ผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

นายเอกพันธ์ ภู่เงิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา ไม่สังกัดภาควิชา/เทียบเท่า
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PLYOMETRIC AND ECCENTRIC TRAINING ON ACHILLES TENDON STIFFNESS IN MALE LONG-DISTANCE RUNNERS

Mr. Aekkaphan Phungern

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Sports Science
Common Course
Faculty of Sports Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย
โดย	นายเอกพันธ์ ภู่เงิน
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธา พงษ์พิบูลย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ชัชฎาพร พิทักษ์เสถียรกุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกพันธ์ ภู่เงิน : ผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย. (EFFECTS OF PLYOMETRIC AND ECCENTRIC TRAINING ON ACHILLES TENDON STIFFNESS IN MALE LONG-DISTANCE RUNNERS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.ทศพร ยิ้มลมัย

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งระยะไกลชายอายุ 18-30 ปี จำนวน 20 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มฝึกแบบพลัยโอเมตริกและเอกเซนตริก ทั้งสองกลุ่มทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการทดสอบค่าแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อน่องขณะเกร็งอยู่กับที่ ระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นร้อยหวาย และค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย ก่อนและหลังการฝึก แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัย พบว่ากลุ่มที่ฝึกแบบพลัยโอเมตริกมีความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายเพิ่มขึ้นและระยะความยาวที่ยืดออกลดลงภายหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ ขณะกลุ่มที่ฝึกแบบเอกเซนตริกมีค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย และแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่เพิ่มขึ้นหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างของระยะความยาวที่ยืดออก อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายทั้ง 2 กลุ่ม

สรุปผลการวิจัย การออกกำลังกายทั้งแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกสามารถช่วยพัฒนาความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งระยะไกลชายได้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบสามารถนำไปใช้เสริมสร้างความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งะยะไกลได้

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6078325639 : MAJOR SPORTS SCIENCE

KEYWORD: Plyometric training, Eccentric training, Tendon stiffness, Long-distance runner

Aekkaphan Phungern : EFFECTS OF PLYOMETRIC AND ECCENTRIC TRAINING ON ACHILLES TENDON STIFFNESS IN MALE LONG-DISTANCE RUNNERS. Advisor: TOSSAPORN YIMLAMAI, Ph.D.

Purpose: The purpose of this study was to compare the effects of plyometric training and eccentric training on Achilles tendon stiffness in male long-distance runners

Methods: Twenty male long-distance runners (aged 18-30 years old) were divided into 2 groups : plyometric training (PLY) and eccentric training (ECC) groups. Both groups were trained 3 days per week for 6 weeks. Maximal voluntary isometric contraction (MVC), tendon displacement and tendon stiffness were measured before and after training. A level of significant was set at p-value <.05.

Results: The results showed that PLY significantly increased Achilles tendon stiffness and significantly decreased tendon displacement, but not MVC. In contrast, EEC significantly increased Achilles tendon stiffness and MVC but not tendon displacement. However, there was no significant difference in Achilles tendon stiffness observed between groups.

Conclusion: These results showed that either plyometric training or eccentric training was effective for enhancing Achilles tendon stiffness and can be used by coach and athletes to strengthen Achilles tendon stiffness in male long distance runners.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ อาจารย์ ดร. ทศพร ยิ้มลมัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ติดตาม ให้ความดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา จนแก้ไขข้อบกพร่องจากการทำงานวิจัย ตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล อาจารย์ ดร.คนางค์ ศรีหิรัญ อาจารย์ชัชฎาพร พิทักษ์เสถียรกุล อาจารย์ ธีรพัฒน์ ลัดดาวงศ์ และอาจารย์ พิรุณ นันทะที่ได้กรุณาเสียสละเวลาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ ศูนย์ทดสอบวิจัยวัสดุอุปกรณ์ทางกีฬา (TRECS) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ความรู้คำแนะนำ และรวมทั้งช่วยเหลือเครื่องมืออุปกรณ์

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ ทุนสนับสนุนจากกองทุนอุดหนุนในการทาวิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ทำให้งานสำเร็จได้ด้วยดี

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้งหมด 20 คน ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลวิจัย อันส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆนิสิตปริญญาโทสำหรับกำลังใจ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ บริษัท บีทีแอล เมดิคอล เทคโนโลจีส์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาในระดับปริญญาโทและการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ แนวคิดแก่ผู้วิจัยทั้งด้านวิชาการและการดำเนินชีวิต พ่อแม่และญาติพี่น้องที่คอยให้กำลังใจและอำนวยความสะดวกให้ผู้วิจัยเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่านตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกพันธ์ ภู่เงิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

สมมติฐานการวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 4

คำจำกัดความของการวิจัย 5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

1. การบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งระยะไกล 8

2. กายวิภาคศาสตร์ของเอ็นร้อยหวาย (Achille's tendon) 10

3. โครงสร้าง, องค์ประกอบและคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ 11

3.1 โครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Structure of tendon) 12

3.2 องค์ประกอบ (Compositions of tendon) 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties of tendon) 14
4. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ . 15
5. การออกกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training) 16
6. การออกกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training) 21
7. ผลของการฝึกการออกกำลังแบบใช้แรงต้านที่มีต่อเอ็นยึดกล้ามเนื้อ 23
7.1 ผลที่มีต่อโครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ 23
7.2 ผลที่มีต่อองค์ประกอบของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ 24
7.3 ผลที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ 24
8. การวัดความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ 26
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27
9.1 งานวิจัยในต่างประเทศ 27
9.2 งานวิจัยในประเทศ 29
กรอบแนวความคิดในการวิจัย 30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 31
1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย 31
2. กลุ่มตัวอย่างและวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง 31
3. เครื่องที่ใช้ในการวิจัย 32
4. ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล 35
ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการทบทวนและตรวจสอบข้อมูล 35
ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล 35
5. การวิเคราะห์ข้อมูล 44
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 45
ตอนที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพทางกายของนักวิ่งระยะไกลชาย 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ความหนาของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นร้อยหวายระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training : PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training : ECC)โดยการทดสอบค่า t (Independent t-test) 47

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ความหนาของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นร้อยหวายภายในกลุ่มของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) โดยการทดสอบค่า t (Dependent t-test) 55

บรรณานุกรม 68

ภาคผนวก 79

ภาคผนวก ก อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 80

ภาคผนวก ข โปรแกรมการฝึกแบบพลัยโอเมตริก 82

ภาคผนวก ค โปรแกรมการฝึกแบบเอกเซนตริก 84

ภาคผนวก ง การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 max) 86

ภาคผนวก จ การทดสอบหาน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ 1 ครั้ง (1 Repetition maximum)ในท่า Single leg calf raises 88

ภาคผนวก ฉ รายนามของผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจเครื่องมือวิจัย 89

ภาคผนวก ช ตัวอย่าง แบบสอบถามข้อมูลเพื่อการคัดกรองเบื้องต้น 90

ภาคผนวก ซ ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย 91

ประวัติผู้เขียน 108

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของนักวิ่งระยะไกลชายทั้ง 2 กลุ่ม 46

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ก่อนการทดลอง (Pre-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) 47

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวายก่อนการทดลอง (Pre-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) 49

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ หลังการฝึก (Post-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) 51

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวายหลังการฝึก (Post-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) 53

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) 55

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวายก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) 57

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก(Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) 59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวาย ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก(Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ภาพแสดงกายวิภาคศาสตร์ของเอ็นร้อยหวาย (Achille's tendon)..... 11

รูปที่ 2 โครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ..... 12

รูปที่ 3 กราฟความเค้นและความเครียดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Stress- strain curve of tendon tissue) ที่มา: Wang (2006)..... 15

รูปที่ 4 ภาพแสดงกรอบแนวคิดงานวิจัย..... 30

รูปที่ 5 เครื่องออกกำลังกายแบบไอโซไคเนติก..... 32

รูปที่ 6 เครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง..... 33

รูปที่ 7 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส..... 33

รูปที่ 8 กล่องสำหรับออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก..... 34

รูปที่ 9 ลู่กล..... 34

รูปที่ 10 นาฬิกาวัดชีพจร..... 34

รูปที่ 11 สมิท แมชชีน..... 35

รูปที่ 12 การทดสอบแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (Maximal voluntary isometric contraction; MVC) ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles)..... 37

รูปที่ 13 ภาพทางด้านซ้าย แสดงวิธีการวัดระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement; ΔL) และ ภาพทางดานขวา แสดงผลการวัดระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ..... 39

รูปที่ 14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve)..... 40

รูปที่ 15 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 43

รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve) ก่อนฝึก (Pre-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)..... 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve) หลังการฝึก (Post-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) 54

รูปที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (Load-deformation curve) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ในกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) 58

รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) 62

รูปที่ 20 ท่าการวิ่งพร้อมกับยกเข่าสูง 80

รูปที่ 21 ท่าการก้าวขาไปด้านหน้าย่อตัวลงและงอเข่าทั้งสองข้าง 81

รูปที่ 22 ท่าการก้าวขาไปด้านหน้าย่อตัวลงและเข่าด้านหลังเหยียด 81

รูปที่ 23 แสดงท่าวิ่งก้าวกระโดด (Bounding) 83

รูปที่ 24 การปล่อยส้นเท้าลงจากพื้นต่างระดับขาเดี่ยว (Single-leg heel drops) 85

รูปที่ 25 การทดสอบโมดิฟายด์ บรูซ (Modified Bruce protocol) 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิ่งระยะไกลจัดเป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก มีการจัดแข่งขันทั้งในประเทศและต่างประเทศทั่วโลก โดยมีผู้เข้าร่วมการแข่งขันทุกเพศทุกวัยและมีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกๆปีในช่วงสิบปีที่ผ่านมา (Jokl, Sethi, & Cooper, 2004; Knechtle, Rosemann, Zingg, & Rüst, 2015; Lehto, 2015; Leyk et al., 2007) นอกจากนี้มีรายงานการวิจัยที่สนับสนุนว่าการออกกำลังกายโดยการวิ่งระยะไกลยังมีผลดีต่อสุขภาพ เช่นช่วยลดดัชนีมวลกายและปริมาณไขมันในร่างกาย ลดระดับคอเลสเตอรอล และช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น (Hespanhol Junior, Pillay, van Mechelen, & Verhagen, 2015)

อย่างไรก็ตามด้วยจำนวนนักวิ่งที่เพิ่มขึ้นนั้น จึงทำให้อัตราเกิดการบาดเจ็บเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ท้าทายสำหรับบุคลากรทางเวชศาสตร์การกีฬา จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอุบัติการณ์ระหว่างการวิ่งและการบาดเจ็บ (Running-related injuries) พบว่าความชุกของการเกิดอุบัติการณ์อยู่ในช่วง 6.8 ถึง 59 ครั้งต่อระยะเวลาการวิ่ง 1,000 ชั่วโมง (Saragiotto et al., 2014) นอกจากนี้งานวิจัยยังพบว่าร้อยละ 25 ของนักวิ่งระยะไกลมักจะได้รับบาดเจ็บระหว่างการวิ่งและในจำนวนนี้ร้อยละ 50 จำเป็นต้องได้รับการรักษาและหยุดพักการวิ่งเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี (Fields, 2011) แม้ว่าสาเหตุของการบาดเจ็บส่วนหนึ่งอาจจะเกิดจากอุบัติเหตุ เช่น การหกล้ม การวิ่งกระแทกหรือชนกัน เป็นต้น แต่ข้อมูลผลการวิจัยพบว่าการบาดเจ็บที่พบส่วนใหญ่มักเกิดจากภาวะการใช้งานที่มากเกินไป (Overuse injury) โดยการบาดเจ็บที่พบได้บ่อย คือ การบาดเจ็บทางกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal injury) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้นักวิ่งจำเป็นต้องลดความเร็ว ระยะทาง และความถี่ที่เคยวิ่งได้ลง อย่างน้อย 1 สัปดาห์ (Hreljac, 2005) โดยการบาดเจ็บที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานที่มากเกินไปนี้ อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บในระดับเซลล์หรือเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อซ้ำๆ (Repeated musculoskeletal microtrauma) ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากปัจจัยทางร่างกายของนักวิ่งแต่ละคน ได้แก่ปัจจัยทางสรีรวิทยา เช่น ความแข็แรงของกล้ามเนื้อและเอ็นยึดกล้ามเนื้อ เป็นต้น และปัจจัยทางชีวกลศาสตร์ ตลอดจนโปรแกรมการฝึกซ้อม เช่น ความหนักในการฝึก และปริมาณระยะทางในการฝึกซ้อมแต่ละสัปดาห์ เป็นต้น (Saragiotto et al., 2014) โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าบริเวณที่ได้รับบาดเจ็บจากการวิ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณข้อเท้า

และเอ็นร้อยหวาย (Achilles tendon) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 24 ของการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นรวมทั้งหมด (Vitez, Zupet, Zadnik, & Drobnic, 2017)

เอ็นร้อยหวาย (Achilles tendon) เป็นเอ็นยึดกล้ามเนื้อที่เชื่อมต่อระหว่างกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Gastrocnemius muscle) และโซเลียส (Soleus muscle) กับกระดูกส้นเท้า (Calcaneus or heel bone) โดยเอ็นยึดกล้ามเนื้อจะอยู่ใกล้บริเวณกึ่งกลางของน่อง มีหน้าที่สำคัญในช่วงต้นของการวิ่งและทำให้สามารถเพิ่มความเร็วในการวิ่งได้ (Malvankar & Khan, 2011) ซึ่งหน้าที่หลักของเอ็นร้อยหวาย คือการรองรับแรงจากกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่กดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles) ในขณะวิ่ง โดยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอัตราการฉีกขาดของเอ็นร้อยหวาย (Achilles' tendon rupture) อย่างชัดเจน จาก 2 คน ใน 100,000 คน เป็น 22 ต่อ 100,000 คน โดยนักกีฬาที่ได้รับบาดเจ็บส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มนักวิ่ง (Lantto, Heikkinen, Flinkkila, Ohtonen, & Leppilahti, 2015) และแม้ว่าจะได้รับการดูแลรักษาและฟื้นฟูหลังการได้รับบาดเจ็บเป็นอย่างดีแล้ว นักกีฬาส่วนใหญ่ที่เคยมีประวัติของการฉีกขาดของเอ็นร้อยหวายมาก่อนแล้วก็ยังไม่สามารถแสดงความสามารถทางกีฬาได้เป็นปกติเช่นก่อนได้รับบาดเจ็บโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิ่งและการกระโดด (Amin et al., 2013; Parekh, Wray, Brimmo, Sennett, & Wapner, 2009)

ปัจจุบันแม้ว่ากลไกการเกิดการบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่ทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ การบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายอาจเกิดจากแรงดึง (Lersch et al., 2012), แรงเฉือน (Bojsen-Moller et al., 2004) และภาวะการเกิดความร้อนที่มากเกินไป (Hyperthermia) (Farris, Trewartha, & McGuigan, 2011) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายต่อเอ็นยึดกล้ามเนื้อ และในที่สุดเกิดเป็นรอยแผลเป็น หรือบริเวณที่อ่อนแอของเนื้อเยื่อขึ้น และมีการขยายตัวกว้างขึ้น ดังนั้นหากต้องมีการรับแรงดึงหรือแรงเฉือนซ้ำก่อนที่กระบวนการซ่อมแซมตัวเองจะเสร็จสมบูรณ์ อาจส่งผลให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บเพิ่มขึ้น เกิดเป็นวงจรของการอ่อนแอและขาดประสิทธิภาพของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Lorimer & Hume, 2014) โดยในทางคลินิกเมื่อทำการตรวจสอบด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound-diagnosed) จะพบว่าบริเวณเอ็นร้อยหวายที่มีการบาดเจ็บจะมีความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย (Achilles tendon stiffness) ลดลง (Arya & Kulig, 2010) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการฉีกขาดของเอ็นร้อยหวายได้ในอนาคต ดังนั้นการแสวงหาวิธีในการเพิ่มความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อมีจึงเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการบาดของเอ็นร้อยหวาย

ข้อมูลจากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาหลายฉบับบ่งชี้ว่าการออกกำลังกายทั้งในคนและสัตว์ทดลอง สามารถกระตุ้นให้เกิดการปรับตัวของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Hart & Evans, 2000; Kjaer, 2004; Langberg et al., 2007; Ohberg, Lorentzon, & Alfredson, 2004; Wang, 2006) โดยพบว่าการออกกำลังกายจะช่วยเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Cross sectional area of tendon) เหลังจากการฝึก ยิ่งเอ็นยึดกล้ามเนื้อมีพื้นที่หน้าตัดมากขึ้นจะทำให้เกิดความเครียด (แรง / พื้นที่) โดยเฉลี่ยที่ส่งผ่านเอ็นยึดกล้ามเนื้อลดลง ส่งผลให้อัตราการบาดเจ็บลดลง (Kongsgaard, Aagaard, Kjaer, & Magnusson, 2005) นอกจากนี้การออกกำลังกายยังสามารถเพิ่มการสังเคราะห์และการย่อยสลายของคอลลาเจนได้ดี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและลักษณะความยืดหยุ่นโดยตรง ทำให้ความไวต่อความเครียดลดลง และยังช่วยเพิ่มความต้านทานของเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้ (Kjaer, 2004) นอกจากนี้การออกกำลังกายยังช่วยเพิ่มค่าความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อและค่าโมดูลัสของเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้อีกด้วย (Kubo, Kanehisa, Ito, & Fukunaga, 2001a)

ในปัจจุบันรูปแบบการออกกำลังกายที่นิยมใช้เพื่อพัฒนาสมรรถภาพของนักกีฬาวิ่งระยะไกลได้แก่การออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric) โดยมุ่งเน้นการพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อและการประหยัดพลังงานในการวิ่ง (Running economy) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดขีดความสามารถในการวิ่งระยะไกล ที่ต้องการพลังกล้ามเนื้อในการเร่งความเร็วโดยที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งปัจจัยสำคัญที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวิ่งคือการระดมการทำงานร่วมกันของหน่วยยนต์ (Recruitment of motor unit) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Giovanelli, Taboga, Rejc, & Lazzer, 2017) ขณะที่การออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric) จะมุ่งเน้นการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นหลัก ซึ่งจะช่วยให้นักวิ่งสามารถรักษาความเร็วสูงสุดในการวิ่งได้ตลอดระยะทางการแข่งขัน (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Vogt & Hoppeler, 2014) นอกจากนี้การออกกำลังกายทั้งแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกยังช่วยเพิ่มความแกร่งของเอ็นร้อยหวายได้อีกด้วย โดยโฟร์และคณะ (Foure, Nordez, & Cornu, 2010) พบว่า ภายหลังการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก ความแกร่งของเอ็นร้อยหวายจะเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกจะช่วยลดระยะการถูกยืดออกของเอ็นร้อยหวายขณะออกแรงกระดกข้อเท้าลง ส่งผลให้ค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน (Leung, Chu, & Lai, 2017) กล่าวโดยสรุปการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกจะกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยความแรงและความเร็วสูงเป็นจังหวะซ้ำๆจึงทำให้เกิดแรงดึงต่อเอ็นยึดกล้ามเนื้อด้วยความเร็วสูงเป็นจังหวะซ้ำๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กัน ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ ได้แก่ ลดความไวต่อความเครียด และช่วยเพิ่มความต้านทานของเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้ (Foure et al., 2010; Kjaer, 2004) ในขณะที่การออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกจะกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยความแรงสูงแต่ช้า จึงทำให้เกิดแรงดึงต่อเอ็นยึดกล้ามเนื้ออย่างช้าๆตลอดการออกกำลังกาย ซึ่งจะกระตุ้นการสังเคราะห์ของคอลลาเจนในเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้ดี (Kongsgaard et al., 2005; Langberg et al., 2007)

อย่างไรก็ตามที่ผ่านมา ยังไม่พบงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกโดยตรง ที่มีต่อการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งระยะไกล ดังนั้นในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริก โดยควบคุมความหนักของการฝึกให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกันเพื่อจะได้ทราบรูปแบบการฝึกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการฝึกนักกีฬาได้ตรงตามเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย
2. เพื่อศึกษาผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมมติฐานการวิจัย

โปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกช่วยพัฒนาความแข็งแรงและความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งระยะไกลชายได้ดีกว่าโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

ขอบเขตของการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักวิ่งระยะไกลชาย อายุ 18-30 ปี จำนวน 20 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

กลุ่มที่ 2 ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก

2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น (Independent Variables) ได้แก่

1. โปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training : PLY)
2. โปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training : ECC)

ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่

1. แรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (Maximal voluntary isometric contraction: MVC)
2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Peak isokinetic torque)
3. ความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) แกสทรอคนีเมียสด้านใน (Medial gastrocnemius muscle; MG), กล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (Lateral gastrocnemius muscle; LG) และกล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus muscle; SOL)
4. ระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement)
5. ค่าความแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness)

คำจำกัดความของการวิจัย

นักวิ่งระยะไกล หมายถึง นักกีฬาที่เข้าร่วมแข่งขันวิ่งเป็นระยะทาง 5 กิโลเมตรขึ้นไปอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ ซึ่งในทางสรีรวิทยาจัดว่าเป็นการออกกำลังแบบแอโรบิกที่ต้องใช้ความทนทานของระบบไหลเวียนเลือดสูง (F. E. Grine, Fleagle, & Leakey, 2006)

โปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training : PLY) หมายถึง การออกกำลังกาย หรือการฝึกบริหารร่างกายเพื่อพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อ ซึ่งรวมไว้ทั้งความแข็งแรงและความรวดเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อเคลื่อนไหวอย่างฉับพลันซึ่งการฝึกสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ เช่น การฝึกกระโดด และการเขย่ง เป็นต้น (ถนอม โพธิ์มี, 2552)

โปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training : ECC) หมายถึง การออกกำลังกายหรือการฝึกบริหารร่างกายเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ โดยเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อในขณะที่กล้ามเนื้อมีการยืดยาวออก (Cavanagh & Komi, 1979)

แรงสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (Maximal voluntary isometric contraction : MVC) หมายถึง แรงสูงสุดของการหดตัวของกล้ามเนื้อน่องแบบอยู่กับที่ ทำการทดสอบด้วยเครื่องออกกำลังกายแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Peak isokinetic torque) หมายถึง การทำงานของกล้ามเนื้อที่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อและมีการเคลื่อนที่ของข้อ โดยมีความเร็วเชิงมุมคงที่ และมีความตึงตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดตลอดเวลา จึงนำวิธีการนี้มาใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อซึ่งจะทำให้ได้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่สูงสุดตลอดช่วงการเคลื่อนไหว

ความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) หมายถึง การพัฒนาของขนาดของกล้ามเนื้อ ซึ่งมางานวิจัยแสดงถึงความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่าง ความหนาของกล้ามเนื้อกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องถ่ายภาพอัลตราซาวด์ (Ultrasonongraphy)

ระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement) หมายถึงระยะความยาวของเอ็นยึดกล้ามเนื้อที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ การทดสอบโดยใช้เครื่องถ่ายภาพอัลตราซาวด์ (Ultrasonongraphy) ร่วมกับเครื่องไอโซไคเนติกซ์ (Isokinetic dynamometer) เพื่อควบคุมแรงขณะทำการทดสอบ

ค่าความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) หมายถึง ความสามารถในการรับแรงที่มากระทำต่อระยะที่เปลี่ยนแปลงไปของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ โดยค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย เป็นอัตราส่วนของการคำนวณหาแรงกล้ามเนื้อ(Muscle force; F_m) ต่อการยืดตัวของเอ็นร้อยหวาย (ΔL) (Mahieu et al., 2008)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบถึงรูปแบบการฝึกที่เหมาะสมในการพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย จึงได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้เป็นข้อมูลในการศึกษาค้นคว้า วิจัย ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการค้นคว้า

1. การบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งระยะไกล
2. กายวิภาคศาสตร์ของเอ็นร้อยหวาย (Achille's tendon)
3. โครงสร้าง, องค์ประกอบและคุณสมบัติเชิงกลของ เอ็นยึดกล้ามเนื้อ
   3.1 โครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Structure of tendon)
   3.2 องค์ประกอบ (Composition of tendon)
   3.3 คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties of tendon)
4. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ
5. การออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training)
6. การออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training)
7. ผลของการฝึกการออกกำลังแบบมีแรงต้านที่มีต่อเอ็นยึดกล้ามเนื้อ
   7.1 ผลที่มีต่อโครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ
   7.2 ผลที่มีต่อองค์ประกอบของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ
   7.3 ผลที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ
8. กระบวนการวัดความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   9.1 งานวิจัยในต่างประเทศ
   9.2 งานวิจัยในประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. การบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งระยะไกล

การวิ่งระยะไกล หรือ การวิ่งทน เป็นการวิ่งอย่างต่อเนื่องเป็นระยะทางอย่างน้อย 5 กิโลเมตร (3.1 ไมล์) ตามหลักสรีรวิทยานับว่าเป็นการออกกำลังแบบแอโรบิกและต้องใช้ความอดทนทางร่างกายในการวิ่ง (F. E. Grine, Fleagle, J.G., & Leakey, R.E., 2006) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของการวิ่งระยะไกล ได้ดังนี้

1. ฟันรัน (Fun run) หรือที่เรียกกันว่า เดิน วิ่งเพื่อการกุศล ระยะทาง 5 กิโลเมตรการ วิ่งระยะนี้เหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มต้นออกกำลังกายใหม่ๆ นักวิ่งจะรู้สึกสนุกสนาน เพราะมีเพื่อนร่วมเดินวิ่งจำนวนมาก

2. มินิฮาล์ฟ มาราธอน (Mini half marathon) ระยะทาง 10.5 กิโลเมตร เป็นระยะทางที่นักวิ่งเพื่อสุขภาพนิยมกันมาก เพราะระยะทางไม่มาก ไม่น้อยจนเกินไป เหมาะสำหรับการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ

3. ฮาล์ฟ มาราธอน (Half marathon) ระยะทาง 21 กิโลเมตร เป็นอีกระยะทางหนึ่งที่นักวิ่งที่เคยผ่านหรือมีประสบการณ์ในการวิ่งมินิฮาล์ฟมาราธอนมาแล้วชื่นชอบ และเป็นจุดเริ่มต้นของนักวิ่งที่จะก้าวเข้าสู่การวิ่งมาราธอนต่อไป ดังนั้นนักวิ่งควรผ่านการฝึกซ้อมมาพอสมควร เพื่อช่วยป้องกันการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้นในการวิ่ง

4. มาราธอน (Marathon) ระยะทาง 42.195 กิโลเมตร เป็นระยะทางมาตรฐานที่จัดแข่งขันระดับนานาชาติทั่วโลก ในประเทศไทยจะมีการจัดวิ่งมาราธอนอยู่ไม่กี่สนาม เช่น กรุงเทพฯ มาราธอน หาดใหญ่มาราธอน จอมบึงมาราธอน เป็นต้น ซึ่งนักวิ่งระยะนี้จะมีทั้งนักวิ่งสมัครเล่น และนักวิ่งอาชีพ นักวิ่งควรได้รับการฝึกฝนและเตรียมความพร้อมที่ดีและควรผ่านการตรวจสุขภาพมาก่อนเข้าร่วมการแข่งขัน

5. อัลตร้า มาราธอน (Ultra marathon) ระยะทางมากกว่า 42.195 กิโลเมตร เช่น เกาะสมุย อัลตร้ามาราธอน เป็นการจัดวิ่งรอบเกาะสมุย ระยะทางมากกว่า 50 กิโลเมตร นักวิ่งส่วนใหญ่เป็นผู้แข็งแกร่งผ่านสนามวิ่งมาอย่างโชกโชน ถือเป็นการทดสอบสมรรถภาพที่ดี (กาญจนศรี สิงห์ภู่, 2555)

