (P) และด้านหน้าบนของ Illiac spine (ASIS)

**การทดสอบเบื้องต้น** : ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการงอสะโพกและเหยียดเข่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**<u>การติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Biceps femoris</u>**




**รูปที่ 20** แสดงการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Biceps femoris

ที่มา : (Delagi & Perotto, 1980)

**จุดเกาะต้น** : Ischial tuberosity

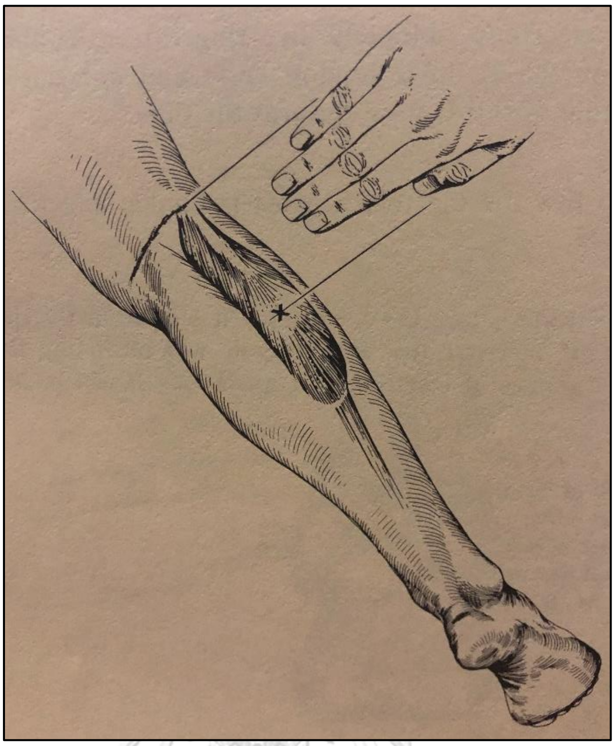
**จุดเกาะปลาย** : หัวของกระดูก Fibula

**Electrode (X)** : บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางระหว่าง Fibula head (FH) และ Ischial tuberosity (IT)

**การทดสอบเบื้องต้น** : ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการงอเข่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**<u>การติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Gastrocnemius (Lateral head)</u>**

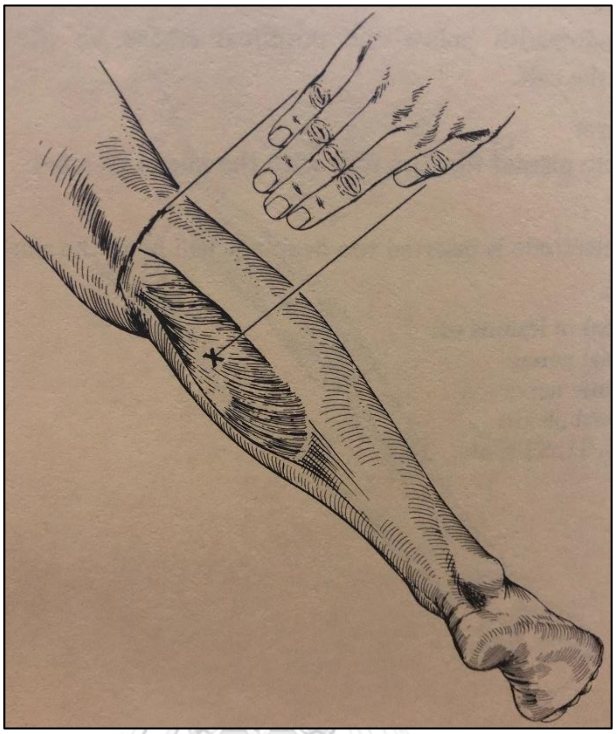


**รูปที่ 21** แสดงการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Gastrocnemius (Lateral head)
ที่มา : (Delagi & Perotto, 1980)

**จุดเกาะต้น** : Lateral surface ของ Lateral condyle ของกระดูก Femur
**จุดเกาะปลาย** : Tendo calcaneus
**Electrode (X)** : ระดับต่ำกว่าเส้นข้อพับเข่าด้านหลัง (Popliteal crease) หนึ่งฝ่ามือที่ตำแหน่งด้านนอกของน่อง (Lateral mass of the calf)
**การทดสอบเบื้องต้น** : ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการงอฝ่าเท้าร่วมกับการเหยียดเข่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**<u>การติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Gastrocnemius (Medial head)</u>**



**รูปที่ 22** แสดงการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อ Gastrocnemius (Medial head)
ที่มา : (Delagi & Perotto, 1980)

**จุดเกาะต้น** : Popliteal surface ของกระดูก Femur เหนือ Medial condyle

**จุดเกาะปลาย** : Tendo calcaneus

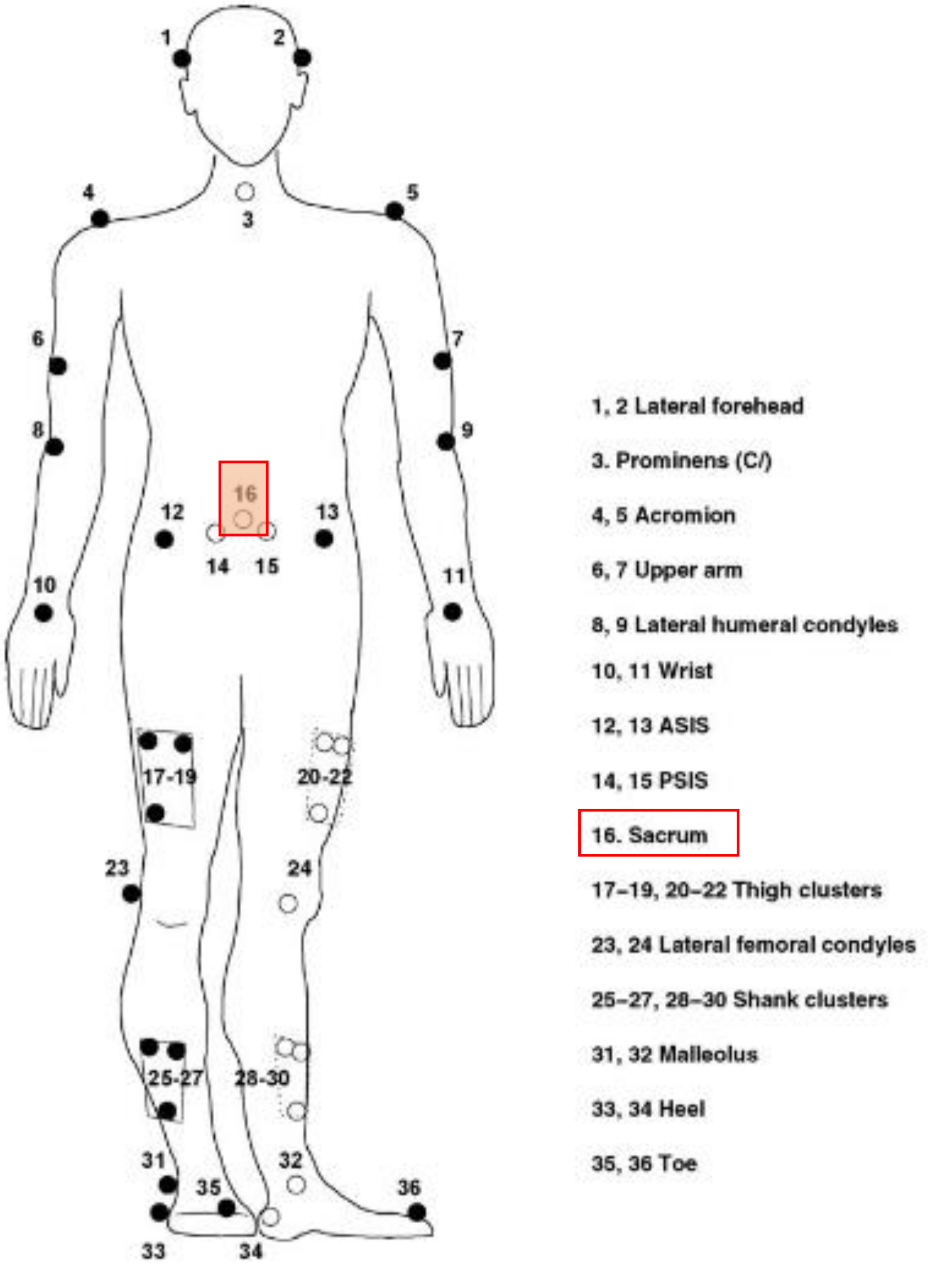
**Electrode (X)** : ระดับต่ำกว่าเส้นข้อพับเข่าด้านหลัง (Popliteal crease) หนึ่งฝ่ามือที่ตำแหน่งด้านในของน่อง (Medial mass of the calf)

**การทดสอบเบื้องต้น** : ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการงอฝ่าเท้าร่วมกับการเหยียดเข่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก ค

## การติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective markers)




**รูปที่ 23** แสดงการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง

ที่มา : (Halvorsen et al., 2009)

## ภาคผนวก ง
## การออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (Dynamic squatting exercise)

1. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยเรียนรู้ลักษณะท่าสควอท โดยให้ยืนแยกเท้าทั้ง 2 ข้างออกประมาณ 1 ช่วงไหล่ จากนั้นกำหนดให้ย่อเข่าโดยมุมของข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat) และใช้เชือกกั้นในจุดที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการย่อเข่าจนถึงระดับดังกล่าว

2. ผู้เข้าร่วมการวิจัยออกกำลังกายด้วยท่าสควอทให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา

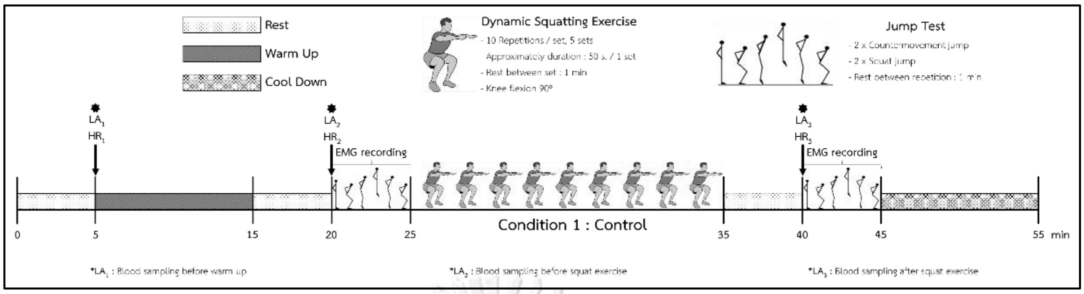
- สควอทจำนวน 10 ครั้งต่อเซต ทั้งหมด 5 เซต
- ในแต่ละครั้งของการสควอทใช้เวลา 5 วินาที โดยจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นใช้เวลา 3 วินาที และจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อลดลงใช้เวลา 1 วินาที
- พักระหว่างเซต 1 นาที

3. การออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง (ประมาณ 10 นาที) ดังนี้

- เงื่อนไขที่ 1 การออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่โดยไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด
- เงื่อนไขที่ 2 การออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย
- เงื่อนไขที่ 3 การออกกำลังกายด้วยการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด
- เงื่อนไขที่ 4 การออกกำลังกายด้วยการสควอทบนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ภาคผนวก จ
## ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 1
## ไม่มีการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Control; CON)




**รูปที่ 24** ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 1

1. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยเรียนรู้ลักษณะท่าสควอท โดยให้ยืนแยกเท้าทั้ง 2 ข้างออกประมาณ 1 ช่วงไหล่ จากนั้นกำหนดให้ย่อเข่าโดยมุมของข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat)
2. ทำการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อเรกตัส ฟีเมอริส (Rectus femoris) กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ ฟีเมอริส (Biceps femoris) และกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Gastrocnemius) ทั้ง Lateral head และ Medial head บนขาทั้ง 2 ข้าง และติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่จุดกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)
3. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยนั่งพัก 5 นาที จากนั้นวัดความดันโลหิต (Blood pressure; BP) อัตราการเต้นหัวใจ ($HR_1$) และเจาะเลือดบริเวณปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดลอง ($LA_1$)
4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) เป็นเวลา 10 นาที โดยเริ่มจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเดิน 2 นาที ตามด้วยการวิ่งเหยาะ 3 นาที
5. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดก่อนการออกกำลังกาย ($LA_2$) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_2$)
6. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015)

7. ออกกำลังกายด้วยท่าทางการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (Dynamic squatting exercise) ข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat) กำหนดให้สควอททั้งหมด 5 เซต เซตละ 10 ครั้ง ในการสควอทแต่ละครั้งใช้เวลา 4 วินาที โดยจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นใช้เวลา 3 วินาที และจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อลดลงใช้เวลา 1 วินาที รวมระยะเวลาในการออกกำลังกาย 50 วินาทีต่อเซต และกำหนดระยะพักระหว่างเซต 1 นาที บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ไม่มีการเปิดการทำงาน

หมายเหตุ: อ้างอิงจากงานวิจัยของสุภัทรา ศิลปะบรรเลง และชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ (2558) และงานวิจัยของ Centner และคณะ (Centner et al., 2019)

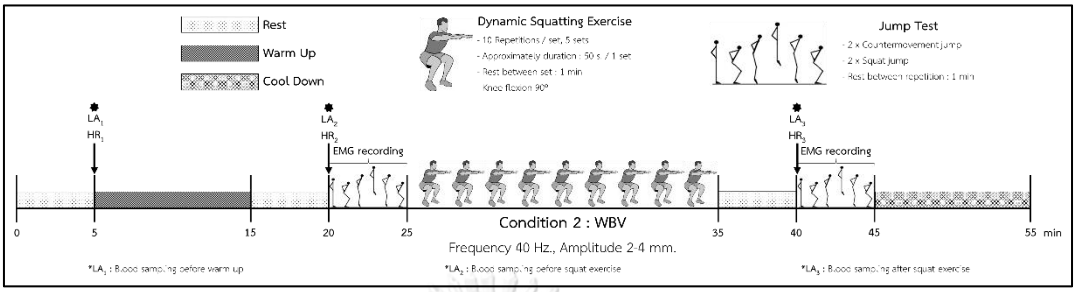
8. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดหลังการออกกำลังกาย ($LA_3$) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_3$)

9. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015)

10. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการคลายอุ่นร่างกาย (Cool down) เป็นเวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ภาคผนวก ฉ
## ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 2
## กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-body vibration; WBV)




**รูปที่ 25** ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 2

1. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยเรียนรู้ลักษณะท่าสควอท โดยให้ยืนแยกเท้าทั้ง 2 ข้างออกประมาณ 1 ช่วงไหล่ จากนั้นกำหนดให้ย่อเข่าโดยมุมของข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat)

2. ทำการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อเรกตัส ฟีเมอริส (Rectus femoris) กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ ฟีเมอริส (Biceps femoris) และกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Gastrocnemius) ทั้ง Lateral head และ Medial head บนขาทั้ง 2 ข้าง และติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่จุดกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)

3. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยนั่งพัก 5 นาที จากนั้นวัดความดันโลหิต (Blood pressure; BP) อัตราการเต้นหัวใจ ($HR_1$) และเจาะเลือดบริเวณปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดลอง ($LA_1$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) เป็นเวลา 10 นาที โดยเริ่มจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเดิน 2 นาที ตามด้วยการวิ่งเหยาะ 3 นาที

5. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดก่อนการออกกำลังกาย ($LA_2$) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_2$)

6. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015)

7. ออกกำลังกายด้วยท่าทางการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (Dynamic squatting exercise) ข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat) กำหนดให้สควอททั้งหมด 5 เซต เซตละ 10 ครั้ง ในการสควอทแต่ละครั้งใช้เวลา 4 วินาที โดยจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นใช้เวลา 3 วินาที และจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อลดลงใช้เวลา 1 วินาที รวมระยะเวลาในการออกกำลังกาย 50 วินาทีต่อเซต และกำหนดระยะพักระหว่างเซต 1 นาที บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่กำหนดความถี่ 40 เฮิรตซ์ และแอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร

หมายเหตุ: อ้างอิงจากงานวิจัยของ Bush และคณะ (Bush et al., 2015) งานวิจัยของสุภัทรา ศิลปะบรรเลง และชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ (2558) งานวิจัยของ Wallmann และคณะ (Wallmann et al., 2019) และงานวิจัยของ Centner และคณะ (Centner et al., 2019)

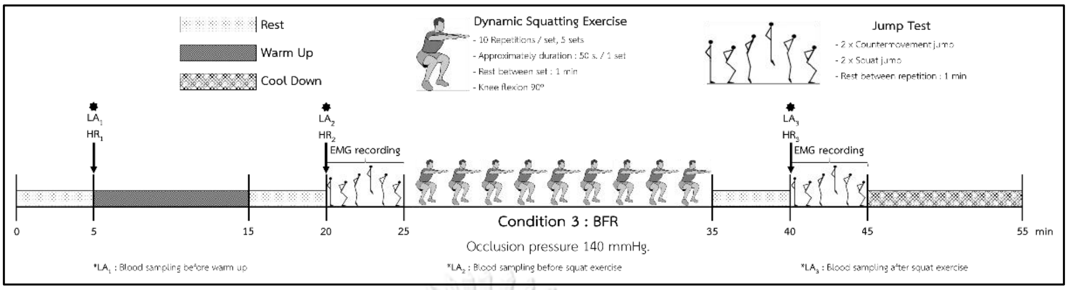
8. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดหลังการออกกำลังกาย ($LA_3$) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_3$)

9. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015)

10. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการคลายอุ่นร่างกาย (Cool down) เป็นเวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ช
## ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 3
## กระตุ้นด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction; BFR)




**รูปที่ 26** ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 3

1. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยเรียนรู้ลักษณะท่าสควอท โดยให้ยืนแยกเท้าทั้ง 2 ข้างออกประมาณ 1 ช่วงไหล่ จากนั้นกำหนดให้ย่อเข่าโดยมุมของข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat)
2. ทำการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อเรกตัส ฟีเมอริส (Rectus femoris) กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ ฟีเมอริส (Biceps femoris) และกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Gastrocnemius) ทั้ง Lateral head และ Medial head บนขาทั้ง 2 ข้าง และติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่จุดกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)
3. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยนั่งพัก 5 นาที จากนั้นวัดความดันโลหิต (Blood pressure; BP) อัตราการเต้นหัวใจ ($HR_1$) และเจาะเลือดบริเวณปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดลอง ($LA_1$)
4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) เป็นเวลา 10 นาที โดยเริ่มจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเดิน 2 นาที ตามด้วยการวิ่งเหยาะ 3 นาที
5. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดก่อนการออกกำลังกาย ($LA_2$) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_2$)
6. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015)

7. ออกกำลังกายด้วยท่าทางการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (Dynamic squatting exercise) ข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat) กำหนดให้สควอททั้งหมด 5 เซต เซตละ 10 ครั้ง ในการสควอทแต่ละครั้งใช้เวลา 4 วินาที โดยจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นใช้เวลา 3 วินาที และจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อลดลงใช้เวลา 1 วินาที รวมระยะเวลาในการออกกำลังกาย 50 วินาทีต่อเซต และกำหนดระยะพักระหว่างเซต 1 นาที บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่ไม่เปิดการทำงาน ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้ผ้า (Cuffs) ยี่ห้อ Hokanson พันรอบบริเวณต้นขาทั้ง 2 ข้าง ทำการบีบแรงดันในจังหวะยืนที่ระดับ 140 มิลลิเมตรปรอท โดยใช้เวลาบีบแรงดันประมาณ 10 วินาที

