ผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้าน ที่มีต่อสมรรถภาพกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล

EFFECTS OF A SINGLE SET OF EXHAUSTIVE EXERCISE BEFORE RESISTANCE TRAINING ON MUSCULAR PERFORMANCE IN SOCCER PLAYERS

อภิชัย นราวงษ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2563

ผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้าน ที่มีต่อสมรรถภาพกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล

อภิชัย นราวงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECTS OF A SINGLE SET OF EXHAUSTIVE EXERCISE BEFORE RESISTANCE TRAINING ON MUSCULAR PERFORMANCE IN SOCCER PLAYERS

APICHAI NARAWONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Sport and Exercise Science)

Faculty of Physical Education, Srinakharinwirot University

2020

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้าน
ที่มีต่อสมรรถภาพกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล

ของ

อภิชัย นราวงษ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิลักษณ์ เทียนทอง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละมาด)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี)

ชื่อเรื่อง	ผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้านที่มีต่อสมรรถภาพกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล
ผู้วิจัย	อภิชัย นราวงษ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. เกริกวิทย์ พงศ์ศรี

การฝึกด้วยแรงต้านเป็นหนึ่งในรูปแบบการฝึกซ้อมของนักกีฬาเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนำไปสู่ประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวเฉพาะกีฬา ส่งผลต่อโอกาสได้รับชัยชนะในการแข่งขัน วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลของการเสริมวิธีฝึกแรงต้านในรูปแบบที่แตกต่างกันที่มีต่อการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลเพศชายในทีมเยาวชนระดับอาชีพ จำนวน 22 คน (อายุเฉลี่ย 18.34 ± 0.25 ปี) แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่เสริมการฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาและยกจนกระทั่งหมดแรงจำนวน 1 เซต ก่อนการฝึกตามวิธีแบบดั้งเดิม กลุ่มฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อตามวิธีแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุมที่ฝึกซ้อมเฉพาะโปรแกรมฟุตบอล ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม เสริมการฝึกแรงต้านในกล้ามเนื้อต้นขา 6 สัปดาห์ (ฝึกแรงต้าน 2 ท่า สัปดาห์ละ 2 ครั้ง 3 เซต 10 ครั้ง ความหนัก 75% 1RM และพักระหว่างเซต 1 นาที) ความแตกต่างเพียงอย่างเดียวของโปรแกรมการฝึกในกลุ่มทดลองจะเพิ่มการฝึกด้วยความหนัก 20% 1RM โดยยกจนกระทั่งหมดแรงและพัก 30 วินาที ก่อนการฝึกในแต่ละท่า ผลการศึกษาพบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม ในการพัฒนาสมรรถภาพด้านความแข็งแรงสูงสุด ความอดทนสูงสุด พลังสูงสุดและพลังความอดทนสูงสุด ยิ่งไปกว่านั้นพบผลลัพธ์ที่ดีกว่ากลุ่มฝึกตามวิธีแบบดั้งเดิมด้านพลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ขณะที่การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มฝึกตามวิธีแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม พบความแตกต่างเฉพาะความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง และไม่พบการปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อที่ทำการฝึกและพลังสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าในทุกการทดสอบ สรุปได้ว่า นักกีฬาที่ผ่านการพัฒนากล้ามเนื้อมาเป็นอย่างดี การฝึกด้วยแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อตามวิธีแบบดั้งเดิมระยะ 6 สัปดาห์ อาจไม่ส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรง การผสมผสานหลักการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าและยกจนกระทั่งหมดแรง อาจเป็นกลยุทธ์ที่ดีในการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล

คำสำคัญ : ฝึกแรงต้าน, เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า, ความแข็งแรง, เวทเทรนนิ่ง

Title	EFFECTS OF A SINGLE SET OF EXHAUSTIVE EXERCISE BEFORE RESISTANCE TRAINING ON MUSCULAR PERFORMANCE IN SOCCER PLAYERS
Author	APICHAI NARAWONG
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2020
Thesis Advisor	Lecturer Krirkwit Phongsri , Ph.D.

Resistance training is one of the most popular athletic training programs because greater muscular strength can enhance the ability to perform sports-specific movements and success in sport competitions. The purpose of this study was to investigate the effects of the addition of different resistance training programs on muscular performance. The participants consisted of 22 young male soccer players (18.34 ± 0.25 years) in professional teams and were randomly selected into three groups: the prior exhaustive exercise group (PEG), the traditional hypertrophy resistance training group (TG) and the control group (CG), followed by the soccer program. Both PEG and TG trained with the same resistance training protocol for six weeks (two exercisese; twice a week; three sets of ten repetitions at 75% of 1RM; and a one-minute rest between sets), the only difference was that the PEG performed a single set of 20% of 1RM until exhaustion and 30 seconds of rest prior to exercise, the results showed greater significance ($p < .05$) when compared between PEG and CG for improved maximum strength, maximum endurance, peak power and endurance power. Furthermore, greater results were found in TG on the knee flexions endurance power test. While, the comparisons between the TG and CG showed differences in leg curl maximum endurance test, and no significant differences were found on the local muscle circumference and knee extension peak power test. In conclusion, six weeks of traditional hypertrophy resistance training might not be effective for muscular strength in athletes, combining a single set of exhaustive exercise with principally of type I fibers might be a good strategy for improving muscle performance among soccer players.

Keyword : Resistance training, Slow twitch, Strength, Weight training

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร. เกริกวิทย์ พงศ์ศรี ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลักที่คอยแนะนำ ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างมากให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จตลอดการศึกษา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สนธยา สีละมาด ที่ให้ความกรุณาแนะนำ ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทั้งการออกแบบปริญญานิพนธ์ เทคนิคในการเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ผลให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ อีกทั้งให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษาหลักในช่วงการสอบเค้าโครงปริญญานิพนธ์ และให้ความเมตตาดูแลผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อภิลักษณ์ เทียนทอง ประธานคณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ามาช่วยชี้แนะและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ ให้คำแนะนำทั้งด้านการศึกษาและการทำงาน ด้วยความทุ่มเทให้กับศิษย์และงานด้านวิชาการอย่างไม่รู้จักเหน็ดเหนื่อย เป็นแบบอย่างอันดีงามในการดำเนินชีวิตให้กับศิษย์ต่อไป

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารการกีฬาแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้โอกาสในการทำงาน ให้ความรู้และประสบการณ์ด้านวิชาการอันมีค่ายิ่ง รวมทั้งสนับสนุนอย่างเต็มที่ในการศึกษาหาความรู้ ขอขอบคุณทีมงานคณะผู้ช่วยวิจัยจากฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา ที่สละเวลาและแรงกายแรงใจในการดำเนินงานด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารกรมพลศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบและเก็บข้อมูล พร้อมอำนวยความสะดวกในการศึกษาครั้งนี้อย่างดียิ่ง ขอบพระคุณคณะผู้บริหาร สโมสรฟุตบอล ผู้ฝึกสอนและนักกีฬา ที่สละเวลาเข้าร่วมงานวิจัยและฝึกซ้อมตามโปรแกรมอย่างเต็มความสามารถ

คุณประโยชน์ที่เกิดจากการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แด่บิดา มารดา ญาติ ครูอาจารย์ เพื่อน ๆ ที่สนับสนุนโอกาสและเป็นกำลังใจในการศึกษาวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่องผู้วิจัยขอน้อมรับสำหรับการปรับปรุงแก้ไขต่อไปในอนาคต

อภิชัย นราวงษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

ภูมิหลัง 1

ความมุ่งหมายของการวิจัย 3

ความสำคัญของการวิจัย 4

ข้อตกลงเบื้องต้น 4

ขอบเขตการวิจัย 4

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย 4

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 5

ตัวแปรที่ศึกษา 5

นิยามศัพท์เฉพาะ 5

กรอบแนวคิดในการวิจัย 7

สมมติฐานการวิจัย 8

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

สรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย (Sports physiology and exercise) 9

หลักพื้นฐานของสรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย 9

กล้ามเนื้อและระบบประสาทกับการออกกำลังกาย 10
กีฬาฟุตบอล (Soccer) 15
กีฬาฟุตบอล (Soccer) 15
การพัฒนาองค์ประกอบความสามารถทางกลไกในกีฬาฟุตบอล (Development of biomotor abilities for soccer) 15
สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular performance) 16
สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular performance) 16
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ 16
การฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training) 18
การฝึกจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรง (Training to muscle failure) 25
ความหมายของการฝึกจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรง 25
ผลจากการฝึกแรงต้านจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรง 26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 42
การออกแบบการวิจัย 42
การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 45
ประชากรที่ใช้ในการวิจัย 45
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 45
เกณฑ์การคัดเข้า 45
เกณฑ์การคัดออก 46
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 46
เครื่องมือที่ใช้วัด 46
การเก็บรวบรวมข้อมูล 46
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 46

ขั้นตอนการทดสอบ 47
โปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้าน 49
ปริมาณการฝึก 50
การควบคุมอาหารและการออกกำลังกาย 50
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล 51
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 51
บทที่ 4 52
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 52
สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 52
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 53
บทที่ 5 72
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 72
สรุปผลการวิจัย 72
อภิปรายผลการวิจัย 74
ข้อเสนอแนะ 82
บรรณานุกรม 83
ภาคผนวก 92
ภาคผนวก ก 93
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 93
เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย 94
สายวัดขนาดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก 95
เครื่องมือทดสอบสมรรถภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ 96
เครื่องมือทดสอบและฝึกความแข็งแรงและความอดทนกล้ามเนื้อ 97

ภาคผนวก ข ใบรับรองจริยธรรมงานวิจัย..... 98

ภาคผนวก ค 100

แบบฟอร์มที่ใช้ในการวิจัย 100

แบบฟอร์ม - 01 แบบให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (Inform consent)..... 101

แบบฟอร์ม - 02 แบบบันทึกรายการรับประทานอาหาร (Nutrition intake)..... 108

แบบฟอร์ม - 03 แบบบันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายกลุ่มตัวอย่าง..... 109

แบบฟอร์ม - 04 แบบบันทึกข้อมูลการฝึกซ้อม 110

ภาคผนวก ง ภาพการดำเนินการทดลอง 111

ประวัติผู้เขียน..... 113

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ด้วยการฝึกแรงต้านในนักกีฬาแต่ละชนิดและบุคคลทั่วไป 33

ตาราง 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะทางกายภาพกลุ่มตัวอย่าง..... 53

ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปริมาณการฝึก (Training Volume) และน้ำหนักที่ใช้ฝึก (Training Load) 54

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม 56

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม..... 58

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม 59

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม..... 61

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบวัดขนาดเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึกระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม 63

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบไอโซคิเนติกของพลังสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม 64

ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม..... 65

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม 66

ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม..... 68

ตาราง 13 แสดงผลภาพรวมของการทดสอบสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscle performance) 70

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 คุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดต่างๆ 11

ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ 12

ภาพประกอบ 3 การระดมหน่วยยนต์ 14

ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและความหนักกับการวางแผนฝึกซ้อม 20

ภาพประกอบ 5 การออกแบบการวิจัย 44

ภาพประกอบ 6 แสดงเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย 94

ภาพประกอบ 7 แสดงการวัดขนาดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก (Local muscle circumference) 95

ภาพประกอบ 8 แสดงเครื่องทดสอบและออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก (CON-TREX® MJ, Isokinetic Dynamometer, CMV, Dubendorf, Switzerland) 96

ภาพประกอบ 9 แสดงเครื่องฝึกด้วยน้ำหนัก (CYBEX Prestige, CYBEX International, Inc. Queen Adelaide, Ely CAMBS, UK 97

ภาพประกอบ 10 แสดงใบรับรองจริยธรรมงานวิจัย 99

ภาพประกอบ 11 แบบฟอร์มบันทึกรายการรับประทานอาหาร (Nutrition intake) 108

ภาพประกอบ 12 แสดงแบบบันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายกลุ่มตัวอย่าง 109

ภาพประกอบ 13 แสดงแบบบันทึกข้อมูลการฝึกซ้อม 110

ภาพประกอบ 14 แสดงภาพการดำเนินการทดลอง 112

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันการฝึกด้วยแรงต้านได้รับความนิยมในกลุ่มผู้ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา เนื่องจากสามารถพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อให้มีความแข็งแรงและอดทน มีมวลของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีสัดส่วนรูปร่างที่เหมาะสมและบุคลิกที่ดี (Hong, Hong, & Shin, 2014; Y. Watanabe et al., 2013; วันใหม่ ประพันธ์บัณฑิต, 2551) กล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกพัฒนาความแข็งแรงจะส่งผลให้ร่างกายมีความอดทนต่อความเหนื่อยล้าและออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาได้ยาวนานยิ่งขึ้น (Farrell, Lantis, Ade, Cantrell, & Larson, 2018) สำหรับกีฬาเพื่อความเป็นเลิศ การพัฒนานักกีฬาหลายประเภทมักนิยมบรรจุโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนากลไกการเคลื่อนไหวเฉพาะกีฬาให้เกิดประสิทธิภาพ (Kocahan & Akinoglu, 2018; ถาวร กมุทศรี, 2560) นักกีฬาที่มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ดี จะสามารถปฏิบัติทักษะกีฬา เช่น การกระโดด การวิ่ง การเปลี่ยนทิศทาง ความคล่องแคล่วว่องไว ได้อย่างยอดเยี่ยมส่งผลถึงชัยชนะในการแข่งขัน (Suchomel, Nimphius, & Stone, 2016)

การฝึกด้วยแรงต้านสำหรับนักกีฬาจะมีการกำหนดรูปแบบและเป้าหมายของการฝึกที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมตลอดฤดูกาลแข่งขัน (Naclerio et al., 2013; Smith et al., 2014) โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของการฝึกซ้อม (General preparation phase) จะมุ่งเน้นความสำคัญในการสร้างความแข็งแรงและปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อ (Muscle hypertrophy) เพื่อให้ร่างกายสามารถรองรับการฝึกที่หนักขึ้น และป้องกันการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อม (Hartmann et al., 2015; Toigo & Boutellier, 2006) เนื่องจากกล้ามเนื้อที่มีการปรับขยายขนาดเพิ่มขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะในการเล่นกีฬาให้มีความแข็งแรงและพลัง ทำให้การเคลื่อนไหวร่างกายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Vigotsky, Schoenfeld, Than, & Brown, 2018) โดยทั่วไปวิธีการฝึกเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อแบบดั้งเดิม (Traditional hypertrophy training) นิยมใช้การฝึกด้วยน้ำหนักสูง ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาความแข็งแรงและการปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อในระดับไมโอไฟบริลได้ดีกว่าการใช้น้ำหนักเบา และปริมาณ การฝึกมาก (Haun et al., 2019; Schoenfeld et al., 2019) อย่างไรก็ดี ยังคงมีการศึกษาวิธี การฝึกด้วยแรงต้านรูปแบบอื่น ๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อมากยิ่งขึ้น เนื่องจากในลักษณะของการ

แข่งขันกีฬาหลายชนิด ไม่เพียงแต่ต้องการความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ แต่ยังต้องการพลังความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูงสุด และจะต้องฝึกกล้ามเนื้อให้มีความอดทนเพื่อการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำๆ โดยเฉพาะในกีฬาประเภททีมที่มีการเคลื่อนไหวด้วยความหนักระดับสูงแบบระดับความหนักสูงแบบหนักสลับช่วง (Intermittent high intensity) (Gomez-Piqueras, Gonzalez-Villora, Castellano, & Teoldo, 2019; Travassos, Davids, Araújo, & Esteves, 2013; เกริกวิทย์ พงศ์ศรี, นันทพล ทองนิลพันธ์, อมรพันธ์ อัจจิมาพร, และ สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล, 2560)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น การพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อด้วยวิธีฝึกแรงต้านจึงมีผู้สนใจทำการศึกษาอย่างกว้างขวาง เช่น การกำหนดเป้าหมายที่แตกต่างกันต่อการพัฒนากล้ามเนื้อ (Lee, Lira, Nouailhetas, Vancini, & Andrade, 2018; Schoenfeld, Contreras, Vigotsky, & Peterson, 2016) การฝึกแรงต้านด้วยเทคนิคการยกแบบความช้าสูง (Pereira et al., 2016; Tanimoto & Ishii, 2006) การเพิ่มความแข็งแรงและปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อจากการฝึกในระยะสั้น (N. D. Jenkins et al., 2016; Ullrich, Pelzer, Oliveira, & Pfeiffer, 2016) หรือการศึกษาในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดต่อการปรับเพิ่มความแข็งแรงและขยายขนาดกล้ามเนื้อ (Grgic & Schoenfeld, 2018; Lim et al., 2019) โดยมีการออกแบบวิธีฝึกด้วยแรงต้านรูปแบบใหม่ที่น่าสนใจของอากูย่าและคณะ (Aguiar et al., 2015) ที่ได้ทดลองผสมผสานหลักการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า ด้วยการฝึกแรงต้านน้ำหนักเบา (Principally of type I fibers) (ACSM, 2009) จนกระทั่งหมดแรง จำนวน 1 เซต ก่อนผสมผสานกับวิธีการฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อแบบดั้งเดิม ในกลุ่มชายสุขภาพดีด้วยท่าฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Leg extension) ผลพบว่าสมรรถภาพกล้ามเนื้อทั้งความแข็งแรง ความอดทน และการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อมีพัฒนาการดีกว่าวิธีการฝึกแบบดั้งเดิม ซึ่งวิธีการฝึกนี้ถูกพัฒนามาจากการฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาผสมผสานการปิดกั้นการไหลเวียนเลือด (Abe et al., 2005; Sousa et al., 2017; Yasuda et al., 2005) ที่สามารถกระตุ้นการทำงานของหน่วยยนต์ในเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าและกระบวนการสะสมพลังงานจากการเผาผลาญ (Metabolic accumulation) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อและความแข็งแรง (Loenneke, Wilson, & Wilson, 2010; Suga et al., 2010) แต่หากเพิ่มปริมาณการฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะที่กล้ามเนื้อหมดแรง (Momentary of muscular failure) จะทำให้ปริมาณของการกระตุ้นระบบเผาผลาญพลังงานเกิดขึ้นมากเพียงพอ และส่งผลต่อการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อได้เช่นเดียวกับวิธีปิดกั้นการไหลเวียนเลือด (Loenneke, Fahs, Wilson, & Bemben, 2011) และยัง

ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อ และระดมการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วในกลุ่มกล้ามเนื้อมัดหลักที่ทำงานได้ดีอีกด้วย (Abe, Kearns, & Sato, 2006; Burd et al., 2010; Contessa, Letizi, De Luca, & Kline, 2018; Schoenfeld, 2013; Willardson, 2007) เมื่อรวมกับการทำงานของสมองที่เพิ่มความถี่ในการส่งสัญญาณประสาท (Motor unit summation) จึงสามารถพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อไปสู่สมรรถนะสูงสุด (Aguiar et al., 2015; Mettler & Griffin, 2016; Willardson, 2007) นอกจากนี้ การฝึกจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรงยังส่งผลให้เกิดการปรับตัวตอบสนองทางระบบประสาทต่อการเล่นกีฬา (Marston et al., 2017) และการสลายกรดแลคติกในกล้ามเนื้อทำให้นักกีฬามีสมรรถนะด้านความอดทนในการเล่นกีฬาแบบแอโรบิกได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย (Chmura & Nazar, 2010)

วิธีการฝึกด้วยหลักการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าให้หมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้านมีความน่าสนใจในผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น แต่ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ยังมีไม่มากนัก โดยการศึกษาของอากูย่าและคณะ (Aguiar et al., 2015) เป็นการศึกษาแรกที่ได้ทำการทดลองในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นประชาชนชายสุขภาพดี ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจว่าหากนำหลักการฝึกดังกล่าว มาทดลองศึกษากับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาซึ่งมีพื้นฐานสมรรถภาพทางกายดีกว่าประชาชนทั่วไป และมีการปรับตัวตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการฝึกความแข็งแรงได้ยากกว่า (Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer, & Häkkinen, 2004) จะส่งผลดีต่อการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ ได้หรือไม่ ผลของการศึกษาครั้งนี้ จะทำให้เกิดความชัดเจนในรูปแบบและหลักการฝึก สามารถนำไปประยุกต์ใช้พัฒนาศักยภาพของนักกีฬาสู่สมรรถนะสูงสุด

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้าน โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อตามวิธีการแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการฝึกด้วยแรงต้าน ต่อการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ได้แก่

1. ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ
2. ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อ
3. พลังสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว
4. พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว
5. การปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก

ความสำคัญของการวิจัย

1. ทำให้ทราบผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้านแบบดั้งเดิมที่ส่งผลต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อ พลังสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว และการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก

2. สามารถนำผลจากการวิจัยไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในนักกีฬา เป็นประโยชน์ต่อนักกีฬา ผู้ฝึกสอน และผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นนักกีฬาฟุตบอลเพศชายในทีมเยาวชนระดับไทยลีกอายุระหว่าง 17 - 19 ปี ที่อยู่ระหว่างการฝึกซ้อมช่วงเริ่มต้นเตรียมตัวเข้าสู่การแข่งขัน

2. การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมกลุ่มตัวอย่างในเรื่องการรับประทานอาหาร การพักผ่อน และการใช้ชีวิตประจำวัน

3. โปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้าน จะมีผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย เป็นผู้นำและควบคุมการทดสอบ และการฝึกซ้อมให้ถูกต้องและปลอดภัย

4. กลุ่มตัวอย่างที่นำมาคำนวณข้อมูลทางสถิติจะต้องเข้ารับการฝึกตามโปรแกรมไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของระยะเวลาการฝึกทั้งหมด

5. กลุ่มตัวอย่างจะต้องไม่เป็นมังสวิรัติ ไม่ได้ใช้ยาหรืออาหารเสริมเพื่อสร้างภูมิคุ้มกันหรือสเตียรอยด์โคเอนไซม์ใดๆ เพื่อสร้างกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 6 เดือนก่อนเข้าทำการศึกษา ไม่มีปัญหาอาการบาดเจ็บ และจะต้องทำการระบุรายละเอียดเรื่องของการรับประทานอาหารและใช้ชีวิตเพื่อคำนวณอัตราการใช้พลังงานในแต่ละวันให้มีความใกล้เคียงกันก่อนเริ่มการวิจัย

ขอบเขตการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาฟุตบอลเพศชายในทีมเยาวชนระดับไทยลีกอายุระหว่าง 17 - 19 ปี มีประสบการณ์ฝึกซ้อมและแข่งขันฟุตบอลไม่น้อยกว่า 2 ปี อยู่ระหว่างเตรียมตัวเข้าร่วมการแข่งขันรายการฟุตบอลภายในประเทศ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาก่อนหน้านี้ของ อากูย่าและคณะ (Aguiar et al., 2015) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรง ก่อนการฝึกด้วยแรงต้านแบบดั้งเดิมในชายสุขภาพดี โดยฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ รวม 8 สัปดาห์ สามารถวัดค่าการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อได้ การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม (G-Power software 3.1.9.2 Heinrich Heine University, Dusseldorf, Germany) ได้กำหนดค่าขนาดอิทธิพลขนาดกลางที่ 0.35 (Conventional effect size) อัตราส่วนความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อน (Error probability ratio) เท่ากับ 0.05 อำนาจการทดสอบ (Power) เท่ากับ 0.8 โดยวัดผลจากตัวแปรวิธีการฝึก 3 รูปแบบ เปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ (3 กลุ่ม x 2 ช่วงเวลา) จึงได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 24 คน ผู้วิจัยทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างตามข้อตกลงเบื้องต้น ด้วยวิธีการแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ทดสอบความแข็งแรงสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าเพื่อจัดเรียงลำดับข้อมูล จากนั้นสุ่มแบบง่าย (Random sampling) แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 8 คน

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่ โปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านและระยะเวลาการฝึก
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ สมรรถภาพของกล้ามเนื้อประกอบด้วย
    2.1 ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ
    2.2 ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อ
    2.3 พลังสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว
    2.4 พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว
    2.5 การปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **การฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training)** หมายถึง โปรแกรมการฝึกกล้ามเนื้อด้วยการเพิ่มน้ำหนักหรือแรงต้านเพื่อให้เกิดความแข็งแรง โดยทำการศึกษาจำนวน 2 ท่าฝึก ได้แก่ ท่าฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าด้วยท่าเลกเอ็กซ์เทนชัน (Leg extension) และท่าฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังด้วยท่าเลกเคิร์ล (Leg curl) โดยฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 6 สัปดาห์

2. **การฝึกเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อแบบดั้งเดิม (Traditional hypertrophy training)** โดยทั่วไปสำหรับนักกีฬาที่มีประสบการณ์การฝึกด้วยแรงต้านปานกลางหรือภายหลังจากหยุดการฝึกซ้อมมาระยะหนึ่ง การฝึกเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อแบบดั้งเดิม จะกำหนดความหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุดขึ้นไป (75% of Repetition maximum) โดยฝึกจำนวน 3 เซต

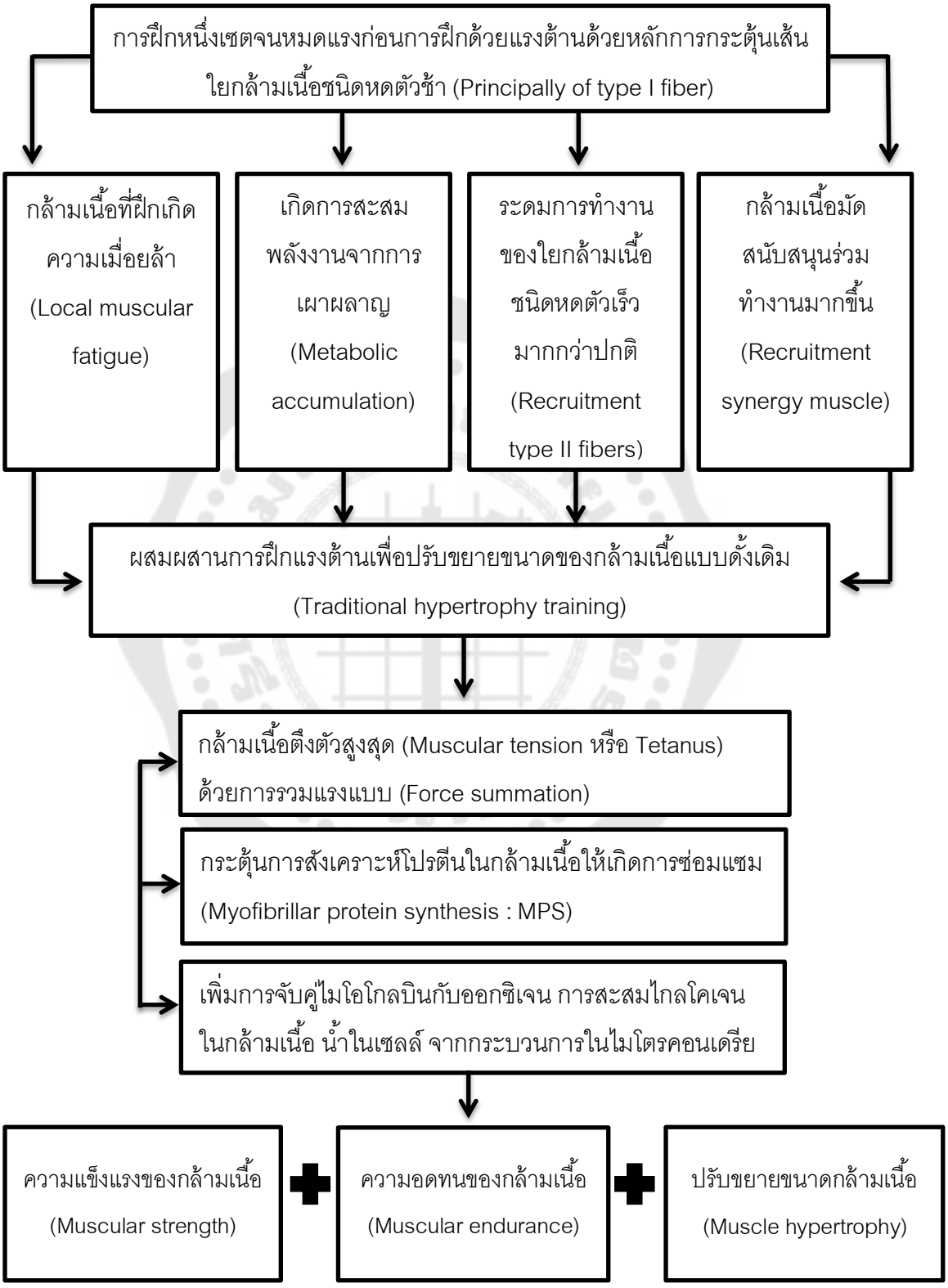
เซตละ 10 ครั้ง พักระหว่างเซต 1 นาที ฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมฝึกทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ เป็นเป้าหมายในการเพิ่มความแข็งแรงและขยายขนาดของกล้ามเนื้อ (Aguiar et al., 2015)

3. **หลักการของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า** (Principally of type I fibers) คือ หลักการฝึกกล้ามเนื้อโดยกำหนดความหนักในการฝึกแรงต้านที่สัมพันธ์กับการทำงานของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยการให้แรงต้านน้ำหนักเบาไม่เกินร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด (0–30% of 1 Repetition maximum) ซึ่งการฝึกด้วยความหนักระดับนี้ เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าจะออกแรงทำงานเป็นลำดับแรกตามขนาดและลักษณะการทำงานของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ เมื่อทำการฝึกจนกระทั่งเกิดความเมื่อยล้าหมดแรง และไม่สามารถที่จะออกแรงต้านความหนักที่เกิดขึ้นได้ต่อไป จะส่งผลต่อการเพิ่มกระบวนการเผาผลาญพลังงานและระดมการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมากยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยครั้งนี้กำหนดน้ำหนักร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด และยกจนกระทั่งหมดแรง (ACSM, 2009; Aguiar et al., 2015; Sale, 1987)

4. **การปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อ** (Muscle hypertrophy) หมายถึง ผลของการที่กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นด้วยความหนักที่เกิดขึ้นจากการฝึกด้วยแรงต้าน ทำให้เกิดการระดมหน่วยยนต์ (Motor Unit) จนกล้ามเนื้อเผชิญกับความตึง (Tension) เมื่อปริมาณการฝึกสูงกว่าขีดจำกัดที่ร่างกายสามารถทำได้ส่งผลให้เกิดสภาวะที่กล้ามเนื้อหมดพลังหรือเกิดความล้า (Momentary muscular failure) และเกิดการฉีกขาดภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ ร่างกายจะเกิดการสังเคราะห์โปรตีนทดแทนกระตุ้นให้เกิดการปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อ (Muscle volume) และความหนาแน่นของกล้ามเนื้อ (Muscle density) หรือเรียกว่าการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อแบบไมโอฟิบริลลาร์ (Myofibrillar hypertrophy) ส่วนการเพิ่มปริมาณการฝึกมากขึ้นไปอีกจะเป็นการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อแบบซาโครพลาสมิค (Sarcoplasmic hypertrophy) เกิดจากการสะสมของเหลวจากน้ำหรือไกลโคเจนในเซลล์ ซึ่งจะไม่มีผลต่อความแข็งแรงกล้ามเนื้อ

5. **สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ** (Muscular performance) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อในการผลิตแรง รักษา คงไว้ และปรับเปลี่ยนท่าทางการเคลื่อนไหวที่สอดคล้องกับกิจกรรม ประกอบด้วย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ออกแรงเพื่อเอาชนะแรงต้านภายใต้สถานการณ์เฉพาะ พลังกล้ามเนื้อที่ผลิตงานต่อหน่วยเวลาหรือผลคูณของความแข็งแรงและความเร็ว ความอดทนกล้ามเนื้อในการรักษาแรงในการทำงานแบบซ้ำ ๆ หรือผลิตแรงในช่วงเวลาหนึ่ง และการขยายขนาดกล้ามเนื้อในการขยายสูงสุดของหน่วยเอ็นกล้ามเนื้อ ซึ่งเกี่ยวพันธ์กับการระดมหน่วยยนต์ การสะสมพลังงาน และการส่งถ่ายพลังงาน และความสมดุลในการหดตัวของกล้ามเนื้อนำไปสู่ประสิทธิภาพการทำงาน (Jewell, 2014)

กรอบแนวคิดในการวิจัย



สมมติฐานการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ตั้งสมมติฐานการวิจัยไว้ว่า กลุ่มทดลองที่ฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาจำนวนหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อแบบดั้งเดิม จะส่งผลต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อ พลังสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว และการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก ดีกว่าการฝึกแรงต้านแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการฝึกด้วยแรงต้าน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้านแบบดั้งเดิม ต่อการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อ พลังสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว และการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึกในนักกีฬาฟุตบอล โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

- สรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย
- กีฬาฟุตบอล
- สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ
- การฝึกด้วยแรงต้าน
- การฝึกในภาวะกล้ามเนื้อหมดแรง

สรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย (Sports physiology and exercise)

หลักพื้นฐานของสรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย

สรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ระหว่างและหลังการฝึกซ้อมหรือแข่งขันกีฬา ทั้งผลแบบทันทีและผลระยะยาวต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยา (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์, 2555) การศึกษาถึงวิธีการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันกีฬา ที่มีต่อการพัฒนาร่างกาย โดยเกี่ยวข้องกับระบบกล้ามเนื้อ ระบบประสาท ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ ฮอร์โมนและระบบควบคุมสมดุลต่างๆ ภายในร่างกาย ทั้งในขณะฝึกซ้อมหรือแข่งขันกีฬา (Immediate) และผลในระยะยาว (Long-term effect) (ถาวร กมุทศรี, 2560) คล้ายกับ บูน (Boone, 2014) ระบุไว้ว่า สรีรวิทยาการออกกำลังกาย คือ การศึกษาการตอบสนองต่อแรงกระตุ้นและการปรับตัวของร่างกายต่อการออกกำลังกาย ส่วนสรีรวิทยาการกีฬา คือการประยุกต์หลักการของสรีรวิทยาการออกกำลังกายเพื่อเป็นแนวทางการฝึกซ้อมและพัฒนาประสิทธิภาพในการแข่งขันกีฬา ทั้งผลแบบทันทีและผลระยะยาว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของร่างกายที่เกิดขึ้นระหว่างและภายหลังทั้งทันทีและระยะยาว จากการฝึกซ้อมหรือแข่งขันกีฬา โดยเกี่ยวข้องกับระบบการทำงานต่างๆ ภายในร่างกาย เพื่อทราบผลและนำไปเป็นแนวทางสำหรับกำหนดรูปแบบของการฝึกซ้อมกีฬาหรือการออกกำลังกายให้เกิดประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่กำหนด