การบาดเจ็บในนักวิ่งระยะไกล

การบาดเจ็บของรยางค์ส่วนล่างของนักกีฬามักพบได้บ่อยมากที่สุด สาเหตุอาจเนื่องมาจากการวิ่งของนักกีฬา (Lopes, Hespanhol Junior, Yeung, & Costa, 2012) ซึ่งการบาดเจ็บของเอ็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ร้อยหวายเป็นหนึ่งในอาการบาดเจ็บที่พบได้บ่อย ทำให้ส่งผลโดยตรงต่อการฝึกซ้อมและการเข้าร่วมการแข่งขัน (Vleck, 1998) การบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายมักเกิดขึ้นอยู่สองบริเวณคือ ช่วงกึ่งกลางของเอ็นยึดกล้ามเนื้อซึ่งมีพื้นที่ตัดขวางที่มีขนาดเล็กที่สุด (Muraoka, Muramatsu, Fukunaga, & Kanehisa, 2004) หรือบริเวณจุดเกาะปลายที่กระดูกส้นเท้า นักกีฬาที่เคยมีประวัติการบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายมักจะมีปัญหาต่อเนื่องเกี่ยวกับทางด้านกล้ามเนื้อและกระดูกในการใช้ชีวิตประจำวัน (Kujala, Sarna, & Kaprio, 2005) แม้ว่าอาการบาดเจ็บเอ็นร้อยหวายสามารถรักษาได้ แต่ผลลัพธ์ของการรักษาอาจไม่ได้ดีเสมอไป ซึ่งบ่อยครั้งต้องอาศัยการผ่าตัดเข้าไปช่วยในการรักษาและจากข้อมูลการวิจัยพบว่าร้อยละ 3 ถึง 5 ของนักกีฬาที่บาดเจ็บที่เอ็นร้อยหวายต้องจบอาชีพนักกีฬาลง (Allison & Purdam, 2009; Khan & Maffulli, 1998; Langberg et al., 2007) ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดว่านักกีฬาวิ่งระยะปานกลางถึงไกลมีความเสี่ยงที่จะเกิดการบาดเจ็บที่เอ็นร้อยหวายสูง ซึ่งจะส่งผลต่อสุขภาพร่างกายของนักกีฬาและค่าใช้จ่ายในการรักษาทั้งในปัจจุบันและอนาคต

การวิ่งระยะไกล เป็นการเคลื่อนไหวซ้ำๆอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน จึงทำให้เกิดแรงกระแทกสะสมจำนวนมากที่ส่งผ่านไปยังรยางค์ขาของนักวิ่งไม่ต่ำกว่า 90 ครั้งต่อนาที โดยที่มุมของข้อต่อและการทำงานของกล้ามเนื้อก่อนและหลังสัมผัสพื้นจะเป็นตัวกำหนดถึง ทิศทางของแรง, ความมั่นคงของขา, ระดับพลังงานที่ใช้ และ การดึงแรงกระทำจากพื้นเพื่อรักษาการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในการวิ่ง (Muller, Siebert, & Blickhan, 2012; Novacheck, 1998) โดยแรงจะถูกส่งผ่านจากข้อเท้าไปยังหน้าแข้งโดยเฉพาะและผ่านไปยังเอ็นร้อยหวายและกล้ามเนื้อน่อง ซึ่งโครงสร้างเนื้อเยื่ออ่อนเหล่านี้ต้องเผชิญกับแรงในช่วงต้นของกระบวนการดูดซับแรง เอ็นร้อยหวายเป็นเนื้อเยื่อที่ต้องรับแรงสูงมากถึงหกเท่าของน้ำหนักตัว (Scott & Winter, 1990) ด้วยสาเหตุนี้อาจนำไปสู่ความเสียหายต่อเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้ ถ้าเอ็นยึดกล้ามเนื้อไม่มีความแข็งแรงมากพอ (Wyndow, Cowan, Wrigley, & Crossley, 2010) ซึ่งบริเวณจุดเกาะปลายของเอ็นร้อยหวายจะมีความเครียดมากที่สุด (Lyman, Weinhold, & Almekinders, 2004) ในขณะที่บริเวณกึ่งกลางของเอ็นยึดกล้ามเนื้อจะมีความเค้นมากที่สุดในร่างกาย (Wren, Lindsey, Beaupre, & Carter, 2003; Wren, Yerby, Beaupre, & Carter, 2001) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายแบบเรื้อรัง จึงอาจเป็นไปได้ว่าบริเวณที่รับการบาดเจ็บจะเกิดรอยแผลเป็นหรือพื้นที่ของเนื้อเยื่อที่อ่อนแอจะค่อยๆขยายบริเวณใหญ่ขึ้นเมื่อมีการรับแรงเพิ่มก่อนที่การซ่อมแซมจะเสร็จสมบูรณ์ ส่งผลให้ความแข็งแรงของเอ็นยึดกล้ามเนื้อไม่สามารถกลับมาสู่ที่ภาวะปกติได้ ทำให้เกิดวัฏจักรของเนื้อเยื่อที่อ่อนแอมากขึ้น ซึ่งการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

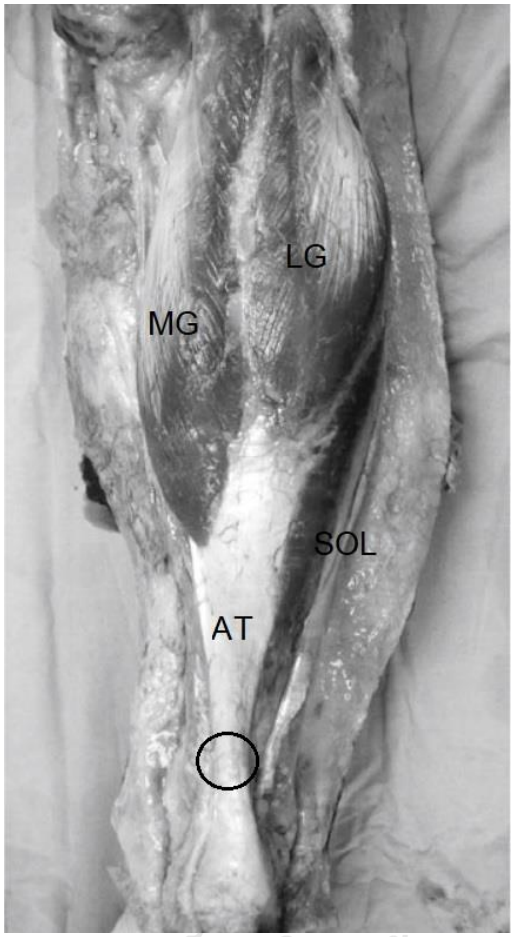
เพิ่มความแข็งแรงของเอ็นยึดกล้ามเนื้อจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยลดความเสียต่อการบาดเจ็บของเอ็นยึดกล้ามเนื้อดังกล่าวได้

2. กายวิภาคศาสตร์ของเอ็นร้อยหวาย (Achille's tendon)

เอ็นร้อยหวาย (Achille's tendon) เป็นเอ็นยึดกล้ามเนื้อที่แข็งแรงและหนาที่สุดในร่างกาย สามารถรับน้ำหนักได้มากถึง 9 กิโลนิวตันในขณะวิ่ง ซึ่งเท่ากับ 12.5 เท่าของน้ำหนักตัว และ 6-8 เท่าของน้ำหนักตัวในการทำกิจกรรมกีฬาต่างๆ เช่นการกระโดดหรือขี่จักรยาน เอ็นร้อยหวายมีจุดเริ่มต้นบริเวณกึ่งกลางของกล้ามเนื้อน่องทางด้านหลัง เกิดจากการรวมตัวของเอ็นกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Gastrocnemius muscle)และกล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus muscle) และมีจุดเกาะปลายที่กระดูกส้นเท้า (Calcaneus) มีความยาวโดยเฉลี่ย 10-15 ซม. ค่าความยาวเฉลี่ยของความกว้างตรงจุดกำเนิดมีค่าเท่ากับ 6.8 ซม. และจะค่อยๆแคบลงเหลือเพียง 1.8 ซม. (Doral et al., 2010) บริเวณกึ่งกลางเอ็นยึดกล้ามเนื้อ ณ จุดเกาะปลายเอ็นยึดกล้ามเนื้อจะแผ่กว้างออกและเกาะที่กระดูกส้นเท้า ค่าความยาวเฉลี่ยของความกว้างตรงจุดเกาะปลายไปจนถึงกึ่งกลางผิวด้านหลังของกระดูกส้นเท้า มีค่าเท่ากับ 3.4 ซม. (Apaydin et al., 2009) ความหนาของเอ็นร้อยหวายถูกวัดด้วยเครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonography) และ การตรวจเอกซเรย์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (MRI) พบว่า เด็กที่อายุต่ำกว่า 10 ปีมีความหนาของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเฉลี่ย 4.6 ± 0.8 มม. อายุระหว่าง 10 ถึง 17 ปี 6.1 ± 0.8 มม. อายุ 18 ถึง 30 ปี 6.3 ± 0.5 มม. และอายุเกิน 30 ปี 6.9 ± 1.0 มม. (Carl, 2005)

บริเวณพื้นผิวด้านหน้าของเอ็นร้อยหวายจนไปถึงจุดเกาะปลาย จะมีเส้นใยกล้ามเนื้อโซเลียสและกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส แทรกตัว ร่วมด้วย แต่จะเป็นส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อของโซเลียสมากกว่า เอ็นร้อยหวายมีลักษณะกว้างและแบน (Bhandari et al., 2002) โดยเส้นใยของเอ็นร้อยหวายจะมีลักษณะหมุนเข้าด้านในทำมุมประมาณ 90 องศา (Ma & Griffith, 1977) ขอบเขตของการหมุนของเส้นใยจะถูกกำหนดโดยตำแหน่งของการรวมตัวกันระหว่างสองกล้ามเนื้อ ซึ่งถ้ามีการรวมตัวกันไกลออกไปจะทำให้เกิดการหมุนของเส้นใยมากขึ้น การหมุนนี้ทำให้มีการยืดตัวและการหดตัวภายในเอ็นยึดกล้ามเนื้อที่ดี ช่วยให้ปล่อยพลังงานที่เก็บไว้ในช่วงระยะการเดินได้อย่างเหมาะสม พลังงานที่สะสมนี้จะช่วยให้สามารถสร้างความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อได้ดีขึ้น และทำให้มีพลังกล้ามเนื้อมากกว่าที่จะทำการหดตัวของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสและกล้ามเนื้อโซเลียสเพียงอย่างเดียว การหมุนของเส้นใยจะเกิดมากที่สุดบริเวณประมาณ 2 ถึง 5 ซม. ใกล้กับจุดเกาะปลายของเอ็นยึดกล้ามเนื้อส่งผลทำให้เกิดความเครียดสูงในบริเวณนี้ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของเอ็นยึด

กล้ามเนื้อและการบาดเจ็บในบริเวณนี้ (Alexander & Bennet-Clark, 1977; Maffulli, 1999) (รูปที่ 1.)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

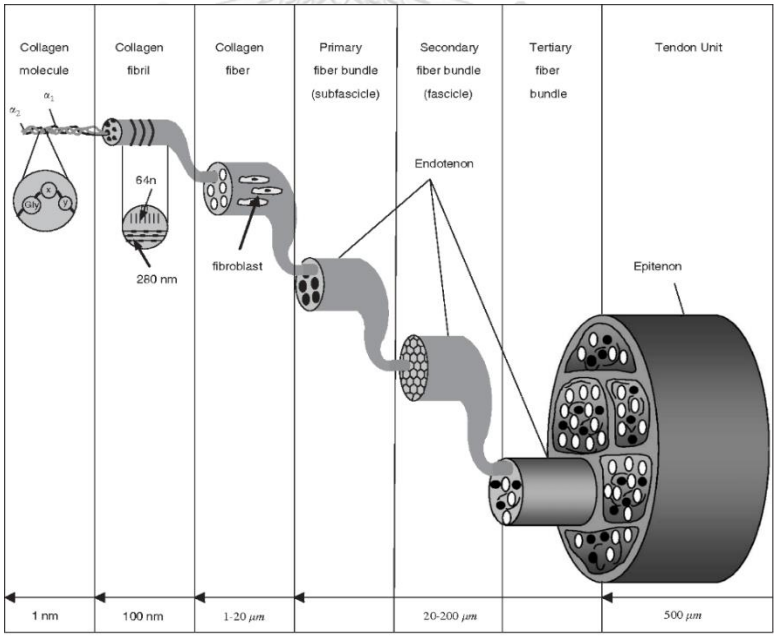
รูปที่ 1 ภาพแสดงกายวิภาคศาสตร์ของเอ็นร้อยหวาย (Achille's tendon) ประกอบด้วย กล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านใน (Medial gastrocnemius muscle; MG), กล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (Lateral gastrocnemius muscle; LG), กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus muscle; SOL) และเอ็นร้อยหวาย (Achille's tendon) ซึ่งในวงกลมแสดงถึงตำแหน่งที่เกิดความเครียดสูง ที่มา: Maffulli (1999)

3. โครงสร้าง, องค์ประกอบและคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

หน้าที่ของเอ็นยึดกล้ามเนื้อสามารถแบ่งออกเป็นสองอย่าง คือ การรับและเก็บแรงดึงและการส่งแรง สำหรับการส่งแรงที่เกิดจากการหดตัวกล้ามเนื้อจะถูกส่งผ่านไปยังกระดูกผ่านเอ็นยึดกล้ามเนื้อ และทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Wang, 2006) ประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่หรือการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับโครงสร้างองค์ประกอบและคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

3.1 โครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Structure of tendon)

เอ็นยึดกล้ามเนื้อมีองค์ประกอบอยู่หลายชั้น ประกอบด้วย โมเลกุลของคอลลาเจน (Collagen molecules), เส้นใย (Fibrils), กลุ่มมัดของเส้นใย (Fibril bundles) หรือเส้นใยของคอลลาเจน (Collagen fiber), กลุ่มเส้นใย (Fascicles) และหน่วยของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon units) ที่เรียงตัวขนานกันไป (Silver, Freeman, & Seehra, 2003; Wang, 2006) หน่วยที่เล็กที่สุดคือ โมเลกุลของคอลลาเจน เป็นโปรตีนสายยาวและบางหมุนพันกันเป็นเกลียวอยู่ด้วยกันสามเส้น (Triple helix protein) เส้นใยแต่ละเส้นประกอบด้วยโมเลกุลของคอลลาเจนที่มีลักษณะเหมือนท่อยาว (Rod-like collagen molecules) ที่เรียงแบบปลายต่อปลายเป็นไตรมาส ซึ่งจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ ชนิด, อายุ และตำแหน่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Wang, 2006) กลุ่มมัดของเส้นใย ประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจนหลายๆเส้นใยและถูกผูกด้วยเอ็นโดธีนอน (Endotenon) ให้รวมกันเป็นกลุ่มมัดของเส้นใย และรวมกลุ่มของเส้นใยไว้ด้วยอิพิธีนอน (Epitenon) ซึ่งส่วนนอกที่สุดของเอ็นร้อยหวาย จะถูกล้อมรอบด้วยพาราเทนอน (Paratenon)ซึ่งบรรจุไปด้วยของเหลวและช่องว่างเพื่อลดแรงเสียดทาน(Curwin & Stanish, 1984) โครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อจะมีการวางตัวเป็นแบบลำดับขั้น (Hierarchical structure) การวางตัวแบบนี้จะช่วยทำให้เอ็นยึดกล้ามเนื้อที่ยาวและมีความแข็งแรงสูง ตามรูปที่ 2.



รูปที่ 2 โครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

ที่มา: Silver et al. (2003)

3.2 องค์ประกอบ (Compositions of tendon)

โครงสร้างพื้นฐานของเอ็นยึดกล้ามเนื้อประกอบด้วย โทรโพคอลลาเจน (Tropocollagen), โปรตีโอไกลแคน (Proteoglycans), ไกลโคโปรตีน (Glycoproteins), น้ำ และเซลล์ (Curwin & Stanish, 1984) เอ็นยึดกล้ามเนื้อมีความอุดมไปด้วยคอลลาเจนมีความสำคัญต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน้าที่ในการส่งแรงไปยังกระดูก ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคอลลาเจนชนิด I (Silver et al., 2003) คอลลาเจนชนิดที่ I มีลักษณะเป็นแท่งมีความยืดหยุ่นน้อยและมีความแข็งแรงสูง นอกจากนี้ยังมีคอลลาเจนชนิดอื่นๆอีก เช่น ชนิดที่ II ถึง VI และ IX ถึง XI ที่ยังสามารถพบได้ในเอ็นยึดกล้ามเนื้ออีกด้วย (Wang, 2006) โดยคอลลาเจนชนิด I เป็นคอลลาเจนที่พบได้มากที่สุดและได้รับการศึกษามากที่สุดอีกด้วย จะพบคอลลาเจนชนิดนี้ได้มากกว่าร้อยละ 90 ของมวลกระดูก และเป็นคอลลาเจนหลักของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ, ผิวหนัง, กระจกตา และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่างๆ ซึ่งคอลลาเจนชนิด I มีความแข็งแรงสูงทำให้มีคุณสมบัติทางชีวกลศาสตร์ที่เกี่ยวกับการรับน้ำหนักและแรงบิดได้ดี คอลลาเจนชนิดที่ II เป็นคอลลาเจนที่ลักษณะเป็นเส้นใย ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญร้อยละ 80 ของกระดูกอ่อน ซึ่งมีคุณสมบัติในการกระจายแรงและรับแรงได้ดี คอลลาเจนชนิด III เป็นเส้นใยที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงและยึดเนื้อเยื่อต่างๆ โดยจะกระจายเป็นบริเวณกว้างในเนื้อเยื่อยกเว้นในกระดูก ซึ่งเส้นใยเป็นลักษณะตาข่ายทำให้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูงแทรกอยู่ในปอด, ตับ, ผิวหนัง, ม้าม และเส้นเลือด คอลลาเจนชนิด V และ XI มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกับคอลลาเจนชนิดที่ II แตกต่างกันที่ขอบเขตของไกลโคซิเลชันและไฮดรอกซิเลชัน ซึ่งทำให้คุณสมบัติทางชีวกลศาสตร์คล้ายคลึงกับคอลลาเจนชนิดที่ II โดยจะพบได้ในกระดูก, กระจกตา, กล้ามเนื้อ, ตับ และปอด (Gelse, 2003)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โทรโพคอลลาเจน (tropocollagen) มีลักษณะเป็นเกลียวสามเส้นเป็นโครงสร้างพื้นฐานของเอ็นยึดกล้ามเนื้อซึ่งเป็นโปรตีนที่มีความบางและยาว มันถูกสร้างมาจาก เท็นโนบลาส (Tenoblast) และหลั่งเข้าไปในเมทริกซ์นอกเซลล์เป็นโพคอลลาเจน (Procollagen) ซึ่งสามารถแปลงเป็นคอลลาเจนได้และสามารถสร้างเส้นใยที่สามารถยึดกับบริเวณช่องทางส่งผ่านสารต่างๆระหว่างในเซลล์กับนอกเซลล์ได้ (Canty et al., 2004) คอลลาเจนในเมทริกซ์นอกเซลล์มีการวางตัวแบบร่างแห (Cross-linked) การวางตัวลักษณะนี้ทำให้เกิดความแข็งแรงของเอ็นยึดกล้ามเนื้อมากขึ้น โดยไปเพิ่มค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) และลดแรงเครียดที่เกิดขึ้น (Hart & Evans, 2000; Wang, 2006)

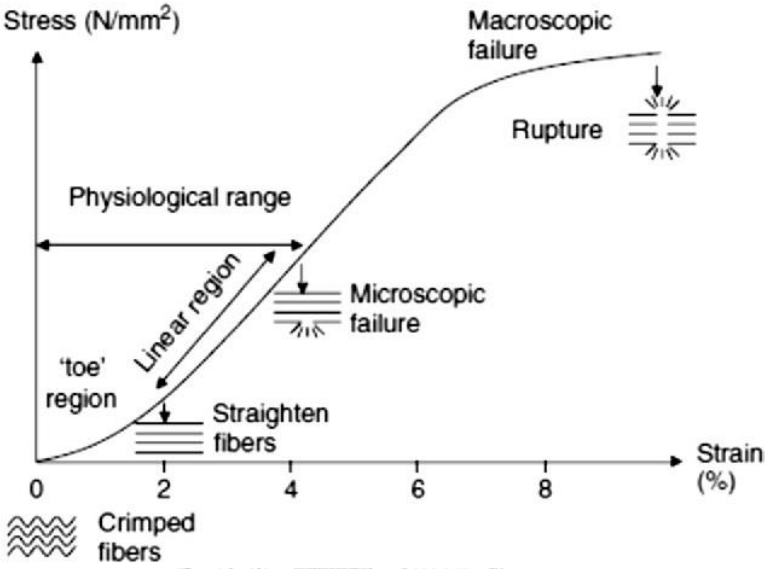
3.3 คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties of tendon)

เอ็นยึดกล้ามเนื้อเป็นโครงสร้างที่มีความหยุ่นหนืด (Viscoelasticity) สูงและมีคุณสมบัติเชิงกลที่เป็นเอกลักษณ์ ลักษณะของความหยุ่นหนืดจะประกอบด้วยคุณสมบัติสองอย่างคือคุณสมบัติของของไหลและคุณสมบัติของของแข็ง ความหยุ่นหนืดเป็นลักษณะของวัสดุที่รวมกันของความหนืด (Viscosity) และความยืดหยุ่น (Elasticity) ความหนืดเป็นการตอบสนองต่ออัตราการเกิดแรง ขณะที่ความยืดหยุ่นเป็นความสามารถกลับสู่ขนาดและรูปร่างเดิมได้เมื่อมีแรงมากระทำ การคลีบคลาน (Creep) และการคลายความเค้น (Stress relaxation) เป็นปรากฏการณ์ของคุณสมบัติหยุ่นหนืด การคลีบคลานเป็นปรากฏการณ์ที่โครงสร้างเสียรูปภายใต้เวลาที่เปลี่ยนแปลงไปโดยแรงคงที่ ส่วนการคลายความเค้นเป็นปรากฏการณ์ที่แรงหรือความเค้นในโครงสร้างที่แปรผันจะลดลงตามเวลาขณะที่การเปลี่ยนรูปคงที่ ดังนั้นลักษณะของความเค้น – เครียด (stress-strain) ของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเป็นอัตราที่ขึ้นอยู่กับเวลา (Nordin & Frankel, 2001; Panjabi & White, 2001; Soderberg, 1997)

คุณสมบัติเชิงกลนี้มีผลโดยตรงต่อองค์ประกอบของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (Load-deformation curve) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำ (นิวตัน: N) กับโครงสร้างและการเปลี่ยนรูป (มิลลิเมตร: มม.) ความสัมพันธ์นี้สามารถอธิบายลักษณะเชิงกลของโครงสร้างเอ็นยึดกล้ามเนื้อ ซึ่งความชันของกราฟจะเรียกว่าความแข็งแกร่ง (stiffness) ส่วนกราฟความเค้นและความเครียด (Stress-strain curve) ใช้อธิบายลักษณะสำคัญของวัสดุ ความเครียดจะได้รับโดยการแบ่งโหลดโดยพื้นที่ตัดขวางเดิมและความเครียดจะได้รับโดยการแบ่งการเสียรูปตามความยาวเดิม ดังนั้นกราฟของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูปจะถูกแปลงเป็นกราฟความเค้นและความเครียด ความลาดเอียงของกราฟความเค้นและความเครียดในเส้นตรงถูกกำหนดให้เป็นโมดูลัสของยัง (Young’s modulus) เป็นตัวชี้วัดความแข็งแกร่งของวัสดุ (Panjabi & White, 2001) ลักษณะทั่วไปของพฤติกรรมเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อจะเป็นไปตามกราฟความเค้นและความเครียด ซึ่งกราฟความเค้นและความเครียดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อประกอบด้วย 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ช่วงเริ่มต้น (Toe region) ซึ่งเอ็นยึดกล้ามเนื้อจะยืดตัวโดยมีการเพิ่มขึ้นของการรับแรงเล็กน้อย เนื่องจากเส้นใยคอลลาเจนมีการยืดตัวออกจากการย่นตัวและทำให้เอ็นยึดกล้ามเนื้อเกิดเครียดประมาณ 2 % ช่วงที่ 2 ช่วงแนวเส้นตรง (Linear region) เป็นช่วงที่เส้นใยเกิดความเครียดน้อยกว่า 4 % ไม่มีการย่นตัวของเอ็นยึดกล้ามเนื้อให้เห็น ความชันในช่วงแนวเส้นตรงนี้อ้างไปถึงค่าโมดูลัสของยังของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ ช่วงที่ 3 ช่วงความเสียหายระดับจุลภาค (Microscopic failure) เป็นช่วงที่ทำให้เอ็นยึดกล้ามเนื้อถูกยืดออกมาขึ้น ทำให้เกิดความเครียดต่อเอ็นยึดกล้ามเนื้อมากกว่า 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

% ทำให้เส้นใยของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเกิดการฉีกขาด ช่วงที่ 4 ช่วงความเสียหายระดับมหภาค (Macroscopic failure) ในกรณีที่ยังมีการรับแรงยืดอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความเครียดเกิน 8-10% อาจทำให้เอ็นยึดกล้ามเนื้อเกิดการฉีกขาดได้ ตามรูปที่ 3 (Hart & Evans, 2000; Wang, 2006)



รูปที่ 3 กราฟความเค้นและความเครียดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Stress- strain curve of tendon tissue) ที่มา: Wang (2006)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

ความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหวของมนุษย์ มีศึกษาว่าคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อสามารถปรับให้เข้ากับสภาพการรับแรงภายในและภายนอกของร่างกายมนุษย์ได้ ซึ่งการปรับตัวของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะส่งผลโดยตรงต่อการปรับตัวของเอ็นยึดกล้ามเนื้อด้วยเช่นกัน โดยจะมีการปรับตัวในอัตราส่วนที่เหมาะสมกันระหว่างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด (Alexander, 2002) การศึกษาของ Han, Lee, and Lee (2014) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่องและความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนต่อความแข็งแกร่งของเอ็นที่เพิ่มขึ้น

5. การออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training)

พลัยโอเมตริก (Plyometric) มาจากรากศัพท์ภาษา กรีก ที่ว่า Plio หมายถึง เพิ่มมากขึ้นอีก รวมกับคำว่า Metric ซึ่งหมายถึงการวัดขนาดหรือระยะ (Measure) ตามที่เข้าใจในปัจจุบัน การออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric) หมายถึง การออกกำลังกายหรือการฝึกบริหารกายเพื่อพัฒนาทางด้านกำลังหรือพลังของกล้ามเนื้อที่รวมไว้ซึ่งความแข็งแรงและความรวดเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ เพื่อการเคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน ลักษณะของการฝึกสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ เช่น การฝึกกระโดด (Jump Training)และ เขย่ง (Hopping) ในรูปแบบต่าง ๆ กัน เพื่อพัฒนากล้ามเนื้อส่วนล่างของร่างกาย (Lower Extremities) (เจริญ กระบวนรัตน์, 2538) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง พลัยโอเมตริกคือการออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนไหวด้วยแรงสูงสุด และใช้เวลาน้อยที่สุด โดยมีการยืดตัว (Pre-stretch) ของกล้ามเนื้อออกเล็กน้อยก่อนที่จะมีการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว ซึ่งก่อให้เกิดพลังของกล้ามเนื้อ (Power) นั่นคือความแข็งแรง (Strength) รวมกับความเร็ว (Speed)

Chu (1992) ได้กล่าวว่าพลัยโอเมตริก (Plyometric) หมายถึง การฝึกหัด หรือการออกกำลังกายที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อมโยงความแข็งแรงกับความเร็วของการเคลื่อนไหวเพื่อทำให้เกิดประเภทของการเคลื่อนไหวแบบรวดเร็วโดยมักใช้การฝึกกระโดด และการกระโดดงอเข่าย่อตัว (Depth Jump) แต่พลัยโอเมตริกอาจรวมถึงการฝึกหรือการออกกำลังกายแบบใด ๆ ก็ได้ที่ใช้ปฏิกิริยาสะท้อนแบบยืด-เหยียด (Stretch reflex) เพื่อผลิตแรงปฏิกิริยาหรือแรงโต้ตอบอย่างรวดเร็ว โดยมีความเชื่อว่าการออกกำลังกายโดยที่มีการเหยียดออกอย่างรวดเร็วของกล้ามเนื้อก่อนการหดตัวจะทำให้แรงการหดตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มมากยิ่งขึ้น การที่กล้ามเนื้อเหยียดตัวออกเร็วมากเท่าใด ก็ยิ่งมีการพัฒนาแรงหดตัวของการหดสั้นเข้าทันทีได้มากยิ่งขึ้นเท่านั้น (Huber, 1987) กลไกการเพิ่มความแข็งแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อนี้เกิดมาจากการยืดของกล้ามเนื้อสปินเดิล (Muscle spindle) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาประสาทสัมผัสของกล้ามเนื้อเรียกว่า มัยโอเทติก รีเฟล็กซ์ (Myotatic Reflex) และนำไปสู่การเพิ่มความถี่ของการกระตุ้นหน่วยยนต์ (Motor unit) (Clutch, 1983)