หมายเหตุ: อ้างอิงจากงานวิจัยของสุภัทรา ศิลปะบรรเลง และชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ (2558) และงานวิจัยของ Centner และคณะ (Centner et al., 2019)

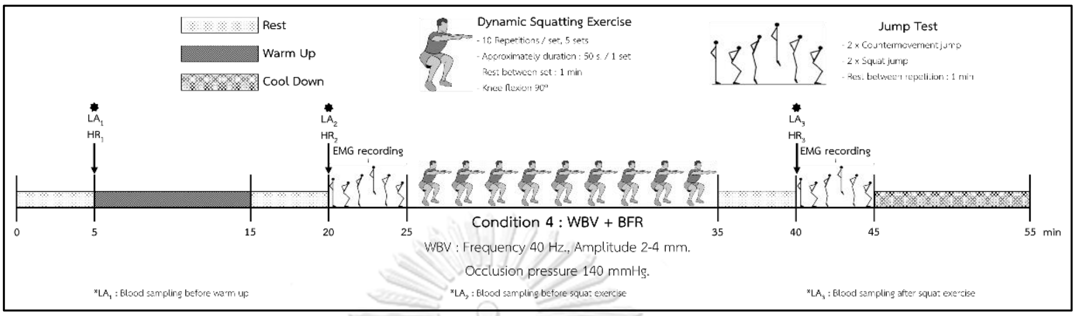
8. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดหลังการออกกำลังกาย ($LA_3$) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_3$)

9. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015)

10. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการคลายอุ่นร่างกาย (Cool down) เป็นเวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ภาคผนวก ซ**
**ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 4**
**กระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือด**
**(Whole-body vibration and Blood flow restriction; WBV+BFR)**




**รูปที่ 27** ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเงื่อนไขที่ 4

1. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยเรียนรู้ลักษณะท่าสควอท โดยให้ยืนแยกเท้าทั้ง 2 ข้างออกประมาณ 1 ช่วงไหล่ จากนั้นกำหนดให้ย่อเข่าโดยมุมของข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat)
2. ทำการติดอิเล็กโทรดบนกล้ามเนื้อเรกตัส ฟีเมอริส (Rectus femoris) กล้ามเนื้อไบเซ็ปส์ ฟีเมอริส (Biceps femoris) และกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Gastrocnemius) ทั้ง Lateral head และ Medial head บนขาทั้ง 2 ข้าง และติดมาร์กเกอร์สะท้อนแสงที่จุดกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)
3. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยนั่งพัก 5 นาที จากนั้นวัดความดันโลหิต (Blood pressure; BP) อัตราการเต้นหัวใจ ($HR_1$) และเจาะเลือดบริเวณปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดลอง ($LA_1$)
4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) เป็นเวลา 10 นาที โดยเริ่มจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเดิน 2 นาที ตามด้วยการวิ่งเหยาะ 3 นาที
5. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดก่อนการออกกำลังกาย ($LA_2$) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_2$)
6. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015)

7. ออกกำลังกายด้วยท่าทางการสควอทแบบมีการเคลื่อนที่ (Dynamic squatting exercise) ข้อเข่าทำมุม 90 องศา (Half squat) กำหนดให้สควอททั้งหมด 5 เซต เซตละ 10 ครั้ง ในการสควอทแต่ละครั้งใช้เวลา 4 วินาที โดยจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นใช้เวลา 3 วินาที และจังหวะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการหดตัวแบบความยาวกล้ามเนื้อลดลงใช้เวลา 1 วินาที รวมระยะเวลาในการออกกำลังกาย 50 วินาทีต่อเซต และกำหนดระยะพักระหว่างเซต 1 นาที บนเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกายที่กำหนดความถี่ 40 เฮิรตซ์และแอมพลิจูด 2-4 มิลลิเมตร ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดโดยใช้ผ้า (Cuffs) ยี่ห้อ Hokanson พันรอบบริเวณต้นขาทั้ง 2 ข้าง ทำการบีบแรงดันในจังหวะยืนที่ระดับ 140 มิลลิเมตรปรอท โดยใช้เวลาบีบแรงดันประมาณ 10 วินาที

หมายเหตุ: อ้างอิงจากงานวิจัยของ Bush และคณะ (Bush et al., 2015) งานวิจัยของสุภัทรา ศิลปะบรรเลง และชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ (2558) งานวิจัยของ Wallmann และคณะ (Wallmann et al., 2019) และงานวิจัยของ Centner และคณะ (Centner et al., 2019)

8. นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วชี้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเพื่อวัดระดับแลคเตทในเลือดก่อนการทดสอบความสามารถในการกระโดดหลังการออกกำลังกาย ($LA_3$) และอัตราการเต้นหัวใจ ($HR_3$)

9. ทดสอบความสามารถในการกระโดดพร้อมกับบันทึกคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการออกกำลังกาย โดยกำหนดให้ยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดครั้งละ 1 นาที บนแผ่นวัดแรง โดยอ้างอิงรูปแบบการทดสอบจากงานวิจัยของ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และถาวร กมุทศรี (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) และงานวิจัยของบานส์และคณะ (Barnes et al., 2015)

10. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการคลายอุ่นร่างกาย (Cool down) เป็นเวลา 10 นาที

**ภาคผนวก ณ**

**การทดสอบความสามารถในการกระโดด**

การทดสอบความสามารถในการกระโดดจะทำการทดสอบก่อนและหลังการทดลองในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง โดยกำหนดให้ทำการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง และกำหนดเวลาพักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที นำข้อมูลของครั้งที่มีค่าพลังการกระโดดสูงสุดใช้ในการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น อัตราการสร้างแรง ความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา และอัตราการเหยียดต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ

**รายละเอียดในการทดสอบมีดังนี้**

**1. การทดสอบพลังการกระโดดสูงสุด (Peak Power; Nm/s)** (Cook et al., 2013)

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective marker) ที่กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)

2. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนบนแผ่นวัดแรง (Force platform) และกำหนดระดับการย่อโดยใช้เชือกกั้นในจังหวะที่ย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา

3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทดสอบการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนตรง มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

4. จากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

5. ผู้วิจัยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการกระโดดโดยใช้โปรแกรม Qualisys Track Manager 2018 รุ่น 2018.1 (build 4300)

6. ทำการวิเคราะห์โดยนำข้อมูลแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งและความเร็วเชิงเส้นของกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum) มาทำการคำนวณหาพลังการกระโดดสูงสุดในช่วง Take-off ดังนี้

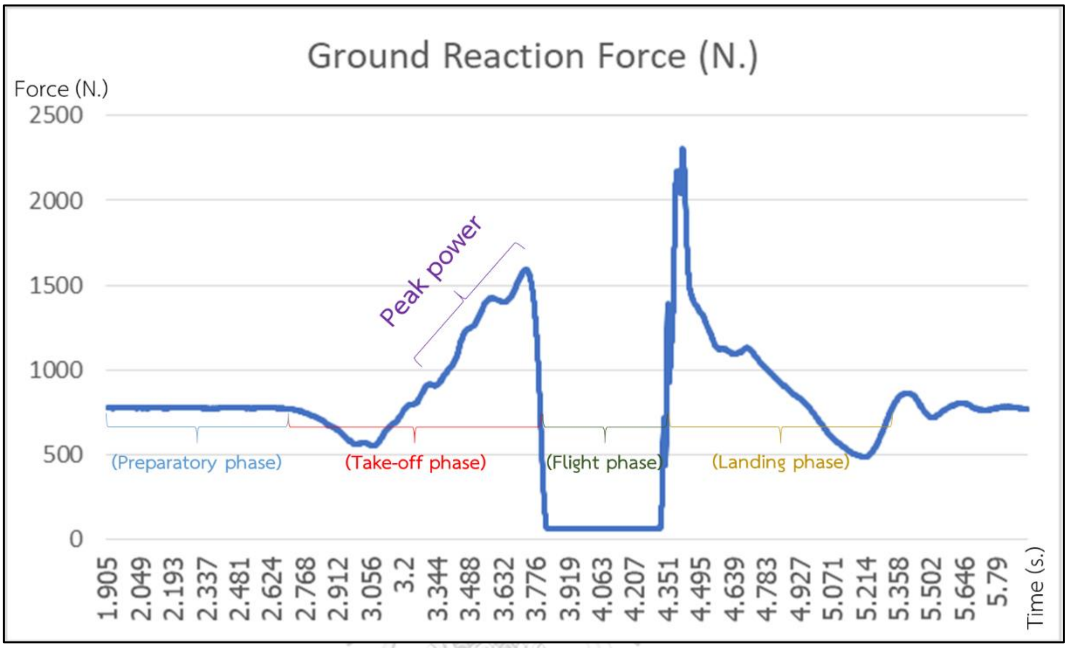
**P = F x V**

โดย Power (P) คือ กำลัง หรือการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา

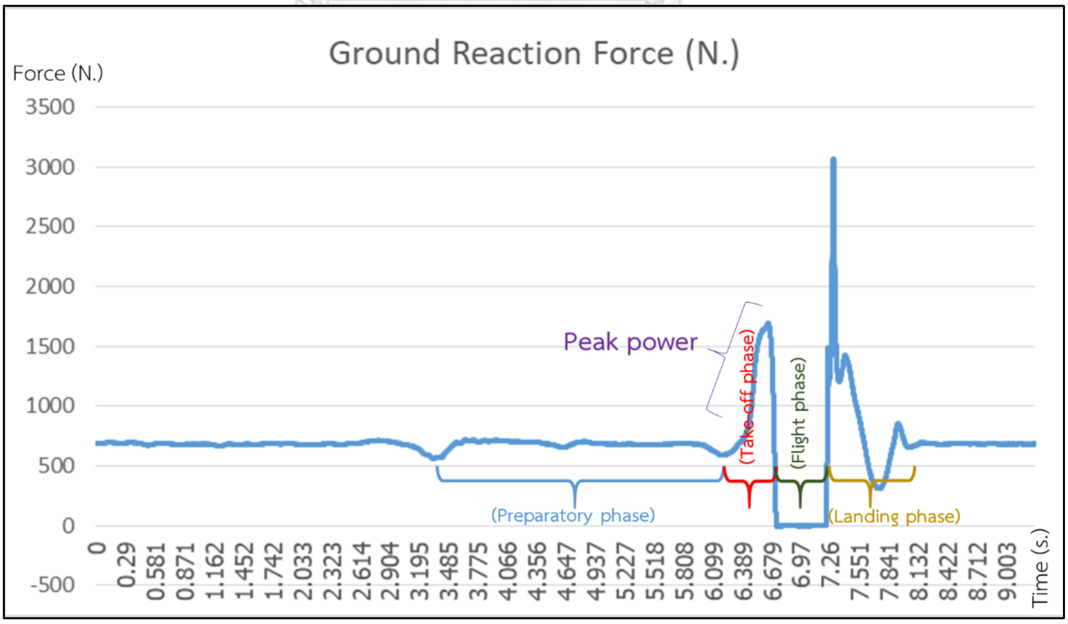
Force (F) คือ ปริมาณทางฟิสิกส์ที่ทำให้วัตถุหรือร่างกายมีความเร็ว

Velocity (V) คือ ความเร็วที่ร่างกายเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่ง

7. จากนั้นเลือกค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าพลังสูงสุด (Absolute peak power)
8. ค่าพลังสูงสุดสัมพัทธ์ (Relative peak power) คือ นำค่าพลังสูงสุดที่หารด้วยน้ำหนักตัว




**รูปที่ 28** แสดงค่าพลังสูงสุด (Peak power) ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)




**รูปที่ 29** แสดงค่าพลังสูงสุด (Peak power) ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

**2. การทดสอบแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Ground Reaction Force; N.)**

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective marker) ที่กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)

2. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนบนแผ่นวัดแรง (Force platform) และกำหนดระดับการย่อโดยใช้เชือกกั้นในจังหวะที่ย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา

3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทดสอบการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนตรง มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

4. จากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

5. ผู้วิจัยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการกระโดดโดยใช้โปรแกรม Qualisys Track Manager 2018 รุ่น 2018.1 (build 4300)

6. นำข้อมูลในครั้งที่ทำการกระโดดได้ค่าพลังการกระโดดสูงสุด (Peak power) มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Cormack et al., 2008) ดังนี้

6.1 การยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)

Phase 1: Preparatory phase (ช่วงการเตรียม)

- ช่วงที่ร่างกายยืนตรงแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นเท่ากับน้ำหนักตัว

Phase 2: Take-off phase (ช่วงที่เริ่มมีการย่อและส่งแรง)

- Eccentric phase เริ่มจากเฟรมที่น้ำหนักตัวลดลง 5% ถึงเฟรมที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นน้อยที่สุด

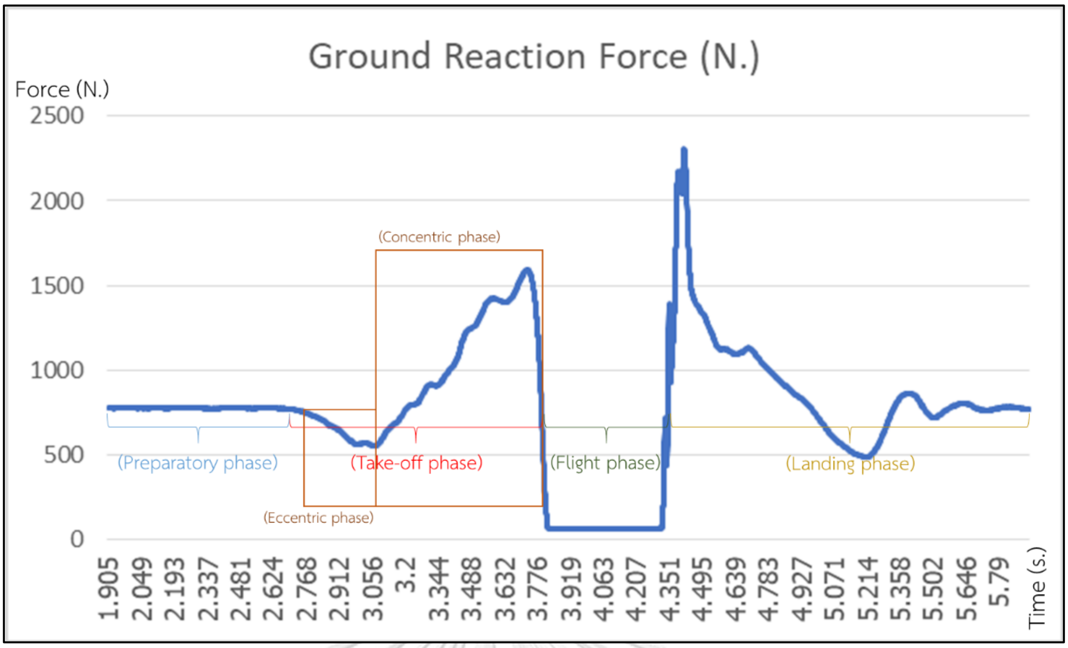
- Concentric phase เริ่มจากเฟรมที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นน้อยที่สุดถึงเฟรมที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นน้อยกว่า 5 นิวตัน

Phase 3: Flight phase (ช่วงการลอยตัว)

- เริ่มจากเฟรมที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นน้อยกว่า 5 นิวตันถึงเฟรมที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นมากกว่า 50 นิวตัน

Phase 4: Landing phase (ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นหลังจากการกระโดด)

- เริ่มจากเฟรมที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นมากกว่า 50 นิวตันถึงเฟรมที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นเท่ากับน้ำหนักตัว




**รูปที่ 30** แสดงแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Ground reaction force) ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)

6.2 การกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

Phase 1: Preparatory phase (ช่วงการเตรียม)

- เริ่มจากเฟรมที่น้ำหนักตัวลดลง 5% ถึงเฟรมที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นน้อยที่สุด

Phase 2: Take-off phase (ช่วงที่เริ่มมีการย่อและส่งแรง)

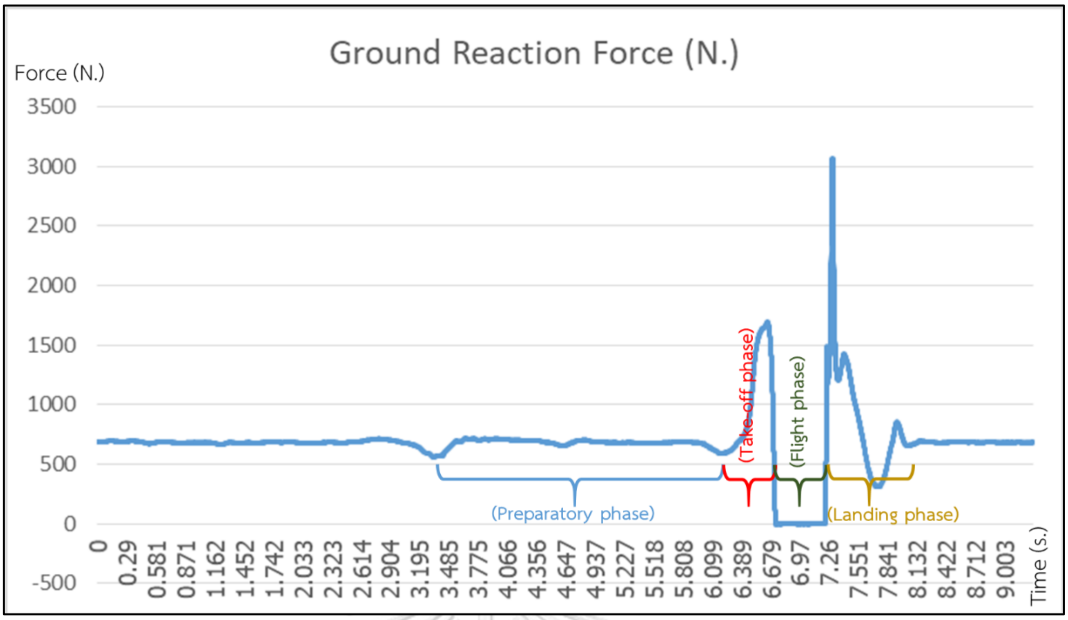
- เริ่มจากเฟรมที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นน้อยที่สุดถึงเฟรมที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นน้อยกว่า 5 นิวตัน

Phase 3: Flight phase (ช่วงการลอยตัว)

- เริ่มจากเฟรมที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นน้อยกว่า 5 นิวตันถึงเฟรมที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นมากกว่า 50 นิวตัน

Phase 4: Landing phase (ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นหลังจากการกระโดด)

- เริ่มจากเฟรมที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นมากกว่า 50 นิวตันถึงเฟรมที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นเท่ากับน้ำหนักตัว




**รูปที่ 31** แสดงแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้น (Ground reaction force) ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