กล้ามเนื้อและระบบประสาทกับการออกกำลังกาย

กล้ามเนื้อมนุษย์ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เส้นประสาท และหลอดเลือด กล้ามเนื้อแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ กล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ (Haff & Triplett, 2016; ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์, 2555) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) เป็นกล้ามเนื้อลายที่ไม่อยู่ในอำนาจจิตใจ มีการหดตัวและยืดตัวตลอดเวลา เซลล์จะมีลักษณะเป็นลายพาดขวางและนิวเคลียสกระจายอยู่หลายอัน ควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ

2. กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle or involuntary muscle) เป็นกล้ามเนื้อมีลักษณะเรียบ ไม่มีลาย หดตัวได้ ต้องการพลังงานน้อย ควบคุมการทำงานโดยระบบประสาทอัตโนมัติ เช่น กล้ามเนื้อผนังลำไส้ ผนังกระเพาะอาหาร หลอดเลือด หลอดลม เป็นต้น

3. กล้ามเนื้อลาย (Striated or voluntary muscle) เป็นกล้ามเนื้อชนิดเดียวที่ยึดติดอยู่กับกระดูก หดตัวออกแรงได้สูงและเป็นองค์ประกอบสำคัญของร่างกาย โดยมีประมาณ 217 คู่ คิดเป็นน้ำหนักประมาณร้อยละ 40-45 ของน้ำหนักตัว เป็นกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและเล่นกีฬาโดยตรง ต้องการพลังงานสูงเพื่อใช้ในการหดตัวเกิดแรงในการเคลื่อนไหว และควบคุมการทำงานโดยระบบประสาทส่วนกลาง (CNS)

กล้ามเนื้อทั้ง 3 ประเภท จะทำงานสัมพันธ์กันทั้งระบบในขณะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา กล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจจะเร่งปฏิกิริยาการทำงานของระบบพลังงานในร่างกาย ควบคู่กับการหดตัวออกแรงของกล้ามเนื้อลายเชื่อมโยงไปสู่การเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหว ในกล้ามเนื้อแต่ละมัดจะประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fibers) ที่มีความแตกต่างด้านความเร็วในการออกแรงหดตัว ความเฉพาะเจาะจงของเส้นใยกล้ามเนื้อจะบ่งบอกได้ถึงลักษณะการทำงานและการฝึกฝนเพื่อพัฒนาความสามารถในการเล่นกีฬา (ภาพประกอบ 1) โดยแบ่งชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อได้ดังนี้

1. เส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง (Red fiber) หรือเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (Slow twitch muscle fibers หรือ type I) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีส่วนประกอบของเส้นเลือดฝอย (Capillary) จำนวนมากเป็นกลไกในการนำพาออกซิเจนสู่กล้ามเนื้อ การทำงานแบบใช้ออกซิเจนสูง (Aerobic capacity) ทำให้ประสิทธิภาพในการออกแรงกล้ามเนื้อไม่มาก แต่อดทนต่อความเมื่อยล้าและสามารถเล่นกีฬาในระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนได้อย่างยาวนาน

2. เส้นใยกล้ามเนื้อสีขาว (White fiber) หรือเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast twitch muscle fibers หรือ Type II) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่ แข็งแรง มีคุณสมบัติหดตัวได้เร็ว

ประกอบด้วยเส้นเลือดฝอยจำนวนปานกลาง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานแบบใช้ออกซิเจนต่ำ เหมาะสมกับการเล่นกีฬาที่ต้องการความรวดเร็วในการเคลื่อนที่หรือใช้แรงจากการหดตัวของกล้ามเนื้อสูง (Explosive power) มีประสิทธิภาพแต่มีข้อจำกัดในการทำงาน คือ เมื่อยล้าได้ง่าย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.1 กล้ามเนื้อสีขาวชนิด a หรือ Type IIa เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจนร่วมกับแบบไม่ใช้ออกซิเจนควบคู่กันไป มีคุณสมบัติหดตัวร่วมกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า จึงมีความอดทนและหดตัวแรงได้นานขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับธรรมชาติของการออกกำลังกายและเล่นกีฬาในหลายชนิด

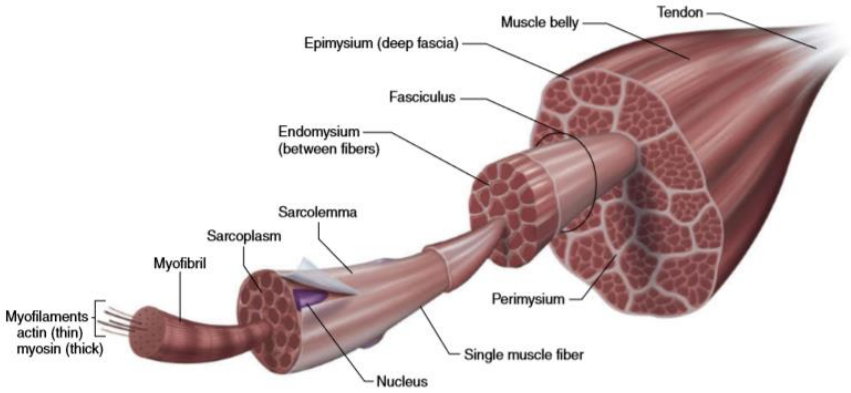
2.2 กล้ามเนื้อสีขาวชนิด b หรือ Type IIb เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีสีขาวขนาดใหญ่และแข็งแรง มีประสิทธิภาพหดตัวออกแรงได้มาก เป็นคุณสมบัติที่นักกีฬาประเภทออกแรงสูงสุดอย่างรวดเร็วหรือมีการเคลื่อนที่เคลื่อนไหวในเวลาสั้นๆ เช่น ยกน้ำหนัก ทุ่มน้ำหนัก พุ่งแหลน เป็นต้น

Characteristic	Fiber types		
	Type I	Type IIa	Type IIx
Motor neuron size	Small	Large	Large
Recruitment threshold	Low	Intermediate/High	High
Nerve conduction velocity	Slow	Fast	Fast
Contraction speed	Slow	Fast	Fast
Relaxation speed	Slow	Fast	Fast
Fatigue resistance	High	Intermediate/Low	Low
Endurance	High	Intermediate/Low	Low
Force production	Low	Intermediate	High
Power output	Low	Intermediate/High	High
Aerobic enzyme content	High	Intermediate/Low	Low
Anaerobic enzyme content	Low	High	High
Sarcoplasmic reticulum complexity	Low	Intermediate/High	High
Capillary density	High	Intermediate	Low
Myoglobin content	High	Low	Low
Mitochondrial size, density	High	Intermediate	Low
Fiber diameter	Small	Intermediate	Large
Color	Red	White/Red	White

ภาพประกอบ 1 คุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดต่างๆ

ที่มา : Haff, G., & Triplett, N. T. (2016). *Essentials of strength training and conditioning*. (4th ed). Champaign, IL: Human Kinetics. p.10. ISBN: 978-1-4925-0162-6.

อัตราส่วนของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อในนักกีฬาแต่ละคนจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายและความสามารถในการเล่นกีฬาแม้ว่าเส้นใยกล้ามเนื้อของนักกีฬาแต่ละบุคคลจะได้รับการถ่ายทอดทางพันธุกรรมมาแต่กำเนิด แต่กระบวนการฝึกที่ถูกต้องตามรูปแบบเงื่อนไขของระยะเวลา ความหนัก ความถี่ หรือการปฏิบัติซ้ำ ๆ จะมีส่วนต่อการพัฒนาเส้นใยกล้ามเนื้อให้เจริญเติบโต ทั้งขนาดและความหนาแน่น รวมทั้งประสิทธิภาพรองรับการนำไปใช้ (Toigo & Boutellier, 2006) การพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อจึงจำเป็นจะต้องรับรู้รูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อที่แต่ละมัดซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์ที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับการหดตัวทำงานของกล้ามเนื้อ ไล่จากระดับเล็กที่สุด ได้แก่ ไมโครฟิลาเมนท์ (Microfilament) ประกอบด้วยโปรตีนแอคทิน (Actin) และไมโอซิน (Myosin) ทำงานสอดประสานจับตัวเรียงกันเป็นไมโอไฟบริล (Myofibril) ที่เป็นหน่วยย่อยของกล้ามเนื้อมีลักษณะเป็นท่อนยาวที่เกิดจากการเรียงตัวกันของไมโครฟิลาเมนท์ ซึ่งในเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) จะมีไมโอไฟบริลที่มีความหนาไม่เท่ากันนับร้อยพันอันรวมกันอยู่ เมื่อส่องเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์ จึงมองเห็นเป็นลายตามขวางได้ เส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ (Sarcolemma) ที่ห่อหุ้มไซโตพลาสซึมในกล้ามเนื้อเรียกว่า ซาร์โคพลาสซึม (Sarcoplasm) มีออร์เกเนลล์ต่างๆ ที่สะสมแคลเซียมช่วยในการทำงานของกล้ามเนื้อสัมพันธ์กับระบบกระแสประสาท และยังเป็นทางผ่านของสารต่างๆ ที่เกี่ยวกับระบบการผลิตพลังงานในกล้ามเนื้อ เช่น กลูโคส ออกซิเจนและไอออน (ภาพประกอบ 2)



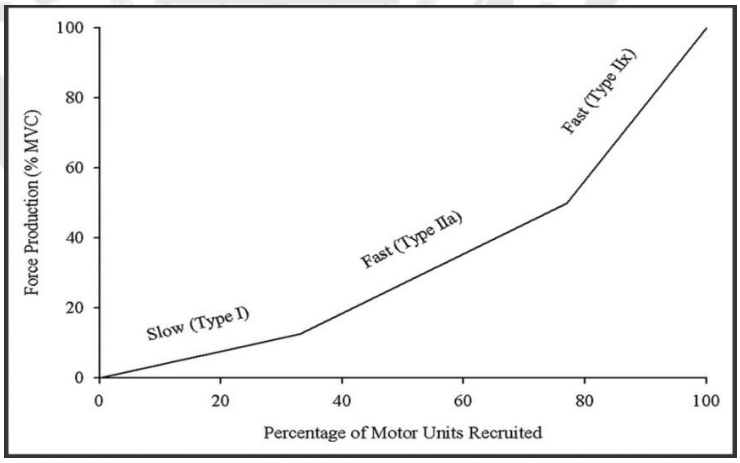
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ

ที่มา : Haff, G., & Triplett, N. T. (2016). *Essentials of strength training and conditioning*. (4th ed). Champaign, IL: Human Kinetics. p.4. ISBN: 978-1-4925-0162-6.

การพัฒนากล้ามเนื้อให้มีขนาดและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากการฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training) จึงสัมพันธ์กับรูปแบบและปริมาณการฝึกที่เหมาะสมเพียงพอก่อให้เกิดการฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อในระดับไมโอฟิลาเมนท์และไมโอไฟบริล ซึ่งการสังเคราะห์ทดแทนสามารถเพิ่มได้ทั้งปริมาณและขนาดจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของร่างกายที่ใช้สารอาหารจากการรับประทานเข้าไปสร้างทดแทน การฝึกหนักและพักผ่อนอย่างถูกต้องรวมทั้งการรับประทานสารอาหารที่เพียงพอ จะทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาด (Volume) และความหนาแน่น (Density) มากยิ่งขึ้นก่อให้เกิดการพัฒนาความแข็งแรงและปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อ (Muscle hypertrophy)

ระบบประสาทควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) กล้ามเนื้อถูกควบคุมโดยระบบประสาทซึ่งประกอบด้วยสองส่วนสำคัญ คือ (1) ระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system, CNS) ประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง และ (2) ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral neurons system, PNS) ซึ่งมีเส้นใยประสาทถ่ายทอดกระแสประสาทจากส่วนกลางเข้าถึงอวัยวะต่างๆ ทั้งกล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ การทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างระบบประสาทสั่งการและระบบโครงกระดูกโดยมีมัดกล้ามเนื้อเป็นตัวผลิตแรงที่จะขึ้นอยู่กับระดับความถี่และระยะเวลาการออกแรงของกล้ามเนื้อ โดยสมองจะตรวจสอบความคงที่และวิเคราะห์ข้อมูลจากความรู้สึกเกี่ยวกับตำแหน่งของร่างกายและการเคลื่อนไหวและส่งสัญญาณประสาทในรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าผ่านทางไขสันหลังไปสู่กล้ามเนื้อมัดนั้น ปฏิกิริยาการทำงานที่สัมพันธ์กันเหล่านี้จึงเรียกว่าระบบประสาทกล้ามเนื้อ ซึ่งขอบเขตของการควบคุมกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับจำนวนของเส้นใยกล้ามเนื้อต่อการควบคุมของมอเตอร์ยูนิต กล้ามเนื้อของร่างกายบางส่วนจะมีความแม่นยำในในการทำงานสูง เช่น กล้ามเนื้อเปลือกตา มีเพียงหนึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อต่อกลไกประสาท จึงออกแรงได้รวดเร็วและตอบสนองแม่นยำต่างกับกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps muscle) จะมีเส้นใยกล้ามเนื้อหลายร้อยเส้นอยู่ภายใต้การควบคุมของกลไกประสาทหนึ่งหน่วย เรียกการทำงานนี้ว่าการระดมหน่วยยนต์ (Motor unit recruitment) ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อในหน่วยยนต์บางส่วนอาจมีแต่ใยกล้ามเนื้อหดตัวช้า หรือมีใยกล้ามเนื้อหดตัวเร็วเพียงอย่างเดียว และไม่มีการผสมกันของใยกล้ามเนื้อสองชนิด เพราะหน่วยยนต์จะถูกกระตุ้นตามลำดับขนาดของเส้นใยในการผลิตแรงตามความเฉพาะของชนิดใยกล้ามเนื้อนั้น ใยประสาทมอเตอร์มี 2 ชนิด ได้แก่ ใยประสาทมอเตอร์แอลฟ่าหนึ่ง (α1 motor neurons) จะมีขนาดใหญ่ควบคุมหน่วยยนต์ที่มีเส้นใยชนิดหดตัวเร็ว (Fast twitch) ส่วนใยประสาทมอเตอร์แอลฟ่าสอง (α2 motor neurons) มีเส้นใยเล็กกว่าควบคุมกล้ามเนื้อหดตัวช้า (Slow twitch) เนื่องจากใยประสาท

มอเตอร์ที่เล็กกว่าจะมีระดับกั้นของการกระตุ้นต่ำกว่าใยประสาทมอเตอร์ที่ใหญ่กว่า กล้ามเนื้อหดตัวช้าจึงตอบสนองต่อการออกกำลังกายที่ระดับเบากว่าได้ และใยกล้ามเนื้อหดตัวเร็วตอบสนองต่อการออกกำลังกายระดับที่หนักขึ้น เส้นประสาทมอเตอร์ (Motor neuron) จะเป็นตัวควบคุมความตึง (Tone) ของกล้ามเนื้อ ควบคุมการเคลื่อนไหว (Movement) และควบคุมท่าทาง (Posture) และสมดุล (Equilibrium) ของร่างกายโดยเฉพาะในกล้ามเนื้อจะมีระบบประสาทรับรู้ตำแหน่งและการเคลื่อนไหวร่างกายในกล้ามเนื้อและข้อต่อ (Proprioceptors end-organ) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แกนกล้ามเนื้อ (Muscle spindle) เป็นตัวตรวจวัดความตึงตัวของกล้ามเนื้อและรักษาการทรงตัว ส่วนกอลจิเทนดอนออร์แกน (Golgi tendon organ) จะช่วยยับยั้งการทำงานที่น้อยหรือมากเกินไปเพื่อป้องกันอันตรายจากการตึงตัวมากเกินไปในกล้ามเนื้อ ซึ่งการฝึกกล้ามเนื้อด้วยแรงต้านนอกเหนือจาการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเองแล้ว ยังมีแนวโน้มในการพัฒนาระบบประสาทสั่งการจากการออกแรงต้านกับความหนักที่เกิดขึ้นแบบซ้ำ ๆ โดยเฉพาะในภาวะที่กล้ามเนื้อเกิดความเมื่อยล้าหรือใกล้หมดแรง สมองจะส่งอัตราการยิงสัญญาณประสาทด้วยความถี่ที่มากขึ้น เรียกรูปแบบการทำงานนี้ว่าการหดตัวแบบเตตานิก (Tetanic contraction or tetanus) ส่งผลให้เกิดการพัฒนาของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ดียิ่งขึ้น (Kenney, Wilmore, & Costill, 2015; Watkins, 2009)



ภาพประกอบ 3 การระดมหน่วยยนต์

ที่มา : Gregory & Bickel. (2005). Recruitment Patterns in Human Skeletal Muscle during Electrical Stimulation. *Physical Therapy*, *Volume 85, Issue 4, 1 April 2005,* Pages 358–364, https://doi.org/10.1093/ptj/85.4.358.

กีฬาฟุตบอล (Soccer)

กีฬาฟุตบอล (Soccer)

กีฬาฟุตบอลเป็นชนิดกีฬาที่ได้รับความนิยมสูงสุดจากทั่วทั้งโลก มีประวัติศาสตร์ชาติต้นกำเนิดโดยนับจากหลักฐานที่อ้างอิงด้วยกฎกติกาการเล่นที่แน่นอน คือประเทศอังกฤษ ที่มีการจัดตั้งสมาคมฟุตบอลในปี ค.ศ. 1863 และฟุตบอลอาชีพของอังกฤษเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1888 จากนั้นเมื่อ ค.ศ. 1904 จึงถือกำเนิดสหพันธ์ฟุตบอลนานาชาติ (FIFA) และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดมาทั้งกฎ กติกา และรูปแบบการแข่งขัน (FIFA.com, 2019) เป็นเกมการแข่งขันของสองทีมที่มีเป้าหมายคือการทำประตูโดยการเตะหรือใช้อวัยวะร่างกายยกเว้นแขนและมือเข้าสู่ประตูของฝ่ายตรงข้าม ผู้เล่นฟุตบอลจะมีฝ่ายละสิบเอ็ดคน ประกอบไปด้วยผู้เล่นในตำแหน่งนอกกรอบประตู (Outfield Players) จำนวนสิบคนทำหน้าที่แบ่งเป็นแนวรุก (Forward) แนวกลาง (Midfield) แนวรับ (Defender) และตำแหน่งผู้รักษาประตู (Goalkeeper) ที่เป็นผู้เล่นเพียงคนเดียวที่สามารถใช้มือในการเล่นบอลได้ภายในกรอบพื้นที่ที่กำหนด (Noh et al., 2015) การศึกษาข้อมูลในการแข่งขันกีฬาฟุตบอลพบว่า ทีมที่ครอบครองบอลได้มากกว่าคู่ต่อสู้ มีการเคลื่อนที่ของผู้เล่นตลอดการแข่งขันที่มากกว่า มีการประสานงานรับ ส่ง ยิงประตู ที่ดีกว่าจะมีโอกาสได้รับชัยชนะในการแข่งขัน (Travassos et al., 2013) การพัฒนาสมรรถภาพทางร่างกายของนักกีฬาโดยเฉพาะสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ จึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการเคลื่อนไหวที่เฉพาะเจาะจงกับลักษณะการแข่งขันกีฬาฟุตบอล ที่ส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนไหวลักษณะระดับความหนักสูงทั้งทางตรงและการเปลี่ยนทิศทาง (Gomez-Piqueras et al., 2019) การฝึกซ้อมที่ถูกต้องเหมาะสมจะทำให้นักกีฬาสามารถก้าวไปสู่ขีดความสามารถสูงสุด และมีผลลัพธ์ที่ดีในการแข่งขัน

การพัฒนาองค์ประกอบความสามารถทางกลไกในกีฬาฟุตบอล (Development of biomotor abilities for soccer)

การพัฒนาองค์ประกอบความสามารถทางกลไกในกีฬาฟุตบอล ให้นักกีฬามีขีดความสามารถสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยองค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายที่จะทำให้กลไกการเคลื่อนไหวมีความสมบูรณ์ ประกอบด้วย ความแข็งแรง ความอดทน ความเร็ว ความอ่อนตัว การประสานงานและความสัมพันธ์ของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Jalilvand, Farzad, & RSCC, 2015)เมื่อองค์ประกอบสมรรถภาพทางกายได้รับการพัฒนาที่ดี จะสามารถประยุกต์การเคลื่อนไหวให้มีความสัมพันธ์กับทักษะ (Skill-related fitness) สำคัญในกีฬาแต่ละประเภทที่ใช้อยู่เสมอในการฝึกซ้อมและการแข่งขัน ได้แก่ การเร่งความเร็ว การวิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด ความสามารถในการใช้ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำๆ การเปลี่ยนทิศทาง ความคล่องแคล่วว่องไว พลังกระโดด ซึ่งมาจากสมรรถภาพในการทำงานของกล้ามเนื้อ

(Freitas, Martinez-Rodriguez, Calleja-González, & Alcaraz, 2017) ดังนั้น การพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) จึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถทางกลไกด้านอื่นๆ โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของฤดูกาลแข่งขันที่นักกีฬาจำเป็นจะต้องได้รับการฝึกเพื่อเพิ่มความอดทนทั้งระบบกล้ามเนื้อและระบบหัวใจไหลเวียนเลือดสัมพันธ์ควบคู่กันไป (Smith et al., 2014; Suchomel et al., 2016)

สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular performance)

สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular performance)

สมรรถภาพของกล้ามเนื้อเกิดจากพื้นฐานความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในการผลิตแรงและคงรักษาไว้สำหรับการปรับเปลี่ยนท่าทางและการเคลื่อนไหวที่มีความเฉพาะเจาะจง กล้ามเนื้อที่มีสมรรถภาพจะประกอบด้วยความแข็งแรงสูงสุด (Maximum strength) ที่กระทำเพื่อเอาชนะความต้านทานรูปแบบต่าง ๆ พลังกล้ามเนื้อ (Elastic strength) เป็นงานที่ผลิตขึ้นตามหน่วยเวลาด้วยความแข็งแรงและความเร็ว ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Strength endurance) ในการรักษาอัตราการผลิตแรงแบบซ้ำ ๆ หรือสร้างแรงในช่วงระยะเวลาหนึ่งอย่างสม่ำเสมอในภาวะที่มีความล้า รวมถึงความสามารถในการขยายสูงสุดของเอ็นกล้ามเนื้อ การระดมหน่วยยนต์ การสะสมพลังงาน ความสมดุล ระยะเวลา และลำดับของการหดตัวของกล้ามเนื้อที่บูรณาการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ (Faigenbaum & Myer, 2010; Sands, Wurth, & Hewit, 2012; ถาวร กมุทศรี, 2560) ซึ่งจะสอดคล้องกับลักษณะของการเล่นกีฬาที่มีการเคลื่อนไหวและเคลื่อนที่อยู่เสมอ การวัดสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ จึงไม่ได้หมายถึงความแข็งแรงสูงสุดแบบเกร็งค้างเพียงอย่างเดียว (Isometric strength) การทดสอบในปัจจุบันสามารถวัดความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องมือแบบไอโซคิเนติก (Isokinetic test) ที่ให้ผลการทดสอบพลังความแข็งแรง และพลังความอดทนของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะมีความเร็วและระยะทางในการออกแรงเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงตอบสนองต่อการพัฒนาประสิทธิภาพนักกีฬาได้ดียิ่งขึ้น และสามารถวิเคราะห์สมรรถภาพของกล้ามเนื้อนักกีฬา นำไปกำหนดรูปแบบการฝึกเพื่อพัฒนาการเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป (Amaral et al., 2014; Haff & Triplett, 2016)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อประกอบด้วย

- *ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Type of muscle fiber)* เส้นใยกล้ามเนื้อพื้นฐานมีสองประเภทซึ่งมักเรียกกันว่า ชนิดหดตัวช้า (Slow-twitch or type I) และชนิดหดตัวเร็ว (Fast-twitch or type II) โดยปกติในร่างกายทั้งเพศชายและหญิงจะมีเส้นใยกล้ามเนื้อทั้งสองชนิดผสมกันอยู่

อย่างไรก็ตามในนักกีฬาระดับสูงบางคนจะมีอัตราส่วนเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดใดชนิดหนึ่งสูงมาก เช่น นักวิ่งมาราธอนระดับโลกส่วนใหญ่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้ามาก ส่วนนักกรีฑาระดับโลกหรือนักฟุตบอลจะมีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมากกว่า และแม้ว่าเส้นใยทั้งสองชนิดจะตอบสนองเชิงบวกต่อการฝึกความแข็งแรง แต่เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมีแนวโน้มที่ตอบสนองต่อการเพิ่มขนาดและความแข็งแรง รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการฝึกที่สั้นกว่า โดยกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยเรียงตัวขนานไปกับความยาวของกล้ามเนื้อจะมีกำลังในการหดตัวหรือมีความแข็งแรงน้อยกว่ากล้ามเนื้อที่มีเส้นใยที่เรียงตัวแบบขนนก

- *เพศ (Gender)* เพศไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกล้ามเนื้อแต่จะมีผลต่อปริมาณ โดยทั่วไปผู้ชายจะมีเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อมากกว่าผู้หญิง เนื่องจากขนาดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อมีฮอร์โมนเทสโทสเตอโรน (Testosterone) ที่เป็นฮอร์โมนเพศชาย ทำให้มีกล้ามเนื้อที่ใหญ่และเป็นเหตุผลที่ผู้ชายส่วนใหญ่แข็งแรงกว่าผู้หญิง

- *อายุ (Age)* โดยทั่วไปแล้วความแข็งแรงจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงร้อยละ 10-20 ของความแข็งแรงปกติ และความแข็งแรงสูงสุดจะอยู่ในช่วงอายุ 20-30 ปี ต่อจากนั้นความแข็งแรงจะค่อยๆ ลดลง โดยความแข็งแรงที่ลดลงจะเกิดขึ้นที่ขาและลำตัวเร็วกว่ากล้ามเนื้อที่แขน ความแข็งแรงสูงสุดของคนอายุ 65 ปี จะอยู่ราวร้อยละ 80 ของความแข็งแรงที่เขาเคยมีระหว่างอายุ 20-30 ปี

- *อุณหภูมิ (Temperature)* กล้ามเนื้อจะหดตัวเร็วและรุนแรงที่สุด หากอุณหภูมิของกล้ามเนื้อสูงกว่าอุณหภูมิปกติของร่างกายเล็กน้อย

- *รยางค์และความยาวกล้ามเนื้อ (Limb and muscle length)* ปัจจัยความแข็งแรงอื่นที่กำหนดโดยธรรมชาติคือความยาวของแขนขา คนที่มีขาสั้นมักจะสามารถยกน้ำหนักได้มากขึ้นเนื่องจากปัจจัยของระดับคานในการยก (แขนและขา) ในทำนองเดียวกันความแตกต่างในการพัฒนาความแข็งแรงอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ บางคนมีกล้ามเนื้อยาวและบางคนมีกล้ามเนื้อสั้น ซึ่งคนที่มีกล้ามเนื้อค่อนข้างยาวจะมีศักยภาพในการพัฒนาขนาดและความแข็งแรงมากกว่าคนที่มีกล้ามเนื้อค่อนข้างสั้น

- *จุดเกาะของเอ็นกล้ามเนื้อ (Point of tendon insertion)* ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อยังได้รับอิทธิพลจากจุดเกาะของเอ็นกล้ามเนื้อ หากเปรียบเทียบคนที่มีความยาวแขนและกล้ามเนื้อเท่ากัน คนที่จุดเกาะเอ็นกล้ามเนื้ออยู่ใกล้จุดเกาะต้นมากกว่าจะได้เปรียบทางชีวกลศาสตร์และออกแรงได้มากกว่า

- *ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue)* กล้ามเนื้อที่ถูกใช้งานหนักและนานจะก่อให้เกิดความเมื่อยล้าซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงลดลง

- *ระดับการฝึกและวิธีการฝึก (Training volume and intensity)* กล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกเป็นประจำย่อมมีกำลังในการหดตัวสูงกว่ากล้ามเนื้อที่ไม่ได้รับการฝึก อย่างไรก็ดี ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อสามารถพัฒนาได้หากกำหนดปริมาณและความหนัก รวมถึงระยะเวลาฝึกและเวลาพักได้อย่างเหมาะสม

- *การพักผ่อน (Rest)* หากการออกกำลังกายดำเนินติดต่อกันเป็นเวลานาน โดยไม่มีการหยุดพัก จะทำให้กำลังในการหดตัวของกล้ามเนื้อค่อย ๆ ลดลง ส่วนการพักภายหลังการฝึกแต่ละครั้ง (Sessions) จะขึ้นอยู่กับปริมาณและความหนักของการฝึกแตกต่างกันออกไป โดยปกติจะอยู่ระหว่าง 27-48 ชั่วโมง (Suchomel, Nimphius, Bellon, & Stone, 2018; วุฒิพงษ์ ปรมัตถากร และ อารี ปรมัตถากร, 2542)

ความแข็งแรงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ออกกำลังกายและเล่นกีฬา จึงมีการนำวิธีฝึกด้วยแรงต้านมาเป็นวิธีการพัฒนาความแข็งแรงให้กับนักกีฬาบนพื้นฐานของสมรรถภาพทางกายเบื้องต้นในแต่ละบุคคลหรือทีม นำไปสู่การวางแผนฝึกซ้อมให้สอดคล้องเหมาะสมกับช่วงเวลา (Periodization) เพื่อการพัฒนาอย่างมีแบบแผนและนำไปสู่สมรรถนะสูงสุด (Peak performance) ในช่วงของการแข่งขัน

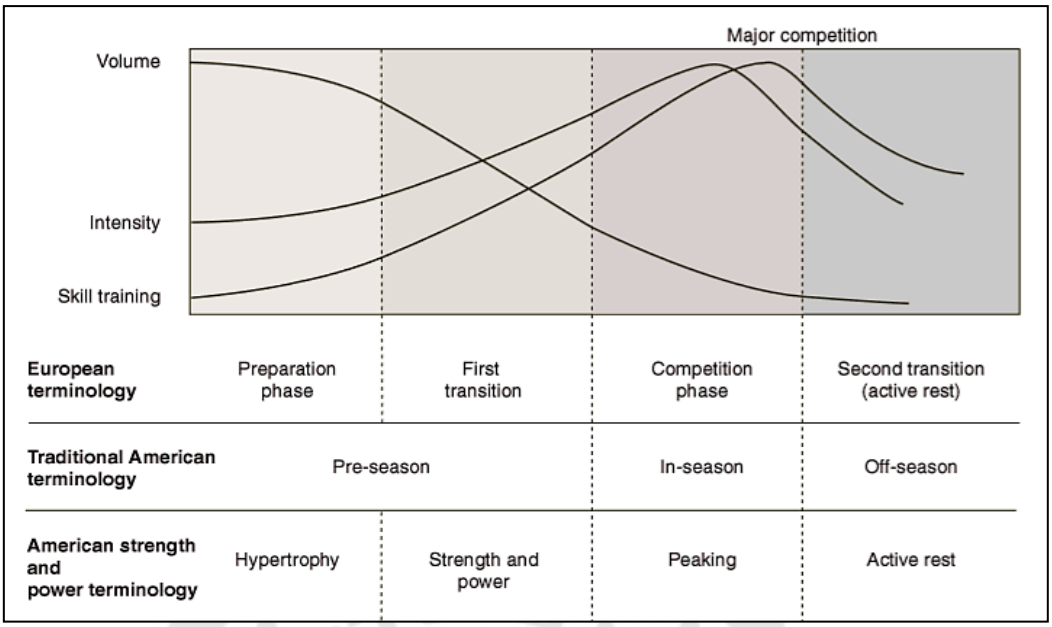
การฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training)

การฝึกด้วยแรงต้าน หมายถึง การออกกำลังกายทำให้กล้ามเนื้อหดตัวจากแรงต้านทานภายนอกหลายหลายรูปแบบ หรือความเร็วในการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกันไป โดยเป้าหมายเพื่อเพิ่มความแข็งแรง มวลกล้ามเนื้อหรือความอดทน (Faigenbaum & Myer, 2010) มีวิวัฒนาการมาตั้งแต่สมัยกรีกและอียิปต์โบราณ โดยในยุคแรกจะใช้ก้อนหินเพื่อเพิ่มน้ำหนักในการฝึกเรียกว่า “ฮอลเทอเรส” (Halteres dumbbells) ต่อมาจึงพัฒนาการฝึกแรงต้านภายนอกจากอุปกรณ์หรือประยุกต์วิธีการฝึกรูปแบบต่าง ๆ การฝึกยกน้ำหนัก (Weight training) ด้วยอุปกรณ์ เช่น ดัมเบลล์ บาร์เบล ยางยืด หรือเครื่องฝึกกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ การฝึกโดยใช้น้ำหนักตัว (Stojiljkovic, Ignjatovic, Savic, Markovic, & Milanovic, 2013; วันใหม่ ประพันธ์บัณฑิต, 2551) การออกแบบโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านจะขึ้นอยู่กับความพร้อมของอุปกรณ์ โดยยึดเป้าหมายของการฝึกในการพัฒนาผู้ฝึกรายบุคคลหรือเป็นทีม รวมถึงช่วงของการฝึกในแต่ละระยะ (Phase of periodization) โดยในนักกีฬาที่มีการเตรียมความพร้อมเข้าสู่การแข่งขันในแต่ละปี จะกำหนดแผนการฝึกความแข็งแรงให้สอดคล้องกับการฝึกซ้อมด้านเทคนิคและทักษะกีฬาควบคู่กันไป การกำหนดเป้าหมายของการฝึกแต่ละระยะเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการปรับตัวทางสรีรวิทยา โดยทั่วไปการฝึกด้วยแรงต้านจะแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่

- *ช่วงการสร้างความแข็งแรงพื้นฐานและเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ (Hypertrophy phase)* เป้าหมายการฝึกนี้จะอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการเตรียมตัวเข้าร่วมการแข่งขัน (Preparation phase) เนื่องจากนักกีฬาเมื่อเสร็จสิ้นการแข่งขันและเข้าสู่ช่วงพักการแข่งขัน (Off season) สมรรถนะของร่างกายจะลดลง จึงจำเป็นจะต้องฝึกสร้างความแข็งแรงและความอดทน เพื่อเป็นพื้นฐานพัฒนากลไกการเคลื่อนไหวให้มีประสิทธิภาพรวมทั้งป้องกันการบาดเจ็บ การฝึกในช่วงนี้เริ่มต้นด้วยการใช้ความหนักระดับต่ำถึงปานกลาง และปริมาณการฝึกมาก เมื่อร่างกายเริ่มปรับตัวมีความแข็งแรงพื้นฐานแล้ว จะกำหนดเป้าหมายการฝึกเพิ่มความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อ โดยกำหนดความหนักมากกว่าร้อยละ 70 ของความพยายามสูงสุดขึ้นไป จำนวน 8-12 ครั้ง 3-5 เซต พักระหว่างเซต 60-120 วินาที

- *ช่วงของการพัฒนาความแข็งแรงและพลัง (Strength and power phase)* เมื่อการฝึกซ้อมผ่านมาได้สักระยะนักกีฬาจะมีความแข็งแรงก้าวหน้าดียิ่งขึ้น การฝึกความแข็งแรงจะลดปริมาณการฝึกลงและเพิ่มความหนักมากยิ่งขึ้น นิยมกำหนดการฝึก 1-6 ครั้ง 1-3 เซต พักระหว่างเซต 1-3 นาที รูปแบบของการฝึกแรงต้านจะเน้นการฝึกให้เกิดพลังกล้ามเนื้อสอดคล้องกับการเคลื่อนไหวเฉพาะเจาะจงในแต่ละชนิดกีฬา การยกน้ำหนักจึงมีการกำหนดความเร็วในการยกเพื่อให้เกิดพลัง

- *ช่วงพัฒนาความสามารถสูงสุด (Peaking phase)* เมื่อเข้าสู่ช่วงก่อนการแข่งขันสำคัญ นักกีฬาจะต้องการสมรรถภาพสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ผ่านการเตรียมความแข็งแรงมาอย่างเต็มที่แล้ว การฝึกความแข็งแรงในช่วงนี้จึงสามารถใช้ความหนักสูงจนเกือบสูงสุด และปริมาณการฝึกที่น้อยมาก การฝึกพลังในการยกแบบโอลิมปิก (Olympic lifting) หรือฝึกความแข็งแรงแบบพลัยโอเมตริก (Elastic strength) รวมทั้งการผสมผสานการฝึกแรงต้านกับรูปแบบการฝึกอื่น ๆ ในการฝึกซ้อมครั้งเดียวกันเพื่อให้นักกีฬามีสมรรถนะสูงสุดในการแข่งขัน (ACSM, 2009; Fisher, Steele, Bruce-Low, & Smith, 2011; Fleck & Kraemer, 2014; Haff & Triplett, 2016; Hartmann et al., 2015)



ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและความหนักกับการวางแผนฝึกซ้อม

ที่มา : Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2014). *Designing Resistance Training Programs.* 4th edition, Copyright 2014. Champaign, IL: Human Kinetics.