Chu and Plummer (1984) ยังกล่าวว่า การฝึกแบบพลัยโอเมตริก สามารถช่วยพัฒนาการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ นั่นคือ พลัยโอเมตริกทำหน้าที่เหมือนเครื่องมือหรือสื่อของการฝึกระบบประสาท และกล้ามเนื้อเพื่อใช้ตอบโต้อย่างเร็วและอย่างแรงระหว่างการยืดกับการหด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ของการกระทำนั้น ๆ การหดตัวแบบสั้นเข้าอย่างมีประสิทธิภาพในการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric) ซึ่งนำไปสู่การทำงานร่วมกันแบบพร้อม ๆ กัน ของหน่วยยนต์ และการรวมตัวกันทำงานของหน่วยยนต์ใหญ่ขึ้นได้ง่ายขึ้นอีกด้วย โดยผ่าน ไมโอเทติครีเฟล็กซ์ (Myotatic reflex) ผลลัพธ์ของการฝึกพลัยโอเมตริก อาจเพิ่มแรงเช่นเดียวกับการเพิ่มความเร็วและการเพิ่มความเร็วกับความแข็งแรง ก็คือพลังระเบิดของกล้ามเนื้อ

อนุพงษ์ (อนุพงษ์ ฉัตรสูงเนิน, 2544) แสดงให้เห็นว่าการฝึกพลัยโอเมตริก สามารถยกระดับความเหมาะสมในการรับความรู้สึก จึงทำให้เกิดการปรับปรุงความทนต่อการเพิ่มน้ำหนักถ่วงในการเหยียดกล้ามเนื้อออกไปได้มากขึ้น ซึ่งการทนต่อน้ำหนักถ่วงของการเหยียดกล้ามเนื้อนี้อาจสร้างรีเฟล็กซ์เหยียดให้แข็งแรงขึ้นทำให้เหยียดกล้ามเนื้อได้มากขึ้น

การพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นสิ่งที่ต้องกระทำมาก่อนการใช้โปรแกรมพลัยโอเมตริกเพื่อทำให้เกิดความเร็วและความแข็งแรง ถ้าปราศจากโปรแกรมสร้างความแข็งแรงพื้นฐานแล้วขาหรือแขนของนักกีฬาจะไม่สามารถทนต่อแรงที่เกิดขึ้นอย่างมากเกินไปของพลัยโอเมตริกได้ การรวมการฝึกด้วยน้ำหนักกับพลัยโอเมตริก (Weight and Plyometric) จึงช่วยเพิ่มความหลากหลายและเพิ่มพูนการฝึกความแข็งแรงนำไปสู่การพัฒนากล้ามเนื้อ

Roundtable (1986) ได้กล่าวว่าตามธรรมชาติการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกเป็นการออกกำลังกายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและมีการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดและมีแรงพยายามเกิดขึ้นทุกครั้ง จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกควร ฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ ใช้เวลาแต่ละครั้งไม่เกิน 30 นาที ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ที่ดีต้องกระทำ 2-4 เที่ยวทำซ้ำแต่ละเที่ยว 5-10 ครั้ง พักระหว่างเที่ยวอย่างน้อย 3–5 นาที

Novkov (1987) ได้แนะนำว่าความสูงที่เหมาะสมสำหรับน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัมถึง 90 กิโลกรัม คือ 70 เซนติเมตร น้ำหนักตัวที่ต่ำกว่า 70 กิโลกรัมควรใช้ความสูงระหว่าง 75 ถึง 95 เซนติเมตร ส่วนความสูง 50 เซนติเมตร มีความเหมาะสมกับน้ำหนักตัว100 กิโลกรัมหรือมากกว่านี้ การฝึกที่ระดับความสูงที่ต่ำกว่าเพื่อช่วยป้องกันการบาดเจ็บจากระบบประสาทและกล้ามเนื้อ นอกจากนี้พบว่าการฝึกเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ สำหรับการกระโดดวันเว้นวัน และเปลี่ยนแปลงความสูงทุกครั้ง จำนวนเที่ยวที่เหมาะสมคือ 2-4 เที่ยว และทำซ้ำเที่ยวละ 10 ครั้ง

สอดคล้องกับ Hedrick (1994) ได้แนะนำให้ฝึกพลัยโอเมตริกหลังจากการฝึกวิ่งเร็วและการฝึกด้วยน้ำหนักมาแล้วอย่างน้อย 4-6 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Allerheiligen and Roger (1995) ได้เสนอแนะวิธีการทดสอบความแข็งแรงในระดับที่สามารถฝึกพลัยโอเมตริกต่อไปได้ โดยมีเกณฑ์ดังนี้ คือส่วนล่างของร่างกายจะต้องสามารถแบกน้ำหนักย่อตัวได้ 1.5-2.5 เท่าของน้ำหนักตัวหรือแบกน้ำหนักย่อตัวด้วยน้ำหนักขนาด 60% ของน้ำหนักตัวได้ 5 ครั้ง ภายในไม่เกิน 5 วินาที

กล่าวโดยสรุปการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกคือ การฝึกกล้ามเนื้อในลักษณะที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวแบบความยาวเพิ่มขึ้นก่อนแล้วจึงหดสั้นแบบความยาวลดลงอย่างฉับพลันโดยมีรูปแบบการฝึกอาทิ เช่น การฝึกกระโดด (Jump Training) และเขย่ง (Hopping) ในรูปแบบต่าง ๆ กันการเตรียมตัวที่จะฝึกพลัยโอเมตริกควรทำการฝึกด้วยน้ำหนักเสียก่อนเพื่อลดโอกาสของการบาดเจ็บเพื่อพัฒนาความแข็งแรงพื้นฐาน และเตรียมระบบกล้ามเนื้อ และข้อต่อให้รับแรงกระแทกที่หนักได้

การทำงานของรีเฟล็กซ์ยืด (Stretch Reflex) จะเป็นตัวกำหนดระดับการยืดของกล้ามเนื้อและจะป้องกันไม่ให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกมากเกินปกติ โดยอาศัยกลไกการทำงานของตัวรับความรู้สึกในกล้ามเนื้อ (Muscle Spindle) ตัวรับความรู้สึกภายในกล้ามเนื้อจะรับรู้ถึงอัตราและขนาดของการยืดยาวออก และประสาทรับความรู้สึกของตัวรับความรู้สึกภายในกล้ามเนื้อจะส่งสัญญาณประสาทไปยังประสาทสั่งการ (Motor Neuron) ในประสาทไขสันหลัง (Spinal Column) และประสาทสั่งการนี้เองจะเป็นตัวส่งสัญญาณประสาทมายังกล้ามเนื้อที่ยืดยาวออกให้มีการหดตัวกลับเพื่อป้องกันการยืดยาวออกที่มากเกินและบาดเจ็บ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากโมเดลทางชีวกลศาสตร์กล้ามเนื้อจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่ทำหน้าที่หดตัว (Contractile Elemen) ซึ่งจะเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อ และส่วนที่ไม่ได้ทำหน้าที่ในการหดตัว (Non-Contractile) แต่จะเป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ยืดหยุ่น (Elastic Component) เมื่อมีการยืดยาวออกขององค์ประกอบที่ทำหน้าที่ยืดหยุ่นขณะที่กล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกจะก่อให้เกิดพลังงานศักย์ (Potential Energy) เหมือนกับการทำงานของสปริง เมื่อพลังงานศักย์มีการปลดปล่อยจะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของพลังงานในการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ การทำงานลักษณะดังกล่าวจะพบได้ในการเคลื่อนไหวแบบพลัยโอเมตริก เมื่อกล้ามเนื้อมีการยืดยาวออกอย่างรวดเร็วองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ยืดหยุ่นจะมีการยืดยาวออกดังนั้น จะมีการสะสมปริมาณของแรงในรูปของพลังงานศักย์และการปลดปล่อยพลังงานศักย์ที่สะสมไว้จะเกิดขึ้นขณะที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวสั้นเข้าซึ่งจะปล่อยออกมาในรูปของรีเฟล็กซ์ยืด

องค์ประกอบที่สำคัญของการออกกำลังกายแบบพลัยโอเตริกจะแบ่งออกได้ 3 ระยะ คือ ระยะกล้ามเนื้อยืดยาวออก (Eccentric Phase) ระยะสะสมพลังงาน (Amortization Phase)และระยะกล้ามเนื้อหดสั้นเข้า (Concentric Phase) ระยะสะสมพลังงานเป็นช่วงเวลาจากกล้ามเนื้อเริ่มต้นทำงานแบบยืดยาวออก (สัมผัสพื้น) ถึงเริ่มต้นการทำงานแบบหดสั้นเข้า (เริ่มต้นการกระโดด) ผลของการทำงานแบบพลัยโอเมตริก ดังกล่าว กล้ามเนื้อขาจะมีการทำงานเหมือนกับการยืดยางยืดอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นผลให้มีพลังในการหดตัวของกล้ามเนื้อมากขึ้น ทำนองเดียวกันกล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกซ้อมจะมีความสามารถในการทำงาน แบบพลังระเบิดมากขึ้น ข้อดีที่ได้รับจากรีเฟล็กซ์ยืดจะทำให้ระยะสะสมพลังงานสั้นลง จากการศึกษาในนักกีฬาประเภทกระโดด และนักวิ่งระยะสั้นหรือนักกีฬาอื่น ๆ ที่อาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อแบบความเร็วแข็งแรง (Speed–strength) จะพบว่าเท้าของนักกีฬาจะมีเวลาในการสัมผัสพื้นช่วงสั้น ๆ เพราะนักกีฬามีความสามารถในการใช้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในระยะกล้ามเนื้อยืดยาวออก และนำมาใช้ในระยะกล้ามเนื้อหดสั้นเข้าอย่างไรก็ตาม พลังงานศักย์ (Potential Energy) ที่พัฒนาขึ้นในระยะแรกสามารถสูญเสียไปได้ (ในรูปของพลังงานความร้อน) ถ้าการหดตัวแบบเอ็กเซนตริกไม่ตามด้วยการหดตัวแบบคอนเซนตริกอย่างรวดเร็วจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ต้องพึงระลึกไว้เสมอว่าอัตราความเร็วของการยืดยาวออกจะมีความสำคัญมากกว่าขนาดของการยืดยาวออก เมื่อใช้เวลาการเคลื่อนไหวสั้น และรวดเร็วพลังจะเพิ่มขึ้นมากกว่าการเคลื่อนไหวนาน และช้า

ชนินทร์ชัย (ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์, 2544) ได้สรุปลักษณะการฝึกพลัยโอเมตริกไว้ดังนี้

1.การฝึกพลัยโอเมตริกจะต้องปฏิบัติในลักษณะแรงระเบิดมากกว่าการฝึกด้วยน้ำหนัก ดังนั้นการออกแรงอย่างรวดเร็ว จึงเป็นการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อด้วย พบว่า ในลักษณะของการฝึกพลัยโอเมตริกนั้นทำให้สามารถเพิ่มอัตราการพัฒนาแรง และพลังกล้ามเนื้อได้ดีกว่าการฝึกด้วยน้ำหนักตามประเพณีนิยม

2. การฝึกพลัยโอเมตริกจะไม่มีการผ่อนแรงลดอัตราความเร็วลงในระยะที่จะสุดช่วงของการเคลื่อนที่พอดี ดังนั้นพลัยโอเมตริกจึงเป็นการออกแรงมาก และเพิ่มอัตราความเร็วตลอดช่วงของการเคลื่อนที่ซึ่งเหมือนกับลักษณะของการเคลื่อนไหวในกีฬาส่วนใหญ่

3. การฝึกพลัยโอเมตริกจะต้องปฏิบัติในลักษณะที่ใช้อัตราความเร็วสูงกว่าการฝึกด้วยน้ำหนัก ทำให้สามารถถ่ายโยงลักษณะของการเคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วสูงไปยังสถานการณ์ในการแข่งขันจริงได้

4. กิจกรรมการฝึกพลัยโอเมตริกเป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะของวงจรเหยียด-สั้นซึ่งเป็นที่ยอมรับว่าเหมือนกับการทำงานของกล้ามเนื้อในนักกีฬาส่วนใหญ่

ข้อควรระวังของการฝึกพลัยโอเมตริก

1. กิจกรรมการฝึกพลัยโอเมตริกทำให้เกิดแรงกระแทกในระดับสูงเมื่อลงสู่พื้น ซึ่งแรงกระแทก 3-4 เท่าของน้ำหนักตัวนั้นทำให้เกิดการบาดเจ็บในระบบกล้ามเนื้อ และโครงสร้างกระดูกได้

2. กิจกรรมการฝึกพลัยโอเมตริกตามแบบที่ใช้ทั่วไปนั้น ในการฝึกส่วนล่างของร่างกายใช้น้ำหนักตัวเป็นน้ำหนักในการฝึก ส่วนการฝึกในส่วนบนของร่างกายจะใช้เมดิซิลบอลขนาด 3-10 กิโลกรัมเป็นน้ำหนักในการฝึก

3. กิจกรรมการฝึกพลัยโอเมตริกจะต้องปฏิบัติในลักษณะที่ใช้อัตราความเร็วสูง ดังนั้นความแข็งแรงที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าการฝึกด้วยน้ำหนัก

นอกจากนี้ Bompa (1993) ได้สรุปข้อควรพิจารณาก่อนการฝึกพลัยโอเมตริก ไว้ดังนี้

1. อายุ เนื่องจากท่าฝึกพลัยโอเมตริกบางท่ามีความหนักอยู่ในระดับสูงและ มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บในส่วนของกระดูกที่กำลังเจริญเติบโต จึงมีข้อแนะนาว่านักกีฬาที่มีอายุ ต่ากว่า16 ปี จะต้องไม่ฝึกท่าที่มีความหนักอยู่ในระดับช็อค (Shock) ซึ่งเป็นระดับสูงสุด ซึ่งได้แก่ ท่าเด็พธ์จัมพ์ (Depth jumps)

2. น้ำหนักตัว ผู้ที่มีน้ำหนักเกิน 220 ปอนด์ ไม่ควรฝึกท่าเด็พธ์จัมพ์ (Depth jumps) จากความสูงเกิน 18 นิ้ว (45.72 ซม.)

3. อัตราส่วนของความแข็งแรง หมายถึง น้ำหนักที่ยกท่าแบกน้ำหนักย่อตัวได้มากที่สุดหารด้วยน้ำหนักตัว ควรจะมีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 2.5 จึงจะเหมาะสมสาหรับการฝึกพลัยโอเมตริกทั้งนี้ค่าของการฝึกแต่ละแบบจำต้องใช้อัตราส่วนของความแข็งแรงแตกต่างกันไป

4. โปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในปัจจุบัน ถ้าผู้ฝึกไม่ได้ฝึกในโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้ออยู่ในขณะนั้น จะต้องจัดให้ฝึกโปรแกรมดังกล่าวเสียก่อน อย่างน้อย 2-4 สัปดาห์ ก่อนที่จะฝึกพลัยโอเมตริก เพื่อให้อัตราส่วนของความแข็งแรงอยู่ในระดับที่ เหมาะสม

5. โปรแกรมการฝึกความเร็วในปัจจุบัน ถ้าผู้ฝึกไม่ได้ฝึกในโปรแกรมการฝึกความเร็วอยู่ในขณะนั้น จะต้องจัดให้ฝึกในโปรแกรมดังกล่าวก่อนอย่างน้อย 2-4 สัปดาห์ ก่อนจะฝึกพลัยโอเมตริก เพื่อลดอัตราเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ

6. ประสบการณ์ ถ้าผู้ฝึกไม่มีประสบการณ์กันมาก่อน จะต้องเริ่มจากปริมาณของการฝึกที่น้อยกว่าปกติไปหามาก และจะต้องค่อยๆพัฒนา การฝึกไปเรื่อยๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7. การบาดเจ็บ บริเวณที่บาดเจ็บได้ง่าย ได้แก่ ข้อเท้า เท้า หน้าแข็ง เข่า สะโพกและหลังส่วนล่าง ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินการบาดเจ็บ เพื่อหลีกเลี่ยงการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้นในตอนเริ่มต้นของโปรแกรมการฝึกพลัยโอเมตริก

8. พื้นผิวของสถานที่ฝึก พื้นในอุดมคติคือ พื้นแบบที่ใช้ในกีฬายิมนาสติกหรือพรมที่มีความยืดหยุ่นสามารถรองรับการกระแทกได้ดี และพื้นหญ้าก็อาจเป็นพื้นผิวตามอุดมคติได้

9. ข้อควรพิจารณาด้านความปลอดภัย ในการฝึกพลัยโอเมตริกนั้นจะต้องเน้นให้ผู้ที่ฝึกปฏิบัติด้วยเทคนิคที่ถูกต้อง ซึ่งผู้ฝึกสอนจะต้องแนะนำ และแก้ไขให้ถูกต้อง ซึ่งถ้าผู้ฝึกสอนละเลยก็จะเกิดการบาดเจ็บได้ง่าย และต้องกำหนดโปรแกรมการฝึกได้อย่างเหมาะสม

Bompa (1993) ยังได้เสนอแนะการวางแผนระยะยาวของการฝึกพลังกล้ามเนื้อไว้ดังนี้

การฝึกพลังกล้ามเนื้อ (Power)	ใช้เวลา 4-5 สัปดาห์	
	ความหนัก	
กีฬาที่ใช้ความพยายามซ้ำๆกัน	30-50%	ของหนึ่งอาร์เอ็ม
กีฬาที่ใช้ความพยายามครั้งเดียว	50-80%	ของหนึ่งอาร์เอ็ม
จำนวนท่าฝึก	2-4 (5)	ท่า
จำนวนครั้ง	4-10	ครั้ง
จำนวนชุด	3-6	ชุด
เวลาพัก	2-6	นาที
จังหวะการยก	เร็ว	
ความถี่	2-3	ครั้งต่อสัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. การออกกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training)

การออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกเป็นการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและใช้ในการฝึกนักกีฬา โดยเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อในขณะที่กล้ามเนื้อมีการยืดยาวออก โดยใช้แรงต้านจากแรงโน้มถ่วงจากน้ำหนักของร่างกายหรือน้ำหนักถ่วงจากภายนอกเพิ่มเติม ทำให้การออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกเป็นการยืดออกของกลุ่มกล้ามเนื้อและเส้นเอ็น (Musculotendinous complex) ขณะที่กระตุ้นให้เกิดการทำงานไปพร้อมกัน ทำให้สามารถสร้างแรงของกล้ามเนื้อได้มากกว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบคอนเซนตริกและแบบไอโซเมตริก (Isner-Horobeti et al., 2013)

Chu (1992) กล่าวว่า ถึงแม้จะถือได้ว่านักกีฬาประเภทที่ใช้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและพลังกล้ามเนื้อนั้นจะต้องมีเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็วมากกว่าเส้นใยที่หดตัวได้ช้าก็ตาม แต่เส้นใย

กล้ามเนื้อทั้งสองลักษณะนี้ต่างก็มีความสำคัญต่อการพัฒนานักกีฬาในภาพรวมทั้งหมด เส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็ว จะช่วยให้นักกีฬาสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างรวดเร็วในลักษณะแรงระเบิดเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวได้ช้าจะทำหน้าที่รักษาความมั่นคง และท่าทางของนักกีฬาในขณะที่ทำการเคลื่อนไหวทำให้เป็นการเคลื่อนไหวที่สมบูรณ์ คำแนะนำในการฝึกแบบเอ็คเซ็นตริก มีดังนี้ ให้ฝึกด้วยน้ำหนักโดยใช้ความหนักในการฝึกระดับสูง ซึ่งจะเป็นการฝึกเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่มีความเร็วในการหดตัวมาก (Type IIb) และยังฝึกให้เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Type IIa)ได้ทำงานแบบเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหัวตัวเร็วมาก (Type IIb) โดยการย่อตัวลงอย่างช้าๆ จนเข่าทำมุมที่ต้องการ แล้วค้างไว้นับจนถึง 6 วินาที จุดที่ค้างไว้เรียกว่า จุดเดสเซ็นท์ (Descent phase) ในการทำท่าแบกน้ำหนัก (Squat) ทำการฝึก 6-8 ครั้งในหนึ่งเซต ฝึกอย่างน้อย 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นในช่วงที่เราค้างน้ำหนักไว้ (Hold) ในท่าหรือมุมที่เราต้องการ และอาจทำให้ความเร็วมากขึ้นจากการที่เราฝึกเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่มีความเร็วในการหดตัวมาก (Type IIb) ซึ่งสอดคล้องกับดัดเลย์ และเฟลกค์ (Dudley & Fleck, 1987) ที่ว่าการฝึกแบบเอ็คเซ็นตริกนอกจากจะช่วยทำให้มวลของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นแล้ว ยังช่วยเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อแบบหดตัวเร็ว (Fast twitch)

Bompa (1999) ได้เสนอแนะเกี่ยวกับหลักการฝึกแบบเอ็คเซ็นตริกว่า นักกีฬาควรมีการฝึกความแข็งแรงอย่างน้อย 3-5 ปี และในการฝึกนักกีฬาไม่ควรฝึกคนเดียว ควรมีผู้ฝึกสอนคอยดูแลอย่างใกล้ชิด เพราะใช้น้ำหนักในการฝึกที่มาก เพื่อให้ได้วัตถุประสงค์ในการฝึก และสิ่งที่สำคัญคือ ผู้ฝึกสอนควรเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้านตรงข้ามกับที่ฝึกโปรแกรมเอ็คเซ็นตริกเพื่อป้องกันการบาดเจ็บของนักกีฬา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Stone and O'Bryant (1987) ได้เสนอแนะให้แบ่งช่วงเตรียมตัว (Preparatory period) ออกเป็นสามระยะดังนี้

1. ระยะพัฒนาขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Hypertrophy phase)

ความหนัก	50-75%	ของหนึ่งอาร์เอ็ม
จำนวนครั้ง	8-12	ครั้ง
จำนวนชุด	3-5	ชุด

2. ระยะพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Strength phase)

ความหนัก	80-88%	ของหนึ่งอาร์เอ็ม
จำนวนครั้ง	5-6	ครั้ง
จำนวนชุด	3-5	ชุด

3. ระยะพัฒนาพลังกล้ามเนื้อ (Power phase)

ความหนัก	90-95%	ของหนึ่งอาร์เอ็ม
จำนวนครั้ง	2-4	ครั้ง
จำนวนชุด	3-5	ชุด

7. ผลของการฝึกการออกกำลังแบบใช้แรงต้านที่มีต่อเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

การตอบสนองของเอ็นยึดกล้ามเนื้อต่อออกกำลังกาย ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง, องค์ประกอบ และ คุณสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ ซึ่งมีหลักฐานงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายทั้งในคนและสัตว์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอ็นยึดกล้ามเนื้อหรือที่เรียกว่าการปรับตัวของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเกิดขึ้นดังนี้ (Hart & Evans, 2000; Kjaer, 2004; Langberg et al., 2007; Ohberg et al., 2004; Wang, 2006)

7.1 ผลที่มีต่อโครงสร้างของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

การออกกำลังกายมีผลโดยตรงต่อพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Cross sectional area of tendon) โดยพบว่าพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นหลังจากการฝึก เอ็นยึดกล้ามเนื้อที่มีพื้นที่หน้าตัดมากจะช่วยลดความเครียดโดยเฉลี่ย (แรง / พื้นที่) ที่ส่งผ่านไปยังเอ็นยึดกล้ามเนื้อและทำให้มีความปลอดภัยสูงขึ้น (Lenskjold et al., 2015) จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองในสัตว์ทดลองพบว่า พื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อและความแข็งแรงของเอ็นยึดกล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้นหลังจากให้โปรแกรมการออกกำลังกาย (Brich, McLaughlin, Smith, & Goodship, 1999; Magnusson & Kjaer, 2003; Woo et al., 1981) จากการศึกษาของ Brich et al. (1999) ที่ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยลู่วิ่งต่อพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ พบว่าพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นหลังจากการออกกำลังกาย ซึ่งสอดคล้องกับ Lenskjold et al. (2015) ที่ได้ทำการศึกษาในคน ซึ่งพบว่าพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นภายหลังการออกกำลังกายและการได้รับแรงดึงที่สูง Rosager et al. (2002) ได้ทำการวัดพื้นที่หน้าตัดของเอ็นร้อยหวายของกลุ่มนักวิ่งเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่ามีพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่มากกว่าในกลุ่มนักวิ่งที่มีประสบการณ์มากกว่า 5 ปี อย่างไรก็ตามการศึกษาบางส่วนพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือลดลงของพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อหลังจากการออกกำลังกาย (Kjaer, 2004; Kubo et al., 2001a; Viidik, 1969; Woo et al., 1980) และในการศึกษาของ Kubo et al. (2001a) ที่ได้ศึกษาผลของการออกกำลังแบบไอโซเมทริกเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ต่อพื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อในมนุษย์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดภายหลังการฝึกออกกำลังกาย ซึ่งความไม่สอดคล้อง

กันของผลการทดลองดังกล่าวอาจเกิดจากความแตกต่างกันของระยะเวลาและชนิดของการฝึกร่วมกัน (Elliott, 1965; Smith, Birch, Goodman, Heinegard, & Goodship, 2002)

7.2 ผลที่มีต่อองค์ประกอบของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

เอ็นยึดกล้ามเนื้อส่วนใหญ่เป็นคอลลาเจนชนิดที่ 1 จัดอยู่ในเส้นใยที่ต้านทานแรงดึงได้ดี การฝึกการออกกำลังกายสามารถเพิ่มทั้งการสังเคราะห์และการย่อยสลายของคอลลาเจนได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและลักษณะความหยุ่นหนืด ลดความไวต่อความเครียดและอาจเพิ่มความต้านทานของเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้ (Kjaer, 2004) มีรายงานการวิจัยหลายฉบับ (Heinemeier et al., 2007; Langberg et al., 2007; Michna & Hartmann, 1989; Norrbrand, Fluckey, Pozzo, & Tesch, 2008) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อองค์ประกอบในเอ็นยึดกล้ามเนื้อปกติและใช้เทคนิคการแยกสารผ่านเยื่อระดับไมโคร (Microdialysis) สำหรับคอลลาเจนชนิด 1 พบว่าการออกกำลังกายสามารถช่วยเพิ่มการหมุนเวียนคอลลาเจนชนิด 1 หลังจากการฝึก และจากการศึกษาของ Langberg et al. (2007) ที่ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อการสังเคราะห์คอลลาเจนชนิด I และการย่อยสลายในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของเอ็นร้อยหวาย พบว่าการฝึกกิจกรรมทางกายที่เพิ่มขึ้นช่วยกระตุ้นการหมุนเวียนของคอลลาเจนชนิด I ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของเอ็นร้อยหวาย แม้แต่เอ็นร้อยหวายที่มีการเสื่อมสภาพแล้ว การออกกำลังกายยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเอ็นยึดกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย (Heinemeier et al., 2007; Langberg et al., 2007) ซึ่งสอดคล้องกับ Langberg et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกต่อองค์ประกอบของเอ็นยึดกล้ามเนื้อที่มีการบาดเจ็บแบบเรื้อรัง พบว่าการฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก 12 สัปดาห์จะเพิ่มอัตราการสังเคราะห์คอลลาเจนชนิดที่ 1 ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Heinemeier et al. (2007) ที่พบว่า ปริมาณของคอลลาเจนชนิดที่ 1 และ 3 จะเพิ่มขึ้นหลังจากการฝึกออกกำลังกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.3 ผลที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

เอ็นยึดกล้ามเนื้อมีคุณสมบัติสมบัติหยุ่นหนืด ซึ่งมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนความยาวและแรงจากการทำงานของหน่วยปฏิบัติการเพื่อการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Sarcomere) ของกล้ามเนื้อ (Maganaris & Paul, 2002) ซึ่งเอ็นยึดกล้ามเนื้อเป็นเนื้อเยื่อที่ไม่สามารถยืดตัวได้ดีมากนัก แต่สามารถจะปรับเปลี่ยนรูปทรงต่อแรงที่เข้ามากระทำได้โดยขึ้นกับคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อนั้น (Magnusson et al., 2003) มีหลักฐานจากงานวิจัยหลายฉบับแสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายช่วยเพิ่มความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon

stiffness) และโมดูลัสของยัง (Brich et al., 1999; Buchanan & Marsh, 2001; Kubo, Kanehisa, & Fukunaga, 2002; Mahieu et al., 2008; Woo et al., 1980) ประโยชน์ของการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ เช่นการเพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่งและความแข็งแรงสูงสุดที่สามารถดูดซับพลังงานจำนวนมาก ทำให้เอ็นยึดกล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น แข็งแรงขึ้นและทนต่อการบาดเจ็บได้มากขึ้น