**หมายเหตุ:** ในการวิจัยครั้งนี้นำเสนอแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Take-off phase ในจังหวะที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบความยาวของกล้ามเนื้อสั้นลง เรียกว่า Concentric phase

**3. การทดสอบอัตราการพัฒนาแรง (Rate of Force Development; N/s)**

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective marker) ที่กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนบนแผ่นวัดแรง (Force platform) และกำหนดระดับการย่อโดยใช้เชือกกั้นในจังหวะที่ย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา

3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทดสอบการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนตรง มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

4. จากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

5. ผู้วิจัยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการกระโดดโดยใช้โปรแกรม Qualisys Track Manager 2018 รุ่น 2018.1 (build 4300)

6. นำข้อมูลในครั้งที่ทำการกระโดดได้ค่าพลังการกระโดดสูงสุด (Peak power) มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์อัตราการสร้างแรง

7. การคำนวณหาอัตราการพัฒนาแรง (Limroongreungrat & Kamutsri, 2014) คือ การนำข้อมูลแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นที่ได้จากโปรแกรม Qualisys Track Manager 2018 มาวิเคราะห์หาความชันของกราฟระหว่างแรงในแนวดิ่งจากพื้นที่เกิดขึ้นภายใน 100 มิลลิวินาที (RFD100) 250 มิลลิวินาที (RFD250) และช่วง Take-off phase ดังนี้

7.1 อัตราการสร้างแรงช่วง 100 มิลลิวินาที (RFD100)

สมการ $$RFD_{100} = \frac{F_{t+100} - F_t}{T_{t+100} - T_t}$$

กำหนดให้

$F_t$ คือ แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในจุดที่เท่ากับแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Preparatory phase ขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

$F_{t+100}$ คือ แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากจุดที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นเท่ากับแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Preparatory phase ใน 100 มิลลิวินาที ขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

$T_t$ คือ เวลาที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในจุดที่เท่ากับแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Preparatory phase ขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

$T_{t+100}$ คือ เวลาที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากจุดที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นเท่ากับแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Preparatory phase ใน 100 มิลลิวินาที ขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

7.2 อัตราการสร้างแรงช่วง 250 มิลลิวินาที (RFD250)

สมการ $$RFD_{250} = \frac{F_{t+250} - F_t}{T_{t+250} - T_t}$$

กำหนดให้

$F_t$ คือ แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในจุดที่เท่ากับแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Preparatory phase ขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

$F_{t+250}$ คือ แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากจุดที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นเท่ากับแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Preparatory phase ใน 250 มิลลิวินาที ขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

$T_t$ คือ เวลาที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในจุดที่เท่ากับแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Preparatory phase ขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

$T_{t+250}$ คือ เวลาที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากจุดที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นเท่ากับแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นช่วง Preparatory phase ใน 250 มิลลิวินาที ขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

7.3 อัตราการสร้างแรงช่วง Take-off phase

สมการ

$$RFD_{takeoff} = \frac{F_{max} - F_{min}}{T_{max} - T_{min}}$$

กำหนดให้

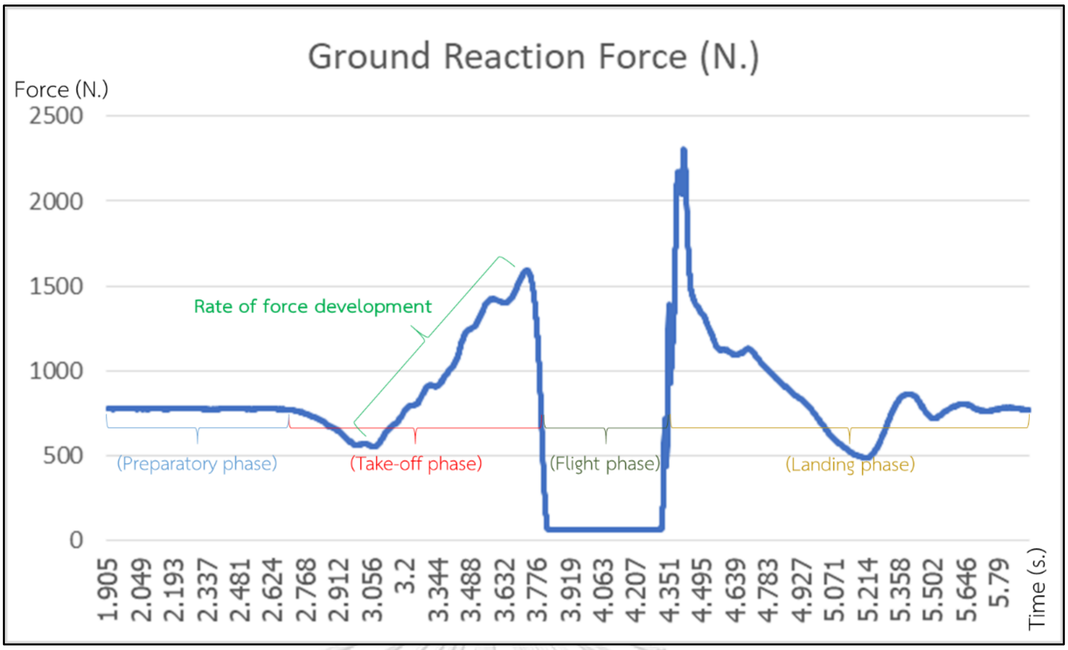
$F_{min}$ คือ แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในจุดที่น้อยที่สุดขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

$F_{max}$ คือ แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในจุดที่มากที่สุดขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

$T_{min}$ คือ เวลาที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในจุดที่น้อยที่สุดขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

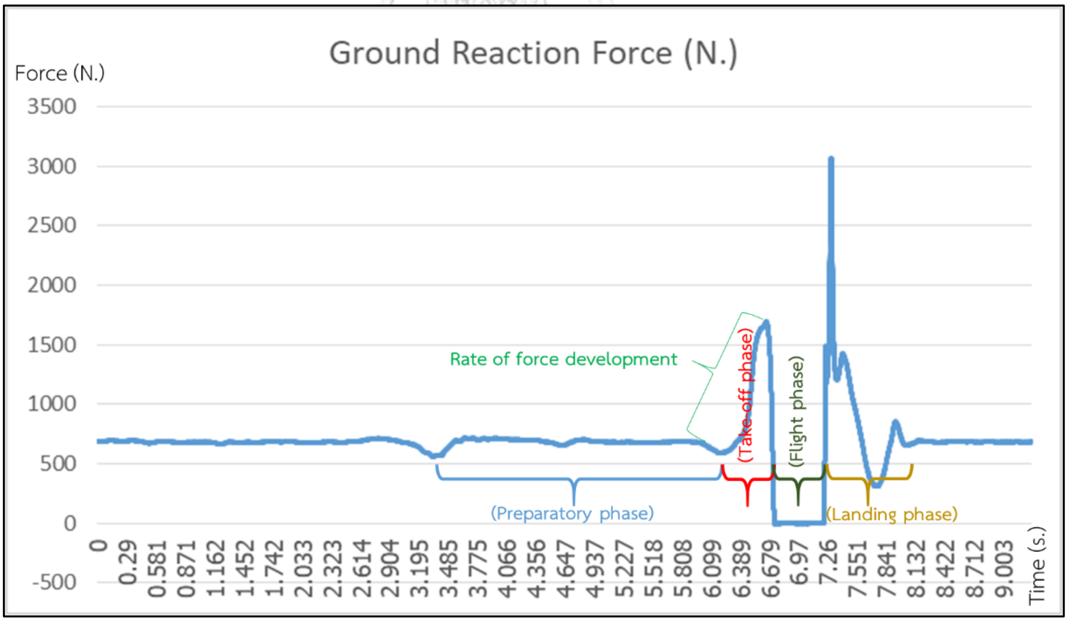
$T_{max}$ คือ เวลาที่แรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งจากพื้นในจุดที่มากที่สุดขณะที่ทำการกระโดดช่วง Take-off phase

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




**รูปที่ 32** แสดงอัตราการสร้างแรง (Rate of force development)

ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)




**รูปที่ 33** แสดงอัตราการสร้างแรง (Rate of force development)

ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

**4. การทดสอบค่าความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive Strength; m/s)**

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective marker) ที่กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)

2. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนบนแผ่นวัดแรง (Force platform) และกำหนดระดับการย่อโดยใช้เชือกกั้นในจังหวะที่ย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา

3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทดสอบการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนตรง มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

4. จากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

5. ผู้วิจัยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการกระโดดโดยใช้โปรแกรม Qualisys Track Manager 2018 รุ่น 2018.1 (build 4300)

6. นำข้อมูลในครั้งที่ทำการกระโดดได้ค่าพลังการกระโดดสูงสุด (Peak power) มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง

7. ทำการวิเคราะห์ความสูงในการกระโดด (Jump height; m.) โดยการนำข้อมูลตำแหน่งของกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum) ในจุดที่สูงสุดเปรียบเทียบกับตำแหน่งของกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บในช่วง Preparatory phase