การฝึกด้วยแรงต้านส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของร่างกายหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการกำหนดเป้าหมายและวิธีการฝึก ผลเฉียบพลันของการฝึกด้วยแรงต้านจะทำให้ผู้ฝึกเกิดความล้าและปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ (Delayed onset muscle soreness) เนื่องจากระบบกล้ามเนื้อและพลังงานในร่างกายได้ถูกใช้งาน เมื่อการฝึกซ้อมและระยะเวลาพักมีความเหมาะสม รวมทั้งการรับประทานอาหารตามหลักโภชนาการ จะส่งผลให้ร่างกายเกิดการปรับตัวในระยะยาว โดยเฉพาะเส้นใยกล้ามเนื้อที่ฉีกขาดจากการฝึกจะนำสารอาหารที่รับประทานเข้าไปเสริมสร้างความแข็งแรงในระดับเซลล์ ก่อให้เกิดความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อสมรรถภาพทางกายและสมรรถนะกีฬาด้านอื่นๆ สามารถเพิ่มอัตราการเกิดแรง (Rate of force development) หรือที่เรียกว่าพลังความแข็งแรง (Power strength) ทำให้การเคลื่อนไหวในการเล่นกีฬา เช่น การวิ่ง การกระโดด การเปลี่ยนทิศทาง รวมทั้งปฏิบัติทักษะเฉพาะกีฬาได้ดีกว่านักกีฬาที่มีความแข็งแรงน้อย (Harries, Lubans, & Callister, 2012; Suchomel et al., 2016) การฝึกด้วยแรงต้านจึงมีผู้สนใจทำการศึกษาอย่างกว้างขวางเพื่อผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้พัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อได้ตรงตามเป้าหมาย ตัวอย่างเช่น

การออกแบบวิธีฝึกด้วยแรงต้านสำหรับนักกีฬาประเภททีมระดับมหาวิทยาลัย จำนวน 32 คน แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ฝึกแรงต้านด้วยความหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด 8 ครั้งต่อเซต โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ในการพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อ ระหว่างปริมาณการฝึกน้อย ปานกลาง มาก และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการฝึกแรงต้าน ผลพบว่าการฝึกปริมาณมากส่งผลต่อการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุด อย่างไรก็ตามในช่วงฤดูกาลแข่งขันการลดปริมาณการฝึกให้น้อยลงจะมีความเหมาะสมในการคงสภาพความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อของนักกีฬา (Naclerio et al., 2013)

ผลของการฝึกด้วยแรงต้านที่มีต่อสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อรูปแบบต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบวิธีการฝึกกล้ามเนื้อ 3 รูปแบบ ได้แก่ กลุ่มฝึกแรงต้านแบบตึงเครียดค้างแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ (Isometric) กลุ่มฝึกแรงต้านแบบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวกล้ามเนื้อ (Isotonic) ด้วยการหดตัวสั้น (Concentric) และหดตัวยืดยาวออก (Eccentric) และกลุ่มฝึกแรงต้านแบบมีแรงกระทำในทุกมุมของการหดตัวออกแรงด้วยความเร็วคงที่ (Isokinetic) กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายที่ไม่ได้รับการฝึกแรงต้านในช่วง 6 เดือน ก่อนหน้าการทดลอง ทำการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มฝึกแรงต้านรูปแบบตึงเครียดค้างแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ และกลุ่มฝึกแรงต้านแบบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวกล้ามเนื้อให้ผลดีในการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ ส่วนกลุ่มฝึกแรงต้านแบบมีแรงกระทำในทุกมุมของการหดตัวออกแรงด้วยความเร็วคงที่จะให้ผลดีในด้านการเคลื่อนไหวอย่างมีประสิทธิภาพในการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายมากกว่า (Lee et al., 2018) ซึ่งนอกจากรูปแบบของการฝึกแล้ว การให้ความหนัก (Load) แตกต่างกันของการฝึกแรงต้านยังส่งผลต่อการพัฒนาสมรรถภาพกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันไป จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกแรงต้านเพื่อพัฒนาสมรรถภาพกล้ามเนื้อในชาย ที่ฝึกแรงต้านเป็นประจำ 19 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มฝึกด้วยน้ำหนักสูง จำนวน 10 คน ทดสอบหาค่าความพยายามสูงสุด 3 ครั้ง (3 Repetitions maximum test) และใช้น้ำหนักที่ได้กำหนดโปรแกรมการฝึก เปรียบเทียบกับกลุ่มฝึกด้วยน้ำหนักปานกลาง จำนวน 9 คน ที่ใช้น้ำหนักจากการทดสอบหาค่าความพยายามสูงสุด 10 ครั้ง (10 Repetitions maximum test) ทั้งสองกลุ่มฝึก 7 ท่าฝึก ในกล้ามเนื้อ ทั่วทั้งร่างกาย จำนวน 3 เซตต่อท่าฝึก ทำการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ ผลพบว่ากลุ่มฝึกน้ำหนักสูงให้ผลดีกว่าในการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุด แต่ในทางตรงกันข้ามกลุ่มฝึกด้วยน้ำหนักปานกลางให้ผลในการขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ใช้ฝึก (Schoenfeld et al., 2016) สอดคล้องกับการศึกษาภายหลังที่พบว่าปริมาณการฝึกเพื่อปรับขยาย

ขนาดของกล้ามเนื้อ 8-12 ครั้งต่อเซต เปรียบเทียบปริมาณการฝึก ระหว่าง 1 3 และ 5 เซต ภายหลัง 8 สัปดาห์ พบว่าความแข็งแรงระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การฝึกปริมาณมากส่งผลต่อการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าซึ่งขนาดของกล้ามเนื้อเป็นผลจากการสะสมของเหลวเช่นน้ำหรือไกลโคเจน (Schoenfeld et al., 2019) เป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาด้านอัตราการส่งสัญญาณประสาทจากการฝึกแรงต้านด้วยความหนักสูง (ร้อยละ 80 ของความพยายามสูงสุด) จะส่งผลในการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดและอัตราการยิงสัญญาณประสาทได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการฝึกด้วยความหนักต่ำ (ร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด) (N. D. M. Jenkins et al., 2017)

ประสบการณ์และสมรรถภาพทางกายพื้นฐานของผู้ฝึกแรงต้าน เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงสำหรับการออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อม เนื่องจากนักกีฬาที่ฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่องเป็นประจำจะมีสมรรถภาพทางกายเบื้องต้นที่ดีกว่าบุคคลทั่วไป รวมไปถึงประสบการณ์ของการฝึกกีฬาทำให้ร่างกายมีการปรับเพิ่มความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ยากกว่าปกติ จากการศึกษาในนักกีฬาประเภททีมโดยกำหนดเป้าหมายของการฝึกให้สอดคล้องกับประสบการณ์ของนักกีฬา ในกลุ่มนักกีฬาอเมริกันฟุตบอลเอ็นซีเอเอ ดิวิชั่น 1 จำนวน 60 คน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 20 คน ตามประสบการณ์การเล่นและการฝึก โดยกลุ่มที่ 1 มีประสบการณ์เฉลี่ย 1.05 $\pm$ 0.22 ปี ฝึกด้วยแรงต้านโดยเป้าหมายการขยายตัวของมวลกล้ามเนื้อ (Hypertrophy-base resistance training) กลุ่มที่ 2 มีประสบการณ์เฉลี่ย 2.35 $\pm$ 0.75 ปี ฝึกโดยมีเป้าหมายเพิ่มความแข็งแรง (Strength-base resistance training) และกลุ่มที่ 3 มีประสบการณ์เฉลี่ย 4.4 $\pm$ 0.50 ปี ฝึกโดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มพลัง (Power-base resistance training) ทั้ง 3 กลุ่มถูกควบคุมปริมาณการฝึกให้มีความใกล้เคียงกันในการฝึก 4 วันต่อสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 10 สัปดาห์ ในช่วงปิดการแข่งขันฤดูร้อน ผลการทดสอบภายหลังการฝึกพบว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 มีความแข็งแรงสูงสุดและพลังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่มที่ 3 เพิ่มขึ้นเฉพาะสมรรถภาพด้านพลัง และทั้ง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทดสอบการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อและพลังกระโดด จากการศึกษานี้สามารถอธิบายได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงสุดและกำลังในกลุ่มนักกีฬาได้ดี แต่นักกีฬาที่มีประสบการณ์การฝึกสูง จะมีการปรับตัวทางสรีรวิทยาได้ยากกว่านักกีฬาหน้าใหม่ และที่สำคัญคือการฝึกแรงต้านจะให้ผลในการพัฒนาเฉพาะสมรรถภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ แต่การพัฒนากลไกการเคลื่อนไหว เช่น พลังกระโดด จำเป็นจะต้องให้นักกีฬาฝึกทักษะเฉพาะการเคลื่อนไหวควบคู่กันไปด้วย (Smith et al., 2014)

แม้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านจะมีการศึกษาอย่างกว้างขวางและนำข้อมูลมากำหนดเป็นวิธีการฝึกเพื่อผลลัพธ์ตามเป้าหมายที่แตกต่างกันไป และได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐานวิธีการฝึกแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ดี ยังคงมีผู้สนใจศึกษาค้นคว้าวิธีการฝึกรูปแบบใหม่ๆ เช่น การศึกษาผลของความเร็วในการยกที่แตกต่างกันของการฝึกแรงต้าน ในกลุ่มชายหนุ่มสุขภาพดี 24 คน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มฝึกความหนักต่ำ (Low-intensity) ระดับร้อยละ 50 ของความพยายามสูงสุดด้วยความเร็วในการยกแบบช้า 3 วินาที (ช่วงกล้ามเนื้อหดตัวและคลายตัว) โดยมีช่วงเกร็งกล้ามเนื้อ 1 วินาที และยกต่อเนื่องจนครบเซตแบบไม่หยุดพัก เทียบกับกลุ่มฝึกความหนักสูง (High-intensity) ใช้น้ำหนักร้อยละ 80 ของความพยายามสูงสุด ด้วยความเร็วปกติ (ช่วงกล้ามเนื้อหดตัวและคลายตัว 1 วินาที และมีช่วงผ่อนคลาย 1 วินาที) และกลุ่มควบคุมที่ฝึกความหนักต่ำร้อยละ 50 ของความพยายามสูงสุดด้วยความเร็วของการยกปกติ ผลพบว่าวิธีการใช้น้ำหนักเบาแต่ยกด้วยจังหวะช้า ส่งผลต่อการพัฒนาขนาดและความแข็งแรงกล้ามเนื้อได้ดีเช่นเดียวกับกลุ่มฝึกความหนักสูงและใช้ความเร็วแบบปกติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนั้นยังพบว่าการฝึกด้วยความหนักสูงประมาณร้อยละ 80 ของความพยายามสูงสุด (～ 80 % 1RM) มีค่าแรงบิดในเข่า (Torque) และความดันเลือดขณะหัวใจบีบตัวสูงสุด (Systolic blood pressure) ดังนั้นหากมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์การฝึก หรือป้องกันการบาดเจ็บในนักกีฬาสามารถประยุกต์ใช้วิธีฝึกความแข็งแรงด้วยการใช้น้ำหนักเบาและยกให้ช้าเพื่อเพิ่มเวลาออกแรงต้านให้มากขึ้น (Time under tension) (Tanimoto & Ishii, 2006) หรือการทดลองในกลุ่มผู้ฝึกแรงต้านมาเป็นอย่างดี โดยเปรียบเทียบความเร็วในการยกที่มีต่อขนาดพื้นที่หน้าตัดกล้ามเนื้อต้นแขน (Brachial biceps muscle) และความแข็งแรงสูงสุด ในกลุ่มเพศชายที่ฝึกด้วยแรงต้านมาเป็นประจำ 12 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ฝึกแรงต้านด้วยการยกจังหวะเร็ว (Fast speed : FS) และจังหวะช้า (Low speed : SS) ผลพบว่ากลุ่มฝึกยกจังหวะช้าให้ผลในการพัฒนาขนาดพื้นที่หน้าตัด (p = 0.019) และความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (p = 0.021) ดีกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มยกด้วยจังหวะเร็ว (Pereira et al., 2016) อย่างไรก็ดี วิธีการฝึกดังกล่าวยังมีผลการศึกษาที่ไม่ชัดเจนในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเพศหญิงระดับมหาวิทยาลัย จากการฝึกแรงต้านที่ใช้น้ำหนักเบาแต่ยกด้วยความช้า (Super slow resistance training) ด้วยน้ำหนักร้อยละ 50 ของความพยายามสูงสุด ใช้เวลาช่วงกล้ามเนื้อคลายตัวและหดตัวช่วงละ 10 วินาที เทียบกับกลุ่มฝึกด้วยความเร็วแบบดั้งเดิม (Traditional resistance training) ด้วยน้ำหนักร้อยละ 80 ของความพยายามสูงสุด ใช้ความเร็วในการยก 4 วินาที ควบคุมปริมาณการฝึกทั้งสองกลุ่มให้ใกล้เคียงกันในการฝึก 4 สัปดาห์ ผลพบว่าความยืดหยุ่นร่างกายของกลุ่มฝึกทั้งสองกลุ่มดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการฝึกแรงต้าน แต่การทดสอบความแข็งแรงกล้ามเนื้อ

พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) เฉพาะในกลุ่มฝึกน้ำหนักสูงด้วยความเร็วแบบดั้งเดิม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าระยะเวลาเพียง 4 สัปดาห์ ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาในเพศหญิงอาจยังไม่เพียงพอต่อการพัฒนาความแข็งแรง (Kim, Dear, Ferguson, Seo, & Bemben, 2011)

การศึกษาวิธีการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในการปรับตัวระยะสั้น เป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมของนักกีฬาให้เหมาะสมกับตารางการแข่งขัน จึงมีการทดลองออกแบบโปรแกรมการฝึกแรงต้านที่แตกต่างกัน ที่มีต่อผลลัพธ์ทางระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักกีฬายูโดวัยรุ่น 11 คน อายุเฉลี่ย 14.8 $\pm$ 0.6 ปี (เพศชาย 5 คน เพศหญิง 6 คน) มีประสบการณ์ฝึกความแข็งแรงเฉลี่ย 2.7 $\pm$ 1.1 ปี ออกแบบการฝึกความแข็งแรง 4 สัปดาห์ จำนวนสองช่วง (แต่ละช่วงฝึก 12 เซสชัน) โดยกำหนดแผนการฝึกแบบดั้งเดิม (Traditional Periodization) หรือการกำหนดแผนการฝึกเป็นลักษณะคลื่น (Daily undulating periodization) ผลการทดสอบกล้ามเนื้อขาแบบไอโซเมทริก และวัดค่าความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum voluntary contractive capacity) ของกล้ามเนื้อควอไดรเซ็พฟีมอริส (Quadriceps femoris) และการวัดความแข็งแรงสูงสุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สรุปได้ว่าการออกแบบโปรแกรมการฝึกแรงต้านอย่างมีเป้าหมายสามารถเพิ่มพลังและความแข็งแรงกล้ามเนื้อได้ในการฝึกระยะสั้นเพียง 4 สัปดาห์ (Ullrich et al., 2016) สอดคล้องกับการศึกษาวิธีฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรง และการปรับปรุงระบบประสาทกล้ามเนื้อ ในระยะสั้น 2 และ 4 สัปดาห์ ในกลุ่มชายที่ไม่เคยผ่านการฝึกแรงต้าน ระหว่างการฝึกด้วยความหนักร้อยละ 80 และร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด ด้วยการยกจนกระทั่งหมดแรง ทั้งสองกลุ่มฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ผลพบว่าระบบประสาทกล้ามเนื้อและการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อทั้ง 2 กลุ่ม มีพัฒนาการที่ดีขึ้น แต่กลุ่มฝึกด้วยความหนักร้อยละ 80 สามารถพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดได้ดีกว่า (N. D. Jenkins et al., 2016) นอกจากนั้น ยังมีการศึกษาที่พบว่าวิธีฝึกด้วยแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อ จะส่งผลต่อปัจจัยทางประสาทที่ได้จากสมอง (Brain-derived neurotrophic factor : BDNF) ซึ่งเป็นเซรัมที่ตอบสนองต่อการออกกำลังกายแบบแอโรบิก โดยทดลองในอาสาสมัครเพศชาย 11 คน (อายุเฉลี่ย 25.0 $\pm$ 1.3 ปี) และเพศหญิง 5 คน (อายุเฉลี่ย 23.2 $\pm$ 1.1 ปี) แบ่งกลุ่มฝึกแรงต้านเป็น 2 รูปแบบ ระหว่างการกำหนดเป้าหมายเพิ่มความแข็งแรง (5 เซต 5 ครั้ง พัก 180 วินาที) เทียบกับเป้าหมายปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อ (3 เซต 10 ครั้ง พัก 60 วินาที) โดยฝึกจนกระทั่งหมดแรง และทำการเจาะเลือดเพื่อตรวจหาค่าเซรัมบีดีเอ็นเอฟ และระดับแลคเตทในเลือดภายหลังออกกำลังกายทันที และภายหลัง 30 นาที ผลพบว่าการฝึกโดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อส่งผลต่อการพัฒนา

ระดับเซรัมบีดีเอ็นเอฟ ($p < 0.01$; ES เท่ากับ 0.52) โดยพบความสัมพันธ์ทางบวกกับระดับแลคเตท (r เท่ากับ 0.70; $p < 0.01$) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการฝึกด้วยความหนักสูง (r เท่ากับ 0.18; p เท่ากับ 0.56) ผลการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าการฝึกแรงต้านแบบปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อจนกระทั่งเกิดความล้า ส่งผลต่อระบบประสาทและเพิ่มสมรรถนะในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยไม่ส่งผลต่อการเพิ่มระดับแลคเตทในเลือด (Marston et al., 2017)

การฝึกจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรง (Training to muscle failure)

ความหมายของการฝึกจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรง

การฝึกจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรง (Training to muscle failure) หมายถึง การออกกำลังกายแบบมีแรงต้านจนกล้ามเนื้อเกิดความล้าจนเข้าสู่จุดที่ยกต่อไปไม่ไหว เป็นจุดที่เกิดขึ้นเมื่อระบบประสาทและกล้ามเนื้อไม่สามารถสร้างแรงได้เพียงพอที่จะเอาชนะภาระงานหรือแรงต้านทานที่กำหนดได้อีกต่อไป จึงต้องหยุดและมีระยะเวลาพักที่เพียงพอเพื่อฟื้นฟูพลังงานในระยะสั้น ๆ (1-3 นาที) เพื่อสังเคราะห์พลังงานจากระบบเผาผลาญของร่างกายจะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระแสเลือด เช่น ไฮโดรเจนไอออน แลคเตท อินออแกนิคฟอสเฟต ครีเอทินโพแทสเซียม ทั้งภายในและภายนอกเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งหากขาดความสมดุลในการสร้างและสลายออกจะเกิดความล้าที่สะสมในกล้ามเนื้อจนกระทั่งไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป (Hunter, Duchateau, & Enoka, 2004; Phillips, 2015; Willardson, 2007) ในการกำหนดการฝึกซ้อมกีฬาจึงจำเป็นจะต้องทราบว่าการที่นักกีฬาไม่สามารถที่จะทำการฝึกซ้อมได้ต่อไปนั้นเกิดจากความล้า (Fatigue) รูปแบบใดดังนี้

- จา*กระบบพลังงาน* เกิดจากการหมดไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเป็นสาเหตุสำคัญของ ความล้าในกล้ามเนื้อจากการทำงานของร่างกายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้ทั้งเอทีพีและฟอสโฟครีอาทีน ถูกใช้ไปจนหมดภายใน 2-3 วินาที และร่างกายจะใช้พลังงานจากไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อที่เป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นในการสร้างเอทีพี

- จา*กการสะสมของเสียจากการเผาผลาญอาหาร* ในการสังเคราะห์พลังงานจากระบบเผาผลาญของร่างกายในการที่นักกีฬามีพลังงานไม่เพียงพอ ก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกมากเกินไป การสะสมนี้จะมีไฮโดรเจนไอออนเป็นตัวการทำให้กล้ามเนื้อมีสภาพเป็นกรด (Acidosis)

- จา*กระบบประสาท* ความล้าส่วนกลาง (Central fatigue) เป็นความบกพร่องของระบบประสาทที่ไม่สามารถคงสภาพการส่งกระแสประสาทในระดับคงที่เพื่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ อาจเกิดจากความบกพร่องของเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง รวมทั้งปัจจัย

ทางจิตวิทยา เช่นแรงจูงใจ หรือทางสรีรวิทยา ได้แก่ ความเจ็บปวดของร่างกาย นอกจากนี้ยังมีความล้าส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ที่อาจมาจากหลายสาเหตุเกี่ยวข้อง ได้แก่ สารสื่อประสาทอะเซทิลโคลีน ไม่สามารถข้ามจุดประสานระหว่างประสาทกับกล้ามเนื้อได้ หรือจากการที่อะเซทิลโคลีนเอสเทอเรสเป็นน้ำย่อยทำให้อะเซนิลโคลีนแตกตัวและเกิดการชะลอการส่งกระแสประสาท การที่ผนังเซลล์ใยกล้ามเนื้อพัฒนาระดับกั้นสูงกว่าสิ่งกระตุ้นโดยประสาทมอเตอร์ (Motor neuron) การปล่อยหรือรวมของแคลเซียมไอออนของการกระตุ้นและหดตัวของกล้ามเนื้อบกพร่อง กระทั่งความสามารถของใยแอคทินและไมโอซินที่จะผลิตแรงมีการบกพร่อง ดังนั้นความล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue) จึงมีความซับซ้อนเป็นผลจากความบกพร่องของหลายกระบวนการในระบบประสาทกล้ามเนื้อและแหล่งพลังงาน ส่งผลให้ความสามารถทางกีฬาลดลง

ผลจากการฝึกแรงต้านจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรง

การฝึกในภาวะกล้ามเนื้อหมดแรง (Muscular failure) ยังมีผู้สนใจศึกษารูปแบบการฝึกและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นไม่มากนัก เนื่องจากการฝึกในภาวะนี้ร่างกายจะเกิดความล้าจากการสะสมของกรดแลคติก เมื่อเข้าสู่จุดเริ่มล้า (Lactate threshold) ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการฝึกที่มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาพลัง ความเร็ว ความคล่องแคล่วว่องไว หรือเวลาปฏิกิริยา (ACSM, 2009) จากงานวิจัยในต่างประเทศ ได้ระบุไว้ว่าการฝึกจนกระทั่งหมดแรงเป็นกลไกกระตุ้นการทำงานของหน่วยยนต์และฮอร์โมนที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต (Growth hormones) ทำให้เกิดสมรรถภาพด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยต้องกำหนดการฝึกให้มีความเหมาะสมและไม่ควรใช้วิธีนี้ฝึกเป็นระยะเวลานานหรือทำซ้ำบ่อยๆ เกินไป เนื่องจากมีโอกาสเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ อย่างไรก็ดี ในนักกีฬาระดับสูงมีการค้นพบว่าการฝึกฝนอย่างหนักและมีระยะเวลานานมากขึ้น สามารถปรับปรุงกระบวนการสลายกรดแลคติกเพื่อนำกลับมาเป็นพลังงานสะสมในกล้ามเนื้อ ทำให้มีสมรรถนะในการเคลื่อนไหวมากขึ้น มีความทนทานต่อการเล่นกีฬาและการแข่งขันดีขึ้น (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008; Gladden, 2010) โดยเฉพาะการผสมผสานวิธีฝึกด้วยแรงต้านน้ำหนักเบาจนกระทั่งเกิดภาวะหมดแรง ที่ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับการฝึกด้วยความหนักสูง ในการพัฒนาสมรรถภาพกล้ามเนื้อลักษณะของความแข็งแรง พลัง และความอดทน ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับวิธีการฝึกกระตุ้นกล้ามเนื้อจนกระทั่ง หมดแรงที่ส่งผลดีในนักกีฬาและประชาชนทั่วไป (ตาราง 1) มีรายละเอียดดังนี้

อากูย่าและคณะ (Aguiar et al., 2015) ได้ค้นพบวิธีการใช้น้ำหนักเบาเพียงร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด กระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าให้หมดแรง (Muscle failure with principally of type I fibers) ส่งผลให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้อชนิด

หดตัวเร็ว และระดมการทำงานของกล้ามเนื้อสนับสนุนมัดกล้ามเนื้อหลักได้ดียิ่งขึ้น โดยทำการทดลองกับชายสุขภาพดี 27 คน ในท่าออกกำลังกายกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Leg extension) จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ รวม 8 สัปดาห์ โดยเพิ่มการฝึกด้วยน้ำหนักร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด และยกจนกระทั่งหมดแรง 1 เซต และพัก 30 วินาที ก่อนฝึกด้วยความหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด เพื่อปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อแบบดั้งเดิม 3 เซต เทียบกับกลุ่มฝึกแรงต้านแบบดั้งเดิมที่ไม่มีการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า ผลการทดสอบสมรรถภาพกล้ามเนื้อพบว่า ความแข็งแรงสูงสุดแบบเคลื่อนไหว ความอดทน และขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อให้ผลการพัฒนาดีกว่าอย่างชัดเจนในทุกการทดสอบ ซึ่งอธิบายได้ว่า การกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยน้ำหนักเบาจนกระทั่งหมดแรง ส่งผลให้เกิดการสะสมพลังงานจากการเผาผลาญที่มากขึ้น (Metabolic accumulation) รวมทั้งภาวะที่กล้ามเนื้อหดตัวช้าทำงานจนหมดแรงทำให้การไหลเวียนเลือดเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อกระบวนการสลายแลคเตทในเลือดที่ดีขึ้น และการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อที่เพิ่มมากขึ้น (Muscle protein synthesis) ทำให้เกิดการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (ACSM, 2009) ซึ่งการฝึกลักษณะนี้ยังมีแนวโน้มในการพัฒนาเซลล์ประสาทสั่งการ (Motor neuron) ที่เกิดจากการระดมการทำงานของกล้ามเนื้อ ร่วมกับความถี่ รูปแบบ และอัตราการยิงสัญญาณอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ร่างกายสามารถออกแรงทำงานต้านกับความหนักที่เกิดขึ้น จึงมีความน่าสนใจในวิธีการฝึกกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าจนหมดแรงว่าจะสามารถพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในลักษณะการเคลื่อนไหวด้วยพลังระเบิด ความเร็ว รวมทั้งมีความอดทนในการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ ๆ ได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วยหรือไม่

วิธีการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าด้วยการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรง ถูกพัฒนามาจากการศึกษาผลของการฝึกในภาวะที่กล้ามเนื้อเกิดความล้าด้วยวิธีเพิ่มแรงต้านรูปแบบต่าง ๆ เริ่มจากการศึกษาวิธีฝึกแรงต้านแบบคัตซุ (Kaatsu-resistance) ที่ใช้การปิดกั้นการไหลเวียนเส้นเลือดดำ (Venous blood) ที่ขาเพื่อให้เกิดความล้าในระบบกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น โดยการศึกษาระยะ 2 สัปดาห์ ในชายหนุ่ม 16 คน (อายุเฉลี่ย 23.6 ปี) แบ่งเป็นกลุ่มฝึกแรงต้านน้ำหนักเบา ใช้ความหนักร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด ผสมผสานการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดด้วยแรงดัน 240 มิลลิเมตรปรอท (Low-intensity Kaatsu training : LIT-Kaatsu training) จำนวน 9 คน และกลุ่มฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาเพียงอย่างเดียว (LIT alone) ฝึกแรงต้าน 2 ครั้งต่อวัน ฝึก 6 วันต่อสัปดาห์ ด้วยท่าสควอชและเล็คเคิร์ล ท่าละ 3 เซต ผลพบว่ากลุ่มฝึกแบบปิดกั้นการไหลเวียนเลือดพัฒนาโกรธฮอร์โมนชนิดที่ 1 (Insulin-like growth factor-1 : IGF-1) ในท่าสควอช (17%) และท่าเล็คเคิร์ล (23%) และการทดสอบความแข็งแรงสูงสุด (1RM) พบความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระหว่างกลุ่ม LIT-Kaatsu เมื่อเทียบกับ LIT (9% และ 2%) การทดสอบขนาดกล้ามเนื้อควอดไดรเซพ ไบเซพฟีมอริส และกลูเตียสแม็กซิมัส ผลเพิ่มขึ้น 7.7% 10.1% และ 9.1% ตามลำดับในกลุ่ม LIT-Kaatsu ($p < 0.01$) และได้ผล 1.4% 1.9% และ -0.6% ($p > 0.05$) ในกลุ่ม LIT แสดงให้เห็นว่าวิธีการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดส่งผลดีต่อการพัฒนาความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อ และยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (5.9%) และเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (27.6%) ในการทดสอบตัวอย่างชิ้นเนื้อ (Biopsy sample test) จากวิธีการฝึกรูปแบบดังกล่าว (Yasuda et al., 2005) สอดคล้องกับการศึกษาถัดมาที่ค้นพบประสิทธิภาพของวิธีฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาด้วยความหนักร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด ผสมผสานด้วยการปิดกั้นการไหลเวียนเลือด (Blood flow restriction) ให้ผลการพัฒนาพลัง ความแข็งแรง และความอดทนกล้ามเนื้อต้นขา (Knee extensors test) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกลุ่มฝึกด้วยความหนักสูงที่ไม่มีการปิดกั้นการไหลเวียนเลือด (80%1RM) ในการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (Sousa et al., 2017) ซึ่งเป็นผลจากการกระตุ้นกระบวนการสะสมพลังงานจากการเผาผลาญ และอนาบอลิกโกรธแฟคเตอร์ ที่ส่งผลต่อการพัฒนาการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Loenneke et al., 2010) แต่อย่างไรก็ดี ยังมีการศึกษาที่ให้ผลแตกต่างออกไปในกลุ่มชายหญิงสุขภาพดี 12 คน ทำการฝึกแรงต้านแตกต่างกัน 6 รูปแบบ ด้วยน้ำหนักแตกต่างกันจากเบาไปถึงหนัก (20-65% 1RM) ด้วยวิธีการปกติและปิดกั้นการไหลเวียนเลือดด้วยแรงดันปานกลางหรือแรงดันสูง (147 หรือ 200 มิลิเมตรปรอท) ในท่ากระดกปลายเท้า (Unilateral plantar flexion exercise) ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีการตอบสนองต่อกระบวนการเผาผลาญในการฝึกด้วยความหนักร้อยละ 40 ของความพยายามสูงสุด ผสมผสานการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดด้วยแรงดันปานกลางมากที่สุด ขณะที่การฝึกด้วยความหนักร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด ผสมผสานการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดปานกลาง ให้ผลการตอบสนองดีใกล้เคียงกับการฝึกความหนักสูงแบบไม่มีการปิดกั้นการไหลเวียนเลือด ดังนั้นวิธีการฝึกรูปแบบนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อผลลัพธ์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้นต่อไป (Suga et al., 2010)

แม้ว่าวิธีการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดในการฝึกแรงต้านมีแนวโน้มที่ดีในการพัฒนาความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อ แต่การฝึกให้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะ และวิธีการฝึกที่จะต้องมีความชำนาญ ดังนั้น จึงมีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า หากการฝึกด้วยแรงต้านด้วยน้ำหนักเบามีประมาณการฝึกมากเพียงพอ โดยการฝึกจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะหมดแรงและเกิดความล้าเช่นเดียวกับวิธีการปิดกั้นการไหลเวียนเลือด จะส่งผลให้เกิดกระบวนการภายในร่างกายที่เพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

ได้แก่ กระบวนการสะสมพลังงานและโกรธฮอร์โมน (Metabolic accumulation and growth hormones) กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในกล้ามเนื้อ (Myofibrillar muscle protein synthesis : MPS) การระดมการทำงานเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิด รวมทั้งการเกิดและสลายภาวะกรดจากการฝึก (Loenneke et al., 2010) จึงมีผู้สนใจทำการศึกษาทดลองการตอบสนองต่อการสังเคราะห์โปรตีนกับความหนักในการฝึกด้วยแรงต้านจนกระทั่งหมดแรงในชายหนุ่ม 15 คน (อายุเฉลี่ย 21 ปี) ฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าด้วยความหนัก 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) ฝึกด้วยความหนักร้อยละ 90 ของความพยายามสูงสุด และยกจนหมดแรง (2) ฝึกร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด และคำนวณปริมาณการฝึกให้เทียบเท่ากลุ่ม (1) และ (3) ฝึกด้วยความหนักร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด และยกจนหมดแรง ผลการศึกษาจากตัวอย่างชิ้นเนื้อ (Biopsy) ภายหลังการฝึก 4 และ 24 ชั่วโมง พบว่าการฝึกด้วยความหนักร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด และยกจนหมดแรง ให้ผลดีที่สุดในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนสร้างความแข็งแรงในร่างกาย อาทิ ฮอร์โมนสร้างกล้ามเนื้ออนาบอลิกซิกเนลลิง (Anabolic signaling) การตอบสนองของหลอดเลือดไมโอจีนิคยีนเอกเพรสชัน (Myogenic gene expression) ซาร์โคปลาสมิกโปรตีนซินทิซิส (Sarcoplasmic protein synthesis) และอัตราการสังเคราะห์โปรตีนกล้ามเนื้อ (Rates of muscle protein synthesis) (Burd et al., 2010) ขณะที่การทดลองแบ่งกลุ่มชายที่มีประสบการณ์ฝึกแรงต้านเป็นประจำ 49 คน เป็น 2 กลุ่ม ให้ฝึกแรงต้านทั่วร่างกาย 2 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยกลุ่มฝึกจำนวนครั้งสูง (High repetitions) จำนวน 24 คน ฝึกแรงต้านด้วยความหนักต่ำปริมาณการฝึกสูง จำนวน 20-25 ครั้งต่อเซต (น้ำหนักประมาณร้อยละ 30–50 ของความพยายามสูงสุด) เทียบกับกลุ่มฝึกจำนวนครั้งต่ำ (Low repetitions) ฝึกด้วยความหนักสูงปริมาณการฝึกต่ำ จำนวน 8-12 ครั้งต่อเซต (ประมาณร้อยละ 75-90 ของความพยายามสูงสุด) ผลพบว่าภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ทั้งสองกลุ่มมีความแข็งแรงสูงสุด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม ยกเว้นการทดสอบกล้ามเนื้อหน้าอก (Bench press) ที่กลุ่มฝึกจำนวนครั้งต่ำให้ผลดีกว่า ในขณะที่อนาบอลิกฮอร์โมนภายหลังออกกำลังกายทั้งสองกลุ่มตอบสนองไม่แตกต่างกัน การวัดผลทางชีววิทยากล้ามเนื้อพบว่ามวลกล้ามเนื้อและพื้นที่หน้าตัดเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าและชนิดหดตัวเร็ว เพิ่มขึ้นภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ทั้งสองกลุ่มฝึก ($p < 0.01$) และไม่พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม จึงสรุปได้ว่าการฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาหากปริมาณของการฝึกมีความเหมาะสมมากเพียงพอ จะสามารถกระตุ้นกระบวนการภายในร่างกายต่อการปรับตัวตอบสนองต่อการเพิ่มความแข็งแรง ขนาดกล้ามเนื้อและความอดทนได้ดีเช่นเดียวกับการฝึกด้วยความหนักสูง (Morton et al., 2016) ในขณะที่การศึกษาผลลัพธ์แบบเฉียบพลัน ในกลุ่มชายสุขภาพดี 11 คน (อายุเฉลี่ย 22 $\pm$ 3 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 71.8 $\pm$ 7.7 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 1.75 $\pm$ 0.06 เมตร) ภายหลัง

การฝึกแรงต้านน้ำด้วยหนักเบาร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด (RT30) เทียบกับน้ำหนักร้อยละ 80 ของความพยายามสูงสุด (RT80) และยกจนหมดแรง ในท่านีเอ็กซ์เทนชัน (Knee extensions) ออกแบบการศึกษาสุ่มแบบไขว้ (Cross over random study) ทำการวัดค่าการใช้จ่ายพลังงาน (Energy expenditure : EE) และระบบแอนแอโรบิกแลคติก (Anaerobic lactic system) ก่อน ระหว่าง และภายหลังการออกกำลังกายแต่ละครั้ง ผลพบค่าการใช้จ่ายพลังงานและระดับแลคเตทในเลือดของกลุ่ม RT30 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ RT80 สรุปได้ว่าการฝึกน้ำหนักเบาจนกระทั่ง หมดแรง อาจเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการฝึกแรงต้าน ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานและพัฒนาด้านการ ขนถ่ายแลคเตทในระบบไหลเวียนเลือด (Brunelli et al., 2019)

การศึกษาวิธีการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเสริมด้วยการฝึกความอดทนของกล้ามเนื้อสามารถช่วยเพิ่มกระบวนการสลายแลคเตทในเลือดในนักกีฬาชาย จำนวน 14 คน ที่มีกิจกรรมแบบแอโรบิก 8 สัปดาห์ โดยกลุ่มทดลองออกกำลังกายแบบแอโรบิก เสริมด้วยการฝึกความอดทนกล้ามเนื้อด้วยการฝึกแรงต้านความหนักร้อยละ 50 ของความพยายามสูงสุด จำนวน 4 เซต เซตละ 12-15 ครั้ง ในร่างกายช่วงล่าง จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เทียบกับกลุ่มที่ออกกำลังกายเฉพาะแอโรบิก ทำการทดสอบค่าการสะสมของแลคเตท การแลกเปลี่ยนก๊าซ สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อขา ผลพบว่าการฝึกเพิ่มความอดทนของกล้ามเนื้อในนักกีฬาแบบแอโรบิก ส่งผลต่อการพัฒนาช่วงเวลาที่จะเกิดการสะสมของแลคติกในร่างกายให้ช้าลง และเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาให้ดีขึ้น (Farrell et al., 2018) จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น จึงอาจสรุปได้ว่าการออกกำลังกายอย่างหนักจะก่อให้เกิดความเมื่อยล้าจนกระทั่งหมดแรง เนื่องจากระบบการเผาผลาญพลังงานทำงานไม่ทันต่อการสลายของเสีย โดยเฉพาะการสะสมของแลคเตทในเลือดซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ปริมาณ หรือความหนักในการออกกำลังกายและเล่นกีฬา การฝึกด้วยแรงต้านในภาวะกล้ามเนื้อหมดแรงจึงเป็นกระบวนการสำคัญที่จะทำให้ร่างกายทำความคุ้นเคยกับความหนักที่ได้รับ และเกิดการปรับตัวส่งผลให้มีความทนทานของกล้ามเนื้อ และมีการปรับปรุงกระบวนการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย ส่งผลให้สามารถเล่นกีฬาด้วยประสิทธิภาพสูงสุดได้อย่างยาวนานยิ่งขึ้น

ในขณะที่การศึกษาด้านระบบประสาทกล้ามเนื้อ จากการฝึกแรงต้านด้วยปริมาณการฝึกที่มากจนกระทั่งถึงจุดที่กล้ามเนื้อหมดแรง (Muscle failure) จะส่งผลให้เกิดการระดมอัตราการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อมากขึ้น การศึกษาผลกระทบของความล้าต่อค่าเฉลี่ยอัตราการยิงสัญญาณประสาทกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า โดยวัดสัญญาณประสาทของกล้ามเนื้อวาสตัสแลเธอรัลลิส (Vastus lateralis) และวาสตัส มีเดียลิส (Vastus medialis) จากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้า

กล้ามเนื้อ (Electromyographic) ในช่วงที่กล้ามเนื้อทำงานจากศูนย์ถึงร้อยละห้าสิบของอัตราการหดตัวสูงสุด (0-50 % of Maximum voluntary contraction) พบว่าอัตราความถี่ของสัญญาณประสาทในกล้ามเนื้อมัดหลักจะค่อย ๆ ลดลงแต่จะเกิดการระดมการทำงานของกล้ามเนื้อมัดสนับสนุนมากขึ้น (Stock, Beck, & Defreitas, 2012) คล้ายกับการทดลองวัดผลการส่งสัญญาณประสาทในการฝึกแรงต้านท่านีเอกเทนชัน (Knee extension) โดยกำหนดความหนักร้อยละ 50 ของความสามารถในการหดตัวสูงสุด เพื่อตรวจสอบการทำงานของกล้ามเนื้อควอไดรเซพ ฟีมอริส (Quadriceps femoris) ทั้ง 4 มัด ประกอบด้วยกล้ามเนื้อวาสตัส อินเทอมีเดียส (Vastus intermedius : VI) วาสตัสแลเธอรัลลิส (Vastus lateralis : VL) วาสตัส มีเดียส (Vastus medialis : VM) และ เรคตัส ฟีมอริส (Rectus femoris : RF) ในช่วงที่การฝึกจนกระทั่งหมดแรง ผลพบว่ากล้ามเนื้อ (VI) มีการทำงานมากขึ้นในขณะที่กล้ามเนื้อมัดหลักของต้นขาด้านหน้าเริ่มทำงานจนกระทั่งหมดแรง (K. Watanabe & Akima, 2010) ในขณะที่การศึกษาถึงการปรับตัวระยะยาว (Chronic adaptation) ของลักษณะการส่งสัญญาณประสาทจากการฝึกความอดทนให้กับกล้ามเนื้อ พบว่าในกลุ่มตัวอย่างชายและหญิงสุขภาพดี 15 คน (ชาย 7 คน หญิง 8 คน) แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 10 คน อายุเฉลี่ย 25.1 $\pm$ 1.5 ปี และกลุ่มควบคุม 5 คน อายุเฉลี่ย 24.3 $\pm$ 1.8 ปี กลุ่มทดลองทำการฝึกความอดทนกล้ามเนื้อในการกำมือ (The adductor pollicis : ADP) จำนวน 4 สัปดาห์ รวม 14 เซสชัน โดยการฝึกความอดทน 3 เซต 7 ครั้ง ของการกำมือและเกร็งค้างไว้ 1 นาที ที่ความหนักร้อยละ 20 ของความสามารถในการหดตัวสูงสุด มีเวลาพักระหว่างครั้ง 5 วินาที และพักระหว่างยก 2 นาที ผลพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านเวลาความอดทน และสมรรถนะภายหลังการกระตุ้นแบบทันที ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม ($p < 0.01$) โดยไม่พบความเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการส่งสัญญาณประสาท (Motor unit firing patterns) การค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่าการฝึกความอดทนของกล้ามเนื้อ สามารถรักษาอัตราการยิงสัญญาณประสาทในการหดตัวของกล้ามเนื้อได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถพัฒนาได้ในระยะเวลาการฝึกเพียง 4 สัปดาห์ (Mettler & Griffin, 2016)

อย่างไรก็ดียังมีการศึกษาที่ค้นพบเพิ่มเติมว่าความแตกต่างของปริมาณการฝึกแรงต้านจนกระทั่งหมดแรงต่อการพัฒนาความแข็งแรง 6 สัปดาห์ ในกลุ่มนักกีฬาวัยรุ่น 22 คน (ผู้เล่นบาสเกตบอล 12 คน และผู้เล่นวอลเลย์บอล 10 คน) ฝึกซ้อม 3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบการฝึกท่าเบนช์เพรส ระหว่าง 4 x 6 8 x 3 หรือ 12 x 3 (เซต x ครั้ง) จนกระทั่งหมดแรง ผลพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงและพลังภายหลังการฝึกทั้ง 3 รูปแบบ พัฒนาขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสรุปได้ว่า เมื่อการฝึกจนกระทั่งหมดแรงมีปริมาณการฝึกที่เพียงพอ การเพิ่มปริมาณการฝึกอาจไม่ใช่ตัวแปรที่ส่งผลต่อการพัฒนาความแข็งแรงและพลัง ในนักกีฬาหนุ่มที่มีประสบการณ์การฝึก

ความแข็งแรงปานกลาง (Drinkwater et al., 2007) เช่นเดียวกับ การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของการฝึกแรงต้าน 8 สัปดาห์ ระหว่างการฝึกจำนวนครั้งจนกระทั่งหมดแรงและไม่หมดแรง ทั้งปริมาณการฝึกปานกลางและระดับต่ำ ต่อการเพิ่มความแข็งแรงและกำลังของร่างกายส่วนบน และระบบหัวใจไหลเวียนเลือด ในนักกีฬาเรือพายชาย 43 คน ฝึกความอดทนรูปแบบเดียวกันแต่แตกต่างกันในวิธีการฝึกแรงต้านความหนักสูง 4 รูปแบบ ได้แก่ ฝึกแรงต้าน 4 ท่า ด้วยการฝึกแบบไม่หมดแรง (4NRF) ฝึกแรงต้าน 4 ท่า แบบหมดแรง (4RF) ฝึกแรงต้าน 2 ท่าแบบไม่หมดแรง (2NRF) และกลุ่มควบคุม (C) ผลลัพธ์พบว่ากลุ่มฝึกออกกำลังกายจำนวน 4 ท่าฝึก ด้วยปริมาณการฝึกปานกลางและไม่ฝึกจนกระทั่งหมดแรงให้ผลในการพัฒนาความแข็งแรงและกำลังกล้ามเนื้อสูงสุด (4.6% และ 6.4% ตามลำดับ) ในท่าเบนช์เพรส เมื่อเทียบกับทั้ง 4RF (2.1% และ -1.2%) และ 2NRF (0.6% และ -0.6 %) กลุ่ม 4NRF และ 2NRF ได้ผลดีในการทดสอบความสามารถในการพายเรือ โดยพัฒนาอัตรากำลังความอดทน ในการทดสอบพายเรือ 10 ครั้ง (W10strokes 3.6% และ 5%) และในการพายเรือ 20 นาที (W20min 7.6% และ 9%) เมื่อเปรียบเทียบกับ 4RF (-0.1% และ 4.6%) ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม ในขนาดของการเปลี่ยนแปลงต่อการสะสมแลคเตทในเลือด (W4mmol x L-1 4NRF 6.2% 4RF เท่ากับ 5.3% 2NRF เท่ากับ 6.8% และ C เท่ากับ 4.5%) สรุปได้ว่า โปรแกรมการฝึกความแข็งแรงแบบเชิงเส้นและความอดทนแบบต่อเนื่อง 8 สัปดาห์ โดยใช้จำนวนการยกที่ไม่หมดแรง ในระดับปานกลาง (กลุ่ม 4NRF) ให้ผลต่อการปรับปรุงความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อรวมทั้งประสิทธิภาพการพายเรือ ในกลุ่มนักกีฬาที่ผ่านการฝึกมาอย่างดีได้ดีที่สุด (Izquierdo-Gabarren et al., 2010) อย่างไรก็ดี การศึกษาทั้ง 2 ชิ้นข้างต้น เป็นการทดลองฝึกด้วยความหนักสูงและทำการฝึกจนกระทั่งหมดแรงทุกเซตของการฝึก ในกลุ่มนักกีฬาที่มีประสบการณ์ฝึกแรงต้านมาเป็นอย่างดี การออกแบบการศึกษาที่กำหนดวิธีการ ความหนัก ความถี่ ปริมาณการฝึกและระยะเวลาพักที่แตกต่างกันออกไป อาจให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับพัฒนาสมรรถภาพกล้ามเนื้อให้กับนักกีฬาต่อไป

ตาราง 1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ด้วยการฝึกแรงต้านในนักกีฬาแต่ละชนิดและบุคคลทั่วไป

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Aguiar et al. (2015)	เพศชาย จำนวน 27 คน)18 -25 ปี(	แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม ทำการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า จำนวน 2 ครั้งสัปดาห์ รวม/ ระยะเวลาทั้งสิ้น8 สัปดาห์ กลุ่ม 1 กลุ่มควบคุม)CO) 9 คน ไม่มีการฝึกแรงต้าน กลุ่ม 2 กลุ่มฝึกประเพณีนิยม)TR) 9 คน ฝึกแรงต้าน 75%1RM 10-12 ครั้ง/3 เซต พักระหว่างยก 1 นาที กลุ่ม 3 กลุ่มฝึกจนหมดแรงก่อน)PE) 9 คน ฝึกเสริมด้วยน้ำหนัก 20%1RM จนหมดแรง 1 เซต พัก 30 วินาที และฝึกเหมือนกลุ่ม TR	8 สัปดาห์	1 RM Δ% (PE+44.2 ± 6.5) (TR+26.6 ± 7.2) (p < (0.05 (CO+0.4 ± 0.5) ไม่เปลี่ยนแปลง (p > 0.05)	จำนวนครั้งในการยก 60%RM จนหมดแรง Δ%) TR+ 20.2vs. PE+36.9) (p < (0.05 CO ไม่เปลี่ยนแปลง (p > 0.05)	CSA Test Δ% (TR+11.8 vs. PE +20.8) (p < 0.05) CO ไม่เปลี่ยนแปลง (p > 0.05)

CO= Untrained control; TR= Traditional training; PE= Prior exhaustive training; RM= Repetition maximum; CSA= Muscle cross sectional-area

ตาราง 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Abe et al. (2005)	ชายสุขภาพดี จำนวน 16 คน 23.6)±6.5 ปี(	แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ฝึกแรงต้านในท่า Squat และLeg curl จำนวน 3 เซตๆ ละ 15 ครั้ง พัก ระหว่างเซตและการฝึก 30 วินาที โดยฝึก 2 เซสชั่น วัน และ/6 วัน สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น/2 สัปดาห์ กลุ่ม 1 (LIT- Kaatsu training) ฝึกแรงต้าน 20% 1 RM ผสมการปิดกั้นการไหลเวียน เลือดด้วยแรงดัน 240 มิลลิเมตรปรอท กลุ่ม 2) LIT) ฝึกเฉพาะแรงต้าน 20%1 RM	2 สัปดาห์	) -IGF-1 Squat and leg curl) กลุ่ม 1 เพิ่มขึ้น)17% และ 23%) 1) -RM Squat and leg curl) กลุ่ม 1 เทียบกับกลุ่ม 2) 9% และ 2%))$p < 0.05$)		- CSA Quadriceps, Biceps femoris และ Gluteus maximus กลุ่ม 1 ผล 7.7%, 10.1% และ 9.1%)$p < 0.01$) กลุ่ม 2 ผล 1.4%, 1.9% และ -0.6%)$p > 0.05$)

LIT= Low intensity training; IGF-1= Insulin-like growth factor-1; CSA= Muscle cross sectional-area

ตาราง 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Sousa et al. (2017)	ชายหนุ่มสุขภาพดี จำนวน 37 คน (20.73 ± 3.79 ปี(	แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ฝึกท่า Unilateral knee extension 2 ครั้ง สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น/6 สัปดาห์ กลุ่ม 1) HI) ฝึกความหนักสูง 80% 1RM กลุ่ม 2) LI+BFR) ฝึกความหนักต่ำปิดกั้น+ ไหลเวียนเลือด กลุ่ม 3)COMB) ฝึกผสมระหว่างกลุ่ม 1 และ 2 กลุ่ม 4)LI) ฝึกความหนักต่ำ 30% 1RM BFR เฉลี่ยแรงดัน 129-141 มิลลิเมตรปรอท	6 สัปดาห์	Isometric torque and EMG test ภายหลัง 6 สัปดาห์ ดีขึ้นในกลุ่ม 1,2 และ 3 (HI= $p < 0.01$, Δ=43%) (LI+BFR=p<0.027, Δ=17.4%)	LME test พบค่า ES ของ RMS, Fmed, และดีขึ้นทั้ง 4 กลุ่ม แต่กลุ่มที่มีการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดมีค่าเฉลี่ยดีกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการปิดกั้น BFR (63% และ 27%) vs. ไม่มี BFR (36% และ11%)	

HI= High intensity; LI= Low intensity; COMB= Combined; BFR= Blood flow restriction; EMG= Surface electromyogram; LME= Local muscular endurance; ES= Effect size; RMS= Root mean square; Fmed= Median frequency

ตาราง 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Suga et al. (2010)	ชายและหญิงสุขภาพดี 12 คน ชาย)6 หญิง ,6 ( )20 ปี ± 1 ปี(	แบ่งเป็น 6 กลุ่ม ฝึกท่า Unilateral plantar flexion exercise วัดผลการตอบสนองต่อกระบวนการเครียดเผาผลาญ)Metabolic stress) กลุ่ม 1) L) ฝึกความหนักต่ำ 20% 1RM กลุ่ม 2) 20%1RM+MP) ฝึกความหนัก 20% 1RMปิด+ กั้นไหลเวียนเลือดปานกลาง กลุ่ม) 330%1RM+MP) ฝึกความหนัก 30% 1RMปิด+ กั้นไหลเวียนเลือดปานกลาง กลุ่ม 4) 40%1RM+MP) ฝึกความหนัก 40% 1RMปิด+ กั้นไหลเวียนเลือดปานกลาง กลุ่ม 5) 20%1RM+HP) ฝึกความหนัก 20% 1RMปิด+ กั้นไหลเวียนเลือดสูง กลุ่ม 6) H) ฝึกความหนักสูง 65% 1RM	ทันที	กลุ่ม 4 ให้ผลดีที่สุดในการตอบสนองต่อกระบวนการเครียดเผาผลาญ ขณะที่กลุ่ม 3 และ 6 ให้ผลในการตอบสนองที่ดีใกล้เคียงกัน		

L= Low intensity; H= High intensity; MP= Moderate pressure (～ 147 mmHg); HP=High pressure (～ 200 mmHg)

ตาราง 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Burd et al. (2010)	ชายหนุ่ม 15 คน)21 ปี ± 1 ปี(	ฝึกแรงต้านท่า Leg extension 4 เซตด้วย 3 รูปแบบ และวัดผลการตอบสนองต่อกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนสร้างความแข็งแรงในร่างกาย)MIX, MYO, SARC) ภายหลังการฝึก 4 และ 24 ชั่วโมง แบบ 1) 90FAIL) ฝึกความหนัก 90%1RM จนหมดแรง แบบ 2) 30WM) ฝึกความหนัก 30%1RM ด้วยปริมาณการฝึกเท่ากับ)1(แบบ 330) FAIL) ฝึกความหนัก 30%1RM จนหมดแรง	ทันที	) -30WM) พบ MIX= 121% MYO= 87% ภายหลัง 4 ชม. 90) -FAIL) และ)30FAIL) MIX และ MYO ดีกว่า)30WM) และไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม - MYO=199% ภายหลัง 24 ชมเฉพาะ .) ใน30FAIL) ฟอสโฟรีเลชั่น - (Erk2/1$^{Tyr204/202}$, p70S6K^{Thr389} และ 4E-BP1$^{Thr46/37}$ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เฉพาะ (30FAIL) ภายหลังพัก 4 ชม. - ฟอสโฟรีเลชั่น ภายหลัง 24 ชม. (90FAIL=237%) และ)30FAIL=312%)		

MIX= Mixed muscle protein synthesis; MYO= Myofibrillar protein synthesis; SARC= Sarcoplasmic protein synthesis

ตาราง 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Morton et al. (2016)	เพศชาย 49 คน มีประสบการณ์ฝึกแรงต้าน)23 ปี ± 1 ปี(	แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ฝึกแรงต้านทั่วร่างกาย 5 ท่าฝึก 2 ครั้ง สัปดาห์ รวม/12 สัปดาห์ วัดผลชีววิทยากล้ามเนื้อและ ขนาดกล้ามเนื้อ ,ความแข็งแรง , การตอบสนองของอนาบอลิกฮอร์โมนต่อการฝึก กลุ่ม 1) HR) ฝึกความหนักต่ำปริมาณการฝึกสูง ~ 30-50% 1RM จำนวน 20-25 ครั้งเซต/ กลุ่ม) 2LR) ฝึกความหนักสูงปริมาณการฝึกต่ำ ~ 75-90% 1RM จำนวน 8-12 ครั้งเซต/	12 สัปดาห์	- 1RM ก่อนหลัง การฝึกดีขึ้น-ทั้งสองกลุ่ม($p < 0.01$) แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม ยกเว้นการทดสอบท่า Bench press ที่ (HR,9±1 กก. เทียบกับ LR,14±1 กก., P=0.012) - อนาบอลิกฮอร์โมนภายหลังออกกำลังกายทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน		มวลกล้ามเนื้อและพื้นที่หน้าตัดเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าและชนิดหดตัวเร็วเพิ่มขึ้นก่อน หลังการฝึก-($p < 0.01$) แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

ตาราง 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Farrell et al. (2018)	เพศชายเล่นกีฬาแบบแอโรบิก 14 คน)18-40 ปี(	แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มทดลอง ออกกำลังกายแบบแอโรบิก และเสริมด้วยการฝึกแรงต้าน 2 ครั้งสัปดาห์ ด้วย/ ความหนัก50% 1RM จำนวน 4 เซตๆ ละ 12-15 ครั้ง ในร่างกายช่วงล่างในท่า Leg press, leg curl และ leg extension กลุ่มควบคุม ออกกำลังกายเฉพาะแอโรบิก	8 สัปดาห์	1RM Leg curl และ leg extension กลุ่มทดลองพัฒนาดีกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม	-GET และ VO2max ภายหลังการฝึกดีขึ้นทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน กลุ่มทดลองพัฒนา -VO2max ทั้งหน่วยสัมพันธ์และหน่วยสมบูรณ์ ขณะเกิด OBLA	

HR= High repetitions; LR= Low repetitions; RM= Repetition maximum

ตาราง 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Stock et al. (2012)	ชายสุขภาพดี 12 คน 22.1) ± 1.4 ปี(	ทดสอบการทำงานกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า Vastus lateralis (VL) และ Vastus medius) VM) ด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในช่วง 0-50 % MVC)	ทันที	- VL (PPS/%MVC) ก่อนทดสอบ (25.5 ±4.6) vs. หลังทดสอบ (26.5 ±4.6) -VI (PPS/%MVC) ก่อนทดสอบ (23.7 ±7.3) vs. หลังทดสอบ (24.6 ±7.1)		
Watanabe & Akima (2010)	ชายสุขภาพดี 7 คน 23.9) ± 1.3 ปี(	ทดสอบท่า Knee extension ด้วยความหนัก 50% MVC จนกระทั่งหมดแรงเพื่อดูการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อควอไดรเซพ 4 มัด)VI, VL, VM และ RF	ทันที	- VI ทำงานเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ภาวะหมดแรง		

VL= Vastus lateralis; VM= Vastus medius; VI= Vastus intermedius; RF= Rectus femoris; MVC= Maximum voluntary contraction;

PPS= Average firing rate

ตาราง 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง	การออกแบบการทดลอง	ระยะเวลา	ผลการศึกษา		
				ผลต่อความแข็งแรง	ผลต่อความอดทน	ผลต่อขนาดกล้ามเนื้อ
Mettler & Griffin (2016)	ชายและหญิงสุขภาพดี จำนวน 15 คน ชาย)7 หญิง 8 ( )25 ปี(	แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มฝึก)EX) ฝึกแรงต้านแบบความอดทนในการกำมือเกร็งค้างไว้ในกล้ามเนื้อ The adductor pollicis รวม 14 เซสชันๆ ละ 3 เซตๆ ละ 7 ครั้ง ของการกำมือและเกร็งค้างไว้ 1 นาที ด้วยความหนัก 20% MVC มีเวลาพักระหว่างครั้ง 5 วินาที และพักระหว่างยก 2 นาที กลุ่มควบคุม)CON) ไม่มีการฝึก	4 สัปดาห์	- MVC ไม่แตกต่างกันระหว่าง EX และ CON (p = 0.09) - แรงบิดแบบกระตุกทันที)Post activation potentiation) EX แตกต่างกับ CON ($p < 0.001$) โดย EX มีค่าก่อนฝึก 3.9 N และหลังฝึก 4.2 N เทียบกับ CON 2.7 N และ 2.9 N - รูปแบบการยิงสัญญาณประสาทไม่พบความแตกต่างกันระหว่าง EX และ CON	เวลาความอดทนกลุ่ม - EX แตกต่างกับ CON ($p < 0.001$) - EX เวลาความอดทนเพิ่มขึ้นจากก่อนการฝึกเฉลี่ย 45.2 ± 8.7% ($p < 0.001$)	

EX= Experimental group; CON= Control group; MVC= Maximum voluntary contraction

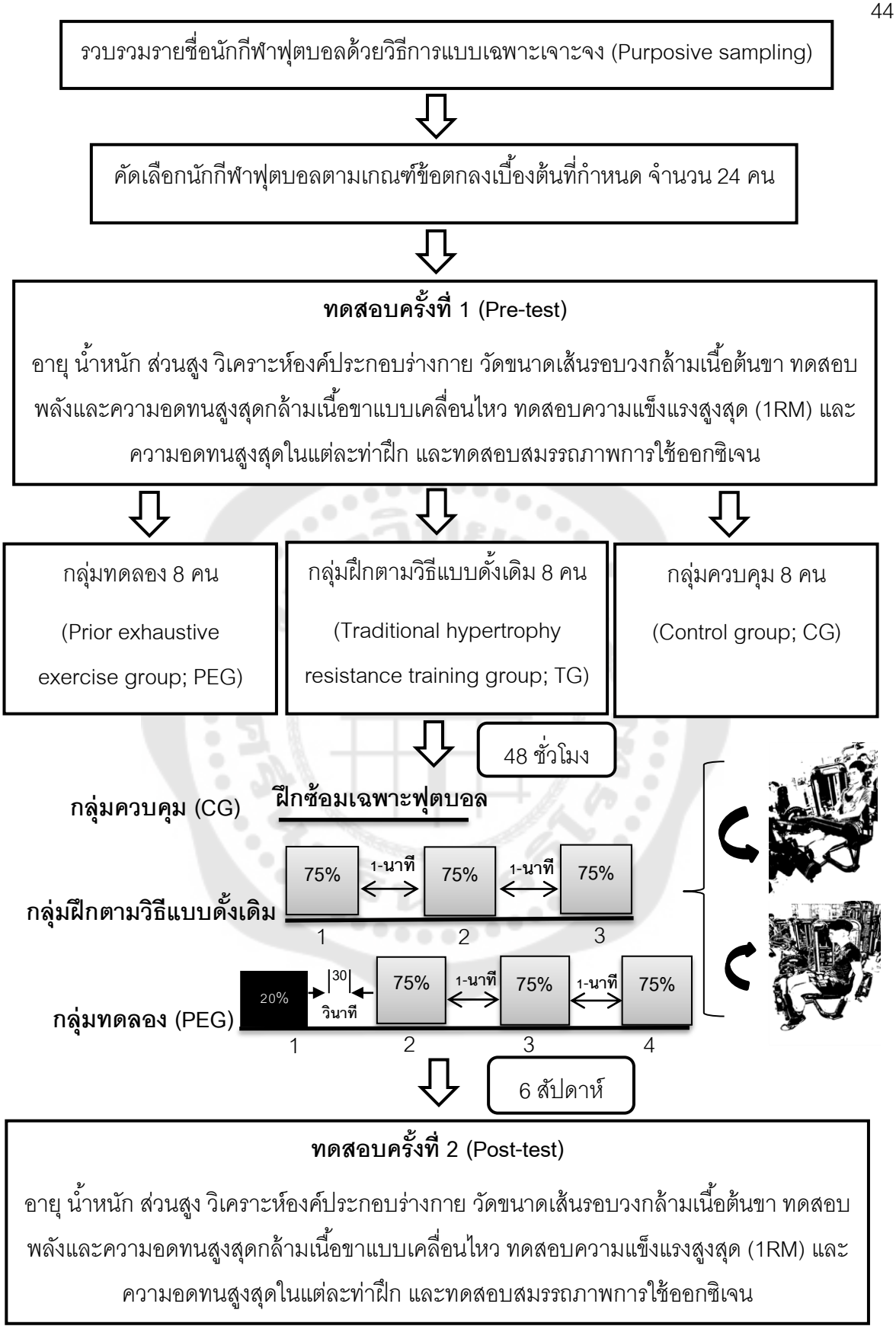
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ก่อนเริ่มศึกษาผู้วิจัยได้ชี้แจงให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนได้รับทราบถึงวัตถุประสงค์ ประโยชน์ของการวิจัย กระบวนการเก็บข้อมูลและวิธีดำเนินการวิจัย รวมทั้งเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่จะต้องมีประสบการณ์การฝึกกีฬาฟุตบอลไม่น้อยกว่า 2 ปี อายุระหว่าง 17-19 ปี อยู่ระหว่างเตรียมตัวเข้าร่วมแข่งขันรายการฟุตบอลภายในประเทศ ไม่เป็นมังสวิรัติ ไม่ได้ใช้ยาหรืออาหารเสริมเพื่อสร้างภูมิคุ้มกันหรือสเตียรอยด์โคเอนไซม์เพื่อสร้างกล้ามเนื้อ เป็นระยะเวลา 6 เดือนก่อนเข้าทำการศึกษา และไม่มีปัญหาอาการบาดเจ็บ จึงได้ลงนามยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (Informed consent form)

การออกแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) คัดเลือกตามข้อตกลงเบื้องต้น จำนวน 24 คน ใช้การทดสอบความแข็งแรงสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า นำผลมาจัดเรียงข้อมูลและทำการสุ่มแบบง่าย (Random sampling) เข้ากลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่เสริมด้วยการฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาจนกระทั่งหมดแรงจำนวน 1 เซต ก่อนการฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อตามวิธีแบบดั้งเดิม (Prior exhaustive training group : PEG) จำนวน 8 คน กลุ่มฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อตามวิธีแบบดั้งเดิม (Traditional hypertrophy resistance training group : TG) จำนวน 8 คน และกลุ่มควบคุมที่ฝึกซ้อมเฉพาะกีฬาฟุตบอล (Control group : CG) จำนวน 8 คน ใช้วิธีการจับคู่รายกลุ่ม (Group matching) การทดลองแบบอำพราง (Blinded experiment) เพื่อควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนที่จะทำให้ผลของการศึกษาเกิดความผิดพลาด เปรียบเทียบผลกระทบจากโปรแกรมการฝึกระหว่างกลุ่มทดลอง (PEG) กับกลุ่มฝึกตามวิธีแบบดั้งเดิม (TG) และกลุ่มควบคุม (CG) ในการพัฒนาสมรรถภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum strength) ความอดทนสูงสุดของกล้าม (Maximum endurance) พลังสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว (Maximum dynamic power) พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว (Maximum dynamic power endurance) และการวัดขนาดของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก (Local muscle circumference) ก่อนและภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ โดยกลุ่มตัวอย่าง

เดินทางมาทดสอบสมรรถภาพทางกายก่อนการฝึกที่สถาบันวิทยาศาสตร์การกีฬาพร้อมส่วนบำบัดทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา จำนวน 2 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 ทดสอบก่อนการฝึก (Pre-test) ช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. ทำการทดสอบชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง ประเมินองค์ประกอบของร่างกาย วัดขนาดเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อต้นขา ทดสอบพลังและความอดทนกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว ทดสอบหาความหนักสูงสุดที่ทำได้ในแต่ละท่าฝึก ทดสอบความอดทนสูงสุดที่ทำได้ในแต่ละท่าฝึก และทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน โดยเว้นระยะพักระหว่างการทดสอบแต่ละสถานี 20 นาที จากนั้นกลุ่มตัวอย่างพักอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนเข้าสู่โปรแกรมการฝึกในช่วงเช้าวันจันทร์และวันพฤหัสบดี เวลา 14.00 – 16.00 น. จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ก่อนกลับมาห้องปฏิบัติการ ฯ ครั้งที่ 2 ภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ (Post-test) และทดสอบด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบก่อนการฝึก เพื่อหาความแตกต่างของผลจากวิธีการฝึก เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม ขั้นตอนดำเนินการวิจัยแสดงในภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 การออกแบบการวิจัย

การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาฟุตบอลเพศชายในทีมเยาวชนระดับไทยลีก อายุระหว่าง 17 - 19 ปี มีประสบการณ์ฝึกซ้อมและแข่งขันฟุตบอลไม่น้อยกว่า 2 ปี อยู่ระหว่างเตรียมตัวเข้าร่วมการแข่งขันรายการฟุตบอลภายในประเทศ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้คล้ายกับการทดลองของอากูย่าและคณะ (Aguiar et al., 2015) ที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการฝึกด้วยแรงต้านโดยเพิ่มการฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาและยกจนกระทั่งหมดแรง จำนวน 1 เซต ก่อนการฝึกแรงต้านตามวิธีการแบบดั้งเดิม ในกลุ่มชายสุขภาพดี สามารถวัดผลการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อจากการฝึก 8 สัปดาห์ ผู้วิจัยจึงใช้อ้างอิงในการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยซอฟท์แวร์ G-Power 3.1.9.2 (G-Power statistical software version 3.1.9.2 ; Heinrich Heine University of Dusseldorf, Dusseldorf, Germany) (Faul, Erdfelder, Buchner, & Lang, 2009) ได้กำหนดค่า Conventional effect size ขนาดกลางไว้ที่ 0.35 อัตราส่วนความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อน (Error probability ratio) เท่ากับ 0.05 อำนาจการทดสอบ (Power) เท่ากับ 0.8 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 24 คน ผู้วิจัยทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) คัดเลือกตามข้อตกลงเบื้องต้นและทำการทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าเพื่อจัดเรียงข้อมูลและสุ่มแบบง่าย (Random sampling) เข้ากลุ่มทดลอง 8 คน กลุ่มฝึกตามวิธีแบบดั้งเดิม 8 คน และกลุ่มควบคุม 8 คน อายุ องค์ประกอบของร่างกาย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน ของกลุ่มตัวอย่างแสดงในตาราง 2

เกณฑ์การคัดเข้า

1. เป็นนักกีฬาฟุตบอลเพศชายในทีมเยาวชนระดับไทยลีก อายุระหว่าง 17 - 19 ปี อยู่ระหว่างเตรียมตัวเข้าร่วมการแข่งขันรายการฟุตบอลภายในประเทศ

2. เป็นนักกีฬาฟุตบอลที่มีประสบการณ์ในการเล่นฟุตบอลมาแล้วไม่น้อยกว่า 2 ปี

3. มีสมรรถภาพทางกายแข็งแรงและไม่มีอาการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อม หรือหายดีจากอาการบาดเจ็บก่อนเข้าร่วมการวิจัยอย่างน้อย 3 เดือน

4. ไม่เป็นมังสวิรัติ ไม่ได้ใช้ยาหรืออาหารเสริมเพื่อสร้างภูมิคุ้มกัน หรือสเตียรอยด์โคเอนไซม์เพื่อสร้างกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 6 เดือนก่อนเข้าทำการศึกษา

5. อาสาสมัครสามารถอ่านและเขียนภาษาไทยได้

เกณฑ์การคัดออก

1. มีอาการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อมที่ส่งผลต่อกระบวนการวิจัยและการทดสอบในช่วงระหว่างการดำเนินโครงการวิจัย

2. ไม่สามารถเข้าร่วมการฝึกซ้อมได้ครบร้อยละ 90 ของโปรแกรมทั้งหมด

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้วัด

1. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (TANITA Body Composition Analyzer, SC-330, TANITA Corporation of America, Inc. Arlington Heights, Ill, USA)

2. สายวัดขนาดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก

3. เครื่องทดสอบและออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก (CON-TREX® MJ, Isokinetic Dynamometer, CMV, Dubendorf, Switzerland)

4. เครื่องฝึกน้ำหนักต้นขาด้านหน้า (CYBEX Prestige Leg Extension, CYBEX International, Inc. Queen Adelaide, Ely CAMBS, UK)

5. เครื่องฝึกน้ำหนักต้นขาด้านหลังด้วยท่านั่ง (CYBEX Prestige Seated Leg Curl, CYBEX International, Inc. Queen Adelaide, Ely CAMBS, UK)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ติดต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ออกหนังสือขอความอนุเคราะห์กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยกับผู้จัดการทีมและหัวหน้าผู้ฝึกสอนกีฬา

2. ทำหนังสือขออนุญาตทำวิจัยในมนุษย์ไปยังคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการศึกษาวิจัย

3. จัดเตรียมสถานที่ อุปกรณ์ เอกสาร สำหรับการทดสอบและฝึกซ้อม

4. ทำการประชุมทีมวิจัยและผู้ช่วยเก็บข้อมูล เพื่อชี้แจ้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย แผนการดำเนินการวิจัย และฝึกปฏิบัติการฝึกตามโปรแกรมที่กำหนด

5. ประชุมชี้แจงโดยผู้วิจัยอธิบายข้อมูลให้กับอาสาสมัคร ถึงวัตถุประสงค์ แผนการดำเนินการวิจัย ชี้แจงเกี่ยวกับการฝึก กำหนดการและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

6. แจกเอกสารข้อมูลและแบบขอความยินยอมให้อาสาสมัครนำกลับไปพิจารณาก่อนตัดสินใจลงนามยินยอมเข้าร่วมโครงการ

7. ดำเนินตามกระบวนการวิจัย บันทึกข้อมูลสำหรับการนำไปวิเคราะห์ผล

8. สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย

ขั้นตอนการทดสอบ

1. การประเมินองค์ประกอบของร่างกาย

กลุ่มตัวอย่างรายงานตัวที่สถาบันวิทยาศาสตร์การกีฬาพร้อมส่วนบำบัดทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา เวลา 08.00 น. เพื่อทำการชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง และองค์ประกอบของร่างกายด้วยเครื่องวัดวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (TANITA Body Composition Analyzer, SC-330, TANITA Corporation of America, Inc. Arlington Heights, Ill, USA)

2. การวัดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ใช้ฝึก

จะทำการวัดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ใช้ฝึก (Local muscle circumference) จะวัดบริเวณต้นขาข้างที่ถนัด โดยกลุ่มตัวอย่างยืนตัวตรงให้น้ำหนักตัวกระจายบนเท้าทั้งสองข้างที่แยกห่างจากกันเล็กน้อย วัดเส้นรอบวงที่จุดกึ่งกลางต้นขาบริเวณเหนือกระดูกสะบ้า (Patella) 10 นิ้ว ด้วยเทปวัดแนบติดกับผิวหนังโดยไม่มีการกดลงไปในกล้ามเนื้อ บันทึกหน่วยเป็นเซนติเมตรเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูล (Clark, Lucett, & Kirkendall, 2010)

3. การทดสอบไอโซคิเนติกพลังสูงสุดและพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว

การทดสอบไอโซคิเนติกพลังสูงสุดและพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว (Maximum dynamic power and endurance isokinetic test) ทดสอบแรงเหยียดเข่าในท่านั่ง (Knee extension and flexion : seated) ด้วยเครื่องมือทดสอบและออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก (CON-TREX® MJ, Isokinetic Dynamometer, CMV, Dubendorf, Switzerland) กลุ่มตัวอย่างอบอุ่นร่างกาย 5 นาที โดยยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบหยุดนิ่งค้างไว้ (Static stretching) ในกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ต้นขาด้านหน้า และกล้ามเนื้อน่อง ประมาณ 2 นาที จากนั้นทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) ในกลุ่มกล้ามเนื้อเดิม 3 นาที จากนั้นพัก 2 นาที กลุ่มตัวอย่างนั่งบนเก้าอี้เครื่องทดสอบที่มีพนักพิงหลังประมาณ 85 องศา (0 องศา เท่ากับเหยียดตรงสุด) พร้อมสายรัดลำตัวติดกับพนักพิง สายรัดบริเวณกลางต้นขาติดกับเบาะที่นั่ง และติดสายรัดเหนือข้อเท้า 3 เซนติเมตร ติดกับแขนของเครื่องทดสอบ แขนทั้งสองข้างเหยียดตรงข้างลำตัว และใช้มือจับยึดบริเวณแท่นจับ มุมของข้อต่อเข่าในการทดสอบกล้ามเนื้อเหยียดเข่าอยู่ระหว่าง 80–10 องศา (0 องศา เท่ากับ เหยียดตรงสุด) กลุ่มตัวอย่างทดลองอบอุ่นร่างกายกับเครื่องมือ โดยการเตะขาจำนวน 3 ครั้ง ด้วยความหนักต่ำกว่าระดับสูงสุด (Sub maximum) ทดสอบหาพลังสูงสุดในมุมของ

ข้อต่อ ระหว่าง 80–10 องศา กำหนดความเร็วเชิงมุม 60 องศาต่อวินาที โดยผู้วิจัยกระตุ้นด้วยวาจาให้กลุ่มตัวอย่างเตะขาด้วยความแรงเต็มที่จนสุดองศาการเคลื่อนไหว (Knee extension) และดึงขากลับจนสุดมุม (Knee flexion) จำนวน 5 ครั้ง และทดสอบหาค่าเฉลี่ยพลังความอดทน (Fatigue test) ด้วยความเร็วเชิงมุม 180 องศาต่อวินาที จำนวน 20 ครั้ง โดยทดสอบในขาข้างที่ถนัด บันทึกข้อมูลและนำไปวิเคราะห์ผล โดยพลังสูงสุดเลือกวิเคราะห์จากค่าแรงบิดสูงสุด (Torque max) และพลังความอดทนสูงสุดเลือกวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยแรงบิดสูงสุด (Torque max average) (Maffiuletti, Bizzini, Desbrosses, Babault, & Munzinger, 2007)

4. การทดสอบหาค่าความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในแต่ละท่าฝึก

การทดสอบหาค่าความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1 Repetition maximum test) ในท่าบริหารกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Leg extension) ด้วยเครื่องฝึกน้ำหนัก (CYBEX Prestige Leg Extension, CYBEX International, Inc. Queen Adelaide, Ely CAMBS, UK) และท่าบริหารกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Leg curl) ด้วยเครื่องฝึกน้ำหนัก (CYBEX Prestige Seated Leg Curl, CYBEX International, Inc. Queen Adelaide, Ely CAMBS, UK) ด้วยวิธีการทดสอบพื้นฐานของแบเชิลและเอิร์ล (Baechle & Earle, 2008) เพื่อนำข้อมูลไปกำหนดโปรแกรมการฝึกและวิเคราะห์ผล โดยผู้วิจัยแนะนำให้กลุ่มตัวอย่างอบอุ่นร่างกายด้วยการยกน้ำหนักในแต่ละท่าทดสอบโดยใช้ความหนักระดับต่ำ จำนวน 5 – 10 ครั้ง จากนั้นพัก 1 นาที ผู้วิจัยประมาณการน้ำหนักที่จะเพิ่มให้กับกลุ่มตัวอย่างสำหรับการทดสอบยกน้ำหนักให้ได้จำนวนครั้งมากที่สุด ด้วยเทคนิคที่ถูกต้องเหมาะสม และนำน้ำหนักที่ยกได้มาคำนวณความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง จากสูตรคำนวณดังนี้

ความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง = น้ำหนักที่ยกได้ x [1 + (0.033 x จำนวนครั้งที่ยกได้)]

1 Repetition maximum = Weight x [1 + (0.033 x Number of repetitions)]

5. การทดสอบหาค่าความอดทนสูงสุดในแต่ละท่าฝึก

การทดสอบหาค่าความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Local muscular endurance test) โดยใช้น้ำหนักร้อยละ 60 ของความพยายามสูงสุด และยกจนกระทั่งหมดแรงในท่าบริหารกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Leg extension) และท่าบริหารกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Leg curl) (น้ำหนักร้อยละ 60 ของความพยายามสูงสุดจะระดมการทำงานทั้งกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วและชนิดหดตัวช้าได้ดีที่สุด) นับจำนวนครั้งที่ผู้ทดสอบทำได้และบันทึกผลเพื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ (Campos et al., 2002)

6. การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน

การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน ด้วยวิธีการทดสอบ โยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์ รีคัฟเวอรี่ 1 (Yo-Yo Intermittent Recovery : Yo-Yo IR1) ทดสอบภาคสนามโดยกลุ่มตัวอย่างจะต้องวิ่งไป – กลับ ระยะทาง 20 เมตร ตามความเร็วที่กำหนดจากสัญญาณเสียงของโปรแกรมการทดสอบโดยแต่ละเที่ยวจะพัก 10 วินาที ในเขตระยะ 5 เมตร ความเร็วของการทดสอบจะเริ่มต้นที่ 10.00 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างจะต้องวิ่งตามระดับความเร็วในจำนวนเที่ยวที่กำหนด และจะหยุดการทดสอบเมื่อไม่สามารถวิ่งทันสัญญาณเสียง และทำการบันทึกระยะทางทั้งหมดที่กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนทดสอบได้โดยใช้หน่วยเป็นเมตร (Bangsbo, Iaia, & Krustrup, 2008) นำไปคำนวณด้วยสมการดังนี้

โยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์ รีคัฟเวอรี่ 1 : ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มล./นาที/กก.) = ระยะทางที่วิ่งได้ (เมตร) x 0.0084 + 36.4

(Yo-Yo IR1: VO2max (mL/min/kg) = IR1 distance (m) × 0.0084 + 36.4

โปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้าน

โปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านได้ประยุกต์วิธีการฝึกจากการศึกษาของอากูย่าและคณะ (Aguiar et al., 2015) ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม ฝึกในรูปแบบเดียวกัน (2 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยใช้น้ำหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด 3 เซต เซตละ 10 ครั้ง พักระหว่างเซต 1 นาที รวมทั้งสิ้น 6 สัปดาห์) ความแตกต่างเพียงอย่างเดียวของโปรแกรมการฝึกในกลุ่มทดลอง คือ เสริมการฝึกด้วยน้ำหนักร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุดจำนวนหนึ่งเซต โดยยกจนกระทั่งหมดแรงและพัก 30 วินาที ก่อนการฝึกในแต่ละท่า การฝึกแต่ละครั้งเริ่มด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 3 นาที ในกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ต้นขาด้านหลัง กล้ามเนื้อน่อง ข้าเท้า เข่า ข้อมือ แขน และไหล่ จากนั้นอบอุ่นร่างกายกับอุปกรณ์ด้วยน้ำหนักเบา จำนวน 12 ครั้ง โดยผู้ฝึกเลือกน้ำหนักด้วยตนเอง ใช้เวลาประมาณ 1 นาที การฝึกกำหนดความเร็วในการยกด้วยเครื่องให้จังหวะสัญญาณความเร็วคงที่ระดับ 30 ครั้งต่อนาที (1 วินาที กล้ามเนื้อยืดยาว : 1 วินาที กล้ามเนื้อหดสั้น) ทำการฝึกในวันจันทร์และวันพฤหัสบดี เวลา 14.00-16.00 น. เก็บข้อมูลปริมาณการฝึกด้วยการบันทึกผลจำนวนครั้งในทุกการฝึก ภายหลังการฝึก กลุ่มตัวอย่างทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ประมาณ 5 นาที เป็นอันเสร็จสิ้นการฝึก รวมเวลาทั้งสิ้นในการฝึกแต่ละครั้งประมาณ 35 นาทีต่อคน การฝึกจะมีผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยควบคุมให้เป็นไปตามระเบียบวิธีการวิจัยและความปลอดภัยสำหรับกลุ่มตัวอย่าง การฝึกบริหารกล้ามเนื้อต้นขาจะใช้เครื่องฝึกกล้ามเนื้อ (CYBEX Prestige, CYBEX International, Inc. Queen Adelaide, Ely CAMBS, UK) รายละเอียดการฝึกมีดังนี้

- *ท่าบริหารกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Seated leg extension)* ฝึกในท่านั่งด้วยมุมของการเคลื่อนไหว 90°- 30° ของการเตะขาและดึงกลับ (0° เท่ากับ เข่าเหยียดตรงเต็มที่) (Aguiar et al., 2015)

- *ท่าบริหารกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Seated leg curl)* ฝึกในท่านั่งเริ่มต้นจากการนั่งลงบนเบาะ โดยให้หลังและก้นแนบสนิทกับเบาะ สอดขาทั้งสองข้างให้บริเวณของข้อเท้าอยู่บนเบาะรอง มือทั้งสองข้างกำด้ามจับเอาไว้ เพื่อไม่ให้ลำตัวลอยขึ้นระหว่างการฝึก ถือเป็น “ท่าเตรียม” เมื่อได้รับสัญญาณเริ่มให้ออกแรงดึงขาพับเข้าหาบริเวณสะโพกมากที่สุดก่อนกลับสู่ท่าเตรียม และฝึกจนครบตามจำนวนครั้ง (Sands et al., 2012)

จัดลำดับการฝึกแรงต้านตามลำดับท่าฝึกข้างต้นตามวิธีการของ (Spineti et al., 2010) และในแต่ละท่าฝึกปรับเพิ่มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ภายหลังสัปดาห์ที่ 2 และปรับเพิ่มอีก 2.5 กิโลกรัม ภายหลังสัปดาห์ที่ 4 เพื่อความเหมาะสมต่อการสร้างความแข็งแรงกล้ามเนื้อ (ACSM, 2009)

ปริมาณการฝึก

ผู้วิจัยทำการบันทึกปริมาณการฝึกของกลุ่มตัวอย่างในทุกครั้งของการฝึกเพื่อประเมินความก้าวหน้าและจัดเก็บข้อมูลปริมาณการฝึก โดยกลุ่มทดลองจะยกน้ำหนักด้วยความหนัก ร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด จนกระทั่งหมดแรงและขอหยุดด้วยความสมัครใจ จำนวน 1 เซต ก่อนฝึกยกน้ำหนักแบบดั้งเดิมให้ครบสมบูรณ์ด้วยความหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุดอีก 3 เซต เซตละ 10 ครั้ง ขณะที่กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิมจะต้องฝึกด้วยความหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด จำนวน 3 เซต เซตละ 10 ครั้ง การคำนวณปริมาณการฝึกทั้งหมดกระทำด้วยสมการดังนี้

1. ปริมาณการฝึกกลุ่มทดลอง (PEG group) = [เซตหมดแรง น้ำหนัก (Load) x ครั้ง (Repetitions)] + [ฝึกแบบดั้งเดิม น้ำหนัก (Load) x ครั้ง (Repetitions) x เซต (Sets)]

2. ปริมาณการฝึกกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG group) = [ฝึกแบบดั้งเดิม น้ำหนัก (Load) x ครั้ง (Repetitions) x เซต (Sets)]

การควบคุมอาหารและการออกกำลังกาย

เพื่อป้องกันผลข้างเคียงของอาหารและการออกกำลังกายที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมน ในการทดสอบก่อนและภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับคำแนะนำให้งดการออกกำลังกายและการฝึกซ้อมกีฬาทุกชนิดก่อนเข้ารับการทดสอบ และจะต้องบันทึกรายการอาหารที่บริโภคทุกมื้อก่อนการทดสอบ โดยกำหนดรายการอาหารให้เป็นรายการเดียวกัน นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างต้องงดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน งดการสูบบุหรี่ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน

2. ทดสอบความเป็นปกติของการแจกแจงข้อมูลด้วยสถิติชาพิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test)

3. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อ พลังและพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว และการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent sample) ใน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ (3 trials x 2 times) นำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เลือกใช้สถิติชนิดใช้พารามิเตอร์ (Parametric tests) กรณีการแจกแจงข้อมูลเป็นโค้งปกติ และเลือกใช้การทดสอบค่าเอฟ (F-test) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way analysis of variance) เมื่อพบความมีนัยสำคัญของข้อมูลจะใช้การเปรียบเทียบเป็นรายคู่โดยใช้การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison test) ตามวิธีของทูกีย์ (Tukey 's A test) และเปรียบเทียบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงพัฒนาการของตัวแปรต่าง ๆ คำนวณจากสมการ (% การเปลี่ยนแปลง เท่ากับ [หลังการฝึก – ก่อนการฝึก]/ ก่อนการฝึก x 100)

4. กรณีการแจกแจงข้อมูลของตัวแปรใดไม่เป็นไปตามโค้งปกติจะเลือกใช้สถิติชนิดไม่ใช้พารามิเตอร์ (Nonparametric tests) ด้วยวิธีการทดสอบของครัสคาลและวัลลิส (The Kruskal-wallis One-way analysis of variance by rank test)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (α เท่ากับ 0.05) โดยใช้ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS version 26, IBM, Chicago, Illinois, United States of America)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านในรูปแบบที่แตกต่างกันที่มีต่อการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล ผู้วิจัยได้คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามข้อตกลงเบื้องต้น จำนวน 24 คน เก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 โดยคัดกลุ่มตัวอย่างออก จำนวน 2 คน (เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกไม่ครบร้อยละ 90) ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 22 คน มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และนำเสนอผลลัพธ์ในรูปแบบตารางประกอบความเรียง แบ่งการนำเสนอเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics) ปริมาณการฝึก (Training Volume) และน้ำหนักที่ใช้ฝึก (Training Load)

ส่วนที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ในการทดสอบความแข็งแรงสูงสุด ความอดทนสูงสุด การวัดขนาดของเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก พลังสูงสุดและพลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance) และวัดผลความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม (Within-subject design) ในการทดสอบด้วยสถิติทดสอบความแตกต่างของข้อมูล 2 ชุดที่ไม่เป็นอิสระจากกัน (Paired samples t- test) โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยกำหนดสัญลักษณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อความเข้าใจในการแปลความหมายของผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

$\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

SDแทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

p แทน ค่านัยสำคัญของการทดสอบ (Significance test)

* แทน การมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์

† แทน การมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง (PEG) กับกลุ่มควบคุม (CG)

‡ แทน การมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) กับกลุ่มควบคุม (CG)

แทน การมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง (PEG) กับกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics) ปริมาณการฝึก (Training volume) และน้ำหนักที่ใช้ฝึก (Training load)

ตาราง 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะทางกายภาพกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะทางกายภาพ	กลุ่มทดลอง (PEG: N = 7)		กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG: N = 8)		กลุ่มควบคุม (CG: N = 7)	
	($\bar{X}$)	(SD)	($\bar{X}$)	(SD)	($\bar{X}$)	(SD)
อายุ (ปี)	18.3	± 0.29	18.2	± 0.27	18.4	± 0.19
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	174.18	± 1.84	173.45	± 1.91	173.94	± 3.52
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	67.67	± 2.32	64.63	± 2.68	67.71	± 2.72
ไขมันในร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	11.18	± 1.69	9.95	± 0.85	12.14	± 1.46
ชีพจรขณะพัก (ครั้ง/นาที)	66.57	± 2.38	70.75	± 3.17	69.42	± 2.81
ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (มล./กก./นาที)	53.72	± 0.68	50.38	± 1.35	52.62	± 0.81

จากตาราง 2 พบว่า ในกลุ่มทดลอง (PEG) อายุเฉลี่ย 18.3 ± 2.93 ปี มีส่วนสูงเฉลี่ย 174.18 ± 1.84 เซนติเมตร มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 67.67 ± 2.32 กิโลกรัม มีไขมันในร่างกายเฉลี่ย 11.18 ± 1.69 เปอร์เซ็นต์ มีชีพจรขณะพักเฉลี่ย 66.57 ± 2.38 ครั้ง/นาที และมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 53.72 ± 0.68 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที

ในกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) อายุเฉลี่ย 18.2 ± 2.77 ปี มีส่วนสูงเฉลี่ย 173.45 ± 1.91 เซนติเมตร มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 64.63 ± 2.68 กิโลกรัม มีไขมันในร่างกายเฉลี่ย 9.95 ± 0.85 เปอร์เซ็นต์ มีชีพจรขณะพักเฉลี่ย 70.75 ± 3.17 ครั้ง/นาที และมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 50.38 ± 1.35 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที

ในกลุ่มควบคุม (CG) อายุเฉลี่ย 18.4 ± 1.97 ปี มีส่วนสูงเฉลี่ย 173.94 ± 3.52 เซนติเมตร มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 67.71 ± 2.72 กิโลกรัม มีไขมันในร่างกายเฉลี่ย 12.14 ± 1.46 เปอร์เซ็นต์ มีชีพจรขณะพักเฉลี่ย 69.42 ± 2.81 ครั้ง/นาที และมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 52.62 ± 0.81 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที

ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปริมาณการฝึก (Training Volume) และน้ำหนักที่ใช้ฝึก (Training Load)

ท่าฝึก	กลุ่ม	เซตหมดแรง		เซตดั้งเดิม		รวม
		น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ปริมาณ (ครั้ง)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ปริมาณ (ครั้ง)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
ต้นขาด้านหน้า	PEG	32 ± 3.35	64 ± 2.81	119 ± 12.58	10	6,496 ± 730
(Leg Extensions)	TG	-	-	122 ± 12.49	10	3,797 ± 375
	CG	-	-	-	-	-
ต้นขาด้านหลัง	PEG	21 ± 2.44	55 ± 2.76	80 ± 9.15	10	4,227 ± 483
(Leg Curls)	TG	-	-	78 ± 8.73	10	2,462 ± 282
	CG	-	-	-	-	-

ปริมาณการฝึก (Training volume) **และน้ำหนักที่ใช้ฝึก** (Training load)

จากตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการฝึก และน้ำหนักที่ใช้ฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าในท่า Leg Extensions พบว่าในกลุ่มทดลอง (PEG) ที่มีการฝึกเสริมด้วยน้ำหนักร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด จำนวน 1 เซต ใช้น้ำหนักในการฝึกเฉลี่ย 32 $\pm$ 3.35 กิโลกรัม จำนวนครั้งในการยกเฉลี่ย 64 $\pm$ 2.81 ครั้ง จนกระทั่งหมดแรง ก่อนจะฝึกโดยใช้น้ำหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด อีก 3 เซต ใช้น้ำหนักเฉลี่ย 119 $\pm$ 12.58 กิโลกรัม จำนวนครั้งในการยก 10 ครั้ง ทำการฝึกทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง รวมน้ำหนักทั้งสิ้นในการฝึกเฉลี่ย 6,496 $\pm$ 730 กิโลกรัม ในขณะที่กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) ฝึกโดยใช้น้ำหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด 3 เซต ใช้น้ำหนักเฉลี่ย 122 $\pm$ 12.49 กิโลกรัม จำนวนครั้งในการยก 10 ครั้ง ทำการฝึกทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ สัปดาห์ ละ 2 ครั้ง รวมน้ำหนักทั้งสิ้นในการฝึกเฉลี่ย 3,797 $\pm$ 375 กิโลกรัม

สำหรับการฝึกกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังในท่า Leg curls พบว่าในกลุ่มทดลอง (PEG) ที่มีการฝึกเสริมด้วยน้ำหนักร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด จำนวน 1 เซต ใช้น้ำหนักเฉลี่ย 21 $\pm$ 2.44 กิโลกรัม จำนวนครั้งในการยกเฉลี่ย 55 $\pm$ 2.76 ครั้ง จนกระทั่งหมดแรง ก่อนจะฝึกโดยใช้น้ำหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด อีก 3 เซต ใช้น้ำหนักเฉลี่ย 80 $\pm$ 9.15 กิโลกรัม จำนวนครั้งในการยก 10 ครั้ง ทำการฝึกทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง รวมน้ำหนักทั้งสิ้นในการฝึกเฉลี่ย 4,227 $\pm$ 483 กิโลกรัม ในขณะที่กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) ฝึกโดยใช้น้ำหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด 3 เซต ใช้น้ำหนักเฉลี่ย 78 $\pm$ 8.73 กิโลกรัม จำนวนครั้งในการยก 10 ครั้ง รวมน้ำหนักทั้งสิ้นในการฝึกเฉลี่ย 2,462 $\pm$ 282 กิโลกรัม

ส่วนที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ในการทดสอบความแข็งแรงสูงสุด ความอดทนสูงสุด การวัดขนาดเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก การทดสอบไอโซคิเนติกพลังสูงสุดและพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	79.305	2	39.653	.152	.860
	ภายในกลุ่ม	4963.786	19	261.252		
	รวมทั้งหมด	5043.091	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	3151.461	2	1575.731	4.351	.028*
	ภายในกลุ่ม	6880.357	19	362.124		
	รวมทั้งหมด	10031.818	21			

จากตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่ และความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม ดังตาราง 4.1 และ 4.2

ตาราง 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (กิโลกรัม) ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

การเปรียบเทียบรายคู่	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง		p	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG)	4.53	21.25	.852	.105
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มควบคุม (CG)	3.14	28.85†	.930	.027†
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) : กลุ่มควบคุม (CG)	1.39	7.60	.985	.724

จากตาราง 4.1 พบความแตกต่างของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการฝึก ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 4.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และค่าเฉลี่ยความแตกต่างภายในกลุ่มของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (กิโลกรัม)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	158.71 ± 16.80	193.00 ± 19.68	21.88 ± 7.87	34.28 ± 11.78	.000*
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	163.25 ± 16.53	171.75 ± 22.46	4.99 ± 4.42	8.50 ± 8.17	.022*
กลุ่มควบคุม	161.85 ± 15.02	164.14 ± 13.05	1.53 ± 1.95	2.28 ± 2.98	.089

จากตาราง 4.2 พบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (158.71 ± 16.80 และ 193.00 ± 19.68 กิโลกรัม) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (163.25 ± 16.53 และ 171.75 ± 22.46 กิโลกรัม) และกลุ่มควบคุม (161.85 ± 15.02 และ 164.14 ± 13.05 กิโลกรัม) ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มทดลอง และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม ที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มควบคุม

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	179.292	2	89.646	.619	.549
	ภายในกลุ่ม	2752.571	19	144.872		
	รวมทั้งหมด	2931.864	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	1904.826	2	952.413	4.241	.030*
	ภายในกลุ่ม	4266.446	19	224.550		
	รวมทั้งหมด	6171.273	21			

จากตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่และความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม ดังตาราง 5.1 และ 5.2

ตาราง 5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (กิโลกรัม) ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

การเปรียบเทียบรายคู่	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง		p	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG)	3.35	15.76	.853	.131
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มควบคุม (CG)	3.57	22.71†	.845	.027†
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) : กลุ่มควบคุม (CG)	6.92	6.94	.518	.649

จากตาราง 5.1 พบความแตกต่างของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการฝึก ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 5.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และค่าเฉลี่ยความแตกต่างภายในกลุ่มของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (กิโลกรัม)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	106.85 ± 11.96	134.14 ± 13.86	25.75 ± 5.55	27.28 ± 5.46	.000*
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	103.50 ± 11.77	118.37 ± 18.36	14.14 ± 9.66	14.87 ± 10.53	.005*
กลุ่มควบคุม	110.42 ± 12.40	111.42 ± 11.20	1.04 ± 2.20	1.00 ± 2.30	.296

จากตาราง 5.2 พบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (106.85 ± 11.96 และ 134.14 ± 13.86 กิโลกรัม) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (103.50 ± 11.77 และ 118.37 ± 18.36 กิโลกรัม) และกลุ่มควบคุม (110.42 ± 12.40 และ 111.42 ± 11.20 กิโลกรัม) ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มทดลอง และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม ที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มควบคุม

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	6.234	2	3.117	.507	.610
	ภายในกลุ่ม	116.857	19	6.150		
	รวมทั้งหมด	123.091	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	331.071	2	165.536	10.247	.001*
	ภายในกลุ่ม	306.929	19	16.154		
	รวมทั้งหมด	638.000	21			

จากตาราง 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่และความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มดังตาราง 6.1 และ 6.2

ตาราง 6.1 แสดงผลการเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (ครั้ง) ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

การเปรียบเทียบรายคู่	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง		p	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG)	0.00	5.25	1.000	.052
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มควบคุม (CG)	1.14	9.71†	.670	.001†
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) : กลุ่มควบคุม (CG)	1.14	4.46	.653	.107

จากตาราง 6.1 พบความแตกต่างของความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการฝึก ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 6.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และค่าเฉลี่ยความแตกต่างภายในกลุ่มของความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (ครั้ง)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	23.00 ± 2.58	35.00 ± 4.43	52.15 ± 8.20	12.00 ± 2.38	.000*
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	23.00 ± 3.07	29.75 ± 5.09	29.06 ± 8.98	6.75 ± 2.65	.000*
กลุ่มควบคุม	24.14 ± 1.34	25.28 ± 1.11	4.82 ± 2.98	1.14 ± 0.69	.005*

จากตาราง 6.2 พบค่าเฉลี่ยความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (23.00 $\pm$ 2.58 และ 35.00 $\pm$ 4.43 ครั้ง) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (23.00 $\pm$ 3.07 และ 29.75 $\pm$ 5.09 ครั้ง) และกลุ่มควบคุม (24.14 $\pm$ 1.34 และ 25.28 $\pm$ 1.11 ครั้ง) ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	68.026	2	34.013	2.421	.116
	ภายในกลุ่ม	266.929	19	14.049		
	รวมทั้งหมด	334.955	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	424.461	2	212.231	8.386	.002*
	ภายในกลุ่ม	480.857	19	25.308		
	รวมทั้งหมด	905.318	21			

จากตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่และความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม ดังตาราง 7.1 และ 7.2

ตาราง 7.1 แสดงผลการเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (ครั้ง) ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

การเปรียบเทียบรายคู่	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง		p	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG)	3.25	0.85	.240	.942
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มควบคุม (CG)	0.71	9.85†	.933	.004†
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) : กลุ่มควบคุม (CG)	3.96	9.00‡	.129	.007‡

จากตาราง 7.1 พบความแตกต่างของความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการฝึก ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 7.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และค่าเฉลี่ยความแตกต่างภายในกลุ่มของความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (ครั้ง)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	25.00 ± 3.69	34.85 ± 5.14	39.52 ± 8.12	9.85 ± 2.19	.000*
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	28.25 ± 3.53	34.00 ± 5.68	20.16 ± 11.14	5.75 ± 3.28	.002*
กลุ่มควบคุม	24.28 ± 4.02	25.00 ± 4.00	3.14 ± 4.33	0.71 ± 0.95	.094

จากตาราง 7.2 พบค่าเฉลี่ยความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (25.00 ± 3.69 และ 34.85 ± 5.14 ครั้ง) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (28.25 ± 3.53 และ 34.00 ± 5.68 ครั้ง) และกลุ่มควบคุม (24.28 ± 4.02 และ 25.00 ± 4.00 ครั้ง) ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม ที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มควบคุม

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบวัดขนาดเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึกระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	18.920	2	9.460	1.037	.374
	ภายในกลุ่ม	173.249	19	9.118		
	รวมทั้งหมด	192.170	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	8.521	2	4.260	.465	.635
	ภายในกลุ่ม	174.178	19	9.167		
	รวมทั้งหมด	182.699	21			

จากตาราง 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวัดขนาดเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึกระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 8.1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และความแตกต่างภายในกลุ่มของการวัดขนาดเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก (เซนติเมตร)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	52.90 $\pm$ 1.29	53.11 $\pm$ 1.27	0.41 $\pm$ 0.71	0.21 $\pm$ 0.38	.187
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	52.47 $\pm$ 1.23	52.82 $\pm$ 1.23	0.68 $\pm$ 1.40	0.35 $\pm$ 0.74	.223
กลุ่มควบคุม	54.62 $\pm$ 0.66	54.27 $\pm$ 0.69	-0.66 $\pm$ 0.93	0.35 $\pm$ 0.50	.113

จากตาราง 8.1 พบค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (52.90 $\pm$ 1.29 และ 53.11 $\pm$ 1.27 เซนติเมตร) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (52.47 $\pm$ 1.23 และ 52.82 $\pm$ 1.23 เซนติเมตร) และกลุ่มควบคุม (54.62 $\pm$ 0.66 และ 54.27 $\pm$ 0.69 เซนติเมตร) ตามลำดับ และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มทั้ง 3 กลุ่ม

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบไอโซคิเนติกของพลังสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	144.305	2	72.153	.134	.875
	ภายในกลุ่ม	10218.569	19	537.819		
	รวมทั้งหมด	10362.875	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	5157.739	2	2578.869	3.392	.055
	ภายในกลุ่ม	14444.434	19	760.233		
	รวมทั้งหมด	19602.173	21			

จากตาราง 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 9.1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และความแตกต่างภายในกลุ่มของพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว (นิวตัน-เมตร)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	201.77 ± 22.11	236.24 ± 30.97	16.94 ± 5.97	34.47 ± 13.03	.000*
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	197.92 ± 27.13	208.75 ± 28.55	5.57 ± 5.23	10.82 ± 10.24	.020*
กลุ่มควบคุม	195.40 ± 18.84	199.45 ± 22.28	1.99 ± 4.18	4.05 ± 7.62	.209

จากตาราง 9.1 พบค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (201.77 ± 22.11 และ 236.24 ± 30.97 นิวตัน-เมตร) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (197.92 ± 27.13 และ 208.75 ± 28.55 นิวตัน-เมตร) และกลุ่มควบคุม (195.40 ± 18.84 และ 199.45 ± 22.28 นิวตัน-เมตร) ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายในกลุ่มทดลองและกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มควบคุม

ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	1444.950	2	722.475	1.302	.295
	ภายในกลุ่ม	10539.829	19	554.728		
	รวมทั้งหมด	11984.778	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	16962.014	2	8481.007	8.403	.002*
	ภายในกลุ่ม	19177.020	19	1009.317		
	รวมทั้งหมด	36139.035	21			

จากตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่และความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม ดังตาราง 10.1 และ 10.2

ตาราง 10.1 แสดงผลการเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยของพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว (นิวตัน-เมตร) ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

การเปรียบเทียบรายคู่	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง		p	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG)	11.10	37.64	.640	.082
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มควบคุม (CG)	20.28	69.52†	.265	.002†
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) : กลุ่มควบคุม (CG)	9.18	31.88	.735	.155

จากตาราง 10.1 พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการฝึก ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 10.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และความแตกต่างภายในกลุ่มของพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว (นิวตัน-เมตร)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	148.90 ± 26.03	204.25 ± 35.29	37.56 ± 9.90	55.35 ± 15.53	.000*
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	137.80 ± 24.92	166.61 ± 37.67	20.41 ± 12.68	28.81 ± 18.76	.003*
กลุ่มควบคุม	128.61 ± 18.81	134.72 ± 17.16	5.01 + 4.01	6.11 + 5.00	.018*

จากตาราง 10.2 พบค่าเฉลี่ยของพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหวก่อนการฝึก และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (166.04 ± 46.24 และ 204.25 ± 35.29 นิวตัน-เมตร) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (142.80 ± 32.68 และ 166.61 ± 37.67 นิวตัน-เมตร) และกลุ่มควบคุม (128.61 ± 18.81 และ 134.72 ± 17.16 นิวตัน-เมตร) ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุมที่ระดับ .05

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	1212.615	2	606.307	.954	.403
	ภายในกลุ่ม	12077.278	19	635.646		
	รวมทั้งหมด	13289.893	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	5091.906	2	2545.953	3.759	.042*
	ภายในกลุ่ม	12868.757	19	677.303		
	รวมทั้งหมด	17960.664	21			

จากตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่และความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม ดังตาราง 11.1 และ 11.2

ตาราง 11.1 แสดงผลการเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว (นิวตัน-เมตร) ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

การเปรียบเทียบรายคู่	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง		p	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG)	16.01	29.31	.452	.101
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มควบคุม (CG)	15.85	35.50†	.481	.049†
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) : กลุ่มควบคุม (CG)	0.15	6.18	1.000	.891

จากตาราง 11.1 พบความแตกต่างของพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการฝึก ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 11.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลงและค่าเฉลี่ยความแตกต่างภายในกลุ่มของพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว (นิวตัน-เมตร)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	155.48 $\pm$ 28.33	181.62 $\pm$ 27.78	17.87 $\pm$ 13.63	26.14 $\pm$ 15.57	.004*
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	139.47 $\pm$ 24.16	152.31 $\pm$ 26.94	9.37 $\pm$ 7.50	12.83 $\pm$ 10.48	.011*
กลุ่มควบคุม	139.62 $\pm$ 22.98	146.12 $\pm$ 22.93	4.77 + 1.86	6.50 + 2.32	.000*

จากตาราง 11.2 พบค่าเฉลี่ยของพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหวก่อนการฝึก และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (155.48 $\pm$ 28.33 และ 181.62 $\pm$ 27.78 นิวตัน-เมตร) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (139.47 $\pm$ 24.16 และ 152.31 $\pm$ 26.94 นิวตัน-เมตร) และกลุ่มควบคุม (139.62 $\pm$ 22.98 และ 146.12 $\pm$ 22.93 นิวตัน-เมตร) ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม

แหล่งความแปรปรวน		SS	df	MS	F	p
ก่อนการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	84.551	2	42.276	.079	.925
	ภายในกลุ่ม	10229.574	19	538.399		
	รวมทั้งหมด	10314.126	21			
หลังการฝึก	ระหว่างกลุ่ม	7728.477	2	3864.238	8.967	.002*
	ภายในกลุ่ม	8188.033	19	430.949		
	รวมทั้งหมด	15916.510	21			

จากตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่และความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม ดังตาราง 12.1 และ 12.2

ตาราง 12.1 แสดงผลการเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว (นิวตัน-เมตร) ก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

การเปรียบเทียบรายคู่	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง		p	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG)	2.84	39.89#	.970	.004#
กลุ่มทดลอง (PEG) : กลุ่มควบคุม (CG)	1.85	40.62†	.988	.005†
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (TG) : กลุ่มควบคุม (CG)	4.70	0.73	.919	.997

จากตาราง 12.1 พบความแตกต่างของพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการฝึก ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิมและกลุ่มควบคุม ที่ระดับ .05

ตาราง 12.2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลงและค่าเฉลี่ยความแตกต่างภายในกลุ่มของพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว (นิวตัน-เมตร)

การเปรียบเทียบรายคู่	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	p
กลุ่มทดลอง	125.15 ± 32.60	168.62 ± 27.00	39.74 ± 30.41	43.47 ± 24.78	.004*
กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม	122.31 ± 14.90	128.73 ± 13.67	5.44 ± 2.92	6.42 ± 3.01	.001*
กลุ่มควบคุม	127.01 ± 19.56	128.00 ± 20.42	0.76 + 3.44	0.98 + 4.40	.576

จากตาราง 12.2 พบค่าเฉลี่ยของพลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ก่อนการฝึก และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มทดลอง (125.15 ± 32.60 และ 168.62 ± 27.00 นิวตัน-เมตร) กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม (122.31 ± 14.90 และ 128.73 ± 13.67 นิวตัน-เมตร) และกลุ่มควบคุม (127.01 ± 19.56 และ 128.00 ± 20.42 นิวตัน-เมตร) ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มทดลอง และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม ที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในกลุ่มควบคุม

ตาราง 13 แสดงผลภาพรวมของการทดสอบสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscle performance)

การทดสอบ *สมรรถภาพกล้ามเนื้อ*	กลุ่ม	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก 6 สัปดาห์	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	ค่า p ภายในกลุ่ม	ค่า p ระหว่างกลุ่ม
ความแข็งแรงสูงสุดกล้ามเนื้อ	PEG	158.71 ± 16.80	193.00 ± 19.68	21.88 ± 7.87	34.28 ± 11.78	.000*	.027†
ต้นขาด้านหน้า	TG	163.25 ± 16.53	171.75 ± 22.46	4.99 ± 4.42	8.50 ± 8.17	.022*	
(กิโลกรัม)	CG	161.85 ± 15.02	164.14 ± 13.05	1.53 ± 1.95	2.28 ± 2.98	.089	.027†
ความแข็งแรงสูงสุดกล้ามเนื้อ	PEG	106.85 ± 11.96	134.14 ± 13.86	25.75 ± 5.55	27.28 ± 5.46	.000*	.027†
ต้นขาด้านหลัง	TG	103.50 ± 11.77	118.37 ± 18.36	14.14 ± 9.66	14.87 ± 10.53	.005*	
(กิโลกรัม)	CG	110.42 ± 12.40	111.42 ± 11.20	1.04 ± 2.20	1.00 ± 2.30	.296	.027†
ความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อ	PEG	23.00 ± 2.58	35.00 ± 4.43	52.15 ± 8.20	12.00 ± 2.38	.000*	.001†
ต้นขาด้านหน้า	TG	23.00 ± 3.07	29.75 ± 5.09	29.06 ± 8.98	6.75 ± 2.65	.000*	
(ครั้ง)	CG	24.14 ± 1.34	25.28 ± 1.11	4.77 ± 1.86	1.14 ± 0.69	.005*	.001†
ความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อ	PEG	25.00 ± 3.69	34.85 ± 5.14	39.52 ± 8.12	9.85 ± 2.19	.000*	.004†
ต้นขาด้านหลัง	TG	28.25 ± 3.53	34.00 ± 5.68	20.16 ± 11.14	5.75 ± 3.28	.002*	.007‡
(ครั้ง)	CG	24.28 ± 4.02	25.00 ± 4.00	3.14 ± 4.33	0.71 ± 0.95	.094	.004† .007‡
การวัดขนาด	PEG	52.90 ± 1.29	53.11 ± 1.27	0.41 ± 0.71	0.21 ± 0.38	.187	
กล้ามเนื้อที่ใช้ฝึก	TG	52.47 ± 1.23	52.82 ± 1.23	0.68 ± 1.40	0.35 ± 0.74	.223	
(เซนติเมตร)	CG	54.62 ± 0.66	54.27 ± 0.69	-0.46 ± 0.85	0.35 ± 0.50	.113	

ตาราง 13 (ต่อ)

การทดสอบ *สมรรถภาพกล้ามเนื้อ*	กลุ่ม	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก 6 สัปดาห์	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง	ค่า p ภายในกลุ่ม	ค่า p ระหว่างกลุ่ม
พลังสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว (เมตร-นิวตัน)	PEG	201.77 ± 22.11	236.24 ± 30.97	16.94 ± 5.97	34.47 ± 13.03	.000*	
	TG	197.92 ± 27.13	208.75 ± 28.55	5.57 ± 5.23	10.82 ± 10.24	.020*	
	CG	195.40 ± 18.84	199.45 ± 22.28	1.99 ± 4.18	4.05 ± 7.62	.209	
พลังสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว (เมตร-นิวตัน)	PEG	148.90 ± 26.03	204.25 ± 35.29	37.56 ± 9.90	55.35 ± 15.53	.000*	.002†
	TG	137.80 ± 24.92	166.61 ± 37.67	20.41 ± 12.68	28.81 ± 18.76	.003*	
	CG	128.61 ± 18.81	134.72 ± 17.16	5.01 + 4.01	6.11 + 5.00	.018*	.002†
พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว (เมตร-นิวตัน)	PEG	155.48 ± 28.33	181.62 ± 27.78	17.87 ± 13.63	26.14 ± 15.57	.004*	.049†
	TG	139.47 ± 24.16	152.31 ± 26.94	9.37 ± 7.50	12.83 ± 10.48	.011*	
	CG	139.62 ± 22.98	146.12 ± 22.93	5.08 + 1.82	6.50 + 2.32	.000*	.049†
พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว (เมตร-นิวตัน)	PEG	125.15 ± 32.60	168.62 ± 27.00	39.74 ± 30.41	43.47 ± 24.78	.004*	.004# .005†
	TG	122.31 ± 14.90	128.73 ± 13.67	5.44 ± 2.92	6.42 ± 3.01	.001*	.004#
	CG	127.01 ± 19.56	128.00 ± 20.42	0.76 + 3.44	0.98 + 4.40	.576	.005†

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p \leq 0.05$) เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

† แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p \leq 0.05$) เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง)PEG) กับกลุ่มควบคุม)CG)

‡ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p \leq 0.05$) เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม) TG) กับกลุ่มควบคุม) CG)

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p \leq 0.05$) เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง)PEG) กับกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม)TG)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านในรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มทดลองที่เสริมการฝึกด้วยน้ำหนักร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุดและยกจนกระทั่งหมดแรง จำนวน 1 เซต ก่อนจะฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อตามวิธีการแบบดั้งเดิมโดยใช้น้ำหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุดอีกจำนวน 3 เซต ยกเซตละ 10 ครั้ง รวมการฝึกทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับกลุ่มฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุมที่ฝึกซ้อมเฉพาะกีฬาฟุตบอล โดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ภายในกลุ่มทดลอง และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และไม่พบความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มควบคุม

2. ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ระหว่างกลุ่มทดลอง กับกลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม

3. ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ภายในกลุ่มทดลอง และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และไม่พบความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มควบคุม

4. ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ระหว่างกลุ่มทดลอง กับกลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม

5. ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าภายในกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

6. ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ระหว่างกลุ่มทดลอง กับกลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม

7. ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ภายในกลุ่มทดลอง และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และไม่พบความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มควบคุม

8. ความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ระหว่างกลุ่มทดลอง กับกลุ่มควบคุม และระหว่างกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม

9. การปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่พบความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่ม และไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มในทุกการทดสอบ

10. พลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ภายในกลุ่มทดลอง และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และไม่พบความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มควบคุม และไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มในทุกการทดสอบ

11. พลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ภายในกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

12. พลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง กลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม

13. พลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ภายในกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

14. พลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม

15. พลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ภายในกลุ่มทดลอง กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และไม่พบความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มควบคุม

16. พลังความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังแบบเคลื่อนไหว ระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม และระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลจากการฝึกด้วยแรงต้าน โดยเพิ่มการฝึกด้วยน้ำหนักร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด และยกจนกระทั่งหมดแรง จำนวน 1 เซต ก่อนการฝึกแรงต้านต่อเนื่องตามวิธีการฝึกเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อแบบดั้งเดิม ที่ใช้น้ำหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด โดยยกจำนวน 10 ครั้ง อีก 3 เซต ที่มีต่อการเพิ่มสมรรถภาพกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล ซึ่งสมมุติฐานการวิจัยครั้งนี้ ได้ให้ความสนใจผลของการเสริมการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักเบาตามหลักการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (Principally of type I fibers) และยกจนกระทั่งหมดแรง จะส่งผลต่อการเพิ่มกระบวนการเผาผลาญพลังงานและระดมการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมากยิ่งขึ้น เมื่อทำการฝึกแรงต้านแบบดั้งเดิมต่อเนื่อง (ACSM, 2009; Aguiar et al., 2015; Sale, 1987)

ด้านการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุด (Maximum Strength) ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า การฝึกแรงต้านเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทั้งกลุ่มตัวอย่างที่เสริมการฝึกแรงต้าน ในรูปแบบการฝึกเสริมเซตหมดแรง จำนวน 1 เซต (PEG) และกลุ่มฝึกแรงต้านแบบดั้งเดิม (TG) มีแนวโน้มพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า และกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (CG) ที่ฝึกซ้อมตามโปรแกรมฟุตบอลปกติ ถึงแม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการฝึกแรงต้านทั้งสองรูปแบบ แต่เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการเพิ่มความแข็งแรงสูงสุด จากค่าร้อยละความเปลี่ยนแปลง (Δ %) พบว่า กลุ่มทดลองที่ฝึกเสริมเซตหมดแรงให้ผลในการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าได้ดีกว่า กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม และกลุ่มควบคุม (PEG 21.88 $\pm$ 7.87 TG 4.99 $\pm$ 4.42 และ CG 1.53 $\pm$ 1.95 Δ %) และความแข็งแรงสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (PEG 25.75 $\pm$ 5.55 TG 14.14 $\pm$ 9.66 และ TG 1.04 $\pm$ 2.20 Δ %) สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ที่ได้ทดลองวิธีฝึกด้วยแรงต้านสำหรับนักกีฬาประเภททีมในระดับ

มหาวิทยาลัย จำนวน 32 คน แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักร้อยละ 75 ของความพยายามสูงสุด 8 ครั้ง ต่อเซต โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ในการพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อ ระหว่างปริมาณการฝึกน้อย ปานกลาง มาก และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการฝึกแรงต้าน ผลพบว่าการฝึกแรงต้านในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลสัมพันธ์ต่อการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดได้ดี (Naclerio et al., 2013) ขณะที่การกำหนดระดับความหนัก (Load) ในการฝึกแรงต้านในกลุ่มชายที่ฝึกแรงต้านเป็นประจำ 19 คน แบ่งเป็นกลุ่มฝึกด้วยน้ำหนักสูง ที่ใช้น้ำหนักของความพยายามสูงสุด 3 ครั้ง (3 RM) เปรียบเทียบกับกลุ่มฝึกด้วยน้ำหนักปานกลาง (10 RM) ทั้งสองกลุ่มฝึก 7 ท่า ในกล้ามเนื้อทั่วร่างกาย จำนวน 3 เซตต่อท่าฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ ผลพบว่ากลุ่มฝึกน้ำหนักสูงให้ผลดีกว่าในการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุด (Maximum strength) แต่ในทางตรงกันข้ามกลุ่มฝึกด้วยน้ำหนักปานกลางให้ผลในการขยายขนาดของกล้ามเนื้อ (Schoenfeld et al., 2016) แม้ว่าผลลัพธ์จากการศึกษาครั้งนี้ อาจไม่ชัดเจนเท่ากับการศึกษาต้นแบบของ อากูย่าและคณะ (Aguiar et al., 2015) ที่ค้นพบวิธีการใช้น้ำหนักเบาเพียงร้อยละ 20 ของความพยายามสูงสุด กระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าให้หมดแรง (Muscle failure with principally of type I fibers) ส่งผลให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว และระดมการทำงานของกล้ามเนื้อมัดสนับสนุนกล้ามเนื้อมัดหลักได้ดียิ่งขึ้น โดยได้ทำการทดลองกับชายสุขภาพดี 27 คน ในท่าออกกำลังกายกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Leg extension) จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ รวม 8 สัปดาห์ ให้ผลในการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุด ความอดทน และการปรับขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดกล้ามเนื้อที่ทำการฝึกได้ดีกว่ากลุ่มฝึกแรงต้านแบบดั้งเดิม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้มีการฝึกกล้ามเนื้อเป็นประจำ รวมทั้งระยะเวลาในการทดสอบที่ยาวนานกว่า (8 สัปดาห์) ดังนั้น อาจสรุปผลจากการศึกษาครั้งนี้ได้ว่า การฝึกด้วยแรงต้านด้วยหลักการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าจนกระทั่งหมดแรง จำนวน 1 เซต ก่อนวิธีการฝึกแบบดั้งเดิม สามารถพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดได้ดีในกลุ่มนักกีฬาฟุตบอล โดยการกำหนดน้ำหนัก ปริมาณการฝึก และระยะเวลาที่เหมาะสมมีความสำคัญในการพัฒนากล้ามเนื้อได้ตรงตามวัตถุประสงค์และเกิดประสิทธิภาพจากการฝึกมากที่สุด

เมื่อพิจารณาผลด้านการพัฒนาความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Strength endurance) ผลการทดสอบครั้งนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ โดยพบแนวโน้มการพัฒนาความอดทนสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าในกลุ่มฝึกเสริมด้วยเซตหมดแรงที่ชัดเจน (PEG 52.15 $\pm$ 8.20 TG 29.06 $\pm$ 8.98 และ CG 4.77 $\pm$ 1.86 Δ %) และความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (PEG 39.52 $\pm$ 8.12 TG 20.16 $\pm$ 11.14 และ CG 3.14 $\pm$ 4.33 Δ %)

ผลด้านการพัฒนาความอดทนกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นนี้ อาจอธิบายได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านจนกระทั่งกล้ามเนื้อหมดแรงแม้จะก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นในกระแสเลือด ซึ่งเป็นตัวบ่งความเครียดจากการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic stress) ของการออกกำลังกาย โดยการสะสมของกรดแลคติกขึ้นอยู่กับการผลิตแลคเตท การขนส่ง การเผาผลาญ และการกำจัดออกไป (Allen et al., 2008; Gladden, 2010) โดยการศึกษาเปรียบเทียบการฝึกแรงต้านปริมาณต่างกัน ต่ออิทธิพลของปริมาณการออกกำลังกายในชาย 10 คน ทำการฝึกแรงต้าน 3 เซต แยกตามท่าฝึก 4 ท่า ได้แก่ อาร์มเคิร์ลแขนเดียว อาร์มเคิร์ลแขนคู่ เลกเอ็กซ์เทนชันขาเดียว และเลกเอ็กซ์เทนชันขาคู่ ยกด้วยความเร็วมาตรฐานและใช้น้ำหนักของความพยายาม 10 ครั้ง (10 RM) ทดสอบวัดค่าแลคเตทก่อนและหลังการฝึกแต่ละเซตทันที ผลการศึกษาพบว่าค่าแลคเตทจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนและภายหลังเซตที่ 1 ช่วงพักระหว่างเซต และลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกเซตที่ 3 ในท่าอาร์มเคิร์ล และพบค่าแลคเตทเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนและภายหลังเซตที่ 1 ช่วงพักระหว่างเซต และลดลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกเซตที่ 2 และ 3 ในท่าเลกเอ็กซ์เทนชัน สรุปได้ว่า การฝึกแรงต้านเซตแรก แลคเตทจะถูกผลิตและขนส่งไปยังเลือดในระหว่างการออกกำลังกาย ก่อนจะถูกดูดซึมและเผาผลาญโดยเส้นใยกล้ามเนื้อส่วนปลายหรืออวัยวะต่าง ๆ และการสะสมจะลดลงเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาสั้น ๆ ในช่วงการฝึกต่อเนื่อง ในขณะที่ช่วงพักฟื้นระหว่างเซตแลคเตทจะเพิ่มสูงขึ้นจากการสะสมและขนส่งไปโดยกระแสเลือด ในการฝึกด้วยแรงต้าน (Chmura & Nazar, 2010; Wirtz, Wahl, Kleinöder, & Mester, 2014) เช่นเดียวกับการศึกษาในนักกีฬาชาย 14 คน ทำการฝึก 8 สัปดาห์ โดยกลุ่มทดลองออกกำลังกายแบบแอโรบิก และเสริมการฝึกความอดทนกล้ามเนื้อด้วยการฝึกแรงต้านในร่างกายช่วงล่างที่ความหนักร้อยละ 50 ของความพยายามสูงสุด 4 เซต เซตละ 12-15 ครั้ง และฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เทียบกับกลุ่มที่ออกกำลังกายเฉพาะแอโรบิก ทำการทดสอบค่าการสะสมของแลคเตท (OBLA) การแลกเปลี่ยนก๊าซ (GET) ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) และค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อขา (1RM-Leg press, Leg curl, Leg extension) ผลการศึกษาพบว่าการฝึกเพิ่มความอดทนของกล้ามเนื้อในนักกีฬาแบบแอโรบิกส่งผลต่อช่วงเวลาที่จะเกิดการสะสมของแลคติกในร่างกายให้ช้าลง และเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาให้ดีขึ้น (Farrell et al., 2018) โดยผลเฉียบพลันของการฝึกแรงต้าน ในกลุ่มชายสุขภาพดี จำนวน 11 คน (22 $\pm$ 3 ปี, 71.8 $\pm$ 7.7 กิโลกรัม, 1.75 $\pm$ 0.06 เมตร) ด้วยน้ำหนักเบา 30% 1RM (RT30) เทียบกับน้ำหนัก 80% 1RM (RT80) และยกจนหมดแรงในท่านีเอ็กซ์เทนชัน (Knee extensions) ออกแบบการศึกษาสุ่มแบบไขว้ (Cross over random study) พบค่าการใช้จ่ายพลังงาน (Energy expenditure) และระดับแลคเตทในเลือด

ในระบบแอนแอโรบิกแลคติก (Anaerobic lactic system) ของกลุ่ม RT30 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ RT80 สรุปได้ว่าการฝึกน้ำหนักเบาจนกระทั่งหมดแรงอาจเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการฝึกแรงต้าน ที่ส่งผลต่อการพัฒนาการใช้พลังงานและการเปลี่ยนถ่ายของแลคเตทในเลือด (Brunelli et al., 2019)

ประเด็นที่น่าสนใจของผลลัพธ์ด้านความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังของการศึกษานี้ ที่พบความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เสริมการฝึกด้วยแรงต้านระยะเวลา 6 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับกลุ่มนักกีฬาที่ไม่มีการฝึกด้วยแรงต้านเพิ่มเติม (PEG vs CG, TG vs CG *: p* < 0.05) อาจอธิบายได้ว่าการพัฒนาความแข็งแรงและความอดทนของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ไม่ได้รับการฝึกด้วยแรงต้านอย่างเป็นระบบมาก่อน จะสามารถตอบสนองต่อโปรแกรมการฝึกได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาในกลุ่มนักกีฬาชายที่ผ่านการฝึกความแข็งแรง 8 คน (Strength athlete : SA) เทียบกับกลุ่มนักกีฬาชายที่ไม่ได้ฝึกความแข็งแรง 8 คน (Non-strength athlete : NA) โดยกำหนดให้ฝึกแรงต้านในท่าเลกเพรซ ด้วยความหนักสูง 5 เซต เซตละ 10 ครั้ง จำนวน 21 สัปดาห์ และทำการทดสอบวัดฮอร์โมนเบื้องต้น และทดสอบหาความแข็งแรงสูงสุดในท่าเลกเอ็กซ์เทนชัน (Leg extension) และความแข็งแรงสูงสุดขาขวาในท่าเลกเอกซ์เทนเซอร์ (Right leg extensor) ในสัปดาห์ที่ 0 7 14 และ 21 ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มนักกีฬาที่ไม่ได้ฝึกความแข็งแรงมาก่อน ตอบสนองต่อการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดได้ดีกว่ากลุ่มนักกีฬาที่เคยฝึกความแข็งแรงมาแล้ว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทดสอบ Leg extension (NA 22% และ SA 10%) Right leg extensor (NA 19% และ SA 7%) ในขณะที่การทดสอบฮอร์โมนด้านความแข็งแรงพบการตอบสนองได้ดีหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 14 และการตอบสนองค่อยๆ ลดลงภายหลังสัปดาห์ที่ 21 (Ahtiainen et al., 2004; Sands et al., 2012) จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น อาจสรุปได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านตามหลักการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าจนเข้าสู่ภาวะกล้ามเนื้อหมดแรง เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการฝึกเพื่อกระตุ้นการปรับปรุงกระบวนการเผาผลาญพลังงาน ระบบฮอร์โมนภายในร่างกาย ระบบประสาทสั่งการกล้ามเนื้อ ส่งผลต่อการกระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วและความอดทนต่อการสะสมของกรดแลคติก ทำให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรง และความอดทนในการเล่นกีฬาและออกกำลังกายด้วยความสามารถสูงสุดได้อย่างยาวนานยิ่งขึ้น

แม้จะเป็นที่น่าแปลกใจในสมมุติฐานการวิจัยด้านผลลัพธ์ของการปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อ (Muscle hypertrophy) ที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ จากการทดสอบวัดขนาดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ใช้ฝึก (Muscle circumference) ซึ่งผลลัพธ์นี้อาจเกิดจากการปรับเพิ่มสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในกลุ่มนักกีฬา ที่แตกต่างจากบุคคลทั่วไป โดยผลจากการศึกษา

ในกลุ่มนักกีฬาประเภททีมที่กำหนดเป้าหมายของการฝึกให้สอดคล้องกับประสบการณ์ของนักกีฬาในกลุ่มนักกีฬาอเมริกันฟุตบอลเอ็นซีเอเอ ดิวิชั่น 1 จำนวน 60 คน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 20 คน ตามประสบการณ์การเล่นและการฝึก โดยกลุ่มที่ 1 ประสบการณ์ฝึก 1.05 $\pm$ 0.22 ปี ฝึกแรงต้านโดยมีเป้าหมายปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อ (Hypertrophy-base RT) กลุ่มที่ 2 ประสบการณ์ฝึก 2.35 $\pm$ 0.75 ปี ฝึกโดยมีเป้าหมายเพิ่มความแข็งแรง (Strength-base RT) และกลุ่มที่ 3 ประสบการณ์ฝึก 4.4 $\pm$ 0.50 ปี ฝึกโดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มพลัง (Power-base RT) ทั้ง 3 กลุ่ม ถูกควบคุมปริมาณการฝึกให้มีความใกล้เคียงกันในการฝึก 4 วันต่อสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 10 สัปดาห์ ในช่วงปิดการแข่งขันฤดูร้อน ผลการทดสอบภายหลังการฝึกพบว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 มีความแข็งแรงสูงสุดและพลังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่มที่ 3 เพิ่มขึ้นเฉพาะสมรรถภาพด้านพลัง และทั้ง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการทดสอบการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อและพลังกระโดด จากการศึกษานี้สามารถอธิบายได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงสุดและพลังในกลุ่มนักกีฬาได้ดี แต่นักกีฬาที่มีประสบการณ์การสูง จะมีการปรับตัวทางสรีรวิทยาได้ยากกว่านักกีฬาหน้าใหม่ (Smith et al., 2014) เช่นเดียวกับการศึกษากลุ่มนักกีฬาชายที่ผ่านการฝึกความแข็งแรง เทียบกับกลุ่มนักกีฬาชายที่ไม่ได้ฝึกความแข็งแรง ในการฝึกแรงต้านในร่างกายช่วงล่าง 21 สัปดาห์ ผลการทดสอบวัดขนาดพื้นที่หน้าตัดกล้ามเนื้อควอไดรเซพฟีมอริส (Quadriceps femoris) ด้วยเครื่องสร้างภาพด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic resonance imaging : MRI) ก่อนและหลังการฝึก พบว่ากลุ่มนักกีฬาที่ไม่ได้ฝึกความแข็งแรงมาก่อน มีการปรับขยายขนาดกล้ามเนื้อที่ใช้ฝึก แต่ไม่พบความแตกต่างในนักกีฬาที่ผ่านการฝึกความแข็งแรงมาก่อนแล้ว (Ahtiainen et al., 2004; Sands et al., 2012) เช่นเดียวกับ อากูย่าและคณะ (Aguiar et al., 2015) ที่พบการปรับขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อในกลุ่มชายสุขภาพดี ด้วยการทดสอบวัดขนาดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) ด้วยเครื่องสร้างภาพด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic resonance imaging : MRI) จากวิธีการฝึกรูปแบบเดียวกันกับงานวิจัยครั้งนี้ จะเห็นได้ว่า วิธีการวัดขนาดพื้นที่หน้าตัดด้วยการใช้เทปวัดอาจไม่ได้บ่งบอกอย่างชัดเจนถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกล้ามเนื้อและความแข็งแรง (O'Sullivan, Sainsbury, & O'Connor, 2009) ซึ่งการฝึกนักกีฬาให้มีสมรรถนะกล้ามเนื้อที่แข็งแรงและการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพ อาจไม่ต้องการปรับขยายขนาดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อให้ใหญ่เทอะทะ แต่ต้องการกล้ามเนื้อที่มีปริมาณและความหนาแน่นเหมาะสม การวัดวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่ให้ความละเอียดชัดเจนด้วยเครื่องสร้างภาพด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (MRI) สามารถระบุได้ทั้งพื้นที่และความหนาแน่นของกล้ามเนื้อ และมีความเที่ยงตรงมากกว่า อาจให้ความแม่นยำในการทดสอบและวิเคราะห์ผลได้ดียิ่งขึ้น

อย่างไรก็ดี ผลด้านการทดสอบพลังสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว ของกลุ่มตัวอย่างจากงานวิจัยนี้ ให้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ว่าการฝึกด้วยหลักการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าจนกระทั่งหมดแรง จะกระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วและความสามารถผลิตแรงของกล้ามเนื้อได้ดี โดยพบการพัฒนาพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ภายในกลุ่มทดลองและกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม หลังจากการฝึก 6 สัปดาห์ และไม่พบความเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มควบคุม ถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างในการเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 กลุ่ม แต่พบแนวโน้มในการพัฒนาที่ดีขึ้น (PEG 16.94 $\pm$ 5.97 TG 5.57 $\pm$ 5.23 และ CG 1.99 $\pm$ 4.18 Δ %) ในขณะที่พลังสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง พบผลลัพธ์ที่ชัดเจนมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) โดยพบแนวโน้มในการพัฒนาที่ดีขึ้น (PEG 37.56 $\pm$ 9.90 TG 20.41 $\pm$ 12.68 และ CG 5.01 $\pm$ 4.01 Δ %) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษากลุ่มตัวอย่างนักกีฬาหญิงที่ฝึกความอดทนเป็นอย่างดี (จักรยานและวิ่ง) จำนวน 11 คน (*E*+S) ฝึกแรงต้านควบคู่กับการฝึกความอดทนตามปกติ (5.1 $\pm$ 1.1 ชั่วโมงต่อสัปดาห์) เป็นเวลา 11 สัปดาห์ ในขณะที่กลุ่มเพศหญิง 10 คน ที่ฝึกเฉพาะแรงต้าน (S) ในโปรแกรมเดียวกัน ด้วยการฝึกกล้ามเนื้อขา จำนวน 4 ท่า ท่าละ 3 เซต กำหนดการฝึกในระดับ 10 ครั้งของความพยายามสูงสุด (10 RM) ผลการทดสอบพลังแรงบิดสูงสุดในท่านั่งเตะขา (Maximal isometric torque in knee extension) พบว่า (*E*+*S* 12 $\pm$ 11%, *S* 8 $\pm$ 10%, $p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการฝึกแรงต้านควบคู่กับการฝึกความอดทนกล้ามเนื้อให้ผลในการพัฒนาพลังความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อได้ดี (Vikmoen, Raastad, Ellefsen, & Rønnestad, 2020) ซึ่งคล้ายกับการศึกษาก่อนหน้านี้ในกลุ่มนักกีฬาจักรยานเพศหญิง 19 คน แบ่งกลุ่มฝึกความอดทนควบคู่กับฝึกแรงต้านความหนักสูง 11 คน (E + S) เทียบกับกลุ่มฝึกเฉพาะความอดทน 8 คน (E) เป็นเวลา 11 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มที่เสริมการฝึกแรงต้านความหนักสูงให้ผลในการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) ($r = 0.73$) พลังเฉลี่ยในการทดสอบปั่นจักรยาน 40 นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะผลลัพธ์ในการเจาะพิสูจน์ชิ้นเนื้อ (Biopsy) พบสัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด IIAX-IIX ($r = -0.63$) สรุปได้ว่าการฝึกแรงต้านความหนักสูงควบคู่กับการฝึกความอดทนให้ผลในการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี (Vikmoen et al., 2016)

ผลลัพธ์สุดท้ายในการทดสอบพลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหวสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ที่ต้องการทดสอบพลังความอดทนในการผลิตแรงสูงสุดแบบซ้ำ ๆ สอดคล้องกับการแข่งขันกีฬาฟุตบอลปัจจุบันที่ต้องเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วต่อเนื่อง กดดันแย่งบอลจากฝ่ายตรงข้าม

(Gomez-Piqueras et al., 2019; เกริกวิทย์ พงศ์ศรี และคณะ, 2560) ผลการศึกษาพบว่า พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ภายหลังการฝึก 6 สัปดาห์ มีการพัฒนาดีขึ้นทั้ง 3 กลุ่ม และพบความแตกต่างเมื่อเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) พบแนวโน้มการพัฒนา (PEG 26.14 $\pm$ 15.57 TG 12.83 $\pm$ 10.48 และ CG 6.50 $\pm$ 2.32 Δ%) ขณะที่พลังความอดทนสูงสุดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง พบการพัฒนาที่ชัดเจนภายในกลุ่มทดลอง ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง กับ กลุ่มฝึกแบบดั้งเดิมและกลุ่มควบคุม ขณะที่การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มฝึกแบบดั้งเดิม กับ กลุ่มควบคุม ไม่พบความแตกต่าง ผลลัพธ์นี้อาจอธิบายได้ว่าการฝึกกล้ามเนื้อให้มีความอดทนด้วยปริมาณการฝึกที่มากจนกระทั่งถึงจุดที่กล้ามเนื้อหมดแรง (Muscular failure) จะส่งผลให้เกิดการระดมอัตราการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อมากขึ้น จากการศึกษาผลกระทบของความล้าต่อค่าเฉลี่ยอัตราการยิงสัญญาณประสาทกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า โดยวัดสัญญาณประสาทกล้ามเนื้อวาสตัส แลเธอรัลลิส (Vastus lateralis) และวาสตัส มีเดียลิส (Vastus medialis) จากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyographic) ในช่วงที่กล้ามเนื้อทำงานจากศูนย์ถึงร้อยละห้าสิบของอัตราการหดตัวสูงสุด (0-50 % Maximum voluntary contraction : MVC) พบอัตราความถี่ของสัญญาณประสาทในกล้ามเนื้อมัดหลักจะค่อย ๆ ลดลง แต่จะเกิดการระดมการทำงานของกล้ามเนื้อมัดสนับสนุนมากขึ้น (Stock et al., 2012) เช่นเดียวกับการทดลองวัดผลการส่งสัญญาณประสาทในการฝึกแรงต้านในท่านีเอ็กซ์เทนชัน (Knee extension) โดยกำหนดความหนักร้อยละ 50 ของความสามารถในการหดตัวสูงสุด เพื่อตรวจสอบการทำงานของกล้ามเนื้อควอไดรเซพฟีมอริส (Quadriceps femoris) ทั้ง 4 มัด ในช่วงที่การฝึกจนกระทั่งหมดแรง พบว่ากล้ามเนื้อวาสตัสอินเทอมีเดียส (Vastus intermedius : VI) ที่อยู่ลึกภายในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้ามีการทำงานมากขึ้นในขณะที่ฝึกจนกระทั่งหมดแรง (K. Watanabe & Akima, 2010) โดยเฉพาะผลการศึกษาด้านสรีรวิทยาการออกกำลังกายปัจจุบันที่น่าสนใจอย่างยิ่งของการฝึกด้วยแรงต้านน้ำหนักเบาจนกระทั่งหมดแรง สามารถเพิ่มพลังและมวลกล้ามเนื้อในระดับที่ใกล้เคียงกับน้ำหนักที่สูงกว่า โดยกลุ่มตัวอย่างชายสุขภาพดี 21 คน ฝึกแรงต้านกล้ามเนื้อต้นขา 3 เซสชัน ระยะเวลา 10 สัปดาห์ ใช้น้ำหนักร้อยละ 80 ของความพยายามสูงสุดและยกจนหมดแรง (80FAIL) กลุ่มฝึกน้ำหนักร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุด ปริมาณการฝึกใกล้เคียงกับ 80FAIL (30WM) และกลุ่มฝึกน้ำหนักร้อยละ 30 ของความพยายามสูงสุดและยกจนหมดแรง (30FAIL) ผลการศึกษาการพัฒนาเซลล์ต้นกำเนิด (Satellite cells) ของไมโอนิวเคลียร์บริเวณรอบเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Myonuclei surrounding type II fibers) และการสังเคราะห์โปรตีนไมโตรคอนเดรีย รวมทั้งการพัฒนาแรงบิดสูงสุดในการทดสอบแบบไอโซคิเนติก (Peak torque, 240°) ของกลุ่ม 30FAIL ขณะที่ผลด้านการเพิ่ม

มวลกล้ามเนื้อและความแข็งแรงทั้งกลุ่ม 30FAIL และ 80FAIL ให้ผลการพัฒนาได้ดีใกล้เคียงกัน และไม่พบความเปลี่ยนแปลงในกลุ่ม 30WM ผลลัพธ์จากการศึกษานี้สรุปได้ว่า การฝึกแรงต้านน้ำหนักเบาและยกจนกระทั่งหมดแรง สามารถพัฒนาความแข็งแรงและเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะแนวโน้มในการพัฒนาความแข็งแรงของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast twitch) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตแรงสูงสุด (Lim et al., 2019) ในขณะที่การปรับตัวแบบระยะยาว (Chronic adaptation) ของลักษณะการส่งสัญญาณประสาทจากการฝึกความอดทนให้กับกล้ามเนื้อ จากการทดลองในกลุ่มตัวอย่างชายและหญิงสุขภาพดี จำนวน 15 คน (ชาย 7 คน หญิง 8 คน) แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 10 คน (ค่าเฉลี่ยอายุ 25.1 ± 1.5 ปี) และกลุ่มควบคุม 5 คน (ค่าเฉลี่ยอายุ 24.3 ± 1.8 ปี) กลุ่มทดลองทำการฝึกความอดทนกล้ามเนื้อในการกำมือ (The adductor pollicis : ADP) โดยฝึกความอดทน 3 เซต เซตละ 7 ครั้ง ของการกำมือและเกร็งค้างไว้ 1 นาที ที่ความหนักระดับร้อยละ 20 ของความสามารถในการหดตัวสูงสุด มีเวลาพักระหว่างครั้ง 5 วินาที และพักระหว่างยก 2 นาที ภายหลังการฝึก 4 สัปดาห์ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้านเวลาความอดทนและสมรรถนะภายหลังการกระตุ้นแบบทันที ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม (p <0.001) การค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่าการฝึกความอดทนของกล้ามเนื้อ สามารถรักษาอัตราการยิงสัญญาณประสาทในการหดตัวของกล้ามเนื้อได้อย่างต่อเนื่อง (Mettler & Griffin, 2016) อย่างไรก็ดียังมีการศึกษาที่ค้นพบผลลัพธ์ที่แตกต่างของปริมาณการฝึกแรงต้านจนกระทั่งหมดแรง ต่อการพัฒนาพลังความแข็งแรง ในระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยกลุ่มตัวอย่างนักกีฬาวัยรุ่น 22 คน (ผู้เล่นบาสเกตบอล 12 คน และผู้เล่นวอลเลย์บอล 10 คน) ฝึกซ้อม 3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยเปรียบเทียบการฝึกท่าเบนช์เพรซระหว่าง 4 x 6 8 x 3 หรือ 12 x 3 (เซต x ครั้ง) จนกระทั่งหมดแรง ผลพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงและพลังภายหลังการฝึกทั้ง 3 รูปแบบ พัฒนาขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Drinkwater et al., 2007) ผลลัพธ์นี้อาจมาจากคุณลักษณะของกล้ามเนื้อหน้าอก ที่เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด Type IIb และตอบสนองต่อการฝึกในลักษณะความหนักสูงและใช้เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วได้ดีกว่า เช่นเดียวกับ การศึกษาประสิทธิภาพของการฝึกแรงต้าน 8 สัปดาห์ ระหว่างการฝึกจำนวนครั้งจนกระทั่งหมดแรงและไม่หมดแรง ต่อการเพิ่มพลังกล้ามเนื้อของร่างกายส่วนบนในนักกีฬาเรือพายชาย 43 คน ฝึกความอดทนแบบเดียวกันแต่แตกต่างกันในการฝึกแรงต้านความหนักสูง 4 รูปแบบ ได้แก่ ฝึกแรงต้าน 4 ท่า แบบไม่หมดแรง (4NRF), ฝึกแรงต้าน 4 ท่า แบบหมดแรง (4RF), ฝึกแรงต้าน 2 ท่า แบบไม่หมดแรง (2NRF) และกลุ่มควบคุม (C) ผลลัพธ์พบว่ากลุ่มฝึกออกกำลังกายจำนวน 4 ท่าฝึก ด้วยปริมาณการฝึกปานกลางและไม่ฝึกจนกระทั่งหมดแรง ให้ผลในการพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อสูงสุด (4.6% และ 6.4% ตามลำดับ) ในท่า

เบนช์เพรซเมื่อเทียบกับทั้ง 4RF (2.1% และ -1.2%) และ 2NRF (0.6% และ -0.6 %) กลุ่ม 4NRF และ 2NRF ได้ผลดีในการทดสอบความสามารถในการพายเรือ โดยพัฒนาอัตราพลังความอดทนในการทดสอบพายเรือ 10 ครั้ง (W10strokes, 3.6% และ 5%) และในการพายเรือ 20 นาที (W20min, 7.6% และ 9%) เมื่อเทียบกับ 4RF (-0.1% และ 4.6%) ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม ในการสะสมแลคเตทในเลือด (W4mmol x L-1 ,4NRF 6.2%, 4RF เท่ากับ 5.3%, 2NRF เท่ากับ 6.8% และ C เท่ากับ 4.5%) (Izquierdo-Gabarren et al., 2010) สรุปได้ว่านักกีฬาที่ผ่านการฝึกกล้ามเนื้อมาเป็นอย่างดี ควรกำหนดความหนักและปริมาณการฝึกที่เหมาะสมและเฉพาะเจาะจง เพื่อวางโปรแกรมการฝึกทักษะกีฬาได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อย่างไรก็ดี การศึกษาทั้ง 2 ชิ้นข้างต้น เป็นการทดลองฝึกด้วยความหนักสูงและทำการฝึกจนกระทั่งหมดแรงทุกเซต การศึกษารูปแบบที่แตกต่างกันออกไป อาจให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับพัฒนาสมรรถภาพกล้ามเนื้อให้กับนักกีฬาต่อไป

ข้อเสนอแนะ

หลักการกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (Principally of type I fibers) เป็นวิธีการที่น่าสนใจนำไปประยุกต์ใช้ฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะในกลุ่มนักกีฬาที่มีพื้นฐานความแข็งแรงค่อนข้างดีอยู่แล้ว การฝึกแรงต้านเพื่อปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อตามวิธีการแบบดั้งเดิมอาจไม่ส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงได้มากขึ้นไปอีก วิธีการฝึกด้วยน้ำหนักเบาและยกจนกระทั่งหมดแรง สามารถนำไปเป็นกลยุทธ์ในการวางแผนฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความแข็งแรง ความอดทน รวมทั้งพลังของกล้ามเนื้อ โดยการเพิ่มปริมาณการฝึกอีกเพียงเล็กน้อย (หนึ่งเซต) อย่างไรก็ดี ผู้ฝึกควรมีความแข็งแรงพื้นฐานของกล้ามเนื้อ กระดูก เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างร่างกาย และความเข้าใจในการกำหนดความหนัก ปริมาณ ระยะเวลาการฝึก ระยะเวลาพัก รูปแบบและท่าทางการฝึกที่ถูกต้อง เพื่อให้เกิดสมรรถนะสูงสุดตามเป้าหมายของการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาแต่ละชนิด

บรรณานุกรม

Abe, T., Kearns, C. F., & Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol (1985), 100*(5), 1460-1466. doi:10.1152/japplphysiol.01267.2005

Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C. F., Inoue, K., . . . Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research, 1*(1), 6-12. doi:10.3806/ijktr.1.6

ACSM. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults *American College of Sports Medicine position stand., 41*.

Aguiar, A. F., Buzzachera, C. F., Pereira, R. M., Sanches, V. C., Januário, R. B., da Silva, R. A., . . . de Oliveira Gil, A. W. (2015). A single set of exhaustive exercise before resistance training improves muscular performance in young men. *Eur J Appl Physiol, 115*(7), 1589-1599. doi:10.1007/s00421-015-3150-8

Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2004). Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in strength athletes versus nonathletes. *Can J Appl Physiol, 29*(5), 527-543. doi:10.1139/h04-034

Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev, 88*(1), 287-332. doi:10.1152/physrev.00015.2007

Amaral, G. M., Marinho, H. V., Ocarino, J. M., Silva, P. L., de Souza, T. R., & Fonseca, S. T. (2014). Muscular performance characterization in athletes: a new perspective on isokinetic variables. *Braz J Phys Ther, 18*(6), 521-529. doi:10.1590/bjpt-rbf.2014.0047

Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning*: Human kinetics.

Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krustrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test : a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med, 38*(1),

37-51. doi:10.2165/00007256-200838010-00004

Boone, T. (2014). *Introduction to exercise physiology*: Jones & Bartlett Publishers.

Brunelli, D. T., Finardi, E. A. R., Bonfante, I. L. P., Gáspari, A. F., Sardeli, A. V., Souza, T. M. F., . . . Cavaglieri, C. R. (2019). Acute low- compared to high-load resistance training to failure results in greater energy expenditure during exercise in healthy young men. *PLoS One, 14*(11), e0224801. doi:10.1371/journal.pone.0224801

Burd, N. A., West, D. W., Staples, A. W., Atherton, P. J., Baker, J. M., Moore, D. R., . . . Phillips, S. M. (2010). Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. *PLoS One, 5*(8), e12033. doi:10.1371/journal.pone.0012033

Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., . . . Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol, 88*(1-2), 50-60. doi:10.1007/s00421-002-0681-6

Chmura, J., & Nazar, K. (2010). Parallel changes in the onset of blood lactate accumulation (OBLA) and threshold of psychomotor performance deterioration during incremental exercise after training in athletes. *Int J Psychophysiol, 75*(3), 287-290. doi:10.1016/j.ijpsycho.2009.12.011

Clark, M., Lucett, S., & Kirkendall, D. T. (2010). *NASM's essentials of sports performance training*: Lippincott Williams & Wilkins.

Contessa, P., Letizi, J., De Luca, G., & Kline, J. C. (2018). Contribution from motor unit firing adaptations and muscle coactivation during fatigue. *J Neurophysiol, 119*(6), 2186-2193. doi:10.1152/jn.00766.2017

Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., McKenna, M. J., Lindsell, R. P., Hunt, P. H., & Pyne, D. B. (2007). Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training. *J Strength Cond Res, 21*(3), 841-847. doi:10.1519/r-20666.1

Faigenbaum, A. D., & Myer, G. D. (2010). Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med, 44*(1), 56-63.

doi:10.1136/bjsm.2009.068098

Farrell, J. W., 3rd, Lantis, D. J., Ade, C. J., Cantrell, G. S., & Larson, R. D. (2018). Aerobic Exercise Supplemented With Muscular Endurance Training Improves Onset of Blood Lactate Accumulation. *J Strength Cond Res, 32*(5), 1376-1382. doi:10.1519/jsc.0000000000001981

Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods, 41*(4), 1149-1160. doi:10.3758/brm.41.4.1149

FIFA.com. (2019). History of football - The origins. Retrieved from Retrieved from https://www.fifa.com/about-fifa/who-we-are/the-game/index.html

Fisher, J., Steele, J., Bruce-Low, S., & Smith, D. (2011). Evidence based resistance training recommendations. *Medicina Sportiva, 15*(3), 147-162.

Fleck, S. J., & Kraemer, W. (2014). *Designing resistance training programs, 4E*: Human Kinetics.

Freitas, T. T., Martinez-Rodriguez, A., Calleja-González, J., & Alcaraz, P. E. (2017). Short-term adaptations following Complex Training in team-sports: A meta-analysis. *PLoS One, 12*(6), e0180223. doi:10.1371/journal.pone.0180223

Gladden, L. B. (2010). Lactate transport and exchange during exercise. *Comprehensive Physiology*, 614-648.

Gomez-Piqueras, P., Gonzalez-Villora, S., Castellano, J., & Teoldo, I. (2019). Relation between the physical demands and success in professional soccer players.

Grgic, J., & Schoenfeld, B. J. (2018). Are the Hypertrophic Adaptations to High and Low-Load Resistance Training Muscle Fiber Type Specific? *Front Physiol, 9*, 402. doi:10.3389/fphys.2018.00402

Haff, G., & Triplett, N. T. (2016). Essentials of strength training and conditioning. Fourth edition. Champaign, IL: Human Kinetics.

Harries, S. K., Lubans, D. R., & Callister, R. (2012). Resistance training to improve power and sports performance in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport, 15*(6), 532-540. doi:10.1016/j.jsams.2012.02.005

Hartmann, H., Wirth, K., Keiner, M., Mickel, C., Sander, A., & Szilvas, E. (2015). Short-term Periodization Models: Effects on Strength and Speed-strength Performance. *Sports Med, 45*(10), 1373-1386. doi:10.1007/s40279-015-0355-2

Haun, C. T., Vann, C. G., Osburn, S. C., Mumford, P. W., Roberson, P. A., Romero, M. A., . . . Roberts, M. D. (2019). Muscle fiber hypertrophy in response to 6 weeks of high-volume resistance training in trained young men is largely attributed to sarcoplasmic hypertrophy. *PLoS One, 14*(6), e0215267. doi:10.1371/journal.pone.0215267

Hong, A. R., Hong, S. M., & Shin, Y. A. (2014). Effects of resistance training on muscle strength, endurance, and motor unit according to ciliary neurotrophic factor polymorphism in male college students. *J Sports Sci Med, 13*(3), 680-688.

Hunter, S. K., Duchateau, J., & Enoka, R. M. (2004). Muscle fatigue and the mechanisms of task failure. *Exerc Sport Sci Rev, 32*(2), 44-49. doi:10.1097/00003677-200404000-00002

Izquierdo-Gabarren, M., González De Txabarri Expósito, R., García-pallarés, J., Sánchez-medina, L., De Villarreal, E. S., & Izquierdo, M. (2010). Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc, 42*(6), 1191-1199. doi:10.1249/MSS.0b013e3181c67eec

Jalilvand, Farzad, & RSCC, U. (2015). Development of biomotor abilities for soccer.

Jenkins, N. D., Housh, T. J., Buckner, S. L., Bergstrom, H. C., Cochrane, K. C., Hill, E. C., . . . Cramer, J. T. (2016). Neuromuscular Adaptations After 2 and 4 Weeks of 80% Versus 30% 1 Repetition Maximum Resistance Training to Failure. *J Strength Cond Res, 30*(8), 2174-2185. doi:10.1519/jsc.0000000000001308

Jenkins, N. D. M., Miramonti, A. A., Hill, E. C., Smith, C. M., Cochrane-Snyman, K. C., Housh, T. J., & Cramer, J. T. (2017). Greater Neural Adaptations following High- vs. Low-Load Resistance Training. *Front Physiol, 8*, 331. doi:10.3389/fphys.2017.00331

Jewell, D. V. (2014). *Guide to evidence-based physical therapist practice*: Jones & Bartlett Publishers.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2015). *Physiology of sport and exercise*: Human kinetics.

Kim, E., Dear, A., Ferguson, S. L., Seo, D., & Bemben, M. G. (2011). Effects of 4 weeks of traditional resistance training vs. superslow strength training on early phase adaptations in strength, flexibility, and aerobic capacity in college-aged women. *J Strength Cond Res, 25*(11), 3006-3013. doi:10.1519/JSC.0b013e318212e3a2

Kocahan, T., & Akinoglu, B. (2018). Determination of the relationship between core endurance and isokinetic muscle strength of elite athletes. *J Exerc Rehabil, 14*(3), 413-418. doi:10.12965/jer.1836148.074

Lee, S. E. K., Lira, C. A. B., Nouailhetas, V. L. A., Vancini, R. L., & Andrade, M. S. (2018). Do isometric, isotonic and/or isokinetic strength trainings produce different strength outcomes? *J Bodyw Mov Ther, 22*(2), 430-437. doi:10.1016/j.jbmt.2017.08.001

Lim, C., Kim, H. J., Morton, R. W., Harris, R., Phillips, S. M., Jeong, T. S., & Kim, C. K. (2019). Resistance Exercise-induced Changes in Muscle Phenotype Are Load Dependent. *Med Sci Sports Exerc, 51*(12), 2578-2585. doi:10.1249/mss.0000000000002088

Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Wilson, J. M., & Bemben, M. G. (2011). Blood flow restriction: the metabolite/volume threshold theory. *Med Hypotheses, 77*(5), 748-752. doi:10.1016/j.mehy.2011.07.029

Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *Int J Sports Med, 31*(1), 1-4. doi:10.1055/s-0029-1239499

Maffiuletti, N. A., Bizzini, M., Desbrosses, K., Babault, N., & Munzinger, U. (2007). Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging, 27*(6), 346-353. doi:10.1111/j.1475-097X.2007.00758.x

Marston, K. J., Newton, M. J., Brown, B. M., Rainey-Smith, S. R., Bird, S., Martins, R. N., & Peiffer, J. J. (2017). Intense resistance exercise increases peripheral brain-derived neurotrophic factor. *J Sci Med Sport, 20*(10), 899-903. doi:10.1016/j.jsams.2017.03.015

Mettler, J. A., & Griffin, L. (2016). Muscular endurance training and motor unit firing patterns during fatigue. *Exp Brain Res, 234*(1), 267-276. doi:10.1007/s00221-015-4455-x

Morton, R. W., Oikawa, S. Y., Wavell, C. G., Mazara, N., McGlory, C., Quadrilatero, J., . .

.Phillips, S. M. (2016). Neither load nor systemic hormones determine resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. *J Appl Physiol (1985), 121*(1), 129-138. doi:10.1152/japplphysiol.00154.2016

Naclerio, F., Faigenbaum, A. D., Larumbe-Zabala, E., Perez-Bibao, T., Kang, J., Ratamess, N. A., & Triplett, N. T. (2013). Effects of different resistance training volumes on strength and power in team sport athletes. *J Strength Cond Res, 27*(7), 1832-1840. doi:10.1519/JSC.0b013e3182736d10

Noh, J. W., Kim, M. Y., Lee, L. K., Park, B. S., Yang, S. M., Jeon, H. J., . . . Kim, J. (2015). Somatotype and body composition analysis of Korean youth soccer players according to playing position for sports physiotherapy research. *J Phys Ther Sci, 27*(4), 1013-1017. doi:10.1589/jpts.27.1013

O'Sullivan, K., Sainsbury, D., & O'Connor, R. (2009). Measurement of thigh muscle size using tape or ultrasound is a poor indicator of thigh muscle strength. *Isokinetics and exercise Science, 17*(3), 145-153.

Pereira, P. E. A., Motoyama, Y. L., Esteves, G. J., Quinelato, W. C., Botter, L., Tanaka, K. H., & Azevedo, P. (2016). Resistance training with slow speed of movement is better for hypertrophy and muscle strength gains than fast speed of movement. *International Journal of Applied Exercise Physiology, 5*(2).

Phillips, S. (2015). *Fatigue in sport and exercise*: Routledge.

Sale, D. G. (1987). Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc Sport Sci Rev, 15*, 95-151.

Sands, W. A., Wurth, J. J., & Hewit, J. K. (2012). Basics of strength and conditioning manual. *Colorado Springs, CO: National Strength and Conditioning Association*.

Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med, 43*(3), 179-194. doi:10.1007/s40279-013-0017-1

Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Med Sci Sports Exerc, 51*(1), 94-103.

doi:10.1249/mss.0000000000001764

Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Vigotsky, A. D., & Peterson, M. (2016). Differential Effects of Heavy Versus Moderate Loads on Measures of Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *J Sports Sci Med, 15*(4), 715-722.

Smith, R. A., Martin, G. J., Szivak, T. K., Comstock, B. A., Dunn-Lewis, C., Hooper, D. R., . . . Kraemer, W. J. (2014). The effects of resistance training prioritization in NCAA Division I Football summer training. *J Strength Cond Res, 28*(1), 14-22. doi:10.1519/JSC.0b013e3182977e56

Sousa, J., Neto, G. R., Santos, H. H., Araújo, J. P., Silva, H. G., & Cirilo-Sousa, M. S. (2017). Effects of strength training with blood flow restriction on torque, muscle activation and local muscular endurance in healthy subjects. *Biol Sport, 34*(1), 83-90. doi:10.5114/biolsport.2017.63738

Spineti, J., de Salles, B. F., Rhea, M. R., Lavigne, D., Matta, T., Miranda, F., . . . Simão, R. (2010). Influence of exercise order on maximum strength and muscle volume in nonlinear periodized resistance training. *J Strength Cond Res, 24*(11), 2962-2969. doi:10.1519/JSC.0b013e3181e2e19b

Stock, M. S., Beck, T. W., & Defreitas, J. M. (2012). Effects of fatigue on motor unit firing rate versus recruitment threshold relationships. *Muscle Nerve, 45*(1), 100-109. doi:10.1002/mus.22266

Stojiljkovic, N., Ignjatovic, A., Savic, Z., Markovic, Z., & Milanovic, S. (2013). History of resistance training. *Activities Phys Educ Sport, 3*(1), 135-138.

Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med, 48*(4), 765-785. doi:10.1007/s40279-018-0862-z

Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med, 46*(10), 1419-1449. doi:10.1007/s40279-016-0486-0

Suga, T., Okita, K., Morita, N., Yokota, T., Hirabayashi, K., Horiuchi, M., . . . Tsutsui, H. (2010). Dose effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance

exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol (1985), 108*(6), 1563-1567. doi:10.1152/japplphysiol.00504.2009

Tanimoto, M., & Ishii, N. (2006). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol (1985), 100*(4), 1150-1157. doi:10.1152/japplphysiol.00741.2005

Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur J Appl Physiol, 97*(6), 643-663. doi:10.1007/s00421-006-0238-1

Travassos, B., Davids, K., Araújo, D., & Esteves, T. P. (2013). Performance analysis in team sports: Advances from an Ecological Dynamics approach. *International Journal of Performance Analysis in Sport, 13*(1), 83-95.

Ullrich, B., Pelzer, T., Oliveira, S., & Pfeiffer, M. (2016). Neuromuscular Responses to Short-Term Resistance Training With Traditional and Daily Undulating Periodization in Adolescent Elite Judoka. *J Strength Cond Res, 30*(8), 2083-2099. doi:10.1519/jsc.0000000000001305

Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., Than, C., & Brown, J. M. (2018). Methods matter: the relationship between strength and hypertrophy depends on methods of measurement and analysis. *PeerJ, 6*, e5071. doi:10.7717/peerj.5071

Vikmoen, O., Ellefsen, S., Trøen, Ø., Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2016). Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO2max and cycling economy in female cyclists. *Scand J Med Sci Sports, 26*(4), 384-396. doi:10.1111/sms.12468

Vikmoen, O., Raastad, T., Ellefsen, S., & Rønnestad, B. R. (2020). Adaptations to strength training differ between endurance-trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol, 120*(7), 1541-1549. doi:10.1007/s00421-020-04381-x

Watanabe, K., & Akima, H. (2010). Neuromuscular activation of vastus intermedius muscle during fatiguing exercise. *J Electromyogr Kinesiol, 20*(4), 661-666. doi:10.1016/j.jelekin.2010.01.003

Watanabe, Y., Tanimoto, M., Ohgane, A., Sanada, K., Miyachi, M., & Ishii, N. (2013).

Increased muscle size and strength from slow-movement, low-intensity resistance exercise and tonic force generation. *J Aging Phys Act, 21*(1), 71-84. doi:10.1123/japa.21.1.71

Watkins, J. (2009). *Structure and function of the musculoskeletal system*: Human Kinetics.

Willardson, J. M. (2007). The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *J Strength Cond Res, 21*(2), 628-631. doi:10.1519/r-20426.1

Wirtz, N., Wahl, P., Kleinöder, H., & Mester, J. (2014). Lactate kinetics during multiple set resistance exercise. *Journal of sports science & medicine, 13*(1), 73.

Yasuda, T., Abe, T., Sato, Y., Midorikawa, T., CF, K., Inoue, K., . . . Ishii, N. (2005). Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research, 1*(2), 65-70.

ถาวร กมุทศรี. (2560). การเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness Conditioning) (1 ed.). กรุงเทพฯ: หจก. มีเดียเพรส.

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์. (2555). สรีรวิทยาการออกกำลังกาย (2 ed.). นนทบุรี: บริษัทตีรณสาร.

เกริกวิทย์ พงศ์ศรี, นันทพล ทองนิลพันธ์, อมรพันธ์ อัจจิมาพร, และ สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล. (2560). การตอบสนองของอินซูลินไลค์โกรทแฟคเตอร์ชนิดที่ 1 และการปรับตัวทางสรีรวิทยาต่อการฝึกความแข็งแรงชนิดเฉพาะควบคู่กับการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ ๆ ระหว่างก่อนการแข่งขันในนักกีฬาฟุตซอล. . วารสารคณะพลศึกษา, ปีที่ *20,* เล่มที่ *1 (*ม.ค.-มิ.ย. *2560)*, 34-48.

วันใหม่ ประพันธ์บัณฑิต. (2551). เวทเทรนนิ่ง (Weight Training). กรุงเทพฯ: บริษัท ไอกรุ๊ป เพรส จำกัด.

วุฒิพงษ์ ปรมัตถากร, และ อารี ปรมัตถากร. (2542). วิทยาศาสตร์การกีฬา = Sports science (4ed). กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย

เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (TANITA Body Composition Analyzer, SC-330, TANITA Corporation of America, Inc. Arlington Heights, Ill, USA)

ภาพประกอบ 6 แสดงเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย
(TANITA Body Composition Analyzer, SC-330, TANITA Corporation of America, Inc. Arlington Heights, Ill, USA)

สายวัดขนาดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก

ภาพประกอบ 7 แสดงการวัดขนาดเส้นรอบวงกล้ามเนื้อที่ทำการฝึก (Local muscle circumference)

เครื่องมือทดสอบสมรรถภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ

เครื่องทดสอบและออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก (CON-TREX® MJ, Isokinetic Dynamometer, CMV, Dubendorf, Switzerland)

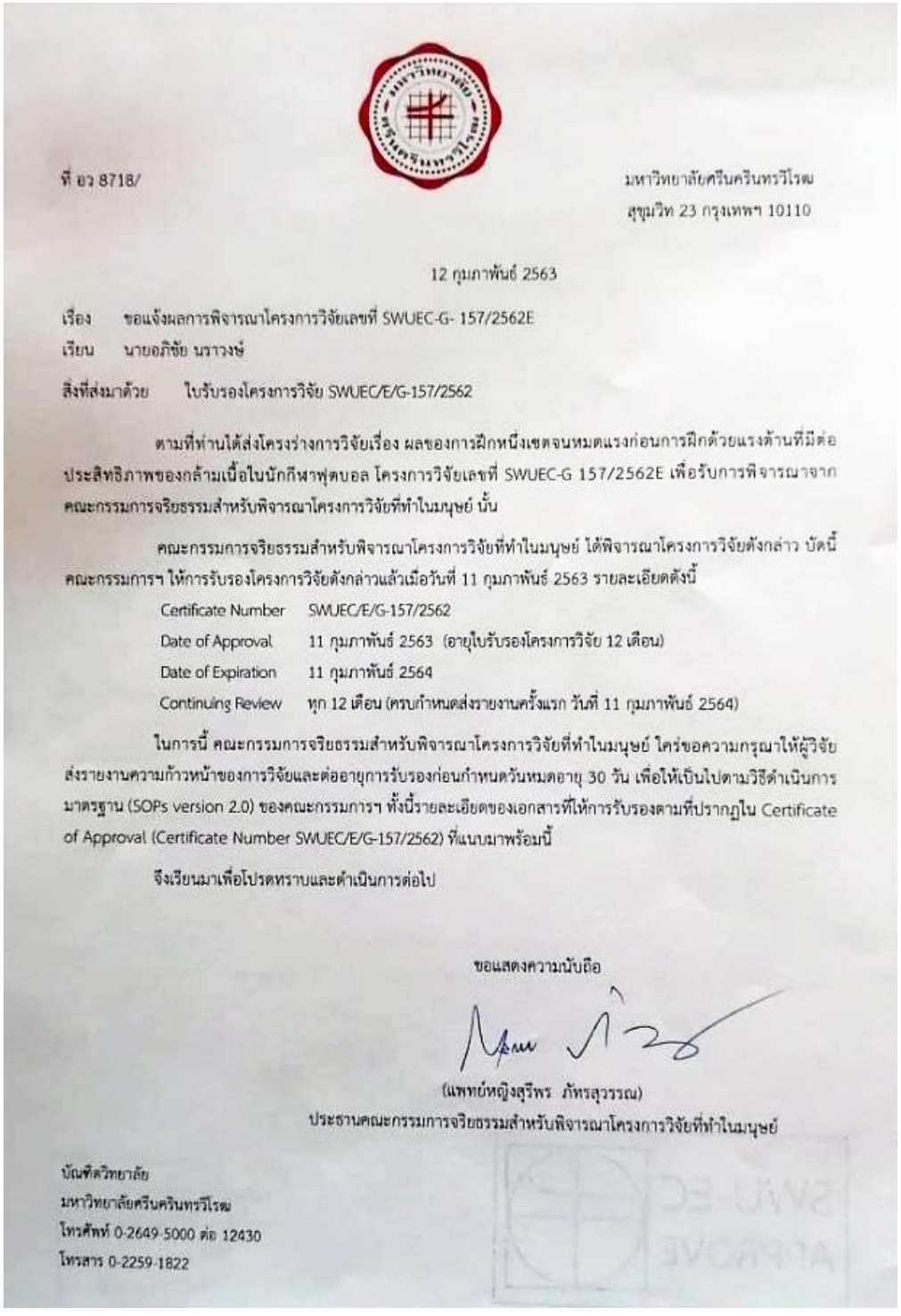
ภาพประกอบ 8 แสดงเครื่องทดสอบและออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก (CON-TREX® MJ, Isokinetic Dynamometer, CMV, Dubendorf, Switzerland)

เครื่องมือทดสอบและฝึกความแข็งแรงและความอดทนกล้ามเนื้อ

เครื่องฝึกด้วยน้ำหนัก (CYBEX Prestige, CYBEX International, Inc. Queen Adelaide, Ely CAMBS, UK)

ภาพประกอบ 9 แสดงเครื่องฝึกด้วยน้ำหนัก (CYBEX Prestige, CYBEX International, Inc. Queen Adelaide, Ely CAMBS, UK

ภาคผนวก ข
ใบรับรองจริยธรรมงานวิจัย



ที่ อว 8718/

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 กุมภาพันธ์ 2563

เรื่อง ขอแจ้งผลการพิจารณาโครงการวิจัยเลขที่ SWUEC-G- 157/2562E

เรียน นายอภิชัย นราวงษ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย ใบรับรองโครงการวิจัย SWUEC/E/G-157/2562

ตามที่ท่านได้ส่งโครงร่างการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้านที่มีต่อประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล โครงการวิจัยเลขที่ SWUEC-G 157/2562E เพื่อรับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ นั้น

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยดังกล่าว บัดนี้ คณะกรรมการฯ ให้การรับรองโครงการวิจัยดังกล่าวแล้วเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2563 รายละเอียดดังนี้

Certificate Number	SWUEC/E/G-157/2562
Date of Approval	11 กุมภาพันธ์ 2563 (อายุใบรับรองโครงการวิจัย 12 เดือน)
Date of Expiration	11 กุมภาพันธ์ 2564
Continuing Review	ทุก 12 เดือน (ครบกำหนดส่งรายงานครั้งแรก วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2564)

ในการนี้ คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ใคร่ขอความกรุณาให้ผู้วิจัยส่งรายงานความก้าวหน้าของการวิจัยและต่ออายุการรับรองก่อนกำหนดวันหมดอายุ 30 วัน เพื่อให้เป็นไปตามวิธีดำเนินการมาตรฐาน (SOPs version 2.0) ของคณะกรรมการฯ ทั้งนี้รายละเอียดของเอกสารที่ให้การรับรองตามที่ปรากฏใน Certificate of Approval (Certificate Number SWUEC/E/G-157/2562) ที่แนบมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์ 0-2649-5000 ต่อ 12430
โทรสาร 0-2259-1822

ภาพประกอบ 10 แสดงใบรับรองจริยธรรมงานวิจัย

ภาคผนวก ค
แบบฟอร์มที่ใช้ในการวิจัย

แบบฟอร์ม - 01 แบบให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (Inform consent)

แบบเอกสารที่ MF 10-2

หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

(Informed Consent Form)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี อาศัยอยู่บ้านเลขที่.....ถนน.....แขวง/ตำบล..... เขต/อำเภอ.....จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

ขอแสดงความเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยเรื่อง.....ผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกด้วยแรงต้านที่มีต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล.....

ชื่อผู้วิจัย/หัวหน้าโครงการวิจัย...นายอภิชัย นราวงษ์/อาจารย์ ดร. เกริกวิทย์ พงศ์ศรี

สถานที่วิจัย .....มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.....

สถานที่ทำงานและหมายเลขโทรศัพท์ของหัวหน้าโครงการวิจัยที่ต่อได้ทั้งในและนอกเวลาราชการ.....การกีฬาแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา โทรศัพท์ 0 2186 7111 ต่อ 8512 มือถือ 0825328919.....

ผู้สนับสนุนทุนวิจัย…….....

ระยะเวลาในการวิจัย…ธันวาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563.....

โครงการวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อ....ศึกษาผลของการฝึกหนึ่งเซตจนหมดแรงก่อนการฝึกแรงต้านเพื่อพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความแข็งแรง ความอดทน และการปรับขยายขนาดของกล้ามเนื้อที่ใช้ฝึก ในนักกีฬาฟุตบอล.....

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย....นำผลของการศึกษาไปประยุกต์ใช้ฝึกพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อในนักกีฬาให้เกิดความแข็งแรงสูงสุด ความอดทน และการขยายขนาดของกล้ามเนื้อเป็นพื้นฐานสำหรับการฝึกซ้อมหรือแข่งขันกีฬาต่อไป.....

ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมการวิจัยนี้เพราะ...อาสาสมัครที่เข้าร่วมงานวิจัยครั้งนี้ มีคุณสมบัติครบถ้วนตามข้อตกลงเบื้องต้นของงานวิจัย ดังนี้

เกณฑ์การคัดเข้า

1. เป็นนักกีฬาฟุตบอลเพศชายในทีมเยาวชนระดับไทยลีก อายุระหว่าง 17 - 19 ปี อยู่ระหว่างเตรียมตัวเข้าร่วมการแข่งขันรายการฟุตบอลภายในประเทศ

2. เป็นนักกีฬาฟุตบอลที่มีประสบการณ์ในการเล่นฟุตบอลมาแล้วไม่น้อยกว่า 2 ปี

3. มีสมรรถภาพทางกายแข็งแรงและไม่มีอาการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อม หรือหายดีจากอาการบาดเจ็บก่อนเข้าร่วมการวิจัยอย่างน้อย 3 เดือน

4. ไม่เป็นมังสวิรัติ ไม่ได้ใช้ยาหรืออาหารเสริมเพื่อสร้างภูมิคุ้มกัน หรือสเตียรอยด์โคเอนไซม์เพื่อสร้างกล้ามเนื้อเป็นเวลา 6 เดือนก่อนเข้าทำการศึกษา

5. อาสาสมัครสามารถอ่านและเขียนภาษาไทยได้

เกณฑ์การคัดออก

1. มีอาการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อมที่ส่งผลต่อกระบวนการวิจัยและการทดสอบ ในช่วงระหว่างการดำเนินโครงการวิจัย

2. ไม่สามารถเข้าร่วมการฝึกซ้อมได้ครบร้อยละ 90 ของโปรแกรมทั้งหมด

จะมีผู้เข้าร่วมการวิจัยนี้ทั้งสิ้นประมาณ..... 24 คน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง (PEG) ฝึกกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าจนหมดแรงก่อนการฝึกแรงต้าน 1 เซตก่อนฝึกแบบดั้งเดิม, กลุ่มฝึกตามวิธีแบบดั้งเดิม (TG) และกลุ่มควบคุม (CG).....

หากท่านตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยแล้ว จะมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้คือ

หลังจากท่านให้ความยินยอมที่จะเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะขอตรวจร่างกายโดยการชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง และองค์ประกอบของร่างกาย วัดขนาดเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อที่ใช้ฝึก ได้แก่ กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและต้นขาด้านหลัง ทดสอบพลังและความอดทนของกล้ามเนื้อขาแบบเคลื่อนไหว ทดสอบหาค่าความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง และความอดทนของกล้ามเนื้อที่ใช้ฝึกด้วยความหนักร้อยละ 60 ของความพยายามสูงสุด ในท่าเลกเอ็กซ์เทนชันและเลกเคิร์ล ทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน เพื่อคัดกรองว่าท่านมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะเข้าร่วมในการวิจัย

หากท่านมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้า ท่านจะได้รับเชิญให้มาพบผู้วิจัยตามวันเวลาที่ผู้ทำวิจัยนัดหมาย คือ ทำการฝึก 2 ครั้ง/สัปดาห์ เพื่อฝึกตามโปรแกรมที่กำหนด โดยตลอดระยะเวลาที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัย คือ 6 สัปดาห์ และมาพบผู้วิจัยหรือผู้ร่วมทำวิจัยทั้งสิ้น 12 ครั้ง

ความรับผิดชอบของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ ผู้ทำวิจัยใคร่ขอความความร่วมมือจากท่าน โดยจะขอให้ท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัยอย่างเคร่งครัด รวมทั้งแจ้งอาการผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับท่านระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัยให้ผู้ทำวิจัยได้รับทราบเพื่อความปลอดภัย ท่านไม่ควรใช้ยาหรือสารกระตุ้นใดๆเพื่อช่วยในการฝึก หากมีอาการบาดเจ็บให้แจ้งทีมผู้วิจัยเพื่อพิจารณายาที่ใช้ในระหว่างที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัย

ความเสี่ยงที่อาจได้รับ

มีความเสี่ยงเล็กน้อยจากการฝึกที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มทดลองอาจทำให้ผู้เข้าร่วมโครงการเสียเวลาเพิ่มมากขึ้น ไม่สะดวกสบาย และอาจส่งผลต่อการบาดเจ็บทางด้านร่างกายที่อาจมีโอกาสเพิ่มขึ้นจากการฝึกที่มากขึ้น ดังนั้นระหว่างที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัยจะมีการติดตามดูแลสุขภาพของท่านอย่างใกล้ชิดกรุณาแจ้งผู้ทำวิจัยในกรณีที่พบอาการผิดปกติ ระหว่างที่อยู่ในโครงการวิจัย ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสุขภาพของท่าน ขอให้ท่านรายงานให้ผู้ทำวิจัยทราบโดยเร็ว

ความเสี่ยงที่ได้รับจากการเจาะเลือด

ไม่มีการเจาะเลือด

ความเสี่ยงที่ไม่ทราบแน่นอน

1. ท่านอาจเกิดอาการข้างเคียง หรือความไม่สบาย นอกเหนือจากที่ได้แสดงในเอกสารฉบับนี้ ซึ่งอาการข้างเคียงเหล่านี้เป็นอาการที่ไม่เคยพบมาก่อน เพื่อความปลอดภัยของท่าน ควรแจ้งผู้ทำวิจัยให้ทราบทันทีเมื่อเกิดความผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น

2. หากท่านมีข้อสงสัยใดๆ เกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจได้รับจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านสามารถสอบถามจากผู้ทำวิจัยได้ตลอดเวลา

3. หากมีการค้นพบข้อมูลใหม่ ๆ ที่อาจมีผลต่อความปลอดภัยของท่านในระหว่างที่ท่านเข้าร่วมในโครงการวิจัย ผู้ทำวิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบทันที เพื่อให้ท่านตัดสินใจว่าจะอยู่ในโครงการวิจัยต่อไปหรือจะขอถอนตัวออกจากการวิจัย

การพบแพทย์นอกตารางนัดหมายในกรณีที่เกิดอาการข้างเคียง

หากมีอาการข้างเคียงใด ๆ เกิดขึ้นกับท่าน ขอให้ท่านรีบมาพบแพทย์ที่สถานพยาบาลทันที เพื่อแพทย์จะได้ประเมินอาการข้างเคียงของท่าน และให้การรักษาที่เหมาะสมทันที หากอาการดังกล่าวเป็นผลจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะไม่เสียค่าใช้จ่าย

ประโยชน์ที่อาจได้รับ

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้อาจจะทำให้ท่านมีสมรรถภาพทางกายที่ดีขึ้น แต่ไม่ได้รับรองว่าสมรรถภาพทางกายของท่านจะต้องดีขึ้นอย่างแน่นอน

วิธีการและรูปแบบการพัฒนาอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่สำหรับอาสาสมัคร

ท่านไม่จำเป็นต้องเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายของท่าน เนื่องจากมีแนวทางหรือวิธีการอื่นๆ หลายแบบสำหรับพัฒนาสมรรถภาพทางกายของท่านได้ ดังนั้นจึงควรปรึกษาแนวทางการพัฒนาวิธีอื่นๆ กับผู้ฝึกสอนกีฬาของท่านก่อนตัดสินใจเข้าร่วมวิจัย

ข้อปฏิบัติของท่านขณะที่ร่วมในโครงการวิจัย

ขอให้ท่านปฏิบัติดังนี้

- ขอให้ท่านให้ข้อมูลพื้นฐานของท่านทั้งในอดีต และปัจจุบัน แก่ผู้ทำวิจัยด้วยความสัตย์จริง
- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างที่ท่านร่วมในโครงการวิจัย
- ขอให้ท่านงดการใช้ยาอื่นนอกเหนือจากที่ผู้ทำวิจัยได้จัดให้ รวมถึงการใช้สารกระตุ้นอื่น ๆ
- ขอให้ท่านแจ้งให้ผู้ทำวิจัยทราบทันที หากท่านได้รับการพัฒนาโดยวิธีการอื่นนอกเหนือจากวิธีการที่ใช้ในการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ท่านอยู่ในโครงการวิจัย

อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมในโครงการวิจัยและความรับผิดชอบของผู้ทำวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัย

หากพบอันตรายที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ท่านจะได้รับการรักษาอย่างเหมาะสมทันที และท่านปฏิบัติตามคำแนะนำของทีมผู้ทำวิจัยแล้ว ผู้ทำวิจัยยินดีจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลของท่าน และการลงนามในเอกสารให้ความยินยอม ไม่ได้หมายความว่าท่านได้สละสิทธิ์ทางกฎหมายตามปกติที่ท่านพึงมี

ในกรณีที่ท่านได้รับอันตรายใด ๆ หรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ท่านสามารถติดต่อกับผู้ทำวิจัยคือ นายอภิชัย นราวงษ์ (0825328919) ได้ตลอด 24 ชั่วโมง

ค่าใช้จ่ายของท่านในการเข้าร่วมการวิจัย

ท่านจะได้รับการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายในโครงการวิจัยจากผู้สนับสนุนการวิจัยโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย (การทำการทดลอง ผู้วิจัย/ผู้สนับสนุนโครงการวิจัยจะต้องออกค่าใช้จ่ายทั้งหมดให้ผู้เข้าร่วมการวิจัย)

ค่าใช้จ่ายอื่นที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ผู้สนับสนุนการวิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบทั้งหมด รวมทั้งค่าเดินทางตามความถี่ที่ท่านได้มาพบผู้วิจัย

ค่าตอบแทนสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี)

ไม่มี

การประกันภัยเพื่อคุ้มครองผู้เข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี)

ไม่มี

การเข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมโครงการวิจัย

การเข้าร่วมในโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจ หากท่านไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการศึกษาแล้ว ท่านสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา การขอถอนตัวออกจากโครงการวิจัยจะไม่มีผลต่อตัวท่านแต่อย่างใด

ผู้ทำวิจัยอาจถอนท่านออกจากการเข้าร่วมการวิจัย เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัยของท่าน หรือเมื่อผู้สนับสนุนการวิจัยยุติการดำเนินงานวิจัย หรือ ในกรณีดังต่อไปนี้

- ท่านไม่สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ทำวิจัย
- ท่านรับประทานยาหรือใช้สารกระตุ้นที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในการศึกษา
- ท่านเกิดอาการข้างเคียง มีอาการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อม หรือความผิดปกติของผลจากการฝึกปฏิบัติในการศึกษา
- ท่านต้องการปรับเปลี่ยนรูปแบบการฝึกที่ไม่ได้รับอนุญาตจากการวิจัยครั้งนี้
- ท่านไม่สามารถเข้าร่วมการทดลองได้ครบอย่างน้อยร้อยละ 90 ของโปรแกรมทั้งหมด

การปกป้องรักษาข้อมูลความลับของอาสาสมัคร

ข้อมูลที่อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวท่าน จะได้รับการปกปิดและจะไม่เปิดเผยแก่สาธารณชน ในกรณีที่ผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ ชื่อและที่อยู่ของท่านจะต้องได้รับการปกปิดอยู่เสมอ โดยจะใช้เฉพาะรหัสประจำโครงการวิจัยของท่าน ทั้งนี้ ข้อมูลของท่านจะถูกจัดเก็บ 2 ปี สถานที่เก็บไฟล์ข้อมูลในคอมพิวเตอร์ และจะทำลายภายใน 2 ปี หลังจากการตีพิมพ์ผลงานวิจัยแล้ว

ข้าพเจ้ามีสิทธิ์ถอนตัวออกจากโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า และการไม่เข้าร่วมการวิจัยหรือถอนตัวออกจากโครงการวิจัยนี้จะไม่มีผลกระทบต่อหน้าที่การปฏิบัติงานใดๆ ของท่าน หรือส่งผลกระทบต่อการเรียนการสอน การประเมินผลการเรียนของนิสิต ท่านมีสิทธิ์ที่จะไม่เข้าร่วมการวิจัยก็ได้โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล

หากข้าพเจ้าได้รับการปฏิบัติที่ไม่ตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงนี้ ข้าพเจ้าสามารถแจ้งให้ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนทราบได้ที่ สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันยุทธศาสตร์ ตึกศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บัวศรี ชั้น 20 โทร (02) 649-5000 ต่อ 11015-11018 โทรสาร: (02) 259-1822

ข้าพเจ้าได้ทราบถึงสิทธิที่ข้าพเจ้าจะได้รับข้อมูลเพิ่มเติมทั้งทางด้านประโยชน์ และโทษจากการเข้าร่วมการวิจัยและสามารถถอนตัวหรืองดเข้าร่วมการวิจัยได้ทุกเมื่อโดยจะไม่มีผลกระทบต่อการบริการและการรักษาพยาบาลที่ข้าพเจ้าจะได้รับต่อไปในอนาคต และยินยอมให้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าที่ได้รับจากการวิจัย แต่จะไม่เผยแพร่ต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล โดยจะนำเสนอเป็นข้อมูลโดยรวมจากการวิจัยเท่านั้น

จากการลงนามยินยอมของท่านผู้ทำวิจัยสามารถบอกรายละเอียดของท่านที่เกี่ยวกับการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ให้แก่ผู้ฝึกสอนกีฬาและผู้บริหารในหน่วยงานต้นสังกัดของท่าน และหน่วยงานที่มีหน้าที่ตรวจสอบการวิจัยนี้ได้

การจัดการกับตัวอย่างชีวภาพที่เหลือ

ไม่มีตัวอย่างชีวภาพที่ได้จากอาสาสมัคร

สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

ในฐานะที่ท่านเป็นผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย ท่านจะมีสิทธิ์ดังต่อไปนี้

1. ท่านจะได้รับทราบถึงลักษณะและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
2. ท่านจะได้รับการอธิบายเกี่ยวกับระเบียบวิธีการของการวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้
3. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่จะได้รับจากการวิจัย
4. ท่านจะได้รับการอธิบายถึงประโยชน์ที่ท่านอาจจะได้รับจากการวิจัย
5. ท่านจะได้รับการเปิดเผยถึงทางเลือกในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายด้วยวิธีการอื่น รวมทั้งประโยชน์และความเสี่ยงที่ท่านอาจได้รับ
6. ท่านจะได้รับทราบแนวทางในการป้องกันและฟื้นฟูการบาดเจ็บ ในกรณีที่พบการบาดเจ็บภายหลังการเข้าร่วมในโครงการวิจัย
7. ท่านจะมีโอกาสได้ซักถามเกี่ยวกับงานวิจัยหรือขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
8. ท่านจะได้รับทราบว่าการยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ท่านสามารถขอถอนตัวจากโครงการเมื่อไรก็ได้ โดยผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากโครงการโดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น

9. ท่านจะได้รับเอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัยและสำเนาเอกสารใบยินยอมที่มีทั้งลายเซ็นและวันที่

10.ท่านมีสิทธิ์ในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมในโครงการวิจัยหรือไม่ก็ได้ โดยปราศจากการใช้อิทธิพลบังคับข่มขู่ หรือการหลอกลวง

หากท่านไม่เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้<u>จะไม่มีผลกระทบต่อหน้าที่การปฏิบัติงานใดๆ ของท่าน หรือส่งผลกระทบต่อการเรียนการสอน การประเมินผลการเรียนของท่านแต่อย่างใด</u>

ข้าพเจ้าได้รับทราบข้อมูลของโครงการข้างต้น ตลอดจนข้อดีข้อเสียที่จะได้รับจากการเข้าร่วมโครงการในครั้งนี้ และข้าพเจ้ายินยอมที่จะเข้าร่วมในโครงการดังกล่าวจึงลงมือชื่อไว้

ลงชื่อ.....ผู้เข้าร่วมการวิจัย/ผู้แทนโดยชอบธรรม

(.....)

วันที่.....

ลงชื่อ.....ผู้ให้ข้อมูลและขอความยินยอม/หัวหน้าโครงการ

(.....)

วันที่.....

ในกรณีผู้เข้าร่วมการวิจัยอ่านหนังสือไม่ออก ผู้ที่อ่านข้อความทั้งหมดแทนผู้เข้าร่วมการวิจัย คือ.....

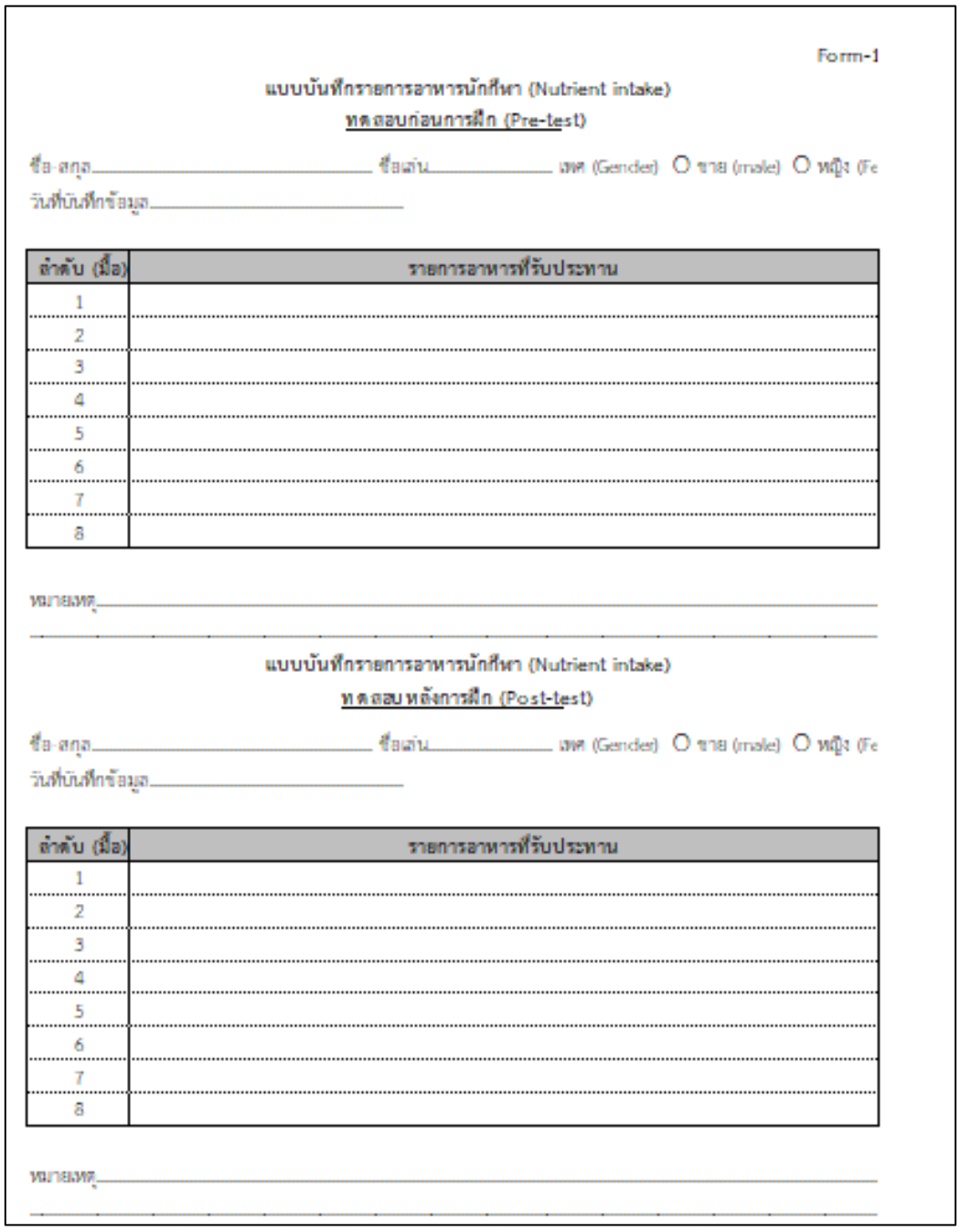
จึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....พยาน

(.....)

วันที่.....

แบบฟอร์ม - 02 แบบบันทึกรายการรับประทานอาหาร (Nutrition intake)



Form-1

แบบบันทึกรายการอาหารนักกีฬา (Nutrient intake)

ทดสอบก่อนการฝึก (Pre-test)

ชื่อ-สกุล..... ชื่อเล่น..... เพศ (Gender) ○ ชาย (male) ○ หญิง (Fe

วันที่บันทึกข้อมูล.....

ลำดับ (มื้อ)	รายการอาหารที่รับประทาน
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

หมายเหตุ.....

แบบบันทึกรายการอาหารนักกีฬา (Nutrient intake)

ทดสอบหลังการฝึก (Post-test)

ชื่อ-สกุล..... ชื่อเล่น..... เพศ (Gender) ○ ชาย (male) ○ หญิง (Fe

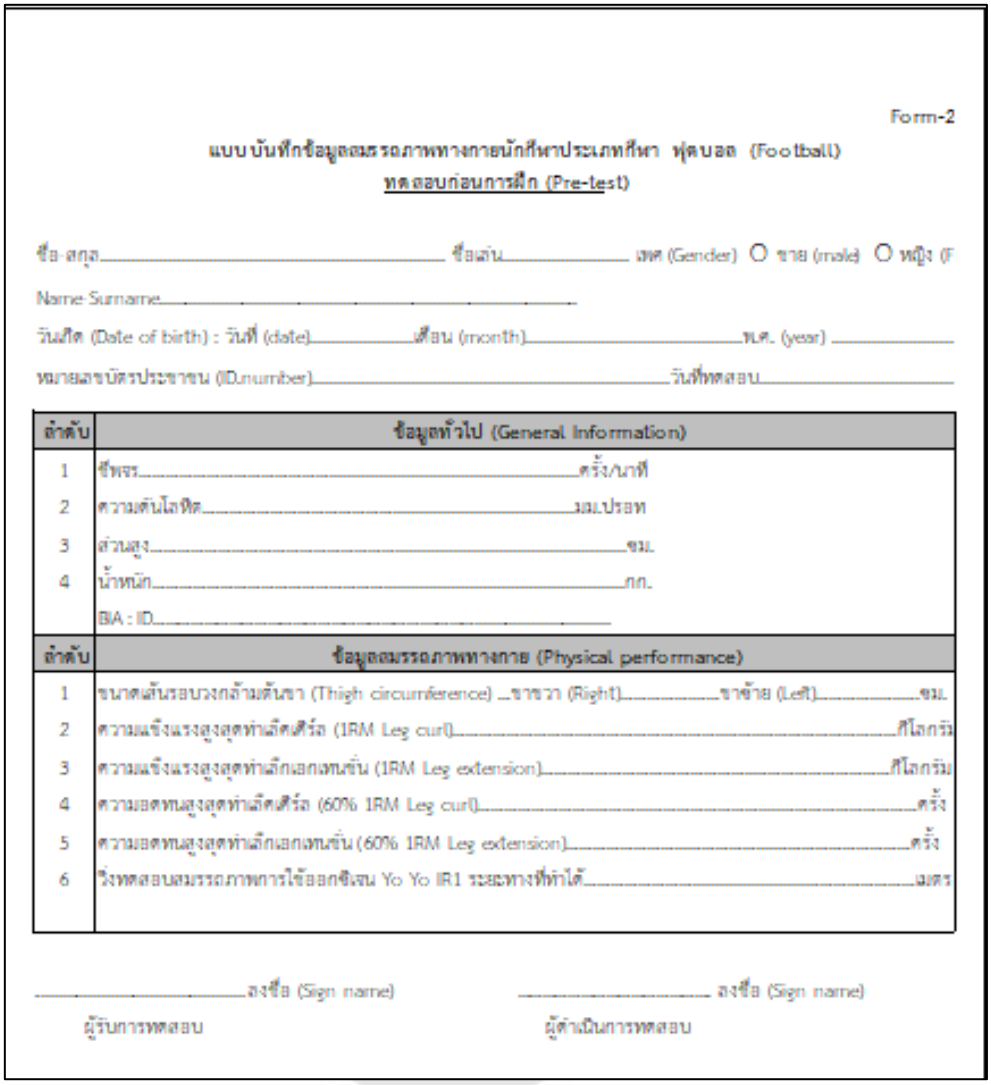
วันที่บันทึกข้อมูล.....

ลำดับ (มื้อ)	รายการอาหารที่รับประทาน
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

หมายเหตุ.....

ภาพประกอบ 11 แบบฟอร์มบันทึกรายการรับประทานอาหาร (Nutrition intake)

แบบฟอร์ม - 03 แบบบันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายกลุ่มตัวอย่าง



Form-2

แบบบันทึกข้อมูลสมรรถภาพทางกายนักกีฬาประเภทกีฬา ฟุตบอล (Football)

ทดสอบก่อนการฝึก (Pre-test)

ชื่อ สกุล..... ชื่อเล่น..... เพศ (Gender) ○ ชาย (male) ○ หญิง (F

Name-Surname.....

วันเกิด (Date of birth) : วันที่ (date)..... เดือน (month)..... พ.ศ. (year) .....

หมายเลขบัตรประชาชน (ID.number)..... วันที่ทดสอบ.....

ลำดับ	ข้อมูลทั่วไป (General Information)
1	ชีพจร..... ครั้ง/นาที
2	ความดันโลหิต..... มม.ปรอท
3	ส่วนสูง..... ซม.
4	น้ำหนัก..... กก.
	BIA : ID.....

ลำดับ	ข้อมูลสมรรถภาพทางกาย (Physical performance)
1	ขนาดเส้นรอบวงกล้ามต้นขา (Thigh circumference) ...ขาขวา (Right)..... ขาซ้าย (Left)..... ซม.
2	ความแข็งแรงสูงสุดท่าเลิคเศิร์ล (1RM Leg curl)..... กิโลกรัม
3	ความแข็งแรงสูงสุดท่าเลิกเอกเทนชั่น (1RM Leg extension)..... กิโลกรัม
4	ความอดทนสูงสุดท่าเลิคเศิร์ล (60% 1RM Leg curl)..... ครั้ง
5	ความอดทนสูงสุดท่าเลิกเอกเทนชั่น (60% 1RM Leg extension)..... ครั้ง
6	วิ่งทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน Yo Yo IR1 ระยะทางที่ทำได้..... เมตร

..... ลงชื่อ (Sign name) ..... ลงชื่อ (Sign name)

ผู้รับการทดสอบ ผู้ดำเนินการทดสอบ

ภาพประกอบ 12 แสดงแบบบันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายกลุ่มตัวอย่าง

แบบฟอร์ม - 04 แบบบันทึกข้อมูลการฝึกซ้อม

Form-3

แบบบันทึกข้อมูลการฝึกซ้อมนักกีฬาประเภทกีฬา ฟุตบอล (Football)

ชื่อ-สกุล..... ชื่อเล่น..... เพศ (Gender) ○ ชาย (male) ○ หญิง (Fem

Name-Surname.....

ครั้งที่ (Sessions)	ข้อมูลการฝึก (Training Information)
1	20% Leg extension .....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg extension .1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....ก 20% Leg curl.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg curl 1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....
ครั้งที่ (Sessions)	ข้อมูลการฝึก (Training Information)
2	20% Leg extension .....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg extension .1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....ก 20% Leg curl.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg curl 1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....
ครั้งที่ (Sessions)	ข้อมูลการฝึก (Training Information)
3	20% Leg extension .....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg extension .1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....ก 20% Leg curl.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg curl 1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....
ครั้งที่ (Sessions)	ข้อมูลการฝึก (Training Information)
4	20% Leg extension .....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg extension .1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....ก 20% Leg curl.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg curl 1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....
ครั้งที่ (Sessions)	ข้อมูลการฝึก (Training Information)
5	20% Leg extension .....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg extension .1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....ก 20% Leg curl.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg curl 1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....
ครั้งที่ (Sessions)	ข้อมูลการฝึก (Training Information)
6	20% Leg extension .....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg extension .1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....ก 20% Leg curl.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....กก. 75% Leg curl 1st set.....ครั้ง 2nd set.....ครั้ง 3rd set.....ครั้ง น้ำหนักที่ใช้ยก.....

ภาพประกอบ 13 แสดงแบบบันทึกข้อมูลการฝึกซ้อม

ภาคผนวก ง
ภาพการดำเนินการทดลอง

ภาพประกอบ 14 แสดงภาพการดำเนินการทดลอง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายอภิชัย นราวงษ์
วัน เดือน ปี เกิด	14 พ.ย. 2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	2547 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2564 ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	55/97 หมู่ 17 หมู่บ้านศุภาลัยการ์เด้นวิลล์ ต.บึงคำพร้อย อ.ลำลูกกา จ. ปทุมธานี 12150