จากการศึกษาที่ผ่านมาที่ได้ทดสอบผลของการฝึกกิจกรรมทางกายหรือการออกกำลังกายต่อสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อในการทดลองกับสัตว์ (Reeves, Maganaris, & Narici, 2003; Woo et al., 1981; Woo et al., 1980) โดยวัดความแข็งแกร่งและโมดูลัสของยังของเอ็นยึดกล้ามเนื้อพบว่าสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงไปตามการฝึก การศึกษาของ Woo et al. (1980) พบว่าการออกกำลังกายแบบทนทาน (Endurance exercise) เป็นระยะเวลา 12 เดือนทำให้ความแข็งแรงและความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อในหมูเพิ่มขึ้น สอดคล้องกันกับผลการศึกษาของ Buchanan and Marsh (2001) ที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่งและค่าโมดูลัสของยังของเอ็นยึดกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสของไก่ตะเภาหลังจากฝึกการวิ่งแบบลงจากเขาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

ส่วนการทดลองในคนเป็นการใช้เครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonography) แบบเรียลไทม์เพื่อตรวจสอบความแข็งแกร่งและค่าโมดูลัสของยังในเอ็นยึดกล้ามเนื้อเส้น (Kubo et al., 2002; Maganaris & Paul, 2002; Mahieu et al., 2008) โดย Reeves et al. (2003) ได้ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยแรงต้านต่อสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อลูกสะบ้าในผู้สูงอายุ พบว่าค่าความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อและค่าโมดูลัสของยัง เพิ่มขึ้น 65% และ 69% ตามลำดับหลังการฝึก 14 สัปดาห์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kubo, Kanehisa, Ito, and Fukunaga (2001b) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายแบบไอโซเมตริกต่อความยืดหยุ่นของเอ็นยึดกล้ามเนื้อลูกสะบ้าในวัยรุ่น พบว่ามีความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นจาก 65.5 $\pm$ 21.3 นิวตันต่อมิลลิเมตร เป็น 106.2 $\pm$ 33.4 นิวตันต่อมิลลิเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 62) และ ค่าโมดูลัสของยัง จาก 288 $\pm$ 26 เมกะปาสคาล เป็น 433 $\pm$35 เมกะปาสคาล (เพิ่มขึ้นร้อยละ 50) หลังจากการฝึก 12 สัปดาห์ นอกจากนี้ Kubo et al. (2002) ได้ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายแบบมีแรงต้านผสมผสานกับการยืดกล้ามเนื้อเปรียบเทียบกับการฝึกออกกำลังกายแบบมีแรงต้านเพียงอย่างเดียวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหยุ่นหนืดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อในคนพบว่าโปรแกรมการออกกำลังกาย

ทั้ง 2 รูปแบบช่วยเพิ่มความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ จากการค้นพบนี้จึงสรุปได้ว่าการฝึกออกกำลังกายแบบมีแรงต้านส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแข็งแกร่งและค่าโมดูลัสของยังในมนุษย์

8. การวัดความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

การประเมินความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อจากการส่งผ่านความตึงเครียดของกล้ามเนื้อเป็นการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกล้ามเนื้อ (Muscle force) ต่อการยืดตัวออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement) (Mahieu et al., 2008) ดังสมการนี้

ความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) = แรงกล้ามเนื้อ / การยืดตัวออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

ซึ่งการวัดการยืดตัวออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ คือการวัดระยะที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะพักและขณะมีการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยใช้เครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง รูปแบบ บี-โหมด (B-mode) แบบเรียลไทม์ (Real-time) บริเวณรอยต่อระหว่างเอ็นยึดกล้ามเนื้อและกล้ามเนื้อ (Myotendinous junction) โดยจะต้องมีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตริก (Isometric contraction) พร้อมทั้งวัดค่าแรงกล้ามเนื้อในขณะเดียวกันโดยใช้เครื่องออกกำลังกายแบบไอโซไคเนติกในการทดสอบ ซึ่งจะได้ออกมาเป็นค่าแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (Maximal voluntary isometric contraction; MVC) มีค่าเป็นแรงบิด (Torque; TQ) มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร (Nm) (รุ่งทิพย์ สุธีบุตร, สุชาติ โกทันย์, & อรรวรรณ ประศาสน์วุฒิ, 2554) โดยค่าแรงกล้ามเนื้อจะสามารถคำนวณมาได้จากค่าแรงบิดของการหดตัวของกล้ามเนื้อจากสมการ

$$F_m = k\left(\frac{TQ}{MA}\right)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยกำหนดให้ F_m = ค่าแรงของกล้ามเนื้อ

k = ค่าความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อโดยเป็นค่าคงที่

TQ = แรงบิดของการหดตัวของกล้ามเนื้อ

MA = ความยาวแขนของโมเมนต์ของกล้ามเนื้อ

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

9.1 งานวิจัยในต่างประเทศ

Kubo, Ishigaki, and Ikebukuro (2017) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบไอโซเมตริกต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อในผู้ชายสุขภาพดี จำนวน 11 คน โดยแต่ละคนจะได้รับการฝึกทั้งแบบพลัยโอเมตริกและแบบไอโซเมตริกโดยใช้ขาข้างหนึ่งฝึกแบบพลัยโอเมตริก ส่วนอีกข้างหนึ่งฝึกแบบไอโซเมตริก เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่าค่าแรงสูงสุดของการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่และความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส และกล้ามเนื้อโซเลียสของขาทั้งสองข้างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในข้างที่มีการฝึกแบบไอโซเมตริก ขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในขาข้างที่ฝึกแบบพลัยโอเมตริก

Kubo et al. (2002) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังแบบมีแรงต้านและการยืดกล้ามเนื้อต่อความหยุ่นหนืดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อในผู้ชายที่มีสุขภาพดี จำนวน 8 คน แต่ละคนจะได้รับการฝึกของขาทั้งสองข้างแตกต่างกัน คือ ขาข้างหนึ่งฝึกการออกกำลังแบบมีแรงต้านร่วมกันการยืดกล้ามเนื้อ ส่วนขาอีกข้างหนึ่งฝึกการออกกำลังแบบมีแรงต้านเพียงอย่างเดียว เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่าความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อของทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ไม่พบความแตกต่างกันของทั้งสองกลุ่ม

Foure et al. (2010) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกต่อความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสและเอ็นร้อยหวาย โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ชายสุขภาพดี จำนวน 19 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบพลัยโอเมตริก จำนวน 9 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 10 คน โดยทำการฝึกเป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบพลัยโอเมตริกมีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย พื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสและเอ็นร้อยหวายไม่เปลี่ยนแปลง ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกมีผลต่อการปรับตัวของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อได้ดีกว่าเนื้อเยื่อของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

Houghton, Dawson, and Rubenson (2013) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเอ็นร้อยหวายและระยะเวลาในการทดสอบวิ่งเปลี่ยนตำแหน่ง (shuttle run) ของนักกีฬาคริกเก็ต โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบพลัยโอเมตริก จำนวน 7 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 8 คน โดยทำการฝึกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

ผลการวิจัยพบว่าความคล่องแคล่วว่องไวโดยใช้แบบทดสอบ 5-0-5 (5-0-5-m agility) และเวลาในการวิ่งเร็วระยะ 5 เมตร ของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่าขนาดของพื้นที่หน้าตัดของเอ็นร้อยหวายในกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบพลัยโอเมตริกมีการเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สรุปได้ว่าแม้ว่าการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกจะไม่ได้ช่วยพัฒนาความคล่องแคล่วว่องไวและความเร็ว แต่อาจช่วยลดโอกาสการบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายในนักกีฬาได้

Leung et al. (2017) ได้ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกในท่าปล่อยส้นเท้าลงต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายและกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส ในผู้ที่มีสุขภาพดีจำนวน 45 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 36 คนและ ผู้หญิง 9 คน โดยให้การออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกในท่าปล่อยส้นเท้า จำนวน 15 ครั้งต่อชุด ทำครั้งละ 10 ชุด ผลการวิจัยพบว่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายเพิ่มขึ้น 41.8±33.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสอีกด้วย

Sanz-Lopez, Berzosa Sanchez, Hita-Contreras, Cruz-Diaz, and Martinez-Amat (2016) ได้ใช้เครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเอ็นร้อยหวายและกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสต่อการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกในท่าสควอช (Squat) แบบแรงต้านสูงร่วมกับการวิ่ง ในผู้ชายที่มีสุขภาพดีจำนวน 20 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกในท่าสควอช (Squat) แบบแรงต้านสูงร่วมกับการวิ่ง จำนวน 10 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 10 คน ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ๆละ 3 วัน ภายหลังการฝึกพบว่ากลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกในท่าสควอช (Squat) แบบแรงต้านสูงร่วมกับการวิ่ง มีขนาดของพื้นที่หน้าตัดของเอ็นร้อยหวายและมุมองศาระหว่างเอ็นและใยกล้ามเยื่อ (pennation angle) ภายหลังการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกในท่าสควอช แต่ไม่ความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมภายหลังการฝึกวิ่ง

Morrissey et al. (2011)ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบเอกเซนตริกและแบบไอโซเมตริกของกล้ามเนื้อน่องที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาสันทนาการที่ไม่มีอาการบาดเจ็บของเอ็นร้อยหวายมากก่อน จำนวน 38 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบเอกเซนตริก จำนวน 19 คน และกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบไอโซเมตริก จำนวน 19 คน ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ก่อนทำการฝึกกลุ่มที่จะได้รับการฝึกแบบเอกเซนตริกมีค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายมากกว่ากลุ่มที่ได้จะรับการฝึกแบบไอโซเมตริก แต่ภายหลังการฝึกพบว่ากลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบเอกเซนตริกมีค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่พบ

การเปลี่ยนแปลงในกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบไอโซเมตริก สรุปได้ว่าการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายได้

Mahieu et al. (2008) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบเอกเซนตริกของกล้ามเนื้อน่องต่อองค์ประกอบของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นคนสุขภาพดี จำนวน 74 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบเอกเซนตริก จำนวน 37 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 37 คน ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่าหลังการฝึกองศาการเคลื่อนไหวของการกระดกข้อเท้าขึ้นเพิ่มขึ้น ขณะที่แรงบิดในกล้ามเนื้อกระดกข้อเท้าลดลง แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย สรุปได้ว่าการฝึกแบบเอกเซนตริกของกล้ามเนื้อมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้

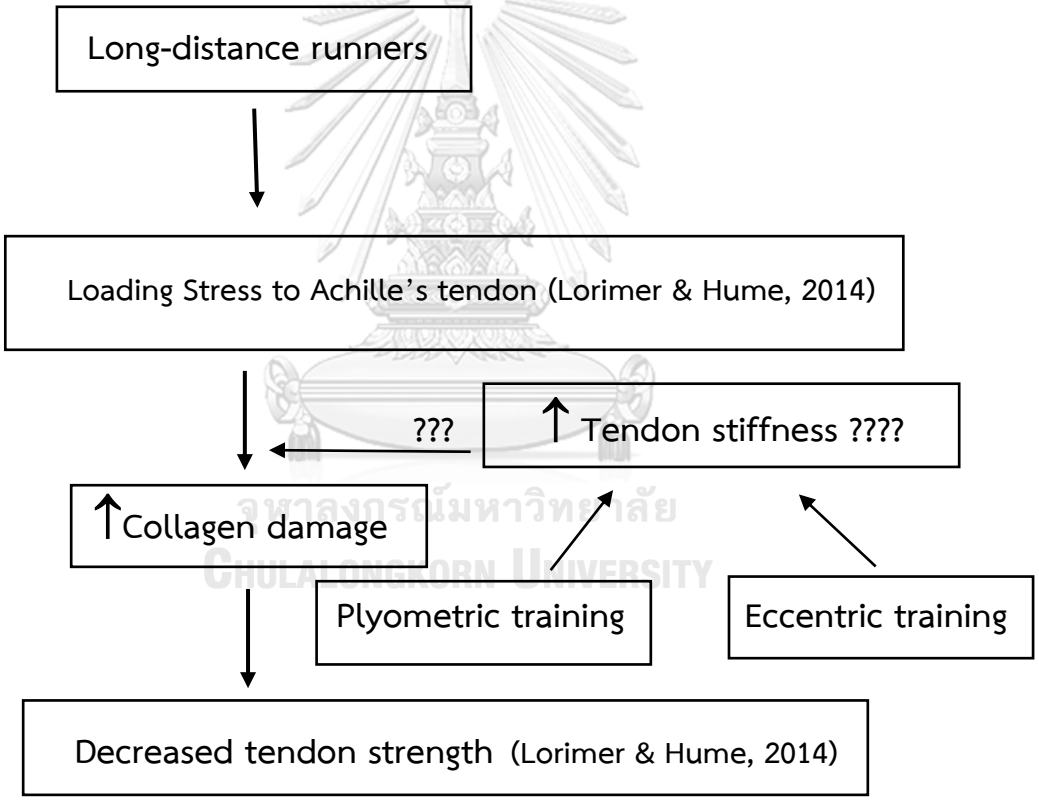
9.2 งานวิจัยในประเทศ

รุ่งทิพย์ สุธีบุตร และคณะ (2554) ได้ศึกษาผลการฝึกกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออกต่อการปรับตัวของเอ็นกล้ามเนื้อร้อยหวายของคนสุขภาพดี โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นคนสุขภาพดี 14 คน อายุระหว่าง 19-28 ปี (เพศชาย 3 คน และเพศหญิง 11 คน อายุเฉลี่ย 22.3±2.7 ปี)ได้รับโปรแกรมการฝึกออกกาลังกายแบบยืดยาวออกของกล้ามเนื้อน่อง โดยเริ่มจากการเขย่งปลายเท้าขึ้นแล้วค่อยๆ ลดระดับของส้นเท้าลง ทำการออกกาลังกายแบบนี้ 5 วัน/สัปดาห์ ระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำการวัดแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อน่องแบบเกร็งอยู่กับที่, ความยาวของเอ็นร้อยหวายขณะพักและขณะกล้ามเนื้อหดตัวที่ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อน่องแบบเกร็งอยู่กับที่ ความยาวแขนของโมเมนต์ของเอ็นร้อยหวาย เพื่อนำไปคำนวณหาแรงของเอ็นกล้ามเนื้อ (tendon force) และ ค่าความแกร่ง (stiffness) ของเอ็นร้อยหวาย จะทำการวัดก่อนและภายหลังสิ้นสุดโปรแกรมการออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ พบว่าขาที่อยู่ในเงื่อนไขออกกำลังกายมีแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อน่องแบบเกร็งอยู่กับที่ แรงของเอ็นกล้ามเนื้อและค่าความแกร่งของเอ็นร้อยหวายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติภายหลังการฝึกกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออก การฝึกแบบยืดยาวออกทำให้การยืดออกของเอ็นกล้ามเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทุกระดับของแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อน่องแบบเกร็งอยู่กับที่ นอกจากนียั้งพบว่าแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อน่องแบบเกร็งอยู่กับที่ และแรงของเอ็นกล้ามเนื้อของขาข้างที่อยู่ในเงื่อนไขควบคุม มีค่าเพิ่มขึ้น ภายหลัง 6 สัปดาห์ แต่ค่าความแกร่งของเอ็นร้อยหวายของขาที่อยู่ในเงื่อนไขควบคุม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลัง 6 สัปดาห์ สรุปผลการศึกษาการฝึกกล้ามเนื้อ แบบยืดยาวออกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเอ็นกล้ามเนื้อโดยมีการ

เพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่งของเอ็นกล้ามเนื้อและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเอ็นกล้ามเนื้ออาจจะช่วยลดหรือป้องกันการบาดเจ็บของเอ็นกล้ามเนื้อในคนวัยหนุ่มสาวหรือในนักกีฬาได้

กรอบแนวความคิดในการวิจัย

ในการวิ่งระยะไกล นักกีฬาที่จะต้องรับแรงเครียดที่กระทำต่อเอ็นร้อยหวายอย่างต่อเนื่องซ้ำๆกันเป็นระยะเวลานาน จึงมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อตัวเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Collagen damage) ซึ่งส่งผลให้ความแข็งแรงของเอ็นยึดกล้ามเนื้อลดลงได้ จึงทำให้เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการฉีดขาดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้ งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาและเปรียบเทียบผลของการออกกำลังแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริก ในการพัฒนาความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย ดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4 ภาพแสดงกรอบแนวคิดงานวิจัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งระยะไกลชาย ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักวิ่งระยะไกลชาย มีอายุระหว่าง 18-30 ปี

2. กลุ่มตัวอย่างและวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยจะทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) จากนักวิ่งระยะไกลชาย อายุระหว่าง 18-30 ปี คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Morrissey et al. (2011) ด้วยโปรแกรม G*power โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05, อำนาจของการทดสอบทางสถิติ (1-β) = 0.8 และค่าขนาดของอิทธิพล (Effect size) = 1.23 ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 18 คน และเพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลเนื่องจากการถอนตัว (Drop out) ของผู้เข้าร่วมวิจัยอีกร้อยละ 10 ดังนั้นจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้มีทั้งหมด 20 คน

โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มๆละ 10 คนเท่ากัน ด้วยวิธีการจับคู่โดยใช้ค่าความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) เป็นเกณฑ์ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training : PLY)

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training : ECC)

Chulalongkorn University

<u>เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมงานวิจัย (Inclusion criteria)</u>

1. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเป็นนักวิ่งระยะไกลเพศชาย อายุ 18-30 ปี
2. เคยเข้าร่วมการแข่งขันวิ่งระยะไกลระยะทางมากกว่า 10 กิโลเมตรขึ้นไป อย่างน้อย 4 ครั้งในช่วง 2 ปีที่ผ่านมา
3. มีค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดอย่างน้อย 40 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัม
4. มีประสบการณ์ฝึกโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอย่างน้อย สัปดาห์ละ 2 วัน ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 4 สัปดาห์ก่อนทำการทดสอบ

5. มีการฝึกซ้อมวิ่งอย่างน้อย สัปดาห์ละ 3 วัน หรือ ผลรวมระยะการวิ่งไม่น้อยกว่า 15 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 เดือนก่อนทำการทดสอบ

6. ไม่มีประวัติการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อของขาทั้ง 2 ข้าง อย่างรุนแรงจนต้องเข้ารับการรักษาทางการแพทย์ และได้รับการรักษามากกว่าการทานยา หรือยาถูนวด ก่อนเข้าร่วมงานวิจัยอย่างน้อย 6 เดือน

7. ไม่ได้เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกเพิ่มเติมของงานวิจัยอื่น

8. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

<u>เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกจากงานวิจัย</u>

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ หรือมีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. เข้าร่วมการฝึกไม่ถึง 80% ของช่วงระยะเวลาการฝึก (หมายถึงเข้าร่วมโปรแกรมการฝึกไม่ถึง 15 ครั้ง ตลอดโปรแกรมการฝึก)

3. ไม่สมัครใจในการเข้าร่วมการทดลองต่อไป

3. เครื่องที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องออกกำลังกายแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเด็ก (Biodex) ประเทศสหรัฐอเมริกา

รูปที่ 5 เครื่องออกกำลังกายแบบไอโซไคเนติก

2. เครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonography) ยี่ห้อฟิลลิปส์ (Philips) ประเทศเนเธอร์แลนด์

รูปที่ 6 เครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

3. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ยี่ห้อ คอร์เท็กซ์ รุ่น เมทาแม็กซ์ ทรีบี เบรท บาย เบรท (Cortex รุ่น Metamax 3B Breath by breath) ประเทศเยอรมนี

รูปที่ 7 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส

4. กล่องสำหรับออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric Box Jump) ยี่ห้อสเต็ป (Step) ประเทศสหรัฐอเมริกา

รูปที่ 8 กล่องสำหรับออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

5. ลู่กล (Treadmill) ยี่ห้อเอช พี คอสมอส (h/p/cosmos) ประเทศเยอรมนี

รูปที่ 9 ลู่กล

6. นาฬิกาวัดชีพจร (Heart rate monitor) ยี่ห้อโปล่า (Polar) ประเทศฟินแลนด์

รูปที่ 10 นาฬิกาวัดชีพจร

7. สมิท แมชชีน (Smith Machine) ยี่ห้อไซเบกซ์ (Cybex) ประเทศสหรัฐอเมริกา

รูปที่ 11 สมิท แมชชีน

4. ขั้นตอนการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการทบทวนและตรวจสอบข้อมูล

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษารายละเอียดวิธีการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะของเครื่องมือทั้งในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ

3. สร้างโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและเอกเซนตริกสำหรับนักวิ่งระยะไกล

4. นำรูปแบบการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและเอกเซนตริกสำหรับนักวิ่งระยะไกล ไป พิจารณาตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่านเพื่อหาความสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ (Item Objective Congruence; IOC) และปรับปรุงโปรแกรมการฝึกให้มีความเหมาะสม ดังรายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (ภาคผนวก ฉ) โดยผลการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิได้ค่าคะแนน IOC เท่ากับ 0.91

5. นำเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์ต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน เพื่อพิจารณาผ่านคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1. ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้าโดยผู้เข้าร่วมวิจัยตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ประวัติการแข่งขันและการฝึกซ้อม และประวัติการบาดเจ็บที่ขา เป็นต้น (ภาคผนวก ช) ใช้ระยะเวลาประมาณ 15 นาที ชี้แจงรายละเอียดและอธิบาย

ขั้นตอนการทดสอบพร้อมกับโปรแกรมการฝึกให้แก่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทราบ โดยผู้วิจัยหลักเป็นผู้ดำเนินการทั้งหมด โดยขณะทำการฝึกและทดสอบทุกครั้ง ผู้เข้าร่วมงานวิจัยต้องสวมชุดออกกำลังกายของผู้ร่วมวิจัยเอง

2. ทำการแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมงานวิจัยด้วยการจับคู่ โดยใช้ค่าความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเป็นเกณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คนเท่ากัน โดยผู้วิจัยหลัก ดังนี้

2.1 กลุ่มที่ 1 ทำการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training)

2.2 กลุ่มที่ 2 ทำการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training) โดยในการทดสอบและการฝึกของทั้งสองกลุ่มจะใช้เพียงขาข้างขวาเท่านั้น

3. ทำการทดสอบก่อนการทดลอง (Pre-test) โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบค่าตัวแปรต่างๆ โดยผู้วิจัยหลักและผู้ช่วยงานวิจัย 1 ท่าน ซึ่งผู้ช่วยงานวิจัยต้องสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา โดยมีหน้าที่ในการเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ในการทดสอบและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ทำการทดสอบที่ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ระยะเวลาในการทดสอบแต่ละคนประมาณ 60 นาที ตามขั้นตอนดังนี้

3.1 การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen uptake, VO_2max) ทำการวัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะวิ่งบนลู่กล (Treadmill) ยี่ห้อเอช พี คอสมอส (h/p/cosmos) ประเทศเยอรมนี โดยจะมีการปรับความหนักเป็นลำดับขั้นจากเบาไปหนักโดยใช้วิธีโมดิฟายด์ บรูซ (Modified Bruce protocol) (Trabulo, Mendes, Mesquita, & Seabra-Gomes, 1994) วัดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไป (VO_2) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้น (VCO_2) และอัตราการหายใจ (VE) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส ยี่ห้อ คอร์เท็กซ์ รุ่น เมทาแม็กซ์ ทรีบี เบรท บาย เบรท (Cortex รุ่น Metamax 3B Breath by breath) มีหน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (ภาคผนวก ง)

3.2 การทดสอบแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (Maximal voluntary isometric contraction; MVC) ทำการวัดแรงการหดตัวของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles) มีค่าเป็นแรงบิด (Torque; TQ) มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร (Nm) โดยใช้เครื่องออกกำลังกายแบบไอโซไคเนติก โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยนอนคว่ำบนเครื่องที่ใช้ทำการทดสอบ โดยให้เข่าอยู่ในท่าเหยียดตรงและข้อเท้าทำมุม 90 องศาวางบนแผ่นรองฝ่าเท้าสำหรับการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากนั้นนำสายรัดมาพันรัดบริเวณต้นขาและข้อเท้าเพื่อป้องกันการขยับขณะทำการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการเกร็งกดฝ่าเท้าลงในระดับต่ำกว่าแรงสูงสุดที่ทำได้ (Submaximal voluntary isometric contractions) จำนวน 5 ครั้งเพื่อให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีความคุ้นเคยกับการทดสอบ หลังจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการเกร็งกดฝ่าเท้าลงเต็มที่ จำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งต้องเกร็งค้างไว้ 4 วินาที โดยมีระยะเวลาพัก 1 นาที หาค่าแรงสูงสุดของการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (รุ่งทิพย์ สุธีบุตร และคณะ, 2554) จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์และนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าร้อยละ 25, 50 และ 75 ของแรงสูงสุด

รูปที่ 12 การทดสอบแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (Maximal voluntary isometric contraction; MVC) ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Peak isokinetic torque) ทำการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่องขณะหดตัวแบบไอโซไคเนติก มีค่าเป็นแรงบิดสูงสุด (Peak torque) มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร (Nm) โดยใช้เครื่องออกกำลังกายแบบไอโซไคเนติก ในการทดสอบกำหนดความเร็วเชิงมุมคงที่เท่ากับ 60 องศาต่อวินาที และกำหนดองศาการเคลื่อนไหวอยู่ในช่วงกระดกข้อเท้าขึ้น (Dorsiflexion) 10° – กระดกข้อเท้าลง (Plantar flexion) 30° ทำการทดสอบแบบ คอนเซกตริก/เอกเซนตริก (Concentric/Eccentric) โดยเตรียมความพร้อมของผู้เข้าร่วมงานวิจัยตามขั้นตอนของการทดสอบการวัดค่าแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ ก่อนทำการทดสอบให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการกดฝ่าเท้าลงด้วยความเร็วเชิงมุม 60 องศาต่อวินาที จำนวน 3 ครั้งเพื่อทำความคุ้นเคยกับการทดสอบ หลังจากนั้น ให้ผู้เข้าร่วม

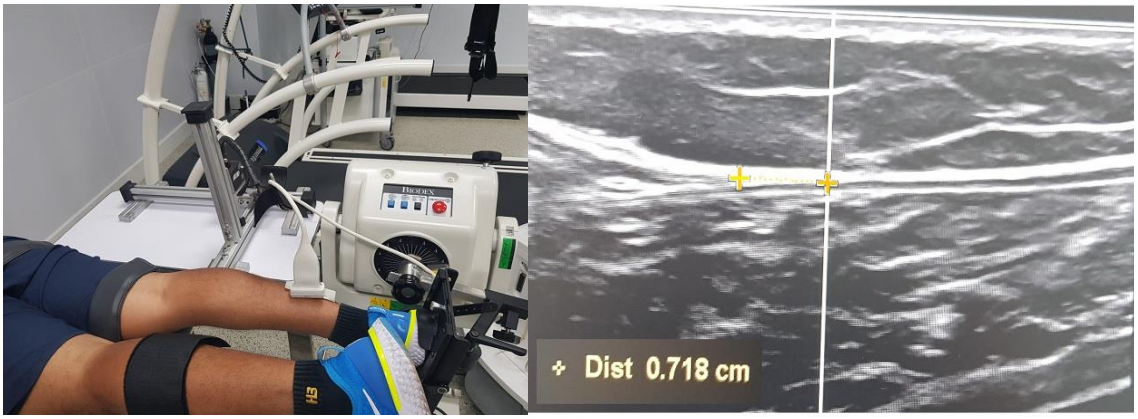
การวิจัยทำการเกร็งกดฝ่าเท้าลงเต็มที่ จำนวน 4 ครั้ง หาค่าแรงสูงสุดของการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Peak torque) ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลงทั้งการทำงานแบบคอนเซกตริกและเอกเซนตริก

3.4 การวัดความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness)

ทำการวัดความหนาของกล้ามเนื้อ โดยใช้เครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ยี่ห้อฟิลลิปส์ (Philips) รูปแบบ บี-โหมด (B-mode) แบบเรียลไทม์ (Real-time) โดยใช้หัวการทดสอบแบบเส้นตรง (linear-array probe) ความถี่ 7.5 เมกะเฮิรตซ์ บริเวณที่กลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles) ซึ่งประกอบด้วย 3 ตำแหน่งคือ กล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านใน (Medial gastrocnemius muscle; MG), กล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (Lateral gastrocnemius muscle; LG) และกล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus muscle; SOL) โดยทำการวัดความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านในและนอก (MG & LG) บริเวณใต้ต่อระดับเข่าลงมาร้อยละ 30 ของความยาวขาส่วนล่าง และกล้ามเนื้อโซเลียส (SOL) บริเวณใต้ต่อระดับเข่าลงมาร้อยละ 50 ของความยาวขาส่วนล่าง (Kubo et al., 2017)

3.5 การวัดระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement; ΔL) ทำการวัดระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ โดยการวัดระยะที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะพักและขณะมีการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยใช้เครื่องบันทึกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ยี่ห้อฟิลลิปส์ (Philips) รูปแบบ บี-โหมด (B-mode) แบบเรียลไทม์ (Real-time) โดยใช้หัวการทดสอบแบบเส้นตรง (linear-array probe) ความถี่ 7.5 เมกะเฮิรตซ์ ยึดกับแท่นล็อกหัวและใช้เทปกาวพันยึดไว้บนผิวหนังของผู้เข้าร่วมงานวิจัย บริเวณรอยต่อระหว่างเอ็นร้อยหวายและกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Myotendinous junction) ทั้งในขณะพักและขณะทำการเกร็งกล้ามเนื้อ วัดการเคลื่อนที่ของเอ็นยึดกล้ามเนื้อจากระยะที่เปลี่ยนแปลงไปของบริเวณรอยต่อระหว่างเอ็นร้อยหวายและกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะต้องมีการหดตัวของกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลงในระดับต่างๆ ทั้งหมด 4 ระดับคือร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ของค่าแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง โดยใช้การสังเกตที่หน้าจอแสดงผลเป็นตัวควบคุมแรง (Visual feedback) ในแต่ละช่วงของการหดตัว (ดังรูปที่ 13)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 13 ภาพทางด้านซ้าย แสดงวิธีการวัดระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement; ΔL) และ ภาพทางดานขวา แสดงผลการวัดระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

3.6 การทดสอบความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness)

ทำการวัดความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย ซึ่งเป็นอัตราส่วนของการคำนวณหาแรงกล้ามเนื้อ (Muscle force; F_m) ต่อการยืดตัวของเอ็นร้อยหวาย (ΔL) (Mahieu et al., 2008) โดยจะคำนวนหาค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย ในระดับแรงกล้ามเนื้อที่ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{ความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness)} = \frac{\text{แรงกล้ามเนื้อ (Muscle force; } F_m)}{\text{การยืดตัวของเอ็นร้อยหวาย (}\Delta L)}$$

โดยค่าแรงกล้ามเนื้อจะสามารถคำนวณมาได้จากค่าแรงบิดของการหดตัวของกล้ามเนื้อจากสมการ

$$F_m = k\left(\frac{TQ}{MA}\right)$$

โดยกำหนดให้ F_m = ค่าแรงของกล้ามเนื้อ

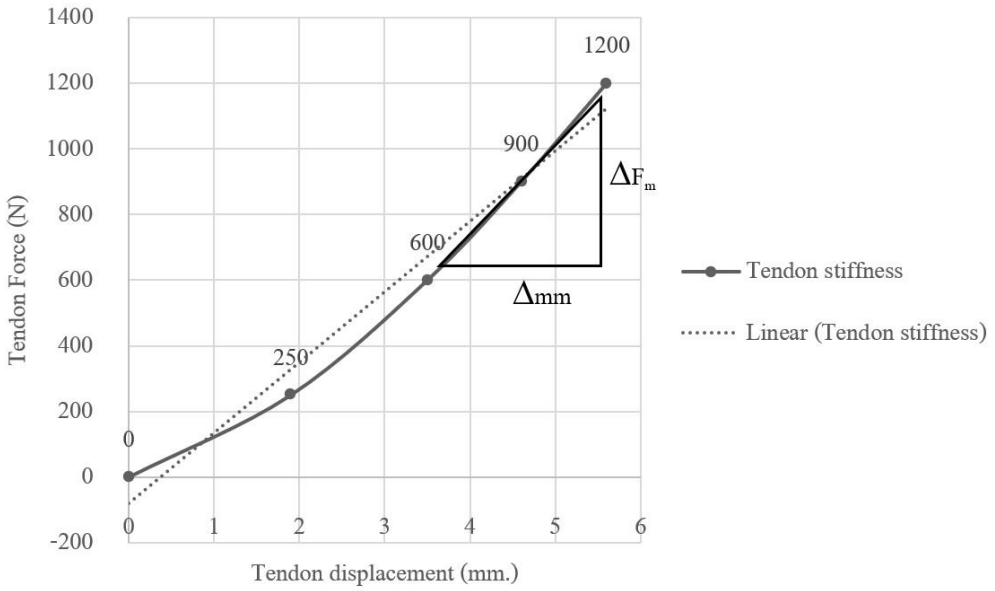
k = ค่าความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสภายในกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง โดยเป็นค่าคงที่คิดเป็นร้อยละ 18 หรือ 1.8 (Fukunaga, Roy, Shellock, Hodgson, & Edgerton, 1996)

TQ = แรงบิดของการหดตัวของกล้ามเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

MA = ความยาวแขนของโมเมนต์ของกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลงในขณะข้อเท้าอยู่ที่มุม 90 องศา ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.05 เมตร ในเพศชาย (Rugg, Gregor, Mandelbaum, & Chiu, 1990)

นำค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายที่ได้ในแต่ละระดับแรงกล้ามเนื้อ มาเขียนกราฟ ความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve) ตามรูปที่ 14 ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป ในระดับแรงกล้ามเนื้อร้อยละ 50 ไปจนถึง 100 เป็นค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในการศึกษา (ΔF_m /Δmm) (Kubo et al., 2007)



รูปที่ 14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve) ซึ่งค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย (ΔF_m /Δmm) จะใช้การคำนวณหาค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป ในระดับแรงกล้ามเนื้อร้อยละ 50 ไปจนถึง 100 (Kubo et al., 2007)

ภายหลังการทดสอบสมรรถภาพทางร่างกายจะมีการแจ้งผลให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทราบ พร้อมทั้งแปลผลการทดสอบ และแนะนำการปฏิบัติตัวเพื่อให้เหมาะสมกับผลการทดสอบร่างกายของแต่ละบุคคล

4. ขั้นตอนการฝึกการออกกำลังกายของแต่ละกลุ่ม ครั้งละประมาณ 60 นาที โดยทำการฝึกวันจันทร์ พุธ ศุกร์ รวม 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 6 สัปดาห์ ต่อเนื่องกัน ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในขณะเข้าร่วมการฝึกผู้เข้าร่วมงานวิจัยสามารถฝึกซ้อมตามปกติได้ โดยขอให้งดการฝึกออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกในโปรแกรมการซ้อมปกติไปก่อนในระหว่างการเข้าร่วมงานวิจัย โดยขั้นตอนการฝึกมีดังนี้

4.1 อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Warm-up) ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที ทั้งสองกลุ่มจะได้โปรแกรมการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อที่เหมือนกันในทั้งสองกลุ่มการทดลอง (ดัง ภาคผนวก ก)

4.2 แยกการฝึกตามโปรแกรมการออกกำลังที่กำหนดในแต่ละกลุ่มซึ่งควบคุมความหนักของการฝึกให้ใกล้เคียงกันโดยกำหนดจากจำนวนครั้งของการทำซ้ำ (Repetition Method) หาได้จาก จำนวนครั้ง (Repetitions) x เซต (Set) (Haff, 2010) ซึ่งแต่ละกลุ่มจะได้รับโปรแกรมการฝึกดังนี้

4.2.1 การฝึกออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training; PLY) โดยใช้ท่าวิ่งก้าวกระโดด (Bounding) ในการฝึก ทำการฝึกจำนวน 4 เซต เซตละ 10 ครั้ง ระยะเวลาในการพักระหว่างเซต 3 นาที ซึ่งความหนักในการฝึกเท่ากับ 4 เซต x 10 ครั้ง/เซต = 40 ครั้ง (ภาคผนวก ข)

4.2.2 การฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training; ECC) โดยใช้ท่าฝึกการปล่อยส้นเท้าลงจากพื้นต่างระดับขาเดี่ยว (Single-leg heel drops) ทำการฝึกจำนวน 8 เซต เซตละ 5 ครั้ง ระยะเวลาในการพักระหว่างเซต 3 นาที โดยใช้น้ำหนักถ่วงในการฝึกคิดเป็นร้อยละ 110 ของน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้เพียงหนึ่งครั้ง (One Repetition Maximum; 1RM) โดยวิธีการหาค่า 1RM ได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก จ ซึ่งความหนักในการฝึกเท่ากับ 8 เซต x 5 ครั้ง/เซต = 40 ครั้ง (ภาคผนวก ค)

ขณะทำการฝึกมีการป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นโดยการเตรียมสถานที่และอุปกรณ์ให้พร้อมต่อการฝึก โดยจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางหรือพื้นที่ที่เป็นหลุมในบริเวณที่ทำการฝึก อุปกรณ์ในการฝึกจะต้องอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน ไม่มีการชำรุด และก่อนทำการฝึก ขณะทำการฝึกและภายหลังทำการฝึกจะมีผู้ฝึกสอนควบคุม ดูแลตลอดเวลา หากเกิดการบาดเจ็บขณะทำการฝึก ผู้วิจัยจะทำการประเมินอาการเบื้องต้น พร้อมทั้งให้การปฐมพยาบาลเบื้องต้นในกรณีมีแผลถลอกเพียงเล็กน้อย จะปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้ ห้ามเลือดโดยการกดบริเวณแผลด้วยผ้าพันแผลหรือผ้าสะอาด ล้างแผลให้สะอาดด้วยน้ำเกลือ ซับแผลให้แห้ง แล้วฆ่าเชื้อด้วยครีมฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพ และปิดแผลด้วยผ้าพันแผล ในกรณีที่ได้รับบาดเจ็บรุนแรงผู้วิจัยจะนำส่งโรงพยาบาลใกล้เคียง โดยผู้วิจัยจะรับผิดชอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

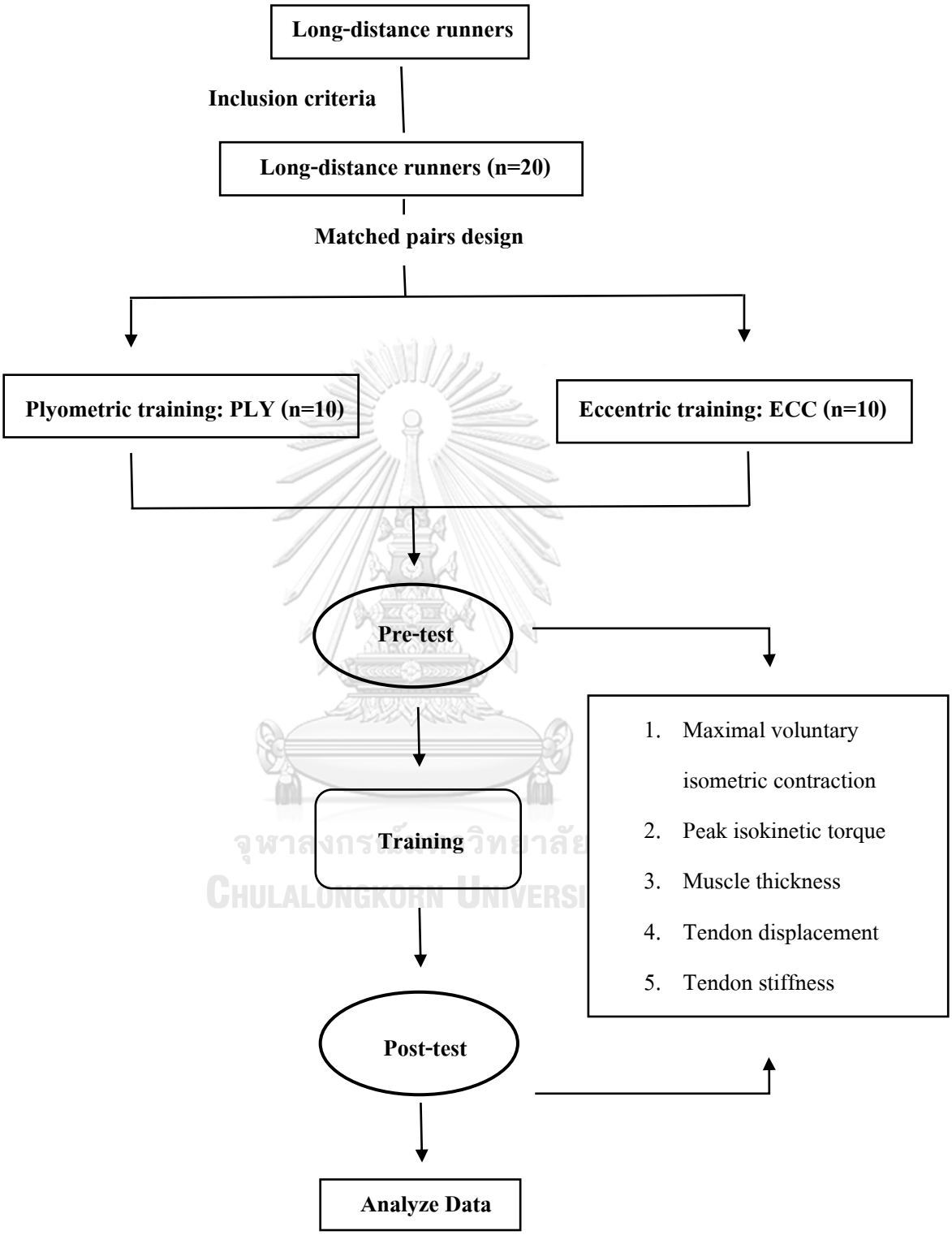
ในการออกค่ารักษาพยาบาลทั้งหมด และขณะทำการฝึกซ้อมจะมีการบริการน้ำดื่ม และน้ำเกลือแร่สำหรับผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกท่าน

4.3 การผ่อนคลายร่างกาย (Cool down) ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที

5. ทำการทดสอบภายหลังการฝึก (Post-test) โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบค่าตัวแปรต่างๆ ตามขั้นตอนเช่นเดียวกับการทดสอบก่อนทำการฝึก โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงใน รูปที่ 15

6. เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ และเขียนรายงานผลการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 15 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการทดสอบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง มาวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เพื่อหาค่าสถิติดังนี้

1. หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
2. ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล โดยใช้ Kolmogorov-Simonov test ในการทดสอบ
3. ถ้าหากข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบโค้งปกติ จะหาความแตกต่างภายในกลุ่มโดยการใช้ Dependent sample t-test เพื่อเปรียบเทียบผลภายในกลุ่มก่อนและหลังการทดลอง และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Independent sample t-test เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มก่อนและหลังการทดลอง
4. ถ้าหากข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบโค้งไม่ปกติ จะหาความแตกต่างภายในกลุ่มโดยการใช้ 1 sample Sign test เพื่อเปรียบเทียบผลภายในกลุ่มก่อนและหลังการทดลอง และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Mann-Whitney test เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มก่อนและหลังการทดลอง
5. กำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลของนักวิ่งระยะไกลชาย อายุ 18-30 ปี โดยมีผู้เข้าร่วมงานวิจัยผ่านเกณฑ์คัดเข้าจำนวน 20 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มๆละ 10 คนเท่ากัน ด้วยวิธีการจับคู่โดยใช้ค่าความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเป็นเกณฑ์ ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) ทำการฝึกการออกกำลังกายของแต่ละกลุ่ม 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำการเก็บข้อมูล ค่าแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (MVC) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Peak isokinetic torque) ความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) ของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านใน (MG), กล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (LG) และกล้ามเนื้อโซเลียส (SOL) ระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement) และค่าความแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลตามระเบียบทางสถิติและนำผลมานำเสนอในรูปแบบของตารางประกอบความเรียง และแผนภูมิ โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพทางกายของนักวิ่งระยะไกลชาย

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่มของผู้ร่วมงานวิจัย

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลภายในกลุ่มของผู้ร่วมงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพทางกายของนักวิ่งระยะไกลชาย

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของนักวิ่งระยะไกลชายทั้ง 2 กลุ่ม

	PLY $\bar{X}$ ± SD	ECC $\bar{X}$ ± SD
	n=10	n=10
อายุ (ปี)	20.6 ± 2.7	27.7 ± 2.1*
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	62.6 ± 3.3	68 ± 9.2
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	172.1 ± 5.1	174 ± 2.2
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	55.4 ± 3.6	47.2 ± 7.5*

* Significant different at p-value≤0.05

PLY: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

ECC: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของนักวิ่งระยะไกลชายทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า

กลุ่ม PLY มีอายุเฉลี่ย 20.6±2.7 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 62.6±3.3 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 172.1±5.1 เซนติเมตร และค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ย 55.4±3.6 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ขณะที่ กลุ่ม ECC มีอายุเฉลี่ย 27.7±2.1 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 68±9.2 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 174±2.2 เซนติเมตร และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ย 47.2±7.5 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและส่วนสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แม้ว่ากลุ่ม ECC มีค่าเฉลี่ยของอายุและสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่ากลุ่ม PLY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ความหนาของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นร้อยหวายระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training : PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (Eccentric training : ECC)โดยการทดสอบค่า t (Independent t-test)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ก่อนการทดลอง (Pre-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

	Pre-test			
Variable	**PLY (n=10)** $\bar{X} \pm SD$	**ECC (n=10)** $\bar{X} \pm SD$	**t**	**p-value**
Maximal voluntary isometric contraction (Nm)	138.96 ± 30.61	122.03 ± 36.95	1.12	0.28
Peak isokinetic torque (Nm)				
- Concentric	66.67 ± 15.15	64.95 ± 16.62	0.24	0.81
- Eccentric	52.97 ± 13.84	58.37 ± 17.98	-0.75	0.46
Muscle thickness (cm)				
- Medial gastrocnemius muscle	1.51 ± 0.18	1.48 ± 0.12	0.53	0.60
- Lateral gastrocnemius muscle	1.25 ± 0.19	1.23 ± 0.19	0.23	0.81
- Soleus muscle	1.62 ± 0.17	1.60 ± 0.35	0.12	0.91

PLY: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

ECC: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ก่อนการทดลอง (Pre-test) ระหว่างกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC พบว่า

1. แรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (MVC) ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles) ก่อนการฝึก (Pre-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 138.96 ± 30.61 นิวตันเมตร และ 122.03 ± 36.95 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Concentric contraction) ก่อนการฝึก (Pre-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 66.67 ± 15.15 นิวตันเมตร และ 64.95 ± 16.62 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Eccentric contraction) ก่อนการฝึก (Pre-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC เท่ากับ 52.97 ± 13.84 นิวตันเมตร และ 58.37 ± 17.98 นิวตันเมตร ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
3. การเปรียบเทียบความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) ก่อนการฝึก (Pre-test) ระหว่างกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีผลดังนี้
   3.1 ความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านใน (MG) ก่อนการฝึก (Pre-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 1.51 ± 0.18 เซนติเมตร และ 1.48 ± 0.12 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
   3.2 ความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (LG) ก่อนการฝึก (Pre-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 1.25 ± 0.19 เซนติเมตร และ 1.23 ± 0.19 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
   3.3 ความหนาของกล้ามเนื้อโซเลียส (SOL) ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบก่อนการฝึก (Pre-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 1.62 ± 0.17 เซนติเมตร และ 1.60 ± 0.35 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวายก่อนการทดลอง (Pre-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

	Pre-test			
Variable	**PLY (n=10)** $\bar{X} \pm SD$	**ECC (n=10)** $\bar{X} \pm SD$	**t**	**p-value**
Tendon stiffness ($N \cdot mm^{-1}$)	22.8 ± 7.13	19.40 ± 7.53	1.03	0.31
Tendon displacement (cm)	2.53 ± 0.62	2.55 ± 0.86	-0.07	0.94

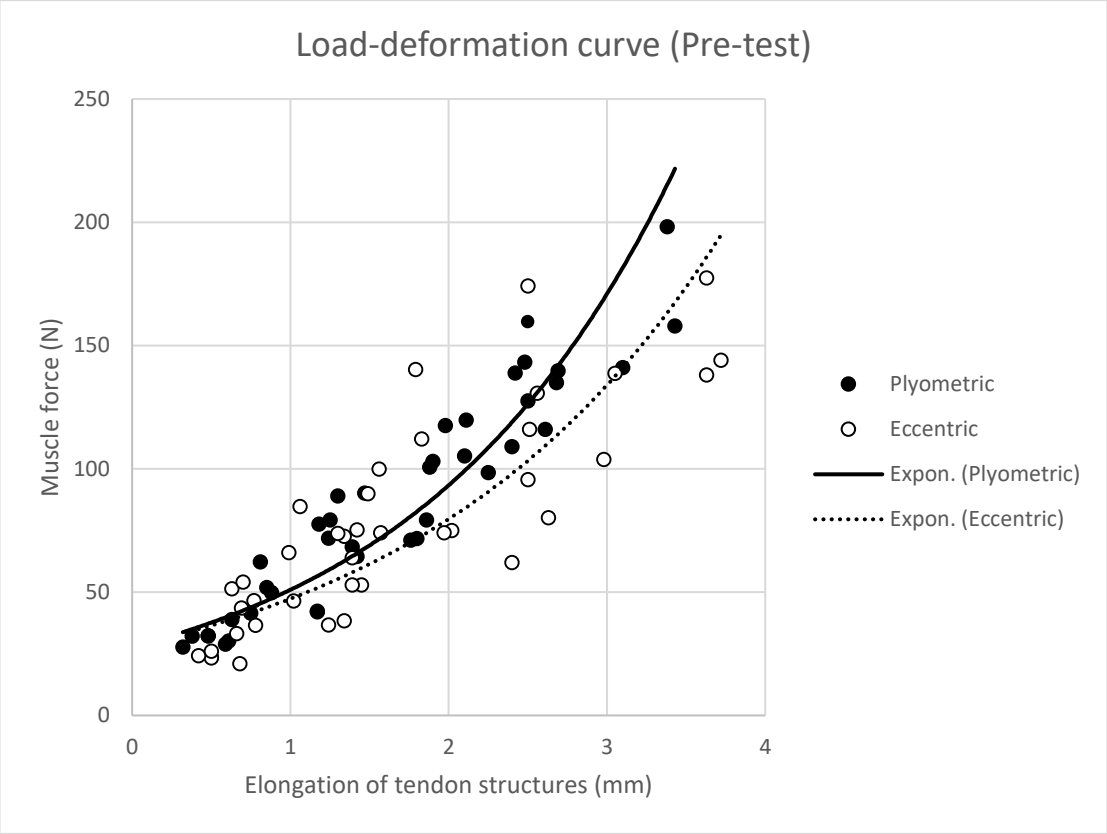
PLY: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

ECC: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก

จากตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวายก่อนการทดลอง (Pre-test) ระหว่างกลุ่มPLY และกลุ่ม ECC พบว่า

1. ความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) ก่อนการฝึก (Pre-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 22.8 ± 7.13 นิวตันต่อมิลลิเมตร และ 19.40 ± 7.53 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
2. ระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement) ก่อนการฝึก (Pre-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 2.53 ± 0.62 เซนติเมตร และ 2.55 ± 0.86 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve) ก่อนฝึก (Pre-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

จากรูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูปของเอ็นร้อยหวายก่อนฝึกระหว่างกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC พบว่า ไม่พบความแตกต่างกันของความชันกราฟของทั้งสองกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ หลังการฝึก (Post-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

	Post-test			
Variable	**PLY (n=10)** $\bar{X} \pm SD$	**ECC (n=10)** $\bar{X} \pm SD$	**t**	**p-value**
Maximal voluntary isometric contraction (Nm)	150.66 ± 22.75	142.84 ± 27.93	0.68	0.50
Peak isokinetic torque (Nm)				
- Concentric	78.03 ± 13.02	77.72 ± 14.55	0.05	0.96
- Eccentric	63.06 ± 11.58	75.01 ± 15.16	-1.98	0.06
Muscle thickness (cm)				
- Medial gastrocnemius muscle	1.63 ± 0.19	1.62 ± 0.16	0.05	0.96
- Lateral gastrocnemius muscle	1.30 ± 0.22	1.46 ± 0.21	-1.64	0.12
- Soleus muscle	1.82 ± 0.17	1.88 ± 0.37	-0.46	0.65

PLY: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

ECC: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก

จากตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อหลังการฝึก (Post-test) ระหว่างกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC พบว่า

1. แรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (MVC) ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles) หลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 150.66 ± 22.75 นิวตันเมตร และ 142.84 ± 27.93 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Concentric contraction) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 78.03 ± 13.02 นิวตันเมตร และ 77.72 ± 14.55 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก

(Eccentric contraction) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC เท่ากับ 63.06 ± 11.58 นิวตันเมตร เท่ากับ 75.01 ± 15.16 นิวตันเมตร ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3. การเปรียบเทียบความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) หลังการฝึก (Post-test) มีผลดังนี้

   3.1 ความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านใน (MG)หลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 1.63 ± 0.19 เซนติเมตร และ 1.62 ± 0.16 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

   3.2 ความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (LG) หลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC เท่ากับ 1.30 ± 0.22 เซนติเมตร และ 1.46 ± 0.21 เซนติเมตร ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

   3.3 ความหนาของกล้ามเนื้อโซเลียส (SOL) หลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 1.82 ± 0.17 เซนติเมตร และ 1.88 ± 0.37 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวายหลังการฝึก (Post-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

	Post-test			
Variable	**PLY (n=10)** $\bar{X}$ **± SD**	**ECC (n=10)** $\bar{X}$ **± SD**	**t**	**p-value**
Tendon stiffness (N•mm^{-1})	26.62 ± 6.35	21.65 ± 8.10	1.53	0.14
Tendon displacement (cm)	2.30 ± 0.38	2.48 ± 0.65	-0.74	0.47

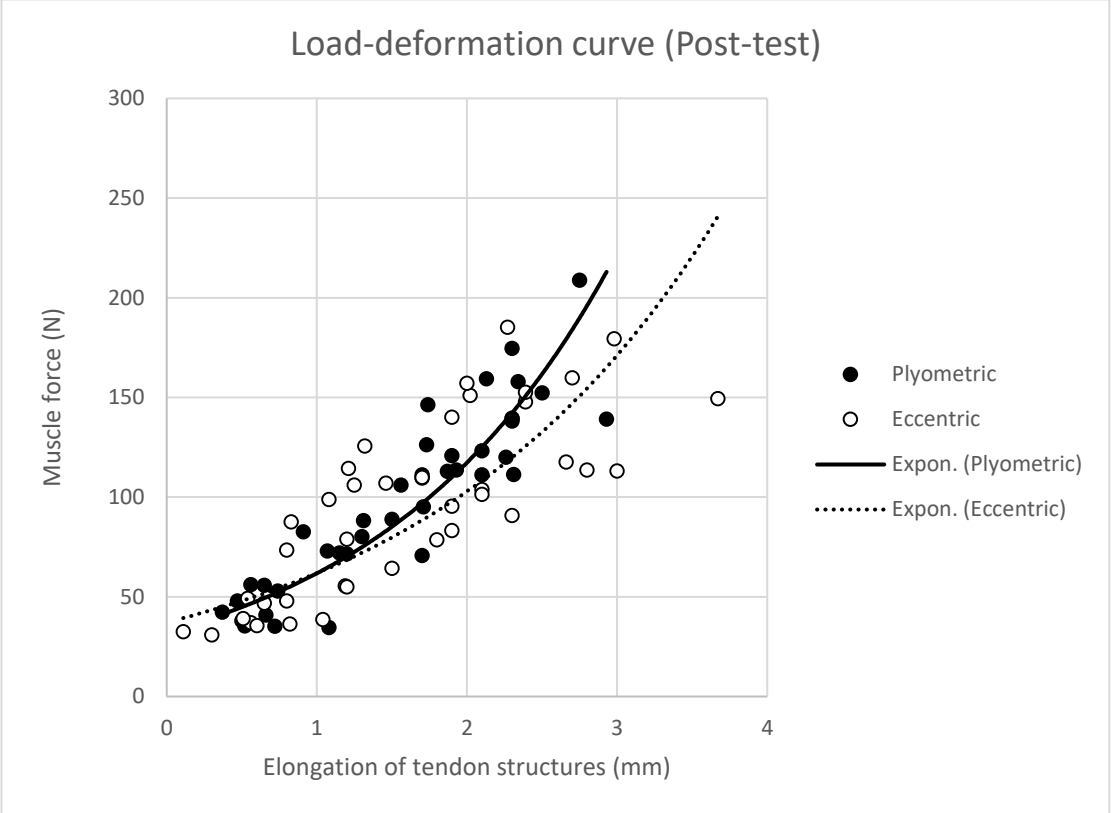
PLY: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

ECC: กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก

จากตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวายหลังการฝึก (Post-test) ระหว่างกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC พบว่า

1. ความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) หลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 26.62 ± 6.35 นิวตันต่อมิลลิเมตร และ 21.65 ± 8.10 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
2. ระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement) หลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC มีค่าเท่ากับ 2.30 ± 0.38 เซนติเมตร และ 2.48 ± 0.65 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve) หลังการฝึก (Post-test) ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

จากรูปที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูปของเอ็นร้อยหวายหลังฝึกระหว่างกลุ่ม PLY และกลุ่ม ECC พบว่า ไม่พบความแตกต่างกันของความชันกราฟของทั้งสองกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ความหนาของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นร้อยหวายภายในกลุ่มของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) และกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) โดยการทดสอบค่า t (Dependent t-test)

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY)

Plyometric training (n=10)					
Variable	**Pre-test** $\bar{X} \pm SD$	**Post-test** $\bar{X} \pm SD$	**% change**	**t**	**p-value**
Maximal voluntary isometric contraction (Nm)	138.96 ± 30.61	150.66 ± 22.75	8.42%	-1.76	0.11
Peak isokinetic torque (Nm)					
- Concentric	66.67 ± 15.15	78.03 ± 13.02	17.04%	-2.51	0.03*
- Eccentric	52.97 ± 13.84	63.06 ± 11.58	19.05%	-3.01	0.01*
Muscle thickness (cm)					
- Medial gastrocnemius muscle	1.51 ± 0.18	1.63 ± 0.19	7.95%	-4.68	0.001*
- Lateral gastrocnemius muscle	1.25 ± 0.19	1.30 ± 0.22	4%	-1.64	0.24
- Soleus muscle	1.62 ± 0.17	1.82 ± 0.17	12.35%	-1.26	0.01*

* Significant different at p-value < 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก 6 สัปดาห์ (Post-test) ของกลุ่ม PLY พบว่า

1. แรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (MVC) ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 138.96 ± 30.61 นิวตันเมตร และ 150.66 ± 22.75 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Concentric contraction) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 66.67 ± 15.15 นิวตันเมตร และ 78.03 ± 13.02 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Eccentric contraction) ก่อนการฝึก (Pre-test และหลังการฝึก (Post-test)) มีค่าเท่ากับ 52.97 ± 13.84 นิวตันเมตร และ 63.06 ± 11.58 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
3. ความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีผลดังนี้
   3.1 ความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านใน (MG) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 1.51 ± 0.18 เซนติเมตร และ 1.63 ± 0.19 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05
   3.2 ความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (LG) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 1.25 ± 0.19 เซนติเมตร และ 1.30 ± 0.22 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05
   3.3 ความหนาของกล้ามเนื้อโซเลียส (SOL) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) เท่ากับ 1.62 ± 0.17 เซนติเมตร และ 1.82 ± 0.17 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวายก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY)

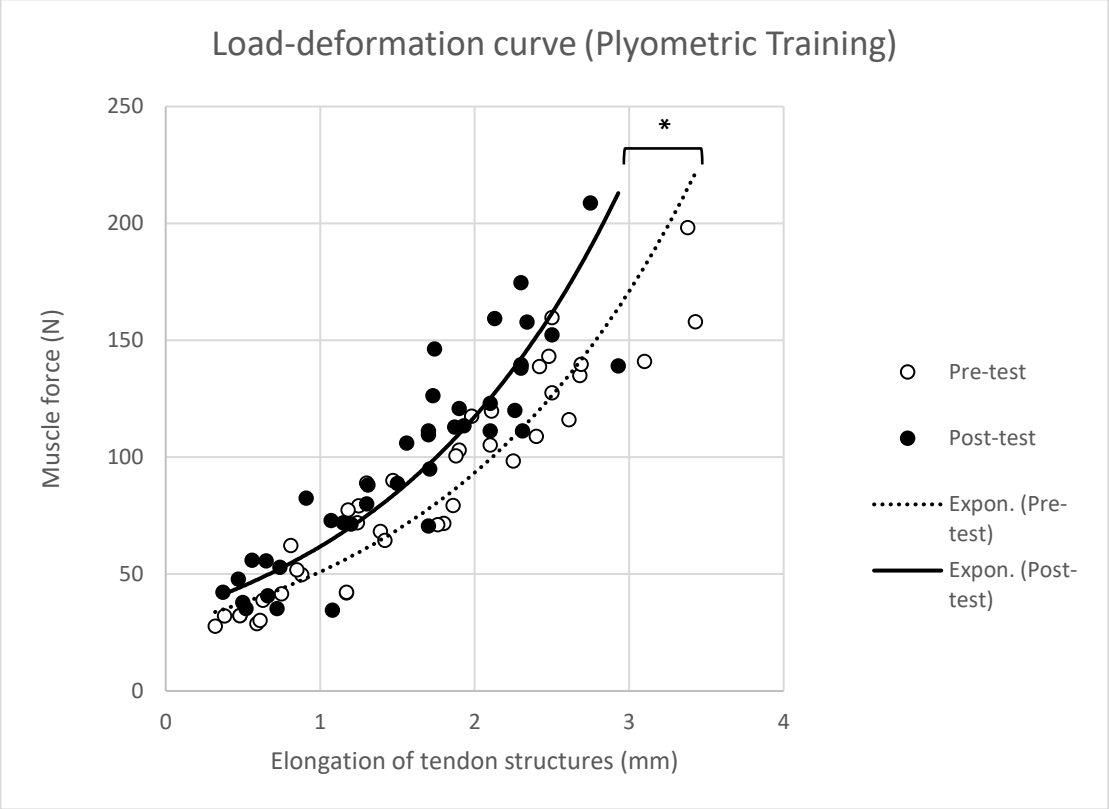
Plyometric training (n=10)					
Variable	**Pre-test** $\bar{X} \pm SD$	**Post-test** $\bar{X} \pm SD$	**% change**	**t**	**p-value**
Tendon stiffness ($N \cdot mm^{-1}$)	22.8 ± 7.13	26.62 ± 6.35	16.75%	-2.39	0.04*
Tendon displacement (cm)	2.53 ± 0.62	2.30 ± 0.38	9.1%	2.40	0.04*

* Significant different at p-value < 0.05

จากตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวาย ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก 6 สัปดาห์ (Post-test) ของกลุ่ม PLY พบว่า

1. ความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 22.8 ± 7.13 นิวตันต่อมิลลิเมตร และ 26.62 ± 6.35 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
2. ความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 2.53 ± 0.62 เซนติเมตร และ 2.30 ± 0.38 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (Load-deformation curve) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ในกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY)

*P < 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูปของเอ็นร้อยหวายระหว่างก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ในกลุ่ม PLY พบว่าความชันกราฟหรือความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อก่อนและหลังการฝึก มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก(Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

Eccentric training (n=10)					
Variable	**Pre-test** $\bar{X} \pm SD$	**Post-test** $\bar{X} \pm SD$	**% change**	**t**	**p-value**
Maximal voluntary isometric contraction (Nm)	122.03 ± 36.95	142.84 ± 27.93	17.05%	-2.52	0.03*
Peak isokinetic torque (Nm)					
- Concentric	64.95 ± 16.62	77.72 ± 14.55	19.66%	-2.74	0.02*
- Eccentric	58.37 ± 17.98	75.01 ± 15.16	28.51%	-3.47	0.007*
Muscle thickness (cm)					
- Medial gastrocnemius muscle	1.48 ± 0.12	1.62 ± 0.16	9.46%	-5.41	0.0004*
- Lateral gastrocnemius muscle	1.23 ± 0.19	1.46 ± 0.21	18.71%	-3.57	0.006*
- Soleus muscle	1.60 ± 0.35	1.88 ± 0.37	17.5%	-6.33	0.0001*

* Significant different at p-value < 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ ของกลุ่ม ECC พบว่า

1. แรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่(MVC) ของกลุ่มกล้ามเนื้อกดฝ่าเท้าลง (Plantar flexor muscles) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่า

เท่ากับ 122.03 ± 36.95 นิวตันเมตร และ 142.84 ± 27.93 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Concentric) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 64.95 ± 16.62 นิวตันเมตร และ 77.72 ± 14.55 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ขณะที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Eccentric) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 58.37 ± 17.98 นิวตันเมตร และ 75.01 ± 15.16 นิวตันเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
3. ความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีผลดังนี้
   3.1 ความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านใน (MG)ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 1.48 ± 0.12 เซนติเมตร และ 1.62 ± 0.16 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05
   3.2 ความหนาของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (LG) ระหว่างก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 1.23 ± 0.19 เซนติเมตร และ 1.46 ± 0.21 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
   3.3 ความหนาของกล้ามเนื้อโซเลียส (SOL) ระหว่างก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) มีค่าเท่ากับ 1.60 ± 0.35 เซนติเมตร และ 1.88 ± 0.37 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

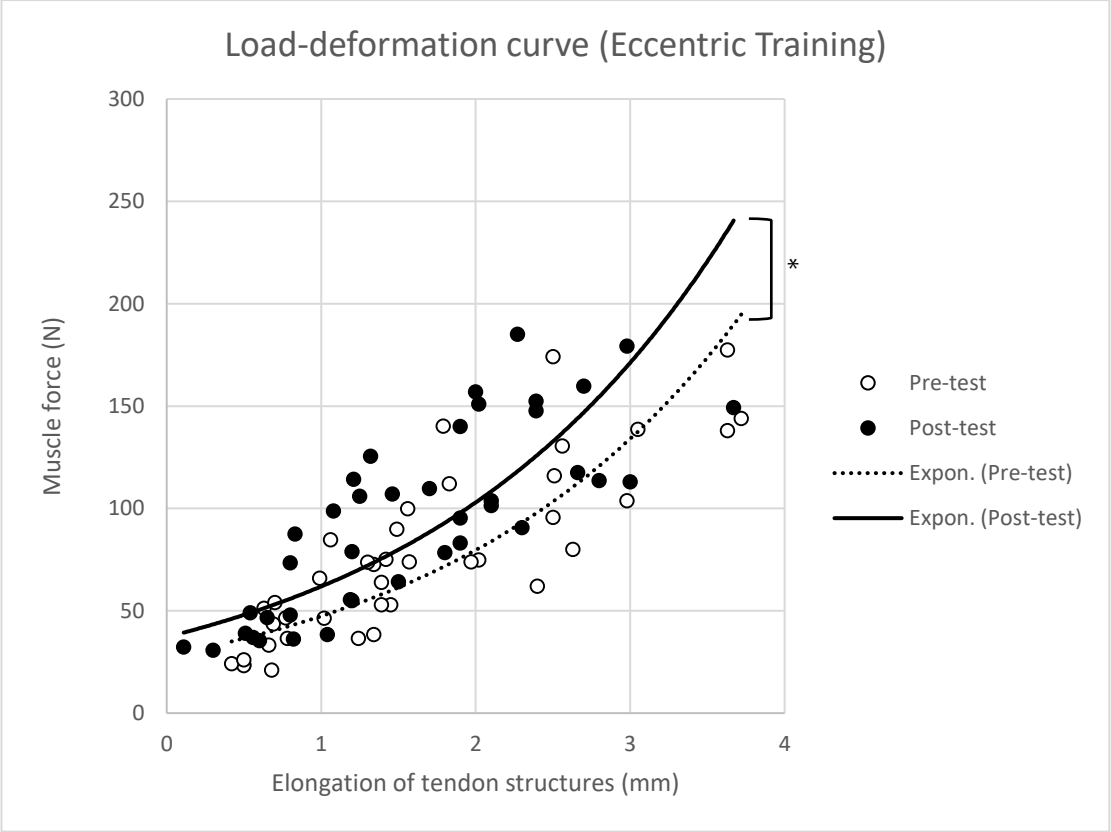
ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลของเอ็นร้อยหวาย ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก(Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

Eccentric training (n=10)					
Variable	**Pre-test** $\bar{X} \pm SD$	**Post-test** $\bar{X} \pm SD$	**% change**	**t**	**p-value**
Tendon stiffness ($N \cdot mm^{-1}$)	19.40 ± 7.53	21.65 ± 8.10	11.61%	-3.44	0.007*
Tendon displacement (cm)	2.55 ± 0.86	2.48 ± 0.65	2.75%	0.55	0.59

* Significant different at p-value < 0.05

จากตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติเชิงกลก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ ของกลุ่ม ECC พบว่า

1. การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) ของกลุ่ม ECC ระหว่างก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) พบว่ามีค่าเท่ากับ 19.40 ± 7.53 นิวตันต่อมิลลิเมตร และ 21.65 ± 8.10 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement) ของกลุ่ม ECC ระหว่างก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.55 ± 0.86 เซนติเมตร และ 2.48 ± 0.65 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05



รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูป (load-deformation curve) ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึก (Post-test) ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC)

*P ≤ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการเปลี่ยนรูปของเอ็นร้อยหวายระหว่างก่อนฝึก (Pre-test) และหลังฝึก (Post-test) ในกลุ่ม ECC พบว่ามีความแตกต่างกันของความชันกราฟก่อนและหลังฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก (PLY) จำนวน 10 คน และกลุ่มได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก (ECC) จำนวน 10 คน แต่ละกลุ่มทำการฝึกครั้งละประมาณ 60 นาที 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ต่อเนื่องกัน โดยทำการทดสอบแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ (MVC), ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก (Peak isokinetic torque), ความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) ของกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านใน (MG), กล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียสด้านนอก (LG) และกล้ามเนื้อโซเลียส (SOL), ระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon displacement) และค่าความแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง 6 สัปดาห์

ผลการวิจัยพบว่าการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก และแบบเอกเซนตริกสามารถช่วยพัฒนาความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของค่าความแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อของทั้งสองโปรแกรมการฝึก อาจมีกลไกการปรับตัวที่แตกต่างกัน กล่าวคือ โปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกจะลดระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ ขณะที่โปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกจะเพิ่มแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ

การศึกษาวิจัยนี้ ไม่พบความแตกต่างของค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ความหนาของกล้ามเนื้อและความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นร้อยหวายระหว่างทั้ง 2 กลุ่มก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้ง 2 กลุ่ม มีสมรรถภาพของกล้ามเนื้อและคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเอ็นร้อยหวายไม่แตกต่างกัน แม้ว่ากลุ่ม ECC จะมีอายุมากกว่า และมีค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่ำกว่ากลุ่ม PLY ก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการเปรียบเทียบผลของการทำงานของกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมการฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถของนักวิ่งระยะไกลในปัจจุบัน ได้แก่การออกกำลังกาย

แบบพลัยโอเมตริกที่สามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยความแรงและเร็วสูงสุดเป็นจังหวะซ้ำๆ และการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกซึ่งกรตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยแรงสูงสุดแต่มีจังหวะที่ช้ากว่า ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเอ็นร้อยหวาย

ผลการวิจัยพบว่าภายหลังการออกกำลังกายทั้งแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ สามารถเพิ่มความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายที่เพิ่มขึ้นระหว่างทั้ง 2 กลุ่มไม่พบความแตกต่างกัน ผลการวิจัยนี้ไม่สนับสนุนสมมติฐานของการวิจัยนี้ ที่ว่าการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกสามารถพัฒนาความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชายได้แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Houghton et al. (2013) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเอ็นร้อยหวายของนักกีฬาคริกเก็ต พบว่าขนาดของพื้นที่หน้าตัดและความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบพลัยโอเมตริกเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และงานวิจัยของ Leung et al. (2017) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกในท่าปล่อยส้นเท้าลงต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายและกล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส พบว่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายเพิ่มขึ้น 41.8±33.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เนื่องจากความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย หมายถึง ความสามารถในการรับแรงที่มากระทำต่อระยะที่เปลี่ยนแปลงไปของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ โดยค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงหดตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle force; F_m) ต่อระยะการยืดตัวของเอ็นร้อยหวาย (ΔL) (Mahieu et al., 2008) ดังนั้นการเพิ่มความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายอาจเกิดจากการเพิ่มแรงหดตัวของกล้ามเนื้อ หรือการลดลงของระยะการยืดตัวออกของเอ็นร้อยหวาย หรือเกิดจากทั้งสองปัจจัยร่วมกัน ดังสมการนี้

$$\uparrow \text{ความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวาย} = \frac{\text{แรงกล้ามเนื้อ } \uparrow}{\text{การยืดตัวออกของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ } \downarrow}$$

ในปัจจุบันแม้ว่ากลไกการปรับตัวของเอ็นร้อยหวายภายหลังได้รับการฝึกออกกำลังกายทั้ง 2 รูปแบบยังไม่ทราบแน่ชัด ในการศึกษานี้พบว่าภายหลังการออกกำลังแบบพลัยโอเมตริกระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นร้อยหวาย ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่แรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ไม่เปลี่ยนแปลง ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Foure et al.

(2010) พบว่าภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การกระจายแรงของเอ็นร้อยหวาย (35%) และยังพบว่าค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายต่อพื้นที่ตัดขวางของเอ็นร้อยหวาย (Cross-sectional area of Achilles tendon) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่งผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการกระจายแรงของเอ็นร้อยหวาย (Foure, Nordez, and Cornu, 2012; Kjaer, 2004) โดยการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกจะมีการกระตุ้นวงจรการยืดออก-และหดสั้นเข้า (Stretching-shortening cycle) หรือรีเฟล็กซ์ยืด (Stretch reflex) ซึ่งมีผลโดยตรงกับการตอบสนองของตัวรับความรู้สึกในเอ็นร้อยหวาย (Golgi tendon organ) ช่วยลดความไวต่อความเครียด และเพิ่มความต้านทานของเอ็นร้อยหวาย ในขณะที่การฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกในการทดลองนี้ ส่งผลทำให้แรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระยะความยาวที่ยืดออกของเอ็นร้อยหวาย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Leung et al. (2017) ที่พบว่าภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก ค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและองค์ประกอบของเอ็นร้อยหวายเอง ซึ่งมีข้อมูลสนับสนุนจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านสามารถเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อและคอลลาเจนในเอ็นยึดกล้ามเนื้อได้ (Langberg et al., 2007) ทำให้พื้นที่หน้าตัดของเอ็นยึดกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเครียดโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่ส่งผ่านแรงมาที่เอ็นยึดกล้ามเนื้อลดลง (Lenskjold et al., 2015)

นอกจากนี้การวิจัยยังพบว่าหลังการฝึกค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่องแบบไอโซไคเนติกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสองกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนฝึก เนื่องจากการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไอโซโทนิก (Isotonic contraction) นั่นคือเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อขณะที่กล้ามเนื้อมีความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป (Bompa, 1999; Chu, 1992) คล้ายคลึงกับการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไอโซไคเนติกแต่มีการควบคุมการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ ซึ่งการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบสามารถช่วยทำให้เกิดการกระตุ้นการระดมหน่วยยนต์ได้มากขึ้นในทุกๆช่วงองศาการเคลื่อนไหวที่ทำการฝึก (Chu & Plummer, 1984; Dudley & Fleck, 1987) จึงส่งผลให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติกเพิ่มขึ้นภายหลังการฝึกทั้งสองรูปแบบ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าแรงสูงสุดของการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ จะพบว่ามีเพียงกลุ่มที่รับการฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกเท่านั้นที่เห็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wirth, Keiner, Szilvas,

Hartmann, and Sander (2015) ที่พบว่าภายหลังการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีการเพิ่มขึ้นของแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริกจะทำให้เกิดความเสียหายในระดับเซลล์ ของกล้ามเนื้อลาย (Muscle damage) ทำให้กล้ามเนื้อมีการปรับตัวโดยกระตุ้นการสร้างโปรตีนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น (Hypertrophy) และยังช่วยเพิ่มการกระตุ้นการระดมหน่วยยนต์ (Dudley & Fleck, 1987) นอกจากนี้การศึกษาวิจัยครั้งนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแรงสูงสุดของการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ในกลุ่มที่ฝึกออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Kubo et al. (2017) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยรูปแบบการฝึกออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกใช้ท่ากระโดดเขย่งขาเดียว (Single leg hopping) ร่วมกับน้ำหนักถ่วงร้อยละ 40 ของน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ 1 ครั้ง โดยพบว่าภายหลังการฝึกมีการเพิ่มขึ้นของแรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองที่แตกต่างกันนี้อาจเกิดมาจากโปรแกรมการออกกำลังกายที่มีความหนักและระยะเวลาในการฝึกมากกว่าการศึกษาในครั้งนี้ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่องแบบไอโซไคเนติก และ แรงสูงสุดการหดตัวของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ ระหว่างกลุ่มภายหลังการฝึกไม่พบความแตกต่าง

การศึกษานี้ยังพบว่าค่าความหนาของกล้ามเนื้อ (Muscle thickness) แกสทรอคนีเมียสด้านใน (MG), แกสทรอคนีเมียสด้านนอก (LG) และโซเลียส (SOL) เพิ่มขึ้นทั้งสองกลุ่มหลังการฝึก แสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบสามารถช่วยเพิ่มมวลและขนาดของกล้ามเนื้อ (Hypertrophy) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kubo et al. (2017) พบว่าภายหลังการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและการออกกำลังแบบมีแรงต้าน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ความหนาของของกลุ่มกล้ามเนื้อน่องทุกมัดเพิ่มขึ้นทั้งสองกลุ่ม โดยเกิดจากการเพิ่มทั้งจำนวนของเซลล์กล้ามเนื้อ ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ และความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งกลไกที่กล่าวมานี้เป็นกลไกสำคัญที่ควบคุมการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย (Pearson, 1990)

โดยสรุปการออกกำลังกายทั้งแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกให้ผลการพัฒนาของค่าความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายในนักวิ่งระยะไกลชายไม่แตกต่างกัน ดังนั้นโค้ชและนักกีฬาสามารถนำรูปแบบการออกกำลังกายทั้งสองรูปไปประยุกต์ใช้ควบคู่กันในการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและเพิ่มความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้

1. การฝึกพลัยโอเมตริกเป็นการฝึกที่มีแรงกระแทกสูง นักกีฬาต้องมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อพื้นฐานมาก่อนและต้องฝึกปฏิบัติในท่าที่ถูกต้อง ควรมีโค้ชหรือผู้เชี่ยวชาญ ให้คำแนะนำและคอยดูแลอย่างใกล้ชิดเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้น

ข้อเสนอแนะการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การวิจัยครั้งต่อไปควรมีการควบคุมเกณฑ์คัดเข้าให้เหมาะสม เช่น อายุและสมรรถภาพทางกายที่ใกล้เคียงกัน เพื่อลดปัจจัยกวนที่อาจมีผลกระทบต่อค่าความแข็งแกร่งของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ
2. ควรควบคุมความหนักของการออกกำลังกายของทั้งสองกลุ่มให้เท่ากัน
3. ควรมีการศึกษาตัวแปรเพิ่มเติม เช่น ขนาดพื้นที่ตัดขวางของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจนของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ เป็นต้น เพื่อทำให้เข้าใจกลไกการปรับตัวทางกลศาสตร์ของเอ็นยึดกล้ามเนื้อภายหลังการฝึกออกำลังกายชัดเจนมากยิ่งขึ้น
4. ควรมีการศึกษาตัวแปรด้านสรีรวิทยาและสมรรถนะทางกีฬาด้วย เช่น การประหยัดพลังงาน (Running economy) และ ความสามารถในการวิ่ง (Running performance) เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Alexander, R. M. (2002). Tendon elasticity and muscle function. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular and Integrative Physiology, 133*(4), 1001-1011.

Alexander, R. M., & Bennet-Clark, H. C. (1977). Storage of elastic strain energy in muscle and other tissues. *Nature, 265*(5590), 114-117.

Allerheiligen, W.B., & Roger, R. (1995). Plyometric program design. part 2. *Natinonal strength and conditioning association journal, 16*(4), 33-39.

Allison, G. T., & Purdam, C. (2009). Eccentric loading for Achilles tendinopathy--strengthening or stretching? *British Journal of Sports Medicine, 43*(4), 276-279. doi:10.1136/bjsm.2008.053546

Amin, N. H., Old, A. B., Tabb, L. P., Garg, R., Toossi, N., & Cerynik, D. L. (2013). Performance outcomes after repair of complete achilles tendon ruptures in national basketball association players. *American Journal of Sports Medicine, 41*(8), 1864-1868. doi:10.1177/0363546513490659

Apaydin, N., Bozkurt, M., Loukas, M., Vefali, H., Tubbs, R. S., & Esmer, A. F. (2009). Relationships of the sural nerve with the calcaneal tendon: an anatomical study with surgical and clinical implications. *Surgical and Radiologic Anatomy, 31*(10), 775-780. doi:10.1007/s00276-009-0520-0

Arya, S., & Kulig, K. (2010). Tendinopathy alters mechanical and material properties of the Achilles tendon. *Journal of Applied Physiology (1985), 108*(3), 670-675. doi:10.1152/japplphysiol.00259.2009

Bhandari, M., Guyatt, G. H., Siddiqui, F., Morrow, F., Busse, J., Leighton, R. K., . . . Schemitsch, E. H. (2002). Treatment of acute Achilles tendon ruptures: a systematic overview and metaanalysis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*(400), 190-200.

Bojsen-Moller, J., Hansen, P., Aagaard, P., Svantesson, U., Kjaer, M., & Magnusson, S. P. (2004). Differential displacement of the human soleus and medial gastrocnemius aponeuroses during isometric plantar flexor contractions in vivo.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Journal of Applied Physiology (1985), 97(5), 1908-1914. doi:10.1152/japplphysiol.00084.2004

Bompa, O. A. (1993). *Power Training for Sport: Plyometrics for Maximum Power Development*. Canada: Coaching Association of Canada.

Bompa, O. A. (1999). *Periodization Training*. Canada: Human Kinetics.

Brich, H.L., McLaughlin, L., Smith, R.K., & Goodship, A.E. (1999). Treadmill exerciseinduced tendon hypertrophy assessment of tendons with different mechanical functions. *Equine Veterinary Journal, 30*, 222-226.

Buchanan, C. I., & Marsh, R. L. (2001). Effects of long-term exercise on the biomechanical properties of the Achilles tendon of guinea fowl. *Journal of Applied Physiology (1985), 90*(1), 164-171. doi:10.1152/jappl.2001.90.1.164

Canty, E. G., Lu, Y., Meadows, R. S., Shaw, M. K., Holmes, D. F., & Kadler, K. E. (2004). Coalignment of plasma membrane channels and protrusions (fibripositors) specifies the parallelism of tendon. *Journal of Cell Biology, 165*(4), 553-563. doi:10.1083/jcb.200312071

Carl, T. . (2005). Cadaveric assessment of the gastrocnemius aponeurosis to assist in the pre-operative planning for two-portal endoscopic gastrocnemius recession (EGR). *Foot, 15*, 137–140.

Cavanagh, P. R., & Komi, P. V. (1979). Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 42*(3), 159-163.

Chu, D.A. (1992). *Jumping into Plyometric*. California: Human kinetics.

Chu, D.A., & Plummer, L. (1984). The language of plyometrics. *Strength & Conditioning Journal, 6*(5), 30-31.

Clutch, D. (1983). The Effects of Depth Jumps and Weight Training on Leg Strength and Vertical Jump. *Research Ouartery, 54*, 5-10.

Curwin, S.L., & Stanish, W.D. . (1984). *Tendinitis: its etiology and treatment.* Lexington (MA): Collamore Press, DC Health.

Doral, M. N., Alam, M., Bozkurt, M., Turhan, E., Atay, O. A., Donmez, G., & Maffulli, N. (2010). Functional anatomy of the Achilles tendon. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 18*(5), 638-643. doi:10.1007/s00167-010-1083-7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Dudley, G.A., & Fleck, S.J. (1987). Strength and endurance training. Are they mutually exclusive? *Sports Medicine, 4*(2), 79-85.

Elliott, D. H. (1965). Structure and Function of Mammalian Tendon. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 40*, 392-421.

Farris, D. J., Trewartha, G., & McGuigan, M. P. (2011). Could intra-tendinous hyperthermia during running explain chronic injury of the human Achilles tendon? *Journal of Biomechanics, 44*(5), 822-826. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.12.015

Fields, K.B. (2011). Running Injuries - changing trends and demographics. *Current Sports Medicine Reports, 10*, 299-303.

Foure, A., Nordez, A., & Cornu, C. (2010). Plyometric training effects on Achilles tendon stiffness and dissipative properties. *Journal of Applied Physiology (1985), 109*(3), 849-854. doi:10.1152/japplphysiol.01150.2009

Fukunaga, T., Roy, R. R., Shellock, F. G., Hodgson, J. A., & Edgerton, V. R. (1996). Specific tension of human plantar flexors and dorsiflexors. *Journal of Applied Physiology (1985), 80*(1), 158-165. doi:10.1152/jappl.1996.80.1.158

Gelse, K. (2003). Collagens—structure, function, and biosynthesis. *Advanced Drug Delivery Reviews, 55*(12), 1531-1546. doi:10.1016/j.addr.2003.08.002

Giovanelli, N., Taboga, P., Rejc, E., & Lazzer, S. (2017). Effects of strength, explosive and plyometric training on energy cost of running in ultra-endurance athletes. *Eur J Sport Sci, 17*(7), 805-813. doi:10.1080/17461391.2017.1305454

Grine, F.E., Fleagle, J.G., & Leakey, R.E. (2006). *The First Humans*. Netherlands: Springer Netherlands.

Grine, F.E., Fleagle, J.G., & Leakey, R.E. (2006). *The First Humans*. Netherlands: Springer Netherlands

Haff, G.G. (2010). Quantifying workloads in resistance training. *Strength and conditioning, 19*, 31-40.

Han, Seong-Won, Lee, Dae-Yeon, & Lee, Hae-Dong. (2014). Relationship between Muscle Strength and Tendon Stiffness of the Ankle Plantarflexors and Its functional Consequence. *Korean Journal of Sport Biomechanics, 24*(1), 35-42.

doi:10.5103/kjsb.2014.24.1.035

Hart, D. A., & Evans, C. H. (2000). Orthopaedic gene therapy. Ligament and tendon. *Clinical Orthopaedics and Related Research*(379 Suppl), S260-261.

Hedrick, A. (1994). Strength / Power Training for the Natinonal Speed Skating Team. *Strength and conditioning, 16*, 33-39.

Heinemeier, K. M., Olesen, J. L., Haddad, F., Langberg, H., Kjaer, M., Baldwin, K. M., & Schjerling, P. (2007). Expression of collagen and related growth factors in rat tendon and skeletal muscle in response to specific contraction types. *Journal of Physiology, 582*(Pt 3), 1303-1316. doi:10.1113/jphysiol.2007.127639

Hespanhol Junior, L. C., Pillay, J. D., van Mechelen, W., & Verhagen, E. (2015). Metaanalyses of the effects of habitual running on indices of health in physically inactive adults. *Sports Medicine, 45*, 1455-1468.

Houghton, L. A., Dawson, B. T., & Rubenson, J. (2013). Effects of plyometric training on achilles tendon properties and shuttle running during a simulated cricket batting innings. *Journal of Strength and Conditioning Research, 27*(4), 1036-1046. doi:10.1519/JSC.0b013e3182651e7a

Hreljac, A. (2005). Etiology, prevention, and early intervention of overuse injuries in runners: a biomechanical perspective. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America, 16*, 651-667.

Huber, J. (1987). Increasing a Diver's Vertical Jump throught Plyometric Training. *National Strength and Conditioning Association Journal, 35*, 343-349.

Isner-Horobeti, M. E., Dufour, S. P., Vautravers, P., Geny, B., Coudeyre, E., & Richard, R. (2013). Eccentric exercise training: modalities, applications and perspectives. *Sports Medicine, 43*(6), 483-512. doi:10.1007/s40279-013-0052-y

Jokl, P., Sethi, P.M., & Cooper, A.J. . (2004). Master's performance in the New York City Marathon 1983–1999. *British Journal of Sports Medicine, 38*, 408–412.

Khan, K. M., & Maffulli, N. (1998). Tendinopathy: an Achilles' heel for athletes and clinicians. *Clinical Journal of Sport Medicine, 8*(3), 151-154.

Kjaer, M. (2004). Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiological Reviews, 84*(2), 649-698. doi:10.1152/physrev.00031.2003

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Knechtle, B., Rosemann, T., Zingg, M. A., & Rüst, C. A. (2015). Increase in participation but decrease in performance in age group mountain marathoners in the 'Jungfrau Marathon': a Swiss phenomenon. *Springerplus, 4*, 523.

Kongsgaard, M., Aagaard, P., Kjaer, M., & Magnusson, S. P. (2005). Structural Achilles tendon properties in athletes subjected to different exercise modes and in Achilles tendon rupture patients. *Journal of Applied Physiology (1985), 99*(5), 1965-1971. doi:10.1152/japplphysiol.00384.2005

Kubo, K., Ishigaki, T., & Ikebukuro, T. (2017). Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiological Reports, 5*(15). doi:10.14814/phy2.13374

Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2002). Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of Physiology, 538*(Pt 1), 219-226.

Kubo, K., Kanehisa, H., Ito, M., & Fukunaga, T. (2001a). Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol (1985), 91*(1), 26-32. doi:10.1152/jappl.2001.91.1.26

Kubo, K., Kanehisa, H., Ito, M., & Fukunaga, T. (2001b). Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *Journal of Applied Physiology (1985), 91*(1), 26-32. doi:10.1152/jappl.2001.91.1.26

Kubo, K., Morimoto, M., Komuro, T., Yata, H., Tsunoda, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2007). Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 39*(10), 1801-1810. doi:10.1249/mss.0b013e31813e630a

Kujala, U. M., Sarna, S., & Kaprio, J. (2005). Cumulative incidence of achilles tendon rupture and tendinopathy in male former elite athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine, 15*(3), 133-135.

Langberg, H., Ellingsgaard, H., Madsen, T., Jansson, J., Magnusson, S. P., Aagaard, P., & Kjaer, M. (2007). Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 17*(1), 61-66. doi:10.1111/j.1600-0838.2006.00522.x

Lantto, I., Heikkinen, J., Flinkkila, T., Ohtonen, P., & Leppilahti, J. (2015). Epidemiology of

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Achilles tendon ruptures: increasing incidence over a 33-year period. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 25*(1), e133-138. doi:10.1111/sms.12253

Lehto, N. (2015). Effects of age on marathon finishing time among male amateur runners in Stockholm Marathon 1979–2014. *Journal of Sport and Health Science, 5*, 349-354.

Lenskjold, A., Kongsgaard, M., Larsen, J. O., Nielsen, R. H., Kovanen, V., Aagaard, P., . . . Magnusson, S. P. (2015). The influence of physical activity during youth on structural and functional properties of the Achilles tendon. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 25*(1), 25-31. doi:10.1111/sms.12143

Lersch, C., Grotsch, A., Segesser, B., Koebke, J., Bruggemann, G. P., & Potthast, W. (2012). Influence of calcaneus angle and muscle forces on strain distribution in the human Achilles tendon. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon), 27*(9), 955-961. doi:10.1016/j.clinbiomech.2012.07.001

Leung, W. K. C., Chu, K. L., & Lai, C. (2017). Sonographic evaluation of the immediate effects of eccentric heel drop exercise on Achilles tendon and gastrocnemius muscle stiffness using shear wave elastography. *PeerJ, 5*, e3592. doi:10.7717/peerj.3592

Leyk, D., Erley, O., Ridder, D., Leurs, M., Rüther, T., Wunderlich, M., . . . Essfeld, D. (2007). Age-related changes in marathon and half-marathon performances. *International Journal of Sports Medicine, 28*, 513–517.

Lopes, A. D., Hespanhol Junior, L. C., Yeung, S. S., & Costa, L. O. (2012). What are the main running-related musculoskeletal injuries? A Systematic Review. *Sports Medicine, 42*(10), 891-905. doi:10.2165/11631170-000000000-00000

Lorimer, A. V., & Hume, P. A. (2014). Achilles tendon injury risk factors associated with running. *Sports Medicine, 44*(10), 1459-1472. doi:10.1007/s40279-014-0209-3

Lyman, J., Weinhold, P. S., & Almekinders, L. C. (2004). Strain behavior of the distal achilles tendon: implications for insertional achilles tendinopathy. *American Journal of Sports Medicine, 32*(2), 457-461. doi:10.1177/0095399703258621

Ma, G. W., & Griffith, T. G. (1977). Percutaneous repair of acute closed ruptured achilles tendon: a new technique. *Clinical Orthopaedics and Related Research*(128),

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

247-255.

Maffulli, N. (1999). Rupture of the Achilles tendon. *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume), 81*(7), 1019-1036.

Maganaris, C. N., & Paul, J. P. (2002). Tensile properties of the in vivo human gastrocnemius tendon. *Journal of Biomechanics, 35*(12), 1639-1646.

Magnusson, S. P., Beyer, N., Abrahamsen, H., Aagaard, P., Neergaard, K., & Kjaer, M. (2003). Increased cross-sectional area and reduced tensile stress of the Achilles tendon in elderly compared with young women. *Journals of Gerontology. Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 58*(2), 123-127.

Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2003). Region-specific differences in Achilles tendon cross-sectional area in runners and non-runners. *European Journal of Applied Physiology, 90*(5-6), 549-553. doi:10.1007/s00421-003-0865-8

Mahieu, N. N., McNair, P., Cools, A., D'Haen, C., Vandermeulen, K., & Witvrouw, E. (2008). Effect of eccentric training on the plantar flexor muscle-tendon tissue properties. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 40*(1), 117-123. doi:10.1249/mss.0b013e3181599254

Malvankar, S., & Khan, W.S. (2011). Evolution of the Achilles tendon: the athlete's Achilles heel. *Foot, 21*, 193–197.

Maroto-Izquierdo, S., Garcia-Lopez, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O. C., Gonzalez-Gallego, J., & de Paz, J. A. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport, 20*(10), 943-951. doi:10.1016/j.jsams.2017.03.004

Michna, H., & Hartmann, G. (1989). Adaptation of tendon collagen to exercise. *International Orthopaedics, 13*(3), 161-165.

Morrissey, D., Roskilly, A., Twycross-Lewis, R., Isinkaye, T., Screen, H., Woledge, R., & Bader, D. (2011). The effect of eccentric and concentric calf muscle training on Achilles tendon stiffness. *Clinical Rehabilitation, 25*(3), 238-247. doi:10.1177/0269215510382600

Muller, R., Siebert, T., & Blickhan, R. (2012). Muscle preactivation control: simulation of ankle joint adjustments at touchdown during running on uneven ground.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Journal of Applied Biomechanics, 28(6), 718-725.

Muraoka, T., Muramatsu, T., Fukunaga, T., & Kanehisa, H. (2004). Geometric and elastic properties of in vivo human Achilles tendon in young adults. *Cells Tissues Organs, 178*(4), 197-203. doi:10.1159/000083731

Nordin, M., & Frankel, V.H. (2001). *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins.

Norrbrand, L., Fluckey, J. D., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2008). Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *European Journal of Applied Physiology, 102*(3), 271-281. doi:10.1007/s00421-007-0583-8

Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait and Posture, 7*(1), 77-95.

Novkov, P. (1987). Depth Jump. *National Strength and Conditioning Journal, 9*, 60-61.

Ohberg, L., Lorentzon, R., & Alfredson, H. (2004). Eccentric training in patients with chronic Achilles tendinosis: normalised tendon structure and decreased thickness at follow up. *British Journal of Sports Medicine, 38*(1), 8-11; discussion 11.

Panjabi, M.M., & White, A.A. (2001). *Biomechanics in the musculoskeletal system*. New York: Churchill Livingstone.

Parekh, S. G., Wray, W. H., 3rd, Brimmo, O., Sennett, B. J., & Wapner, K. L. (2009). Epidemiology and outcomes of Achilles tendon ruptures in the National Football League. *Foot Ankle Spec, 2*(6), 283-286. doi:10.1177/1938640009351138

Pearson, A. M. (1990). Muscle growth and exercise. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 29*(3), 167-196. doi:10.1080/10408399009527522

Reeves, N. D., Maganaris, C. N., & Narici, M. V. (2003). Effect of strength training on human patella tendon mechanical properties of older individuals. *Journal of Physiology, 548*(Pt 3), 971-981. doi:10.1113/jphysiol.2002.035576

Rosager, S., Aagaard, P., Dyhre-Poulsen, P., Neergaard, K., Kjaer, M., & Magnusson, S. P. (2002). Load-displacement properties of the human triceps surae aponeurosis and tendon in runners and non-runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 12*(2), 90-98.

Roundtable, G. (1986). Practical Considerations for Ultilizing Plyometric Part l and part ll. *National Strength and conditioning Association Journal, 8*, 14-24.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Rugg, S. G., Gregor, R. J., Mandelbaum, B. R., & Chiu, L. (1990). In vivo moment arm calculations at the ankle using magnetic resonance imaging (MRI). *Journal of Biomechanics, 23*(5), 495-501.

Sanz-Lopez, F., Berzosa Sanchez, C., Hita-Contreras, F., Cruz-Diaz, D., & Martinez-Amat, A. (2016). Ultrasound Changes in Achilles Tendon and Gastrocnemius Medialis Muscle on Squat Eccentric Overload and Running Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research, 30*(7), 2010-2018. doi:10.1519/JSC.0000000000001298

Saragiotto, B.T., Yamato, T.P., Hespanhol Junior, L.C., Rainbow, M.J., Davis, I.S., & Lopes, A.D. (2014). What are the main risk factors for running-related injuries. *Sports Medicine, 44*, 1153-1163.

Scott, S. H., & Winter, D. A. (1990). Internal forces of chronic running injury sites. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 22*(3), 357-369.

Silver, F. H., Freeman, J. W., & Seehra, G. P. (2003). Collagen self-assembly and the development of tendon mechanical properties. *Journal of Biomechanics, 36*(10), 1529-1553.

Smith, R. K., Birch, H. L., Goodman, S., Heinegard, D., & Goodship, A. E. (2002). The influence of ageing and exercise on tendon growth and degeneration--hypotheses for the initiation and prevention of strain-induced tendinopathies. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular and Integrative Physiology, 133*(4), 1039-1050.

Soderberg, G.L. (1997). *Kinesiology: application to pathological motion*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Stone, M.H., & O'Bryant, H.S. (1987). *Weight Training*. England: Burgess International Group.

Trabulo, M., Mendes, M., Mesquita, A., & Seabra-Gomes, R. (1994). [Does the modified Bruce protocol induce physiological stress equal to that of the Bruce protocol?]. *Revista Portuguesa de Cardiologia, 13*(10), 753-760; 735-756.

Viidik, A. (1969). Tensile strength properties of Achilles tendon systems in trained and untrained rabbits. *Acta Orthopaedica Scandinavica, 40*(2), 261-272.

Vitez, L., Zupet, P., Zadnik, V., & Drobnic, M. (2017). Running Injuries in the Participants

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

of Ljubljana Marathon. *Zdr Varst, 56*(4), 196-202. doi:10.1515/sjph-2017-0027

Vleck, V.E., & Garbutt, G. . (1998). Injury and training characteristics of male elite, development squad, and club triathletes. *International Journal of Sports Medicine, 19*(1), 38–42.

Vogt, M., & Hoppeler, H. H. (2014). Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *Journal of Applied Physiology (1985), 116*(11), 1446-1454. doi:10.1152/japplphysiol.00146.2013

Wang, J. H. (2006). Mechanobiology of tendon. *Journal of Biomechanics, 39*(9), 1563-1582. doi:10.1016/j.jbiomech.2005.05.011

Wirth, K., Keiner, M., Szilvas, E., Hartmann, H., & Sander, A. (2015). Effects of Eccentric Strength Training on Different Maximal Strength and Speed-Strength Parameters of the Lower Extremity. *Journal of Strength and Conditioning Research, 29*(7), 1837-1845. doi:10.1519/JSC.0000000000000528

Woo, S. L., Gomez, M. A., Amiel, D., Ritter, M. A., Gelberman, R. H., & Akeson, W. H. (1981). The effects of exercise on the biomechanical and biochemical properties of swine digital flexor tendons. *Journal of Biomechanical Engineering, 103*(1), 51-56.

Woo, S. L., Ritter, M. A., Amiel, D., Sanders, T. M., Gomez, M. A., Kuei, S. C., . . . Akeson, W. H. (1980). The biomechanical and biochemical properties of swine tendons--long term effects of exercise on the digital extensors. *Connective Tissue Research, 7*(3), 177-183.

Wren, T. A., Lindsey, D. P., Beaupre, G. S., & Carter, D. R. (2003). Effects of creep and cyclic loading on the mechanical properties and failure of human Achilles tendons. *Annals of Biomedical Engineering, 31*(6), 710-717.

Wren, T. A., Yerby, S. A., Beaupre, G. S., & Carter, D. R. (2001). Mechanical properties of the human achilles tendon. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon), 16*(3), 245-251.

Wyndow, N., Cowan, S. M., Wrigley, T. V., & Crossley, K. M. (2010). Neuromotor control of the lower limb in Achilles tendinopathy: implications for foot orthotic therapy. *Sports Medicine, 40*(9), 715-727. doi:10.2165/11535920-000000000-00000

เจริญ กระบวนรัตน์. (2538). ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของขาจำนวนก้าวในการวิ่ง และเวลาในการวิ่งเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

50 เมตร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพลศึกษาคณะพลศึกษามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กาญจนศรี สิงห์ภู่. (2555). คู่มือการออกกาลังกายเพื่อสุขภาพสำหรับประชาชน. กรุงเทพฯ: งานเวชกรรมสังคม โรงพยาบาลศรีนครินทร์.

ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์. (2544). การเปรียบเทียบผลของการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่การฝึกด้วยน้ำหนัก การฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนัก และการฝึกเชิงซ้อนที่มีต่อการพัฒนาพลังกล้ามเนื้อขา. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ถนอม โพธิ์มี. (2552). ผลการฝึกแบบพลัยโอเมตริกที่มีต่อความเร็ว และกำลังกล้ามเนื้อขาของนักศึกษาชาย สถาบันการพลศึกษาวิทยาเขตลำปาง. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

รุ่งทิพย์ สุธีบุตร, สุชาติ โกทันย์, & อรรวรรณ ประศาสน์วุฒิ. (2554). ผลการฝึกกล้ามเนื้อแบบยืดยาวออกต่อการปรับตัวของเอ็นกล้ามเนื้อร้อยหวายของคนสุขภาพดี. วารสารกายภาพบำบัด, *33*(1), 17-31.

อนุพงษ์ ฉัตรสูงเนิน. (2544). ผลการฝึกแบบพลัยโอเมตริกที่มีต่อความสามารถในการวิ่งระยะสั้น. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

ในการฝึกพลังระเบิดของกล้ามเนื้อ (Muscle explosion) ด้วยวิธีพลัยโอเมตริก และการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องมีการอบอุ่นร่างกายก่อนทำการทดสอบให้เพียงพอก่อนทุกครั้ง ซึ่งการอบอุ่นร่างกายจะช่วยเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณของเลือดที่มาหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อให้มากขึ้น ส่งผลให้กล้ามเนื้อพร้อมที่จะทำงานหนักเต็มขีดความสามารถได้อย่างปลอดภัย

โดยเริ่มจากการวิ่งเบาๆ (Jogging) 400 เมตรเป็นเวลา 5 นาทีและกระโดดตบมือเหนือศีรษะ (Jumping Jack) 50 ครั้งในเวลาที่กำหนด (เวลาคงที่) ตามด้วยการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) ซึ่งประกอบด้วยท่าต่างๆดังนี้

ท่าที่ 1 การวิ่งพร้อมกับยกเข่าสูง (High knees) จำนวน 20 ครั้ง

รูปที่ 20 ท่าการวิ่งพร้อมกับยกเข่าสูง

ท่าที่ 2 การก้าวขาไปด้านหน้าย่อตัวลงและงอเข่าทั้งสองข้าง (Lunge stretch) จำนวน 10 ครั้งต่อข้าง

รูปที่ 21 ท่าการก้าวขาไปด้านหน้าย่อตัวลงและงอเข่าทั้งสองข้าง

ท่าที่ 3 การก้าวขาไปด้านหน้าย่อตัวลงและเข่าด้านหลังเหยียด (Lunge calf stretch) จำนวน 10 ครั้งต่อข้าง

รูปที่ 22 ท่าการก้าวขาไปด้านหน้าย่อตัวลงและเข่าด้านหลังเหยียด

ถ้ามากเกินไปให้เดินเบาๆก่อนเริ่มทำการฝึก ถ้าเบาเกินไปให้วิ่งและกระโดดตบซ้ำอีก ทั้งนี้ผู้ทำการอบอุ่นร่างกายจะต้องคอยสังเกตตนเองตลอดเวลาและไม่ทำด้วยความเร่งรีบ รุนแรง ทั้งนี้ความหนักและเบาอาจจะต้องปรับเล็กน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศในวันที่ฝึก

ภาคผนวก ข

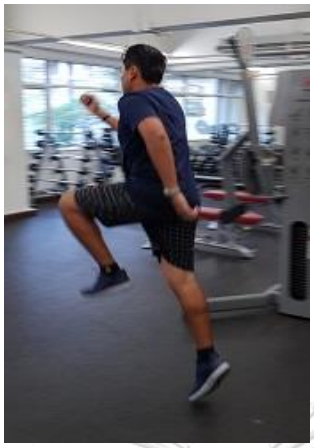
โปรแกรมการฝึกแบบพลัยโอเมตริก

กำหนดให้กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ เวลา 16.00-17.00 น.โดยมีลำดับขั้นตอนดังตารางต่อไปนี้

กิจกรรม (เวลาที่ใช้โดยประมาณ)	น้ำหนักถ่วง (%1RM)	จำนวน (เซต)	จำนวน (ครั้ง/เซต)	เวลาพัก (เซต)
อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (10-15 นาที)				
การฝึกแบบพลัยโอเมตริก (40 นาที) โดยท่าวิ่งก้าวกระโดด (Bounding)	-	4 เซต	10 ครั้ง	3 นาที
การผ่อนคลายร่างกาย Cool down (10-15 นาที)				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ท่าวิ่งก้าวกระโดด (Bounding)



รูปที่ 23 แสดงท่าวิ่งก้าวกระโดด (Bounding)

ทิศทางการกระโดด	ไปทางด้านหน้า
ท่าเริ่มต้น	ยืนตามสบาย กางขากว้างระดับไหล่
การใช้แขน	ใช้แขนทั้งสองข้างเหวี่ยงสลับซ้าย-ขวาตามจังหวะการกระโดด
การเริ่มต้นเคลื่อนไหว	วิ่งจ๊อกกิ้งด้วยความเร็วปกติ เริ่มการกระโดดด้วยการก้าวเท้าซ้ายไปข้างหน้า
การกระโดดขึ้น	ในขณะที่ถีบเท้าซ้ายออกจากพื้น ให้ยกขาขวาไปข้างหน้าโดยยกต้นขาให้อยู่ในระดับขนานกับพื้นและเข่างอประมาณ 90 องศา
การลงสู่พื้น	ให้ลงกลับสู่พื้นด้วยเท้าขวาและกระโดดขึ้นอย่างสุดความสามารถ โดยทำการกระโดดเช่นเดียวกันในขาข้างซ้ายติดต่อกันจนครบจำนวนที่กำหนดไว้

ภาคผนวก ค

โปรแกรมการฝึกแบบเอกเซนตริก

กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ เวลา 16.00-17.00 น.โดยมีลำดับขั้นตอนดังตารางข้างล่างนี้

กิจกรรม (เวลาที่ใช้โดยประมาณ)	น้ำหนักถ่วง (%1RM)	จำนวน (เซต)	จำนวน (ครั้ง/เซต)	เวลาพัก (เซต)
อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (10-15 นาที)				
การฝึกแบบเอกเซนตริก (40 นาที) โดยการปล่อยส้นเท้าลงจากพื้นต่างระดับขาเดี่ยว (Single-leg heel drops)	110 %	5 เซต	8 ครั้ง	3 นาที
การผ่อนคลายร่างกาย Cool down (10-15 นาที)				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การปล่อยส้นเท้าลงจากพื้นต่างระดับขาเดี่ยว (Single-leg heel drops)

รูปที่ 24 การปล่อยส้นเท้าลงจากพื้นต่างระดับขาเดี่ยว (Single-leg heel drops)

น้ำหนักถ่วง	*ร้อยละ 110 ของน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้เพียงหนึ่งครั้ง*
อุปกรณ์ที่ใช้	สมิท แมชชีนและกล่องพลัยโอเมตริก
ท่าเริ่มต้น	ยืนเข่าเหยียดตรงบนกล่องพลัยโอเมตริกโดยให้ส้นเท้าอยู่ด้านนอก ยกตัวขึ้นโดยออกแรงกดฝ่าเท้าซ้ายลง จากนั้นนำปลายเท้าขวามาวางบนกล่องพร้อมยกเท้าข้างซ้ายออก
การใช้แขน	ใช้มือทั้งสองข้างจับที่บาร์เบลแนบชิดบ่า
การเคลื่อนไหว	ค่อยๆปล่อยส้นเท้าข้างขวาให้ตกลงมาอย่างช้าๆ โดยต้องให้ตกลงมาจนทำให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยกำหนดด้วยเวลา 3 วินาทีตามเสียงสัญญาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง
การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 max)

วิธีการทดสอบ Modified Bruce protocol

เครื่องมือ

1. ลู่วิ่ง (Treadmill)
2. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax 3B Breath by breath

Stage	Speed (mph)	Grade (%)	Duration (min)
0	1.7	0	3
0.5	1.7	5	3
1	1.7	10	3
2	2.5	12	3
3	3.4	14	3
4	4.2	16	3
5	5.0	18	3
6	5.5	20	3
7	6.0	22	3

รูปที่ 25 การทดสอบโมดิฟายด์ บรูซ (Modified Bruce protocol)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีการ

1. ให้ผู้รับการทดสอบลองเดินบนลู่วิ่ง
2. ใส่อุปกรณ์การวัดให้ผู้รับการทดลอง โดยอุปกรณ์ได้รับการปรับตั้งเครื่องมือให้ได้มาตรฐานแล้ว
3. ให้ผู้รับการทดสอบเดิน-วิ่งบนลู่วิ่งนานเท่าที่จะทำได้โดยระดับความหนักเพิ่มขึ้นรูปแบบการทดสอบโมดิฟายด์ บรูซ จนผู้ถูกทดสอบไม่สามารถเพิ่มระดับความหนักได้อีก

4. ขณะทำการทดสอบวัดความดันและสอบถามระดับของความเหนื่อย (Rating of perceived exertion of Borg, RPE) ทุกๆ 3 นาที
5. เมื่อผู้รับการทดสอบไม่สามารถวิ่งต่อได้ให้ผ่อนความเร็วคงไว้ 2 นาที และนั่งพัก 3 นาที
6. บันทึกค่าในคอมพิวเตอร์ หน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก จ
การทดสอบหาน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ 1 ครั้ง (1 Repetition maximum)ในท่า Single leg calf raises

วิธีการทดสอบหาน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ 1ครั้ง ในท่า Single leg calf raises มีขั้นตอน ดังนี้

1. อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
2. ทำการเลือกน้ำหนักที่ใช้ยกในท่า Single leg calf raises ที่น้ำหนักใดก็ได้
3. ทำการยกน้ำหนักในท่า Single leg calf raises ที่เลือกมาให้ได้จำนวนครั้งมากที่สุด (ปฏิบัติเต็มความสามารถจนยกน้ำหนักไม่ไหว)
4. นำน้ำหนักที่ยกได้ ในท่า Single leg calf raises มาทำการหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ 1 ครั้ง โดยคำนวณจากสูตร ดังนี้ (Baechle and Earle, 2008)

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

ตัวอย่าง:

เลือกน้ำหนักที่ใช้ยกในท่า Single leg calf raises ที่น้ำหนัก 30 กิโลกรัม และสามารถยกได้สูงสุด 8 ครั้ง นำผลที่ได้มาเข้าสูตรในการคำนวณหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ 1 ครั้ง

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

= 30 × [(1 + (0.033 × 8)]

= 30 × 1.264

1 Repetition maximum = 38 กิโลกรัม

ดังนั้น ค่าของน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ 1 ครั้ง จึงมีค่าเท่ากับ 38 กิโลกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฉ

รายนามของผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจเครื่องมือวิจัย

1. อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. อาจารย์ ดร.คนางค์ ศรีหิรัญ	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. นางสาวชัชฎาพร พิทักษ์เสถียรกุล	ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน วิทยาศาสตร์การกีฬา สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา
4. อาจารย์ ธีรพัฒน์ ลัดดาวงศ์	ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
5. อาจารย์ พิรุณ นันทะ	คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับผู้วิจัย

เลขที่.....

วันที่...../...../2562

ภาคผนวก ช

<u>ตัวอย่าง</u> แบบสอบถามข้อมูลเพื่อการคัดกรองเบื้องต้น

กรุณาเติมข้อความลงในช่องว่าง หรือทำเครื่องหมาย ✓ ในวงเล็บหน้าคำตอบที่คุณเลือก ในหัวข้อที่ 1. – 13.

<u>ประวัติส่วนตัวและข้อมูลทั่วไป</u>

1. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
2. สัญชาติ ( ) ไทย ( ) อื่น ๆ.....
3. อายุ.....ปี
4. น้ำหนัก.....กิโลกรัม
5. ส่วนสูง.....เซนติเมตร
6. อาชีพ.....
7. ท่านมีโรคประจำตัว ( ) ไม่มี ( ) มี

ถ้ามี(โปรดระบุ).....

8. ท่านถนัดขาข้าง ( ) ซ้าย ( ) ขวา
9. ท่านเคยเข้าร่วมการแข่งขันวิ่งระยะไกลระยะทางมากกว่า 10 กิโลเมตรขึ้นไป อย่างน้อย 4 ครั้ง ในช่วง 2 ปีที่ผ่านมาหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
10. ท่านมีการฝึกโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอย่างน้อย สัปดาห์ละ 2 วัน ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 4 สัปดาห์ก่อนทำการทดสอบหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
11. ท่านมีการฝึกซ้อมวิ่งอย่างน้อย สัปดาห์ละ 3 วัน หรือ ผลรวมระยะการวิ่งไม่น้อยกว่า 15 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 เดือนก่อนทำการทดสอบหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
12. ท่านมีประวัติการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อของขาทั้ง 2 ข้าง อย่างรุนแรงจนต้องเข้ารับการรักษาทางการแพทย์ และได้รับการรักษามากกว่าการทานยา หรือยาถูนวด ก่อนเข้าร่วมงานวิจัยอย่างน้อย 6 เดือนหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
13. ท่านได้เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกเพิ่มเติมของงานวิจัยอื่นหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ซ

ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

COA No. 050/2562

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 008.1/62 : ผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

ผู้วิจัยหลัก : นายเอกพันธ์ ภู่เงิน

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

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

วันที่รับรอง : 7 กุมภาพันธ์ 2562 **วันหมดอายุ** : 6 กุมภาพันธ์ 2563

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1) โครงการวิจัย
2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
3) ผู้วิจัย
4) แบบสอบถาม

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง -7 ก.พ. 2562
วันหมดอายุ -6 ก.พ. 2563

เงื่อนไข

1. *ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการผิดจริยธรรม หากดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยฯ*
2. *หากใบรับรองโครงการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อต้องการต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่ต่ำกว่า 1 เดือน พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าการวิจัย*
3. *ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด*
4. *ใช้เอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารเชิญเข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) **เฉพาะที่ประทับตราคณะกรรมการเท่านั้น***
5. *หากเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในสถานที่เก็บข้อมูลที่ขออนุมัติจากคณะกรรมการ ต้องรายงานคณะกรรมการภายใน 5 วันทำการ*
6. *หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณารับรองก่อนดำเนินการ*
7. *โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 03-12) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น*

AF 02-12

The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University
Jamjuree 1 Building, 2nd Floor, Phyathai Rd., Patumwan district, Bangkok 10330, Thailand,
Tel/Fax: 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 050/2019

Certificate of Approval

Study Title No. 008.1/62 : EFFECTS OF PLYOMETRIC AND ECCENTRIC TRAINING ON ACHILLES TENDON STIFFNESS IN MALE LONG-DISTANCE RUNNERS

Principal Investigator : MR. AEKKAPHAN PHUNGERN

Place of Proposed Study/Institution : Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University

The Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University, Thailand, has approved constituted in accordance with Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, Standards of Research Ethics Committee (SREC) 2013, and National Policy and guidelines for Human Research 2015, the above research project.

Signature: Prida Tasanapradit
(Associate Prof. Prida Tasanapradit, M.D.)
Chairman

Signature: Nuntaree Chaichanawongsaroj
(Assistant Prof. Nuntaree Chaichanawongsaroj, Ph.D.)
Secretary

Date of Approval : 7 February 2019 Approval Expire date : 6 February 2020

The approval documents including;

1) Research proposal
2) Patient/Participant Information Sheet and Informed Consent Form
3) Researcher
4) Questionnaire

008.1/62
-7 FEB 2019
-6 FEB 2020

The approved investigator must comply with the following conditions:

1. *The research/project activities must end on the approval expired date of the Research Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Participants, Health Sciences Group, Chulalongkorn University (RECCU). In case the research/project is unable to complete within that date, the project extension can be applied one month prior to the RECCU approval expired date.*
2. *Strictly conduct the research/project activities as written in the proposal.*
3. *Using only the documents that bearing the RECCU's seal of approval with the subjects/volunteers (including subject information sheet, consent form, invitation letter for project/research participation (if available).*
4. *Report to the RECCU for any serious adverse events within 5 working days*
5. *Report to the RECCU for any change of the research/project activities prior to conduct the activities.*
6. *Final report (AF 03-12) and abstract is required for a one year (or less) research/project and report within 30 days after the completion of the research/project. For thesis, abstract is required and report within 30 days after the completion of the research/project.*
7. *Annual progress report is needed for a two- year (or more) research/project and submit the progress report before the expire date of certificate. After the completion of the research/project processes as No. 6.*

สำหรับผู้วิจัย

เลขที่.....

วันที่...../...../2562

ภาคผนวก ช

ตัวอย่าง แบบสอบถามข้อมูลเพื่อการคัดกรองเบื้องต้น

กรุณาเติมข้อความลงในช่องว่าง หรือทำเครื่องหมาย ✓ ในวงเล็บหน้าคำตอบที่คุณเลือก ในหัวข้อที่ 1. – 13.

ประวัติส่วนตัวและข้อมูลทั่วไป

1. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
2. สัญชาติ ( ) ไทย ( ) อื่น ๆ.....
3. อายุ.....ปี
4. น้ำหนัก.....กิโลกรัม
5. ส่วนสูง.....เซนติเมตร
6. อาชีพ.....
7. ท่านมีโรคประจำตัว ( ) ไม่มี ( ) มี

ถ้ามี(โปรดระบุ).....

8. ท่านถนัดขาข้าง ( ) ซ้าย ( ) ขวา
9. ท่านเคยเข้าร่วมการแข่งขันวิ่งระยะไกลระยะทางมากกว่า 10 กิโลเมตรขึ้นไป อย่างน้อย 4 ครั้งในช่วง 2 ปีที่ผ่านมาหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
10. ท่านมีการฝึกโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอย่างน้อย สัปดาห์ละ 2 วัน ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 4 สัปดาห์ก่อนทำการทดสอบหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
11. ท่านมีการฝึกซ้อมวิ่งอย่างน้อย สัปดาห์ละ 3 วัน หรือ ผลรวมระยะการวิ่งไม่น้อยกว่า 15 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 เดือนก่อนทำการทดสอบหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
12. ท่านมีประวัติการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อของขาทั้ง 2 ข้าง อย่างรุนแรงจนต้องเข้ารับการรักษาทางการแพทย์ และได้รับการรักษามากกว่าการทานยา หรือยาถูนวด ก่อนเข้าร่วมงานวิจัยอย่างน้อย 6 เดือน หรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่
13. ท่านได้เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกเพิ่มเติมของงานวิจัยอื่นหรือไม่ ( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
รับรองถึงวันที่ - 6 ก.พ. 2563

AF 04-07

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

(กลุ่มฝึกแบบพลัยโอเมตริก)

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

ชื่อผู้วิจัย นายเอกพันธ์ ภู่เงิน ตำแหน่ง นิสิตบัณฑิตศึกษา

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย (ที่บ้าน) 11 ซอยแก้วเงินทอง 44 แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

โทรศัพท์ที่บ้าน 02-865-5284 โทรศัพท์มือถือ 081-561-1091

E-mail: phungerna@btlnet.com

1. ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ ทำเพราะเหตุผลใดและเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. โครงการนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวข้องกับผลของการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 เพื่อศึกษาผลของการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

3.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

4. รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักวิ่งระยะไกลชาย ที่มีอายุระหว่าง 18-30 ปี จำนวนทั้งหมด 20 คน

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
รับรองถึงวันที่ - 6 ก.พ. 2563

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

1) เป็นนักวิ่งระยะไกลเพศชาย อายุระหว่าง 18-30 ปี
2) เคยเข้าร่วมการแข่งขันวิ่งระยะไกลระยะทางมากกว่า10 กิโลเมตรขึ้นไป อย่างน้อย 4 ครั้งในช่วง 2 ปีที่ผ่านมา
3) มีค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดอย่างน้อย 40 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัม
4) *มีประสบการณ์ฝึกโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอย่างน้อย สัปดาห์ละ 2 วัน ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 4 สัปดาห์ก่อนทำการทดสอบ*
5) มีการฝึกซ้อมวิ่งเป็นประจำอย่างน้อย สัปดาห์ละ 3 วัน หรือ ระยะการวิ่งไม่น้อยกว่า 15 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ อย่างน้อยกว่า 3 เดือนก่อนการทดลอง
6) ไม่มีประวัติการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่ขาทั้ง 2 ข้าง อย่างรุนแรงจนต้องเข้ารับการรักษาทางการแพทย์ ก่อนเข้าร่วมงานวิจัยอย่างน้อย 6 เดือน
7) ไม่ได้เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกเพิ่มเติมของงานวิจัยอื่น
8) มีความสมัครใจในการเข้าร่วมในการวิจัย และ ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

V 2.4/2558

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกจากโครงการวิจัย (Exclusion criteria)

1) เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ หรือมีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น
2) เข้าร่วมการฝึกไม่ถึง 80% ของช่วงระยะเวลาการฝึก *หรือน้อยกว่า 15 ครั้ง*
3) ไม่สมัครใจในการเข้าร่วมการทดลองต่อไป

5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

5.1 ผู้วิจัยจะเป็นผู้ดำเนินการเชิญชวนผู้เข้าร่วมวิจัยด้วยตัวเอง โดยติดต่อประสานงานกับชมรมวิ่งสนามศุภชลาศัย และทีมสนามเทพรันนิ่ง และทำการประชาสัมพันธ์โครงการวิจัย โดยชี้แจ้งรายละเอียดการวิจัยให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยได้ทราบโดยละเอียด ขั้นตอนการทดสอบก่อนและหลังการทดลองโปรแกรมการฝึกตลอดจนประโยชน์ที่จะได้รับและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นในการเข้าร่วมโครงการวิจัย

5.2 ทำการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัยจากการตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ประวัติการแข่งขันและการฝึกซ้อม และประวัติการบาดเจ็บที่ขา เป็นต้น *ใช้ระยะเวลาประมาณ 15 นาที* จากนั้นจึงขอให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเซ็นยินดีเข้าร่วมโครงการลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการงานวิจัย

5.3 ผู้วิจัยดำเนินการนัดหมายกับผู้เข้าร่วมวิจัยโดยการติดต่อทางโทรศัพท์ เพื่อเข้ารับการทดสอบก่อนการฝึก ที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

5.3.1 การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

5.3.2 การทดสอบแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่

5.3.3 การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะมีการหดตัวแบบไอโซไคเนติก

5.3.4 การทดสอบความหนาของกล้ามเนื้อ

5.3.5 การทดสอบระยะความยาวที่ยืดออกของเส้นเอ็น

5.3.6 การทดสอบความแข็งแกร่งของเส้นเอ็น

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
รับรองถึงวันที่ - 6 ก.พ. 2563

โดยมีผู้ช่วยวิจัยจำนวน 1 คน เป็นนิสิตระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ผู้วิจัยแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 2 กลุ่มๆละ 10 คนด้วยการจับคู่ โดยใช้ค่าความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นเป็นเกณฑ์ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก

โดยโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายของแต่ละกลุ่ม จะใช้ระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (*ในวันจันทร์ พุธ ศุกร์ เวลา 16.00 – 17.00 น.*) ครั้งละประมาณ 60 นาที โดยมีขั้นตอนการฝึกดังนี้

5.4.1 ทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที

5.4.2 การฝึกออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

โดยใช้ท่าวิ่งก้าวกระโดด ในการฝึก ทำการฝึกจำนวน 4 เซต เซตละ 10 ครั้ง ระยะเวลาในการพักระหว่างเซต 3 นาที โดยฝึกบริเวณลานออกกำลังกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูปที่ 1

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
วันหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

รูปที่ 1. แสดงท่าวิ่งก้าวกระโดด

5.4.3 ทำการผ่อนคลายร่างกาย ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที

5.5 ทำการทดสอบภายหลังการฝึก โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบตัวแปรต่างๆ ตามขั้นตอนเช่นเดียวกับการทดสอบก่อนทำการฝึก ผู้วิจัยจะบันทึกข้อมูลเป็นรหัสและเมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะถูกทำลายทั้งหมด

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอน ที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่เชิญเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียดจนกระทั่งผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยมีความเข้าใจอย่างชัดเจน

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสร้างเสริมสมรรถภาพทางกาย โดยการการฝึกโปรแกรมออกกำลังกายด้วยแรงต้าน

8. การพิทักษ์สิทธิ์ผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อความปลอดภัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย การวิจัยครั้งนี้ได้มีการตรวจสอบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ ในการฝึกและการทดสอบแต่ละครั้งจะดำเนินการโดยผู้วิจัยเองโดยมีผู้ช่วยวิจัย 1 คนที่ได้รับการอบรมเกี่ยวกับวิธีการวิจัย ขั้นตอนการทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมาเป็นอย่างดี เพื่อมิให้เกิดความเสี่ยงใดๆ ที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย ในบางครั้งผู้เข้าร่วมวิจัยบางท่านอาจมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อขาหรือกล้ามเนื้อบริเวณลำตัวในขณะทำการฝึก ขณะทำการทดสอบและหลังการทดสอบในแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามอาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติในระยะเวลาอันสั้น ทั้งนี้ก่อนและหลังการฝึกและการทดสอบทุกครั้งจะมีการอบอุ่นร่างกายและผ่อนคลายกล้ามเนื้อ เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้น หากพบว่ามีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือมีการบาดเจ็บเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบให้หยุดการทดสอบทันที ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องรีบแจ้งผู้วิจัยทราบโดยเร็ว เพื่อที่จะได้ทำการปฐม

พยาบาลเบื้องต้น ในกรณีที่ได้รับบาดเจ็บรุนแรงผู้วิจัยจะนำส่งโรงพยาบาลใกล้เคียง โดยผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการออกค่ารักษาพยาบาลทั้งหมด

9. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อตัวนักกีฬาเป็นแนวทางในการพัฒนาการฝึกซ้อมเพื่อเตรียมความพร้อมและพัฒนาความสามารถให้แก่นักกีฬาก่อนการแข่งขัน และเป็นแนวทางให้บุคคลที่สนใจได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเสริมสร้างความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นได้

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของท่านเป็นโดยสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ โดยไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อผู้เข้าร่วมงานวิจัย

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว **เพื่อให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่**

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็น**ความลับ** หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

13. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับค่าเดินทางหรือค่าชดเชยการเสียเวลาในการเข้ารับการทดสอบก่อนและหลังการฝึก จำนวน 2 ครั้งๆละ 800 บาท โดยมีการมอบภายหลังการทดสอบในแต่ละครั้ง

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th"

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
วันหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

AF 04-07

ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

(กลุ่มฝึกแบบเอกเซนตริก)

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

ชื่อผู้วิจัย นายเอกพันธ์ ภู่เงิน ตำแหน่ง นิสิตบัณฑิตศึกษา

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย (ที่บ้าน) 11 ซอยแก้วเงินทอง 44 แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

โทรศัพท์ที่บ้าน 02-865-5284 โทรศัพท์มือถือ 081-561-1091

E-mail: phungerna@btlnet.com

1. ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ ทำเพราะเหตุผลใดและเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. โครงการนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวข้องกับผลของการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 เพื่อศึกษาผลของการฝึกการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

3.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกระหว่างการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

4. รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักวิ่งระยะไกลชาย ที่มีอายุระหว่าง 18-30 ปี จำนวนทั้งหมด 20 คน

ลำดับที่โครงการวิจัย 008-1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
วันหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมงานวิจัย (Inclusion criteria)

1) เป็นนักวิ่งระยะไกลเพศชาย อายุระหว่าง 18-30 ปี
2) เคยเข้าร่วมการแข่งขันวิ่งระยะไกลระยะทางมากกว่า10 กิโลเมตรขึ้นไป อย่างน้อย 4 ครั้งในช่วง 2 ปีที่ผ่านมา
3) มีค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดอย่างน้อย 40 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัม
4) มีประสบการณ์ฝึกโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอย่างน้อย สัปดาห์ละ 2 วัน ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 4 สัปดาห์ก่อนทำการทดสอบ
5) มีการฝึกซ้อมวิ่งเป็นประจำอย่างน้อย สัปดาห์ละ 3 วัน หรือ ระยะการวิ่งไม่น้อยกว่า 15 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ อย่างน้อยกว่า 3 เดือนก่อนการทดลอง
6) ไม่มีประวัติการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่ขาทั้ง 2 ข้าง อย่างรุนแรงจนต้องเข้ารับการรักษาทางการแพทย์ ก่อนเข้าร่วมงานวิจัยอย่างน้อย 6 เดือน
7) ไม่ได้เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกเพิ่มเติมของงานวิจัยอื่น
8) มีความสมัครใจในการเข้าร่วมในการวิจัย และ ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมงานวิจัยออกจากโครงการวิจัย (Exclusion criteria)

1) เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ หรือมีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น
2) เข้าร่วมการฝึกไม่ถึง 80% ของช่วงระยะเวลาการฝึก *หรือน้อยกว่า 15 ครั้ง*
3) ไม่สมัครใจในการเข้าร่วมการทดลองต่อไป

5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

5.1 ผู้วิจัยจะเป็นผู้ดำเนินการเชิญชวนผู้เข้าร่วมวิจัยด้วยตัวเอง โดยติดต่อประสานงานกับชมรมวิ่งสนามศุภชลาศัย และทีมสนามเทพรันนิ่ง และทำการประชาสัมพันธ์โครงการวิจัย โดยชี้แจ้งรายละเอียดการวิจัยให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยได้ทราบโดยละเอียด ขั้นตอนการทดสอบก่อนและหลังการทดลองโปรแกรมการฝึกตลอดจนประโยชน์ที่จะได้รับและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นในการเข้าร่วมโครงการวิจัย

5.2 ทำการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัยจากการตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ประวัติการแข่งขันและการฝึกซ้อม และประวัติการบาดเจ็บที่ขา เป็นต้น *ใช้ระยะเวลาประมาณ 15 นาที* จากนั้นจึงขอให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเซ็นยินดีเข้าร่วมโครงการลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการงานวิจัย

5.3 ผู้วิจัยดำเนินการนัดหมายกับผู้เข้าร่วมวิจัยโดยการติดต่อทางโทรศัพท์ เพื่อเข้ารับการทดสอบก่อนการฝึก ที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ระยะเวลาประมาณ 60 นาที โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

5.3.1 การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

5.3.2 การทดสอบแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่

5.3.3 การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก

5.3.4 การทดสอบความหนาของกล้ามเนื้อ

5.3.5 การทดสอบระยะความยาวที่ยืดออกของเส้นเอ็น

5.3.6 การทดสอบความแข็งแกร่งของเส้นเอ็น

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
รับที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
รับหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

โดยมีผู้ช่วยวิจัยจำนวน 1 คน เป็นนิสิตระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ผู้วิจัยแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 2 กลุ่มๆละ 10 คนด้วยการจับคู่ โดยใช้ค่าความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นเป็นเกณฑ์ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบพลัยโอเมตริก

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก

โดยโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายของแต่ละกลุ่ม จะใช้ระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (*ในวันจันทร์ พุธ ศุกร์ เวลา 16.00 – 17.00 น.*) ครั้งละประมาณ 60 นาที โดยมีขั้นตอนการฝึกดังนี้

5.4.1 ทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที

5.4.2 การฝึกออกกำลังกายแบบเอกเซนตริก โดยใช้

ท่าฝึกการปล่อยส้นเท้าลงจากพื้นต่างระดับขาเดี่ยว *ทำการฝึกจำนวน 5 เซต เซตละ 8 ครั้ง ระยะเวลาในการพักระหว่างเซต 3 นาที โดยใช้น้ำหนักถ่วงในการฝึกคิดเป็นร้อยละ 110 ของน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้เพียงหนึ่งครั้ง โดยฝึกภายในห้องออกกำลังกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย* ดังรูปที่ 1

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
วันหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

รูปที่ 1. การปล่อยส้นเท้าลงจากพื้นต่างระดับขาเดี่ยว

5.4.3 ทำการผ่อนคลายร่างกาย ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที

5.5 ทำการทดสอบภายหลังการฝึก โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบตัวแปรต่างๆ ตามขั้นตอนเช่นเดียวกับการทดสอบก่อนทำการฝึก ผู้วิจัยจะบันทึกข้อมูลเป็นรหัสและเมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้ว ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะถูกทำลายทั้งหมด

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอน ที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่เชิญเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียดจนกระทั่งผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยมีความเข้าใจอย่างชัดเจน

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสร้างเสริมสมรรถภาพทางกาย โดยการการฝึกโปรแกรมออกกำลังกายด้วยแรงต้าน

8. การพิทักษ์สิทธิ์ผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อความปลอดภัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย การวิจัยครั้งนี้ได้มีการตรวจสอบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ ในการฝึกและการทดสอบแต่ละครั้งจะดำเนินการโดยผู้วิจัยเอง โดยมีผู้ช่วยวิจัย 1 คนที่ได้รับการอบรมเกี่ยวกับวิธีการวิจัย ขั้นตอนการทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมาเป็นอย่างดี เพื่อมิให้เกิดความเสี่ยงใดๆ ที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย ในบางครั้งผู้เข้าร่วมวิจัยบางท่านอาจมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อขาหรือกล้ามเนื้อบริเวณลำตัวในขณะทำการฝึก ขณะทำการทดสอบและหลังการทดสอบในแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามอาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติในระยะเวลาอันสั้น ทั้งนี้ก่อนและหลังการฝึกและการทดสอบทุกครั้งจะมีการอบอุ่นร่างกายและผ่อนคลายกล้ามเนื้อ เพื่อป้องกัน

การบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้น หากพบว่ามีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือมีการบาดเจ็บเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบให้หยุดการทดสอบทันที ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องรีบแจ้งผู้วิจัยทราบโดยเร็ว เพื่อที่จะได้ทำการปฐมพยาบาลเบื้องต้น ในกรณีที่ได้รับบาดเจ็บรุนแรงผู้วิจัยจะนำส่งโรงพยาบาลใกล้เคียง โดยผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการออกค่ารักษาพยาบาลทั้งหมด

9. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อตัวนักกีฬาเป็นแนวทางในการพัฒนาการฝึกซ้อมเพื่อเตรียมความพร้อมและพัฒนาความสามารถให้แก่นักกีฬาก่อนการแข่งขัน และเป็นแนวทางให้บุคคลที่สนใจได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเสริมสร้างความแข็งแกร่งของเส้นเอ็นได้

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของท่านเป็นโดยสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ โดยไม่ส่งผลกระทบใดๆต่อผู้เข้าร่วมงานวิจัย

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว **เพื่อให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่**

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็น**ความลับ** หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

13. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับค่าเดินทางหรือค่าชดเชยการเสียเวลาในการเข้ารับการทดสอบก่อนและหลังการฝึก จำนวน 2 ครั้งๆละ 800 บาท โดยมีการมอบภายหลังการทดสอบในแต่ละครั้ง

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202 E-mail: eccu@chula.ac.th"

เอกสารรับรองโครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
วันหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

AF05-07

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

(กลุ่มฝึกแบบเอกเซนตริก)

ทำที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

ชื่อผู้วิจัย นายเอกพันธ์ ภู่เงิน

ที่อยู่ที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย **โทรศัพท์** 081-561-1091

ข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอด และ**ได้รับคำอธิบาย**จากผู้วิจัย **จนเข้าใจ**เป็นอย่างดีแล้ว

ข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**เข้าร่วมใน โครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอม เข้ารับการคัดกรองเพื่อเข้าร่วมการวิจัยโดยการทำแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ประมาณ 15 นาที และยินยอมเข้ารับการทดสอบทั้งหมด 2 ครั้ง คือ ก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ ซึ่งมีการทดสอบดังนี้ 1) การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด 2) การทดสอบแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ 3) การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซโทเนติก 4) การทดสอบความหนาของกล้ามเนื้อ 5) การทดสอบระยะความยาวที่ยืดออกของเส้นเอ็น 6) การทดสอบความแข็งแกร่งของเส้นเอ็น โดยใช้ระยะเวลาทดสอบทั้งหมด 60 นาที ในระหว่างการทดลองข้าพเจ้าจะได้รับโปรแกรมการฝึกแบบเอกเซนตริก เป็นเวลา 60 นาทีต่อวัน 3 วันต่อสัปดาห์ (จันทร์ พุธ ศุกร์) เป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ ระหว่างช่วงเวลา 16.00 – 17.00 น. ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้าพเจ้ามี**สิทธิถอนตัว**ออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะ**เก็บรักษาเป็นความลับ** โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202

E-mail: eccu@chula.ac.th

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62

วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562

รับหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับคำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และคำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ.....
(.....นาย...เอกพันธ์.....กู่เงิน.....)
ผู้วิจัยหลัก

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
วันหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

AF05-07

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

(กลุ่มฝึกแบบพลัยโอเมตริก)

ทำที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบพลัยโอเมตริกและแบบเอกเซนตริกต่อความแข็งแกร่งของเอ็นร้อยหวายของนักวิ่งระยะไกลชาย

ชื่อผู้วิจัย นายเอกพันธ์ ภู่เงิน

ที่อยู่ที่ติดต่อ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย **โทรศัพท์** 081-561-1091

ข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ โดยได้อ่านรายละเอียดในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยตลอด และ**ได้รับคำอธิบาย**จากผู้วิจัย **จนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว**

ข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**เข้าร่วมใน โครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอม เข้ารับการคัดกรองเพื่อเข้าร่วมการวิจัยโดยการทำแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ประมาณ 15 นาที และยินยอมเข้ารับการทดสอบทั้งหมด 2 ครั้ง คือ ก่อนการทดลอง และหลังการดลอง 6 สัปดาห์ ซึ่งมีการทดสอบดังนี้ 1) การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด 2) การทดสอบแรงหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อขณะเกร็งอยู่กับที่ 3) การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อน่อง ขณะกล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซไคเนติก 4) การทดสอบความหนาของกล้ามเนื้อ 5) การทดสอบระยะความยาวที่ยืดออกของเส้นเอ็น 6) การทดสอบความแข็งแกร่งของเส้นเอ็น โดยใช้ระยะเวลาทดสอบทั้งหมด 60 นาที ในระหว่างการทดลองข้าพเจ้าจะได้รับโปรแกรมการฝึกแบบพลัยโอเมตริก เป็นเวลา 60 นาทีต่อวัน 3 วันต่อสัปดาห์ (จันทร์ พุธ ศุกร์) เป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์ ระหว่างช่วงเวลา 16.00 – 17.00 น. ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้าพเจ้ามี**สิทธิถอน**ตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆต่อข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะ**เก็บรักษาเป็นความลับ** โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-2218-3202

E-mail: eccu@chula.ac.th

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62

วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562

วันหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

AF05-07

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ.....
(.....นาย...เอกพันธ์.....กู่เงิน.....)
ผู้วิจัยหลัก

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน

เลขที่โครงการวิจัย 008.1/62
วันที่รับรอง - 7 ก.พ. 2562
วันหมดอายุ - 6 ก.พ. 2563

V.2.4/2558

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เอกพันธ์ ภู่เงิน
วัน เดือน ปี เกิด	9 มีนาคม 2532
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขากายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2554
ที่อยู่ปัจจุบัน	11 ซอยแก้วเงินทอง 44 แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University