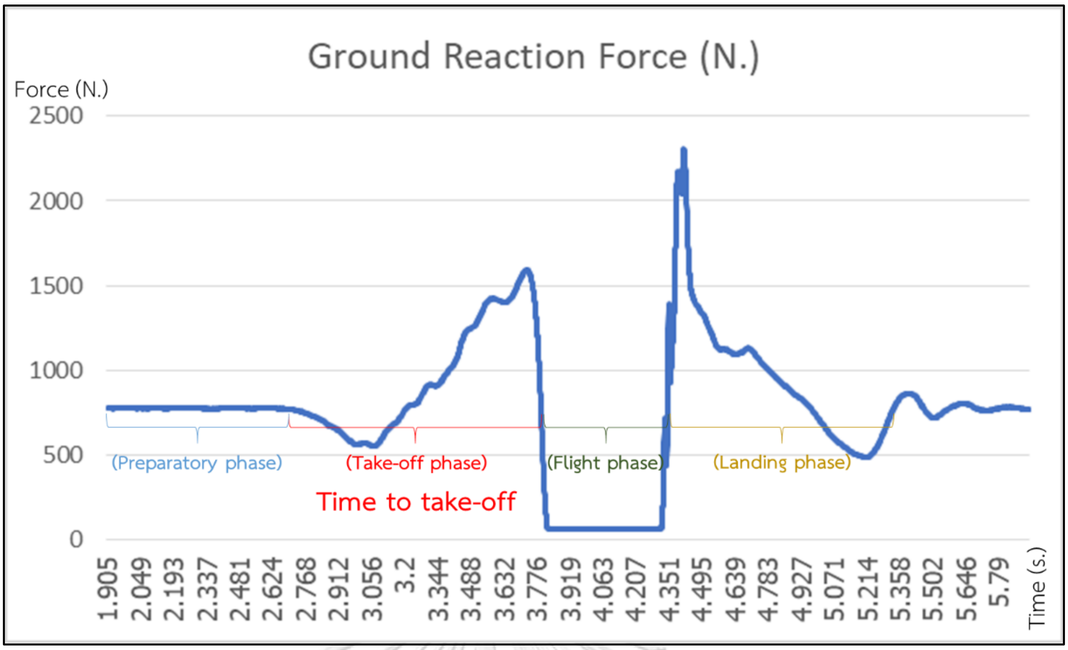
8. ทำการวิเคราะห์ระยะเวลาในการส่งแรง (Time to take off; s.) โดยการนำข้อมูลเวลาของเฟรมสุดท้ายที่เท้าสัมผัสพื้นเปรียบเทียบกับเวลาในเฟรมที่น้ำหนักตัวลดลง 5%

9. นำข้อมูลมาคำนวณหาค่าความแข็งแรงแบบปฏิกิริยาตอบสนอง (Kipp et al., 2016)

สมการ

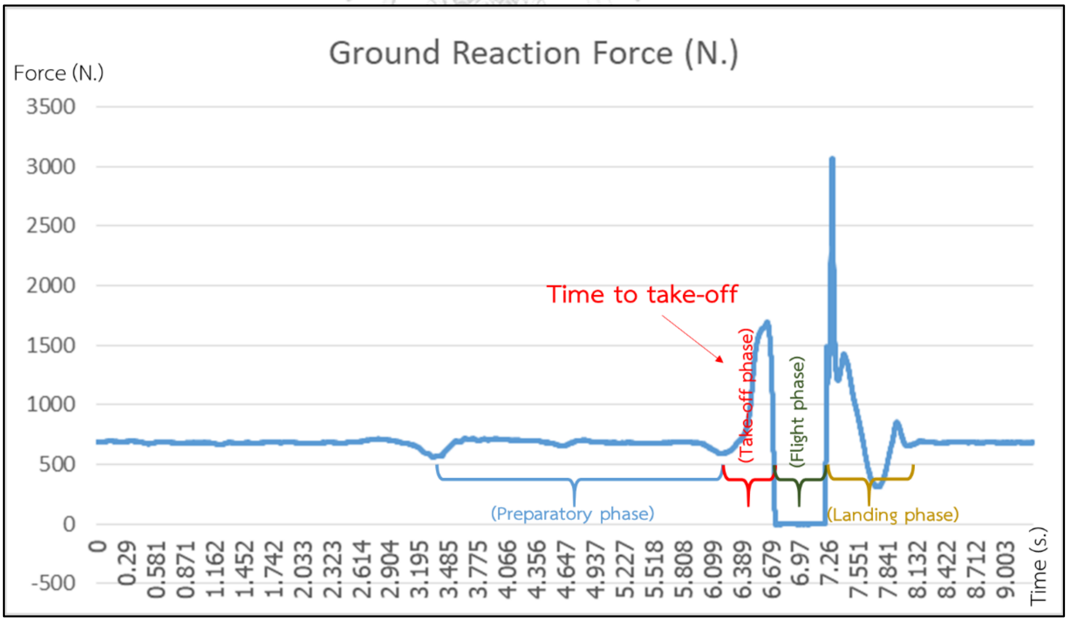
$$\text{Reactive Strength} = \frac{\text{Jump height (m.)}}{\text{Time to take off (s.)}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 34** แสดงระยะเวลาในช่วง Take-off phase

ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)




**รูปที่ 35** แสดงระยะเวลาในช่วง Take-off phase ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

**5. การทดสอบค่าความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (Leg stiffness; N/m)**

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective marker) ที่กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacrum)

2. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนบนแผ่นวัดแรง (Force platform) และกำหนดระดับการย่อโดยใช้เชือกกั้นในจังหวะที่ย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา

3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยทดสอบการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยยืนตรง มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

4. จากนั้นผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump) จำนวน 2 ครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยย่อให้ข้อเข่าทำมุม 90 องศา มือจับที่เอวเพื่อป้องกันการใช้มือช่วยเหวี่ยงในขณะกระโดด สายตามองตรงไปด้านหน้า เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยได้ยินเสียงสัญญาณจากผู้วิจัย ให้กระโดดขึ้นในแนวดิ่งอย่างเต็มกำลัง และกำหนดให้พักระหว่างการกระโดดแต่ละครั้ง 1 นาที

5. ผู้วิจัยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการกระโดดโดยใช้โปรแกรม Qualisys Track Manager 2018 รุ่น 2018.1 (build 4300)

6. นำข้อมูลในครั้งที่ทำการกระโดดได้ค่าพลังการกระโดดสูงสุด (Peak power) มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา

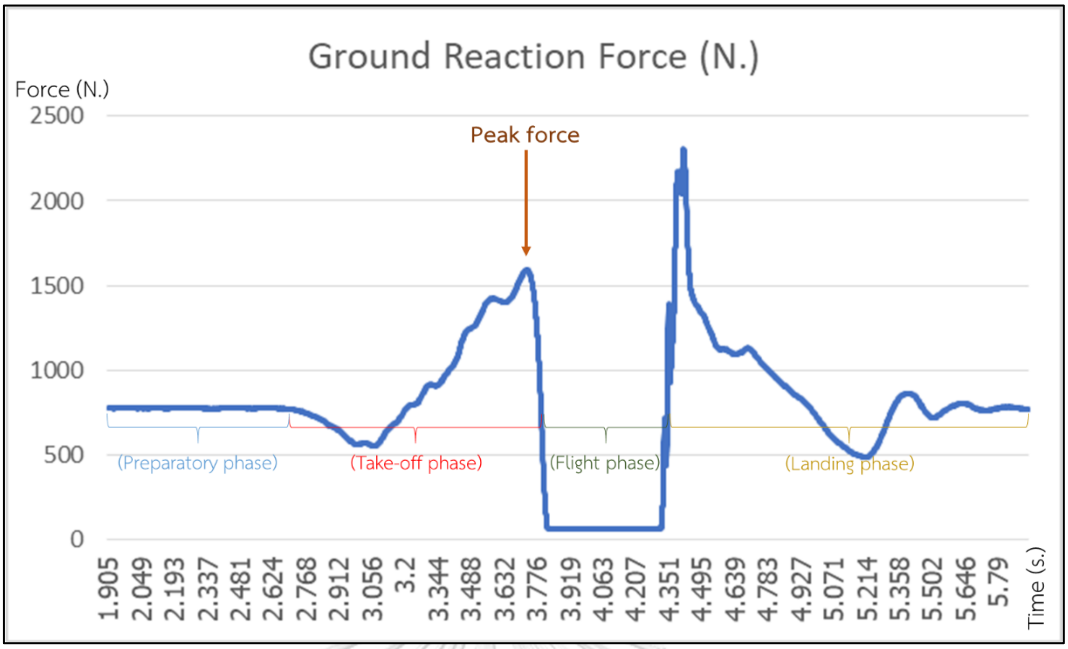
7. ทำการวิเคราะห์จุดศูนย์กลางมวล (Center of mass displacement, m.) โดยใช้โปรแกรม SkillSpector นำข้อมูลตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลที่มีเวลาตรงกับจุดที่มีแรงปฏิกิริยาในแนวดิ่งมากที่สุดในจังหวะ Take-off phase

8. คำนวณค่าความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อขา (McMahon & Cheng, 1990)

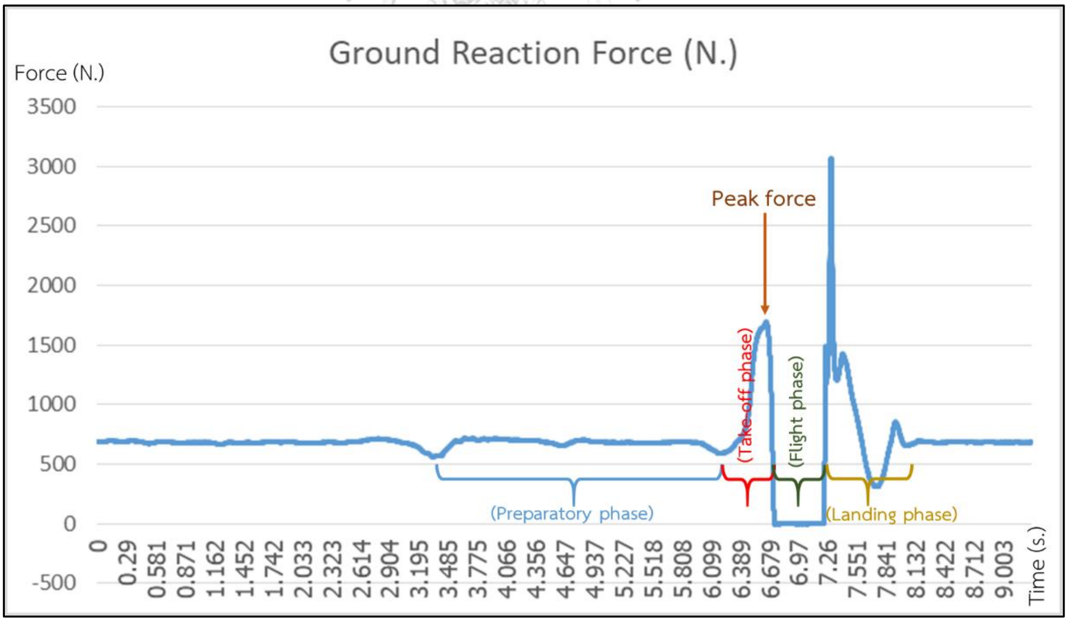
สมการ

$$\text{Leg Stiffness} = \frac{\text{Peak force}}{\text{Center of mass displacement}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 36** แสดงแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase
ของการยืนย่อเข่ากระโดด (Countermovement jump)




**รูปที่ 37** แสดงแรงสูงสุดในช่วง Take-off phase ของการกระโดดแบบสควอทจั๊มพ์ (Squat jump)

# ภาคผนวก ญ
## การวัดระดับแลคเตทในเลือด

การวัดระดับแลคเตทในเลือด มีขั้นตอนดังนี้

1. การเจาะเลือดจะทำโดยผู้ช่วยวิจัยที่เป็นนักเทคนิคการแพทย์
2. ทำการเจาะเลือดทั้งหมด 3 ครั้ง ประกอบด้วย
    - ขณะทำการนั่งพักก่อนการออกกำลังกาย ($LA_1$)
    - ก่อนการทดสอบการกระโดดก่อนการออกกำลังกาย ($LA_2$)
    - ก่อนการทดสอบการกระโดดหลังการออกกำลังกาย ($LA_3$)
3. เจาะเลือดที่บริเวณปลายนิ้ว โดยการใช้แอลกอฮอล์ทำความสะอาดบริเวณปลายนิ้วที่จะทำการเจาะเลือด
4. วิเคราะห์ความเข้มข้นของระดับแลคเตทในเลือด โดยใช้ยี่ห้อ Lactate Scout plus

**รูปที่ 38** Lactate Analyzer ยี่ห้อ Lactate Scout plus

## ภาคผนวก ฎ
## เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole-Body Vibration)

**รูปที่ 39** เครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ยี่ห้อ Power plate รุ่น Power plate Pro5 Silver

| | |
|---|---|
| Color | Silver |
| Maximum Load (Weight) | 182 kilograms (400 pounds) |
| Operation | User-friendly interactive display |
| Frequency | 25 to 50 Hertz (1Hertz increments) |
| Pre-set Frequency | 30, 35, 40 or 50 Hertz |
| Time Selections | 30, 45 or 60 seconds / Up to 9 minutes |
| Vibration Energy Output | Low or High |
| Dimensions (WxDxH) | 87x107x156 cm (34x42x61 inches) |
| Surface Plate (Dimension WxD) | 84x84 cm (33x33 inches) |
| Weight | 150 kilograms (330 pounds) |
| Power Supply | 90-260 VAC, 50/60 Hertz, Universal Voltage |
| Nominal Power | .35 kw (in operation) |
| Certifications | CE and EMC (TUV certified); RoHS/WEEE compliant; IFI accredited |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก ฏ
# แบบบันทึกข้อมูลพื้นฐาน

ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง

วันที่........../........../.......... รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.......................................

---

โปรดกรอกข้อมูลและตอบคำถามต่อไปนี้ตามความเป็นจริง ข้อมูลทั้งหมดในแบบสอบถามจะถูกเก็บเป็นความลับและใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

**ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป**

รหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.......................................

อายุ..........ปี..........เดือน..........วัน

น้ำหนัก.......................................กิโลกรัม ส่วนสูง.......................................เซนติเมตร

ดัชนีมวลกาย (BMI) น้ำหนักตัว (กก.)/ส่วนสูง (ม.$^2$).......................................

ประสบการณ์การเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาวอลเลย์บอลในรายการกีฬามหาวิทยาลัย..........ปี

จำนวนวันในการฝึกซ้อมต่อสัปดาห์ในช่วง 6 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัย..........วัน

**ตอนที่ 2 ข้อมูลทางด้านสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย**

2.1 ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรดระบุ).....................................................................................

2.2 ท่านเคยมีประวัติการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ เอ็น หรือกระดูก บริเวณหลัง ลำตัว สะโพก และ/หรือขา ในช่วง 3 เดือนก่อนเข้าร่วมการวิจัยนี้หรือไม่

☐ ไม่เคย ☐ เคย (โปรดระบุ).....................................................................................

เมื่อใด (วัน/เดือน/ปี)..............................................................................

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**สรุปคุณสมบัติ**

☐ ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

☐ ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมงานวิจัย

**หมายเหตุ :** ในกรณีผู้วิจัยพบว่าผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า และอยู่ในสภาวะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ทางผู้วิจัยจะมีของที่ระลึกมอบให้

**ผู้ดำเนินการคัดเลือก**..............................................................................

(นางสาวพัชรพร พ่อค้าชำนาญ)

# ภาคผนวก ฐ
# การประเมินคุณภาพ IOC

**รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึก (IOC)**

| | |
|---|---|
| 1. อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล | คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร | คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 3. อาจารย์ ดร.ชลชัย อานามนารถ | วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 4. นายวุฒินันท์ พรมนัส | ผู้ฝึกสอนกีฬาวอลเลย์บอลสโมสรวอลเลย์บอลโอพาร์ท 369 |
| 5. นายสุเทพ ทองศรี | ผู้ฝึกสอนกีฬาวอลเลย์บอลสโมสรวอลเลย์บอลโอพาร์ท 369 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## แบบประเมิน IOC

## การทดสอบความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึก โดยวิธีหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item-Objective Congruence Index; IOC)

**คำชี้แจง**

เกณฑ์การให้คะแนนของผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาถึงความเหมาะสมด้านองค์ประกอบของเนื้อหา โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

+1 หมายถึง เห็นด้วยว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา

-1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา

ให้ผู้เชี่ยวชาญทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง +1
เมื่อท่านเห็นด้วยว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหาการศึกษาผลของการฝึกด้วยการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและประสิทธิภาพในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง

ให้ผู้เชี่ยวชาญทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง 0
เมื่อท่านไม่แน่ใจว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหาการศึกษาผลของการฝึกด้วยการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและประสิทธิภาพในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง

ให้ผู้เชี่ยวชาญทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง -1
เมื่อท่านไม่เห็นด้วยว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหาการศึกษาผลของการฝึกด้วยการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายและการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและประสิทธิภาพในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง

หากท่านมีความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะในการปรับปรุงพัฒนาเนื้อหาแต่ละข้อ โปรดแสดงความคิดเห็นลงในช่องเสนอแนะเพิ่มเติม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**แบบตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือของผู้เชี่ยวชาญ**

**การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruence; IOC)**

**คำชี้แจง** ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญกรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อโปรแกรมการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย จากโครงการวิจัยเรื่องผลฉับพลันของการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง

โดยใส่เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

| **เนื้อหาโปรแกรมการฝึก** | **ผลการพิจารณา** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **เหมาะสม (1)** | **ไม่แน่ใจ (0)** | **ไม่เหมาะสม (-1)** | **ข้อเสนอแนะ** |
| **โปรแกรมการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย** | | | | |
| 1. ท่าทางการสควอท (Half squat) ข้อเข่าทำมุม 90-100 องศา | | | | |
| 2. ความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (40 เฮิรตซ์) | | | | |
| 3. แอมพลิจูดของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ระดับต่ำ 2-4 มิลลิเมตร) | | | | |
| 4. จำนวนครั้ง (10 ครั้งต่อเซต) | | | | |
| 5. จำนวนเซต (5 เซต) | | | | |
| 6. พักระหว่างเซต 1 นาที | | | | |
| 7. รูปแบบโดยรวม | | | | |
| **โปรแกรมการกระตุ้นด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด** | | | | |
| 1. ท่าทางการสควอท (Half squat) ข้อเข่าทำมุม 90-100 องศา | | | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| เนื้อหาโปรแกรมการฝึก | ผลการพิจารณา | | | |
|---|---|---|---|---|
| | เหมาะสม (1) | ไม่แน่ใจ (0) | ไม่เหมาะสม (-1) | ข้อเสนอแนะ |
| 2. แรงดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (140 มิลลิเมตรปรอท) | | | | |
| 3. ตำแหน่งของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (ต้นขา) | | | | |
| 4. จำนวนครั้ง (10 ครั้งต่อเซต) | | | | |
| 5. จำนวนเซต (5 เซต) | | | | |
| 6. พักระหว่างเซต 1 นาที | | | | |
| 7. รูปแบบโดยรวม | | | | |
| **โปรแกรมการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด** | | | | |
| 1. ท่าทางการสควอท (Half squat) ข้อเข่าทำมุม 90-100 องศา | | | | |
| 2. ความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (40 เฮิรตซ์) | | | | |
| 3. แอมพลิจูดของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ระดับต่ำ 2-4 มิลลิเมตร) | | | | |
| 4. แรงดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (140 มิลลิเมตรปรอท) | | | | |
| 5. ตำแหน่งของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (ต้นขา) | | | | |
| 6. จำนวนครั้ง (10 ครั้งต่อเซต) | | | | |
| 7. จำนวนเซต (5 เซต) | | | | |
| 8. พักระหว่างเซต 1 นาที | | | | |
| 9. รูปแบบการฝึกโดยรวม | | | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| การกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย | การกระตุ้นด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด | การกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด |
|---|---|---|
| ☑ Whole-body vibration<br>☐ Blood flow restriction | ☐ Whole-body vibration<br>☑ Blood flow restriction | ☑ Whole-body vibration<br>☑ Blood flow restiction |
| | | |

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.............................................................................................................................................

.............................................................................................................................................

.............................................................................................................................................

.............................................................................................................................................

.............................................................................................................................................

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชื่อ......................................................................ผู้ประเมิน

(.........................................................................)

## ผลการประเมินความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึก

| **ความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึก**<br>**การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruence; IOC)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **เนื้อหาโปรแกรมการฝึก** | **ผลการพิจารณา** | | | | | |
| | **ผู้ทรงฯ ท่านที่ 1** | **ผู้ทรงฯ ท่านที่ 2** | **ผู้ทรงฯ ท่านที่ 3** | **ผู้ทรงฯ ท่านที่ 4** | **ผู้ทรงฯ ท่านที่ 5** | **เฉลี่ย** |
| **โปรแกรมการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย** | | | | | | |
| 1. ท่าทางการสควอท (Half squat) ข้อเข่าทำมุม 90-100 องศา | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 2. ความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (40 เฮิรตซ์) | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | **0.8** |
| 3. แอมพลิจูดของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ระดับต่ำ 2-4 มิลลิเมตร) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 4. จำนวนครั้ง (10 ครั้งต่อเซต) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 5. จำนวนเซต (5 เซต) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 6. พักระหว่างเซต 1 นาที | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | **0.8** |
| 7. รูปแบบโดยรวม | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| **โปรแกรมการกระตุ้นด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด** | | | | | | |
| 1. ท่าทางการสควอท (Half squat) ข้อเข่าทำมุม 90-100 องศา | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 2. แรงดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (140 มิลลิเมตรปรอท) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 3. ตำแหน่งของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (ต้นขา) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 4. จำนวนครั้ง (10 ครั้งต่อเซต) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 5. จำนวนเซต (5 เซต) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 6. พักระหว่างเซต 1 นาที | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | **0.4** |
| 7. รูปแบบโดยรวม | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| **โปรแกรมการกระตุ้นด้วยการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด** | | | | | | |
| 1. ท่าทางการสควอท (Half squat) ข้อเข่าทำมุม 90-100 องศา | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 2. ความถี่ของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (40 เฮิรตซ์) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 3. แอมพลิจูดของเครื่องสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (ระดับต่ำ 2-4 มิลลิเมตร) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 4. แรงดันของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (140 มิลลิเมตรปรอท) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 5. ตำแหน่งของการจำกัดการไหลเวียนเลือด (ต้นขา) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 6. จำนวนครั้ง (10 ครั้งต่อเซต) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 7. จำนวนเซต (5 เซต) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 8. พักระหว่างเซต 1 นาที | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | **0.4** |
| 9. รูปแบบโดยรวม | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| **รวม** | **1** | **0.87** | **1** | **0.91** | **0.87** | **0.93** |

# ภาคผนวก ฑ
## การอบอุ่นร่างกาย (Warm up)

1. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 5 นาที
2. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการเดินเป็นเวลา 2 นาที
3. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการวิ่งเหยาะเป็นเวลา 3 นาที

**ท่าที่ 1** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอสะโพก (Iliopsoas muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 40)

**รูปที่ 40** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอสะโพก

**ท่าที่ 2** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดสะโพก (Hip extensor muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 41)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รูปที่ 41** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดสะโพก

**ท่าที่ 3** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มสะโพกด้านใน (Hip adductor muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 42)

**รูปที่ 42** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มสะโพกด้านใน

**ท่าที่ 4** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอเข่า (Knee flexor muscle) ทำค้างไว้ 20 วินาที (รูปที่ 43)

**รูปที่ 43** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มงอเข่า

**ท่าที่ 5** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดเข่า (Knee extensor muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 44)

**รูปที่ 44** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดเข่า

**ท่าที่ 6** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 45)

**รูปที่ 45** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง (1)

## ภาคผนวก ฒ
## การคลายอุ่นร่างกาย (Cool down)

1. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการวิ่งเหยาะเป็นเวลา 2 นาที
2. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการเดินเป็นเวลา 3 นาที
3. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 5 นาที

**ท่าที่ 1** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มลำตัวด้านข้าง (External oblique muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 46)

**รูปที่ 46** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านข้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

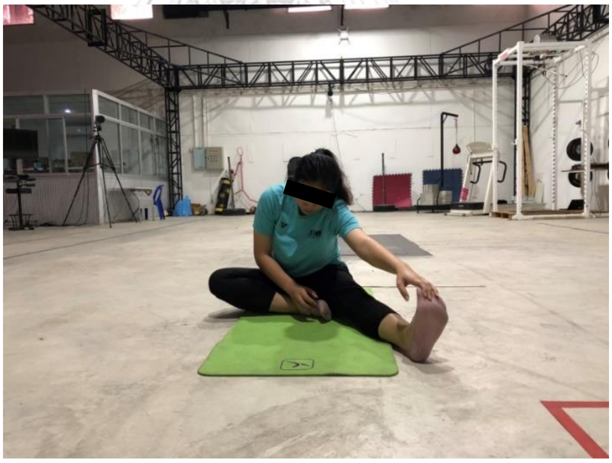
**ท่าที่ 2** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มต้นขาด้านหน้า (Quadriceps muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 47)

**รูปที่ 47** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (1)

**ท่าที่ 3** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มต้นขาด้านหน้า (Side quadriceps muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 48)

**รูปที่ 48** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (2)

**ท่าที่ 4** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อกลุ่มต้นขาด้านหลัง (Hamstrings muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 49)



**รูปที่ 49** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง

**ท่าที่ 5** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง (Lower back muscle) ทำค้างไว้ 20 วินาที (รูปที่ 50)

**รูปที่ 50** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง

**ท่าที่ 6** ยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius muscle) ทำค้างไว้ข้างละ 20 วินาที (รูปที่ 51)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

**รูปที่ 51** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อน่อง (2)

## ภาคผนวก ณ
## ใบรับรองโครงการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน

### บันทึกข้อความ

**ส่วนงาน** คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 โทร.0-2218-3202
**ที่** จว 035 /2563 **วันที่** 5 กุมภาพันธ์ 2563
**เรื่อง** แจ้งผลผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

**เรียน** คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

**สิ่งที่ส่งมาด้วย** เอกสารแจ้งผ่านการรับรองผลการพิจารณา

ตามที่นิสิต/บุคลากรในสังกัดของท่านได้เสนอโครงการวิจัยเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นั้น ในการนี้ กรรมการผู้ทบทวนหลักได้เห็นสมควรให้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยได้ ดังนี้

โครงการวิจัยที่ 273.1/62 เรื่อง **ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง** (ACUTE EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON ELECTROMYOGRAPHY, BLOOD LACTATE LEVEL AND JUMPING PERFORMANCE IN FEMALE VOLLEYBALL PLAYERS) **ของ นางสาวพัชรพร พ่อค้าชำนาญ** นิสิตระดับมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ
คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน
กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 7 ก.พ. 2563

11/2/63

AF 02-12

**คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: 0-2218-3202, 0-2218-3049 E-mail: eccu@chula.ac.th

---

COA No. 043/2563

## ใบรับรองโครงการวิจัย

| | | |
|---|---|---|
| **โครงการวิจัยที่ 273.1/62** | : | ผลฉับพลันของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีต่อคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ระดับแลคเตทในเลือดและความสามารถในการกระโดดในนักกีฬาวอลเลย์บอลหญิง |
| **ผู้วิจัยหลัก** | : | นางสาวพัชรพร พ่อค้าชำนาญ |
| **หน่วยงาน** | : | คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณา โดยใช้หลัก ของ Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, มาตรฐานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (มคจค.) 2556, นโยบายแห่งชาติและแนวทางปฏิบัติการวิจัยในมนุษย์ 2558 อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม..............................
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทัศนประดิษฐ)
ประธาน

ลงนาม..............................
(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

**วันที่รับรอง** : 3 กุมภาพันธ์ 2563 **วันหมดอายุ** : 2 กุมภาพันธ์ 2564

**เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง**

1) โครงการวิจัย
2) เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอมของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
3) ผู้วิจัย
4) แบบสอบถาม
5) ใบประชาสัมพันธ์

เลขที่โครงการวิจัย 273.1/62
วันที่รับรอง -3 ก.พ. 2563
วันหมดอายุ -2 ก.พ. 2564

**เงื่อนไข**

*1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการผิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ*
*2. หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย*
*3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด*
*4. ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) **เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น***
*5. หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ*
*6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ*
*7. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 02-14) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น*

## ประวัติผู้เขียน


| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นางสาวพัชรพร พ่อค้าชำนาญ |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 12 ตุลาคม 2538 |
| **สถานที่เกิด** | จังหวัดกรุงเทพมหานคร |
| **วุฒิการศึกษา** | ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) (วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย) วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2560 |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | 238/1 ซอยสุโขทัย11 ถนนสุโขทัย เขตดุสิต แขวงสวนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร 10300 |
| **รางวัลที่ได้รับ** | - โล่รางวัลเรียนดี ประจำปีการศึกษา 2559 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล<br>- เกียรติบัตรคะแนนสูงสุด วิชาเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย ประจำปีการศึกษา 2559 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY