ผลของการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

น.ส.ศิรประภา พานทอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2566

Effects of circuit combined with high-intensity uphill interval training on neuromuscular fatigue and trail running performance in amateur masters trail runners

Miss Siraprapa Pantong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Sports and Exercise Science
Faculty of Sports Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	
โดย	น.ส.ศิรประภา พานทอง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ
	อาจารย์ ดร.นที ทองศิริ

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.นที ทองศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณพร ทองตะโก)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นภัสกร ชื่นศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คุณัญญา มาสดใส)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศิรประภา พานทอง : ผลของการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์. (Effects of circuit combined with high-intensity uphill interval training on neuromuscular fatigue and trail running performance in amateur masters trail runners) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.ดรุณวรรณ สุขสม, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ,อ. ดร.นที ทองศิริ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ที่มีผลต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวิ่งเทรลสมัครเล่น เพศชาย และหญิง อายุ 35 – 55 ปี แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) การฝึกแบบวงจร (CT) จำนวน 13 คน 2) การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) จำนวน 13 คน และ 3) การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) จำนวน 14 คน โดยทุกกลุ่มได้รับการฝึก 6 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ แบ่งเป็นการฝึกรูปแบบปกติ 3 วัน ได้แก่ การวิ่งอีซี่ การวิ่งเทมโป้ และการวิ่งยาว ระยะเวลา 60 – 90 นาที ที่ความหนัก 50 – 90 % ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง และการฝึกเสริมตามรูปแบบการฝึกของแต่ละกลุ่ม ระยะเวลา 60 – 90 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ ก่อนและหลังการฝึก ทำการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป สมรรถภาพกล้ามเนื้อ การทรงตัว สมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ความสามารถในการวิ่งเทรล และสารชีวเคมีในเลือด

ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการฝึกมีการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVC) ของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า เอ็ม-เวฟ มวลกล้ามเนื้อ การทรงตัว และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เฉพาะกลุ่ม HT และ CH มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนขณะวิ่งขึ้นเขาในห้องปฏิบัติการที่ดีขึ้นและใช้เวลาในการวิ่งเทรลบนภูเขาที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 เฉพาะกลุ่ม CT และ CH ที่มีความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อขาที่เพิ่มมากขึ้น ภายหลังจากกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยการจำลองวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการและบนภูเขา พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ เอ็ม-เวฟ และการกระโดดแบบย่อเข่าลดลงทั้งก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยค่าที่บ่งชี้การเกิดความล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ โดยรวมและส่วนปลายดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงในทั้ง 3 กลุ่ม แต่ไม่แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

สรุปได้ว่า การฝึกทั้ง CT, HT และ CH มีประโยชน์ในการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายของนักวิ่งเทรลที่แตกต่างกัน การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพทั้งในการช่วยลดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และเพิ่มความสามารถในการวิ่งเทรลในนักกีฬาวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2566	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

6371005139 : MAJOR SPORTS AND EXERCISE SCIENCE

KEYWORD: Circuit combined with uphill-high intensity interval training, Neuromuscular fatigue, Trail running performance, Aerobic fitness, Anaerobic fitness, Balance, Running economy, Amateur masters trail runners

Siraprapa Pantong : Effects of circuit combined with high-intensity uphill interval training on neuromuscular fatigue and trail running performance in amateur masters trail runners. Advisor: Prof. DAROONWAN SUKSOM, Ph.D. Co-advisor: Prof. Hirofumi Tanaka, Ph.D., Natee Tongsiri, Ph.D.

The purpose of this study was to investigate and compare the effects of circuit training (CT), high-intensity uphill interval training (HT), and combined circuit and high-intensity uphill interval training (CH) on neuromuscular fatigue and trail running performance in amateur masters trail runners.

Forty amateur masters trail runners (aged 35 to 55 years) were randomly assigned into three groups: 1) CT (n=13), 2) HT (n=13), and 3) CH (n=14). All groups performed training 6 days/week for 12 weeks, including usual training 3 days/week as easy-, tempo-, and long-run for 60–90 min at 50–90% heart rate reserve and supplement training involving CT, HT, and CH 3 days/week for 60–90 min. Before and after training, general physiological data, muscular strength, balance, aerobic and anaerobic power, running economy, neuromuscular fatigue, trail running performance, and blood biochemistry were measured.

After 12 weeks, neuromuscular fatigue at knee extensors with maximum voluntary contraction (MVC), M-wave, muscle mass, balance, and VO_{2max} increased in all groups (all $p<0.05$). In HT and CH, the running economy during uphill running increased and time trail performance improved (all $p<0.05$). In CT and CH, there were significant increases in muscle strength and power (all $p<0.05$). Neuromuscular fatigue induced through simulated uphill and downhill running in the laboratory produced significant reductions in maximal voluntary contraction, M-wave, and counter movement jump, indicating the occurrence of neuromuscular fatigue, total fatigue, and peripheral fatigue in all 3 group. These changes in fatigue markers were attenuated after 12 wees of training but there were no significant group differences.

In conclusion, CT, HT, and CH varying degrees of benefits in enhancing the physical fitness and performance of trail runners. CH may be an effective training program for both improving neuromuscular fatigue and trail performance in amateur masters trail runners.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Sports and Exercise Science	Student's Signature .....
Academic Year:	2023	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความกรุณาและเมตตาอย่างสูงจาก ศาสตราจารย์ ดร.ดรุณ วรรณ สุขสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้มีอุดมการณ์แห่งความเป็นครู ท่านได้กรุณาเสียสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิด และแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเข้าใจ ท่านคอยให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้ชีวิตระหว่างการศึกษา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมทั้ง 2 ท่าน คือ Prof. Dr. Hirofumi Tanaka และอาจารย์ ดร.นที ทองศิริ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนการเขียนวิทยานิพนธ์และบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณพร ทองตะโก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรสา โค้งประเสริฐ อาจารย์ ดร.นภัสกร ชื่นศิริและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คุณัญญา มาสดใส กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ข้อเสนอแนะและให้ความรู้เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือและให้ข้อเสนอแนะอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณมิตรภาพชาวเทรล พี่ ๆ นักกีฬาวิ่งเทรลสมัครเล่นรุ่นมาสเตอร์ที่เข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ ที่ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าและให้ความร่วมมือในการทดสอบและฝึกฝนซึ่งใช้ระยะเวลาที่ยาวนานและใช้แรงกายอย่างเหน็ดเหนื่อย เดินทางไปวิ่งที่เขาฉลาก แต่ทุกท่านก็ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีจนการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกคนและเพื่อนคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจกันมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่เตือนใจ พลอยเพ็ชร์ คุณป้านิภา พลอยเพ็ชร์ นายศักดิ์รินทร์ พานทอง และญาติพี่น้องทุกคนสำหรับการสนับสนุน กำลังใจ และความช่วยเหลือที่มีให้มาโดยตลอดจนการศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

การศึกษาวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนนิสิตระดับปริญญาเอกศักยภาพสูง โครงการสร้างเสริมพลังจุฬาฯ ก้าวสู่ศตวรรษที่ 2 (The Second Century Fund, C2F) ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนสนับสนุนโครงการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ศิรประภา พานทอง

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 9

คำถามในการวิจัย 9

สมมุติฐานของการวิจัย 10

ขอบเขตของการวิจัย 10

คำจำกัดความของการวิจัย 13

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 16

1. การวิ่งเทรล 17

2. สรีรวิทยาการทำงานการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ 19

3. สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ 41

4. สารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) 56

5. การฝึกออกกำลังกายในกีฬาประเภทอดทน (Endurance athletes training) 59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 71
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 76
ประชากร 76
กลุ่มตัวอย่าง 76
วิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง 77
การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง 78
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 79
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 82
การวิเคราะห์ข้อมูล 107
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 105
ตอนที่ 1 107
ตอนที่ 2 109
ตอนที่ 3 126
ตอนที่ 4 128
ตอนที่ 5 136
ตอนที่ 6 142
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ 144
สรุปผลการวิจัย 146
อภิปรายผลการวิจัย 150
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 170
ข้อจำกัดของงานวิจัย 170
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย 170
ข้อเสนอแนะของการทำวิจัยครั้งต่อไป 171
สรุปผลการวิจัย 172

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม 174
ภาคผนวก 188
ภาคผนวก ก 189
ภาคผนวก ข 215
ภาคผนวก ค 216
ภาคผนวก ง 220
ภาคผนวก จ 255
ภาคผนวก ฉ 259
ภาคผนวก ช 260
ภาคผนวก ซ 261
ภาคผนวก ฌ 271
ภาคผนวก ญ 272
ภาคผนวก ฎ 273
ภาคผนวก ฏ 274
ภาคผนวก ฐ 275
ภาคผนวก ฑ 276
ภาคผนวก ฒ 277
ภาคผนวก ณ 278
ภาคผนวก ด 279
ภาคผนวก ต 280
ภาคผนวก ถ 281
ภาคผนวก ท 285
ภาคผนวก ธ 290
ภาคผนวก น 293

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก บ 296
ภาคผนวก ป 300
ภาคผนวก ผ 306
ภาคผนวก ฝ 309
ภาคผนวก พ 314
ประวัติผู้เขียน 320

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การทำงานของระบบพาราซิมพาเธติกและระบบพาราซิมพาเทติก..... 28

ตารางที่ 2 การประเมินอัตราการรับรู้ (Borg ratings of perceived exertion; RPE)..... 49

ตารางที่ 3 โซนความหนักในการออกกำลังกาย..... 59

ตารางที่ 4 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล 94

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสรีวิทยาทั่วไป ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์..... 107

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรองค์ประกอบของร่างกาย ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์..... 109

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความแข็งแรงกล้ามเนื้อ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์..... 111

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความอดทนของกล้ามเนื้อ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 113

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านพลังของกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 115

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรการทรงตัว ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 117

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังาการฝึก 12 สัปดาห์ 119

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังาการฝึก 12 สัปดาห์ (ต่อ) 120

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังาการฝึก 12 สัปดาห์ 122

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังาการฝึก 12 สัปดาห์ 124

ตารางที่ 15 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 126

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 128

ตารางที่ 17 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์..... 132

ตารางที่ 18 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์..... 136

ตารางที่ 19 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 140

ตารางที่ 20 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ 142

ตารางที่ 21 การสรุปผลการวิจัย..... 173

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 เซลล์ประสาทขั้วเดียว (Unipolar neuron) 20

รูปที่ 2 เซลล์ประสาทชนิดสองขั้ว (Bipolar neuron) 21

รูปที่ 3 เซลล์ประสาทหลายขั้ว (Multipolar neuron) 21

รูปที่ 4 โครงสร้างของเซลล์ประสาทรับความรู้สึก 22

รูปที่ 5 แสดงการไซแนปส์ระหว่างเซลล์ 23

รูปที่ 6 ส่วนประกอบของสมอง 24

รูปที่ 7 ไขสันหลัง (Spinal cord) 25

รูปที่ 8 กล้ามเนื้อลาย 29

รูปที่ 9 กล้ามเนื้อหัวใจ 29

รูปที่ 10 กล้ามเนื้อเรียบ 30

รูปที่ 11 กลไกการหดตัวของระบบประสาทกล้ามเนื้อ 34

รูปที่ 12 การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อส่วนกลาง และส่วนปลาย 38

รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของการสะสมของปริมาณแลคเตทในเลือด และเปอร์เซ็นต์ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Binder et al., 2008) 45

รูปที่ 14 แสดงระดับกั้นการะบายอากาศที่ 1 (1^{st} VT) และระดับกั้นการะบายอากาศที่ 2 (2^{nd} VT) ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมดุลการหายใจ (Respiratory equivalents) ของความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake; VO_2) และการขับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide release; VCO_2) ที่มา: (Bentley et al., 2007) 46

รูปที่ 15 องค์ประกอบของเลือด (Compete blood count; CBC) 56

รูปที่ 16 องค์ประกอบของตัวแปรการฝึกความหนักสลับช่วง (Variables of interval training) 60

รูปที่ 17 ท่ากระโดดสูง (Pogo ump) 70

รูปที่ 18 กรอบแนวคิดการวิจัย 75

รูปที่ 19 การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง..... 79

รูปที่ 20 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล..... 97

รูปที่ 21 รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training: Uphill-HIIT1) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6..... 100

รูปที่ 22 รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT2) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12..... 101

รูปที่ 23 รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT1) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6..... 103

รูปที่ 24 รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT2) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12..... 104

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิ่งเทรล (Trail Running) หมายถึง การวิ่งบนพื้นที่ธรรมชาติซึ่งเป็นพื้นผิวไม่ราบเรียบ เช่น หิน ดิน ทราย ตามภูมิประเทศของสถานที่แตกต่างกันออกไป บางสนามอาจจะเป็นเนิน ป่า ภูเขา ทุ่งหญ้า หรือลำธารเล็กๆ ก็ได้ การแข่งขันเทรลมักจะจัดให้มีพื้นถนนที่ไม่เกิน 20 – 25% ของระยะทางการแข่งขันทั้งหมด (Ehrstrom et al., 2017) ปัจจุบัน การวิ่งเทรลได้รับความนิยมจากผู้เข้าร่วมอย่างมาก จากหลากหลายสนามการแข่งขันทั่วโลก โดยในปี ค.ศ. 2009 มีจำนวนประชากรที่เข้าร่วมการแข่งขันวิ่งเทรล ประมาณ 5 ล้านคน ต่อมาในปี ค.ศ. 2017 มีจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้นถึง 9 ล้านคน (Anderson., 2019; González-Lázaro et al., 2020) สะท้อนให้เห็นถึงความนิยมที่กำลังเพิ่มขึ้นจากทั่วโลก รวมถึงในประเทศไทยก็มีจำนวนผู้เข้าร่วมการแข่งขันวิ่งเทรล และการจัดรายการแข่งขันเพิ่มมากขึ้น เช่น การแข่งขันรายการตะนาวศรีเทรล (Tanaosri Trail; TNT) ในปี ค.ศ. 2019 พบผู้เข้าร่วมแข่งขันในระยะ 32 กิโลเมตร จำนวน 1,155 คน และดอยอินทนนท์โดยยูทีเอ็มบี (Thailand by UTMB) ในปี ค.ศ. 2019 พบผู้เข้าร่วมทั้งคนไทยและคนต่างชาติ จำนวน 615 คน ในระยะทาง 23 กิโลเมตร ต่อมาในปี ค.ศ. 2020 การแข่งขันเกือบทุกรายการได้เลื่อนการจัดการแข่งขันเนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 เป็นในปี ค.ศ. 2021 ได้เริ่มจัดแข่งขัน พบรายการดอยอินทนนท์โดยยูทีเอ็มบี (Thailand by UTMB) มีผู้เข้าร่วมแข่งขันในระยะ 23 กิโลเมตร จำนวน 633 คน ในปี ค.ศ. 2022 รายการดอยอินทนนท์โดยยูทีเอ็มบีได้รับการคัดเลือกให้เป็นสนามแข่งขันหลักของทวีปเอเชียและแปซิฟิค ในการคัดเลือกเพื่อไปแข่งขันในสนามระดับโลก คือ ยูทีเอ็มบี มองท์บลังค์ (UTMB Mont-blanc) ประเทศฝรั่งเศส เป็นต้น จากสมาพันธ์กีฬาวิ่งเทรลนานาชาติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมาพันธ์กีฬาวิ่งเทรลนานาชาติ (International Trail Running Association; ITRA) ได้กำหนดกฎ กติกาและประเภทการแข่งขัน จากการที่ระยะทางและความยากของแต่ละสนามมีความแตกต่างกัน โดยทางสมาพันธ์กีฬาวิ่งเทรลนานาชาติได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการวิ่งเทรลของนักกีฬาวิ่งเทรล โดยกำหนดเป็นค่าดัชนีความสามารถของนักวิ่งเทรล (ITRA's performance index) ที่สามารถจัดอันดับความเร็วของนักวิ่งเทรลจากทั่วโลกได้ แม้จะไม่ใช่สนามเดียวกัน (https://itra.run, 2022) โดยพิจารณาจากระยะทาง ระดับความชันสะสม (Elevation gain) ทั้งการวิ่งขึ้นและลงเขา และความสูงเฉลี่ย (Average altitude) โดยแบ่งตามหมวดหมู่ระยะทางในการจัดการแข่งขัน ได้แก่ ความชันในแนวดิ่ง (Vertical) 10 กิโลเมตร ฮาร์ฟมาราธอน มาราธอน 50 กิโลเมตร 50 ไมล์ (80 กิโลเมตร) 100 กิโลเมตร 100 ไมล์ (166 กิโลเมตร) และความอดทน (มากกว่า

100 ไมล์) และนำมาจัดเรียงอันดับผลการแข่งขันที่ดีที่สุด 5 รายการ ในช่วง 36 เดือนที่ผ่านมา (https://www.worldathletics.org/disciplines/trail-running, 2022)

การแข่งขันวิ่งเทรลเป็นการวิ่งที่มีระยะไกลและใช้ระยะเวลานาน จึงจัดอยู่ในกีฬาประเภทอดทน (Endurance sport) โดยลักษณะของการวิ่งเป็นการวิ่งตามเส้นทางที่ไม่ราบเรียบร่วมกับการมีความชันที่เปลี่ยนแปลงไป ประกอบด้วย การวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) ซึ่งมักใช้กล้ามเนื้อแบบคอนเซนทริก (Concentric action) และการวิ่งลงเขา (Downhill running) ซึ่งมักใช้กล้ามเนื้อแบบเอ็กเซนทริก (Eccentric action) การศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างการวิ่งขึ้นเขา และวิ่งลงเขาของรยางค์ส่วนล่าง พบว่า การวิ่งขึ้นเขาจะมีการสร้างแรงที่รยางค์ขาเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่ใช้กลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก (Hip flexor) หรือกล้ามเนื้อก้น (Gluteus maximus) ถึง 83% ส่วนการวิ่งลงเขาจะมีการสร้างแรงที่รยางค์ขาบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) หรือเกิดการใช้แรงมากที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านนอก (Vastus lateralis) ถึง 100% โดยมีการดูดซับพลังงานในช่วงเท้าเหยียบพื้น (Braking phase) จึงพบการสร้างแรงในกล้ามเนื้อกลุ่มกดปลายเท้า (Plantar flexor) และกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดเข่า (Knee extensor) ด้วย อย่างไรก็ดี การใช้แรงของกล้ามเนื้อทั้งหมดดังกล่าว เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกายที่ทำงานสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่องมีผลต่อการถ่ายแรงไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Kinetic chain) จากลักษณะการวิ่งเทรลในจังหวะที่วิ่งขึ้นเขา ร่างกายต้องสร้างแรงของกล้ามเนื้อในขณะต้านแรงโน้มถ่วงกับความชันในแนวดิ่ง และในการวิ่งลงเขาจะเป็นการวิ่งตามทิศทางของแรงโน้มถ่วง ทำให้ร่างกายเกิดแรงกระแทกที่มากขึ้นและกล้ามเนื้อขาเกิดการหดตัวแบบเอ็กเซนทริก สลับกันเป็นระยะเวลาที่ยาวนานมากกว่า 30 นาทีขึ้นไป จะมีการสะสมของสารที่ก่อให้เกิดการล้าจากระบบประสาทกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลงจากการออกกำลังกายที่มีระยะเวลายาวนาน (Boyas and Guevel, 2011) ดังนั้น การวิ่งเทรลซึ่งใช้ระยะเวลาที่ยาวนานจะส่งผลทำให้เกิดความเมื่อยล้าที่กล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่าง และเกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ทั้งส่วนกลางและส่วนปลายได้ (Vernillo et al., 2017)

การล้า (Fatigue) หมายถึง กระบวนการสูญเสียความสามารถในการออกแรงสูงสุดในระหว่างการออกแรงซ้ำๆ หรือออกแรงอย่างต่อเนื่องในขณะการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximal voluntary contraction; MVC) ส่งผลทำให้การทำภาระกิจ (Task) เกิดความล้มเหลวจากการออกแรงที่ไม่เพียงพอ อาจเกิดจากการล้าของประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ไม่สามารถกระตุ้นหรือส่งกระแสประสาทไปยังกล้ามเนื้อ หรือระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) เกิดขึ้นที่ระหว่างเซลล์ประสาทสั่งการและเส้นใยกล้ามเนื้อ (Neuromuscular junction) ซึ่งมีตัวชี้วัดเป็นการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximal voluntary contraction; MVC) ในการระดมหน่วยยนต์ (Muscle recruitment) ของกลุ่มกล้ามเนื้อ โดยกลไกทางสรีรวิทยาการล้าขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย

ได้แก่ ความสามารถในการออกแรงลดลง ความสามารถในการออกแรงแบบซ้ำๆ หรือระยะเวลานานลดลง ความรู้สึกของความพยายามหรือการรับรู้มากเกินไปเพิ่มขึ้นในการออกแรง และการลดลงของพลัง ความเร็วของกล้ามเนื้อในการหดตัวลดลง ซึ่งอัตราที่เปลี่ยนแปลงไปของกล้ามเนื้อมีตัวชี้วัดคือคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyographic : EMG) เพื่อตรวจสอบการล้าของระบบประสาทส่วนปลาย หรือตัวชี้วัดปริมาณเลือดในกล้ามเนื้อด้วยเครื่องตรวจสอบออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Near-infrared spectroscopy : NIRs) ดังนั้นการล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue) อาจเกิดจากการสะสมเลคเตท (Lactate) ภายในเซลล์ มีตัวชีวัดเป็นสารชีวเคมีในเลือด (Blood chemical) โปรตอน (Proton) และการลดลงของไกลโคเจน (Glycogen) เอทีพี (ATP) ฟอสโฟครีเอทีน (Phosphocreatine : PCr) ความล้มเหลวของการปล่อยแคลเซียมจากเอนโดพลาสมิค เรติคูลัม (Endoplasmic reticulum) และการตอบสนองของการเผาผลาญ (Reactive oxidative species : ROS) จึงไม่เพียงแค่ระบบประสาทกล้ามเนื้อที่เกิดการล้า (Neuromuscular fatigue) ทั้งยังเกิดที่ระบบการไหลเวียนโลหิตและหายใจ (Cardiorespiratory) ต่างมีผลทำให้เกิดการล้าได้เช่นกัน (Finsterer & Mahjoub, 2014) และกลไกที่มีสาเหตุจากการล้าขึ้นอยู่กับการออกกำลังกายและความหนัก สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ดังที่กล่าวมาทั้งหมดมีผลต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อที่เป็นสาเหตุหลักในการออกกำลังกายที่มีระยะเวลานาน (Davis & Walsh, 2010)

การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) หมายถึง จุดหนึ่งที่ร่างกายมีความสามารถในการออกกำลังกายจากการออกแรงเชิงมุม (Maximum voluntary torque) ของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อลดลง กล่าวได้ว่าเกิดความล้มเหลวจากการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ซึ่งเป็นการลดลงของแรงต่อกลุ่มกล้ามเนื้ออันเนื่องจากความถี่คลื่นประสาทสั่งงานที่ส่งไปยังกล้ามเนื้อลดลง อาจเกิดจากการลดลงของสัญญาณกระตุ้น (Excitatory) หรือเพิ่มอิทธิพลสัญญาณยับยั้ง (Inhibitory) ต่อการสั่งงานกล้ามเนื้อ ส่งผลทำให้รอยต่อระหว่างปมประสาทกับกล้ามเนื้อ (Neuromuscular junction; NMJ) บางแห่งไม่สามารถส่งสัญญาณเข้ากล้ามเนื้อในขณะล้าได้ อาจเป็นเพราะมีการลดลงของสารสื่อประสาท เช่น อิซิทิลโคลิน (Acetylcholine; Ach) หรือมีการเพิ่มขึ้นของสารซีโรโทนิน (Serotonin; 5-hydroxytryptamine; 5-HT) และอินเตอร์ริวคิน-ซิกซ์ (Interleukin-6) ในขณะออกกำลังกายอย่างหนัก การล้าจากระบบประสาทส่วนกลางพบได้จากหลากหลายปัจจัย ได้แก่ การเคลื่อนไหวร่างกายมากกว่า 30 นาทีขึ้นไป จึงทำให้การระดมหน่วยยนต์ลดลง การสั่งการถูกยับยั้งกระแสประสาทไปยังระบบสั่งการ (Moter cortex) เกิดจากการปิดกั้นของไมอีลีเนชั่น (Demyelination) ทำให้การส่งกระแสประสาทไปยังอวัยวะเป้าหมายช้าลง และสูญเสียการทำงานของตัวรับความรู้สึกการคลายตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle spindle) และ 2) การล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของการส่งกระแสประสาท

(Neuromuscular transmission) ไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์กล้ามเนื้อ โดยมีอัตราการนำกระแสประสาทเข้าสู่ภายในเซลล์กล้ามเนื้อลดลงจึงทำให้การเกิดแอคชั่นโพเทนเชียลของกล้ามเนื้อ (Muscle action potential) ลดลง เป็นผลต่อเนื่องให้กลไกการกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหดตัว (Excitation contraction coupling) ลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้ อาจเกิดจากการสร้างสารพลังงานเอทีพี (Adenosine triphosphates; ATP) ที่ไม่เพียงพอเมื่อออกกำลังกายอย่างหนักและมีระยะเวลานาน กล้ามเนื้อที่ขาดเอทีพีจะส่งผลให้การเคลื่อนที่จับกันของแอคตินและไมโอซินหดตัวของกล้ามเนื้อ (Actin-myosin interaction) ทำได้ไม่ดี มีผลให้การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximal voluntary contraction; MVC) นั้นจะมีค่าลดลง หากมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการล้าข้างต้นมากและคงอยู่นานเกินจนเกินไป อาจทำให้เกิดความเสียหายของส่วนต่างๆ ภายในเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้เกิดอาการบวม (Swelling) และการปวดกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกาย (Delayed onset of muscle soreness; DOMs) ซึ่งการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อจากความเสียหายจะช้าลง

งานวิจัยที่ผ่านมาจำนวนหนึ่งได้รายงานถึงการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อภายหลังการวิ่งเทรล ในปี ค.ศ. 2011 มิลเลท และคณะ พบว่า หลังจากการวิ่งเทรลมีระยะทาง 166 กิโลเมตร ที่ความชัน 9,500 เมตร ส่งผลให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้ออย่างมาก จากความล้มเหลวในการกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหดตัว และจะเกิดการฟื้นตัวกลับมามีปริมาณแรงสูงสุด (Maximal force capacities) ในช่วงระยะเวลา 9 – 16 วัน (Millet et al., 2011) ต่อมาในปี ค.ศ. 2014 อีสโทป และคณะ ได้ทำการศึกษาผลของการวิ่งเทรลระยะทาง 15.6 กิโลเมตร ที่ความชันสะสมช่วงปีนเขา 275 เมตร หรือ 13% และความชันสะสมช่วงลงเขา 275 เมตร หรือ -9% พบว่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximal voluntary contraction; MVC) และแอมพลิจูด (Amplitude) ของการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลงประมาณ 17% (Easthope et al., 2014)

ในขณะที่วิ่งขึ้นเขา (Uphill running) ร่างกายจะต้องการใช้พลังงาน (Energy cost) มากกว่าการวิ่งระดับพื้นราบ (Level running) และวิ่งลงเขา (Downhill running) ทำให้ร่างกายมีความต้องการพลังงานแบบแอโรบิกเพื่อให้ความเร็วในการวิ่ง และขนส่งปริมาณการใช้ออกซิเจน (O_2 delivery) ที่เพียงพอ โดยระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจมีการทำงานมากขึ้น จากการเพิ่มปริมาณที่เลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output; CO) เพิ่มการกำซาบในปอด (Pulmonary diffusion) และเพิ่มการเผาผลาญพลังงานแบบออกซิเดทีฟ (Oxidative metabolism) ในระหว่างที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวอย่างต่อเนื่อง เมื่อวิ่งขึ้นเขาที่มีระยะทางไกลเป็นระยะเวลานานร่วมกับความชัน จะมีค่าการใช้พลังงาน (Energy cost) มากยิ่งขึ้น ซึ่งค่าการใช้พลังงาน (Energy cost) หมายถึง ความต้องการใช้พลังงาน ระหว่างปริมาณในการใช้ออกซิเจน (VO_2) และความเร็วในการวิ่ง สามารถประเมินได้จากปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) (Barnes and Kilding, 2015) จากการศึกษาในปี ค.ศ. 2015 เวอร์นิลโล และคณะ ได้ทำการเปรียบเทียบผลของค่าการใช้พลังงานในการวิ่งขึ้นเขา วิ่งพื้นราบ และ

วิ่งลงเขา และความล้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการแข่งขันวิ่งเทรลมีระยะทาง 65 กิโลเมตร และความชันสะสมช่วงปีนเขาและลงเขารวม 4,000 เมตร ในนักวิ่งเพศชาย อายุ 39.7 ปี พบว่า ค่าการใช้พลังงานในการวิ่งขึ้นเขามีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับการวิ่งพื้นราบ และการวิ่งลงเขา แต่ในการวิ่งลงเขามีค่าการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากจบการแข่งขัน หรือเป็นผลมาจากการเผาผลาญพลังงานที่ไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดการล้า (Vernillo et al., 2015) และในปี ค. ศ. 2018 บัลดูคซี และคณะ ได้ทำการศึกษาการวิ่งเทรลมีระยะทาง 65 กิโลเมตร และความชัน 1,093 เมตร ในนักวิ่งเทรลเพศชาย อายุ 44.9 ± 5.7 ปี พบว่า ค่าการใช้พลังงานพลังจากจบการแข่งขันมีค่าเพิ่มขึ้น 8 – 9% และค่าเอมไซต์ของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ครีเอตินไคเนส (Creatine kinase; CPK) มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากวิ่งเทรล (Balducci et al., 2018) จากการศึกษา ในปี ค.ศ. 2004 เล็ตเทียร์ และคณะ ได้ทำการศึกษาการวิ่งขึ้นเขาด้วยลู่กล เป็นระยะเวลา 1 นาที ความชัน 18% ที่ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด 120% พบว่า การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อลดลงประมาณ 7% จากการล้าของกล้ามเนื้อส่วนปลาย (Lattier et al., 2004) และในปี ค.ศ. 2015 เฟอร์เลย์ และวูโควิช ทำการทดลองการวิ่งขึ้นเขาแบบหนักสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-High intensity interval training) ที่ความชัน 10% ใช้ความเร็ว 100% เป็นระยะเวลา 30 วินาที พบว่า การวิ่งขึ้นเขาแบบหนักสลับช่วงที่ความหนักสูงสามารถพัฒนาความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ (Ferley et al., 2013)

การวิ่งลงเขา (Downhill running) มีลักษณะการออกแรงของกล้ามเนื้อแบบเอ็กเซนทริก (Eccentric action) กล้ามเนื้อใช้พลังงานในการดูดซับแรงและต้านแรงกับน้ำหนักตัวในระหว่างช่วงการวิ่งลงเขา (Dewolf, Mesquita and Willems, 2020) ซึ่งทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ของรยางค์ขา และเกิดความล้าได้ ความล้มเหลวในการหดตัวของกล้ามเนื้อในระหว่างการออกแรงกล้ามเนื้อแบบเอ็กเซนทริก (Eccentric action) เกิดจากการทำงานของซาร์โคพลาสมิก เรติคูรัมที่ทำการปล่อยแคลเซียมลดลง จากการศึกษา ในปี ค.ศ. 2004 มาร์ติน และคณะ (Martin et al., 2004) ทำการทดลองเป็นเวลา 30 นาทีในการวิ่งลงเขาบนลู่วิ่ง ด้วยความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 20% พบว่า การล้าจากระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary activation; %VA) ลดลงประมาณ 2.5% และการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary contraction; MVC) ลดลงประมาณ 15% บ่งชี้ถึงการเกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อทั้งส่วนกลางและส่วนปลาย นอกจากนี้ยังทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งเทรลในการวิ่งลงเขามีระยะทาง 6.5 กิโลเมตร ความชัน 1,264 เมตร ใช้เวลา 34 ± 6 นาที พบ การทำงานของกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (Knee extensors; KE) ลดลง 19% และกล้ามเนื้อกดปลายเท้า (Plantar flexors; PF) ลดลง 25% (Martin et al., 2004) งานวิจัยในปี ค.ศ. 2018 เอสร์สตอม และคณะ ได้ทำการศึกษาผลการวิ่งลงเขาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรล อายุ 38.6 ± 5.7 ปี ทำการทดสอบการวิ่งลงเขาที่ความชัน 8.5 เมตร ระยะเวลา 40 นาที ด้วย

ความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 55% ทำการประเมินก่อน หลัง และหลังการวิ่งลงเขา 1 วัน พบว่าในระหว่างการวิ่งลงเขามีค่าการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (RMS) ที่บริเวณต้นขาหน้าด้านขวา (Vastus lateralis) สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิต เช่น อัตราการเต้นหัวใจ การระบายอากาศ และประสิทธิภาพการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy) และหลังจากการวิ่งลงเขามีค่าการเปลี่ยนแปลงของทั้งระบบประสาทส่วนกลาง (%VA) และส่วนปลาย (%RMS) สำหรับกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดเข่า (KE) และกลุ่มกล้ามเนื้อกดปลายเท้า (PF) (Ehrstom et al., 2018) ดังนั้นประสิทธิภาพการวิ่งขึ้นเขาจะมีผลต่อสมรรถภาพโลหิตและหายใจจากปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) อย่างมาก แต่ก็ยังมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นส่วนประกอบด้วย ส่วนการวิ่งลงเขาจะมีผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาเป็นปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) และความตึงตัวของกล้ามเนื้อและเอ็นที่ระยางค์ขา ตามลำดับ (Lemire rt al. 2020) และเมื่อการวิ่งเทรลที่มีความหลากหลายในการวิ่ง จะส่งผลให้การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary contraction; MVC) ลดลงได้ อีกทั้ง อาการบาดเจ็บของข้อเท้า เนื่องจากพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบของทางภูเขา ทำให้เกิดการสูญเสียการทรงตัว (Rozzi, et al., 1999) นั่นคือเกิดความล้าที่เกิดจากระบบประสาทและกล้ามเนื้อนั่นเอง

นักกีฬารุ่นมาสเตอร์ คือ ผู้ที่มีอายุ 35 ปีขึ้นไป ที่มีการเข้าร่วมแข่งขันเพื่อคงสภาพร่างกายหรือเพื่อพัฒนาระดับความสามารถทางกาย อย่างไรก็ตาม ความสามารถทางกายของคนเรา ได้แก่ สมรรถภาพแอโรบิก (Aerobic fitness) หรือความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) และด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) เช่น มวลกล้ามเนื้อ (Muscle mass) เป็นต้น จะเริ่มถดถอยลงไป เมื่ออายุ 25 ปี และลดลง 8% - 10% ของทุกๆ 10 ปี มีการประเมินความสามารถในนักวิ่งระยะไกลรุ่นมาสเตอร์ พบว่า มีความเร็วในการวิ่งลดลง โดยระยะเวลาในการวิ่งเพิ่มมากขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น (Trappe et al., 2007) แต่เมื่อนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ มีการเข้าร่วมโปรแกรมการฝึกความอดทนที่มีทั้งความหนัก และระยะเวลานาน สามารถพัฒนาสมรรรถภาพด้านระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจได้เพิ่มขึ้นประมาณ 20 – 25% เทียบเท่ากับกลุ่มที่มีอายุน้อยกว่า อีกทั้ง ยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อได้ด้วยการฝึกที่เหมือนกัน (Brisswalter and Nosaka, 2013)

จากสถิติ จำนวนผู้เข้าร่วมการแข่งขันในนักวิ่งเทรลรุ่นมาสเตอร์ในช่วงอายุ 35 – 60 ปีขึ้นไปมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น (Brisswalter et al., 2013) เนื่องจากกลุ่มนักกีฬาในรุ่นมาสเตอร์ มีทุนทรัพย์ในการเข้าร่วมการแข่งขัน และเป็นช่วงวัยที่ต้องการประสบการณ์ใหม่ๆ ในชีวิตหลังจากการทำงานที่เหน็ดเหนื่อยและมีความเครียดมากกว่าวัยอื่นๆ แต่ปัจจัยด้านร่างกายมีการเสื่อมหรือถดถอยลง จึงทำให้พบการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อ และการเกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ง่ายจากการสูญเสียความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และประสิทธิภาพการทำงานของระบบเมตาบอลิกและ

สมรรถภาพด้านความอดทนที่ลดลงในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ (Fragala, 2021) จากการศึกษา ในปี ค.ศ. 2010 การแข่งขันเทรลระยะทาง 55 กิโลเมตร ที่ความชัน 6,000 เมตร โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของช่วงอายุระหว่างนักวิ่งเทรล รุ่นวัยกลางคนและรุ่นมาสเตอร์ พบว่า หลังจากการแข่งขันนักกีฬาสองช่วงวัยมีการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVC) และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (RMS) ลดลง และมีตัวชี้วัดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อในเลือด ได้แก่ ครีเอตินไคเนส (Creatine kinase) และแลคเตท ดีไฮโดรเจนเนส (Lactate dehydrogenase) เพิ่มขึ้น (Easthope et al., 2010) โดยนักวิ่งเทรลรุ่นมาสเตอร์มีความล้าและการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อมากกว่ารุ่นวัยกลางคน ทั้งนี้การฝึกออกกำลังกายในนักวิ่งเทรลรุ่นมาสเตอร์ยังคงรักษาสมรรถภาพร่างกายได้ จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า นักวิ่งเทรลรุ่นมาสเตอร์มีปัญหาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ จากการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อที่ลดลงเห็นได้จากค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVC) ที่ลดลงอย่างมากหลังจากแข่งขัน การฝึกเพื่อพัฒนาระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลซึ่งมีความจำเป็นและสำคัญอย่างมาก และที่ผ่านยังไม่พบการศึกษาที่ทำการฝึกเพื่อพัฒนาระบบประสาทกล้ามเนื้อโดยตรงในนักวิ่งเทรล ในการวิจัยครั้งนี้จึงสนใจที่จะทำการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรล รุ่นมาสเตอร์

ปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบในการวิ่งเทรลที่จะทำให้ความสามารถในการวิ่งเทรลมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ ระบบการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic systems) สมรรถภาพแอโรบิก (Aerobic fitness) และแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness) และสมรรถภาพของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fitness) (Bassett and Howley, 2000) การพัฒนาสมรรถภาพแอโรบิกและแอนแอโรบิกและสมรรถภาพของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการวิ่งเทรล จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การฝึกแบบความหนักสลับช่วง (High intensity interval training; HIIT) ซึ่งหมายถึง การฝึกออกกำลังกายในช่วงหนักสลับกับในช่วงเบาหรือหยุดพัก ส่งผลให้เกิดการพัฒนาสมรรถภาพแอโรบิกและแอนแอโรบิกที่สามารถประเมินได้จากความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ระดับกั้นของการรระบายอากาศ (VT_2) ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (RE) (Barnes and Kliding, 2015) จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า HIIT จะสามารถกระตุ้นการทำงานของกระบวนการเผาผลาญพลังงาน การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความเค้นของโครงร่างกล้ามเนื้อ ส่งผลถึงการเพิ่มสมรรถภาพแอโรบิกและแอนแอโรบิก กระบวนการเผาผลาญพลังงาน และการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อที่ดีขึ้นได้ (Mendonca et al., 2017) ขึ้นอยู่กับรูปแบบการฝึก ระดับความหนัก ช่วงเวลาการฝึกและการพัก (Buchheit and Laursen, 2013) อย่างไรก็ตาม การฝึกแบบความหนักสลับช่วง โดยทั่วไปอาจมีความไม่เฉพาะเจาะจงสำหรับการฝึกนักวิ่งเทรล ในปี ค.ศ. 2013 บาร์นและคณะ ได้ศึกษาผลของการฝึกการวิ่งขึ้นเขาแบบหนักสลับช่วง (Uphill interval training) ในนักวิ่งระยะไกล อายุ 21 ± 4 ปี โดยทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 6 สัปดาห์ กำหนดด้วยความชัน 10% และอัตราการฝึกต่อระยะพัก 1:2 พบว่า การ

วิ่งขึ้นเขาแบบหนักสลับช่วงสามารถพัฒนาสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ได้ดีกว่า และเหมาะสมกว่าการฝึกแบบหนักสลับช่วงทั่วไป (Barnes et al., 2013) จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการวิ่งขึ้นเขาแบบสลับช่วงมีผลดีต่อสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจมากกว่าการวิ่งพื้นราบแบบสลับช่วง แต่ผลที่มีต่อระบบประสาทกล้ามเนื้อยังไม่ชัดเจนว่าดีกว่าหรือไม่ อย่างไร

การฝึกแบบวงจร เป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่มีความหลากหลายของกิจกรรมที่นำมาใช้ในการฝึกกล้ามเนื้อ โดยทำการฝึกกล้ามเนื้อในท่าที่กำหนดไว้อย่างน้อยที่สุด 6 – 9 ท่า ปานกลาง 9 – 12 ท่า และมากที่สุด 12 - 15 ท่า และอาจมีการทำซ้ำหลายรอบขึ้นอยู่กับการพิจารณาเป้าหมายเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) และพลังของกล้ามเนื้อ (Muscle power) ของร่างกายอย่างเป็นระบบ ซึ่งการฝึกแบบวงจรช่วยให้เกิดการถ่ายโยงการประสานงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดความสัมพันธ์ของทักษะกลไกการเคลื่อนไหว (Giovanelli et al., 2017) ในปี ค.ศ. 2011 แอลคาราซ และคณะ (Alcaraz et al., 2011) ได้ทำการเปรียบเทียบ กลุ่มที่ 1 ได้รับการฝึกแรงต้านแบบวงจรความหนักสูง (High-resistance circuit training) และกลุ่มที่ 2 ได้รับการฝึกความแข็งแรงแบบดั้งเดิม (Traditional Strength Training) ในผู้ชายสุขภาพดี อายุ 22 ± 3.3 ปี กำหนดท่าแรงต้านเป็น 6 ท่า จำนวน 6 ครั้ง พักระหว่างท่า 35 วินาที ทั้งหมด 3 – 6 เซ็ต จำนวน 2 รอบ พักระหว่างรอบ 3 นาที พบว่า การฝึกแรงต้านแบบวงจรความหนักสูงดีกว่าการฝึกความแข็งแรงแบบดังเดิมจากการพัฒนาการเปลี่ยนแปลงมวลกล้ามเนื้อขณะที่ระยะเวลาในการฝึกสั้นกว่า และยังพบว่าตัวแปรความสามารถสูงสุดในการออกแรง 1 ครั้ง (1RM) พลังสูงสุด และมวลกล้ามเนื้อมีการปรับตัวทำให้ระบบประสาทกล้ามเนื้อพัฒนาได้ดีกว่าอีกด้วย ในปี ค.ศ. 2017 จีโอวาเนลลี และคณะ ได้ทำการศึกษารูปแบบการฝึกความแข็งแรง (Strength training) แรงระเบิด (Explosive training) และพลัยโอเมตริก (Plyometric training) ในนักวิ่งระยะไกล อายุ 38.2 ± 7.1 ปี โดยทำการฝึกความแข็งแรงของแกนกลางลำตัว (Core training) ความแข็งแรง (Strength training) แรงระเบิด (Explosive training) และพลัยโอเมตริก (Plyometric training) ร่วมกับการทรงตัว พบว่าค่าการใช้พลังงานลดลง และพลังสูงสุดในการออกแรงดีขึ้น (Giovanelli et al., 2017) จากงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการฝึกแบบวงจรและการฝึกความแข็งแรง แรงระเบิด และพลัยโอเมตริก (Strength Explosive and Plyometric training; SEP) พบว่า ค่าการใช้พลังงานลดลง และพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มีผลต่อการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อและช่วยลดการเกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ ซึ่งน่าจะมีประโยชน์ต่อนักวิ่งเทรลสมัครเล่น โดยเฉพาะรุ่นมาสเตอร์ได้เป็นอย่างดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษาวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำการฝึกการวิ่งขึ้นเขาแบบหนักสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) ร่วมกับการฝึกแบบวงจร (Circuit training) เพื่อพัฒนาการทำงานระบบประสาทกล้ามเนื้อและสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและการหายใจในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น ทั้งนี้ยังไม่มีผู้ใดทำการศึกษาในเรื่องดังกล่าวมาก่อน โดยจะทำการเปรียบเทียบกลุ่มการฝึกแบบวงจร กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง ผู้วิจัยคาดว่าการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง จะสามารถพัฒนาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและการหายใจ และความสามารถในการวิ่งเทรลของนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

วัตถุประสงค์รอง

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ การทรงตัว สมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก สารชีวเคมีในเลือด และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คำถามในการวิจัย

1) การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีผลอย่างไรต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

2) การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีผลอย่างไรต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ สมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก การทรงตัว สารชีวเคมีในเลือด และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

สมมุติฐานของการวิจัย

1) การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ สามารถพัฒนาการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์แตกต่างกัน

2) การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ สามารถพัฒนาการทำงานของกล้ามเนื้อ สมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก การทรงตัว สารชีวเคมีในเลือด และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ แตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาเรื่องนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. ประชากร คือ นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ เพศชายและหญิง
2. กลุ่มตัวอย่าง คือ นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ อายุระหว่าง 35 – 55 ปี ที่มีการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอ เพศชาย และเพศหญิงที่ยังไม่หมดประจำเดือน จำนวน 40 คน
3. ตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้

3.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ได้แก่

1) การฝึกแบบวงจร (Circuit training)

2) การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training)

3) การฝึกแบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training)

4. ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่

4.1 ตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป (General physiological data) ได้แก่ ประสบการณ์การแข่งขัน (Experimental race) อายุ (Age) ส่วนสูง (Height) น้ำหนัก (Weight) ดัชนีมวลกาย (Body mass index) อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (Resting heart rate) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) ความดันเลือดขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure)

4.2 ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางกาย (Physical fitness) มีดังนี้

1) ตัวแปรด้านองค์ประกอบร่างกาย (Body composition) ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ไขมันทั้งร่างกาย (Percent of body fat) มวลไขมันทั้งร่างกาย (Fat mass) มวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(Lean muscle mass) ไขมันรยางค์ขา (Percent of Leg fat mass) มวลไขมันรยางค์ขา (Leg fat mass) มวลกล้ามเนื้อขา (Leg lean mass) และความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนัง (Subcutaneous adipose tissue)

2) ตัวแปรด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) ได้แก่ แรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวของการหดตัวแบบไอโซไคเนติค (Isokinetic contraction) ในท่าเหยียดเข่า (Knee extensor) และงอเข่า (Knee flexion)

3) ตัวแปรด้านความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) ได้แก่ งาน งานต่อน้ำหนักตัว และระดับความล้าของการหดตัวแบบไอโซไคเนติค (Isokinetic contraction) ในท่าเหยียดเข่า (Knee extensor) และงอเข่า (Knee flexion)

4) ตัวแปรด้านพลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power) ได้แก่ การกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump) และการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness)

5) ตัวแปรด้านการทดสอบการทรงตัว (Balance) ได้แก่ ค่าดัชนีการเคลื่อนจุดศูนย์กลางมวลออกจากฐานรองรับ (Sway index) และการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (Dynamic balance)

6) ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) ได้แก่ ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO_{2max}) ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2) ระดับกั้นของการระบายอากาศที่ 1 (Ventilatory threshold) ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อ (Tissue oxygenation; %TSI) และการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจน (Hemodynamic variables at VO_{2max}) ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate) ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output; CO) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (Stroke volume; SV) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference; a-v O2 diff)

7) ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness) ได้แก่ ความเร็วสูงสุด (Maximal speed) ความเร็วเฉลี่ย (Average speed) พลังสูงสุด (Peak power output) พลังเฉลี่ย (Average power) และค่าดัชนีความล้า (Fatigue index)

4.3 ตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ได้แก่ ค่าการใช้พลังงาน (Energy cost) ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate) ของขณะวิ่งพื้นระดับและวิ่งขึ้นเขา

4.4 ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ได้แก่

1) การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary contraction; MVC) ได้แก่ แรงสูงสุด (Maximum force) ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวแบบไอโซเมติค (Isometric contraction) ในท่าเหยียดเข่า (Knee extensor) และท่ากดปลายเท้า (Plantar flexor)

2) การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ได้แก่ การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary activation: %VA)

3) การล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ได้แก่ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (M-wave) การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 (Doublet100 : Db_{100}) และการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 (Doublet10 : Db_{10})

4) ตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล (Trail running performance) ได้แก่ ความสามารถใช้เวลาในการวิ่งเทรล ระยะทาง 18 กิโลเมตร (18 km time trial) ประกอบด้วยความชันช่วงปีนเขา 1,021 เมตร (6%) และความชันสะสมช่วงลงเขา 1,080 เมตร (6%) ในขณะวิ่งเทรลที่จุดเริ่มต้น 0, 9 และ 18 กิโลเมตร และภายหลังการวิ่งเทรลเสร็จสิ้นแล้ว 5 นาที หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูล ได้แก่ เวลา ความดันโลหิต ความเข้มข้นของปริมาณแลตเตทในเลือด (Blood lactate concentration) การกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump) และสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ได้แก่ อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK) มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) และซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) ภายจากการทดสอบ 24 ชั่วโมง

4.5 ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ได้แก่

1) องค์ประกอบของเลือด (Compete blood count; CBC) เช่น จำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต

2) ปริมาณไขมันในเลือด (Lipid profiles) ได้แก่ คอลเลสเตอรอล ไฮเดนซิลี้ไลโปโปรตีน (HDL) โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides)

3) ระดับน้ำตาลในเลือด (Fasting blood glucose)

4) อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6)

5) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK)

6) มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA)

7) ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD)

5. ด้านสถานที่

ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามและลงพื้นที่จริง หลังจากนั้นได้ทำหนังสือขอใช้อุปกรณ์ และสถานที่เพื่อให้งานเป็นไปตามความเรียบร้อย โดยมีสถานที่ ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1 สถานที่ในการวิจัยและเก็บข้อมูล คือ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 และเขาฉลาก วัดพรหมมาวาส อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

5.2 สถานที่ในการฝึกซ้อม คือ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 และสนามศุภัชลาศัย สนามกีฬาแห่งชาติ

6. ด้านระยะเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประมาณ 8 เดือน

คำจำกัดความของการวิจัย

การวิ่งเทรล (Trail running) หมายถึง กีฬาประเภทอดทนใช้ระยะเวลาแข่งขันอย่างยาวนานมีลักษณะเดินหรือวิ่งบนทางที่มีพื้นไม่ราบเรียบ ส่วนใหญ่ลักษณะการวิ่งประกอบด้วยการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) และวิ่งลงเขา (Downhill running) ด้วยระยะทาง ความชัน ความยากของสนามที่แตกต่างกันไป และจัดอันดับผู้ที่ทำเวลาได้ดีที่สุดในแต่ละการแข่งขัน (Scheer et al., 2020)

นักกีฬาเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ (Amateur masters trail runners) หมายถึง นักกีฬาวิ่งเทรลที่มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป (Brisswalter and Nosaka, 2013) ที่เป็นนักวิ่งเทรลมือใหม่ และมีความสนใจที่จะพัฒนาระยะทางให้มากกว่า 44 กิโลเมตรขึ้นไป (S+) ในการศึกษาวิจัยนี้กำหนดเป็นนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ เพศชาย และเพศหญิงที่ยังไม่หมดประจำเดือนอายุ 35 – 55 ปี เป็นบุคคลที่ยังออกกำลังกายและแข่งขันวิ่งเทรลในระยะ 20 – 44 กิโลเมตร อย่างสม่ำเสมอ

การฝึกแบบวงจร (Circuit training) หมายถึง การฝึกแบบหมุนเวียน หรือแบบสถานี โดยต้องทำการฝึกกล้ามเนื้อท่าที่กำหนดไว้ในแต่ละสถานีให้ครบหรือเสร็จสิ้นตามที่กำหนด 12 – 15 สถานี ในการศึกษาวิจัยนี้ การฝึกแบบวงจร ประกอบด้วย การฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และพลัยโอเมตริก ตามลำดับท่าที่กำหนด จำนวน 15 ท่า จำนวนการฝึก 2 เซ็ต พักระหว่างท่า 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 1 นาที รวมเป็นระยะเวลา 30 – 40 นาที (Giovanelli et al., 2017)

การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) หมายถึง การวิ่งบนลู่ที่มีความชัน 10% ตลอดการฝึก ที่มีความหนักระดับสูงสลับกับความหนักระดับต่ำ ในการศึกษาวิจัยนี้ การฝึกแบบการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดช่วงหนักบนลู่วิ่งเป็นเวลา 2 นาที ความชัน 10% ความเร็ว 95 - 100% ของความเร็วขณะที่ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด สลับกับช่วงเบาเป็นเวลา 2 นาที ความเร็ว 50 % ของความเร็วขณะที่ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด จำนวน 4 – 5 รอบ จำนวนการฝึก 2 เซต พักระหว่างการเซต 5 นาที รวมเป็นระยะเวลา 30 - 40 นาที (Ferley, 2014)

การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training) หมายถึง การฝึกกล้ามเนื้อแบบวงจร ประกอบด้วย การฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ความแข็งแรง แรงระเบิด และพลัยโอเมตริก ตามลำดับท่าที่กำหนด ร่วมกับการวิ่งบนลู่ที่มีความชัน 10% ตลอดการฝึก ที่มีความหนักระดับสูงสลับกับความหนักระดับต่ำ ในการศึกษาวิจัยนี้ ทำการฝึกกล้ามเนื้อแบบวงจร จำนวน 14 ท่า ตามลำดับท่าที่กำหนด จำนวนการฝึก 1 เซ็ต พักระหว่างท่า 30 วินาที ระยะเวลา 15 นาที ทำการพักระหว่างการฝึก 5 นาที ต่อมาทำการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาด้วยความเร็วสูงสุดช่วงหนักบนลู่วิ่งเป็นเวลา 2 นาที ความชัน 10% ตลอดช่องการฝึก ความเร็ว 95 - 100% ของความเร็วขณะที่ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด สลับกับช่วงเบาบนลู่วิ่งเป็นเวลา 2 นาที ความเร็ว 50% ของความเร็วขณะที่ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด จำนวน 4 - 5 รอบ ระยะเวลา 16 – 20 นาที ใช้เวลาทั้งหมด 31 - 45 นาที (ปรับปรุงจาก Giovanelli et al., 2017 และ Ferley, 2014)

การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) หมายถึง การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary contraction; MVC) หรือพลังของกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อลดลง หรือไม่สามารถคงหน้าที่ในการออกแรงได้ตามเดิม ตัวแปรที่ใช้วัดในการศึกษาวิจัยนี้ คือ การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การล้าของระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ได้แก่ การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary activation: %VA) การล้าของระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ได้แก่ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (M-wave) การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 (Doublet100 : Db_{100}) และการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 (Doublet10 : Db_{10})

สมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้พลังงานจากระบบออกซิเจนขณะมีกิจกรรมทางกายอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเป็นความสามารถของร่างกายที่อดทนต่อการออกกำลังกายที่ความหนักต่ำกว่าระดับสูงสุดได้เป็นระยะเวลายาวนาน ในการวิจัยครั้งนี้วัดสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจด้วยวิธีการทดสอบออกกำลังกายแบบขั้น (Graded incremental exercise test) โดยการประเมินค่าความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen uptake; VO_2max) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold; VT) และระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

สมรรถภาพทางแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness) หมายถึง ความสามารถสูงสุดในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือในช่วงระยะเวลาสั้นๆ โดยใช้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อเป็นหลัก ได้แก่ ค่าพลังเฉลี่ย (Average power) และค่าดัชนีความเมื่อยล้า (Fatigue index)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy) หมายถึง ความสามารถในการวิ่งที่ใช้พลังงานต่ำที่สุดต่อการวิ่ง ตัวแปรของประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ในการศึกษาวิจัยนี้ คือ ค่าการใช้พลังงาน (Energy cost)

ความสามารถในการวิ่งเทรล (Trail running performance) หมายถึง การใช้เวลาในการวิ่งเทรล ผู้ที่ใช้เวลาในการวิ่งเทรลน้อยที่สุดแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการวิ่งเทรลดีที่สุด ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการทดสอบการใช้เวลาในการวิ่งเทรล มีระยะทาง 18 กิโลเมตร (18 km time trial) ประกอบด้วยความชันช่วงปีนเขา 1,021 เมตร หรือ 6% และความชันสะสมช่วงลงเขา 1,080 เมตร หรือ 6%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบของผลของการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงและแบบวงจรสลับช่วงความหนักสูง ที่มีต่อสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลต่างๆ จากหนังสือ วารสาร เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศโดยนำเสนอตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. การวิ่งเทรล
    1.1 นิยามและประวัติในการวิ่งเทรล
    1.2 ลักษณะของการวิ่งเทรล
    1.3 สมรรถภาพทางกายของการวิ่งเทรล
2. การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ
    2.1 สรีรวิทยาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ
    2.2 การวิ่งเทรลกับการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ
    2.3 สมรรถภาพการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ
    2.4 การเสริมสร้างการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ
3. สมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก
    3.1 สรีรวิทยาการทำงานของระบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก
    3.2 การวิ่งเทรลกับการทำงานของระบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก
    3.3 การเสริมสร้างสมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก
4. สารชีวเคมีในเลือด
5. การฝึกออกกำลังกายในกีฬาประเภทอดทน
    5.1 การฝึกแบบการวิ่งแบบสลับช่วงความหนักสูง
    5.2 การฝึกแบบวงจร
    5.3 การฝึกความแข็งแรง พลังระเบิด และพลังของกล้ามเนื้อ
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
    6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศ
    6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การวิ่งเทรล

1.1. นิยามและประวัติของการวิ่งเทรล (Scheer et al., 2020)

การวิ่งเทรล หมายถึง การวิ่งบนพื้นที่ธรรมชาติซึ่งเป็นพื้นผิวไม่ราบเรียบ เช่น ป่า ภูเขา ทุ่งหญ้า ตามภูมิประเทศของสถานที่จัดงานที่แตกต่างกันออกไป บางสนามอาจจะเป็นเนิน หิน ดิน ทราย และลำธารเล็ก ๆ ก็ได้ โดยจะมีพื้นถนนที่ไม่เกิน 20 – 25% ของระยะทางการแข่งขันทั้งหมด (Ehrstrom et al., 2017) ในปัจจุบันการวิ่งเทรล (Trail Running) ได้รับความนิยมจากผู้เข้าร่วมอย่างมากในหลายปีที่ผ่านมาจากหลากหลายสนามการแข่งขันทั่วโลก โดยในปี พ.ศ. 2552 มีจำนวนประชากรที่เข้าร่วมการแข่งขันวิ่งเทรล ประมาณ 5 ล้านคน (González-Lázaro et al., 2020) ต่อมาในปี พ.ศ. 2560 มีจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้นถึง 9 ล้านคน (Anderson., 2019) สะท้อนให้เห็นถึงความนิยมที่กำลังเพิ่มขึ้นจากทั่วโลก รวมถึงในประเทศไทยก็มีจำนวนผู้เข้าร่วมและได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

สมาพันธ์กีฬาวิ่งเทรลนานาชาติ (International Trail Running Association: ITRA) ได้กำหนดกฎ กติกาและประเภทการแข่งขัน โดยพิจารณาจากระยะทาง ความชัน และความพยายาม รวมถึงความยากของสนาม จัดเรียงตามความพยายามต่อกิโลเมตร (Km-effort) จากสูตรการคำนวณ ระยะทาง (กิโลเมตร) + (ความชันสะสม (เมตร)/100) โดยขนาดสนามแบ่งออกเป็น 7 ขนาด ได้แก่ ระยะ 0 – 24 Km-effort หรือระยะ XXS ระยะ 25 – 44 Km-effort หรือ XS ระยะ 45 – 74 Km-effort หรือระยะ S ระยะ 75 – 114 Km-effort หรือระยะ M ระยะ 115 – 154 Km-effort หรือ ระยะ L ระยะ 155 – 209 Km-effort หรือระยะ XL และ ระยะ 210 + Km-effort หรือระยะ XXL จากนั้นจะได้รับคะแนนการวิ่งเทรล (ITRA points) ตั้งแต่ 0 – 6 คะแนนหลังจากจบการวิ่งเทรล XXS = 0 คะแนน XS = 1 คะแนน S = 2 คะแนน M = 3 คะแนน L = 4 คะแนน XL = 5 คะแนน และ XXL = 6 คะแนน (https://www.worldathletics.org/disciplines/trail-running) ทั้งนี้ การแบ่งขนาดของสนามที่มีความแตกต่างกัน ทางสมาพันธ์กีฬาวิ่งเทรลนานาชาติจึงทำการเปรียบเทียบความสามารถในการวิ่งเทรล โดยกำหนดเป็นค่าดัชนีความสามารถของนักวิ่งเทรล (ITRA's performance index) ที่สามารถใช้เปรียบเทียบความเร็ว ทุกลำดับของนักวิ่งเทรลจากทั่วโลกได้ แม้จะไม่ใช้ในสนามเดียวกัน (https://itra.run/)

1.2. ลักษณะของการวิ่งเทรล (Pastor et al., 2022)

การแข่งขันวิ่งเทรลเป็นกีฬาที่มีระยะไกลและใช้ระยะเวลานาน จึงจัดอยู่ในประเภทกีฬาอดทน (Endurance sport) มีลักษณะการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) กล้ามเนื้อเกิดออกแรงในขณะหดตัว (Concentric action) และการวิ่งลงเขา (Downhill running) กล้ามเนื้อเกิดออกแรงในขณะยืดยาว (Eccentric action) ตามเส้นทางที่ไม่ราบเรียบร่วมกับความชันที่เปลี่ยนแปลงไป (Vernillo et al., 2017) ของรยางค์ส่วนล่าง พบว่า การวิ่งขึ้นเขาจะมีการสร้างแรงที่เพิ่มขึ้นจากข้อสะโพก (Hip

joint) โดยใช้กลุ่มกล้ามเนื้อพับสะโพก (Hip flexor) ส่วนข้อเข่า (Knee joint) จะช่วยให้กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าทำงานเพิ่มมากขึ้น และข้อเท้า (Ankle joint) ช่วยกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดข้อเท้า (Plantar flexor) ส่วนในการวิ่งลงเขา พบว่า ข้อสะโพกและข้อเข่าอยู่ในช่วงเบรคความเร็ว (Braking phase) เพื่อให้เกิดแรงที่เหมาะสมในการวิ่งอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่จะเกิดแรงกระแทกอย่างมากที่กระดูกสะบ้า (Patello femoral) และข้อเท้า (Ankle joint) ทำให้การสร้างแรงที่บริเวณข้อเท้าจะสร้างได้น้อยลง ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของทุกส่วนที่มีการส่งแรงไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Kinetic chain) ซึ่งในจังหวะที่วิ่งขึ้นร่างกายต้องใช้พลังงานต้านกับแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น การวิ่งขึ้นเขาต้องการพลังงานอย่างมากเนื่องจากกล้ามเนื้อแต่ละส่วนจะเน้นที่การสร้างพลังของกล้ามเนื้อในขณะต้านแรงโน้มถ่วงกับความชันในแนวดิ่ง ส่วนแรงกระแทกจะเกิดได้น้อยกว่าการวิ่งลงเขา เพราะต้องใช้พลังงานส่งไปยังกล้ามเนื้อมากกว่าในการวิ่งขึ้นเขาจึงเป็นการวิ่งลงเขาตามทิศทางของแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้เกิดแรงกระแทกที่มากขึ้น ส่วนพลังงานในการวิ่งลงเขาที่ระดับความชันมากกว่า 20% จะทำให้ใช้พลังงานน้อยหรือออกแรงน้อยลง ดังนั้น การวิ่งขึ้นเขาจะเกิดการใช้แรงมากที่กล้ามเนื้อสะโพก (Gluteus maximus) ถึง 83% ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการใช้พลังงาน และกล้ามเนื้อรยางค์ส่วนล่างถูกทำลายความสามารถในการออกแรงลง และการวิ่งลงเขาจะเกิดการใช้แรงมากที่กล้ามเนื้อต้นขา (Vastus lateralis) ถึง 100% ทำให้เกิดความรุนแรงของกล้ามเนื้ออย่างมาก เนื่องจากการออกแรงในขณะเข่าเหยียดออกทำให้รับแรงกระแทก จะส่งทำให้เกิดความล้า และประสิทธิภาพของนักวิ่งเทรลแย่ลง เนื่องจากประสิทธิภาพกล้ามเนื้อไม่สามารถที่จะทำงานได้ในระยะเวลานานต่อได้ (Vernillo et al. 2017)

1.3. สมรรถภาพทางกายของนักวิ่งเทรล (Scheer et al., 2019)

โดยทั่วไปแล้ว การสมรรถภาพสำหรับนักกีฬาประเภทอดทน (Endurance sport) นั้น มีลักษณะการวิ่งระยะเวลานานบนพื้นราบเรียบ (Saunders, 2006) แต่การวิ่งในนักวิ่งเทรลมีลักษณะการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) และการวิ่งลงเขา (Downhill running) ตามเส้นทางที่ไม่ราบเรียบร่วมกับความชันที่เปลี่ยนแปลงไป (Vernillo et al., 2017) ที่มีระยะเวลาในการวิ่งยาวนานมากกว่า 10 ชั่วโมง ความต้องการในการฝึกความอดทนพร้อมกับการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพื่อพัฒนาสมรรถภาพระบบประสามกล้ามเนื้อ (Neuromuscular capacity) เป็นการพัฒนาปัจจัยของพลังของกล้ามเนื้อ (Muscle power factor) และการประหยัดพลังงาน (Economy) สมรรถภาพการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic power & capacity) ช่วยพัฒนาจุดกั้นแลคเตท (Lactate threshold) และการใช้พลังงานแบบแอโรบิก (Aerobic power& capacity) ซึ่งจะทำให้เกิดการพัฒนาในด้านความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) จุดกั้นแลคเตท (Lactate

threshold) และการประหยัดพลังงาน (Economy) ซึ่งจะทำให้นักกีฬามีความสามารถในการอดทนมากขึ้น

ทั้งนี้ ในขณะวิ่งขึ้นเขา กล้ามเนื้อเกิดออกแรงขณะหดตัว (Concentric action) จากการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อ Hip Flexors (iliopsoas rectus femoris) และ Hamstring (Biceps Femoris, Semitendinosus และ Semimembranosus) และในขณะวิ่งลง กล้ามเนื้อเกิดออกแรงขณะเหยียดออก (Eccentric action) จากการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gluteus maximus และ Quadriceps (Rectus Femoris, Vastus Lateralis, Vastus Medialis และ Vastus Intermedius) และเนื่องจากผิวทางที่มีการปรับเปลี่ยนไปตามภูมิประเทศทำให้มีความสำคัญอย่างมากกับการรับรู้ความรู้สึกของกล้ามเนื้อและข้อต่อ (Proprioception) ต้องการรักษาการทรงตัวเป็นอย่างดี เพื่อป้องกันอาการการบาดเจ็บและสามารถวิ่งต่อไปได้อย่างปลอดภัย

การ์เนียร์ และคณะ (Garnier et al, 2020) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจในของนักวิ่งเทรลระหว่างการวิ่งขึ้นเขา (+15%) วิ่งลงเขา (- 15%) และวิ่งระดับ (+1%) เป็นระยะเวลานาน 45 นาที พบว่า การวิ่งขึ้นเขามีความต้องการการใช้พลังงาน (Energy cost) มากกว่าการวิ่งลงเขาและวิ่งระดับ ส่วนการวิ่งลงเขาจะมีการใช้ปริมาณออกซิเจนและการใช้พลังงานที่น้อยกว่าการวิ่งขึ้นเขาและวิ่งระดับ แต่จะมีความต้องการพลังงานในการออกแรงมากกว่าและมีปัจจัยเกี่ยวกับระบบประสาทร่วมด้วย

บาลดูคซิ และคณะ (Balducci et al., 2017) ทำการศึกษาประสิทธิภาพที่มีผลต่อนักวิ่งภูเขาระยะไกล ทำการประเมินความสามารถในการวิ่งเทรล ระยะทาง 75 กิโลเมตร ความชันวิ่งขึ้นเขา 3,930 เมตร และความชันวิ่งลงเขา 3,700 เมตร และทำการทดสอบก่อนและหลังการทดลอง ได้แก่ การใช้พลังงานจากการวิ่งเขาที่ความชัน 10 % และการวิ่งระดับที่ความชัน 0% ความแข็งตัวของกล้ามเนื้อขาแบบเหยียดยาว (Leg stiffness) ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อแบบเหยียดยาว (Knee extensor) และการกระโดดแบบย่อเข่า พบว่า การวิ่งขึ้นเขาและการวิ่งพื้นระดับทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานในขณะการวิ่ง และหลังจากการวิ่งภูเขา ทั้งนี้ สมรรถภาพในการวิ่งภูเขาจึงมีความจำเป็นในการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า ความสามารถการใช้พลังงานแบบแอโรบิกอีกด้วย

2. สรีรวิทยาการทำงานการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

2.1 สรีรวิทยาการทำงานระบบประสาทกล้ามเนื้อ (อรระวี คงสมบัติ, 2562) ประกอบด้วย

1. ระบบประสาท คือ ระบบควบคุมการทำงานของร่างกายให้มีความสัมพันธ์กัน และการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของมนุษย์ ทำให้มนุษย์สามารถตอบสนองต่อสิ่งต่างๆ รอบตัวอย่างรวดเร็ว ช่วย

รวบรวมข้อมูลเพื่อให้สามารถตอบสนองได้ ระบบประสาท มีหน้าที่ในการออกคำสั่งการทำงานของกล้ามเนื้อ ควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย และประมวลข้อมูลที่รับมาจากประสาทสัมผัสต่างๆ และสร้างคำสั่งต่างๆ (action) ให้อวัยวะต่างๆ ทำงาน

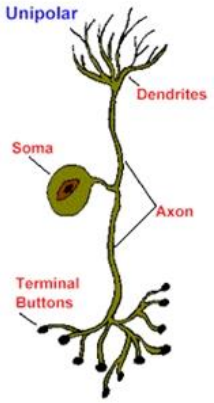
เซลล์ประสาท (nerve cell) หรือ นิวรอน (neuron) ในร่างกายมีจำนวนมาก ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรู้และการตอบสนอง แต่ละเซลล์อาจมีการเชื่อมโยงเกี่ยวพันกับเซลล์ประสาทอื่นเป็นพันๆ เซลล์ สามารถทำงานเกี่ยวกับการรับส่งสัญญาณ ระหว่างสิ่งเร้าภายนอกกับภายในร่างกายได้อย่างมีระบบ โดยประกอบด้วย เดนไดรต์ (dendrite) และแอกซอน (axon) (Guidolin et al., 2016)

เดนไดรต์ (dendrite) เป็นส่วนของตัวเซลล์ ที่ยื่นออกมารับกระแสประสาท จากภายนอกเข้าสู่ตัวเซลล์ แขนงของเดนไดรต์ มีตั้งแต่หนึ่งถึงหลายแขนง และมักมีขนาดสั้น ภายในเดนไดรต์มีนิสส์ลบอดี้ (Nissl body) และ ไมโทรคอนเดรีย (Lefebvre, 2021)

แอกซอน (axon) เป็นส่วนของตัวเซลล์ ที่ยื่นออกมาทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทจากตัวเซลล์ ออกไปยังอวัยวะตอบสนอง หรือเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทอื่น ตัวเซลล์ 1 เซลล์จะมีแอกซอนเพียง 1แขนงและมักมีขนาดยาว จะถูกหุ้มด้วย เยื่อไมอีลิน (myelin sheath) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเซลล์ชวันน์ (Schwann cell) บริเวณรอยต่อของเยื่อไมอีลิน เป็นส่วนที่คอดเว้า เรียกว่า โนด ออฟ แรนเวียร์ (Node of ranvier) การเคลื่อนของกระแสประสาทไปบนแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม จะกระโดดเป็นช่วงๆ (Saltatory conduction) ระหว่างโนดออฟแรนเวียร์ที่อยู่ติดต่อกัน ทำให้นำกระแสประสาทได้เร็วมาก (Debanne et al., 2011)

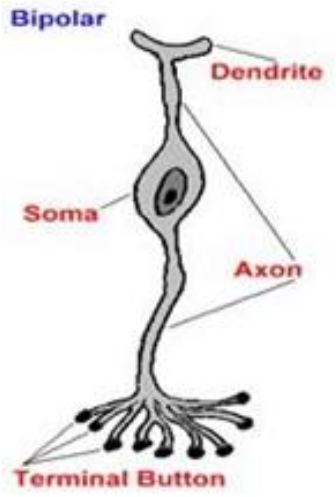
ชนิดของเซลล์ประสาท สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่าง ออกได้ 3 ประเภท คือ

1. เซลล์ประสาทขั้วเดียว (Unipolar neuron) มีใยประสาทออกจากตัวเซลล์เพียงเส้นเดียวแล้วแยกออกเป็น 2 กิ่ง กิ่งหนึ่งเป็นเดนไดรต์ อีกกิ่งหนึ่งเป็นแอกซอน



รูปที่ 1 เซลล์ประสาทขั้วเดียว (Unipolar neuron)
ที่มา: (Mugnaini et al., 2011)

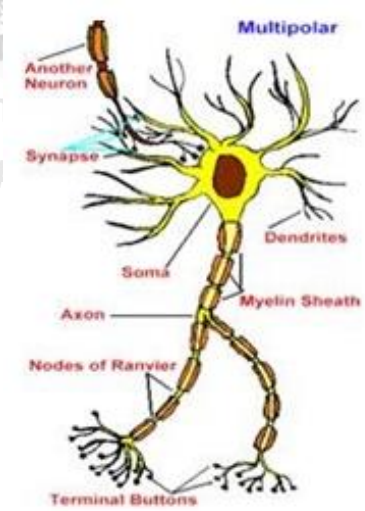
2. เซลล์ประสาทชนิดสองขั้ว (Bipolar neuron) มีใยประสาทออกจากตัวเซลล์ 2เส้นยาวเท่าๆ กัน หรือใกล้เคียงกัน เส้นหนึ่งเป็นเดนไดรต์ อีกเส้นหนึ่งเป็นแอกซอน



รูปที่ 2 เซลล์ประสาทชนิดสองขั้ว (Bipolar neuron)

ที่มา: (Mugnaini et al., 2011)

3. เซลล์ประสาทหลายขั้ว (Multipolar neuron) มีใยออกจากตัวเซลล์หลายเส้น ประกอบด้วยเดนไดรต์แตกแขนงสั้น ๆ มากมาย และแอกซอนยาวเพียงเส้นเดียว



รูปที่ 3 เซลล์ประสาทหลายขั้ว (Multipolar neuron)

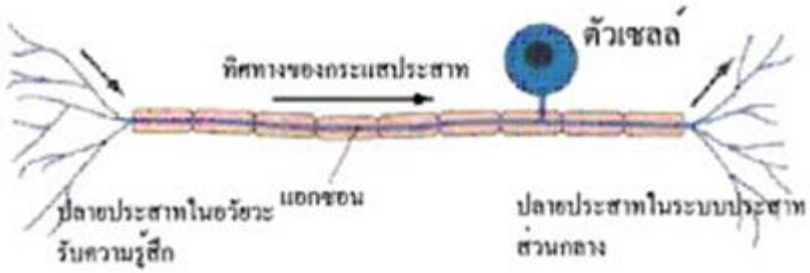
ที่มา: (Mugnaini et al., 2011)

เซลล์ประสาท แบ่งตามหน้าที่ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท (Lovinger, 2008) คือ

1. เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (Sensory neuron) เป็นเซลล์ประสาทขั้วเดียว หรือสองขั้วทำหน้าที่รับกระแสความรู้สึกเข้าสู่เซลล์ในสมองและไขสันหลัง

2. เซลล์ประสาทประสานงาน (Association neuron) เป็นเซลล์ประสาทหลายขั้ว ทำหน้าที่เชื่อมโยงกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและเซลล์ประสาทนำคำสั่งพบอยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง

3. เซลล์ประสาทนำคำสั่ง (Motor neuron) เป็นเซลล์ประสาทหลายขั้วทำหน้าที่นำกระแสประสาทจากเซลล์ในสมองหรือไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติการ



รูปที่ 4 โครงสร้างของเซลล์ประสาทรับความรู้สึก
ที่มา: (Südhof, 2021)

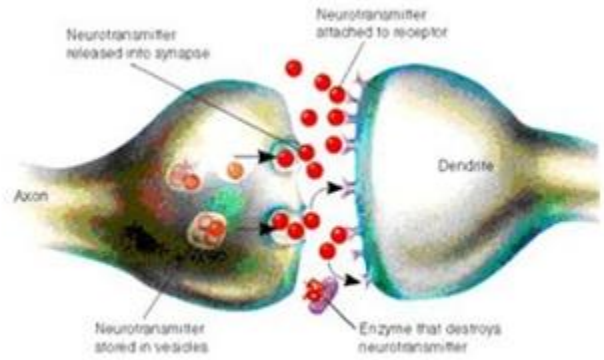
ไซแนปส์ (Synapse) คือ เซลล์ประสาทไม่ได้อยู่เดี่ยวๆ แต่จะสานต่อกันเป็นเครือข่าย ปลายแอกซอนของเซลล์ประสาท อาจแตกออกเป็นกิ่งก้านหลายอัน แล้วไปอยู่ชิดกับตัวเซลล์ประสาทหรือส่วนของ เดนไดรต์ของเซลล์ประสาทอื่นหรือเซลล์กล้ามเนื้อหรือหน่วยปฏิบัติงาน เพื่อถ่ายทอดกระแสประสาท บริเวณที่อยู่ชิดกันนั้นเรียกว่า ไซแนปส์ (Synapse) (Südhof, 2021) มีหน้าที่ ดังนี้

1. ทำให้คำสั่งหรือกระแสประสาทเดินทางถ่ายทอดเป็นทางเดียวเท่านั้นช่วยให้ระบบประสาทแผ่กระแสประสาทไปยังส่วนรับคำสั่งได้อย่างเรียบร้อยไม่ยุ่งเหยิงสับสน

2. ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ (Amplifying action) โดยมีการรวมกัน (summation) หรือกระจายกระแสประสาทออก ทำให้คำสั่งนั้นแผ่กระจายกว้างขวางมากขึ้น

3. ทำหน้าที่เป็นศูนย์ประสานงาน (Integrative action) ของคำสั่งต่างๆมีทั้งการเร่งการทำงาน ให้มากขึ้น หรือรั้งการทำงานให้ช้าลง ทำให้อวัยวะตอบสนองทำงานได้อย่างแน่นอนและเป็นไปด้วยความเรียบร้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 5 แสดงการไซแนปส์ระหว่างเซลล์

ที่มา: (Levine, 2007)

ระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system; CNS) เป็นโครงสร้างที่ใหญ่ที่สุดของระบบประสาทประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง ทำหน้าที่ร่วมกับระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system) ในการควบคุมพฤติกรรม โครงสร้างของระบบประสาทกลางจะอยู่ภายในช่องลำตัวด้านหลัง (Dorsal cavity) สมองอยู่ในช่องลำตัวด้านศีรษะ (Cranial cavity) และไขสันหลังอยู่ในช่องไขสันหลัง (Spinal cavity) โครงสร้างเหล่านี้ถูกปกคลุมด้วยเยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง (Meninges) สมองยังถูกปกคลุมด้วยกะโหลกศรีษะ และไขสันหลังยังมีกระดูกสันหลังช่วยป้องกันการกระทบกระเทือน (Avois et al., 2006)

สมอง (Brain) คือ อวัยวะสำคัญในสัตว์หลายชนิดตามลักษณะทางกายวิภาค หรือที่เรียกว่า Encephalon จัดว่าเป็นส่วนกลางของระบบประสาท สมองมีหน้าที่ควบคุมและสั่งการการเคลื่อนไหว พฤติกรรม และรักษาสมดุลภายในร่างกาย เช่น การเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต สมดุลของเหลวในร่างกาย และอุณหภูมิ เป็นต้น หน้าที่ของสมองยังเกี่ยวข้องกับการรู้ ความจำ การเรียนรู้การเคลื่อนไหว และความสามารถอื่นๆที่เกี่ยวกับการเรียนรู้ (Meeusen et al., 2021)

ส่วนประกอบสมองของมนุษย์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน (Kalat, 2016) ดังนี้

1. สมองส่วนหน้า (Forebrain) มีขนาดใหญ่ที่สุด มีรอยหยักเป็นจำนวนมาก สามารถแบ่งออกได้อีก ดังนี้ ออลเฟกทอรีบัลบ์ (Olfactory bulb) – อยู่ด้านหน้าสุด ทำหน้าที่ดมกลิ่น (ปลา กบ และสัตว์เลื้อยคลานสมองส่วนนี้จะมีขนาดใหญ่) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมออลแฟกทอรีบัลบ์จะไม่เจริญ แต่จะดมกลิ่นได้ดีโดยอาศัยเยื่อบุในโพรงจมูก สมองส่วนหน้าประกอบด้วย

1.1 ซีรีบรัม (Cerebrum) – มีขนาดใหญ่สุด มีรอยหยักเป็นจำนวนมาก ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเรียนรู้ ความสามารถต่างๆ เป็นศูนย์การทำงานของกล้ามเนื้อ การพูด การมองเห็น การดมกลิ่น การชิมรส แบ่งเป็นสองซีก แต่ละซีกเรียกว่า Cerebral hemisphere และแต่ละซีกจะแบ่งได้เป็น 4 พู ดังนี้

– Frontal lobe ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหว การออกเสียง ความคิด ความจำ สติปัญญา บุคลิก ความรู้สึก พื้นอารมณ์

– Temporal lobe ทำหน้าที่ควบคุมการได้ยิน การดมกลิ่น

– Occipital lobe ทำหน้าที่ควบคุมการมองเห็น

– Parietal lobe ทำหน้าที่ควบคุมความรู้สึกด้านการสัมผัส การพูด การรับรส

1.2 ทาลามัส (Thalamus) – อยู่เหนือไฮโปทาลามัส ทำหน้าที่เป็นสถานีถ่ายทอดกระแสประสาทเพื่อส่งไปจุดต่างๆในสมอง รับรู้และตอบสนองความรู้สึกเจ็บปวด ทำให้มีการสั่งการแสดงออกพฤติกรรมด้านความเจ็บปวด

1.3 ไฮโปทาลามัส (Hypothalamus) – ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของระบบประสาทอัตโนมัติ และสร้างฮอร์โมนเพื่อควบคุมการผลิตฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองและยังเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิร่างกาย อารมณ์ ความรู้สึก วงจรการตื่นและการหลับ การหิว และการอิ่ม

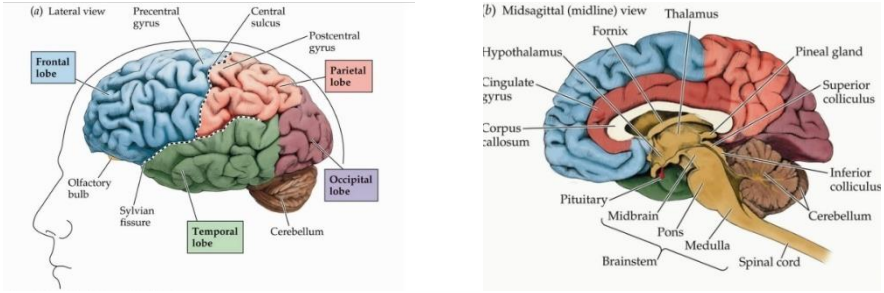
2. สมองส่วนกลาง (Midbrain) เป็นสมองที่ต่อจากสมองส่วนหน้า เป็นสถานีรับส่งประสาท ระหว่างสมองส่วนหน้ากับส่วนท้ายและส่วนหน้ากับนัยน์ตาทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของลูกตาและม่านตาจะเจริญดีในสัตว์พวกปลา กบ ฯลฯ ในมนุษย์สมองส่วน Optic lobe นี้จะเจริญไปเป็น Corpora quadrigeminal ทำหน้าที่เกี่ยวกับการได้ยิน

3. สมองส่วนท้าย (Hindbrain) ประกอบด้วย

3.1 พอนส์ (Pons) – อยู่ด้านหน้าของซีรีเบลลัม ติดกับสมองส่วนกลาง ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานบางอย่างของร่างกาย เช่น การเคี้ยวอาหาร การหลั่งน้ำลาย การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้า การหายใจ การฟัง

3.2 เมดัลลา (Medulla) – เป็นสมองส่วนท้ายสุด เป็นศูนย์กลางการควบคุมการทำงานเหนืออำนาจจิตใจ เช่น ไอ จาม สะอึก หายใจ การเต้นของหัวใจ เป็นต้น

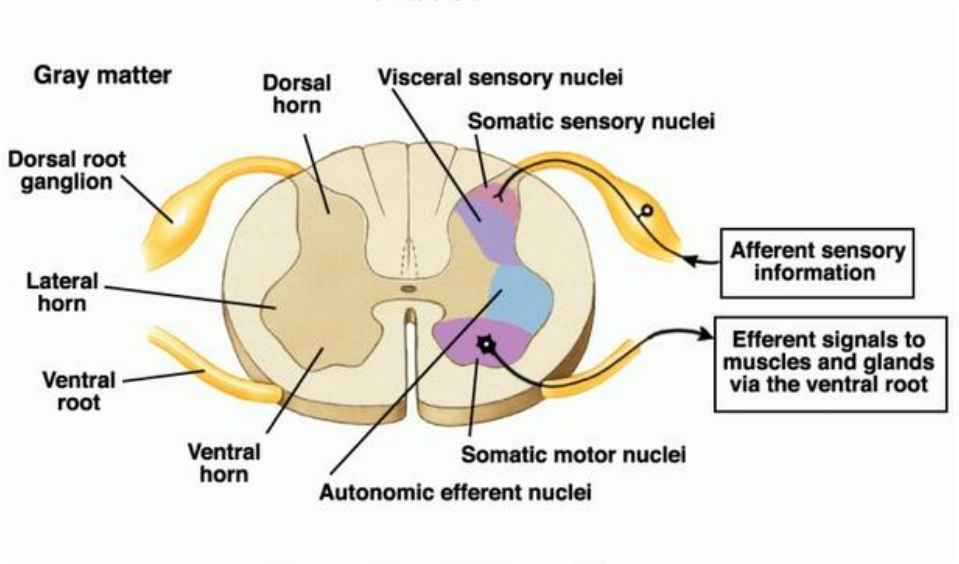
3.3 ซีรีเบลลัม (Cerebellum) – อยู่ใต้เซรีบรัม ควบคุมระบบกล้ามเนื้อให้สัมพันธ์กันและควบคุมการทรงตัวของร่างกาย



รูปที่ 6 ส่วนประกอบของสมอง

ที่มา: (Kalat, 2016)

ไขสันหลัง (Spinal cord) คืออวัยวะที่มีลักษณะเป็นท่อยาวผอม ซึ่งมีเนื้อเยื่อประสาทเป็นส่วนประกอบสำคัญ อันได้แก่ เซลล์ประสาท (Neuron) และ เซลล์เกลีย (Glia) หรือเซลล์ที่ช่วยค้ำจุนเซลล์ประสาท ซึ่งไขสันหลังจะเป็นส่วนที่ยาวต่อลงมาจากสมอง (Brain) สมองและไขสันหลังจะรวมกันเป็นระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) หน้าที่หลักของไขสันหลัง คือ อการถ่ายทอดกระแสประสาท (Neural signals) ระหว่างสมองและส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทั้งนี้เพียงตัวไขสันหลังเอง ยังสามารถควบคุมการเกิดรีเฟลกซ์ (Reflex) เช่น การยกขาทันทีเมื่อเผลอเหยียบตะปู และศูนย์สร้างรูปแบบการเคลื่อนไหวกลาง (Central pattern generator) (Pikija et al., 2022)



รูปที่ 7 ไขสันหลัง (Spinal cord)
ที่มา: (Pikija et al., 2022)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System: PNS) เป็นระบบประสาทซึ่งเชื่อมต่อจากส่วนต่างๆ ของสมองและไขสันหลังไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย ประกอบด้วย (Murtazina & Adameyko, 2023) ดังนี้

1. ประสาทสมอง (Cranial nerve) มี 12 คู่ ทอดออกมาจากพื้นล่างของสมองผ่านรูต่างๆที่พื้นของกะโหลกศีรษะ ประสาทสมองบางคู่จะทำหน้าที่รับความรู้สึก (Sensory nerve) บางคู่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (Motor nerve) บางคู่จะทำหน้าที่ทั้งรับความรู้สึกและทำการเคลื่อนไหว (Mixed nerve)

Cranial nerve ทั้ง 12 คู่นี้ จะมีชื่อตามตำแหน่งที่ตั้งและตามหน้าที่การทำงาน ได้แก่

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 เส้นประสาทออลแฟกทอรี (Olfactory nerve) รับความรู้สึกเกี่ยวกับกลิ่นจากเยื่อจมูกเข้าสู่ออลแฟกเทอรีบัลบ์ (Olfactory bulb) แล้วเข้าสู่ออลแฟเทอรีโลบ(Olfactory lobe) ของสมองส่วนซีรีบรัมอีกทีหนึ่ง

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 เส้นประสาทออพติก (Optic nerve) รับความรู้สึกเกี่ยวกับการมองเห็นจากเรตินาของลูกตาเข้าสู่ออพติกโลบ (Optic lobe) แล้วส่งไปยังออกซิพิทัลโลบ (Occipital lobe) ของซีรีบรัมอีกทีหนึ่ง

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 เส้นประสาทออคิวโลมอเตอร์ (Oculomotor nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการจากสมองส่วนกลางไปยังกล้ามเนื้อลูกตา 4 มัด ทำให้ลูกตาเคลื่อนไหวกลอกตาไปมาได้ และยังไปเลี้ยงกล้ามเนื้อที่ทำให้ลืมตา ทำให้ม่านตาหรี่หรือขยายและไปยังกล้ามเนื้อปรับเลนส์ตาอีกด้วย

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 4 เส้นประสาททรอเคลีย (Trochlea nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการไปยังกล้ามเนื้อลูกตาทำให้ลูกตามองลงและมองไปทางหางตา

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 เส้นประสาทไตรเจอมินัล (Trigeminal nerve) แบ่งออกเป็น 3 แขนง ทำหน้าที่รับความรู้สึกจากใบหน้า ลิ้นฟัน ปากเหงือก กลับเข้าสู่สมองส่วนพาเรียทัลโลบ ทำหน้าที่สั่งการไปควบคุมกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการเคี้ยวอาหาร

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 6 เส้นประสทแอบดิวเซนส์ (Abducens nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการออกจากพอนส์ไปยังกล้ามเนื้อลูกตาทำให้เกิดการชำเลือง

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 เส้นประสาทเฟเชียล (Facial nerve) เป็นเส้นประสาทที่สั่งการไปยังกล้ามเนื้อหน้าทำให้เกิดสีหน้าต่างๆกัน และยังเป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกรับรสจากปลายลิ้นเข้าสู่ซีรีบรัมส่วนพาเรียทัลโลบด้วย

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 เส้นประสาทออดิทอรี (Auditory nerve) เส้นประสาทรับความรู้สึกแยกเป็น 2 แขนง แขนงหนึ่งจากคอเคลียของหูทำหน้าที่เกี่ยวกับการได้ยินเข้าสู่ซีรีบรัมส่วนเทมพอรัลโลบอีกแขนงหนึ่งนำความรู้สึกเกี่ยวกับการทรงตัวจากเซมิเซอร์คิวลาร์แคแนล เข้าสู่ซีรีบรัม

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 เส้นประสาทกลอสโซฟาริงเจียล (Glossopharyngeal nerve) เป็นประสาทรับความรู้สึกจากช่องคอ เช่น ร้อน เย็น และรับรสจากโคนลิ้นเข้าสู่ซีรีบรัม ส่วนพาเรียทัลโลบและนำกระแสประสาทสั่งการจากสมองไปยังกล้ามเนื้อบริเวณคอหอยที่เกี่ยวกับการกลืน และต่อมน้ำลายให้หูให้ลั่งน้ำลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 เส้นประสาทเวกัส (Vagus nerve) เป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกจากลำคอ กล่องเสียง ช่องอก ช่องท้อง ส่วนเส้นประสาทสั่งการจะออกจากเมดัลลาออบลองกาตา ไปยังกล้ามเนื้อลำคอ กล่องเสียง อวัยวะภายในช่องปาก และช่องท้อง

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 11 เส้นประสาทแอกเซสซอรี (Accessory nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการจากเมดัลลาออบลองกาตาและไขสันหลังไปยังกล้ามเนื้อคอ ช่วยในการเอียงคอและยกไหล่

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 12 เส้นประสาทไฮโพกลอสวัล (Hypoglossal nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการไปยังกล้ามเนื้อลิ้นทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของลิ้น

2. ประสาทไขสันหลัง เส้นประสาทที่แยกออกจากไขสันหลังมีทั้งหมด 31 คู่ เป็นเส้นประสาทประสม (Mixed never) แบ่งออกเป็นทั้งหมด 5บริเวณดังนี้

- เส้นประสาทบริเวณคอ (cervical never) 8 คู่
- เส้นประสาทบริเวณอก (thoracal never) 12 คู่
- เส้นประสาทบริเวณเอว (lumbar never) 5 คู่
- เส้นประสาทบริเวณกระเบนเหน็บ (sacral never) 5 คู่
- เส้นประสาทบริเวณก้นกบ (coccygeal never) 1 คู่

ระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System)

เป็นระบบประสาทที่ประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมาก แต่เซลล์ประสาทเหล่านี้จะทำงานเป็นอิสระไม่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ (Involuntary) หรือการควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง ดังนั้นการทำงานของเซลล์ประสาทอัตโนมัติจึงทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยคำสั่งจากสมอง เส้นประสาทจากระบบประสาทอัตโนมัติจะกระจายอยู่ตามบริเวณกล้ามเนื้อเรียบของอวัยวะภายในทุกชนิด รวมทั้งต่อมต่างๆ ทั้งหลายในร่างกายอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระบบประสาทอัตโนมัติแบ่งได้เป็น 2 ระบบย่อย คือ

1) ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous System)

ศูนย์กลางอยู่บริเวณไขสันหลัง (Spinal cord) ประกอบด้วยเส้นประสาทที่ออกจากบริเวณไขสันหลังตั้งแต่อกจนถึงเอว ระบบนี้จะทำงานในกรณีที่บุคคลตกอยู่ในสภาวะฉุกเฉิน ร่างกายจะเกิดปฏิกิริยาตื่นตัวเพื่อเตรียมพร้อมที่จะสู้หรือหนีจากสถานการณ์เหล่านั้น ปฏิกิริยาของร่างกายที่เกิดขึ้นเมื่อระบบประสาทซิมพาเทติกทำงาน ได้แก่ ขนลุกตั้งชัน ชีพจรเต้นเร็วกว่าปกติ เหงื่อออกมาก ความดันโลหิตเพิ่มขึ้น หัวใจเต้นเร็วและรัว ต่อมอะดรีนัล (Adrenal gland) หรือต่อมหมวกไตจะหลั่งฮอร์โมนอะดรีนาลีน (Adrenalin) เพื่อเพิ่มพลังงานพิเศษให้กับร่างกาย เป็นต้น

2) ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic nervous system)

มีศูนย์กลางอยู่ที่ก้านสมอง (Medulla) และไฮโปทาลามัส (Hypothalamus) โดยระบบนี้จะทำงานควบคู่กับระบบซิมพาเธติก กล่าวคือ เมื่อระบบซิมพาเธติกทำงานสิ้นสุดลง ร่างกายพ้นจากสภาวะฉุกเฉินไปแล้ว ระบบพาราซิมพาเทติกจะช่วยทำให้ร่างกายกลับคืนสู่สภาวะปกติ เช่น เส้นขนจะราบลง ชีพจรหัวใจและความดันโลหิตจะกลับคืนสภาพเดิม เป็นต้น นอกจากนี้ยังกระตุ้นให้ต่อมอะดรีนัลหลั่งฮอร์โมนนอร์อะดีนาลีน (Noradrenalin) เพื่อช่วยให้ร่างกายกลับสู่ภาวะปกติอีกครั้ง

ตารางที่ 1 การทำงานของระบบพาราซิมพาเธติกและระบบพาราซิมพาเทติก

ระบบพาราซิมพาเทติก	**ระบบซิมพาเทติก**
ม่านตาหรี่ลง	ม่านตาขยาย
ต่อมน้ำตาหยุดการทำงาน	ต่อมน้ำตาทำงาน
น้ำลายไหลปกติ	น้ำลายและเหงื่อถูกผลิตออกมามาก
หัวใจเต้นปกติ	หัวใจเต้นเร็ว
ปอดหด / ขยายปกติ	ปอดหด / ขยายเพิ่มขึ้น
ตับและกระเพาะอาหารทำงานมากขึ้น	ตับและกระเพาะทำงานน้อยลง
	ฮอร์โมนอะดรีนาลีนถูกหลั่งออกมา
ลำไส้ทำงานมากขึ้น	ลำไส้ทำงานน้อยลง
กระเพาะปัสสาวะหดตัว	กระเพาะปัสสาวะขยายตัว
อวัยวะเพศแข็งตัว	ถุงอัณฑะขยายตัวทันที

ที่มา: (Gibbons, 2019)

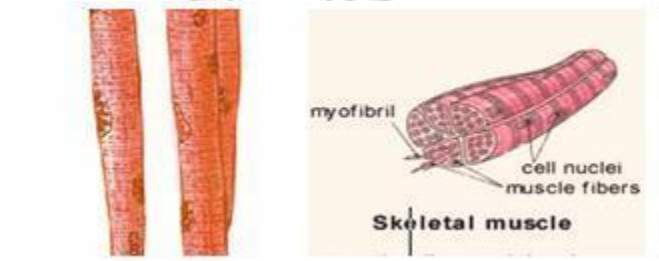
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ระบบกล้ามเนื้อ (Muscle system) (Pearson, 1990)

กล้ามเนื้อเป็นเซลล์ที่มีการเปลี่ยนรูปไปเพื่อทำหน้าที่พิเศษ คือ การหดตัวและคลายตัว ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนไหวเพื่อเป็นการปรับสภาพร่างกายให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม เช่น เมื่ออุณหภูมิ ภายนอกลดลง ร่างกายต้องสงวนความร้อนไว้โดยทำให้หลอดเลือดหดตัว การทรงตัวต้านแรงโน้มถ่วงของโลก การเดินหรือการวิ่ง จัดเป็นการเคลื่อนไหวที่เกิดจากการทำงานของกระดูกและกล้ามเนื้อ โดยกระดูกจะทำหน้าที่ค้ำจุนร่างกาย เป็นโครงร่างให้กล้ามเนื้อ เอ็น และพังผืดต่างๆ มายึดไว้ในขณะที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวและคลายตัว เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหว โดยร่างกายของคนประกอบด้วย กล้ามเนื้อเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีถึงร้อยละ 50 ของน้ำหนักตัว และกล้ามเนื้อเป็นอวัยวะที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานกล

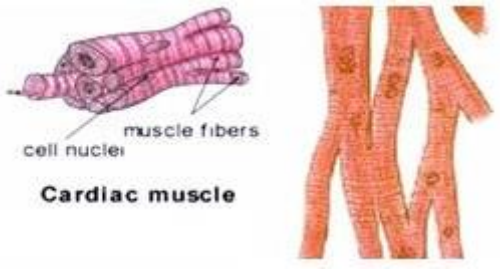
ร่างกายแบ่งกล้ามเนื้อออกเป็น 3 ชนิด คือ กล้ามเนื้อยึดกระดูกหรือกล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscle or striated muscle) กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) โดยที่กล้ามเนื้อลายนั้นถูกควบคุมอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจหรือรีเฟล็กซ์ ส่วนกล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจทำงานนอกอำนาจจิตใจ ได้แก่

1. กล้ามเนื้อลายหรือกล้ามเนื้อยึดกระดูก (Skeleton muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่เกาะติดกับโครงกระดูกหรือกล้ามเนื้อลาย เช่น กล้ามเนื้อแขน กล้ามเนื้อขา จึงทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยตรง เซลล์กล้ามเนื้อนี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกยาว แต่ละเซลล์ มีหลายนิวเคลียส การทำงานของกล้ามเนื้อยึดกระดูกถูกควบคุมโดยระบบประสาทโซมาติก การทำงานของกล้ามเนื้อชนิดนี้ ร่างกายสามารถบังคับได้ซึ่งถือว่าอยู่ในอำนาจจิตใจ



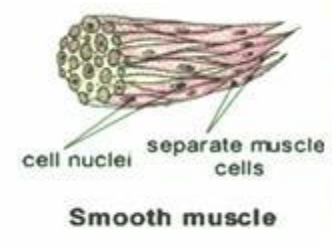
รูปที่ 8 กล้ามเนื้อลาย
ที่มา: (Pearson, 1990)

2. กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) เซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก แต่สั้นกว่าเซลล์กล้ามเนื้อยึดกระดูกและเห็นเป็นลายเช่นเดียวกัน แต่ตอนปลายของเซลล์มีการแตกแขนง และเชื่อมโยงติดต่อกับเซลล์ข้างเคียง การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติ ดังนั้น ร่างกายไม่สามารถบังคับได้ จึงเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ



รูปที่ 9 กล้ามเนื้อหัวใจ
ที่มา: (Pearson, 1990)

3. กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) กล้ามเนื้อเรียบเป็นกล้ามเนื้อที่พบอยู่ตามอวัยวะภายในเช่นผนังกระเพาะอาหาร ผนังลำไส้ ผนังหลอดเลือด และม่านตา เป็นต้น กล้ามเนื้อเหล่านี้ ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะยาว หัวท้ายแหลม แต่ละเซลล์มี 1 นิวเคลียส ไม่มีลายพาดขวาง การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติ



รูปที่ 10 กล้ามเนื้อเรียบ
ที่มา: (Pearson, 1990)

การออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านเกือบทุกชนิดจะเป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบคงความตึงส่วนการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบคงความยาวนั้นจะเกิดขึ้นได้แต่รองลงมา การทำงานของกล้ามเนื้อหรือการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Muscular action/contraction) มี 2 ประเภท (Raiteri, 2018) ได้แก่

1. การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบคงความตึง (Isotonic/Dynamic contraction) เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ความยาว (Length) และความตึงตัว (Tension) ของกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลง ซึ่งแบ่งออกเป็น

• การหดตัวแบบคอนเซนทริก (Concentric contraction) คือ การที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวสั้นเข้า และมีความตึงตัวสูงขึ้นต่อสู้กับแรงต้านทาน

• การหดตัวแบบเอ็กเซนทริก (Eccentric contraction) คือ การที่กล้ามเนื้อหดตัวสั้นอยู่ แล้วมีแรงภายนอกมากระทำที่มากกว่าแรงภายในของกล้ามเนื้อ และยอมให้กล้ามเนื้อมีความยาวเพิ่มขึ้น (Muscle lengthening) โดยที่แรงตึงตัวของกล้ามเนื้อปกติ

2. การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบคงความยาว (Isometric/static contraction) เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่มีความยาวไม่เปลี่ยนแปลง แต่มีความตึงตัวเพิ่มขึ้น หากแรงต้านที่ใช้ในการออกกำลังกายมีมาก กล้ามเนื้อก็จะต้องเพิ่มแรงในกระบวนการทำงานนั้นมาก โดยการระดมใยกล้ามเนื้อ (Fiber recruitment) ชนิดหดตัวเร็ว (Fast-twitch fibers) ช่วยเพิ่มแรงในการทำงาน หากแรงต้านที่ใช้ในการออกกำลังกายมีน้อยจะระดมใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (Slow-twitch fibers) ช่วยเพิ่มแรงในการทำงาน การพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular fitness) อันได้แก่ ความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) และพลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power) ขึ้นอยู่กับการกำหนดปริมาณของแรงต้าน และวิธีการในการฝึกออกกำลังกาย ทั้งนี้

• ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อ หรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ออกแรงกระทำต่อแรงต้านได้สูงสุด

• ความอดทนของกล้ามเนื้อ หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อ หรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ออกแรงกระทำต่อแรงต้านได้ซ้ำๆ อย่างต่อเนื่อง

• พลังของกล้ามเนื้อ หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อ หรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ออกแรงกระทำต่อแรงต้านได้อย่างรวดเร็ว

2.2 การวิ่งเทรลกับการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Millet, 2011)

โดยส่วนใหญ่รูปแบบการเคลื่อนไหวและสรีรวิทยาในการศึกษานักวิ่งมีการพิจารณาเพียงระดับในการวิ่ง เนื่องจากการวิ่งโดยส่วนใหญ่คือการวิ่งทางราบ หรือการวิ่งมาราทอน อย่างไรก็ตามกลุ่มประชากรที่แข่งขันวิ่งบนถนนมักจะมีการเคลื่อนไหวบนภูเขาอยู่บ้าง และที่สำคัญการวิ่งเทรลเริ่มรับการยอมรับ ความนิยมทั่วโลกอย่างต่อเนื่อง (Hoffman et al, 2010) ในทวีปยุโรปมีการจัดแข่งขันสนามเทรลชื่อว่า อัลต้าเทรลมอนท์บลังค์ เป็นสนามที่นักวิ่งเทรลนิยมเข้าร่วมแข่งขันมากที่สุด

การวิ่งเทรล หรืออัลตร้าเทรลจะเกี่ยวกับการวิ่งที่มีระยะทางไกล และเวลายาวนาน บนทางที่ไม่ปกติตามพื้นผิวของภูมิประเทศ ร่วมกับความชันที่ต้องไต่ขึ้น และความชันในทางลงภูเขา หรืออาจสลับกันไปมาตลอดเวลา ซึ่งนักวิ่งเทรลจะต้องเป็นนักกีฬาประเภทกีฬาอดทน (Endurance sports) ส่งผลให้การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular function) ในการออกแรงเชิงมุมสูงสุด (Maximal voluntary torque) ของกล้ามเนื้อลดลง หรือไม่สามารถทำงานได้อย่างคงที่ตลอดการเคลื่อนไหว (Gaindolinie et al., 2016) ซึ่งระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) พยายามที่จะชดเชยจากแรงที่ลดลงโดยกระแสประสาทและกล้ามเนื้อจะชะลอจุดที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้เป็นระยะเวลานาน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับสั่งการเคลื่อนไหว (Motor pathway) จากสมองไปยังกล้ามเนื้อเกิดขึ้นหลังจากการออกกำลังกาย เรียกว่าการล้าจากการออกแรง หรือการเคลื่อนไหว (Task) ซึ่งการออกแรงเกิดจากการออกกำลังกาย ได้แก่ ความหนักและระยะเวลา รูปแบบการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ชนิดของกลุ่มกล้ามเนื้อ และชนิดของการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งชนิดการหดตัวของกล้ามเนื้อในนักวิ่งระดับ (Level running) คือ รูปแบบวงจรการยืดออกและหดตัวเข้าสั้น (Stretch-shortening cycle) ของระยางค์ขาในการเหยียดออกของกล้ามเนื้อ ในขณะเดียวกันการวิ่งขึ้นเขาและการวิ่งลงเขามีรูปแบบการเคลื่อนไหวหลัก คือ การหดตัว (Concentric) สำหรับการ

วิ่งขึ้นเขา และการเหยียดออก (Eccentric) สำหรับการวิ่งลงเขา ดังนั้นการล้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับระบบประสาททางสรีรวิทยา และกลศาสตร์การเคลื่อนไหวในการวิ่งร่วมกับความชันเป็นระยะเวลานาน ทั้งนี้จึงพบความแตกต่างในการวิ่งระดับ (Björklund et al., 2019)

การประเมินการล้าในระหว่างวิ่งเทรล โดยส่วนใหญ่เกิดจากการวิ่งขึ้นเขาและลงเขาที่มีความชันเปลี่ยนแปลงไป และพบว่ามีการล้าที่เกิดจากระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลายเป็นตัวบ่งชี้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อจะพบในการแข่งขันวิ่งเทรลที่ระยะทาง 30 กิโลเมตร ความชัน 800 เมตร ระยะเวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง 50 นาที ถัดมาการแข่งวิ่งเทรลระยะทาง 37 กิโลเมตร ความชัน 1,730 เมตร ใช้เวลาทั้งหมด 5 ชั่วโมง (Vermand et al., 2022) ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียแรงและระยะเวลาในการวิ่งไม่เป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ อาจมีปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ระยะทาง ความชัน ความเร็วเฉลี่ย และการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อร่วมด้วย (Koral et al., 2022) โดยการประเมินจากการสูญเสียแรงในขณะที่เข่าเหยียดออกประมาณ 40% หลังจากการจำลองการแข่งขันไปแล้ว 24 ชม. บนลู่วิ่งในการวิ่งพื้นระดับมีระยะเวลา 18 ชั่วโมง 39 นาที เมื่อเทียบกับแรงในขณะที่เข่าเหยียดออกประมาณ 34% ในการวิ่งเทรล 110 กิโลเมตร ใช้เวลา 20 ชั่วโมง 17 นาที ซึ่งจะมีความคล้ายกันเมื่อเปรียบเทียบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในการวิ่งพื้นระดับ หรือมาราทอน ระยะเวลา 2 ชั่วโมง 35 นาที พบการสูญเสียความแข็งแรงที่ 22% เทียบกับการวิ่งเทรล 30 กิโลเมตร ความชัน 800 เมตร ใช้วลา 3 ชั่วโมง 10 นาที พบการสูญเสียความแข็งแรงที่ 23% ซึ่งการพิจารณาการล้าของกล้ามเนื้อกดปลายเท้า (Plantar flexor muscles) พบการสูญเสียความแข็งแรงต่ำกว่า – 26% (Kaufmann et al., 2021) ซึ่งจะขัดแย้งกับการรักษาความเร็ว ในการเปลี่ยนแปลงการกระตุ้นหดตัวสูงสุดมีความคล้ายคลึงกันทั้งดล้ามเนื้อเข่าเหยียดออกและกล้ามเนื้อกดปลายเท้า ดังนั้นการล้าที่เกิดจากระบบประสาทส่วนปลาย ประเมินโดยการกระตุ้นกระแสไฟฟ้าแบบเดียวเข้าสู่กล้ามเนื้อในขณะกล้ามเนื้อผ่อนคลาย และการตอบสนองของคลื่นกล้ามเนื้อ (M-wave) จากเครื่องตรวจคลื่นกล้ามเนื้อ (Temesi et al., 2021)

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของระยางค์ขาด้วยระบบประสาทกล้ามเนื้ออาจส่งผลกับกลไลการวิ่ง อธิบายโดยการเปลี่ยนแปลงมวลสปริง (Spring-mass) หลังจากการวิ่งเทรล และปริมาณการล้าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไคเนมาติก (Kinematic) หมายถึง การเคลื่อนที่ไม่จำนึงถึงมวลหรือแรงที่ทำให้เคลื่อนที่ เช่น ความถี่ช่วงก้าว การสูญเสียการเดินของการเหยียดข้อเท้า และการลดลงของการกระแทกในท่ากดปลายเท้า เป็นต้น (Cartón-Llorente et al., 2023) ต่อมาการชดเชยและป้องกันในระหว่างการวิ่งเทรล ซึ่งจะเกิดการชดเชยการทำงานในช่วงผลักเท้าของกลุ่มกล้ามเนื้อกดเท้า

มากกว่านั้นการล้าจากกลุ่มกล้ามเนื้อกดเท้าอาจเกิดจากช่วงการวิ่งตั้งแต่ช่วงแรกการเร่งในแนวระนาบช่วงเท้าลอยจากพื้นในการวิ่ง นั้นหมายถึง พลังการกระโดดเหยียดเข่า (Leg stiffness) ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึง เวลากระทำกับพื้นลดลง ความถี่ช่วงก้าวเพิ่มขึ้น และการกระทบเท้าที่เดินขึ้น 2) การรับรู้แรงเกิดจากการปรับตัวจากความสูญเสียของกล้ามเนื้อ (Muscle damage) และกลไกการบาดเจ็บของความเค้น (Strains) บนระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ (Vercruyssen et al., 2016) ส่งผลต่อการรับรู้ความรู้สึก (Proprioception) เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของข้อต่อและร่างกายหรือการรับรู้ตำแหน่งของร่างกาย อวัยวะหรือส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อ และตำแหน่งของข้อต่อในอากาศ ซึ่งการรับรู้ความรู้สึกจะรวบรวมกระแสประสาทจากตัวรับความรู้สึกเชิงกล (Mechanoreceptor) (Gebel et al., 2020) เพื่อส่งเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง โดยปลายประสาทรับรู้ความรู้สึก (Mechanoreceptor) จะอยู่บริเวณข้อต่อกล้ามเนื้อ เอ็นหุ้มข้อต่อ เอ็นหุ้มกล้ามเนื้อ และผิวหนัง ซึ่งกลไลการรับรู้การเคลื่อนไหว (Sense of limb movement) จะถูกส่งไปยังระบบประสาทส่วนกลางเพื่อเป็นข้อมูลป้อนกลับ และช่วยปรับการทรงตัวและทำให้เกิดการควบคุมการเคลื่อนไหวที่ราบรื่น ส่งผลให้เกิดการทำงานประสานสัมพันธ์กันได้ดีและทำให้เกิดการทรงตัวทางการรักษาสมดุลของร่างกายที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มาเกี่ยวข้องหรือมีผลต่อการทรงตัวของร่างกาย รวมถึงการเรียนรู้และการเรียนรู้ใหม่ของข้อต่ออีกด้วย ดังนั้น การรับรู้ความรู้สึกจึงเป็นกลไกสำคัญในการป้อนกลับข้อมูลเพื่อใช้ในการควบคุมสมดุลการทรงตัวและหากประสิทธิภาพการทำงานของการรับรู้ความรู้สึกลดลงยังทำให้เกิดการสูญเสียการทรงตัว (Rothschild, 2012)

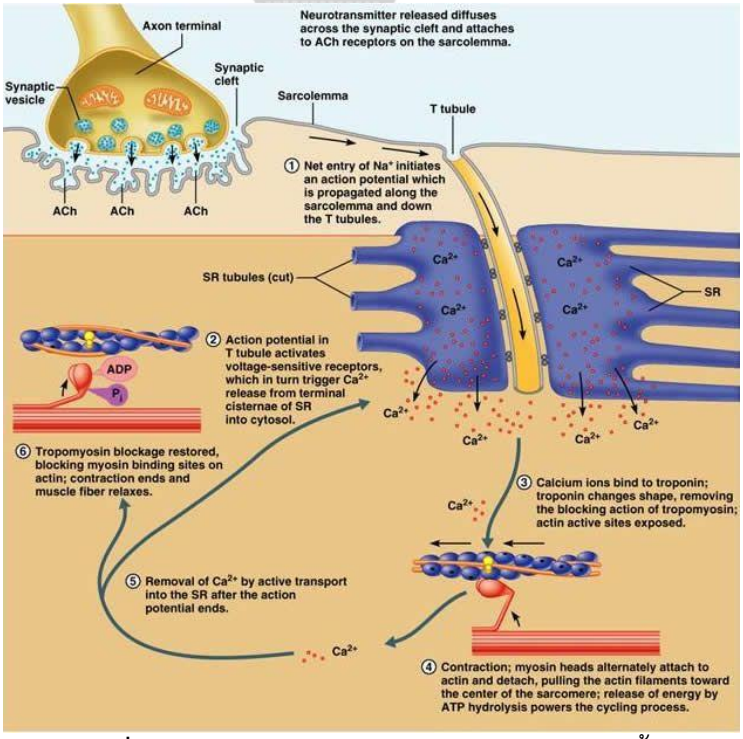
ดังนั้น การรับรู้ความรู้สึกของข้อเท้าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญต่อการรักษาสมดุลการทรงตัวทั้งในนักกีฬาและในบุคคลทั่วไป เพราะข้อเท้าและเท้าเป็นส่วนที่สัมผัสพื้นในขณะที่เรายืน เดิน หรือมีการเคลื่อนไหว อีกทั้ง proprioception บริเวณข้อเท้าจะช่วยปรับตำแหน่งของข้อเท้าและการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนบนเพื่อให้เกิดการความสามารถในการทำงานเพื่อทรงตัวที่สมบูรณ์มากขึ้น (Gebel et al., 2020) เช่น ในนักกีฬา เป็นต้นเมื่อเกิดการบาดเจ็บหรือมีการเสื่อมของข้อเท้าจะส่งผลให้ความไวในการป้อนกลับของข้อมูลการรับรู้ความรู้สึกของข้อต่อลดลงส่งผลให้ไม่มีกระบวนการตอบสนองในการทรงตัวที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงที่มากระทำต่อข้อเท้าและพื้นผิวที่ยืนในขณะที่มีการเคลื่อนไหวที่ไม่คาดคิดหรือมีการสูญเสียสมดุลและการทรงตัวในขณะเดินหรือการเคลื่อนไหว จึงต้องมีการฝึกความแข็งแรง และพลังของกล้ามเนื้อ (Li et al., 2019) เพื่อพัฒนาการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) คือ รูปแบบการทำงานของขามีแรงกระแทกในระหว่างกระทบพื้น และยังเป็นตัวประเมินที่ใช้วัดการทำงานของขาในระหว่างวงจรการวิ่ง หรือ การกระโดดจะเกิดขึ้นเมื่อ เอ็น และข้อต่อของระยางค์ส่วนล่าง ผลที่ได้จะแสดงถึงนักวิ่ง สามารถใช้พลังงานจาก

การที่เท้ากระทบพื้นในแต่ละก้าวได้น้อยก็ทำให้การวิ่งมีประสิทธิภาพมากเท่านั้น (Blum et al., 2009)

2.3 สมรรถภาพการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Boyas & Guével, 2011)

กลไกการหดตัวของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

ระบบประสาทจะสั่งการให้กล้ามเนื้อหดตัว โดยส่งกระแสประสาทไปยังปลายประสาท จากนั้นปลายประสาทจะหลั่งสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ไปยังเซลล์กล้ามเนื้อ โดยหลั่งสารแอซิติลโคลีน (Acetylcholine : Ach) แล้วจับกับตัวรับแอซิติลโคลีน (Acetylcholine Receptor) ที่เยื้อหุ้มเซลล์ (Sarcomere) เพื่อให้กระแสประสาทเข้ามาในเซลล์ผ่านที-ทูบูลบ์ (T-tubule) จากนั้นจะกระตุ้นให้ ซาร์โคพลาสมิค เรติคูรัม (Sarcoplasmic reticulum; SR) ทำการปล่อยแคลเซียม (Ca^{2+}) ออกมา แคลเซียมจะลอยไปจับกับโทรโปนิน (Troponin) ทำให้โทรโปไมโอซิน (Tropomyosin) เปิดไบดิง ไซต์ (Binding side) จากนั้น หัวแอคติน (Actin) ไปจับเข้าคู่กับเส้นใยไมโอซิน (Myosin) เกิดการจับกระชากกล้ามเนื้อ หรือครอส-บริดจ์ (Cross-bridge) ขึ้น กล้ามเนื้อจะได้รับพลังงานเอทีพี (ATP) จากไมโตคอนเดรีย (Mitochondria) ทำให้หัวแอคตินดึงตัวออกจากเส้นใยไมโอซิน และจะเกิดการจับกันใหม่ขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อระบบสั่งการสั่งให้กล้ามเนื้อผ่อนคลาย แคลเซียมจะถูกปล่อยออกจากโทรโปนิน กลับไปยังซาร์โคพลาสมิค เรติคูรัม โดยโทรโปนินกับโทรโปไมโอซินจะทำการขัดขวางไม่ให้หัวแอคติน จับตัวกับเส้นใยไมโอซินอีกต่อไป ดังภาพที่ 11



รูปที่ 11 กลไกการหดตัวของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

ที่มา: (Boyas & Guével, 2011)

การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Giandolini et al., 2016)

ความล้า (Fatigue) หมายถึง ภาวะที่ไม่สามารถรักษาอัตราการทำงานหรือพลัง เช่น แรง ระยะทาง/เวลาที่ใช้ ความรู้สึกล้าหรืออ่อนแรงเป็นกลไกของร่างกายจากการใช้พลังงานมากเกินไป เหนื่อยเกินไป เกิดจากกล้ามเนื้อขาดพลังงาน มีการคั่งค้างของของเสียเกิดขึ้นในกล้ามเนื้อจนกำจัดไม่ทัน หรือการไหลเวียนโลหิตนำออกซิเจนมาเลี้ยงไม่ทัน หรือมีเหตุจากระบบประสาทควบคุมการเคลื่อนไหวทำให้กล้ามเนื้อทำงานได้น้อยลง (Wan et al., 2017)

การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) หมายถึง จุดหนึ่งที่ร่างกายมีความสามารถในการออกกำลังกายลดลงจากการออกแรงเชิงมุม (Maximum voluntary torque) ของกล้ามเนื้อ หรือกลุ่มกล้ามเนื้อ สามารถกล่าวได้ว่าเกิดความล้มเหลวจากการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (Davis & Walsh, 2010) ดังนี้

1. การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) กลไกที่เกิดขึ้นในระบบประสาทส่วนกลางเป็นการลดลงของแรงต่อกลุ่มกล้ามเนื้ออันเนื่องจากความถี่คลื่นประสาทสั่งงานที่ส่งไปยังกล้ามเนื้อลดลงอาจเกิดจากการลดลงของสัญญาณกระตุ้น (Excitatory) หรือเพิ่มอิทธิพลสัญญาณยับยั้ง (Inhibitory) ต่อการสั่งงานกล้ามเนื้อ จะทำให้รอยต่อระหว่างปมประสาทกับกล้ามเนื้อ (Neuromuscular junction; NMJ) บางแห่งไม่สามารถส่งสัญญาณเข้ากล้ามเนื้อขณะล้าอาจเป็นเพราะมีสารสื่อประสาท เช่น Acetylcholine (Ach) ลดลง และการทำงานของสมองจากการทำงานของสารซีโรโทนิน (Serotonin) (5-hydroxytryptamine; 5-HT) เพิ่มขึ้น ที่มีทิปโทฟาน (Tryptophan) เป็นสารตั้งต้นร่วมกับกรดอะมิโน (Branched chain amino acids; BCAAs) ในพลาสมา สำหรับการส่งเข้าไปในสมอง (Boyas & Guével, 2011)ดังนั้นการทำงานของสารสื่อประสาทของซีโรโทนินที่เพิ่มขึ้นในพลาสมาที่มีอัตราการใช้ทิปโทฟานและกรดออะมิโน ซึ่งกรดอะมิโนจะให้พลังงานกับกล้ามเนื้อ เพราะเนื่องจากกรดอะมิโนลดลง ส่วนทิปโทฟานเพิ่มขึ้นในพลาสมา และเกิดการสะสมของกรดไขมันในขณะออกกำลังกาย ดังนั้นการล้าจากระบบประสาทส่วนกลางมีความหลากหลาย (Davis & Walsh, 2010) ไม่ว่าจะเกิดจากการทำงานของซีโรโทนิน และการเคลื่อนไหวร่างกายมากกว่า 30 นาที ส่งผลให้ประสิทธิภาพของสมองจากสารสื่อประสาท แอ็มโมเนีย และระดับไกลโคเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ในอีกทางหนึ่งที่เกิดการย้อนกลับของกล้ามเนื้อ และมีความเกี่ยวข้องกับการล้าจากระบบประสาทส่วนปลายและเหนือกว่ากระดูกสันหลังสามารถจะบอกได้จากภาวะการขาดเลือดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อในตอนสุดท้ายของการหดตัวขณะล้า และในขณะเดียวกันนั้น ระบบประสาทจะสั่งการฟื้นตัวจากภาวะขาดเลือดย้อนกลับของกล้ามเนื้อกลุ่มที่ 3 และ 4 ซึ่งรับรู้ถึงการเผาผลาญพลังงานจากการล้า เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลง หรือการรับรู้ในขณะที่กล้ามเนื้อเกิดการล้า จะทำให้เกิดการจำกัดการสั่งการของสมองเพื่อให้เข้าสู่สภาวะปกติ (Millet, 2011)

การล้าจากระบบประสาทส่วนกลางสามารถประเมินโดยการใช้การกระตุ้นไฟฟ้าผ่านผิวหนังในระหว่างการออกแรง เรียกว่า “ความสามารถออกแรงสูงสุด (Maximal voluntary contraction; MVC)” ณ บริเวณกล้ามเนื้อนั้นๆ ที่ออกแรง เพื่อสังเกตและบันทึกผลแรงสูงสุด (Peak force) และตามด้วยการกระตุ้นไฟฟ้าที่บริเวณประสาทสั่งการ (Motor nerve) ไปยังกล้ามเนื้อ เพื่อให้ได้ค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Voluntary activation) (Giandolini et al., 2016)

กลไกทางสรีรวิทยาที่ส่งผลให้เกิดการล้าระบบประสาทส่วนกลาง (Boyas and Guevel, 2011)

1. การส่งข้อมูลของปลายประสาทถูกขัดขว้าง ส่งผลทำให้การทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อลดน้อยลง และเกิดการทำงานอย่างจำกัด

2. ประสาทสั่งการอาจจะมีผลสั่งการย้อนกลับโดยกล้ามเนื้อ โดยประสาทรับความรู้สึก ขณะรับรู้ในการยืดกล้ามเนื้อ (Neuromuscular spindles) และรับรู้ความตึงตัวของกล้ามเนื้อ (Golgi tendon organs)

3. การกระตุ้นเส้นประสาทชนิดที่ 3 กระตุ้นเกี่ยวกับสารเคมี (Chemoreceptive) และชนิดที่ 4 ตอบสนองต่อความเจ็บปวด (Nociceptive) อาจเกิดอัตราประสาทสั่งการ และยับยั้งการสั่งการ

4. เกิดการกระตุ้นของเซลล์ในขณะเดียวกับการสั่งการของสมอง

5. ผลของช่องว่างสารสื่อประสาท (Synaptic) ของสารสื่อประสาทซีโรโทนิน (Serotonin) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการรับรู้อาการล้า เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นหลังจากสมองมีการใช้สารทิปโทฟาน ดังนั้น การออกกำลังออกกายยาวนานจะมีสารทิปโทฟานเพิ่มขึ้นและเกิดการลดลงของพลาสมาของกรดอะมิโน

6. การออกกำลังกายจะนำไปสู่การปล่อยอินเตอร์ริวคิน-ซิกซ์ (Interleukin-6) ทำให้รับรู้ถึงการล้า

กล้ามเนื้อที่ล้ามีความเป็นกรดมากขึ้น แสดงโดยค่า pH ต่ำ อาจส่งสัญญาณผ่านประสาทรับความรู้สึกเข้าไขสันหลังเกิดรีเฟล็กซ์ ลดการทำงานของมอเตอร์นิวรอน (เซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่สั่งการกล้ามเนื้อ) ซึ่งจะลดการทำงานของกล้ามเนื้อลง (เราเรียกระบบการควบคุมทำนี้ว่า “Muscle wisdom”) ซึ่งขณะกล้ามเนื้อล้าอาจส่งผลให้ปลายประสาทมอเตอร์ไม่ยอมส่งสัญญาณผ่านไปยังกล้ามเนื้อ หรืออาจเป็นผลจากการเปลี่ยนสิ่งแวดล้อมของสารตั้งต้นทำให้ไอออนบางอย่างเปลี่ยนความเข้มข้นไปจนเกิดปรากฏการณ์ข้างต้น (Boyas and Guevel, 2011)

2. การล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของประกอบด้วย 3 ประการ (Davis & Walsh, 2010) ดังนี้

1) การส่งข้อมูลของกระแสประสาท (Neuromuscular transmission) ไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์กล้ามเนื้อ ดังนั้นกระแสประสาทกล้ามเนื้อ (Muscle action potential) จึงพบได้น้อย และใช้ระยะเวลา (Duration) นานขึ้น กล้ามเนื้อจึงเกิดการชดเชยแรงต่อการหดตัว

2) การล้าทำให้อัตราการนำกระแสประสาทเข้าสู่ภายในเซลล์กล้ามเนื้อลดลง เป็นผลต่อเนื่องให้การหลั่งของสารแคลเซียมในเซลล์กล้ามเนื้อลดลง ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว (Excitation contraction coupling) ลดลงตามไปด้วย

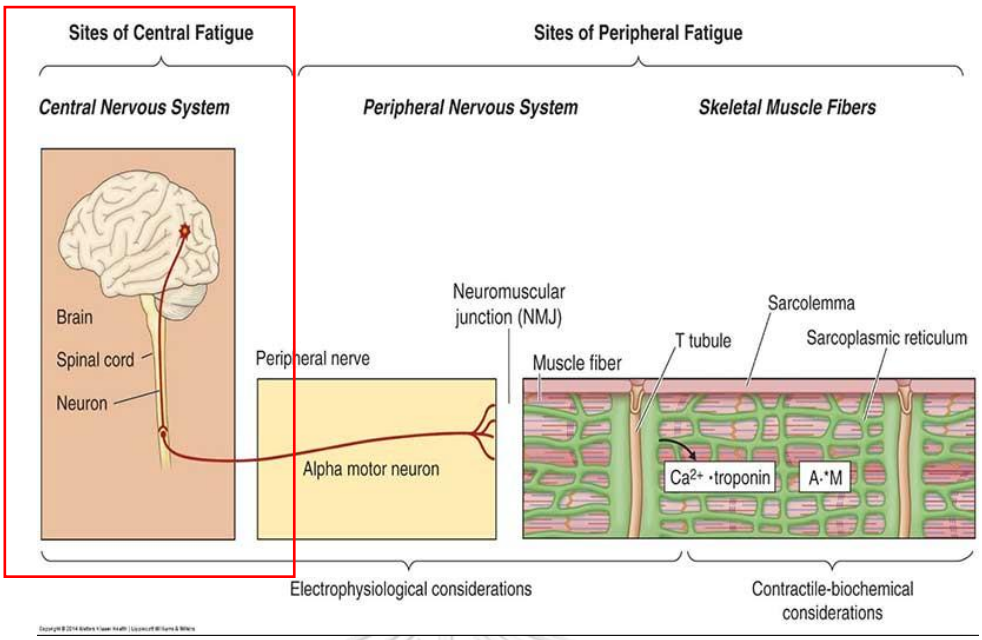
3) สารพลังงาน ATP (Adenosine triphosphates) ไม่เพียงพอเมื่อออกกำลังกายอย่างหนักและมีระยะเวลานาน จะมีการสร้างสาร ATP เพิ่มขึ้น (เช่น ADP, Pi และ H+ ion) ในระหว่างใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) อย่างมากจนอาจไปลดการสังเคราะห์ ATP ทำให้การสร้าง ATP ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ทำให้ใยกล้ามเนื้อขาด ATP จึงไม่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อหรือการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Actin-myosin interaction) ได้ไม่ดี

กลไกที่ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวเกิดการปรับตัวในระหว่างที่เกิดการล้าที่การทำงานร่วมกันระหว่างระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular junction) ซึ่งจะเกิดที่ส่วนต่างๆ ได้แก่

- ประสิทธิภาพในการส่งกระแสประสาทที่ปลายประสาทไม่เพียงพอ
- เกิดความล้มเหลวในการกระตุ้นการจับตัวกันของแอคตินและไมโอซิน และการหลั่งสารระหว่างระบบประสาทกล้ามเนื้อ
- การสูญเสียกระแสประสาท
- การปล่อยกระแสประสาทลดลง
- การรับรู้ลดลงของตัวรับอซีติลโคลิน และเยื่อหุ้มเซลล์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หากมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการล้าข้างต้นมากและคงอยู่นานเกินไป อาจทำให้เกิดความเสียหายของส่วนต่างๆ ภายในเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้เกิดอาการบวม (Swelling) และการปวดภายหลังออกกำลังกาย (Delayed onset of muscle soreness; DOMs) ซึ่งการฟื้นตัวจากความเสียหายจะช้าลง



รูปที่ 12 การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อส่วนกลาง และส่วนปลาย

ที่มา: (Giandolini et al., 2016)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล้าจากการออกกำลังกายเป็นระยะเวลานาน (Endurance exercise) แม้จะใช้แรงต้านทานน้อยหรือการออกแรงของกล้ามเนื้อน้อย แต่หากออกกำลังกายเป็นระยะเวลานาน ก็อาจเกิดความล้าได้ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดความล้า (Boyas & Guével, 2011) มีดังนี้

1) การลดลงของสารพลังงานกลุ่มแป้ง-น้ำตาลที่เรียกว่า ไกลโคเจน (Glycogen) ในกล้ามเนื้อและตับ และสารไกลโคเจนเป็นสารพลังงานที่จำเป็นในการทำงานของกล้ามเนื้อ การลดลงของสารพลังงานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความหนัก (Intensity) ของงาน จากข้อมลของการแลกเปลี่ยนอากาศ (Respiratory exchange ratio; RER) อัตราส่วนปริมาณ CO2 ที่ผลิตขึ้นจากทั้งร่างกายต่อปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไป (VCO2/VO2) จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ร่างกายเกิดการสะสมของ Lactate ในเลือดส่งผลต่อความเมื่อยล้า

2) การสูญเสียน้ำ (Dehydration) จากการออกกำลังกายเป็นระยะเวลานาน ๆ ทำให้เราเสียเหงื่อไปเรื่อย ๆ ทำให้เลือดมีความเข้มข้นมากขึ้น ส่งผลให้หัวใจทำงานหนักและการต้องใช้พลังงานในการปั๊มเลือดมากขึ้นจึงทำให้เกิดอาการล้าได้เร็วขึ้น

3) อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้น โดยการเพิ่มการไหลเวียนเลือดไปที่ผิวหนัง เพื่อให้ร่างกายสามารถถ่ายเทความร้อนออกไปได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลดลง จึงทำให้กล้ามเนื้อทำงานอย่างบกพร่องต่อไป มีการส่งผ่านออกซิเจนไม่ที่ไม่เพียงพอ และเกิดอาการล้าได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) การเสียความสมดุลการทำงานของศักดิ์ไฟฟ้า (Action potentials) ระหว่างการสะสมของโซเดียม (Na^+) และโพแทสเซียม (K^+) แต่ละส่วนของเยื้อหุ้มเซลล์ ซึ่งการทำงานของพลังงานเอทีพี (ATP) ในการเกิดกระบวนการโซเดียม โพแทสเซียม ปั๊ม (Na^+/K^+ Pumps) ใช้พลังงานเอทีพีทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) คือ ปฏิกิริยาที่มีน้ำเข้าไปสลายพันธะ ทำให้สารโมเลกุลใหญ่แตกตัวเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง เพื่อที่จะเคลื่อนย้านโซเดียม 3 ตัวออกจากเซลล์ และปล่อยโพแทสเซียม 2 ตัวเข้าสู่เซลล์ เพื่อทำให้เซลล์เกิดภาวะธำรงดุล (Homeostasis) หมายถึง ความพยายามที่จะทำให้เกิดความสมดุลของสิ่งต่างๆ ในร่างกาย เพื่อให้ร่างกายอยู่ในสภาพปกติ และการเกิดกระบวนการโซเดียม โพแทสเซียม ปั๊ม ทำให้เอทีพีลดลงจึงทำให้เกิดการกระตุ้นที่เยื้อหุ้มเซลล์ มีการเปลี่ยนแปลงการทำงานของศักดิ์ไฟฟ้าลดลง และยังส่งผลให้ซาโคพลาสมิคเรติคูลัมปล่อยแคลเซียมได้น้อยลงเป็นเหตุให้กล้ามเนื้อทำงานได้ช้าลง หรือเกิดอาการล้า

การล้าจากระบบประสาทส่วนปลายสามารถประเมินโดยการใช้การตรวจสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการกระตุ้นไฟฟ้าผ่านผิวหนังในระหว่างการออกแรงแบบคงที่ เรียกว่า “ความสามารถออกแรงสูงสุดแบบคงที่ (Isometric maximal voluntary contraction; IMVC)” ณ บริเวณกล้ามเนื้อนั้นๆ ที่ออกแรง เพื่อสังเกตและบันทึกผลอาร์เอ็มเอส (RMS)

2.4 การเสริมสร้างการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

ความสามารถของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular function) ในด้านความแข็งแรงในทางสรีรวิทยาที่จะเอาชนะแรงต้านทานภายนอกและแรงต้านทานภายใน ความแข็งแรงสูงสุดยังขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางชีวกลศาสตร์ของการเคลื่อนไหว เช่น คาน กลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้อง และจำนวนการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้อง (Barnes & Kilding, 2015) ขณะเดียวกันความแข็งแรงสูงสุดยังขึ้นกับความแรงของกระแสประสาทที่มากระตุ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของหน่วยยนต์ที่ถูกระดมมาใช้งานและความถี่ของแรงกระตุ้นซึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นตามความหนักของการออกกำลังกาย โดยระดับของความแข็งแรงจะเป็นผลปัจจัยสามประการ (Petersen et al., 2014) ดังต่อไปนี้

1. ความสัมพันธ์ของระบบประสาทกล้ามเนื้อระหว่างกลุ่มกล้ามเนื้อ (Intermuscular coordination) หรือความสัมพันธ์ของกลุ่มกล้ามเนื้อต่าง ๆ ขณะเคลื่อนไหว ในกิจกรรมทางกายที่ใช้ความแข็งแรงจะต้องการความสัมพันธ์ของระบบประสาทกล้ามเนื้อระหว่างกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีส่วนร่วมในการทำงาน ซึ่งถ้านักกีฬามีข้อบกพร่องดังกล่าว การฝึกให้นักกีฬาใช้เทคนิคการผ่อนคลายจะทำให้มีการปรับปรุงของความสัมพันธ์ของระบบประสาทกล้ามเนื้อของกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวทำงาน (Petersen et al., 2014)

2. ความสัมพันธ์ของระบบประสาทกล้ามเนื้อภายในกล้ามเนื้อ (Intramuscular coordination) การได้รับแรงของนักกีฬาจะขึ้นอยู่กับหน่วยยนต์ประสามกล้ามเนื้อ (Neuromuscular units) ด้วยเช่นกัน (Vernillo et al., 2017)

3. แรงที่กล้ามเนื้อตอบสนองต่อการกระตุ้นของกระแสประสาท (Nerve impulse) กล้ามเนื้อจะตอบสนองต่อการกระตุ้นของการฝึกซ้อมเพียงประมาณ 30% ของความสามารถของกล้ามเนื้อทั้งหมด ปกติแล้วกล้ามเนื้อในร่างกายจะมีการแบ่งงานกันคือ ในการเริ่มต้นการทำงานกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (Type I) จะเป็นเสนใยกลุ่มแรกทำงาน แต่เมื่อความหนักของการออกกำลังกายสูงขึ้นกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Type II) จะเริ่มทำงาน ดังนั้นการฝึกซ้อมเพื่อปรับปรุงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจึงจำเป็นจะต้องใช้ระดับการกระตุ้นที่หลากหลายและหนักเพียงพอที่จะทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อทั้งสามชนิดได้มีการทำงาน โดยเฉพาะเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วจะมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Li et al., 2019)

- การพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) (Beattie, 2014) ที่ช่วงระยะเวลา 8 – 12 สัปดาห์ หรือเรียกว่า ช่วงสั้น สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงร่าง และระบบประสาท โดยการสร้างแรงขึ้นอยู่กับระยางค์ และข้อต่อในรูปแบบการเคลื่อนไหวแบบเหยียดออก (Extensors) ทำให้เกิดมวลกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และความเร็วในการวิ่ง ซึ่งเหมาะกับนักวิ่งเพื่อนำไปสู่การเสริมสร้างความอดทน โดยมีรูปแบบการฝึก 2 แบบ ดังนี้

1. การเคลื่อนไหวจากระยางค์เข้าหาแกนกลางลำตัว (Open chain) ในรูปแบบการฝึกแบบเดี่ยว (Isolated) และเครื่องการออกกำลังกาย (Machine) ในท่า Leg extension seated Hamstring curl Leg press และ Isometric plantar flexion เนื่องด้วยการฝึกในรูปแบบนี้อาจจะไม่ตรงกับการทำงานของกล้ามเนื้อในขณะวิ่ง หรือปั่นจักรยาน (Bakhtiary & Fatemi, 2008)

2. การเคลื่อนไหวจากแกนกลางลำตัวออกไปส่วนระยางค์ (Close chain) ในรูปแบบนี้จะเหมาะกับนักวิ่งมากกว่า เนื่องด้วยมีการต้านแรงกระทำกับพื้น ทำให้เกิดการพัฒนาการเคลื่อนไหวในรูปแบบการทำงานของนักวิ่งมากที่สุด (Li et al., 2019)

- การพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) ความอดทนตามลักษณะการเคลื่อนไหวของนักกีฬาวิ่งเทรล เป็นความอดทนแบบต่อเนื่อง สำหรับกีฬาที่มีกิจกรรมทางกายที่มากกว่า 2 นาทีขึ้นไป ความอดทนของกล้ามเนื้อแบบต่อเนื่องจะเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะนำไปสู่การปรับปรุงความสามารถทางการกีฬา ควรเลือกออกกำลังกายที่ทำให้ระยะการหดตัวของกล้ามเนื้อสลับกับระยะการผ่อนคลาย ด้วยความหนักของการฝึกซ้อมที่ 30 – 50% ของความแข็งแรงสูงสุด (Menz et al., 2019)

- การพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อ (Power) ตามหลักของแรงกระตุ้น (ความหนัก) ที่ใช้ในการซ้อมพลัง การปฏิบัติการเคลื่อนไหวจะต้องมีความเหมือนกับขนาดของแรงที่เกิดขึ้นขณะที่นักกีฬาปฏิบัติการแข่งขัน ดังนั้นแรงของการเพิ่มอัตราเร่ง (Force of acceleration) จะเป็นแรงกระตุ้นที่สำคัญของการฝึกพลัง ในประเภทกีฬาที่เคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่อง เช่น การวิ่ง พลังจะการออกแรงแบบสั้น และได้แรงมาก (Huerta et al., 2023)

- ความเร็ว (Speed) เป็นการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยใช้ระยะเวลา สั้นที่สุด ความเร็วของการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับการทำงานของระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงความเร็วเกิดจากการสั่งการของระบบประสาท ความเร็วในการออกกำลังกายแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การเคลื่อนไหวที่ต้องอาศัยความชำนาญเป็นพิเศษ เช่น ว่ายน้ำ ตีเทนนิส และการเคลื่อนไหว แบบธรรมดา เช่น การเดิน การวิ่ง เป็นต้น (Balducci et al., 2017)

- การทรงตัว (Balance) เป็นการรักษาสมดุลของร่างกายในขณะอยู่กับที่หรือเคลื่อนไหว (Han et al., 2015)

3. สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ

3.1 สรีรวิทยาการทำงานของสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ

สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ (Cardiorespiratory fitness) (ดรุณวรรณ สุขสม, 2561) หมายถึงความสามารถของหัวใจ ปอด และหลอดเลือด ที่จะลำเลียงส่งปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมไปสู่เซลล์ให้เพียงพอกับความต้องการของการมีกิจกรรมการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic exercise) คือ การออกกำลังกายที่ร่างกายไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากเป็นรูปแบบของการออกกำลังกายที่ค่อนข้างจะหนักหน่วง รวดเร็ว และต้องใช้ความแข็งแรง จนแทบไม่มีเวลาหายใจ หัวใจและหลอดเลือดไม่สามารถสูบฉีดออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อได้เพียงพอต่อความต้องการ

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise) หมายถึง การออกกำลังกายที่มีการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ของร่างกายเคลื่อนไหวออกแรงเป็นอย่างน้อย 15 นาทีต่อเนื่องกัน จึงเป็นการออกกำลังกายที่ใช้ออกซิเจนเพื่อให้มีพลังงานมากขึ้น ซึ่งเป็นประเภทการออกกำลังกายที่ใช้เสริมสร้างสมรรถภาพระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ (Al-Mallah et al., 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิก ร่างกายจะมีการหายใจรับออกซิเจนเข้าไปในถุงลมที่ปอด แล้วผ่านออกจากถุงลม เข้าไปจับกับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดง แล้วถูกนำส่งผ่านทางหลอดเลือดเพื่อเข้าสู่หัวใจ หัวใจ ทำหน้าที่ บีบตัวเพื่อนำออกซิเจนไปสู่แต่ละอวัยวะ และเนื้อเยื่อทั่วร่างกาย ในระดับเซลล์ ออกซิเจนจะช่วยเปลี่ยนสารตั้งต้นอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตและไขมัน ผ่านทางกระบวนการเมตะบอลิซึมแบบแอโรบิก (Aerobic metabolism) ไปเป็นสารพลังงานสูง เรียกว่า อะดิโนซีนไตรฟอสเฟส หรือเอทีพี (Adenosine triphosphate; ATP) ซึ่งร่างกายต้องการเอทีพีจำนวนมากเพื่อให้กิจกรรมการออกกำลังกายคงอยู่ในขณะที่ร่างกายมีการสร้างพลังงานเพื่อใช้ให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย แต่หากมีการออกกำลังกายต่อไป โดยเพิ่มความหนักของร่างกายการออกกำลังกาย จะทำให้เข้าสู่การสร้างพลังงานโดยระบบแอนแอโรบิก (Anaerobic) ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่มีความหนักสูง และมีการสะสมของกรดแลคติก (Lactic acid) ในกล้ามเนื้อ

และกระแสเลือด (กรดแลคติกในกระแสเลือด เลือกว่ากระดแลคเตท) การสะสมกรดแลคติกเป็นสัญญาณของการใช้พลังงานเร็วกว่าการที่ร่างกายสร้างพลังงานด้วยแอโรบิก การมีกรดแลคติกสะสมมากเกินไปจะทำให้รบกวนกระบวนการเมตะบอลิกและการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ การมีกรดแลคติกและคาร์บอนไดออกไซด์สูงน่างกายมีผลต่อการหายใจ ทำให้เกิดการเมื่อยล้า (Fatigue) ในขะที่ออกกำลังกายยาวนาน บุคคลที่ผู้ที่มีสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจสูงจะมีความสามารถในการขนส่งออกซิเจนไปใช้ในการสร้างพลังงานได้ดีกว่าและง่ายกว่า ในทางตรงกันข้าม บุคคลผู้ที่มีสมรรถภาพไหลเวียนโลหิตและหายใจต่ำ จะต้องทำงานที่ยากกว่า หัวใจจะเต้นในอัตราที่สูงกว่า ออกซิเจนที่ส่งไปเนื้อเยื่อต่างๆ จะมีปริมาณน้อยกว่า และเกิดการเมื่อยล้าได้เร็วกว่า (Wilder et al., 2006)

ดังนั้น การออกกำลังกายแบบแอโรบิก อาจหมายถึง การออกำลังกายในระดับความหนักที่ต่ำกว่าจุดที่มีแลคเตทเพิ่มสูงขึ้นในเลือด หรือเรียกว่า ระดับกั้นของแลคเตท (Lactate threshold) สำหรับระดับกั้นของแลคเตท จะกล่างถึงแหล่งพลังงานของการออกกำลังกายแบบแอโนบิก ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต และไขมัน (ไตรกลีเซอร์ไรด์) ร่างกายจะใช้พลังงานความหนักระดับเบาด้วยไขมัน เช่น การเดิน เป็นต้น และเมื่อความหนักสูงขึ้นร่างกายจะเปลี่ยนมาใช้คาร์โบไฮเดรต ทั้งนี้ ระบบพลังงานแบบแอโรบิก หรือสโลว์ออกซิเดทีฟ (Slow oxidative) จะได้พลังงาน 38 โมเลกุลของเอทีพีต่อ 1 โมเลกุลกลูโคส และทั้งระบบฟาสท์ออกซิเดทีฟไกลโคไลติก (Fast oxidative glycolytic) และระบบฟาสท์ไกลโคไลติก (Fast glycolytic) จะได้พลังงาน 2 โมเลกุลของเอทีพี เราจึงสามารถออกกำลังกายแบบแอโรบิกระดับความหนักปานกลางที่ใช้พลังงานจากออกซิเดชันของไขมันได้เป็นเวลานานตั้งแต่หลายนาทีจนถึงหลายชั่วโมง ซึ่งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับเบาจะใช้ใยกล้าเนื้อหดตัวช้า (Slow twitch) ซึ่งจะมีเอนไซด์ออกซิเดชัน (Oxidative enzymes) เหมาะกับการทำงานที่ต้องการความทนทาน ส่วนการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงจะใช้ใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วชนิดบี (Fast twitch type II b) ซึ่งเอนไซต์ในการสลายไกลโครเจน (Glycolytic enzymes) ในปริมาณที่สูง และการออกกำลังกายที่มีความหนักปานกลางจะใช้ใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วชนิดเอ (Fast twitch type II a) ซึ่งคุณสมบัติจะอยู่ระหว่างสองชนิดดังกล่าว (Bahenský et al., 2020)

สมรรถภาพทางแอโรบิกจึงเป็นความสามารถของร่างกายในการใช้พลังงานจากระบบออกซิเจน เพื่อนำส่งออกซิเจนไปยังเส้นใยกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานช่วยในการสำรองพลังงานขึ้นมาใหม่ และลดการเกิดของเสียภายในกล้ามเนื้อจากระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic glycolytic system) ซึ่งความสามารถทางแอโรบิก (Aerobic capacity) จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ร่วมกันของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของหัวใจ ปอดและหลอดโลหิต โดยหัวใจทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตเพื่อนำโลหิตไปเลี้ยงทั่วร่างกาย โดยส่งโลหิตผ่านไปตามหลอดโลหิตจากหัวใจไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่วนปอดเป็นอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบการหายใจ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนแก๊สและการนำเอาออกซิเจนบรรจุฮีโมโกลบิล และโลหิตมีฮีโมโกลบิลเพื่อการขนส่งสารอาหารและออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อ นอกจากนี้ สมรรถภาพทางแอโรบิกยังเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ อันได้แก่ ความสามารถในการตอบสนองของกล้ามเนื้อต่อสัญญาณประสาท ลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อ และระดับพลังงานภายในกล้ามเนื้อ (Mcardle et al., 2016) ดังนั้น สมรรถภาพด้านแอโรบิกจึงบ่งบอกถึงความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) ซึ่งลักษณะการแข่งขันวิ่งเทรล ก็เป็นกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทน มีลักษณะการใช้พลังงานโดยรวมที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal level) ในระยะเวลายาวนาน นักกีฬาจะต้องรักษาระดับความเร็วในการวิ่งตลอดการแข่งขัน จำเป็นต้องมีสมรรถภาพของความสามารถสูงสุดในการทำงานที่ต้องใช้พลังงานแบบแอโรบิก (Padilla et al., 2000)

3.2 การวิ่งเทรลกับการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ

ปัจจัยทางสรีรวิทยาของร่างกายมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการวิ่งเทรล (Padilla et al., 2000) ทั้งนี้ ปัจจัยทางสรีรวิทยาที่เป็นตัวชี้วัดความสามารถในการวิ่งเทรล ประกอบไปด้วย (Faria et al., 2005; Støren et al., 2013)

1) ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบการทำงานในร่างกายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

(1) ระบบหายใจ มีความสำคัญในการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Gas exchange)

(2) ระบบหัวใจ มีความสำคัญในการบีบเลือด (Pump generator) เพื่อนำสารอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

(3) ระบบโลหิต ได้แก่ ปริมาณเลือด จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell) และความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดง (Hemoglobin) มีความสำคัญในการรับออกซิเจน โดยการจับรวมตัวกันและนำไปสู่เซลล์

(4) ระบบกล้ามเนื้อ เป็นระบบปลายทางที่จะสกัดนำออกซิเจนไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน กล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่จะมีการใช้ออกซิเจนที่มากกว่ากล้ามเนื้อขนาดเล็ก

สมรรถภาพทางแอโรบิก หรืออัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดถูกกำหนดโดยคความสามารถของระบบไหลเวียนโลหิตที่จะขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อที่ทำงาน ซึ่งความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ขึ้นอยู่กับปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที (Maximal cardiac

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

output; CO) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous O_2 difference; a-v O_2 diff) (Stucky et al., 2018)

$$VO_2max = CO \times a\text{-}v\ O_2\ diff$$

เมื่อ VO_2max คือ ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)

CO คือ ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที (ลิตร/นาที)

a-v O_2 diff คือ ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ

ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที (Maximal cardiac output; CO) คำนวณได้จากผลคูณของปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (Stroke volume; SV) และอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Heart rate; HR) โดยปกติค่าปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที จะมีความสัมพันธ์กับความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดและปริมาณงานที่ทำ เนื่องจากกล้ามเนื้อที่ทำงานหนักเพิ่มขึ้นจะเพิ่มการใช้ออกซิเจนที่มากขึ้น การออกกำลังกายจะเพิ่มเส้นใยกล้ามเนื้อในการทำงาน มีการเพิ่มขนาดหลอดเลือดในกล้ามเนื้อ ทำให้มีปริมาณเลือดที่ไหลกลับหัวใจเพิ่มมากขึ้น (Venous return) ดังนั้น ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจในแต่ละครั้งเพิ่มขึ้น ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที (CO) จึงเพิ่มขึ้น (Da Ponte et al., 2018)

ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดหรือสมรรถภาพทางแอโรบิก (VO_2max) เป็นตัวชี้วัดที่ดี (Strong predictor) ของความสามารถในการวิ่งเทรล (Prampero, 2003) ซึ่งนักกีฬาวิ่งเทรลอาชีพมีค่าความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด ประมาณ 74 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (Pfeiffer et al., 1993) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาความหนักของการแข่งขันวิ่งเทรลของนักกีฬาใช้ความหนักที่ 90%VO_2max ตลอดช่วงเวลา 60 นาทีโดยประมาณ (Lucía et al., 2000) ซึ่งไม่ได้ทำงานที่ระดับสูงสุด ดังนั้น ตัวแปรด้าน VO_2max เพียงอย่างเดียวนั้น ไม่ถือว่าเป็นตัวบ่งชี้ของความสามารถด้านอดทนที่ดีเสมอไป ดูเหมือนว่า VO_2max เป็นปัจจัยที่จำกัดระบบการทำงานส่วนกลางของร่างกาย (Central factor limitation) (Faria et al., 2005)

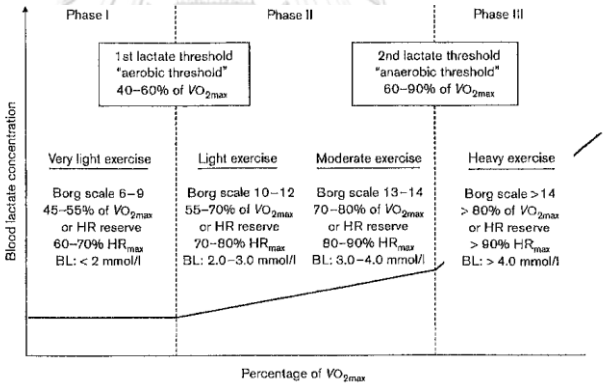
2) จุดกั้นแลคเตท (Lactate threshold) หรือจุดเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด ซึ่งเป็นจุดเริ่มของการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากระบบแอโรบิกเป็นแบบแอนแอโรบิก และจะเป็นจุดเริ่มมีการสะสมกรดแลคติก ภายหลังภาวะนี้จะมีการสะสมกรดแลคติกอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเมื่อยล้าและมีผลกระทบต่อการทำงานของร่างกายเป็นตัวแปรที่ใช้แสดงค่าจุดเริ่มล้า ประกอบด้วย 2 ระยะ (Le Goff et al., 2021) คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(1) จุดกั้นแลคเตทที่ 1 (LT1) หรือแอโรบิกเทรชโฮล (Aerobic Threshold) เป็นจุดที่เริ่มมีการสะสมของกรดแลคติกในร่างกายแต่ร่างกายยังสามารถขจัดทิ้งได้ อีกทั้ง บ่งบอกถึงความหนักของการออกกำลังกายที่สามารถทำให้แลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นมากเกินกว่าปกติ 1 มิลลิโมลต่อลิตร โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Barnes et al., 2013)

(2) จุดกั้นแลคเตทที่ 2 (LT2) หรือแอนแอโรบิกเทรชโฮล (Anaerobic Threshold)

เมื่อออกกำลังกายที่ความหนักสูงเพิ่มขึ้น กล้ามเนื้อจะทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น ทำให้แลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ทัน เกิดการสะสมของปริมาณแลคเตทในเลือดที่มากกว่า 4 มิลลิโมลต่อลิตร หลังจากภาวะนี้ร่างกายจะมีระดับกรดแลคติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลต่อการทำงานของร่างกายทำให้เกิดอาการเมื่อยล้า และหยุดออกกำลังกายในที่สุด (Binder et al., 2008)



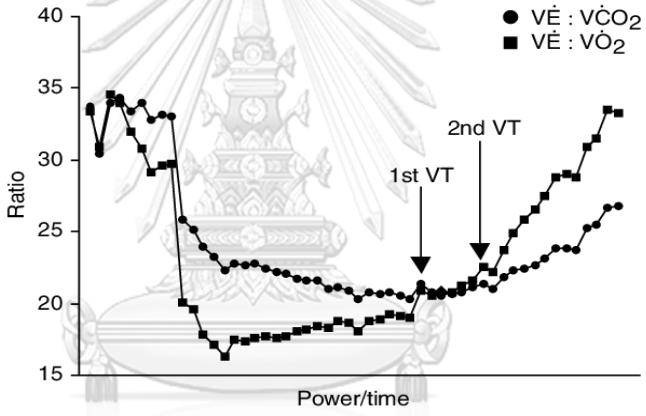
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของการสะสมของปริมาณแลคเตทในเลือด และเปอร์เซ็นต์ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Binder et al., 2008)

นอกจากนี้ การประเมินจุดเริ่มล้า ยังสามารถวัดโดยทางอ้อมจากการวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) โดยการประเมินจากระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold ; VT) คือ จุดที่ระดับความหนักในการออกกำลังกายทำให้ปริมาณความต้องการใช้ออกซิเจนสำหรับการสร้างพลังงานแอโรบิกมีมากกว่าปริมาณที่ร่างกายได้รับ ร่างกายจึงต้องใช้กลไกการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิกมาช่วยเสริมเป็นเหตุให้มีการสะสมกรดแลคติกภายในร่างกายและส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของระบบแลกเปลี่ยนก๊าซในระหว่างการออกกำลังกาย เมื่อร่างกายทำงานไปถึงจุดที่มีการขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อไม่สามารถทำได้เพียงพอต่อความต้องการในการสร้างพลังงาน กลไกการสร้างพลังงานแบบ

แอนแอโรบิก (Anaerobic glycolysis) จะเข้ามามีส่วนช่วยในการสร้างพลังงานโดยการเปลี่ยนไพรูเวต (Pyruvate) เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) ก่อให้เกิดการสะสมกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นในกล้ามเนื้อ กรดแลคติกที่เพิ่มมากขึ้นจะถูกทำให้เป็นกลาง (Buffer) โดย HCO_3 ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นและสามารถตรวจวัดได้ทันที (Wasserman et al., 1973) ดังรูปที่ 14

(1) ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (VT1) หรือแอโรบิกเทรชโฮล (Aerobic Threshold) ซึ่งสามารถบ่งบอกระดับความหนักของการออกกำลังกายได้ เช่นเดียวกับจุดกั้นแลคเตทที่ 1 (LT1)

(2) ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (VT2) หรือแอนแอโรบิกเทรชโฮล (Anaerobic Threshold) ซึ่งสามารถบ่งบอกระดับความหนักของการออกกำลังได้ เช่นเดียวกับจุดกั้นแลคเตทที่ 2 (LT2)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 14 แสดงระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (1^{st} VT) และระดับกั้นการระบายอากาศที่ 2 (2^{nd} VT) ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมดุลการหายใจ (Respiratory equivalents) ของความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake; VO_2) และการขับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide release; VCO_2) ที่มา: (Bentley et al., 2007)

นักวิจัยต่างให้ความสำคัญกับจุดกั้นแลคเตทหรือระดับกั้นการระบายอากาศ ซึ่งสามารถทดสอบโดยการออกกำลังกายที่ระดับความหนักต่ำกว่าระดับสูงสุด (Sub-maximal exercise) เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีกว่าตัวบ่งชี้ VO_2max เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของการเกิดแลคเตทจากการทำงานของระบบกล้ามเนื้อโดยตรง ซึ่งถือได้ว่า เป็นปัจจัยที่จำกัดการทำงานของกล้ามเนื้อ (Peripheral factor limitation) (Faria et al., 2005) จากการศึกษา พบว่า จุดกั้นแลคเตทที่ 2 ในนักวิ่งเทรล อยู่ที่ความหนักการออกกำลังกายประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (FernÁndez-garcía et al., 2000)

3.3 สมรรถภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ

การฝึกสมรรถภาพทางแอโรบิกมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับนักกีฬาประเภทอดทน ที่ต้องมีสมรรถภาพของระบบไหลเวียนและระบบหายใจรวมถึงระบบกล้ามเนื้อที่สูง เพื่อทำให้ร่างกายสามารถนำออกซิเจนมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มขบวนการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก การฝึกซ้อมสมรรถภาพทางแอโรบิก คือ การฝึกความทนทานของร่างกายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic endurance training) หรือการฝึกที่ร่างกายได้รับออกซิเจนและสารอาหารอย่างเพียงพอ ไม่เกิดกรดแลคติกที่ของเสียจากการเผาผลาญพลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบหัวใจและหายใจ (Cardiorespiratory) ระบบกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle) และระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular) การฝึกความสมบูรณ์ทางด้านความอดทนแบบแอโรบิก ต้องพัฒนาทั้งระบบการหัวใจและไหลเวียนเลือดควบคู่กับการพัฒนาระบบกล้ามเนื้อ เนื่องจากการทำงานทั้งสองระบบมีความสัมพันธ์กัน โดยระบบการหัวใจและไหลเวียนเลือดทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนและลำเลียงของเสียไปกำจัดทิ้ง และระบบกล้ามเนื้อทำหน้าที่ในการหดตัวให้เกิดการเคลื่อนไหวอย่างมีประสิทธิภาพต่อเนื่องและยาวนาน วิธีที่นิยมใช้ฝึก ได้แก่ การฝึกออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง (Continuous exercise/training) และการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval exercise/training) ที่ความหนักสูงสลับช่วงกับการออกกำลังกายเบา (สนธยา สีละมาด, 2555)

การประเมินสมรรถภาพทางแอโรบิก (Ehrström et al., 2018)

(1) การประเมินความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max Test)

ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen uptake; VO_2max) คือ ปริมาณสูงสุดของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ในช่วง 1 นาที มีหน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (ml/kg/min) ซึ่งความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาแต่ละคนจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับเพศ อายุ มวลกล้ามเนื้อและระดับสมรรถภาพร่างกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การประเมินความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดหรือสมรรถภาพทางแอโรบิกด้วยวิธีการออกกำลังกายร่วมการวัดอัตราการหายใจด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจหรือเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) เป็นวิธีการวัดโดยตรง (Direct method) มีความแม่นยำสูง เพื่อบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนเลือดและหายใจ ซึ่งจะแสดงถึงความสามารถในการขนส่งและใช้ออกซิเจนสูงสุดในการออกกำลังกายที่มีความหนักเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดแรง

การประเมินและทดสอบความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด ประกอบด้วยตัวแปร ความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) จะประเมินค่าเฉลี่ยในช่วง 30 วินาที ที่มีค่าสูงสุด มีหน่วยเป็น ลิตรต่อนาที อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) จะ

ประเมินค่าเฉลี่ยในช่วง 30 วินาที ที่มีค่าสูงสุด มีหน่วยเป็น ครั้งต่อนาที ปริมาณลมหายใจออกทั้งหมดใน 1 นาที (Maximal minute ventilation; VE) มีหน่วยเป็น ลิตรต่อนาที อัตราการแลกเปลี่ยนการหายใจสูงสุด (Maximal respiratory exchange ration; RER) วิเคราะห์ตัวแปรที่ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold ; VT)

(2) การวัดการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamic variables) ในขณะพักและขณะออกกำลังกาย เป็นการวัดปริมาตรเลือดสูบฉีดออกจากหัวใจต่อนาที (Cardiac output; CO) ปริมาตรเลือดที่ถูกสูบฉีดออกจากหัวใจในการบีบตัวหนึ่งครั้ง (Stroke volume; SV) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference; a-v O_2 diff) ด้วยเครื่องวัดการไหลเวียนเลือด (Impedance cardiograph device) ด้วยเครื่องมือ PhysioFlow Endoro, Manatec ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งเป็นวิธีการวัดโดยทางอ้อมที่วัดจากภายนอกร่างกาย โดยวิธีการวิเคราะห์สัญญานความต้านทานทางไฟฟ้าของทรวงอก (Thoracic Electrical Bioimpedance) ด้วยเครื่องมือ PhysioFlow Enduro เพื่อประเมินสถานะของจลศาสตร์การไหลเวียนเลือด และการทำงานของหัวใจห้องล่าง สามารถทดสอบได้ทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย (Da Ponte et al., 2018)

(3) การประเมินอัตราการรับรู้ (Borg ratings of perceived exertion; RPE) (Pollock & Wilmore, 1990)

การประเมินอัตราการรับรู้เป็นวิธีการหาอัตราการรับรู้ความหนักของงาน ซึ่งสามารถจะบอกได้ด้วยอัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการหายใจ ปริมาณเหงื่อที่ออก รวมถึงอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อนั้น สามารถที่จะบันทึกได้โดยบ่งบอกถึงความรู้สึก หรือบอกถึงการรับรู้ของความหนักงาน หรือสามารถตอบสนองกับการรับรู้ความหนักของงานที่กระทำอยู่นั้นได้ บอร์กสเกล (Borg scale) มีการกำหนดระดับความหนักของงานตามอัตราการรับรู้ไว้ 15 ระดับ และมีช่วงของคะแนนจาก 6 ถึง 20 ต่อมาได้เปลี่ยนแปลงอัตราการรับรู้เป็น 10 ระดับ โดยมีช่วงของคะแนนจาก 0 ถึง 10 ดังตารางที่ 2

ความสัมพันธ์ของอัตราการรับรู้ (RPE scale) มีความสัมพันธ์กับความเมื่อยล้า นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ระดับของกรดแลคติกในเลือด ความสามารถในการใช้ออกซิเจน และความสามารถในการระบายอากาศ เป็นต้น (Pollock & Wilmore, 1990)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 การประเมินอัตราการรับรู้ (Borg ratings of perceived exertion; RPE)

The original RPE scale		การรับรู้		New RPE scale
6	no exercise	ไม่มีการรับรู้อะไรเลย	0	Nothing at all
7	very, very light	เบามาก ๆ	0.5	very, very weak
8			1	very weak
9	very light	เบามาก	2	weak light
10			3	moderate
11	light	เบา	4	somewhat strong
12			5	strong (heavy)
13	somewhat hard	บางครั้งก็หนัก	6	
14			7	very strong
15	hard	หนัก	8	
16			9	
17	very hard	หนักมาก (เกือบจะสูงสุด)	10	very, very strong
18				(almost max)
19	very, very hard			maximal
20	maximal exercise			

ที่มา: Pollock & Wilmore, 1990

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4 การเสริมสร้างการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตแลหายใจ

การปรับตัวของร่างกายต่อการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Adaptation to aerobic exercise training) (Plowman, & Smith, 2014)

1. การปรับตัวของระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular adaptations) ระบบไหลเวียนโลหิต หมายถึง ระบบการขนส่งของร่างกายทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจน น้ำและอาหารไปสู่เซลล์ต่างๆ ของร่างกาย และนำของเสีย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์และเมตะบอไลต์จากเซลล์ของอวัยวะต่างๆ ไปเปลี่ยนแปลงหรือขับทิ้งที่ปอด ไต และตับ ระบบไหลเวียนโลหิตประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ได้แก่ เลือด (Blood) หัวใจ (Heart) หลอดเลือด (Blood vessels) และระบบน้ำเหลือง (Lymphatic system) ซึ่งทำงานประสานกันตลอดเวลา ระบบไหลเวียนโลหิตมีหน้าที่ปรับการไหลเวียนของโลหิตระหว่างการออกกำลังกายให้เพียงพอกับความต้องการของอัตรา

การใช้พลังงานของร่างกายการออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีผลทำให้เกิดการปรับตัวของระบบไหลเวียนโลหิต (Le Goff et al., 2021) ดังต่อไปนี้

• ขนาดของหัวใจ (Heart size)

เมื่อมีการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกระยะยาว กล้ามเนื้อหัวใจจะมีการปรับเปลี่ยนรูปร่าง (Morphological adaptations) ซึ่งทำให้กล้ามเนื้อหัวใจหนาตัวขึ้น (Myocardial wall thickness) โดยมีการเพิ่มขึ้นทั้งน้ำหนัก (Mass) และปริมาตร (Volume) ของหัวใจ ขนาดของห้องหัวใจด้านล่างซ้าย (Left ventricular chamber size) เพิ่มขึ้น ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดในหัวใจก่อนบีบตัว (End diastolic volume; EDV) ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของหัวใจสูงสุด (VO_2max)

• อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate; HR) (Wilder et al., 2006)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีผลทำให้ร่างกายปรับตัวโดยการมีอัตราการเต้นหัวใจขณะพักลดลงอย่างมาก หากผู้ที่ไม่ค่อยออกกำลังกายมีอัตราการเต้นของหัวใจ 80 ครั้ง/นาที ได้รับการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกในแต่ละสัปดาห์อย่างสม่ำเสมอ จะมีอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลง ประมาณ 1 ครั้ง/นาที ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic activity) และมีการลดการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic activity) แต่สำหรับผู้ได้รับการฝึกเป็นอย่างดีจะมีการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจที่มากกว่าโดยลดลงประมาณ 5 ครั้ง/นาทีภายหลังการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นเวลา 20 สัปดาห์ในผู้ที่ฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกต่ำกว่าระดับสูงสุด (Submaximal exercise) จะมีอัตราการเต้นของหัวใจต่ำลงเมื่อเทียบกับก่อนฝึก โดยการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกนาน 6 เดือน ที่ความหนักระดับปานกลางจะมีผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลง 10 – 30 ครั้ง/นาทีเมื่อออกกำลังกายแบบแอโรบิกต่ำกว่าระดับสูงสุดที่ความหนักระดับสูงกว่าจะให้ผลการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายที่มากกว่าด้วย บ่งชี้ว่าผู้ที่ออกกำลังกายแบบแอโรบิกจะมีการทำงานของหัวใจที่ต่ำลง กล่าวคือ มีอัตราการเต้นของหัวใจช้าลง แต่มีปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงขึ้น แสดงถึงหัวใจมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximal Heart Rate; HRmax) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก แต่พบว่านักกีฬาที่ฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกจะมีอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ต่ำกว่าผู้ที่ไม่ได้ฝึกในระดับอายุเดียวกัน

• ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (Stroke Volume; SV) (Wilder et al., 2006)

ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้น ซึ่งพบทั้งขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด (Submaximal exercise) และระดับ

สูงสุด (Maximal exercise) โดยหัวใจมีขนาดโตขึ้นทำให้มีแรงบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจมากขึ้น และมีปริมาตรเลือดเพิ่มมากขึ้นจากการมีปริมาตรเลือดเข้าสู่หัวใจ (Diastolic filling) มากขึ้น เป็นผลให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดในหัวใจก่อนบีบตัว และมีการลดลงของปริมาณเลือดในหัวใจหลังบีบตัว (End Systolic Volume; ESV) (Wilder et al., 2006)

• อัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac Output; CO)

ภายหลังจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก อัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือลดลงเล็กน้อยทั้งขณะพักและขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด อันเนื่องมาจากการที่มีอัตราการเต้นของหัวใจลดลง ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (Arterial – mixed venous oxygen difference; [a – v] O2 difference) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของการนำออกซิเจนเข้าสู่เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ หรือมีอัตราการใช้ออกซิเจน (O2 consumption) ต่ำลง อันเป็นผลมาจากการทำงานเชิงกลของหัวใจที่มีประสิทธิภาพ และมีปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที ขณะออกกำลังกายสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งเพิ่มขึ้นขณะที่อัตราการเต้นของหัวใจมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในผู้ที่ไม่ได้ฝึกจะมีอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุดอยู่ในช่วง 4 – 20 ลิตร/นาที แต่ในผู้ที่ฝึกดีแล้ว หรือนักกีฬาประเภทแอโรบิกจะมีอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที อยู่ในช่วง 25 – 35 ลิตร/นาทีจนถึง 40 ลิตร/นาที (Stucky et al., 2018)

• อัตราการไหลของเลือด (Blood flow)

ภายหลังจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก อัตราการไหลของเลือดที่ส่งไปยังกล้ามเนื้อที่ออกกำลังกายจะเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ออกซิเจนที่เพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของเลือดภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกยังเป็นผลมาจากการสร้าง และการระดม การทำงานของหลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้อที่ฝึกเพิ่มขึ้น มีการเพิ่มปริมาตรของเลือด (Blood volume) และจัดสรรอัตราการไหลของเลือด (Blood flow distribution) ไปยังอวัยวะที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ (H. Mairbäurl, 2013)

• ความดันโลหิต (Blood pressure)

ภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก ความดันของหลอดเลือดแดงจะลดลงขณะออกกำลังกายความหนักที่ระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด แต่ขณะออกกำลังกายความหนักที่ระดับสูงสุดความดันซิสโตลิคจะเพิ่มขึ้น และความดันไดแอสโตลิคจะต่ำลง ส่วนความดันโลหิตขณะพักในผู้ที่มีสุขภาพดีจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ลดต่ำลงในผู้ที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงระดับปานกลาง

โดยจะลดลงประมาณ 6 – 7 มิลลิเมตรปรอททั้งความดันซิสโตลิค และความดันไดแอสโตลิค (Prescott & Liberles, 2022)

• เลือด (Blood)

การฝึกการออกกำลังกายแบบแอโรบิกทำให้ปริมาตรพลาสมา (Plasma volume) เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนโปรตีนในพลาสมาโดยเฉพาะอัลบูมิน (Albumin) ซึ่งเป็นแหล่งหลักของความดันออสโมติกในหลอดเลือด และในระยะต่อมาจะมีการสร้างโปรตีนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ มีการหลั่งฮอร์โมนแอนตี้ไดยูเรติก (Antidiuretic hormone) จากต่อมใต้สมองส่วนหลัง (Posterior pituitary gland) และอัลโดสเตอโรน (Aldosterone) จากต่อมหมวกไต (Adrenal gland) ส่งผลให้มีการดูดซึมน้ำ และโซเดียมกลับสู่ท่อไต ทำให้ระดับของพลาสมาในเลือดเพิ่มขึ้น สารน้ำที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ในช่องว่างหลอดเลือด (Vascular space) โดยความดันออนโคติก (Oncotic pressure) นอกจากนี้ เม็ดเลือดแดง (Red blood cell) มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาตรพลาสมา อย่างไรก็ตาม ค่าฮีมาโทคริต [สัดส่วนของปริมาณเม็ดเลือดแดงต่อปริมาตรเลือดทั้งหมด (Total blood volume)] อาจมีค่าลดต่ำลง ความหนืดของเลือด (Blood viscosity) ลดลง มีผลทำให้สามารถขนส่งออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อที่กำลังหดตัวขณะออกกำลังกายนั้นได้ดี (Heimo Mairbäurl, 2013)

• ความต้านทานรวมส่วนปลาย (Total Peripheral Resistance; TPR)

ภายหลังจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก ความต้านทานรวมส่วนปลายไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในขณะพักและขณะการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด แต่มีค่าลดต่ำลงในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับสูงสุด ซึ่งเป็นผลมาจากเพิ่มการไหลของเลือดในหลอดเลือดฝอยสำรอง และหลอดเลือดฝอย (Capillarization) ภายในกล้ามเนื้อลาย (Falkner, 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

• เรทเพลสเซอร์โพรดักท์ (Rate–Pressure Product; RPP)

เรทเพลสเซอร์โพรดักท์ หมายถึง ผลคูณของอัตราการเต้นของหัวใจ และความดันซิสโตลิก (RPP = HR x SBP) ซึ่งบ่งชี้ถึงภาวะความต้องการการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อหัวใจ เรทเพลสเซอร์โพรดักท์ จะมีค่าต่ำลงในขณะพัก และขณะการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด แต่ไม่เปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับสูงสุด (Yazdani et al., 2020)

2. การปรับตัวของระบบหายใจ (Respiratory adaptations)

ระบบหายใจ หมายถึง ระบบการนำออกซิเจนไปสู่เซลล์และนำคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากเซลล์ระบบหายใจประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ทางเดินอากาศ (Conducting airways) ปอด (Lung) และถุงลม (Alveoli) ซึ่งเป็นบริเวณที่ประกอบด้วยหลอดเลือดฝอยที่นำเลือด

มาแลกเปลี่ยนออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบหายใจต้องทำงานร่วมกันกับระบบอื่นๆ ได้แก่ ระบบไหลเวียนโลหิต โดยเลือดจะนำแก๊สออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย และนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปแลกเปลี่ยนที่ปอด ถุงลมจะต้องขยายหรือหดตัวเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศเป็นผลให้อากาศไหลเข้า หรือออกจากปอดได้ ปอดต้องอาศัยระบบกล้ามเนื้อทรวงอก และกะบังลมเพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรของทรวงอก และอาศัยระบบประสาทสำหรับควบคุมอัตราการหายใจด้วยการสั่งงานไปยังระบบกล้ามเนื้ออีกต่อหนึ่ง การออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีผลทำให้เกิดการปรับตัวของระบบหายใจ (Halabchi et al., 2017) ดังต่อไปนี้

• การระบายอากาศของปอด (Pulmonary ventilation)

ภายหลังจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก การระบายอากาศของปอดไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในขณะพัก แม้ว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกจะไม่ทำให้โครงสร้างทางสรีรวิทยาของปอดเปลี่ยนแปลง แต่พบว่าเมื่อออกกำลังกายความหนักระดับต่ำกว่าระดับสูงสุดการระบายอากาศสูงขึ้น เมื่อการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสุด การระบายอากาศของปอดสูงสุด (Maximal pulmonary ventilation) จะเพิ่มมากขึ้นจากประมาณ 100 – 120 ลิตร/นาทีในผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก แต่เพิ่มขึ้นเป็น 130 – 150 ลิตร/นาที หรือมากกว่าในผู้ที่ได้รับการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก โดยจะเพิ่มมากขึ้นในผู้ที่เป็นนักกีฬา การเพิ่มการระบายอากาศภายหลังจากการฝึกการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนี้ เกิดจากการเพิ่มทั้งปริมาตรการหายใจปกติ (Tidal volume) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรของอากาศหายใจเข้า – ออกแต่ละครั้ง และความถี่ของการหายใจ (Respiratory frequency) (Murias et al., 2014)

• ความสามารถในการแพร่กระจายแก๊สในปอด (Pulmonary diffusion)

ภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก การแลกเปลี่ยนแก๊สภายในถุงลมจะไม่เปลี่ยนแปลงขณะพัก และขณะออกกำลังกายที่ความหนักระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากมีการเพิ่มการไหลของเลือดที่ออกจากหัวใจไปยังปอด (Lung perfusion) ทำให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สมากขึ้น ประกอบกับมีการเพิ่มการระบายอากาศที่ทำให้อากาศไปที่ปอดมากขึ้น จึงส่งผลทำให้การแลกเปลี่ยนแก๊สภายในปอดมากขึ้นด้วย (Hegewald, 2009)

• ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดง และหลอดเลือดดำ (Arterial–mixed venous oxygen difference; [a – v] O2 difference)

ภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสุด เป็นผลมาจากเลือดในหลอดเลือดดำที่ไหลกลับสู่หัวใจมีออกซิเจนน้อย เนื่องจากเนื้อเยื่อดึง

ออกซิเจนไปใช้ได้ดีและมีการแบ่งจ่ายปริมาณเลือด (Distribution of blood flow) ไปยังเนื้อเยื่อที่ทำงานอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Glenny & Robertson, 2011)

3. การปรับตัวของระบบเมตะบอลิก (Metabolic adaptations)

• ระดับกั้นแลคเตท (Lactate threshold)

ระดับกั้นแลคเตทเป็นตัวชี้วัดทางสรีรวิทยาของความสามารถทางแอโรบิก (Aerobic endurance performance) ภายหลังการฝึกแบบแอโรบิกแลคเตทจะมีค่าที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่าความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดที่ต่ำกว่าในงานที่ระดับความหนักเดียวกัน ซึ่งหมายถึง การมีพลังแอโรบิก (Aerobic power) ที่ดีขึ้น หรือมีการลดลงของการสร้างพลังงานจากระบบไกลโคไลซิส (Glycolytic system) (Green, 1992)

• สัดส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ (Respiratory Exchange Ratio; RER)

สัดส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจเป็นสัดส่วนของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide released) ออกมา และรับเอาออกซิเจน (Oxygen consumed) เข้าไประหว่างการเมตะบอลิสม ซึ่งบ่งชี้ถึงชนิดของสารตั้งต้นที่เป็นแหล่งการสร้างพลังงานนั้น สัดส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจจะมีค่าลดลงเมื่อออกกำลังกายที่ความหนักระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด ในการออกกำลังกายที่ความหนักระดับนี้ ร่างกายจะปรับตัวใช้กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) เป็นแหล่งพลังงานมากกว่าใช้คาร์โบไฮเดรตทำให้มีการเผาผลาญไขมันมากขึ้น (Yazdani et al., 2020)

• การใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption; VO2)

การใช้ออกซิเจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงในขณะพัก และขณะออกกำลังกายที่ความหนักระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของความคุ้มค่าในการออกกำลังกาย (Exercise economy) กล่าวคือ การออกกำลังกายที่ระดับความหนักเดียวกันแต่มีการใช้พลังงานของร่างกายที่น้อยกว่า สำหรับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO2max) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ดีที่สุดของความสามารถทางระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ภายหลังจากฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักประมาณ 50 – 85 % ของการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นเวลา 20 – 60 นาทีต่อวัน จำนวน 3 – 5 วันต่อสัปดาห์ ต่อเนื่องนาน 6 เดือน การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกทำให้ขนาดของหัวใจใหญ่ขึ้น อัตราการไหลของเลือดดีขึ้น เลือดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อ และมีค่าความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดง และหลอดเลือดดำสูงขึ้นในขณะออกกำลังกาย (Ferley et al., 2013)

• หน้าที่ของไมโทคอนเดรีย (Mitochondrial function)

ไมโทคอนเดรียจะมีการพัฒนาขึ้นภายหลังการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก ทำให้ร่างกายมีความสามารถในการใช้ออกซิเจน และสร้างเอทีพีได้ดีและมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการที่มีการเพิ่มทั้งจำนวนและขนาดของไมโทคอนเดรียในกล้ามเนื้อ ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นตามปริมาณ (Volume) ของการฝึกที่เพิ่มขึ้น (Monzel et al., 2023)

• เอนไซม์ออกซิเดทีฟ (Oxidative enzymes)

การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกทำให้มีการเพิ่มจำนวน และขนาดของไมโทคอนเดรียในใยกล้ามเนื้อดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งการสร้างพลังงานของเอนไซม์ไมโทคอนเดรียนั้น ต้องอาศัยการทำงานของเอนไซม์ไมโทคอนเดรียออกซิเดทีฟ (Mitochondria oxidative enzymes) ได้แก่ ซัคซิเนทดีไฮโดรจิเนส (Succinate dehydrogenase; SDH) และซิเทรทซินเทส (Citrate synthase) เพื่อใช้ในการสลายสารอาหารให้ไปเป็นเอทีพี เอนไซม์ดังกล่าวจะมีระดับสูงมากภายหลังจากการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Knaus, 2021)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ (ดรุณวรรณ สุขสม, 2562) ดังนี้

1. การสร้างเสริมสมรรถภาพทางกายของหัวใจและปอด

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างสม่ำเสมอช่วยสร้างเสริมสมรรถภาพของหัวใจและปอด โดยเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจน จากการที่หัวใจต้องสูบฉีดโลหิตเพื่อนำออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อให้เพียงพอขณะออกกำลังกายซ้ำๆ ส่งผลให้หัวใจ หลอดเลือด ปอด และกล้ามเนื้อ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ลดความเสี่ยงในการเกิดปัญหาทางสุขภาพ

การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคมะเร็งเต้านม และโรคมะเร็งลำไส้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยลดความดันโลหิต ปรับปรุงไขมันในเลือด โดยเพิ่มไขมันดี (HDL-cholesterol) และลดไขมันไม่ดี (LDL-cholesterol) อีกทั้งยังช่วยลดความกังวล ความเครียด และภาวะซึมเศร้า ส่งผลให้มีสุขภาพแข็งแรง สุขภาวะและคุณภาพชีวิตดีขึ้น

3. ควบคุมน้ำหนัก

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นเวลา 30 – 60 นาที ที่ความหนักระดับปานกลาง ช่วยในการเผาผลาญพลังงานได้เป็นอย่างดี

4. สร้างเสริมสุขภาพกระดูกและกล้ามเนื้อ

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ลงน้ำหนักตัว เช่น เดินเร็ว สามารถลดปัจจัยเสี่ยงของการเป็นโรคข้อเสื่อม อาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรังและเยื่อพังผืด และอาการปวดกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นผลจาก

การเพิ่มการสร้างหลอดเลือดใหม่เล็กๆ ในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ทำมห้กล้ามเนื้อได้รับออกซิเจนได้เพิ่มขึ้น และนำของเสีย (Waste product) ออกจากกล้ามเนื้อได้ดีขึ้น

4. สารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry)

ในการศึกษาวิจัยนี้ มีการเก็บตัวอย่างเลือดของนักวิ่งเทรลเพื่อใช้วิเคราะห์สารเคมีในเลือด ดังนี้

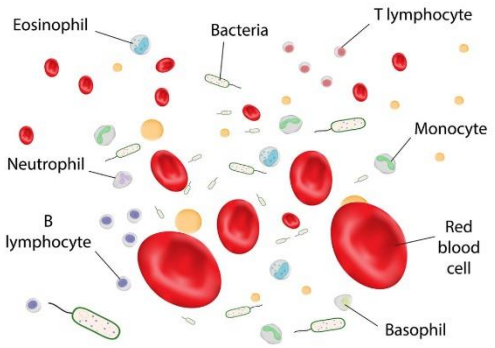
(1) องค์ประกอบของเลือด (Compete blood count; CBC) ประกอบด้วยพลาสมา (Plasma) เซลล์เม็ดเลือดขาว (White blood cell; WBC) เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell; RBC) (Lemire et al., 2021)

- พลาสมา (Plasma) คือค่าหนึ่งของผลการตรวจเป็นของเหลวที่ร่างกายสร้างขึ้นพร้อมกับเลือด เพื่ออำนวยความสะดวกให้เลือดในการไหลเวียน พลาสมาประกอบด้วย 90% และอีก 10% เป็นโปรตีน วิตามินและแร่ธาตุ สารชีวโมเลกุลในการสร้างลิ่มเลือด ฮอร์โมน สารชีวโมเลกุลที่เป็นภูมิต้านทาน และสารของเสียที่ร่างกายผลิตขึ้นมาและติดปะปนมากับอาหาร

- เซลล์เม็ดเลือดขาว (White blood cell; WBC) คือค่าหนึ่งของผลการตรวจเป็นกลุ่มเซลล์เม็ดเลือดที่มีบทบาทหน้าที่สำคัญในการฆ่าหรือทำลายจุลชีพก่อโรคที่เข้าสู่ร่างกายหรือเซลล์ในร่างกายที่กลายพันธุ์ไปเป็นเซลล์มะเร็งก็อาจถูกทำลายได้ เซลล์เม็ดเลือดขาวมีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำเลือด (Heimo Mairbäurl, 2013)

- เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell; RBC) คือค่าหนึ่งของผลการตรวจ คือเม็ดเลือดที่มีสีแดง เนื้อเม็ดเลือดสร้างด้วยโปรตีนมีรูปร่างคล้ายจานกลมเว้าตรงกลางเข้าหากันทั้งสองด้าน เพื่อที่จะมีพื้นที่ผิวให้มากที่สุดในการจับออกซิเจนจากปอดส่งต่อให้ทุกเซลล์ในร่างกายอย่างเพียงพอ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7.8 ไมครอน ความหนาขอบประมาณ 2.6 ไมครอนและตรงกลางประมาณ 0.8 ไมครอน (May et al., 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 15 องค์ประกอบของเลือด (Compete blood count; CBC)
ที่มา: (May et al., 2019)

ซึ่งค่า CBC จะสามารถบ่งบอกถึงโรคโลหิตจาง หรือภาวะธาลัสซีเมีย และมะเร็งเม็ดเลือดขาวได้ โดยจะแยกย่อยเป็นค่าต่าง ๆ ดังนี้

- ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin; Hb) เป็นค่าระดับโปรตีนในเซลล์เม็ดเลือดแดง บ่งบอกถึงความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ในร่างกายของเม็ดเลือดแดง ค่าปกติของฮีโมโกลบินในผู้ชาย 13 – 17.4 กรัมต่อดีซีลิตร (g/dL) ในผู้หญิง 12 – 16 กรัมต่อดีซีลิตร (g/dL) หากมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน บ่งบอกได้ว่ามีภาวะเลือดเข้น หรือค่าต่ำกว่ามาตรฐาน บ่งบอกได้ว่ามีภาวะโลหิตจาง

- ฮีมาโทคริต (Hematocrit; HCT) เป็นค่าประมาณความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงต่อปริมาตรของเลือดทั้งหมด ซึ่งค่านี้จะแสดงโดยการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าปกติของฮีมาโทคริตในผู้ชาย 40 – 50% ในผู้หญิง 35 – 47% หากค่าสูงกว่ามาตรฐาน บ่งบอกได้ว่ามีภาวะเลือดข้น หรือต่ำกว่ามาตรฐาน บ่งบอกได้ว่าภาวะโลหิจจาง

- จำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว (White blood cell count; WBC) ในผู้ที่มีร่างกายปกติควรมีเม็ดเลือดขาวประมาณ 4,500 – 10,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (cell/ml) หากค่าสูงกว่ามาตรฐาน อาจบ่งบอกถึงภาวะการติดเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัสต่างๆ ในร่างกาย หรือต่ำกว่ามาตรฐาน บ่งบอกได้ว่ามีความเสี่ยงติดเชื้อได้ง่ายกว่าคนทั่วไป

(2) ปริมาณไขมันในเลือด (Lipid profiles) (May et al., 2019) ได้แก่

- คอลเลสเตอรอล ไม่ควรเกิน 200 มิลลิกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร

- ไฮเดนซิลี้ไลโปโปรตีน (High Density Lipoprotein; HDL) ทำหน้าที่ขนส่งโคเลสเตอรรอลจากเซลล์ต่างๆ ไปทำลายที่ตับ เรียกว่าไขมันดี ยิ่งมีมากยิ่งดี การออกกำลังกายยิ่งทำให้ HDL สูงขึ้น ทำให้ร่างกายแข็งแรงมากขึ้น

- โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (Low Density Lipoprotein; LDL) มีส่วนประกอบของโคเลสเตอรอลในปริมาณสูง เรียกว่าไขมันไม่ดี ยิ่งมีมากยิ่งมีโรค

- ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride; TG) ไม่ควรเกิน 150 มิลลิกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร หากมีค่ามากจะทำให้หลอดเลือดแดงแข็งตัว ถ้าหาก TG สูงร่วมกับ HDL ในเลือดต่ำจะเพิ่มอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจและโรคอื่นๆ มากขึ้น

(3) ระดับน้ำตาลในเลือด (Fasting blood glucose) (Methenitis et al., 2022) หรือการตรวจระดับน้ำตาลในเลือดหลังงดอาหาร 8 ชั่วโมง เป็นการตรวจระดับน้ำตาลในเลือดในระยะ 2-3 วันที่ผ่านมา โดยส่วนใหญ่จะตรวจในช่วงเช้าเพราะระดับน้ำตาลในเลือดจะอยู่ในจุดที่ต่ำที่สุดหลังงดอาหารมาหนึ่งคืน ค่าเฉลี่ยนี้จะผันผวนได้ตลอดทั้งวัน ขึ้นอยู่กับภาวะต่างๆ เช่น ความเครียด หรือการกินอาหารบางประเภท หากมีระดับน้ำตาลกลูโคสต่ำกว่า 100 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ถือว่าอยู่ในระดับปกติ หากมีระดับน้ำตาลกลูโคส 100 – 125 มิลลิกรัม/เดซิลิตร จัดเป็นกลุ่มเสี่ยงโรคเบาหวาน ควรปรับเปลี่ยน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พฤติกรรมและการกินอาหารทันที ถ้ามีระดับน้ำตาลกลูโคสตั้งแต่ 126 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ถือว่าเป็นโรคเบาหวานแล้ว ควรเข้าพบแพทย์เพื่อรับการรักษา

(4) อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6) (Giandolini et al., 2016) เป็นไซโตไคน์สำคัญที่สร้างมาจากเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดแม็คโครฟาจ เซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์กระดูก เพื่อกระตุ้นการสร้างแอนติบอดีชิง B cell กระตุ้นการพัฒนาของ T cell กระตุ้นการสร้าง Acute phase protein ในตับ กระตุ้นการสร้างกระดูกและหลอดเลือด รวมทั้งเพิ่มการขยายตัวของหลอดเลือด นอกจากนี้ IL-6 ยังทำให้มีการอักเสบของเนื้อเยื่อมนร่างกายได้อีกด้วย เช่น โรคข้ออักเสบ โรคติดเชื้อแบคทีเรีย โรคหอบหืด เป็นต้น โดยปริมาณ IL-6 สามารถบ่งชี้เบื้องต้นว่ามีการอักเสบแบบเฉียบพลัน โดยค่าปกติของ IL-6 เท่ากับ 0 - 7 pg/ml ข้อจำกัดของการทดสอบ (sensitivity/specificity) จะมีค่าต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ 1.5 pg/ml

(5) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatinine phosphokinase; CPK) (Heikki Kyröläinen et al., 2018) เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญของการเร่งปฏิกิริยาชีวเคมีในการแลกเปลี่ยนสารพลังงานภายในเซลล์ โดยเอนไซม์ครีเอทีนไคเนสทำหน้าที่สลายครีเอทีนให้เป็นครีเอทีนฟอสเฟตทำให้ได้เอทีพี (ATP) ซึ่งเป็นสารพลังงานที่ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้ เอนไซม์ครีเอทีนไคเนสมีโครงสร้างประกอบขึ้นด้วย 2 หน่วยย่อย (Dimmer) คือ M และ B ด้วยลักษณะนี้จึงทำให้เกิดไอโซเอมไซม์ (Isoenzyme) ได้ 3 แบบ คือ CK-BB (Brain type) พบมากในสมอง CK-MB (Cardiac type) พบมากในกล้ามเนื้อหัวใจ และ CK-MM (Muscle type) พบมากในกล้ามเนื้อลาย ในภาวะปกติค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนสในกระแสเลือดที่ตรวจมีสัดส่วนของ CK-MM มีค่าประมาณ 96 – 100 เปอร์เซ็นต์ CK-MB มีค่าประมาณ 0 – 6 เปอร์เซ็นต์ และ CK-BB มีค่า 0 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนสในกระแสเลือดที่ตรวจ พบในคนปกติจะเป็นค่า CK-MM ส่วนใหญ่ ดังนั้น หากค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนสสูง ก็จะสามารถบ่งบอกว่ามีค่า CK-MM สูง แสดงว่ามีอันตรายเกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อหรือมีการสลายของกล้ามเนื้อเกิดขึ้น

(6) มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) (Bańkowski et al., 2022) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้เซลล์ของร่างกายเกิดความไม่สมดุลของอิเล็กตรอน (Unpaired electron) อันเกิดมาจากการที่อนุมูลอิสระเหล่านั้นเข้าไปแย่งอิเล็กตรอนจากออกซิเจน (Reduced oxygen) ในร่างกาย เกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของไขมัน (Lipid peroxidation) โดยเริ่มต้นจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างอนุมูลไฮดรอกซี (Hydroxyl radical,-OH) เข้าทำปฏิกิริยากับไขมันไม่อิ่มตัวบนเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เกิดน้ำและอนุมูลอิสระไขมัน ซึ่งถูกดึงไฮโดรเจนออกและจัดเรียงพันธะใหม่ ทำให้ได้ไขมันสองพันธะคู่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ของไขมัน (Lipid peroxyl radical) จากนั้นก็จะถูกเปลี่ยนไปไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของไขมัน (Lipid hydroperoxide) และเอนโดเปอร์ออกไซด์ (Endoperoxide) และเป็นมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA)

(7) ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) (Bańkowski et al., 2022) คือ เป็นเอนไซม์ที่ป้องกันการออกซิไดส์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิยาดิสมิวเทชัน (Dismutation reaction) พบ SOD ในสิ่งมีชิวิตทั่วไป มีความสำคัญในการป้องกันองค์ประกอบของเซลล์ถูกทำลายเนื่องจาก O_2 เช่น ป้องกันการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของไขมัน (Lipid peroxidation) และไลโปโปรตีน (Lipoprotein) ทำลาย DNA, การแบ่งเซลล์, ลดความว่องไวของเอมไซม์ นอกจากนี้ ยังช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น ความแก่, เส้นเลือดอุดตัน, มะเร็งและภูมิคุ้มกันบกพร่องเพราะความแก่ หรือกล่าวง่ายๆ คือ เอนไซม์ที่ดีที่สุดในการต่อต้านอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเผาผลาญและใช้พลังงานภายในเซลล์ เอนไซม์ชนิดนี้มีอยู่ในร่างกายตั้งแต่แรกเกิด แต่จะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ เมื่ออายุมากขึ้น

5. การฝึกออกกำลังกายในกีฬาประเภทอดทน (Endurance athletes training)

สำหรับนักกีฬาประเภทอดทนที่ต้องรักษาระดับความเร็วและความแข็งแรงในการเคลื่อนไหวตลอดการแข่งขัน (สนธยา สีละมาด, 2555) จากการฝึกหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล การฝึกในความร้อน การยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง การฝึกแบบแรงต้านสูงสุด หรือพลัยโอเมตริก และทักษะการเคลื่อนไหวแบบเฉพาะเจาะจง เป็นต้น (Paton and Hopkins, 2004) โดยพิจารณาจากความหนัก ปริมาณ และเวลาที่มากพอ ในการฝึกเพื่อการพัฒนาระบบประสาทกล้ามเนื้อ ระบบเผาผลาญพลังงาน และสมรรถภาพไหลเวียนโลหิตและหายใจของนักวิ่ง หรือมากกว่านั้น (Barnes and kilding, 2015)

ตารางที่ 3 โซนความหนักในการออกกำลังกาย

Zone 1	Low intensity	1 – 24 h	~ 70% of the maximal heart rate
Zone 2	Moderate intensity	60 min	~ 80–90% of the maximal heart rate
Zone 3	High intensity	15 – 30 min	> 90% of maximal heart rate

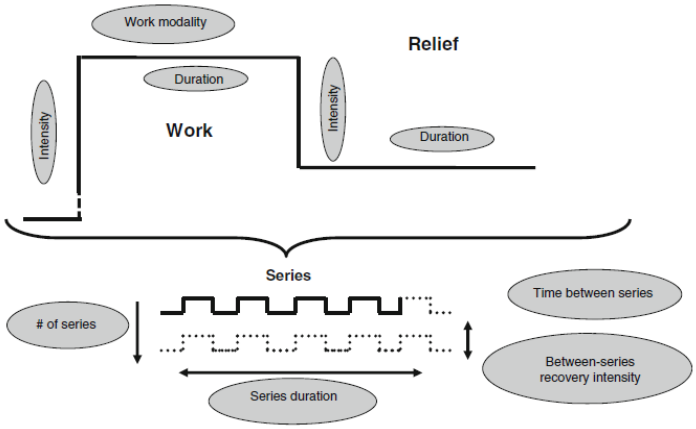
ที่มา: Stöggl, 2018

5.1 การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity interval training)

การฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High intensity interval training; HIIT) คือ การฝึกที่มีช่วงความหนักสูงสลับกับช่วงที่มีการออกกำลังกายเบาหรือหยุดพัก การฝึกลักษณะนี้จะมีผลต่อการพัฒนาระบบสมรรถภาพไหลเวียนโลหิตแลหายใจ หรือความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน จึงเป็นเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับนักกีฬา ซึ่งไม่เน้นปริมาณการฝึกแต่เน้นความหนักในการฝึก และใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถสูงสุดต่อชนิดกีฬาประเภทอดทนได้ การฝึกด้วยโปรแกรมฝึกแบบสลับช่วง อาจให้ผลที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับ

รูปแบบการฝึก ชนิดการออกกำลังกาย ระดับความหนัก ช่วงเวลาการฝึกและการพัก จำนวนครั้ง จำนวนรอบ รวมถึงการพักระหว่างช่วงทั้งหมดและความหนักในช่วงพัก (Schaun et al., 2018)

1. องค์ประกอบของการฝึกแบบสลับช่วง (Variables of interval training) ประกอบด้วยตัวแปร 9 ประการ คือความหนักของช่วงการทำงาน (Work interval intensity) ระยะเวลาของช่วงการทำงาน (Work interval duration) ความหนักของช่วงออกกำลังกายเบา (Relief interval intensity) ระยะเวลาของช่วงออกกำลังกายเบา (Relief interval duration) ชนิดของการออกกำลังกาย (Exercise modality) จำนวนครั้งของการทำซ้ำ (Number of repetitions) จำนวนชุดการฝึก (Number of series) ความหนักของการฟื้นสภาพระหว่างชุดการฝึก (Between-series recovery intensity) ระยะเวลาของการฟื้นสภาพระหว่างชุดการฝึก (Between-series recovery duration) ดังแสดงในรูปที่ 15 (Buchheit & Laursen, 2013)



รูปที่ 16 องค์ประกอบของตัวแปรการฝึกความหนักสลับช่วง (Variables of interval training) (Buchheit & Laursen, 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. รูปแบบการฝึกสลับช่วง (Interval training formats)

รูปแบบการฝึกสลับช่วง โดยใช้ความหนักสูงในการฝึก สามารถแบ่งรูปแบบออกตามการตอบสนองทางสรีรวิทยาแบบฉับพลัน เป็น 6 รูปแบบ ดังนี้ (Buchheit and Laursen, 2013) ดังแสดงรูปที่ 16

รูปแบบที่ 1 การฝึกแบบสลับช่วงที่ใช้ระยะเวลาสั้น (Short interval) เวลาน้อยกว่า 60 วินาที เป็นการฝึกเพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) ในระบบที่ใช้ออกซิเจน (Oxygen system) เป็นการกระตุ้นให้เกิดระบบการขนส่งและการใช้ออกซิเจน ได้แก่ ระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary system) และระบบการทำงานของเอนไซม์ของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Oxidative muscle fibers) (Astorino et al., 2012)

รูปแบบที่ 2 การฝึกแบบสลับช่วงที่ใช้ระยะเวลาสั้น (Short interval) เวลาน้อยกว่า 60 วินาที เช่นเดียวกับรูปแบบ 1 เป็น การฝึกเพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) และระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular) เป็นการการกระตุ้นการใช้พลังงาน แต่มีระดับของการเกิดความเค้นของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular strain) ร่วมด้วย (García-Pinillos et al., 2017)

รูปแบบที่ 3 การฝึกแบบสลับช่วงที่ใช้ระยะเวลายาวนาน (Long interval) เวลามากกว่าหรือเท่ากับ 60 วินาที การฝึกเพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) เช่นเดียวกับรูปแบบ 1 แต่มีส่วนร่วมของการทำงานในระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic glycolytic energy) เป็นอย่างมาก (García-Pinillos et al., 2017)

รูปแบบที่ 4 การฝึกแบบใช้ความเร็วสูงสุดซ้ำ (Repeated-sprint training; RST) เป็นการฝึกที่ให้นักกีฬาฝึกด้านความหนักหรือความเร็วสูงสุดหรือเกือบสูงสุดในแต่ละเที่ยว และช่วงพักค่อนข้างนาน จนนักกีฬาหายเหนื่อยแล้วจึงฝึกเที่ยวต่อไป เพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) เช่นเดียวกับรูปแบบ 3 ร่วมกับมีความหนักในการกระตุ้นของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Trowell et al., 2020)

รูปแบบที่ 5 การฝึกแบบสลับช่วงด้วยความเร็วสูงสุด (Sprint interval training; SIT) เป็นแบบฝึกด้วยการเร่งความเร็ว เพื่อกระตุ้นการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic) ที่มีความสำคัญยิ่งในระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic glycolytic energy) และเกิดการกระตุ้นระบบประสาทกล้ามเนื้อเป็นอย่างมาก เป็นรูปแบบการฝึกใช้ในการสร้างความเร็วสูงสุด (Nummela et al., 2008)

รูปแบบที่ 6 การฝึกความแข็งแรงแบบรวดเร็ว (Speed strength training) เป็นการฝึกเพื่อกระตุ้นความเค้นของเส้นใยระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular strain) (Vorup et al., 2016)

สรุปข้อดีของการฝึกด้วยแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity interval training; HIIT) การฝึกด้วยแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมีประสิทธิภาพการฝึก (Effective) ต่อประสิทธิภาพของนักวิ่งเทรล (Basnes et al., 2013) ดังนี้

1.เพิ่มความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_2max)

2.เพิ่มจุดกั้นแลคเตท (Lactate threshold)

3.เพิ่มความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic power)

4.เพิ่มระยะเวลาการทำงานก่อนถึงจุดเมื่อยล้า (Time to exhaustion)

5.เพิ่มความสามารถการบัฟเฟอริ่ง (Buffering capacity)

6.เพิ่มความสามารถทางกีฬา (Time trial performance)

การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) เป็นรูปแบบการฝึกแบบช่วงสลับช่วงความหนักสูง ในขณะวิ่งขึ้นเขาสลับกับวิ่งลงเขา ที่ความหนักอัตราการออกำลังกายต่อระยะพัก (Work : rest) ร่วมกับความชันและความเร็วในการวิ่งที่เหมาะสม โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะพัฒนาหลากหลายระบบการทำงานต่างๆ ของร่างกาย ได้แก่ ระบบประสาทกล้ามเนื้อ ระบบสมรรถภาพไหลเวียนโลหิตแลหายใจ ระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งในนักวิ่งระยะไกล (Festa et al., 2019) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง ในนักวิ่งระยะไกล อายุ 21 ± 4 ปี ทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 6 สัปดาห์ กลุ่มที่ 1 กำหนดด้วยความชัน 18% อัตราการฝึกต่อระยะพัก คือ 1:6 และความหนักที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจน 120% พบว่า ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO2_{max}$) และระบบประสาทกล้ามเนื้อการเกิดพัฒนา แต่กลุ่มที่ 2 กำหนดด้วยความชัน 10 % อัตราการฝึกต่อระยะพัก คือ 1:2 และความหนักที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจน 100% พบว่ามีความหนักในการฝึกอย่างเหมาะสม และสามารถพัฒนาตัวแปรทางสมรรถภาพแอโรบิกและแอนแอโรบิกจะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีความเหมาะสมในการฝึกในนักกีฬาวิ่งเทรลเช่นกัน แต่ยังไม่ได้รับการทดสอบความน่าเชื่อถือของการทดลองตัวแปรจำพวกระบบประสาทกล้ามเนื้อ และพลังกล้ามเนื้อ ดังนั้น การฝึกเพื่อพัฒนาระบบประสาทกล้ามเนื้อ ยังคงต้องใช้รูปแบบการฝึกด้วยการกระโดด และเขย่ง เพื่อให้ได้ผลโดยตรงกับการประเมินระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Basnes et al., 2013)

5.2 การฝึกแบบวงจร (Circuit training)

การฝึกแบบวงจร (Circuit training) หรือบางครั้งถูกเรียกว่า การฝึกแบบหมุนเวียน หรือแบบสถานีนั้นได้ถูกนำมาใช้ในการฝึกนักกีฬา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาความอดทนของระบบสมรรถภาพไหลเวียนโลหิตและการหายใจ (Cardiorespiratory endurance) เสริมสร้างความแข็งแรง (Muscular strength) และควาอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) ของร่างกาย (Beqa Ahmeti et al., 2020) อย่างเป็นระบบ ในขณะเดียวกันยังถูกนำไปใช้ในการกำหนดหลักการฝึกด้วยน้ำหนัก (Weight training) เพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Li et al., 2019) รวมทั้งการฝึกแบบผสมผสานปฏิกิริยาความเร็ว ความแคล่องแคล่วว่องไวด้วย (Lemire et al., 2021) หลักการฝึกนี้มีวัตถุปรงะสงค์เพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อและสมรรถภาพความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตไปพร้อมกัน ซึ่งการฝึกแบบวงจรส่วนใหญ่จะใช้การฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training) จากน้ำหนักของตัวเอง (Body weight) และแรงต้านจากอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเบา โดยต้องทำ

การฝึกกล้ามเนื้อท่าที่กำหนดไว้ในแต่ละสถานีให้ครบหรือเสร็จสิ้นตามที่กำหนดไว้ในการฝึก โดยกำหนดการออกกำลังกายน้อยที่สุด 6-9 สถานี ปานกลาง 9 – 12 สถานี และมากที่สุด 12 – 15 สถานี และอาจมีการทำซ้ำหลายรอบขึ้นอยู่กับการพิจารณาชนิดกีฬาในการออกกำลังกาย จำนวนสถานี จำนวนครั้งต่อสถานี ความหนัก และมีเวลาพักที่สั้นที่ขึ้นอยู่กับความอดทนต่อการทำงานและสมรรถภาพของร่างกาย จากนั้นจึงค่อยเปลี่ยนหรือย้ายสถานีฝึกต่อไปในลักษณะของการหมุนเวียนจนครบทุกสถานีที่ทำการฝึก (Leatt et al., 1986)

การกำหนดรายละเอียดการฝึกแบบวงจรให้ตรงกับวัตถุประสงค์ โดยส่วนใหญ่เน้นการฝึกกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาและสะโพก แขนและหัวใหล่ ท้อง และหลัง กลุ่มกล้ามเนื้อต่าง ๆ เหล่านี้มีท่าบริการโดยเฉพาะที่มาจากอุปกรณ์หรือเรครื่องมือที่สามารถจัดได้ง่ายหรือสามารถปรับให้ใช้แรงต้านจากน้ำหนักตัวเอง และควรฝึกที่ท่าจะต้องไม่ใช้กลุ่มกล้ามเนื้อเดียวกัน 2 สถานีติดต่อกัน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพจากการฝึกหรือการทำงานของกล้ามเนื้อลดลงไป โดยมีเทคนิคการฝึกสำคัญคือลำดับดารเรียงกล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกของแต่ละสถานี 1 – 30 วินาที หรือนับจำนวนครั้งให้ได้ 15 – 20 ครั้ง มีการพักสลับกันในช่วงระยะเวลาระหว่างท่าฝึก 30 – 60 นาที จำนวนรอบการฝึก 3 รอบ และระยะเวลาพักระหว่างรอบ ประมาณ 60 – 90 วินาที ทั้งนี้อัตราการเต้นของหัวใจยังสูงอยู่ แต่ต้องฝึกในท่าต่อไป สภาวะเช่นนี้จะกระตุ้นการทำงานของหัวใจให้มีอย่างต่อเนื่อ ทำให้เกิดผลดีต่อระบบไหลเวียนโลหิตหรือสมรรถภาพการทำงานแบบใช้ออกซิเจนให้กับร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

หลักในการฝึกแบบสถานี โดยมีแนวทางเป็นข้อแนะนำ (Beqa Ahmeti et al., 2020) ดังนี้

1. การฝึกควรเน้นเป้าหมายเพื่อพัฒนาความแข็งแรง ความอดทนของกล้ามเนื้อและระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจควบคู่กันไปเสมอ

2. การปรับเพิ่มความหนักในการฝึกจะค่อย ๆ เพิ่มทีละน้อย เพิ่มเป็นลำดับตามความเหมาะสม โดยเพิ่มจากจำนวนครั้ง จำนวนชุด และน้ำหนัก ตามลำดับ

3. ท่าการฝึกแบบวงจรจะต้องเป็นท่าง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน

4. ระยะเวลาในการฝึกต้องไม่นานเกินไป เพราะจะทำให้กล้ามเนื้อมีอาการล้ามากเกินไป

5. การฝึกต้องไม่ก่อให้เกิดอันตราย หรือก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บ

6. ท่าฝึกต้องมีความสอดคล้องและเชื่อมโยงกับชนิดกีฬาควบคู่ไปด้วยเสมอ

7. ท่าฝึกสามารถปรับเปลี่ยนความหนักได้ทั้งอุปรณ์หรือน้ำหนักตัวเอง

อย่างไรก็ตาม การที่จะกำหนดให้นักกีฬาทำการฝึกในลักษณะใดนั้น ขึ้นอยู่กับจุดหมายของการฝึกสมรรถภาพในแต่ละประเภทกีฬาและคุณลักษณะเฉพาะที่จำเป็นสำหรับนักกีฬาแต่ละประเภท นอกจากนี้ ความหลากหลายของกิจกรรมที่นำมาใช้ในการฝึกแบบวงจรยังช่วยให้เกิดการถ่ายโยงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประสานงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดความสัมพันธ์ของทักษะกลไกการเคลื่อนไหวแก่นักกีฬานอกเหนือจากสมรรถภาพทางกายที่ต้องการ

ข้อดีของการฝึกแบบวงจร (Circuit Training) (Espeit et al., 2021) มีดังนี้

1. ช่วยพัฒนาความแข็งแรง ความอดทน ของกล้ามเนื้อ และระบบไหลเวียนโลหิตและการหายใจ

2. สามารถปรับรูปแบบการฝึกให้เหมาะกับกีฬาแต่ละประเภทได้

3. สามารถปรับการฝึกให้เหมาะกับอายุสมรรถภาพ และสุขภาพของนักกีฬาแต่ละคนได้

4. กิจกรรมการฝึกสามารถปรับระดับความยาก-ง่าย หนัก-เบา ให้เหมาะสมกับนักกีฬาได้

5. สามารถเลือกออกแบบการฝึกได้หลากหลาย กระตุ้นให้นักกีฬาเกิดความกระตือรือร้นตลอดช่วงการฝึก

โดยสรุป การฝึกแบบวงจร (Circuit Training) เป็นรูปแบบวิธีการฝึกที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาสร้างเสริมสุขภาพ (Health) และสมรรถภาพทางกายทั่วไป (General Physical Fitness) ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญที่จะนำไปสู่การสร้างเสริมสมรรถภาพที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถ (Fitness-related Abilities) ในการปฏิบัติทักษะและการเคลื่อนไหวของนักกีฬา ที่มุ่งพัฒนาและยกระดับไปสู่กำลังความแข็งแรง ความอดทนให้กับนักกีฬาแต่ละประเภท และแต่ละบุคคลได้อย่างดี นอกจากนี้การฝึกแบบวงจรยังสามารถออกแบบการจัดโปรแกรมได้หลากหลายรูปแบบ ช่วยทำให้เกิดแรงจูงใจและกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกกระตือรือร้นกับกิจกรรมการฝึกในแต่ละสถานีที่ท้าทายความสามารถและความพยายามของนักกีฬาที่ต้องการประสบความสำเร็จในการพัฒนาสร้างเสริมสมรรถภาพและความสามารถสูงสุดของตนเองในการเล่นกีฬา (Beqa Ahmeti et al., 2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3 การฝึกแบบวงจรด้วยการฝึกความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก

การฝึกแบบวงจร (Circuit training) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรง (Muscular strength) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) และพลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power) ของร่างกายอย่างเป็นระบบ ในขณะเดียวกันยังถูกนำไปใช้ในการกำหนดหลักการฝึกด้วยน้ำหนัก (Weight training) เพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ รวมทั้งการฝึกแบบผสมผสานปฏิกิริยาความเร็ว ความแคล่องแคล่วว่องไวด้วย หลักการฝึกนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อและสมรรถภาพความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตไปพร้อมกัน ซึ่งการฝึกแบบวงจรส่วนใหญ่จะใช้การฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training) จากน้ำหนักของตัวเอง (Body weight) และแรงต้านจากอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเบา โดยต้องทำการฝึกกล้ามเนื้อท่าที่กำหนดไว้ในแต่ละสถานีให้ครบหรือเสร็จสิ้น

ตามที่กำหนดไว้ในการฝึก โดยกำหนดการออกกำลังกายจำนวน 9 – 12 สถานี ระยะเวลาพักน้อยกว่า 30 วินาที หรือไม่พัก และอาจมีการทำซ้ำหลายรอบ จากนั้นจึงค่อยเปลี่ยนหรือย้ายสถานีฝึกต่อไปในลักษณะของการหมุนเวียนจนครบทุกสถานีที่ทำการฝึก (Giovanelli et al., 2017)

ทั้งนี้ ในงานวิจัยครั้งนี้ได้สนใจที่จะศึกษาการฝึกแบบวงจร ประกอบด้วยการฝึกความแข็งแรง พลังระเบิด และพลังของกล้ามเนื้อ เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากลักษณะการวิ่งเทรลแล้ว โดยอธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

การฝึกความแข็งแรง (Strength training) หมายถึง ความสามารถของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular) ที่เอาชนะแรงต้านทานภายนอกและแรงต้านทานภายใน ความแข็งแรงสูงสุดที่นักกีฬาสามารถแสดงออกจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางชีวกลศาสตร์ของการเคลื่อนไหว เช่น คาน กลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้อง และจำนวนการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้อง ขณะเดียวกันความแข็งแรงสูงสุดยังขึ้นอยู่กับความแรงของกระแสประสาทที่มากระตุ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของหน่วยยนต์ที่ถูกระดมมาใช้งานและความถี่ของแรงกระตุ้นซึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นตามความหนักของการออกกำลังกาย โดยทั่วไปความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะสามารถแบ่งออกได้ (O. H. Sundby & M. L. Gorelick, 2014) ดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงสูงสุด (Maximal strength) คือ ปริมาณแรง (Force) มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ 1 ครั้ง ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับปัจจัยทางด้านความเร็วและความอดทน

2. พลัง (Elastic strength (power)) คือ ความสามารถของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) ในการที่จะเอาชนะแรงต้านทานได้ด้วยการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว

3. ความแข็งแรงอดทน (Strength endurance) หรือ ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะต้านทานความเมื่อยล้าในการปฏิบัติการออกกำลังกายที่ใช้ความแข็งแรงในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน ความแข็งแรงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในประเภทการแข่งขันที่เกี่ยวข้องกับความอดทนแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดกรดแลทติก (Lactic anaerobic endurance)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การพัฒนาความแข็งแรง หรือประเภทกีฬาอื่นที่ต้องการพลังหรือความอดทนของกล้ามเนื้ออาจจะได้รับประโยชน์จากการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุด ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับหน่วยยนต์ประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular units) ทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด เพราะฉะนั้น การพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดจะต้องใช้แรงกระตุ้นสูงสุด หรือมากกว่าสูงสุด สำหรับการใช้ความหนักสูงสุด หรือมากกว่าสูงสุด จะก่อให้เกิดความเครียดของร่างกายอย่างมาก เพื่อให้มีความเหมาะสมควรสลับความหนัก กลุ่มกล้ามเนื้อในการฝึก

ในแต่ละครั้ง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการพัฒนาและการฟื้นสภาพในระหว่างการฝึกซ้อมแต่ละครั้งดีกว่า (Björklund et al., 2019)

ความเฉพาะเจาะจง โดยมีความใกล้เคียงดับการเคลื่อนไหวของกีฬา (Sport movement) ซึ่งผู้ฝึกสอนควรพิจารณาถึงปัจจัยต่อไปนี้ คือ

1. แบบแผนการเคลื่อนไหว (Movement pattern)

- การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงจากการหดตัวแบบเอกเซนทริก และคอนเซนทริก เท่านั้นที่จะถ่ายโยงไปสู่การหดตัวแบบไอโซเมทริก
- การพัฒนาจะเกิดขึ้นที่มุมข้อต่อที่เฉพาะเจาะจง

2. อัตรเร็วของการหดตัว

- การฝึกซ้อมที่มีอัตราความเร็วสูง (Fast velocity) จะสามารถปริมาณและคุณภาพของการฝึกซ้อมได้ดีกว่าการฝึกซ้อมที่ทีอัตราความเร็วต่ำ (Slow velocity) ทำให้กระตุ้นการระดมหน่วยยนต์ ที่จำเป็นในการเอาชนะแรงต้านทานได้ทั้งหมด และที่สำคัญใยกล้ามเนื้อหดตัวเร็วจะถูกระดมนำมาใช้มากขึ้นด้วย
- เส้นใยกล้ามเนื้อหดตัวช้า จะสนับสนุนความแข็งแรงขณะเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว (Rapid Movement)
- การเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ (Muscle growth) จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความตึงตัว (Tension) ภายในกล้ามเนื้อ
- การฝึกซ้อมที่มีความหนักต่ำ จำนวนครั้งสูง จะไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อ ถ้าไม่ได้เป็นผู้ที่มีกล้ามเนื้อระดับต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สรุป การฝึกซ้อมความแข็งแรงควรจะประกอบด้วยการเคลื่อนไหวที่มีความเร็วสูง เพื่อฝึกระบบประสาท (Nervous system) และความเร็วต่ำเพื่อการพัฒนาโครงสร้างกล้ามเนื้อ (Muscle structure) ดังนั้น ชนิดกีฬาที่มีอัตราเร็วสูงอาจจะต้องใช้การฝึกซ้อมที่มีอัตราเร็วต่ำร่วมด้วยเพื่อการพัฒนาองค์ประกอบภายในกล้ามเนื้อ (Green, 1992)

การพัฒนาพลัง (Power development) (Ferley et al., 2014)

พลังเป็นชนิดของความแข็งแรงที่มีความเฉพาะเจาะจงกับการเคลื่อนไหวของนักกีฬา การเคลื่อนไหวส่วนใหญ่จะมีลักษณะการทำงานที่ต้องเอาชนะแรงต้านทานทั้งภายในและภายนอกร่างกายด้วยอัตราความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด ซึ่งการกระทำเช่นนี้กล้ามเนื้ออาจไม่ได้ต้อการความแข็งแรงสูงสุด แต่ต้องการพลังเป็นสำคัญ ซึ่งพลังเป็นชนิดนึงของความแข็งแรง และความแข็งแรงจะมี

ความสัมพันธ์กับพลัง (ความแข็งแรง x ความเร็ว) และการฝึกซ้อมทั้งพลังและความแข็งแรงจะส่งเสริมซึ่งกันและกัน

พลัง (Power) หมายถึง ความสามารถของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular) ในการที่จะก่อให้เกิดแรง (Force) มากที่สุดในช่วงเวลาสั้นๆ หรือพลังของกล้ามเนื้อ (Muscle force) และอัตราความเร็ว (Velocity) ของการเคลื่อนไหว เพราะฉะนั้น (Power = Force x Velocity) พลังจะเกิดจากทั้ง 2 อย่าง หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้องเกิดขึ้นก่อนที่จะพัฒนาพลังเปลี่ยนเป็นความเร็วในตอนหลัง จะเป็นวิธีที่ดีในการปรับปรุงพลังกล้ามเนื้อ (Ferley et al., 2014)

การฝึกแบบพลังระเบิด (Explosive power) หมายถึง การฝึกซ้อมที่ใช้อัตราความเร็วสูง (High velocity) ใช้พลังในการเคลื่อนไหว ซึ่งผลของพลังระเบิดจะเกิดขึ้นหลังจากการฝึกแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training) (Hammami et al., 2019)

การฝึกแบบพลัยโอเมตริก (Plyometric training) หมายถึง การเคลื่อนไหวในการเล่นกีฬาด้วยความรวดเร็ว จำเป็นต้องอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดหรือเกือบสูงสุดในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น การปรับอัตราเร่งในการออกตัววิ่ง จังหวะในการปรับเปลี่ยนทิศทาง และการลดความเร็วในการวิ่ง ซึ่งเกิดจากการใช้แรงหดตัวของกล้ามเนื้อที่ทำงานอย่างรวดเร็ว กล้ามเนื้อที่มีแรงมากจะออกแรงได้มากพร้อมกับหดตัวได้เร็วทำให้เกิดกำลังของกล้ามเนื้อ (Muscle power) เพื่อควบคุมจังหวะการเคลื่อนไหวให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (Giovanelli et al., 2017)

การฝึกในรูปแบบพลัยโอเมตริกจึงถูกนำมานิยมใช้พัฒนากำลังของกล้ามเนื้อ โดยเป็นการกระตุ้นปฏิกิริยาสะท้อนกลับจากการยืดของกล้ามเนื้อ เพื่อระดมหน่วยยนต์ (Motor unit) หรือประสาทควบคุมการเคลื่อนไหวให้มากระตุ้นการออกแรงเพิ่มมากขึ้น

วิธีการฝึกพลัยโอเมตริก เน้นฝึกให้กล้ามเนื้อหดตัวออกแรงอย่างรวดเร็วเพื่อให้กล้ามเนื้อมีจังหวะของหารหดตัวในลักษณะยืดออกไป (Eccentric contraction) แล้วหดตัวกลับในลักษณะความยาวลดลง (Concentric contraction) ภายใต้การออกแรงด้วยความเร็วสูงสุดหรือทันทีทันใด โดยไม่มีการหยุดชะงัก ซึ่งการหดตัวในลักษณะดังกล่าวจะมีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการเคลื่อนไหว ในการยืดออกของกล้ามเนื้อให้เร็วยิ่งขึ้น จะช่วยกระตุ้นทำให้การหดตัวของกล้ามเนื้อมีความรวดเร็วมากขึ้นด้วย และการที่กล้ามเนื้อถูกเหยียดออกก่อนการหดตัวจะทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้แรงและเร็วขึ้น (Giovanelli et al., 2017)

หลักการในการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Stretch – shortening Cycle; SSC) โดยต้องมีพื้นฐานด้านความแข็งแรงมาเป็นอย่างดีพร้อมที่จะเปลี่ยนความแข็งแรงเป็นพลัง โดยฝึกให้กล้ามเนื้อหดตัวเร็วขึ้นด้วยการยืดตัวออกและหดตัวกลับอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการกระตุ้นระบบปรสาทที่มีหน้าที่ควบคุมการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยืดตัวออกของกล้ามเนื้อให้เร็วยิ่งขึ้น การฝึกแบบนี้จะช่วยให้เกิดการกระตุ้นกล้ามเนื้อมัดที่หดตัวให้เพิ่มความเร็วขึ้น (O. H. Sundby & M. L. Gorelick, 2014)

การฝึกพลัยโอเมตริกเป็นการฝึกที่ทำให้เกิดการกระตุ้นปฏิกิริยาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) ซึ่งเป็นกลไลที่ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายหรือกล้ามเนื้อให้สั่งการอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการให้กล้ามเนื้อยืดเหยียดออกและหดตัวสั้นเข้า เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติของกล้ามเนื้อจากความแข็งแรงเป็นพลัง ซึ่งการหดตัวของกล้ามเนื้อในรูปแบบนี้สามารถแบ่งเป็นขั้นตอน (Sulowska et al., 2019) ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนที่ 1 Eccentric การทำงานของกล้ามเนื้อถูกยืดออก มีลักษณะเกิดการสะสมพลังงานเมื่อถูกยืดออก (Elastic energy) ในส่วนของกล้ามเนื้อที่มีคุณสมบัติเป็นแบบอิลาสติก (Series elastic component) และตัวรับรู้การยืดออกของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle spindles) ถูกกระตุ้น

2. ขั้นตอนที่ 2 Amortization ช่วงหยุดระหว่างขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 เกิดการส่งสัญญาณผ่านเส้นประสาทไปยังไขสันหลังและส่งสัญญาณสั่งการกลับมายังกล้ามเนื้อมัดที่ทำงาน

3. ขั้นตอนที่ 3 Concentric การทำงานของกล้ามเนื้อหดสั้น เกิดการถ่ายโอนพลังงานจากจังหวะที่มีการยืดตัวออกของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว และสัญญาณประสาทที่ส่งผ่านไปยังกล้ามเนื้อจะกระตุ้นกล้ามเนื้อมัดที่ทำงานให้มีการหดตัวออกแรง

การฝึกพลัยโอเมตริกจะส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system) การฝึกที่มากเกินไปจะทำให้ระบบประสาทเกิดการล้า (Fatigue) ซึ่งทำให้การฟื้นฟูสมรรถภาพร่างกายทำได้ยาก แต่ถ้าปริมาณการฝึกน้อยก็อาจทำให้เกิดประโยชน์น้อย และถ้าการฝึกมีความเหมาะสม ไม่หนักมาก ก็จะไปกระตุ้นให้เกิดผลดีต่อระบบประสาทส่วนกลาง ดังนั้นการฝึกจึงต้องคำนึกถึงความเหมาะสมกับระดับความพร้อมของนักกีฬาเป็นหลัก (Avois et al., 2006)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การฝึกพลัยโอเมตริกส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

การฝึกพลัยโอเมตริกเป็นการเชื่อโยงเอาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อเข้ามาเกี่ยวข้องกันด้วยกลไลการยืดออกแล้วหดกลับ (Eccentric-Concentric) อย่างรวดเร็ว จึงทำให้ระบบประสาทจะถูกกระตุ้นการทำงานอย่างรวดเร็ว การฝึกให้กล้ามเนื้อหดตัวทำงานรูปแบบนี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อการทำงานของร่างกาย (Ehrström et al., 2018) ดังต่อไปนี้

1. กระตุ้นการทำงานของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวให้มีปฏิกิริยาการทำงานที่รวดเร็วขึ้น

2. มีการระดมเอาประสาทหน่วยยนต์ (Motor unit) หรือ ประสาทสั่งการที่ทำหน้าที่ควบคุมกานเคลื่อวไหวและเส้นใยกล้ามเนื้อให้มาทำงานเพิ่มมากขึ้น

3. ช่วยเพิ่มความเร็วในการทำงานของระบบประสาทที่มีหน้าที่ในการรับรู้และสั่งการ

4. ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อให้เป็นกำลังระเบิด

5. เกิดการพัฒนาปฏิกิริยาในการทำงานของระบบประสาท เพื่อกระตุ้นความเร็วในการยืดเหยียดตัวของกล้ามเนื้อ (Stretch reflex) ที่จะทำให้เกิดการหดตัวรวดเร็วมากขึ้น

6. การฝึกที่ทำให้เกิดอาการเมื่อยล้าเป็นผลให้ปฏิกิริยาความเร็วในการยืดเหยียดตัวของกล้ามเนื้อและการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง ทำให้ความเร็วลงลดด้วย แสดงถึงภาวะอาการล้า ส่งผลให้ระยะเวลาที่เท้าสัมพัสพื้น (Contact time) นานขึ้น ประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวลดลง

ประโยชน์ของการฝึกพลัยโอเมตริก (O. H. Sundby & M. L. Gorelick, 2014)

1. ทำให้เกิดการรวมพลังที่มีปฏิกิริยาความเร็วและความสามารถในการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนไหวในขณะเล่นกีฬาอย่างรวดเร็ว เช่น การกระโดด การเริ่มออกวิ่ง การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว

2. เกิดการระดมประสาทที่ทำหน้าที่ควบคุมเส้นใยกล้ามเนื้อให้เข้ามามีส่วนในการทำงานมากขึ้น พร้อมทั้งเพิ่มความเร็วในการทำงานของระบบเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่สั่งงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. พัฒนาระบบประสาทให้มีปฏิกิริยาความเร็วในการยืดเหยียดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อกระตุ้นให้พัฒนาความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อให้ได้แรงสูงสุด พร้อมทั้งเกิดความสามารถในการยืดเหยียดและหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อการปฏิบัติซ้ำ ๆ ได้อย่างรวดเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. การฝึกแบบพลังระเบิดสามารถพัฒนาความตึงตัวทั้งเอ็น และกล้ามเนื้อ (Muscle tendon complex stiffness) (Millet et al., 2002)

ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของความสมบรูณ์ทางกายซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนการเปลี่ยนแปลงของประสาทในการช่วยให้แต่ละกล้ามเนื้อได้รับความสมบรูณ์สุงสุด การพัฒนาคาวมสามารถของพลังกล้ามเนื้อจึงต้องมีการฝึกการเคลื่อนไหวแบบพลังระเบิด (Explosive power) ที่ใล้อัตราความเร็วสูง (High velocity) ซึ่งเป็นวิธีการฝึกซ้อมระบบประสาท (Nervous system) เพราะการเคลื่อนไหวที่ใช้พลัง การระดมหน่วยยนต์ (Motor unit) ของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยเฉพาะเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast twitch) จะต้องใช้เวสลาน้อยในการสั่งการ (Motor neurons) ต้องมีความทนทาน (Tolerance) ในการที่จะเพิ่มความถี่ของการสั่งการให้ได้อย่างสม่ำเสมอ

จีโอวาเนลลี และคณะ (Giovanelli et al., 2017) ทำการฝึก 12 สัปดาห์ ด้วยโดยแกรมการฝึกแบบความแข็งแรง ความอดทน และพลัยโอเมตริก เพื่อพัฒนาการใช้พลังงานในนักวิ่งระยะไกล พบว่า เวลาที่กระทำกับพื้น (Contact time) ถัดมาค่าการใช้พลังงาน และพลังกล้ามเนื้อสูงสุดสามารถอธิบายการใช้พลังงานที่ลดลงได้ และแนะนำการฝึก จำนวนท่า 5 - 8 ท่า จำนวนครั้ง 6 – 15 ครั้ง ทั้งหมดการฝึก 1 – 3 ชุด อย่างน้อย 3 ครั้งต่ออาทิตย์ โดยการเรียงลำดับการฝึกความมั่นคงของลำตัว ตามด้วยความแข็งแรง และพลัยโอเมตริก ตามลำดับ

ดูโฟวร์ และคณะ (Dufour et al, 2004) ทำการฝึกปั่นจักรยานเพื่อให้มีการออกแรงกล้ามเนื้อแบบเหยียดออก (Eccentric exercise) ในผู้ที่มีสุขภาพดี อายุ 28 ปี 3 – 4 วันต่อสัปดาห์ พัก 2 – 3 วันต่ออาทิตย์ แบ่งออกเป็นอบอุ่นร่างกาย 5 นาที ปั่นจักรยาน 10 นาที กำหนดความหนักในช่วงแรกเริ่มที่ 100W จะเพิ่มความหนักทีละ 50 W ทุกๆ 3 นาที จำกัดความหนักในช่วงสุดท้ายที่ 200 W และคลายอุ่นร่างกาย 5 นาที พบว่า การฝึกปั่นจักรยานในผู้ที่มีสุขภาพดีที่เน้นการออกแรงแบบเหยียดออก จะส่งผลทำให้อัตราการเต้นหัวใจดีขึ้น จากอัตาราความสามารถในการใช้ออกซิเจนต่ออัตราการเต้นของหัวใจ และยังเหมาะกับการรักษา จนถึงการฝึกฝนอีกด้วย

การฝึกความแข็งแรงสูงสุดนำไปสู่ความก้าวหน้าของพื้นฐานพลัยโอเมตริก ในท่า Stiff-leg pogos ด้วยการทำงานของกล้ามเนื้อแบบเหยียดออก (Eccentric contraction) สามารถพัฒนาการทำงานระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ (Beattie, 2014)

รูปที่ 17 ท่ากระโดดสูง (Pogo ump)

ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้ท่ากระโดดสูง (Pogo jump) เป็นการประเมินความสามารถของพลังกล้ามเนื้อ หรือการประเมินการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) ยิ่งมีค่าสูง ยิ่งส่งผลต่อการเคลื่อนไหวในลักษณะการกระเด้ง หรือการกระโดด

การกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) หมายถึง การใช้พลังงาน (Metabolic cost) ในรูปแบบการกระเด้ง หรือการกระโดด (Bouncing gait) เช่น การวิ่ง หรือการกระโดดสูง (Hopping) และยังสามารถเพิ่มความเร็วสูงสุดในการวิ่ง ในทางตรงกันข้าม เกิดการใช้พลังงานอย่างมากในการ

ผลักตัว (Push-off) จากการใช้แรงที่เกิดความจำเป็น จะเกิดความสามารถที่ลดลงต่อการรับแรงกระแทกมากไปกว่านั้นมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ ดังนั้น การประเมินการกระโดดแบบเหยียดเข่า มีความสำคัญในระหว่างการวิ่ง และการฝึกได้เป็นอย่างดี

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 งานวิจัยภายในประเทศ

ธรรมชาติ นาคะพันธ์ (2557) ได้ทำการศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกแบบสถานีที่มีต่อความสามารถในการเลี้ยงลูกฟุตบอลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพศชาย จำนวน 20 คน จำนวนการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 8 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความสามารถในการเลี้ยงลูกฟุตบอลเป็นเส้นตรงระยะทาง 50 เมตร และมีความสามารถในการเลี้ยงลูกฟุตบอลซิก-แซ็ก ดีกว่าก่อนการทดลอง

ภรัณยู อภัยพลชาญ (2561) ได้ทำการศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกแบบวงจรที่มีผลต่อสมรรถภาพทางกายในนักเรียนเตรียมทหาร และเพื่อเปรียบเทียบผลของโปรแกรมการฝึกแบบวงจรกับโปรแกรมการฝึกกายบริหารของกองทัพบก ในนักเรียนเตรียมทหารชั้นปีที่ 2 โรงเรียนเตรียมทหาร สถาบันวิชาการป้องกันประเทศนักเรียนเตรียมทหารชั้นปีที่ 2 โรงเรียนเตรียมทหาร สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ จำนวน 40 คน อายุ 17 – 18 ปี จำนวนการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 8 สัปดาห์ โดยกลุ่มที่ 1 รับการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบวงจร และกลุ่มที่ 2 รับการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกกายบริหารของกองทัพบก พบว่า กลุ่มที่ 2 ความสามารถในการดึงข้อ 2 นาที ลุกนั่ง 30 วินาที ดันพื้น 30 วินาที และชีพจรขณะพัก มีค่าดีขึ้นกว่ากลุ่มที่ 1

อริย์ธัช หนูแก้ว (2561) ได้ทำการศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกมวยไทยแบบวงจรที่มีต่อความสามารถทางอากาศนิยมของนักมวยไทยอาชีพ จำนวน 16 คน อายุ 19 – 22 ปี ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 6 สัปดาห์ กลุ่มที่ 1 รับการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกมวยไทยแบบวงจร 3 วันต่อสัปดาห์ ร่วมกับการฝึกปกติของค่ายมวย และกลุ่มที่ 2 รับการฝึกปกติของค่ายมวย พบว่า กลุ่มที่ 1 มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดดีขึ้น และการฟื้นฟูอัตราการเต้นหัวใจขณะชกในช่วงพักยกเร็วขึ้นมากกว่าก่อนการทดลอง

อัครเศรษฐ เลิศสกุล (2564) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดในนักวิ่งมาราธอนวัยกลางคน จำนวน 36 คน ช่วงอายุ 35 – 45 ปี ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 12 สัปดาห์ โดยวิธีการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักสูง (70% 1-RM) ร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดที่ระดับแรงดันต่ำ (40% AOP) จำนวนการฝึก 15 ครั้งต่อชุด จำนวนชุด 4

ชุด ระยะเวลาพักระหว่างชุด 60 วินาที จังหวะออกแรง 2:2 วินาที พบว่า สมรรถภาพกล้ามเนื้อ สมรรถภาพทางแอโรบิก และสมรรถภาพทางการวิ่งมาราธอนดีขึ้น โดยการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำร่วมกับการจำกัดการไหลของเลือดที่ระดับความหนักสูงมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะการวิ่งเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลทำให้ระยะเวลาในการวิ่งมาราธอนลดลงมากที่สุด

พัชรินทร์ ตั้งชัยสุริยา (2564) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ในนักกีฬาจักรยานประเภทถนน รุ่นมาสเตอร์ จำนวน คน ช่วงอายุ ปี ทำการฝึก วัน/สัปดาห์ ทั้งหมด สัปดาห์ โดยวิธีการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ความหนักของการฝึก ช่วงออกกำลังกายหนัก 60 – 80% สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 30% ของพลังงานสูงสุดหรือของค่าความดันของหลอดโลหิตแดงที่ถูดปิดกั้นขณะพัก เวลา 2 – 4 นาที ความเร็ว 90 ต่อรอบ จำนวนการฝึก 4 ชุด (ระยะเวลา 24 นาที) ความถี่การฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ พบว่า มีความปลอดภัยต่อการเพิ่มสมรรถภาพทางแอโรบิก สมรรถภาพกล้ามเนื้อ การทำงานของหลอดเลือด และความสามารถทางกีฬาจักรยานในนักกีฬาประเภทรุ่นมาสเตอร์

6.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

ซีดาโน และคณะ (Sedano et al., 2013) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบวงจรสลับช่วงความหนักสูง ในนักวิ่งมีประสบการณ์ ประเภทกรีฑาลู่ระยะ 3,000 - 5,000 เมตร ช่วงอายุ 23.7 ± 1.2 ปี ระยะเวลาในการฝึก 12 สัปดาห์ ประกอบด้วยท่า Barbell squat Lying leg curl Seated calf raises และ Leg extension โดยทำการฝึก 20 ครั้งต่อชุด จำนวน 3 ชุด ระดับความหนัก 40% 1RM พักระหว่างท่า 60 วินาที และพักระหว่างชุด 5 นาที พบว่า สามารถพัฒนาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในการกระโดดได้

บาร์เนส และคณะ (Barnes et al., 2013) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งขึ้นเขาในนักวิ่งเทรลฝีมือดี จำนวน 20 คน ช่วงอายุ 21 ± 4 ปี ทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 6 สัปดาห์ กำหนดด้วยความชัน 18% อัตราการฝึกต่อระยะพัก คือ 1:6 พบว่า ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) และระบบประสาทกล้ามเนื้อ มีค่าเพิ่มขึ้น

จิโอวานอลลิ และคณะ (Giovanelli et al., 2017) ได้ทำการศึกษาผลของความแข็งแรงพลังระเบิด และพลัยโอเมตริกในนักวิ่งเทรลฝีมือดี เพศชาย จำนวน 25 คน ช่วงอายุ 38.2 ± 7.1 ปี ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 12 สัปดาห์ จำนวน 5 – 8 ท่า จำนวนการฝึก 6 – 15 ครั้ง ระยะเวลาพักน้อยกว่า 30 วินาที โดยมีรูปแบบการฝึกในสัปดาห์ที่ 1 – 4 ประกอบด้วย การฝึกแกนกลางลำตัว จำนวนชุด 6 ชุด การฝึกเทคนิคของนักวิ่ง จำนวนชุด 3 ชุด และการฝึกความแข็งแรง

จำนวนชุด 2 – 6 ชุด สัปดาห์ที่ 5 – 12 ประกอบด้วย การฝึกความแข็งแรง จำนวนชุด 4 – 9 ชุด การฝึกพลัยโอเมตริก จำนวนชุด 2 – 5 ชุด และเคลื่อนไหวบนกระดานนิ่ม (Unstable board) พบว่า การฝึกความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก สามารถพัฒนาการใช้พลังงาน (Energy cost) ในนักวิ่งเทรลที่ความแตกต่างของการใช้พลังงานกับความเร็วโดยรวมที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal level)

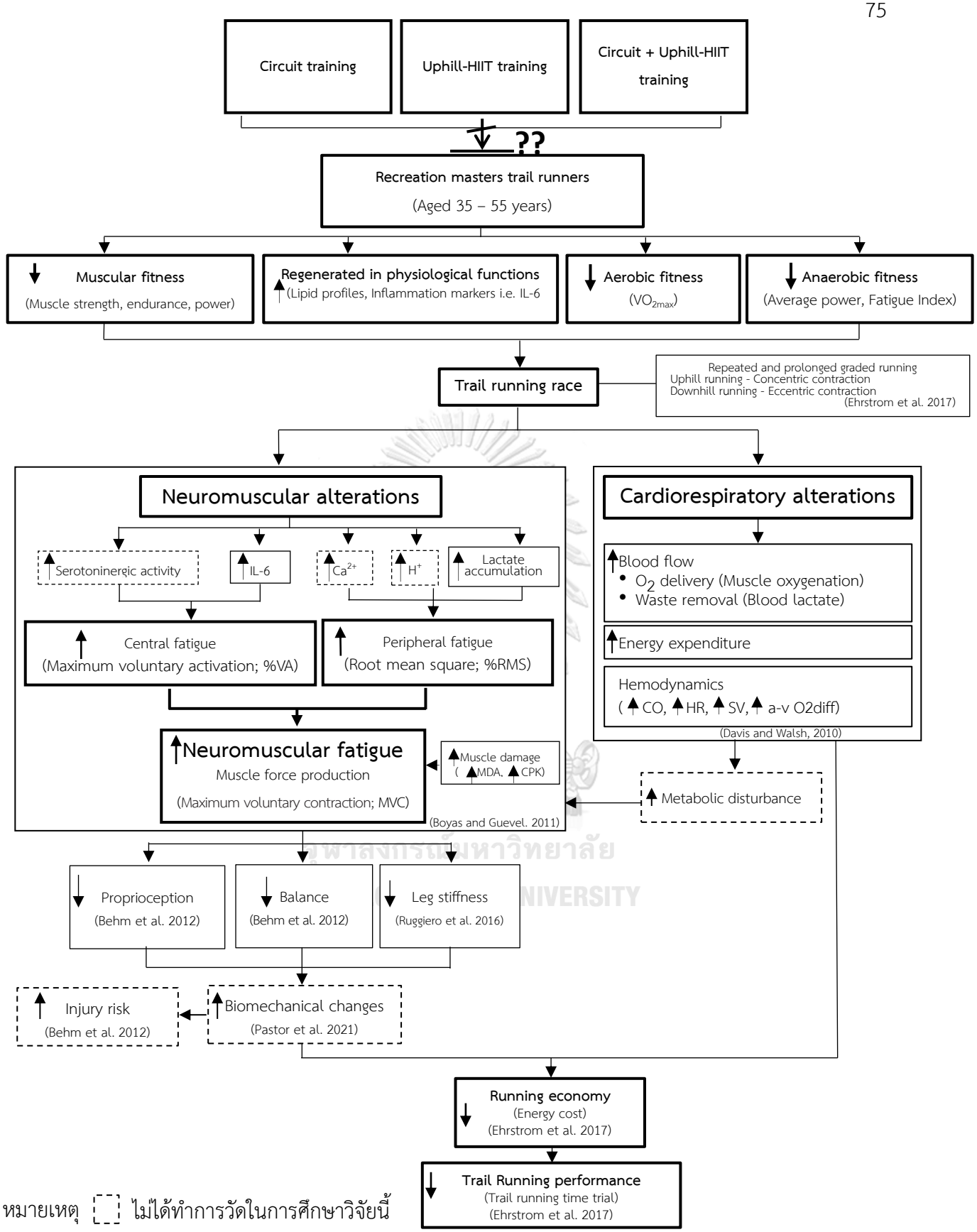
โครัล และคณะ (Koral et al., 2018) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดในนักวิ่งเทรลฝีมือดี จำนวน 60 คน ช่วงอายุ 18–28 ปี ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 2 สัปดาห์ โดยวิธีการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดไปกลับในระยะ 5 เมตร 10 เมตร และ 30 เมตร ตามเวลาที่กำหนด 2 – 3.5 นาที จำนวนชุด 4 – 7 ชุด เวลาพักระหว่างชุด 4 นาที ด้วยการเดิน พบว่าสามารถพัฒนา ความเร็วแบบแอโรบิกสูงสุด (Maximal aerobic speed) พลังสูงสุด (Peak power) และระยะเวลาของการวิ่ง 3,000 เมตร (3,000 km Time trial)

ลี และคณะ (Li et al., 2020) ได้ทำการศึกษาเชิงซ้อนร่วมกัน (Concurrent complex) และการฝึกความอดทน ในนักวิ่งมาราธอนทั่วไป เพื่อศึกษาผลของการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่ง จำนวน 38 คน เพศชายและหญิง อายุ 31.4 ± 3.8 ปี ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 6 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 รับฝึกแบบเชิงซ้อนร่วมกัน เป็นเชิงซ้อนร่วมกัน ประกอบด้วยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และการฝึกด้วยพลัยโอเมตริก กลุ่มที่ 2 รับการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และกลุ่มที่ 3 รับการฝึกความอดทนของกล้ามเนื้อ พบว่า ทุกกลุ่มมีค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความสามารถในการกระโดด การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบยืดยาวและหดเข้าสั้น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขณะวิ่ง และความเร็วขณะที่ร่างกายมีความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Velocity at VO_2max; vVO_2max) เพิ่มขึ้น แต่กลุ่มที่ 1 และ 2 การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบหดเข้าสั้น มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ 3

กรอบแนวคิดในการวิจัย

นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ (Amateur masters trail runners) อายุตั้งแต่ 35 – 55 ปี ที่มีการลดลงของสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความแข็งแรง ความอดทน และพลังของกล้ามเนื้อ และการทำงานทางสรีรวิทยา สมรรถภาพทางแอโรบิก และสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ที่ถดถอยตามช่วงอายุ ในขณะการแข่งขันวิ่งเทรลที่มีความชันและระยะทางไกล มีการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) ซึ่งมีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบคอนเซนทริก (Concentric muscle contraction) และการวิ่งลงเขา (Downhill running) ซึ่งมีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบเอ็กซ์เซ็นทริก (Eccentric muscle contraction) ที่มีระยะเวลามากกว่า 10 ชั่วโมงในการแข่งขัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อและระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ ส่งผลให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) สูญเสียการทรงตัว (Imbalance) และเกิดความแข็งตัวของขา (Leg stiffness) ที่เกี่ยวข้องกับการเหยียดตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle spindle) เป็นผลให้ท่าทางในการวิ่งเปลี่ยนแปลงไปจนอาจเกิดอาการบาดเจ็บ (Injury risk) นอกจากนี้ยังมีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ทำให้ไม่สามารถคงความสามารถในการวิ่งเทรล (Trail Running performance) ได้จนจบการแข่งขัน หรือต้องออกจากการแข่งขันก่อนกำหนดเวลา ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบวงจร (Circuit training) การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training) ว่าจะมีผล หรือไม่ อย่างไร ต่อตัวแปรต่างๆ ดังกล่าว (ดังรูปที่ 18)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 18 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่องนี้ ผลของการฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research design) ซึ่งได้ผ่านจริยธรรมโดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 1 กันยายน 256 COA No. 172.65 (ภาคผนวก ก) โดยมีระเบียบวินัย ดังนี้

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักวิ่งเทรลสมัครเล่น เพศชายและหญิง รุ่นมาสเตอร์ อายุ 35 – 55 ปี

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาวิ่งเทรลสมัครเล่น เพศชาย และเพศหญิงที่ยังไม่หมดประจำเดือน อายุ 35 – 55 ปี จากการประชาสัมพันธ์ผ่านทางโซเชียลมีเดีย และผ่านทางชมรมวิ่งเทรลต่างๆ โดยประสานกับประธานชมรม/สังกัดกีฬาในกลุ่มนังวิ่งเทรล เพื่อหากลุ่มตัวอย่างที่สนใจและติดต่อไปยังนักกีฬาโดยตรง หรือติดต่อนักกีฬาอิสระที่สนใจเข้าร่วมโครงการ แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 4 กลุ่ม กำหนดค่าคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power) เวอร์ชั่น 3.1.9.7 โดยใช้ตัวแปรการกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump: CMJ) อ้างอิงจากงานวิจัยของ (Hammami et al., 2019) ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test; β) ที่ 0.8 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Probable Error; α) ที่ 0.05 ค่าขนาดของผลกระทบ (Effect size; d) ที่ 0.5 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 30 คน เนื่องจากผู้เข้าร่วมวิจัยเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ อันเกิดจากการฝึกซ้อม หรืออุบัติเหตุ อาจทำให้จำนวนผู้เข้าร่วมวิจัยไม่เพียงพอ เพื่อป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของผู้เข้าร่วมการวิจัย และเกิดความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงคำนวณกลุ่มตัวอย่างเพิ่มเติมจำนวนร้อยละ 35 เท่ากับ 10 คน การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 40 คน (ภาคผนวก ข) แบ่งเป็น 3 กลุ่ม (ภาคผนวก ข) ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. กลุ่มที่ 1คือ การฝึกแบบวงจร (Circuit training) จำนวน 13 คน
2. กลุ่มที่ 2คือ การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) จำนวน 13 คน
3. กลุ่มที่ 3 คือ การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training) จำนวน 14 คน

วิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย (Inclusion criteria)

1. นักวิ่งเทรลสมัครเล่น อายุระหว่าง 35 – 55 ปี เพศชาย และเพศหญิงที่ยังไม่หมดประจำเดือน (Not menopause) เนื่องจากภาวะหมดประจำเดือนจะประสบปัญหากับองค์ประกอบของร่างกายและการเผาผลาญพลังงาน (Gould et al., 2022)
2. มีดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI) ไม่เกินเกณฑ์น้ำหนักเกิน 24.9 ทุกช่วงอายุ (Cha, 2013)
3. มีประสบการเข้าร่วมการแข่งขันวิ่งเทรลในระยะตั้งแต่ 20 – 44 กิโลเมตร (XXS ถึง XS) กำหนดโดยองค์กรการวิ่งเทรลนานาชาติ (International trail running association: ITRA) อย่างน้อย 1 สนาม เป็นประจำทุกปี ภายในช่วง 3 ปีย้อนหลัง
4. มีการฝึกซ้อมด้วยการวิ่งพื้นราบ หรือภูเขา ระยะทางไม่น้อยกว่า 20 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ต่อเนื่องอย่างน้อยเป็นเวลา 3 เดือน
5. มีความต้องการที่จะพัฒนาระยะการแข่งขันของตนเองให้เพิ่มมากขึ้น จากแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลและประวัติการวิ่งเทรลต้องมีคะแนนวัดความต้องการเท่ากับหรือมากกว่า 5 คะแนนจาก 10 คะแนนเต็ม
6. ไม่ได้รับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงหรือการฝึกแบบวงจร ในช่วง 2 เดือนก่อนการวิจัย
7. มีค่าดัชนีสมรรถภาพในการวิ่งเทรล (Performance index; PI) ในเพศชาย มีค่า PI 100 – 400 และเพศหญิง มีค่า PI 100 – 350
8. ผ่านการคัดกรองจากแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย สำหรับบุคคลทั่วไปที่มีอายุ 15 – 69 ปี และการทดสอบตัวแปรด้านสมรรถภาพทางกายว่าไม่มีความเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะแข็งตัวของหลอดเลือด และไม่มีโรคหรือความผิดปกติของกระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ
9. ไม่มีการใช้ยา หรืออาหารเสริมที่ส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ หัวใจ และหลอดเลือด
10. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัยออกจากการวิจัย (Exclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเข้าร่วมการฝึกน้อยกว่าร้อยละ 80 ของระยะเวลาการฝึกทั้งหมด หรือจำนวนเข้าร่วมการฝึกไม่ถึง 58 ครั้ง จากการฝึกทั้งหมด 72 ครั้ง

2. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ หรือ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

3. ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยต่อ

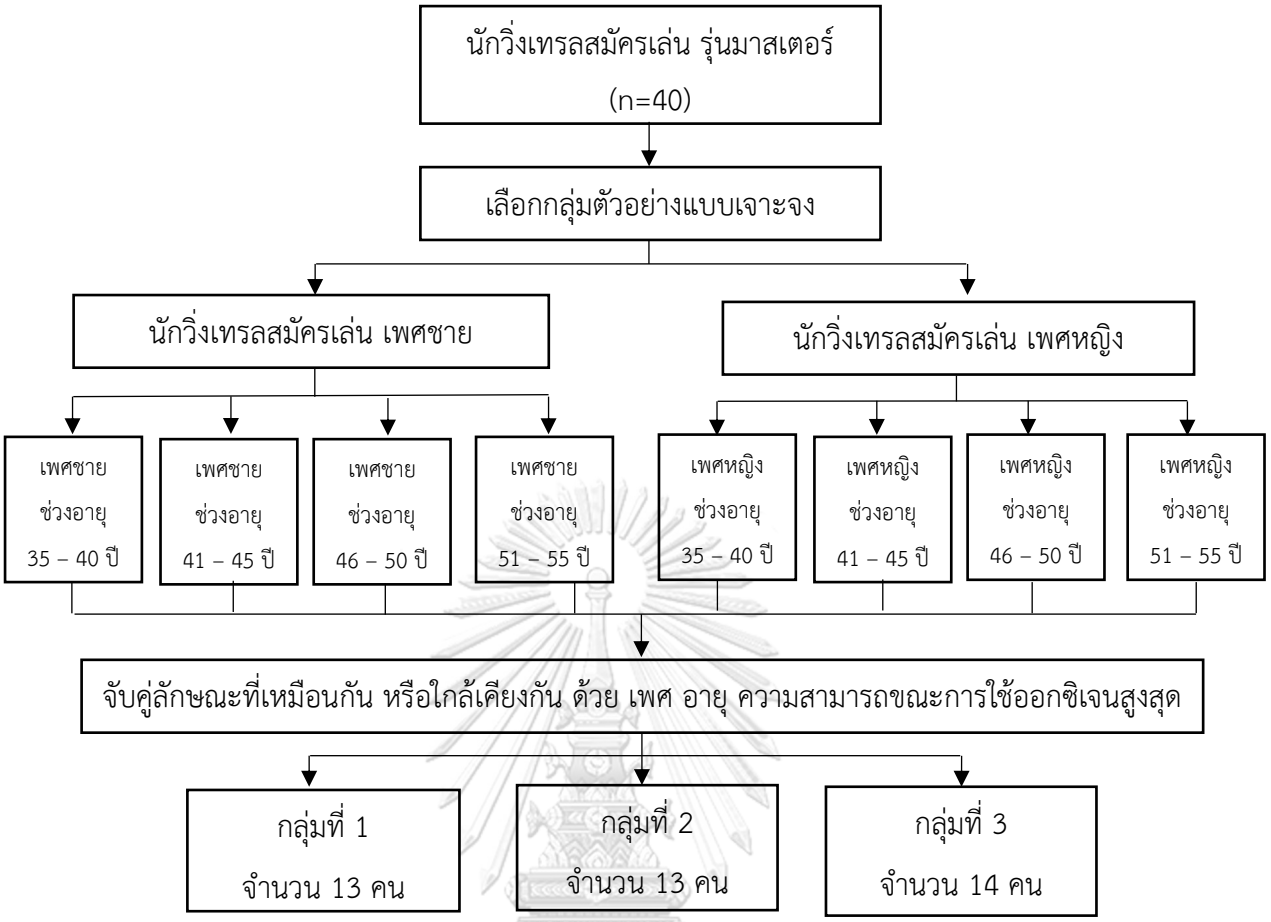
การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

ทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purpose sampling) แล้ว แล้วเปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่ม โดยการจับกลุ่มทดลองทีละคู่ (Matching paired) ให้มีลักษณะเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันในเรื่อง อายุ เพศ และความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นต้น ที่เป็นนักวิ่งเทรล อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ช่วงอายุ 35 – 55 ปี และสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย โดยแบ่งกลุ่มทดลองย่อยออกเป็น 3 กลุ่ม จำนวนเท่าๆ กัน โดยผู้สมัครที่เข้าร่วมตรงตามเกณฑ์คัดเข้าและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน รายละเอียดการสุ่มมีดังนี้

การสุ่มกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มมีลักษณะ ดังนี้

1. เพศ (Gender) แบ่งเป็นเพศชาย และเพศหญิงที่ยังไม่หมดประจำเดือน
2. อายุ แบ่งเป็น 4 ช่วง ได้แก่ อายุ 35 – 40, 41 – 45, 46 – 50, 51 – 55 ปี
3. ความสามารถขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 19 การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปและคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

1.1 แบบสอบถามประวัติสุขภาพ (ภาคผนวก ฉ)

1.2 แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย สำหรับบุคคลทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 15 – 69 ปี

1.3 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลและประวัติการวิ่งเทรล

1.4 แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ (ภาคผนวก ซ)

1.5 แบบบันทึกการฝึกออกกำลังกายประจำสัปดาห์

2. เครื่องมือสำหรับการทดสอบตัวแปรทางสรีรวิทยา

2.1 เครื่องมือวัดองค์ประกอบร่างกาย ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกายยี่ห้อ จาวอน รุ่น ไอโอไอ 353 (Jawon medical, IOI 353, korea)

2.2 เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอล (Digital blood pressure) ยี่ห้อจีอี ไดนาแมบ รุ่น Carescape V100 Dinamap ประเทศสหรัฐอเมริการ (GE Healthcare, USA)

2.3 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Dual-energy X-ray absorptiometry) ยี่ห้อจีอี เฮลแคร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (GE healthcare, USA)

3. เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านการทำงานระบบประสาทกล้ามเนื้อ

3.1 เครื่องวัดแรงไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA)

3.2 เครื่อง Surface Electromyography (sEMG) ชนิดไร้สาย (Wireless) ยี่ห้อ Cometa ประเทศอิตาลี (Cometa, Italy)

3.3 เครื่องแท่นวัดแรง (Force platform) รุ่น FT 700 Power cage และโปรแกรม Ballistic measurement system ยี่ห้ออินเนอร์เวชั่น ประเทศออสเตรเลีย (FT 700 Power cage, Fitness technology, Australia)

4. เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านการทำงานกล้ามเนื้อ

4.1 เครื่องวัดแรงไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA)

4.2 เครื่องวัดความทรงตัว (Postural sway detected machine) ยี่ห้อ ไบโอเดก รุ่น BioSwayTM ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, BioSway, USA)

5. เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านสมรรถภาพแอโรบิก และด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อวีแม๊ก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Vmax, USA)

5.2 ลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคมาสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Trackmaster, USA)

5.3 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพล่าร์ รุ่นโอเฮช 1 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® OH1, Finland)

6. เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านสมรรถภาพแอนแอโรบิก

6.1 เครื่องจับเวลาไร้สาย (Speedlight Timing System) ยี่ห้อ สวิฟท์ เพอร์ฟอแมนซ์ ประเทศ ออสเตเรีย (Swift Performance, Australia)

7. เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด

7.1 หลอดเก็บเลือด (Tube)

7.2 กล่องเก็บหลอดไมโครเซนติฟิวก์ (Microcentrifuge rack)

7.3 กระบอกฉีดยา (Syringe) และเข็มเจาะเลือด (Needle)

7.4 ตู้แช่แข็ง – 80 องศาเซลเซียส (Freezer)

7.5 ชุดตรวจสารชีวเคมีในเลือด Abcam's IGF1 Human ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent assay) kit ประเทศอังกฤษ

7.6 ชุดตรวจสารชีวเคมีในเลือด Abcam's VEGF Human ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent assay) kit ประเทศอังกฤษ

8. เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล

8.1 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพล่าร์ รุ่นโอเฮช 1 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® OH1, Finland)

8.2 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแลคเตทในเลือด (Lactate analyser) ยี่ห้อ Lactate Scout รุ่น 4 ประเทศสหรัฐอเมริกา (Lactate Scout, Scout 4, USA)

8.3 หลอดเก็บเลือด (Tube)

8.4 กล่องเก็บหลอดไมโครเซนติฟิวก์ (Microcentrifuge rack)

8.5 กระบอกฉีดยา (Syringe) และเข็มเจาะเลือด (Needle)

9. เครื่องมือสำหรับการฝึก

9.1 ลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคมาสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Trackmaster, USA)

9.2 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพล่าร์ รุ่นโอเฮช 1 ประเทศฟินแลนด์ (Polar® H10, Finland)

9.3 อุปกรณ์การฝึกแบบวงจร ได้แก่ บูซูบอล ยางรัดแรงต้าน สเต็ปเปอร์ และดัมเบล และบันไดลิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษานำร่อง (Pilot study)

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ สมรรถภาพแอโรบิก สมรรถภาพแอนแอโรบิก ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง และความสามารถในการวิ่งเทรล

2. คัดเลือกการฝึกออกกำลังกายที่เหมาะสม และหานักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ จำนวน 2 คน ที่มีคุณสมบัติดังเกณฑ์คัดเข้า เพื่อมาทดสอบตัวแปรในการศึกษานำร่อง

3. ทำการศึกษานำร่อง (ภาคผนวก ค) ดังนี้

1) ทำการทดสอบตัวแปรด้านสมรรถภาพด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น ด้วยเครื่องลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคมาสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Trackmaster, USA) และการประเมินความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อวีแม๊ก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Vmax, USA) โดยวิธีการทดสอบ Graded incremental exercise test โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบด้วยเครื่องลู่กลที่ความเร็ว 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 0% เมื่อครบทุก 2 นาที ให้ปรับความเร็วขึ้นทีละ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และปรับความชันเป็น +10% ตลอดช่วงการทดสอบ จนผู้เข้าร่วมวิจัยขอยุติการทดสอบ และวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (Maximal oxygen uptake; VO_2peak) อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold; VT) พบว่า การทดสอบนี้เหมาะสมกับนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ที่มีความสามารถในการวิ่งเทรลเป็นอย่างดี

2) ทำการวัดค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ทดสอบการใช้พลังงาน (Energy cost) บทเครื่องลู่วิ่งโดยแบ่งเป็น 2 ระดับการวิ่ง ได้แก่ การวิ่งระดับพื้นราบ (Level running) ที่ความชัน 0% ในการวิ่งระดับพื้นราบ (Level running) ที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (2.77 เมตรต่อวินาที) เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นปรับความเร็วเป็น 14 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (3.88 เมตรต่อวินาที) ที่ความชัน 0% เป็นระยะเวลา 5 นาที โดยพักระหว่างการทดสอบ 5 นาที และการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) ที่ความชัน 0% ในการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) ที่ความเร็ว 7.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (2.08 เมตรต่อวินาที) เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นปรับความเร็วเป็น 9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (2.5 เมตรต่อวินาที) ที่ความชัน +10% นำค่า VO_2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล (Easthope et al., 2017) พบว่า การทดสอบนี้เหมาะสมกับนักวิ่งเทรลสมัครเล่น ที่มีความสามารถในการวิ่งเทรลเป็นอย่างดี เนื่องจากความชันและความเร็วที่ถูกปรับขึ้น

3) ทำการทดลองการออกกำลังกายแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับแบบวงจร (High-intensity uphill interval training combined with circuit training) ในนักวิ่ง

เทรลสมัครเล่น พบว่า ทำการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดบนลู่วิ่ง 2 นาที ความชัน 10% และความสามารถด้านการใช้ออกซิเจนสูงสุด 90 – 100% สลับกับช่วงเดิน 4 นาที ที่ความชัน 0% และความสามารถด้านการใช้ออกซิเจนสูงสุด 40 – 50% ทำการฝึกอย่างต่อเนื่อง จำนวน 6 รอบ ระยะเวลา 36 นาที และตามด้วยการฝึกแบบวงจรสลับช่วงความหนักสูง จำนวน 9 สถานี จำนวน 3 รอบ ระยะเวลา 44 นาที รวมเป็นระยะเวลา 80 นาที พบว่าผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถปฏิบัติได้

4) ทำการทดลองวัดตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ด้วยการประเมินด้านการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อแบบความยาวคงที่ (Isometric maximum voluntary contraction: IMVC) ด้วยเครื่องวัดแรง ไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA) ในท่านั่งเหยียดเข่า (Knee extension) และท่ากดปลายเท้า (Plantar flexion) พร้อมทำการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยเครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (Electrical stimulation) วิธีการกระตุ้นไฟฟ้าผ่านทางผิวหนัง (Transcutaneous electrical stimulations) เป็นระยะเวลา 4 วินาที เวลาพัก 2 วินาที จำนวน 3 ครั้ง ทั้งหมด 2 รอบ พักระหว่างรอบ 15 วินาที และจำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 30 วินาที บันทึกตัวแปรที่ได้ การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อแบบความยาวคงที่ (Isometric maximum voluntary contraction: IMVC) ทั้งท่าเหยียดเข่า และกดปลายเท้า คือ แรงสูดสุด (Fmax) มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร และทำการคำควณการล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ได้แก่ การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary activation: %VA) คำนวณจากสมการ (Ehrström et al., 2018) และการล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ได้แก่ คลื่นไฟฟ้าจากการกระตุ้นไฟฟ้า (RMS) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็น พบว่า นักวิ่งเทรลสมัครเล่น สามารถทำการทดสอบได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลของการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการฝึกแบบวงจร (Circuit training) การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training) ที่สามารถพัฒนาการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรล รุ่นมาสเตอร์

2. กำหนดรูปแบบการฝึกโดยจำแนกตามกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ การฝึกแบบวงจร (Circuit training) การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval

training) และผลของการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training) เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน ได้แก่ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญทางการฝึกซ้อมกีฬา จำนวน 2 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญการฝึกสมรรถภาพทางกาย (Fitness training) จำนวน 1 ท่าน แพทย์หรือนักกายภาพบำบัด จำนวน 1 ท่าน และผู้ฝึกสอนหรือนักกีฬาผู้ที่มีประสบการณ์สูงในการวิ่งเทรล จำนวน 1 ท่าน เพื่อพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) เพื่อหาความสอดคล้อง (Item objective congruence; IOC) และปรับแก้รูปแบบการฝึกให้มีความเหมาะสม (ภาคผนวก ง)

3. ดำเนินการติดต่อทำหนังสือจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา สำหรับขอยืมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย พร้อมกับจัดเตรียมอุปกรณ์การทดสอบและการฝึกห้องปฏิบัติการ ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และการทดสอบภาคสนาม ณ เขาฉลาก วัดพรมมาวาส อ. เมือง จ. ชลบุรี

4. ดำเนินการหากลุ่มตัวอย่าง จากการประชาสัมพันธ์ผ่านทางโซเชียลมีเดีย และผ่านทางชมรมวิ่งเทรลต่างๆ โดยประสานกับประธานชมรม/สังกัดกีฬาในกลุ่มนักวิ่งเทรล เพื่อหากลุ่มตัวอย่างที่สนใจและติดต่อไปยังนักกีฬาโดยตรง หรือติดต่อนักกีฬาอิสระที่สนใจเข้าร่วมโครงการ และดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง แจ้งให้กลุ่มตัวอย่างทราบถึงรายละเอียดวิธีการปฏิบัติในขณะทำการทดสอบและการเก็บข้อมูล การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่างและลงนามหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยจะทำการชี้แจงข้อมูลการวิจัยตลอดจนตอบข้อสงสัยของผู้เข้าร่วมการวิจัยให้เกิดความเข้าใจ และให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยตัดสินใจเข้าร่วมโดยอิสระก่อนลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

5. ดำเนินคัดกรองผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยกรอกข้อมูลพร้อมเข้ารับการทดสอบและตรวจร่างกาย ณ ห้องปฏิบัติการ แขนงสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย และแพทย์เวชศาสตร์ฉุกเฉิน ทำหน้าที่ประเมินผลการทดสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย (Exercise stress test) หากพบความผิดปกติในขณะทดสอบ ถือว่าไม่ผ่านการทดสอบและแนะนำให้พบแพทย์และบุคคลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

5.1. แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย สำหรับบุคคลทั่วไป (อายุ 15-69 ปี) โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องตอบ ไม่ ในทุกข้อจึงผ่านเกณฑ์การประเมิน (ภาคผนวก จ)

5.2. แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลและประวัติการวิ่งเทรล (ภาคผนวก ช)

5.3. ตัวแปรด้านสรีรวิทยา (General physiological data) ดังนี้

1. น้ำหนักตัว (Weight) มีหน่วยเป็น กิโลกรัม ส่วนสูง (Height) มีหน่วยเป็น เซนติเมตร ดัชนีมวลกาย (BMI) มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเมตร ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกายยี่ห้อ จาวอน รุ่น ไอโอไอ 353 (Jawon medical, IOI 353, Korea)

2. ไขมันในร่างกาย (Fat mass) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ มวลกล้ามเนื้อปราศจากไขมันของร่างกาย (Lean mass) มีหน่วยเป็น กิโลกรัม ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Dual-energy X-ray absorptiometry; DEXA) (ภาคผนวก ฌ)

3. อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักในท่านั่ง มีหน่วยเป็น ครั้งต่อนาที และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวในท่านั่ง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท ด้วยเครื่องเครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอล (Digital blood pressure) ยี่ห้อจีอี ไดนาแมบ รุ่น Carescape V100 Dinamap ประเทศสหรัฐอเมริการ (GE Healthcare, USA)

5.4 ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางกาย (Physical fitness)

1. การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) ด้วยเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) โดยประเมินการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ที่อัตราเร็วเชิงมุม 60 องศาต่อวินาที จำนวน 5 ครั้ง พักระหว่างครั้ง 90 วินาที และนำค่าที่ดีที่สุดมาบันทึกข้อมูล (Ø. H. Sundby & M. L. S. Gorelick, 2014) (ICC = 0.96 – 0.98) (ภาคผนวก ญ) (O. H. Sundby & M. L. Gorelick, 2014) และบันทึกตัวแปร ได้แก่

1.1. แรงสูงสุด	มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร
1.2. แรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว	มีหน่วยเป็น นิวตันเมตรต่อน้ำหนักตัว

2. การทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) ด้วยเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) โดยประเมินการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ที่อัตราเร็วเชิงมุม 180 องศาต่อวินาที จำนวน 20 ครั้งต่อเนื่อง (ICC = 0.96 – 0.98) (Li et al., 2017) และบันทึกตัวแปร ได้แก่ (Astorino et al., 2012) (ภาคผนวก ฎ)

2.1 งาน (Work)	มีหน่วยเป็น จูล
2.2 งานต่อน้ำหนักตัว (Work/Body weight)	มีหน่วยเป็น จูลต่อกิโลกรัม
2.3 ระดับความล้า (Work fatigue)	มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

3. การทดสอบพลังของกล้ามเนื้อ (Muscular power)

3.1 การทดสอบการกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump: CMJ) ที่มุมข้อเข่า 90 องศา (Half squat jump) ประเมินด้วยเครื่อง แท่นวัดแรง (Force platform) รุ่น FT 700 Power Cage และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ballistic Measurement System

จำนวน 1 ครั้งต่อรอบ จำนวน 2 รอบ พักระหว่างรอบ 3 นาที และนำค่าที่ดีที่สุด 1 ครั้งเป็นข้อมูลในการวิจัย (Lemire et al., 2020) (ภาคผนวก ฏ) (ICC = 0.94 – 0.97) (Li et al., 2017) ตัวแปรที่ได้ คือ พลังสูงสุด และความสูงในการกระโดดแบบย่อเข่า มีหน่วยเป็น วัตต์ และเมตร ตามลำดับ

3.2 การทดสอบการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) ในลักษณะเท้าลอยพ้นพื้นน้อยที่สุด ประเมินด้วยเครื่อง แท่นวัดแรง (Force platform) รุ่น FT 700 Power Cage และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ballistic Measurement System จำนวน 10 ครั้งต่อรอบ จำนวน 1 รอบ และนำค่าที่ได้มาคำนวณจากสมการ (Balducci et al., 2017) (ภาคผนวก ฐ) (ICC = 0.94 – 0.97) (Li et al., 2017)

4. ตัวแปรด้านการทรงตัว (Balance test) ด้วยเครื่องวัดการทรงตัว (Postural sway detected machine) ยี่ห้อ Biodex รุ่น BioSwayTM (Biodex, BioSway, USA) โดยโปรแกรมการทดสอบ Modified Clinical Test of Sensory Integration and Balance (m-CTSIB) และบันทึกตัวแปร ได้แก่ ค่าดัชนีการเคลื่อนจุดศูนย์กลางมวลออกจากฐานรองรับ (Sway index) มีหน่วยเป็น ดัชนี ซึ่งมีรูปแบบการทดสอบ 8 เงื่อนไข (Saalfield et al., 2022) (ภาคผนวก ฑ) (ICC = 0.88) (Powden et al., 2019) ได้แก่

4.1 ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาสองข้างบนพื้นแข็ง (Eyes open firm surface)

4.2 ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาสองข้างบนพื้นแข็งร่วมกับหลับตา (Eyes closed firm surface)

4.3 ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาหนึ่งข้างบนพื้นแข็ง (Eyes open firm surface)

4.4 ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาหนึ่งข้างบนพื้นแข็งร่วมกับหลับตา (Eyes closed firm surface)

4.5 ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาสองข้างบนพื้นโฟม (Eyes open foam surface)

4.6 ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาสองข้างบนพื้นโฟมร่วมกับหลับตา (Eyes closed foam surface)

4.7 ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาหนึ่งข้างบนพื้นโฟม (Eyes open foam surface)

4.8 ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาหนึ่งข้างบนพื้นโฟม ร่วมกับหลับตา (Eyes closed firm surface)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. การทดสอบตัวแปรด้านความสามารถในการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (Star excursion balance test; SEBT) ด้วยการติดเทปกาวในลักษณะ 8 ทิศทาง * ทำการทดสอบการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว 8 ทิศทางของขาทั้ง 2 ข้าง โดยยืนขาเดียวที่จุดกึ่งกลางของเส้นที่ตัดกัน มือทั้ง 2 ข้างเท้าเอว และเหยียดขาออกไปให้ไกลที่สุดในแต่ละทิศทาง ทำการคำนวณและบันทึกตัวแปรได้แก่ ค่าความสามารถในการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (SEBT score) (ICC = 0.88) (Powden et al., 2019) (ภาคผนวก ฒ)

6. ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) ทำการทดสอบด้วยเครื่องลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคมาสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Track master, USA) และการประเมินความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อวีแม๊ก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Vmax Encore 29 System, VIASYS Healthcare, Inc.,Yorba Linda, CA) โดยวิธีการทดสอบ Graded incremental exercise test โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องลู่กลที่ความเร็ว 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 0% เมื่อครบทุก 2 นาที ให้ปรับความเร็วขึ้นทีละ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และปรับความชันเป็น +10% ตลอดช่วงการทดสอบ จนผู้เข้าร่วมวิจัยขอยุติการทดสอบ (ภาคผนวก ณ) และวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ เกณฑ์การยุติการทดสอบความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ดังนี้ (Ehrström et al., 2018)

6.1 ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen uptake; VO_2max) ใช้ค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ค่า โดยประเมินก่อนช่วงยุติการทดสอบภายใน 15 วินาที มีหน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวต่อนาที

6.2 ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) ไม่เกิน 2 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาทีในการปรับระดับขั้น (Stage) ถัดไปก่อนช่วงยุติการทดสอบ

6.3 อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) ใช้ค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 ค่า โดยประเมินก่อนช่วงยุติการทดสอบภายใน 15 วินาที และอัตราการเต้นหัวใจมีค่ามากกว่า 85% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดก่อนช่วงยุติการทดสอบมีหน่วยเป็น ครั้งต่อนาที

6.4 อัตราการแลกเปลี่ยนการหายใจสูงสุด (Maximal respiratory exchange ration; RER) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่หายใจออกและปริมาณออกซิเจนที่หายใจเข้า เมื่อ RER > 1.1 บ่งบอกถึงสภาวะการทำงานของร่างกายเข้าสู่ระบบการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก และเกิดการสะสมของแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าปกติอย่างน้อย 1 มิลลิโมลต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.5 ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold) ประกอบด้วย ระดับกั้นการระบายอากาศที่ 1 (First ventilatory threshold; VT1) หรือแอโรบิกเทรชโฮล (Aerobic Threshold) สังเกตค่าจากหน้าจอแสดงผล คำนวณจากค่าจาก VE/VO_2 มีหน่วยเป็น ลิตรต่อนาที

6.6 ความเร็วขณะที่ร่างกายมีความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Velocity at VO2max; vVO2max) จากการวิ่งด้วยความเร็ว 30 วินาทีสุดท้าย ที่แสดงความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด

6.7 ตัวแปรด้านการไหลเวียนโลหิต (Hemodynamic variables) ขณะทดสอบความสามารถขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด ได้แก่ ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output; CO) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (Stroke volume; SV) และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arteriovenous oxygen difference; a-v O_2 diff)

6.8 การทดสอบตัวแปรด้านระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) ด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near-infrared spectroscopy; NIRS) ยี่ห้อโนนิน (The Sensmart Model X-100) ประเทศเนอธอร์แลนด์ (Nonin Medical Inc, Plymouth, MN, USA) ทำการวัดที่กล้ามเนื้อ Vastus lateralis ระหว่างหัวกระดูก ASIS ถึงขอบบนด้านขวาของกระดูกสะบ้า 0.67 เซนติเมตร ของความยาวขาที่วัดได้ และทำการติด NIRS probe ที่บริเวณนั้นๆ ประเมินในระหว่างการทดสอบ Aerobic test (Vernillo et al., 2017) วิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่

1) ระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ (Regional oxygen saturation; rSO_2) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

2) ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (Hemoglobin concentration; Hbl) มีหน่วยเป็น กรัมต่อเดซิลิตร

7. ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness) ทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ (Repeated sprint ability test; RAST) ด้วยเครื่องลู่กล non-motorized treadmill (NMT) (Assault fitness, Sunny, California) ยี่ห้อแอสเซล ฟิตเนส ประเทศแคลิฟอเนีย โดยต้องวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ระยะเวลา 4 วินาที จำนวน 6 รอบ พักด้วยท่ายืนระหว่างรอบ 15 วินาที และทำการเร่งความเร็วก่อนวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 5 วินาที จนสิ้นสุดการทดสอบ (Wiewelhove et al., 2015) (ภาคผนวก ด) ได้แก่

7.1 ความเร็ว (Spees) มีหน่วยเป็น วินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.2 พลังสูงสุด (Peak power output) มีหน่วยเป็น วัตต์
7.3 ค่าเฉลี่ยพลัง (Average power) มีหน่วยเป็น วัตต์
7.4 ดัชนีความล้า (Fatigue index) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

5.5 ตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ด้วยเครื่องลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคมาสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Track master, USA) ทำการทดสอบ การใช้พลังงาน (Energy cost) โดยแบ่งเป็น 2 ระดับการวิ่ง ได้แก่ การวิ่งระดับพื้น (Level running) และการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) โดยพักระหว่างการทดสอบ 5 นาทีดังนี้ (ภาคผนวก ต) (Ehrström et al., 2018) ดังนี้

1. การวิ่งระดับพื้น (Level running) โดยการอบอุ่นร่างกายที่ความเร็ว 50% ของความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ความชัน 0% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้น เริ่มทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ความเร็ว ความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด คูณกับ 0.6 ความชัน 0% เป็นระยะเวลา 5 นาที นำค่า VO_2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล

2. พักระหว่างการทดสอบ 5 นาที ในท่านั่ง

3. การวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) โดยการอบอุ่นร่างกายที่ความเร็ว 35% ของความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ความชัน 10% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้น เริ่มทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ความเร็วการวิ่งพื้นระดับ คูณกับ 2/3 จากค่าที่ได้ความเร็วสูงสุด ความชัน 10% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที นำค่า VO_2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.6 ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) (ภาคผนวก ถ) มีขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ด้วยการอบอุ่นร่างกาย 10 นาที ด้วยการวิ่งระดับพื้นราบ ความชัน 1% ความหนัก 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง (Heart rate reserve; HRR) จากนั้นทำการวิ่งขึ้นเขา ความชัน 15% ความหนัก 75% HRR ระยะเวลา 30 นาที (Ehrstrom et al., 2018) และวิ่งลงเขา ความชัน 15% ระยะเวลา 30 นาที ความหนัก 40% HRR (Garnier et al., 2018) วิ่งต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นการทดสอบ ด้วยลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อไบโอเด็กซ์ (Biodex gait trainer 3, Biodex systems, Shirley, NY)

2. การทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อก่อน และหลังการทดสอบตัวแปรสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness) ทำการประเมินตามลำดับดังนี้

2.1 ทำการทดลองวัดตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ด้วยเครื่องวัดแรง ไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA) ในท่านั่งเหยียดเข่า (Knee extension) และท่ากดปลายเท้า (Plantar flexion) พร้อมทำการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยเครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (Electrical stimulation) โดยวิธีการกระตุ้นไฟฟ้าผ่านทางผิวหนัง (Transcutaneous electrical stimulations) เป็นระยะเวลา 4 วินาที เวลาพัก 2 วินาที จำนวน 3 ครั้ง ทั้งหมด 2 รอบ พักระหว่างรอบ 15 วินาที และจำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 30 วินาที และบันทึกตัวแปร ได้แก่

1. การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อแบบความยาวคงที่ (Isometric maximum voluntary contraction: IMVC) ทั้งท่าเหยียดเข่า และท่าเหยียดปลายเท้าลง คือ แรงสูดสุด (Fmax) มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

2. การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) คือ การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum voluntary activation: %VA) คำนวณจากสมการ (Ehrström et al., 2018)

3. การล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ได้แก่

3.1 เอ็ม-เวฟ (M-wave) มีหน่วยเป็น มิลลิโวลต

3.2 การตอบสนองจากการกระตุ้นไฟฟ้าทุกความถี่ (Db10 และ Db100) มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

5.7 ตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล (Trail running time trial) กำหนดการวิ่งเทรล ณ เขาฉลาก วัดพรมมาวาส อ. เมือง จ. ชลบุรี กำหนดระยะทางเทรล 18 กิโลเมตร ความชันสะสมขณะวิ่งขึ้นเขา 1,021 เมตร (6%) และความชันสะสมขณะวิ่งลงเขา 1,080 เมตร (6%) โดยทำการดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เริ่มทดสอบเวลา 06.00 น. ทำการแข่งขันเสมือนจริงโดยทำเวลาที่ดีที่สุด ผู้วิจัยทำการบันทึกสภาพอากาศ อุณหภูมิ และความชื้น (Easthope et al., 2018) ในการทดสอบจะมีการบันทึกความดันโลหิตก่อน-หลังการทดสอบ วัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ตลอดเวลา และมีการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วมือ เพื่อทดสอบความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แลคเตทในเลือด (Lactate analyzer) ยี่ห้อ Lactate plus ประเทศสหรัฐอเมริกา (Lactate plus meter, USA) จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 0, 9 และ 18 กิโลเมตร และหลังการทดสอบวิ่งเทรลเสร็จสิ้นในนาทีที่ 5 (ภาคผนวก ท) จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump) และสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) (Lemire et al., 2021) ทำการบันทึกค่าตัวแปรความสามารถในการวิ่งเทรล ได้แก่

1. เวลา (Time) มีหน่วยเป็น ชั่วโมง

2. อัตราการหัวใจสูงสุด (HR_{max}) มีหน่วยเป็น ครั้งต่อนาที

3. ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่ง (Average speed) มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4. ระดับความเข้มข้นปริมาณแลตแตทในเลือด (Blood lactate concentration) มีหน่วยเป็น มิลลิโมลต่อลิตร

5. การกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump)

6. หลังการทดสอบตัวแปรความสามารถในการวิ่งเทรลสิ้นสุดลงไปแล้ว 24 ชั่วโมง การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จำนวน 4 ตัวแปรสารชีวเคมีในเลือด ประมาณ 8 มิลลิลิตร (ประมาณ 1 ช้อนชา) ดังนี้

1) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK) และมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) อยู่ในรูป Clotted blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อ โดยไม่ต้องผสมสารใดๆ (จุกหลอดเลือดแดง) เพื่อปั่นแยกซีรั่ม (Serum) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 4 หลอด ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge rack) ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที

2) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) อยู่ในรูป EDTA blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื่อผสมสารป้องกันเลือดการแข็ง EDTA (จุกหลอดเลือดสีม่วง) เพื่อปั่นแยกพลาสมา (Plasma) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด ทำปั่นล้าง (Red cell lysate) ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge rack) ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส และทำการส่งตรวจห้องปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิธีการส่งโดยใช้กล่องโฟมบรรจุน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) โดยมีอุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส

5.9 ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) (ภาคผนวก ธ)

ทำการเก็บตัวอย่างเลือดของผู้เข้าร่วมการวิจัยในเวลา 07.00–08.00 น. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องนอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง งดรับประทานอาหารอย่างน้อย 8 - 12 ชั่วโมง แต่สามารถดื่มน้ำได้เล็กน้อย ผู้เข้าร่วมวิจัยจะนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นทำการเจาะเลือดประมาณ 15 มิลลิลิตร (ประมาณ 2 ช้อนชา) ก่อนการทดสอบ จำนวน 2 ครั้ง และหลังการทดสอบ จำนวน 2 ครั้ง โดยพยาบาลวิชาชีพหรือนักเทคนิคการแพทย์ และส่งตรวจ ณ คณะสหเวชศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งเป็นการเจาะเลือดก่อนการทดสอบตัวแปร และหลังการทดสอบตัวแปร ทั้งก่อน - หลังการทดสอบ ดังนี้

1. ก่อนเริ่มการทดสอบตัวแปร การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จำนวน 7 ตัวแปรสารชีวเคมีในเลือด ประมาณ 15 มิลลิลิตร (ประมาณ 2 ช้อนชา) ดังนี้

1) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ความสมบรูณ์ของเม็ดเลือด (Compete blood count; CBC) ปริมาณไขมันในเลือด (Lipid profiles) และระดับน้ำตาลในเลือด (Fasting blood glucose) อยู่ในรูป Clotted blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อ โดยไม่ต้องผสมสารใดๆ (จุกหลอดเลือดแดง) ทำการตรวจ ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที

2) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK) และมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) อยู่ในรูป Clotted blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อ โดยไม่ต้องผสมสารใดๆ (จุกหลอดเลือดแดง) เพื่อปั่นแยกซีรั่ม (Serum) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 4 หลอด ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge rack) ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที

3) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) อยู่ในรูป EDTA blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื่อผสมสารป้องกันเลือดการแข็ง EDTA (จุกหลอดเลือดสีม่วง) เพื่อปั่นแยกพลาสมา (Plasma) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด ทำปั่นล้าง (Red cell lysate) ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge rack) ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส และทำการส่งตรวจห้องปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิธีการส่งโดยใช้กล่องโฟมบรรจุน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) โดยมีอุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์ตัวแปรสารชีวเคมีในเลือด ดังนี้

1. ความสมบรูณ์ของเม็ดเลือด (Compete blood count; CBC) ได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต โดยวิเคราะห์เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell; RBC) มีหน่วยเป็น 10^6 ต่อไมโครลิตร ฮีมาโตคริต (Hematocrit; Hct) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ ทดสอบด้วยวิธีการอิเล็คทริคอลรีซิชแทนซ์แอนด์ไฮโดรไดนามิคโฟกัสซิง (Electrical resistance and hydrodynamic focusing method) และฮีโมโกลบิน (Hemoglobin; Hb) ด้วยวิธีเอสแอลเอส-ฮีโมโกลบิน (SLS-hemoglobin method) มีหน่วยเป็น กรัมต่อเดซิลิตร

2. ปริมาณไขมันในเลือด (Lipid profiles) ได้แก่ คอลเลสเตอรอล (Cholesterol) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ไฮเดนซิลี้ไลโปโปรตีน (High density lipoprotein; HDL) และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein; LDL) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

3. ระดับน้ำตาลในเลือด (Fasting blood glucose) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

4. อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6) เป็นตัวที่กระตุ้นการทำงานของโปรตีนแบบฉับพลัน มีผลต่อเซลล์กล้ามเนื้อกระดูก และหลอดเลือด และในเวลาเดียวกัน เป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นว่ามีการอักเสบแบบเฉียบพลัน มีหน่วยเป็น พิโนกรัมต่อมิลลิลิตร

5. ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK) เป็นเอมไซม์ที่พบในกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) มีหน่วยเป็นยูนิตต่อลิตร

6. มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) เป็นสารอนุมูลอิสระหรือ Oxidative stress ที่บ่งชี้ถึงการทำลายของเยื้อหุ้มเซลล์ มีหน่วยเป็นไมโคลโมล

7. ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) เป็นเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย และจะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ เมื่ออายุมากขึ้น มีหน่วยเป็น ยูนิตต่อมิลลิกรัม

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ จำนวน 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย ในแต่ละครั้งทำการเก็บข้อมูล 3 วัน โดยมีระยะห่างกันแต่ละวันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล มีดังนี้ (ตารางที่ 4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

เวลา	การทดสอบวันที่ 1	ระยะเวลา
07.30	-เจาะเลือดที่คณะสหเวชศาสตร์ **งดอาหาร 10 ชั่วโมงก่อนเจาะเลือด***	30 นาที
08.00	ตอบแบบสอบถาม	10 นาที
08.00	ตัวแปรด้านสรีรวิทยา (General physiological data) -วัดองค์ประกอบร่างกาย (DEXA) -วัดความดันโลหิตและชีพจรขณะพัก -ชั่งน้ำหนัก และวัดส่วนสูง -วัดความแข็งตัวของหลอดเลือด	30 นาที
08.40	รับประทานอาหารเช้า	30 นาที
	พัก 90 นาที	
10.10	ทดสอบความสามารถในการทรงตัว (Biosway)	30 นาที
10.40	ทดสอบความสามารถในการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว	10 นาที
10.50	ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ	20 นาที
11.10	ทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ	25 นาที
	พัก 10 นาที	
11.45	ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness)	20 นาที
12.05	พักทานอาหารกลางวัน	30 นาที
	พัก 90 นาที	
14.05	การทดสอบการกระโดดแบบย่อเข่า (CMJ)	10 นาที
14.15	การทดสอบการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness)	10 นาที
	พัก 10 นาที	
14.35	ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness)	45 นาที
	รวมระยะเวลาทั้งสิ้น	**7 ชั่วโมง 45 นาที**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

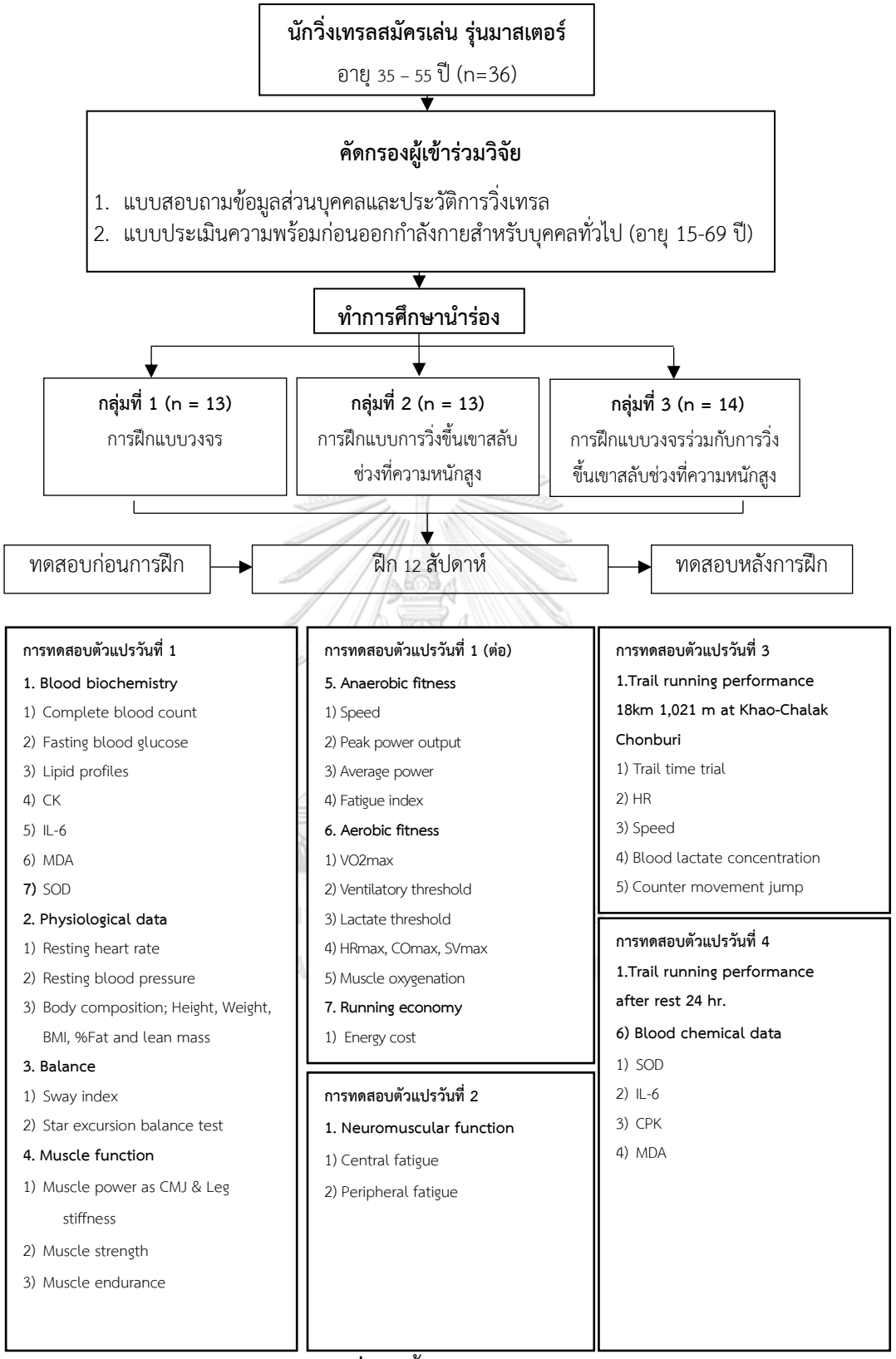
เวลา	การทดสอบวันที่ 2	ระยะเวลา
09.00	ทดสอบความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ (1RM) จำนวน 2 ท่า ได้แก่ Deadlift และ Lunge	60 นาที
	พัก 20 นาที	
10.20	ทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ดังนี้ 1. ทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ 2. ทดสอบการวิ่งขึ้นเขาที่ความเร็วต่อเนื่อง 30 นาที และการวิ่งลงเขาที่ความเร็วต่อเนื่อง 30 นาที ณ ห้องปฏิบัติการ 3. ทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ	 25 นาที 70 นาที 25 นาที
12.30	พักทานอาหารกลางวัน	30 นาที
	พัก 90 นาที	
14.00	ทดสอบตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy)	30 นาที
	รวมระยะเวลาทั้งสิ้น	**6 ชั่วโมง 25 นาที**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เวลา	การทดสอบวันที่ 3 ตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล (Trail running time trial)	ระยะเวลา
04.00 – 06.00	เดินทางไปโดยรถโดยสาร กทม. – เขาฉลาก ชลบุรี (โดยทางโครงการจัดเตรียมไว้ให้)	120 นาที
06.30	ทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ขณะพัก	5 นาที 10 นาที
	พัก 15 นาที	
07.00	ทดสอบความสามารถในการวิ่งเทรล และทดสอบความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ที่ 7.5 กิโลเมตร	6 ชั่วโมง
12.00-15.00	-ทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ที่ 16 กิโลเมตร และหลังจากสิ้นสุดการทดสอบแล้ว 3 นาที -ทดสอบความสามารถสูงสุดในการกระโดดย่อเขา (CMJ) -ทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ RPE	5 นาที 10 นาที
	พักระหว่างการทดสอบ 24 ชั่วโมง	
16.00 – 18.00	เดินทางกลับโดยรถโดยสาร เขาฉลาก ชลบุรี – กทม. (โดยทางโครงการจัดเตรียมไว้ให้)	120 นาที
12.00 – 15.00	การทดสอบสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ของการทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ได้แก่ อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6) ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK) มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) และซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) ใช้เวลา 30 นาที	
	รวมระยะเวลาทั้งสิ้น	**35 ชั่วโมง 15 นาที**

หมายเหตุ รายละเอียดขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ทางโครงการเป็นผู้จัดเตรียมให้ทุกขั้นตอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 20 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

6. ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการฝึกตามโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายสัปดาห์ละ 6 วัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ขณะทำการฝึกซ้อมทุกครั้งสวมใส่อุปกรณ์วัดอัตราการเต้นหัวใจ โดยแต่ละกลุ่มออกกำลังกายทำการฝึกตามรูปแบบโปรแกรม ดังนี้

6.1 กลุ่มที่ 1 ได้รับการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT) (ภาคผนวก น)

- การฝึกเสริมเป็นการฝึกแบบวงจร (Circuit training; CT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 ในเวลา 16.00 – 18.00 น.

- เสริมจากการฝึกวิ่งปกติ (Usual trial running training; UTR) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และเสาร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ สนามศุภัชลาศัย สนามกีฬาแห่งชาติ ทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม รายละเอียดของการฝึกมี ดังนี้

1. การฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT) สัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้

1.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT1) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัวและอุปกรณ์ฟรีเวท ปริมาณการฝึก จำนวน 15 ครั้ง 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรลเดิมที่มีอยู่แล้ว ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2. การฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT) สัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้

2.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT2) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัวและอุปกรณ์ฟรีเวท ปริมาณการฝึก จำนวน 15 ครั้ง 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที

พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 40 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 90 นาที

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์ (ภาคผนวก ผ)

โดยมีขั้นตอนในการฝึก ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 4 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที ใช้เวลา 15 นาที

3) ฝึกการฝึกแบบวงจร (Circuit training) จำนวน 2 ชุด และพักระหว่างชุด 5 นาที ใช้เวลา 35 – 45 นาที

4) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Static Stretching) ใช้เวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2 กลุ่มที่ 2 ได้รับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training; Uphill-HIIT) (ภาคผนวก บ)

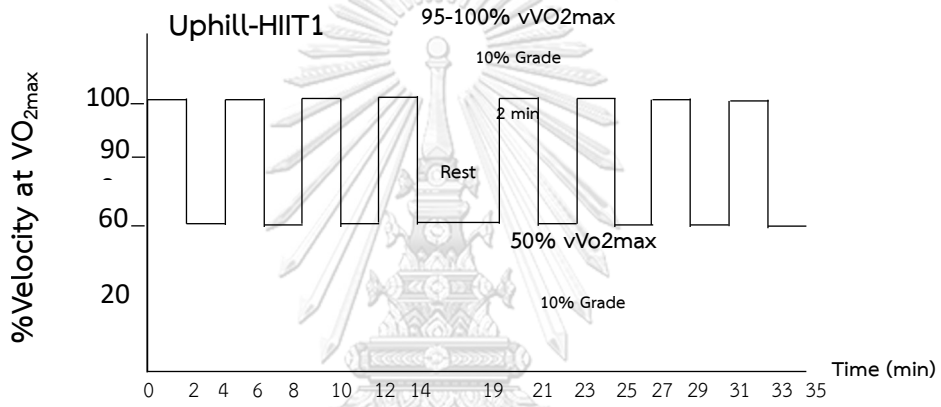
- การฝึกเสริมเป็นการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความสูง (Uphill high-intensity interval training; Uphill-HIIT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 ในเวลา 16.00 – 18.00 น.

- การฝึกวิ่งปกติ (Usual trail running training; UTR) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และวันเสาร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ สนามศุภัชลาศัย สนามกีฬา

แห่งชาติทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม รายละเอียดของการฝึกมี ดังนี้

1. การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training; Uphill-HIIT) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้

1.1 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training; Uphill-HIIT1) (รูปที่ 21) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่ง ที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 32 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์



รูปที่ 21 รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training: Uphill-HIIT1) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล ได้แก่

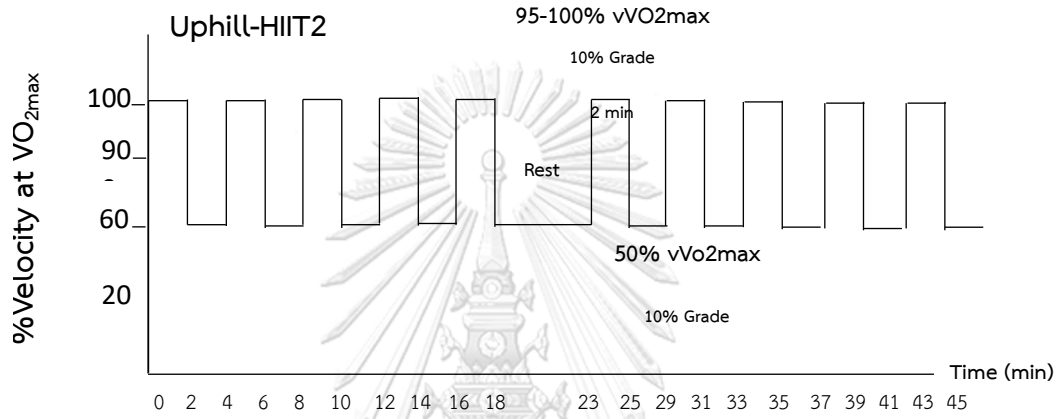
1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2. การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training; Uphill-HIIT) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้

2.1 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training; Uphill-HIIT2) (รูปที่ 22) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่งที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 40 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์



รูปที่ 22 รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT2) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12

2.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะที่ความหนัก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์ (ภาคผนวก ผ)

โดยมีขั้นตอนในการฝึก ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 4 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที ใช้เวลา 15 นาที

3) ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) ใช้เวลา 32 – 40 นาที

4) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Stretching static) ใช้เวลา 10 นาที

6.3 กลุ่มที่ 3 ได้รับผลของการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill high-intensity interval training: Circuit + Uphill - HIIT) (ภาคผนวก ป)

- การฝึกเสริมเป็นการฝึกแบบวงจร (Circuit training) ร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 ในเวลา 16.00 – 18.00 น.

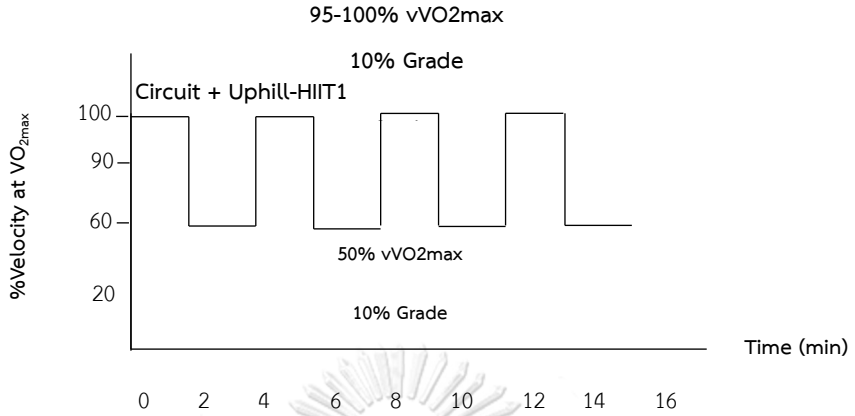
- การฝึกวิ่งปกติ (Usual trail running training) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และวันเสาร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ สนามศุภัชลาศัย สนามกีฬาแห่งชาติทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม รายละเอียดของการฝึกมี ดังนี้

1. การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: CT1 + Uphill-HIIT1) สัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้

1.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT1) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัว และอุปกรณ์ฟรีเวท ปริมาณการฝึก จำนวน 15 ครั้ง 1 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 15 นาที พักระหว่างการฝึก 5 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.2 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training: Uphill-HIIT1) (รูปที่ 23) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่ง ที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50%

vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 1 ชุด เป็นระยะเวลา 16 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์



รูปที่ 23 รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT1) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6

1.3 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

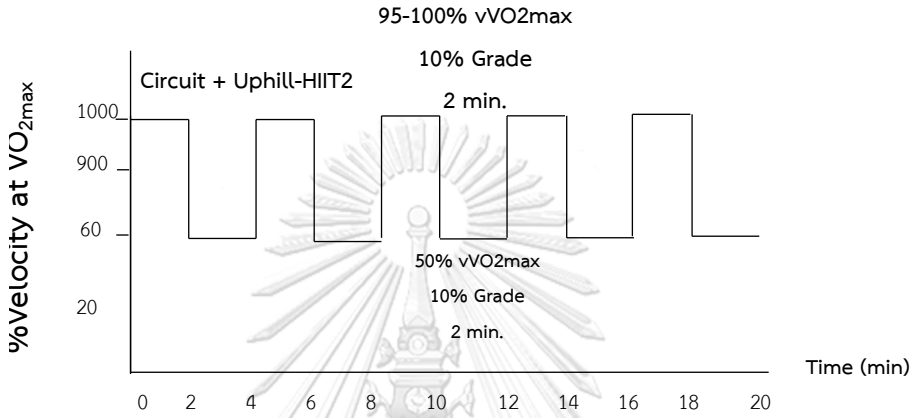
3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์ (ภาคผนวก ผ)

2. การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: CT + Uphill-HIIT) สัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้

2.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT2) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัว และอุปกรณ์ฟรีเวท ปริมาณการฝึก จำนวน 15 ครั้ง 1 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 20 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.2 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT2) (รูปที่ 24) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่งที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 1 ชุด เป็นระยะเวลา 20 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์



รูปที่ 24 รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT2) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12

2.3 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 90 นาที

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์ (ภาคผนวก ฝ)

โดยมีขั้นตอนการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CT + Uphill-HIIT) ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 5 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที รวมทั้งรวม 15 นาที

3) ทำการฝึกการออกกำลังกายแบบวงจร (Circuit training) ใช้เวลา 15 - 20 นาที และพักระหว่างท่า 30 วินาที

4) พักระหว่างการออกกำลังกาย 5 นาที

5) ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill high-intensity interval training) ใช้เวลา 16 - 20 นาที

6) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Stretching static) รวมทั้งหมด 10 นาที

7. ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการทดสอบหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยรับการตรวจทดสอบค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังข้อ 5

8. นำข้อมูลของตัวแปรที่ได้ก่อนและหลังการศึกษาทดลองมาเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติ และแจ้งผลการวิเคราะห์พร้อมให้คำแนะแก่ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

มาตรการความปลอดภัยในการเก็บข้อมูลวิจัย

1. ผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย และกลุ่มตัวอย่างก่อนที่จะเข้าปฏิบัติการทดสอบสมรรถภาพต้องได้รับการการคัดกรองอาการเจ็บป่วยเบื้องต้น โดยมีการตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง หากมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 37.5 องศาเซลเซียส หรือมีอาการที่ไม่ปกติ เช่น ไอ จาม มีน้ำมูก มีเสมหะ เจ็บคอ ปวดเมื่อยตามตัวโดยไม่ทราบสาเหตุ หรือหายใจลำบาก และแนะนำให้บุคคลนั้นกลับบ้านเพื่อสังเกตอาการหรือพบแพทย์ และทำการงดการเก็บข้อมูลในวันนั้น และทำการนัดหมายใหม่เมื่อไม่มีอาการดังกล่าวแล้ว

2. ผู้วิจัย และผู้ช่วยวิจัยจะต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกัน ได้แก่ หน้ากากอนามัย แผ่นบังหน้า ถุงมือยาง เสมอตลอดระยะเวลาทำการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ ในส่วนกลุ่มตัวอย่างหากเป็นการทดสอบสมรรถภาพที่ไม่ได้มีการใส่อุปกรณ์บริเวณใบหน้าให้สวมหน้ากากอนามัยอยู่เสมอ

3. ผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย และกลุ่มตัวอย่างจะต้องล้างมือทำความสะอาดด้วยสบู่ หรือเจลแอลกอฮอล์สำหรับล้างมือก่อนและหลังสิ้นสุดในการทดสอบแต่ละสถานี

4. อุปกรณ์ทดสอบสมรรถภาพที่มีการใช้ซ้ำ เช่น หน้ากากวิเคราะห์แก๊ส หน้ากากคาโนปิปากคีบ เป็นต้น จะต้องทำการทำความสะอาดหลังจากใช้แล้วทันที โดยทำการเช็ดหรือแช่ด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่ไม่เป็นอันตรายและเช็ดให้แห้ง ก่อนนำกลับมาใช้อีกครั้ง

5. ทำความสะอาดพื้นห้อง เครื่องใช้ เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ของปฏิบัติการทดสอบสมรรถภาพก่อนและหลังสิ้นสุดการทดสอบในแต่ละวันทุกครั้ง

6. หลีกเลี่ยงการเปิดเครื่องปรับอากาศ เปลี่ยนเป็นการเปิดหน้าต่างและพัดลม ในสถานีทดสอบที่สามารถทำได้

ข้อมูลพิจารณาด้านจริยธรรม

1. โปรแกรมการฝึกของทั้ง 4 กลุ่ม มีปริมาณการฝึกที่เท่า ๆ กัน โดยในสัปดาห์ที่ 1 – 6 เป็นระยะเวลา 31 – 35 นาที และในสัปดาห์ที่ 7 – 12 เป็นระยะเวลา 40 – 45 นาที ระบบพลังงานที่ใช้มีความคล้ายและแตกต่างกัน โดยมีกลุ่มที่ 1 การฝึกแบบวงจร (CT) จะใช้พลังงานจากระบบประสาทกล้ามเนื้อในการออกกำลังกายเป็นหลัก เพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มนักวิ่งที่ออกกำลังกายด้วยแรงต้านอย่างเดียว ถัดมากลุ่มที่ 2 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) จะใช้พลังงานจากระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจเป็นส่วนใหญ่ เพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มนักวิ่งเทรลที่ทำการฝึกวิ่งบนภูเขา และกลุ่มที่ 3 การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) จะใช้พลังงาน 2 ระบบได้แก่ ระบบประสาทกล้ามเนื้อและระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ เพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มที่ออกกำลังกายด้วยแรงต้านและการวิ่งบนภูเขา ผู้วิจัยคาดว่ามีผลต่อตัวแปรในการวัดที่แตกต่างในลักษณะของระบบพลังงาน ในการศึกษาครั้งนี้สนใจที่จะศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ อย่างไร

2. การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย โดยผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยภายหลังการอธิบายรายละเอียด พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการทำวิจัยด้วยความสมัครใจ ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะให้ข้อมูลอย่างครบถ้วน และเข้าใจเป็นอย่างดี รวมถึงการตัดสินใจอย่างอิสระในการยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย และการเก็บรักษาความลับของอาสาสมัครในแบบบันทึกข้อมูลจะไม่ปรากฏชื่อถึงตัวอาสาสมัคร และข้อมูลจะถูกเก็บไว้เป็นความลับเฉพาะคณะผู้วิจัย แต่จะเปิดเผยผลวิจัยในภาพรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. การดูแลช่วยเหลือผู้ที่ไม่ผ่านการคัดกรอง

ในการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า และอยู่ในสภาวะที่สมควรได้รับความช่วยเหลือ/แนะนำ ผู้วิจัยจะรายงานผลเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและการฝึกออกกำลังกาย หรือแนะนำให้ปรึกษาบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป และจะได้รับค่าเดินทางตอบแทนในการเข้าร่วมการคัดกรอง

4. ความเสี่ยงหรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ การฝึกแบบวงจร การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง อาจทำให้มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อหลังจากออกกำลังกายไปแล้ว 2-3 วัน แต่ทั้งนี้ก่อนและหลังการทดสอบการออกกำลังกายทุกครั้ง ท่านจะได้รับการอบอุ่นร่างกายก่อนการออกกำลังกาย และผ่อนคลายกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกาย แต่หากอาการนั้นยังคงอยู่ผู้วิจัยจะทำการประคบเย็น ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ หรือนวด โดยทำการดูแลจนกว่าอาการนั้นจะดีขึ้น แต่หากมีอาการบาดเจ็บ หรือมีอาการวิงเวียนศีรษะ แน่นหน้าอก ตาพร่ามัว หรือมีอาการหายใจติดขัดเกิดขึ้นในขณะฝึกออกกำลังกาย ท่านต้องรีบแจ้งให้ผู้วิจัยทราบทันทีเพื่อทำการหยุดการทดสอบทันที และเข้าพบแพทย์ หรือผู้ที่เกี่ยวข้องทันที

ในการเจาะเลือดอาจมีอาการบาดเจ็บหรือเชียวช้ำเล็กน้อยบริเวณที่เจาะ ผู้วิจัยจะแนะนำให้พักการใช้งานบริเวณนั้น และทำการประคบด้วยความเย็น หากท่านมีอาการเจ็บ เลือดออกซ้ำจากการเจาะเลือด อาการบวมบริเวณที่เจาะเลือดหรือหน้ามืด และโอกาสที่จะเกิดการติดเชื้อบริเวณที่เจาะเลือดซึ่งพบได้น้อยมาก

วิธีการป้องกันการปนเปื้อนของแต่ละกลุ่ม และวิธีการไม่ให้มีการฝึกนอกเหนือจากโปรแกรม

ก่อนดำเนินการวิจัยผู้วิจัยชี้แจงรายละเอียดของโครงการวิจัย การปฏิบัติตัวขณะเข้าร่วมโครงการวิจัยแก่ผู้เข้าร่วมวิจัยของแต่ละกลุ่ม และเน้นย้ำการฝึกออกกำลังกายที่เฉพาะกลุ่มของตน นอกจากนี้ผู้วิจัยจะแจ้งแก่ผู้เข้าร่วมวิจัยว่า ในระหว่างการวิจัยให้งดกิจกรรมการฝึกออกกำลังกายประเภทอื่นๆ และงดเข้าร่วมโครงการวิจัยฝึกออกกำลังกายอื่นๆ หากไม่แน่ใจให้สอบถามผู้วิจัยก่อน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Statistical package for the social sciences; SPSS)

2. ทำการตรวจสอบข้อมูลด้วยวิธี Box plot เพื่อทดสอบ Outlier ของข้อมูล ด้วยโปรแกรม SPSS ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

3. ทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normality) ของตัวแปรตาม โดยใช้วิธีการทดสอบชาพิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

4. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐานของการวัด (Standard deviation; SD) และเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยตัวแปรระหว่างก่อนและหลังการฝึก และระหว่างกลุ่มการฝึก 2 กลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม (Mixed-design (Group x Time)) ANOVA หากแตกต่างจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ด้วยวิธีการแอลเอสดี (LSD method)

5. ทดสอบที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยเรื่องนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูล และนำมาวิเคราะห์ผลตามระเบียบวิธีวิจัยและทำการวิเคราะห์ทางสถิติแล้วจึงนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางประกอบความเรียง โดยแบ่งการนำเสนอเป็นดังนี้

ตอนที่ 1 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไประหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตอนที่ 2 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางกาย ได้แก่ องค์ประกอบของร่างกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ พลังกล้มเนื้อ การทรงตัว สมรรถภาพทางแอโรบิก และแอนแอโรบิก ระหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 3 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่งพื้นระดับและขึ้นเขาระหว่างก่อนฝึกและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตอนที่ 4 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อระหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตอนที่ 5 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรลระหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตอนที่ 6 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 1 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไประหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสรีวิทยาทั่วไป ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ระหว่างกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ประสบการณ์การแข่งขัน (ปี)	4.3 ± 1.6	4.3 ± 1.6	3.8 ± 1.6	3.8 ± 1.6	4.3 ± 1.5	4.3 ± 1.5	-	-	-
อายุ (ปี)	43.4 ± 6.6	43.4 ± 6.6	43.0 ± 6.0	43.0 ± 6.0	42.1 ± 5.5	42.1 ± 5.5	-	-	-
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	164.8 ± 7.7	164.8 ± 7.7	165.9 ± 8.1	165.9 ± 8.1	163.6 ± 6.0	163.6 ± 6.0	-	-	-
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	63.1 ± 14.4	63.8 ± 14.7	60.7 ± 9.6	60.4 ± 10.0	60.5 ± 11.3	60.2 ± 10.2	0.896	0.756	0.307
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	23.0 ± 3.6	23.2 ± 3.5	22.2 ± 1.5	21.9 ± 1.4	22.4 ± 3.1	22.3 ± 2.9	0.326	0.644	0.091
อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที)	58.7 ± 7.6	54.4 ± 2.5	58.2 ± 7.6	54.0 ± 5.4	60.7 ± 60.7	57.2 ± 11.0	0.001	0.595	0.933
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	106.3 ± 10.7	103.3 ± 10.4	118.3 ± 14.1	112.1 ± 8.2	115.7 ± 8.6	114.2 ± 12.1	0.024	0.022	0.423
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	65.8 ± 9.6	62.7 ± 8.0	70.5 ± 12.5	66.1 ± 13.1	70.8 ± 12.2	67.0 ± 13.6	0.052	0.509	0.963

จากตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไปในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 2 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางกาย ระหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรองค์ประกอบของร่างกาย ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรองค์ประกอบของร่างกาย	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ไขมันทั้งร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	25.5 ± 2.3	24.8 ± 1.3	26.4 ± 6.3	25.6 ± 5.7	25.9 ± 6.8	24.1 ± 6.6	0.002	0.887	0.303
มวลไขมันทั้งร่างกาย (กิโลกรัม)	16.0 ± 5.0	15.1 ± 4.8	17.5 ± 6.7	16.2 ± 6.5	15.4 ± 5.3	14.2 ± 5.1	0.001	0.641	0.497
มวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกาย (กิโลกรัม)	44.3 ± 10.1	52.4 ± 9.3*	43.7 ± 9.6	45.1 ± 9.4*†	43.1 ± 8.7	47.1 ± 9.0*	0.001	0.536	0.001
ไขมันรยางค์ขา (เปอร์เซ็นต์)	26.4 ± 6.3	23.1 ± 6.3*	28.2 ± 7.5	24.5 ± 7.3*	26.5 ± 7.9	24.6 ± 7.7*	0.001	0.854	0.036
มวลไขมันรยางค์ขา (กิโลกรัม)	5.5 ± 1.0	4.7 ± 1.1	5.5 ± 1.3	5.0 ± 1.3	5.6 ± 1.7	5.0 ± 1.8	0.001	0.952	0.680
มวลกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	15.6 ± 4.6	19.7 ± 4.6*	15.1 ± 3.1	16.4 ± 3.2*†	15.0 ± 3.7	17.1 ± 4.1*	0.001	0.422	0.001
ความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนัง (มิลลิเมตร)	4.3 ± 3.7	3.6 ± 3.2	3.6 ± 2.2	2.7 ± 1.9	3.5 ± 3.1	2.9 ± 2.9	0.001	0.741	0.619

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร

จากตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรองค์ประกอบร่างกายในนักวิ่งเทรลสมัครเล่นรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยไขมันทั้งร่างกาย มวลไขมันทั้งร่างกาย มวลไขมันรยางค์ขา และความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนัง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยการฝึกทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อทั่งร่างกาย และมวลกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นไขมันรยางค์ขาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยไขมันทั่งร่างกาย มวลไขมันทั่งร่างกาย ไขมันรยางค์ขา มวลไขมันรยางค์ขา และความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนังไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกาย และมวลกล้ามเนื้อขามากกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความแข็งแรงกล้ามเนื้อ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ท่าเหยียดเข่า (Knee extension)									
แรงสูงสุด (นิวตันเมตร)	143.4 ± 44.4	164.0 ± 56.4*	149.0 ± 36.6	151.7 ± 36.5	142.9 ± 35.2	154.5 ± 39.0*	0.001	0.951	0.007
แรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว (นิวตันเมตรต่อน้ำหนักตัว)	2.3 ± 0.3	2.5 ± 0.4*	2.4 ± 0.4	2.4 ± 0.3	2.4 ± 0.3	2.5 ± 0.4*	0.001	0.868	0.045
ท่างอเข่า (Knee flexion)									
แรงสูงสุด (นิวตันเมตร)	60.3 ± 22.1	71.6 ± 26.2	65.1 ± 20.1	78.2 ± 19.6	60.4 ± 23.3	66.7 ± 27.7	0.001	0.625	0.560
แรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว (นิวตันเมตรต่อน้ำหนักตัว)	0.9 ± 0.3	1.2 ± 0.3	1.1 ± 0.2	1.2 ± 0.1	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.4	0.001	0.543	0.292

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า

- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าหรือควอทไดรเซปต์ (Quadriceps) ที่ทำการทดสอบด้วยท่าเหยียดเข่าในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าเฉลี่ยแรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยแรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังหรือแฮมสตริงส์ (Hamstring) ที่ทำการทดสอบด้วยท่างอเข่าในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยแรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) พบว่า มีค่าเฉลี่ยแรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัว ของทั้งกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและด้านหลังไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความอดทนของกล้ามเนื้อ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านความอดทนของกล้ามเนื้อ	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ท่าเหยียดเข่า (Knee extension)									
งาน (จูล)	2217.4 ± 753.7	2431.1 ± 762.7	2102.1 ± 602.1	2302.0 ± 650.1	2135.5 ± 612.1	2488.8 ± 769.4	0.001	0.590	0.156
งานต่อน้ำหนักตัว (จูลต่อกิโลกรัม)	34.8 ± 6.6	37.9 ± 6.6	33.0 ± 5.1	36.5 ± 6.0	35.2 ± 6.8	41.0 ± 8.5	0.001	0.400	0.204
ดัชนีความล้า (เปอร์เซ็นต์)	30.2 ± 9.5	20.6 ± 11.1	32.6 ± 3.9	22.3 ± 7.4	32.7 ± 4.8	18.9 ± 6.3	0.001	0.708	0.273
ท่างอเข่า (Knee flexion)									
งาน (จูล)	977.7 ± 350.0	1144.4 ± 401.8	903.8 ± 365.2	1057.4 ± 348.6	896.5 ± 298.3	1180.8 ± 421.9	0.001	0.839	0.10
งานต่อน้ำหนักตัว (จูลต่อกิโลกรัม)	15.7 ± 4.4	18.1 ±4.8	14.1 ± 4.4	16.9 ± 4.2	15.0 ± 4.3	19.4 ± 5.0	0.001	0.570	0.125
ดัชนีความล้า (เปอร์เซ็นต์)	36.0 ± 12.4	20.6 ± 13.4*	37.0 ± 14.3	9.9 ± 7.9*†	36.1 ± 13.2	21.4 ± 11.5*‡	0.001	0.340	0.045

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ‡ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านความอดทนของกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า

- ความอดทนของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าหรือควอทไดรเซปต์ (Quadriceps) ที่ทำการทดสอบด้วยท่าเหยียดเข่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยงาน งานต่อน้ำหนักตัว และดัชนีความล้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
- ความอดทนของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังหรือแฮมสตริงส์ (Hamstring) ที่ทำการทดสอบด้วยท่างอเข่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยงาน งานต่อน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยดัชนีความล้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า

- ความอดทนของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าหรือควอทไดรเซปต์ (Quadriceps) ที่ทำการทดสอบด้วยท่าเหยียดเข่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยงาน งานต่อน้ำหนักตัว และดัชนีความล้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
- ความอดทนของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังหรือแฮมสตริงส์ (Hamstring) ที่ทำการทดสอบด้วยท่างอเข่าทั้ง พบว่า กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าเฉลี่ยดัชนีความล้าลดลงมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านพลังของกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านพลังของล้ามเนื้อ	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
การกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump)									
- พลัง (วัตต์)	2975.7 ± 1140.2	3721.4 ± 964.0*	3059.3 ± 1004.9	3200.8 ± 942.7	3103.9 ± 894.7	3498.6 ± 925.8*	0.001	0.830	0.001
- ความสูง (เซนติเมตร)	39.7 ± 10.3	44.8 ± 9.2*	41.0 ± 10.5	41.4 ± 10.8	43.4 ± 10.0	45.5 ± 9.8*	0.001	0.689	0.013
การกระโดด .แบบเหยียดเข่า (กิโลนิวตันเมตร)	17.2 ± 11.1	27.4 ± 9.8*	21.2 ± 12.7	26.1 ± 10.9*	18.9 ± 10.9	25.1 ± 10.1*	0.001	0.917	0.044

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านพลังของกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่นรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า

- ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยพลัง และความสูงของการกระโดดแบบย่อเข่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
- ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการกระโดดแบบเหยียดเข่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยพลัง และความสูงของการกระโดดแบบย่อเข่าและการกระโดดแบบเหยียดเข่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรการทรงตัว ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านการทรงตัว	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
การทรงตัวแบบคงที่ (Static balance)									
ดัชนีการเคลื่อนจุดศูนย์กลางมวลออกจากฐานรองรับ	2.3 ± 0.3	1.9 ± 0.2	2.2 ± 0.3	1.9 ± 0.2	2.1 ± 0.3	1.8 ± 0.3	0.001	0.144	0.991
การทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (Dynamic balance)									
ดัชนีการทรงตัวแบบเคลื่อนที่	85.1 ± 14.0	106.4 ± 10.9*	84.2 ± 11.9	97.7 ± 12.0*	89.0 ± 13.4	100.1 ± 16.0*	0.001	0.584	0.041

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรการทรงตัวในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการทรงตัวแบบคงที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยการทรงตัวขณะเคลื่อนไหวมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการทรงตัวแบบคงที่ และการทรงตัวขณะเคลื่อนไหวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้าน	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสมวัดซ้ำ		
สมรรถภาพทางแอโรบิก	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อนาที)	39.3 ± 7.1	43.8 ± 6.5*	40.3 ± 6.8	49.2 ± 5.3*	41.0 ± 7.4	47.2 ± 7.6*	0.001	0.429	0.027
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ลิตรต่อนาที)	2.5 ± 0.8	2.8 ± 0.9*	2.3 ± 0.5	2.9 ± 0.2*	2.4 ± 0.7	2.8 ± 0.5*	0.001	0.985	0.032
ความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	8.7 ± 1.3	8.7 ± 1.0	8.2 ± 1.4	9.1 ± 1.2*	8.9 ± 1.8	9.4 ± 1.7*	0.001	0.594	0.038
ระดับกั้นระบายอากาศที่ 1 (ลิตรต่อนาที)	25.2 ± 2.4	26.2 ± 2.4	26.0 ± 2.3	28.2 ± 1.6	25.1 ± 2.6	27.4 ± 3.5	0.001	0.241	0.479

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ (ต่อ)

ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าขณะพัก (เปอร์เซ็นต์)	67.2 ± 6.3	71.1 ± 4.3	65.7 ± 7.9	69.6 ± 6.5	68.4 ± 6.2	71.0 ± 10.2	0.022	0.612	0.910
ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าสูงสุด (เปอร์เซ็นต์)	66.8 ± 5.8	57.2 ± 6.6	65.1 ± 8.0	54.5 ± 7.6	67.6 ± 5.5	53.9 ± 8.3	0.001	0.568	0.494
ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าขณะพัก (กรัมต่อเดซิลิตร)	1.08 ± 0.13	1.05 ± 0.12	1.12 ± 0.15	1.14 ± 0.20	1.18 ± 0.22	1.16 ± 0.24	0.727	0.170	0.901
ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าสูงสุด (กรัมต่อเดซิลิตร)	1.5 ± 0.2	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.2	1.0 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.001	0.170	0.385
ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังขณะพัก (เปอร์เซ็นต์)	64.2 ± 7.7	65.3 ± 5.6	60.7 ± 10.8	63.5 ± 7.2	67.6 ± 6.3	68.2 ± 6.7	0.342	0.036	0.843
ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังสูงสุด (เปอร์เซ็นต์)	65.1 ± 6.6	61.9 ± 6.0	56.0 ± 8.2	54.8 ± 11.0	66.2 ± 3.1	64.2 ± 5.8	0.083	0.002	0.773
ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังขณะพัก (กรัมต่อเดซิลิตร)	1.10 ± 0.11	1.26 ± 0.18	1.06 ± 0.13	1.12 ± 0.21	1.13 ± 0.19	1.22 ± 0.25	0.012	0.216	0.549
ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังสูงสุด (กรัมต่อเดซิลิตร)	1.2 ± 0.2	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.9 ± 0.2	1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.2	0.007	0.003	0.732
ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อน่องขณะพัก (เปอร์เซ็นต์)	57.7 ± 7.5	62.7 ± 7.6	56.5 ± 6.5	58.6 ± 6.3	57.7 ± 6.0	62.9 ± 4.0	0.007	0.215	0.633
ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อน่องสูงสุด (เปอร์เซ็นต์)	65.5 ± 5.4	59.9 ± 8.2	66.4 ± 7.8	60.8 ± 9.4	67.2 ± 4.5	62.5 ± 7.8	0.001	0.664	0.949
ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อน่องขณะพัก (กรัมต่อเดซิลิตร)	1.08 ± 0.20	1.13 ± 0.17	1.10 ± 0.21	1.21 ± 0.18	1.08 ± 0.29	1.29 ± 0.30	0.001	0.599	0.188
ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อน่องสูงสุด (กรัมต่อเดซิลิตร)	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.2	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.5	0.953	0.913	0.531

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จากตารางที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยระดับกั้นระบายอากาศที่ 1 ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าทั้งขณะพักและสูงสุด ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าทั้งขณะพักและสูงสุด ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังทั้งขณะพักและสูงสุด ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังทั้งขณะพักและสูงสุด ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อน่องทั้งขณะพักและสูงสุด และปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อน่องทั้งขณะพักและสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยการฝึกทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อนาที) และความสามารถในการใช้ออกซิเจน (ลิตรต่อนาที) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อนาที) ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (ลิตรต่อนาที) ความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระดับกั้นระบายอากาศที่ 1 ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อ บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อน่อง และปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อน่อง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)	173.6 ± 7.9	174.1 ± 9.4	174.4 ± 12.2	170.0 ± 10.4	176.6 ± 173.2	173.2 ± 11.3	0.057	0.768	0.263
ปริมาณปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้ง (มิลลิลิตรต่อครั้ง)	87.9 ± 18.8	102.2 ± 24.6*	90.8 ± 20.2	121.8 ± 19.7*†	92.9 ± 22.6	113.5 ± 17.7*	0.001	0.316	0.033
ปริมาตรเลือดส่งออกจากหัวใจต่อนาที (ลิตรต่อนาที)	14.6 ± 2.8	17.1 ± 3.4*	14.6 ± 3.2	19.9 ± 2.3*	14.5 ± 3.4	18.5 ± 2.9*	0.001	0.411	0.036
ความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดแดงดำสูงสุด (มิลลิลิตรออกซิเจนต่อเลือดหนึ่งร้อยมิลลิลิตร)	16.1 ± 5.0	16.7 ± 4.8	13.7 ± 3.1	19.0 ± 3.3*	15.3 ± 5.1	16.7 ± 2.3	0.001	0.876	0.037

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ‡ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกัน โดยทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด และอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดแดงดำสูงสุดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที และความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดแดงดำสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าเฉลี่ยปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุดมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ความเร็วสูงสุด (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	18.4 ± 2.2	19.2 ± 2.0	17.6 ± 2.5	19.3 ± 2.7	19.0 ± 3.0	19.9 ± 3.0	0.001	0.591	0.128
ความเร็วสูงสุด (เมตรต่อวินาที)	5.1 ± 0.6	5.3 ± 0.5	4.9 ± 0.7	5.4 ± 0.7	5.3 ± 0.8	5.5 ± 0.8	0.001	0.611	0.139
ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	17.3 ± 2.7	18.0 ± 3.0	16.4 ± 2.7	17.8 ± 3.1	17.3 ± 2.7	18.8 ± 2.8	0.001	0.677	0.252
ความเร็วเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)	4.8 ± 0.8	5.0 ± 0.8	4.6 ± 0.6	5.0 ± 0.8	4.8 ± 0.7	5.2 ± 0.8	0.001	0.767	0.308
พลังสูงสุด (วัตต์)	1598.9 ± 237.0	1687.5 ± 197.1*	1527.8 ± 260.5	1711.8 ± 251.8*	1661.2 ± 272.2	1748.0 ± 250.7*	0.001	0.643	0.020
พลังเฉลี่ย (วัตต์)	1580.9 ± 158.6	1657.7 ± 195.4	1503.4 ± 180.4	1623.1 ± 230.9	1565.2 ± 258.6	1665.3 ± 256.4	0.001	0.762	0.736
ค่าดัชนีความล้า (เปอร์เซ็นต์)	91.3 ± 26.7	71.5 ± 49.5	97.9 ± 44.6	48.6 ± 42.6	95.4 ± 44.4	83.3 ± 31.8	0.002	0.600	0.152

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน $^{\dagger}p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ‡ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ย พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ย พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และค่าดัชนีความล้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 3 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งพื้นระดับระหว่างก่อนฝึกและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตารางที่ 15 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ขณะวิ่งพื้นระดับ									
ค่าการใช้พลังงานขณะวิ่ง (ออกซิเจนมิลลิลิตรต่อนาที)	4.1 ± 0.4	3.9 ± 0.4	4.1 ± 0.2	3.6 ± 0.8*	4.0 ± 0.4	3.8 ± 0.4	0.001	0.725	0.050
ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (ลิตรต่อนาที)	0.9 ± 0.4	1.2 ± 0.4 *	0.6 ± 0.1	1.2 ± 0.3*†	0.8 ± 0.2	1.2 ± 0.4*	0.001	0.630	0.049
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)	114.5 ± 7.9	106.1 ± 10.5	117.5 ± 7.0	103.2 ± 10.9	118.8 ± 13.5	105.6 ± 13.1	0.001	0.842	0.288
ขณะวิ่งขึ้นเขา									
ค่าการใช้พลังงานขณะวิ่ง ออกซิเจนมิลลิลิตรต่อนาที)	4.0 ± 0.4	3.9 ± 0.5	4.0 ± 0.1	3.9 ± 0.2*	4.0 ± 0.3	3.8 ± 0.3*	0.001	0.863	0.027
ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (ลิตรต่อนาที)	1.0 ± 0.4	1.2 ± 0.4*	0.9 ± 0.2	1.1 ± 0.2*	0.9 ± 0.2	1.2 ± 0.3*	0.001	0.754	0.027
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)	120.4 ± 8.4	111.5 ± 10.5	116.2 ± 9.5	111.3 ± 10.4	120.9 ± 10.6	114.1 ± 11.3	0.001	0.616	0.256

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ‡ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

ขณะวิ่งพื้นระดับ

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) เพียงกลุ่มเดียว มีค่าเฉลี่ยค่าการใช้พลังงานขณะวิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด และอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าเฉลี่ยค่าการใช้พลังงานขณะวิ่งน้อยกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ขณะวิ่งขึ้นเขา

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยค่าความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะวิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยค่าการใช้พลังงานขณะวิ่ง ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด และอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตอนที่ 4 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อระหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ท่าเหยียดเข่า									
การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (นิวตันเมตร)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	170.1 ± 64.7	199.6 ± 69.4*	156.4 ± 54.6	169.1 ± 55.8*	159.1 ± 55.8	187.1 ± 58.8*	0.001	0.640	0.041
- หลังจำลองวิ่งเทรล	148.9 ± 50.8	186.0 ± 62.1*	139.5 ± 45.0	151.3 ± 51.6	146.1 ± 49.2	172.1 ± 51.1*	0.001	0.525	0.033
△การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (เปอร์เซ็นต์)	-9.0 ± 15.9	-6.4 ± 6.4	-8.5 ± 15.0	-8.4 ± 18.8	-7.1 ± 13.3	-7.0 ± 10.4	0.718	0.947	0.919
การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (เปอร์เซ็นต์)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	82.1 ± 89.0	94.3 ± 102.6	85.3 ± 40.6	88.0 ± 37.9	87.6 ± 104.8	91.8 ± 82.2	0.411	0.998	0.950
- หลังจำลองวิ่งเทรล	76.5 ± 37.4	89.7 ± 54.9	74.8 ± 50.0	80.1 ± 58.3	82.0 ± 99.8	89.8 ± 162.8	0.649	0.971	0.994
△การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (เปอร์เซ็นต์)	-16.7 ± 34.8	15.4 ± 64.9	-21.8 ± 47.7	10.6 ± 46.5	-6.8 ± 33.7	-4.4 ± 69.6	0.950	0.960	0.481

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ǂ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ (ต่อ)

ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ท่าเหยียดเข่า									
คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (mV)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	1.12 ± 0.44	1.61 ± 0.36*	1.07 ± 0.23	1.30 ± 0.28*†	1.14 ± 0.24	1.41 ± 0.19*	0.001	0.263	0.003
- หลังจำลองวิ่งเทรล	0.95 ± 0.44	1.07 ± 0.53	0.92 ± 0.39	0.92 ± 0.45	1.00 ± 0.23	1.01 ± 0.19	0.511	0.757	0.696
△คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (เปอร์เซ็นต์)	27.1 ± 11.9	-9.7 ± 5.4*	23.5 ± 26.4	-5.1 ± 5.9*	25.8 ± 13.9	-11.3 ± 18.4*	0.001	0.920	0.719
การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 (นิวตันเมตร)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	158.2 ± 67.6	171.8 ± 73.3	163.9 ± 75.7	152.9 ± 50.7	166.4 ± 64.3	171.9 ± 50.8	0.604	0.903	0.163
- หลังจำลองวิ่งเทรล	147.7 ± 57.1	161.2 ± 68.2	156.5 ± 41.7	143.7 ± 49.0	153.8 ± 73.4	158.6 ± 54.6	0.813	0.954	0.374
△การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 (เปอร์เซ็นต์)	20.1 ± 47.8	11.6 ± 38.2	12.9 ± 65.4	-3.6 ± 34.2	8.5 ± 19.4	26.2 ± 72.5	0.846	0.511	0.499

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ǂ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ (ต่อ)

ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ท่าเหยียดเข่า									
การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 (นิวตันเมตร)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	81.2 ± 17.0	97.1 ± 15.0	94.0 ± 27.0	106.4 ± 20.8	82.4 ± 48.2	138.2 ± 58.6*†‡	0.001	0.258	0.001
- หลังจำลองวิ่งเทรล	50.0 ± 24.8	71.4 ± 17.4	59.4 ± 27.3	74.9 ± 58.3	35.4 ± 40.3	78.3 ± 74.7	0.014	0.663	0.571
△การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 (เปอร์เซ็นต์)	-41.6 ± 29.2	-25.0 ± 17.3	-35.1 ± 32.3	-28.1 ± 66.0	-46.7 ± 26.1	-47.1 ± 59.8	0.422	0.405	0.772

*p<0.05 แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †p<0.05 แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ‡ p<0.05 แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยท่าเหยียดเข่าในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ การล้าจากระบบประสาทส่วนกลางทั้งก่อนและหลังจำลองวิ่งเทรล การเปลี่ยนแปลงการล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 ทั้งก่อนและหลังจำลองวิ่งเทรล การเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 และการเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 หลังจำลองวิ่งเทรลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อก่อนจำลองวิ่งเทรล คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อทั้งก่อนและหลังจำลองวิ่งเทรล และการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 ก่อนจำลองวิ่งเทรลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงการล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 และการเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 ก่อนจำลองวิ่งเทรลมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 17 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ท่ากดปลายเท้า									
การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (นิวตันเมตร)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	91.2 ± 69.9	141.9 ± 44.6	93.0 ± 51.2	127.7 ± 38.5	97.4 ± 65.3	131.5 ± 42.7	0.001	0.949	0.475
- หลังจำลองวิ่งเทรล	88.5 ± 62.3	118.1 ± 32.3	74.8 ± 50.0	103.7 ± 17.5	90.0 ± 65.2	110.8 ± 40.2	0.008	0.600	0.913
△การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (เปอร์เซ็นต์)	-17.9 ± 69.5	-14.1 ± 47.3	-22 ± 62.4	-18.6 ± 26.7	3.3 ± 58.7	-12.0 ± 41.8	0.774	0.690	0.596
การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (เปอร์เซ็นต์)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	86.5 ± 86.4	94.4 ± 61.8	85.7 ± 39.8	90.6 ± 28.1	87.3 ± 66.4	94.7 ± 64.8	0.587	0.987	0.995
- หลังจำลองวิ่งเทรล	77.9 ± 78.0	89.9 ± 27.4	80.8 ± 43.7	82.0 ± 63.5	79.3 ± 33.7	81.6 ± 52.9	0.651	0.972	0.914
△การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (เปอร์เซ็นต์)	-2.3 ± 63.7	-9.8 ± 15.7	10.3 ± 51.7	-15.7 ± 73.3	10.8 ± 51.6	-10.3 ± 56.0	0.342	0.964	0.930

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ǂ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

ตารางที่ 17 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ (ต่อ)

ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ท่ากดปลายเท้า									
คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (mV)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	0.09 ± 0.08	0.17 ± 0.10	0.08 ± 0.05	0.12 ± 0.07	0.04 ± 0.03	0.08 ± 0.07	0.001	0.025	0.182
- หลังจำลองวิ่งเทรล	0.10 ± 0.05	0.08 ± 0.06	0.10 ± 0.06	0.09 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.10 ± 0.08	0.926	0.854	0.073
△คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (เปอร์เซ็นต์)	51.7 ± 54.8	35.5 ± 46.2	45.7 ± 83.6	27.0 ± 38.4	30.8 ± 91.1	19.6 ± 36.6	0.374	0.677	0.980
การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 (นิวตันเมตร)									
- ก่อนจำลองวิ่งเทรล	100.9 ± 33.6	123.4 ± 42.1	90.4 ± 30.6	106.1 ± 30.7	95.6 ± 31.3	129.0 ± 52.8	0.001	0.512	0.239
- หลังจำลองวิ่งเทรล	81.5 ± 32.6	105.5 ± 44.2	77.3 ± 31.0	91.9 ± 23.1	85.2 ± 29.6	108.9 ± 41.3	0.001	0.580	0.609
△การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 (เปอร์เซ็นต์)	-12.7 ± 13.4	-14.3 ± 9.3	-11.7 ± 6.5	-7.7 ± 19.1	-10.9 ± 10.2	-13.4 ± 16.8	0.997	0.599	0.656

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ǂ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

ตารางที่ 17 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ (ต่อ)

ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ท่ากดปลายเท้า									
การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 (นิวตันเมตร)									
ก่อนจำลองวิ่งเทรล	17.6 ± 9.4	29.1 ± 18.8	18.2 ± 8.5	37.6 ± 24.9	18.8 ± 8.3	32.5 ± 26.0	0.001	0.626	0.407
หลังจำลองวิ่งเทรล	14.2 ± 6.0	25.7 ± 17.5	12.7 ± 4.3	20.3 ± 4.7	16.3 ± 13.0	21.6 ± 12.0	0.001	0.592	0.476
△การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 (เปอร์เซ็นต์)	-25.0 ± 19.7	24.5 ± 18.1	-10.3 ± 58.7	10.9 ± 47.3	-9.3 ± 87.9	30.6 ± 44.6	0.003	0.808	0.602

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ‡ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยท่ากดปลายเท้าในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อหลังจำลองวิ่งเทรล การเปลี่ยนแปลงการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงการล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 และการเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 หลังจำลองวิ่งเทรลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อหลังจำลองวิ่งเทรล การเปลี่ยนแปลงการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงการล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 และการเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 หลังจำลองวิ่งเทรลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 5 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรลระหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตารางที่ 18 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
เวลา (ชั่วโมง)	4.5 ± 0.5	4.3 ± 0.7	4.7 ± 06	3.8 ± 0.8*	4.6 ± 0.7	3.9 ± 0.7*	0.001	0.710	0.030
เวลา (นาที)	267.6 ± 31.3	259.8 ± 44.4	280.7 ± 35.6	225.2 ± 46.9*	275.2 ± 43.2	234.0 ± 39.5*	0.001	0.710	0.030
เพซเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อนาที)	14.9 ± 1.7	14.4 ± 2.5	15.6 ± 2.0	12.5 ± 2.6*	15.3 ± 2.4	13.0 ± 2.2*	0.001	0.826	0.026
อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)									
- ก่อนวิ่ง	66.5 ± 9.3	71.5 ± 8.4	63.2 ± 8.8	65.0 ± 10.3‡	71.7 ± 12.3	66.8 ± 9.5	0.677	0.238	0.039
- หลังหยุดวิ่ง	105.7 ± 10.4	112.2 ± 10.5	110.3 ± 8.1	103.0 ± 11.8	107.8 ± 13.1	108.9 ± 5.6	0.954	0.700	0.136

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร ‡ $p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

ตารางที่ 18 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ (ต่อ)

ตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล	**CT (n=13)**		**HT (n=13)**		**CH (n=14)**		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)									
- ก่อนวิ่ง	118.6 ± 14.4	116.4 ± 17.5	116.9 ± 16.2	123.2 ± 18.3	127.4 ± 8.7	124.6 ± 9.0	0.816	0.356	0.060
- หลังหยุดวิ่ง	108.6 ± 16.2	112.0 ± 6.1	116.8 ± 13.0	106.3 ± 12.2*	119.1 ± 11.9	115.3 ± 13.8	0.032	0.290	0.007
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)									
- ก่อนวิ่ง	74.7 ± 7.5	75.5 ± 10.7	75.9 ± 12.0	80.7 ± 9.1	79.3 ± 8.7	79.4 ± 5.5	0.147	0.478	0.302
- หลังหยุดวิ่ง	73.9 ± 7.9	70.4 ± 8.3	80.2 ± 8.6	69.7 ± 8.6	80.3 ± 11.5	73.5 ± 8.7	0.001	0.272	0.326

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

ตารางที่ 18 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังาการฝึก 12 สัปดาห์ (ต่อ)

ตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
ความสูงในการกระโดดแบบงอเข่า (เซนติเมตร)									
- ก่อนวิ่ง	39.7 ± 10.3	44.8 ± 9.2*	41.0 ± 10.5	41.4 ± 10.8	43.4 ± 10.0	45.5 ± 9.8*	0.001	0.689	0.013
- หลังหยุดวิ่ง 5 นาที	38.0 ± 9.3	42.3 ± 10.1*	39.3 ± 8.4	39.2 ± 6.4	39.7 ± 10.3	43.7 ± 10.5*	0.001	0.797	0.014
△ความสูงในการกระโดดแบบงอเข่า (เปอร์เซ็นต์)	-3.7 ± 12.3	-2.6 ± 12.8	-6.0 ± 8.5	-9.5 ± 9.6	-6.9 ± 14.6	-3.5 ± 9.2	0.980	0.489	0.445
พลังสูงสุดในการกระโดดแบบงอเข่า (วัตต์)									
- ก่อนวิ่ง	2975.7 ± 1140.2	3721.4 ± 964.0*	3059.3 ± 1004.9	3200.8 ± 942.7	3103.9 ± 894.7	3498.6 ± 925.8*	0.001	0.830	0.001
- หลังหยุดวิ่ง 5 นาที	2851.3 ± 951.9	3563.7 ± 1215.9*	2973.0 ± 1015.3	3199.7 ± 966.7	2876.9 ± 1014.7	3277.0 ± 1164.0*	0.001	0.937	0.034
△พลังสูงสุดในการกระโดดแบบงอเข่า (เปอร์เซ็นต์)	-8.4 ± 14.1	7.5 ± 9.7*	-3.5 ± 12.9	-0.9 ± 9.3	-4.7 ± 13.2	5.9 ± 8.2*	0.001	0.766	0.046
ความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (มิลลิโมล)									
- ก่อนวิ่ง	1.5 ± 0.3	1.6 ± 0.8	1.9 ± 0.7	2.1 ± 0.7	1.5 ± 0.6	1.5 ± 0.4	0.518	0.011	0.723
- ระหว่างวิ่งกิโลเมตรที่ 9	2.8 ± 0.6	3.0 ± 0.1	3.0 ± 1.0	2.4 ± 0.9	2.5 ± 1.1	3.1 ± 0.9	0.731	0.806	0.172
- หลังหยุดวิ่ง	2.3 ± 0.7	3.0 ± 0.9	2.2 ± 0.2	2.5 ± 1.4	2.2 ± 0.6	2.3 ± 0.7	0.103	0.033	0.465
- หลังหยุดวิ่ง 5 นาที	2.2 ± 0.7	1.9 ± 0.6	2.4 ± 1.1	2.5 ± 1.1	2.2 ± 0.6	2.3 ± 0.7	0.496	0.384	0.457

*$p<0.05$ แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †$p<0.05$ แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร

จากตารางที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจก่อนและหลังหยุดวิ่ง ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนวิ่ง ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนและหลังหยุดวิ่ง และความเข้มข้นของปริมาณแลตเตทในเลือดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยเพซเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) มีค่าเฉลี่ยเวลาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยเวลา และเพซเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวหลังหยุดวิ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยความสูงและพลังในการกระโดดแบบย่อเข่า และการกระโดดแบบย่อเข่าแบบงอเข่าหลังหยุดวิ่ง 5 นาทีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยเวลา เพซเฉลี่ย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ความสูงในการกระโดดแบบงอเข่า การกระโดดแบบย่อเข่าแบบงอเข่า และความเข้มข้นของปริมาณแลตเตทในเลือดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจในก่อนวิ่งน้อยกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 19 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (ยูนิตต่อลิตร)									
- ก่อนวิ่งเทรล	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.1	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	0.250	0.425	0.425
- หลังวิ่งเทรล	1.7 ± 0.5	1.9 ± 1.3	1.5 ± 0.0	1.9 ± 1.3	1.8 ± 1.1	1.5 ± 0.0	0.570	0.831	0.291
△อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (เปอร์เซ็นต์)	12.8 ± 34.8	29.3 ± 86.3	-1.7 ± 6.1	23.9 ± 86.2	21.0 ± 72.3	-0.0 ± 0.0*†	0.784	0.223	0.047
ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (ยูนิตต่อลิตร)									
- ก่อนวิ่งเทรล	107.8 ± 64.1	121.0 ± 74.9	110.9± 48.7	100.8 ± 65.4	115.9 ± 59.2	112.9 ± 64.4	0.879	0.903	0.79
- หลังวิ่งเทรล	285.9 ± 268.5	247.3 ± 145.5	200.0 ± 103.1	229.3 ± 109.8†	226.4 ± 115.3	248.2 ± 153.4†	0.897	0.658	0.416
△ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (เปอร์เซ็นต์)	90.9 ± 151.7	114.4 ± 146.8	101.8 ± 174.7	127.7 ± 137.4	105.0 ± 153.7	185.1 ± 398.7	0.794	0.045	0.913
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ไมโครโมล)									
- ก่อนวิ่งเทรล	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.9 ± 0.3	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.443	0.392	0.797
- หลังวิ่งเทรล	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.7 ± 0.1	0.023	0.709	0.741
△มาลอนไดอัลดีไฮด์ (เปอร์เซ็นต์)	-2.8 ± 9.0	0.9 ± 5.9	-3.2 ± 11.4	-4.8 ± 12.1	-0.4 ± 7.2	1.4 ± 5.1	0.494	0.175	0.551
ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (ยูนิตต่อกรัมฮีโมโกลบิน)									
- ก่อนวิ่งเทรล	2470.8 ± 281.4	2657.2 ± 344.6	2554.3 ± 386.9	2807.2 ± 341.8	2400.9 ± 383.8	2461.1 ± 400.1	0.003	0.163	0.0234
- หลังวิ่งเทรล	2657.2 ± 344.6	2595.1 ± 300.1	2766.2 ± 367.1	2649.4 ± 449.2	2540.0 ± 334.5	2446.1 ± 427.4	0.071	0.267	0.903
△ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (เปอร์เซ็นต์)	7.9 ± 11.0	0.2 ± 8.3	8.9 ± 9.3	-6.1 ± 12.2	8.1 ± 20.6	-0.9 ± 15.3	0.001	0.797	0.469

*p<0.05 แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน †p<0.05 แตกต่างจากกลุ่มการฝึกแบบวงจร

จากตารางที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรสารชีวเคมีในเลือดในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ การเปลี่ยนแปลงอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส การเปลี่ยนแปลงครีเอทีนฟอสโฟไคเนส มาลอนไดอัลดีไฮด์ การเปลี่ยนแปลงมาลอนไดอัลดีไฮด์ ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสและการเปลี่ยนแปลงซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ การเปลี่ยนแปลงอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส การเปลี่ยนแปลงครีเอทีนฟอสโฟไคเนส มาลอนไดอัลดีไฮด์ การเปลี่ยนแปลงมาลอนไดอัลดีไฮด์ ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสและการเปลี่ยนแปลงซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตอนที่ 6 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนฝึกและหลังฝึก 12 สัปดาห์ ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH)

ตารางที่ 20 การปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	CT (n=13)		HT (n=13)		CH (n=14)		สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม		
	ก่อนการฝึก	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	**ก่อนการฝึก**	**หลังการฝึก**	เวลา (p-value)	กลุ่ม (p-value)	กลุ่ม*เวลา (p-value)
จำนวนเม็ดเลือดแดง (10^6 ต่อไมโครลิตร)	4.7 ± 0.6	4.6 ± 0.4	4.9 ± 0.9	4.9 ±0.8	4.9 ± 0.8	4.9 ± 0.8	0.384	0.628	0.762
ฮีโมโกลบิน (กรัมต่อเดซิลิตร)	13.5 ± 1.8	13.4 ± 1.2	13.1 ± 0.8	12.9 ± 1.2	13.8 ± 1.6	13.8 ± 1.5	0.405	8.098	0.963
ฮีมาโตคคิค (เปอร์เซ็นต์)	42.8 ± 4.9	41.3 ± 3.6	41.5 ± 2.8	41.1 ± 3.8	43.0 ± 5.0	42.8 ± 5.2	0.061	0.606	0.407
คอลเลสเตอรอล (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	212.5 ± 33.9	218.2 ± 28.8	194.3 ± 26.3	183.8 ± 30.4	201.5 ± 29.0	199.0 ± 35.7	0.588	0.071	0.345
ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	71.4 ± 15.6	68.2 ± 13.4	60.5 ± 13.1	60.2 ± 13.9	58.8 ± 12.7	59.5 ± 10.6	0.535	0.074	0.519
โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	127.1 ± 40.0	130.5 ± 31.7	131.2 ± 35.0	124.3 ± 37.1	135.1 ± 45.4	134.0 ± 52.3	0.693	0.889	0.564
ไตรกลีเซอร์ไรด์ (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	63.9 ± 18.0	59.8 ± 20.1	66.8 ± 19.9	71.4 ± 15.8	59.2 ± 14.6	57.5 ± 14.1	0.890	0.245	0.408
ระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	87.5 ± 7.8	85.7 ± 6.3	83.9 ± 6.5	83.9 ± 5.3	82.4 ±2.0	83.5 ± 3.5	0.841	0.177	0.565

จากตารางที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดในนักวิ่งเทรลสมัครเล่นรุ่นมาสเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการฝึก และระหว่างกลุ่มหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคติต คอลเลสเตอรอล ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน ไตรกลีเซอร์ไรด์ และระดับน้ำตาลในเลือดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อข้อมูลสรีรวิทยาทั่วไป องค์ประกอบร่างกาย การทำงานของกล้ามเนื้อ การทรงตัว สมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งเทรล การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ความสามารถในการวิ่งเทรล และสารชีวเคมีในเลือดในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาวิ่งเทรลสมัครเล่น ทั้งเพศชายและหญิง ที่มีอายุ 35 – 55 ปี จำนวน 40 คน โดยมีประสบการณ์เข้าร่วมการแข่งขันวิ่งเทรล ระยะสั้น หรือระยะ 20 – 44 กิโลเมตร มีประสบการณ์อย่างน้อย 1 สนาม ต่อปี รวมทั้งหมด 3 ปี การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงในช่วง 3 เดือนก่อนเข้าร่วมวิจัย และไม่มีความเสี่ยงของโรคหัวใจโรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะแข็งตัวของหลอดเลือด และไม่มีโรคหรือความผิดปกติของกระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ ผู้วิจัยทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงตามคุณสมบัติเกณฑ์คัดเข้า จากนั้นแบ่งเข้ากลุ่มการทดลอง โดยให้กลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มที่มีลักษณะเหมือนกัน (Homogeneous) ในด้านอายุ เพศ และความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งระหว่างการฝึกออกกำลังกายมีผู้เข้าร่วมวิจัยเจ็บป่วย ได้รับการบาดเจ็บออกจากการวิจัย 5 คน จึงทำให้ภายหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ มีกลุ่มตัวอย่างคงเหลือ ดังนั้น กลุ่มการฝึกแบบวงจร (Circuit training; CT) จำนวน 13 คน กลุ่มการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-High intensity interval training; HT) จำนวน 13 คน และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training; CH) จำนวน 14 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การฝึกซ้อมของนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ทุกกลุ่มทำการฝึกซ้อม จำนวน 6 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 2 การฝึก ดังนี้

1. การฝึกเสริมตามโปรแกรมการฝึก 3 กลุ่ม จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ 1) กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) จำนวน 13 คน โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย ประกอบด้วยความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนักตัวและอุปกรณ์ฟรีเวท ทั้งหมดจำนวน 14 ท่า มีปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง 2 ชุด พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที รวมเป็นระยะเวลา 35 นาที และเพิ่มความก้าวหน้าด้วยท่าที่มีระดับความยากเพิ่มขึ้น รวมเป็นระยะเวลา 45 นาที 2) กลุ่มการฝึก

วิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) จำนวน 13 คน โดยการฝึกวิ่งที่ความชัน 10 % มีความหนักช่วงสูง 95 – 100 % ของความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 2 นาที สลับกับความหนักช่วงเบา 50 % ของความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที รวมเป็นระยะเวลา 35 นาที และเพิ่มความก้าวหน้าด้วยการปรับปริมาณการฝึกเป็น 5 ชุด รวมเป็นระยะเวลา 45 นาที และ 3) กลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกายประกอบด้วยความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนักตัวและอุปกรณ์ฟรีเวท ทั้งหมดจำนวน 14 ท่า มีปริมาณการฝึก จำนวน 15 ครั้ง 1 ชุด พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที ร่วมกับการฝึกวิ่งที่ความชัน 10 % มีความหนักช่วงสูง 95 – 100 % ของความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 2 นาที สลับกับความหนักช่วงเบา 50 % ของความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 1 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที รวมเป็นระยะเวลา 35 นาทีและเพิ่มความก้าวหน้าด้วยการปรับปริมาณการฝึกเป็น 5 ชุด รวมเป็นระยะเวลา 45 นาที

2. การฝึกวิ่งปกติ (Usual trial running training; UTR) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ประกอบด้วย 3 การฝึก ได้แก่ 1) การฝึกวิ่งอย่างง่าย ที่ความหนัก 50 – 75% เป็นระยะเวลา 60 นาที ของความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 2) การฝึกวิ่งเทมโป้ ที่ความหนัก 80 – 90% ของความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 60 นาที และ 3) การฝึกวิ่งยาว ที่ความหนัก 50 – 90% ของความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 90 นาที

ก่อนและหลังการฝึกหลัง 12 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มจะได้รับการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางกาย ได้แก่ องค์ประกอบของร่างกาย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ พลังกล้มเนื้อ การทรงตัว สมรรถภาพทางแอโรบิก และแอนแอโรบิก ตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่งพื้นระดับและขึ้นเขาระหว่าง ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด และตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก และระหว่างกลุ่มการทดลองทั้ง 3 กลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม (Mixed-design (Group x Time)) ANOVA หากพบความแตกต่างจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบรายคู่ด้วยวิธีการทดสอบวิธีการทดสอบแบบแอลเอสดี (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สำหรับรายละเอียดของการสรุปผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัยมีดังต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

ผลของการฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการฝึก เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีรายละเอียด ดังนี้

1. ด้านสรีรวิทยาทั่วไป ได้แก่ อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

2. ด้านองค์ประกอบของร่างกาย ได้แก่ ไขมันทั้งร่างกาย มวลไขมันทั้งร่างกาย มวลไขมันรยางค์ขา และความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนัง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ โดยการฝึกทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อทั่งร่างกาย และมวลกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นไขมันรยางค์ขาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไขมันทั่งร่างกาย มวลไขมันทั่งร่างกาย ไขมันรยางค์ขา มวลไขมันรยางค์ขา และความหนาของไขมันชั้นใต้ผิวหนังไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) มีค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกาย และมวลกล้ามเนื้อขามากกว่ากลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าหรือควอทไดรเซปต์ (Quadriceps) ที่ทำการทดสอบด้วยท่าเหยียดเข่า ได้แก่ แรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาด้านหลังหรือแฮมสตริงส์ (Hamstring) ที่ทำการทดสอบด้วยท่างอเข่า ได้แก่ แรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ด้านความอดทนของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าหรือควอทไดรเซปต์ (Quadriceps) ที่ทำการทดสอบด้วยท่าเหยียดเข่า ได้แก่ งาน งานต่อน้ำหนักตัว และระดับความล้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

ด้านความอดทนของกล้ามเนื้อขาด้านหลังหรือแฮมสตริงส์ (Hamstring) ที่ทำการทดสอบด้วยท่างอเข่า ได้แก่ แรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ค่าดัชนีความล้าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่ม กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) มีค่าเพิ่มขึ้น กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าลดลง และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าดัชนีความล้าน้อยว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. ด้านความพลังของกล้ามเนื้อ ได้แก่ การกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในทุกกลุ่ม ค่าพลัง และความสูงการกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม หลังการฝึก 12 สัปดาห์

6. ด้านการทรงตัว ได้แก่ การทรงตัวแบบคงที่ไม่แตกต่างกัน และการทรงตัวขณะเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

7. ด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก ได้แก่ ระดับกั้นระบายอากาศที่ 1 ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าทั้งขณะพักและสูงสุด ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าทั้งขณะพักและสูงสุด ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังทั้งขณะพักและสูงสุด ปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังทั้งขณะพักและสูงสุด ระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อน่องทั้งขณะพักและสูงสุด และปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อบริเวณกล้ามเนื้อน่องทั้งขณะพักและสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ค่าความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อนาที) และความสามารถในการใช้ออกซิเจน (ลิตรต่อนาที) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม และค่าความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

8. ด้านการไหลเวียนโลหิตขณะใช้ออกซิเจนสูงสุด ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ค่าปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด และอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม และค่าความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างในหลอดเลือดแดงและหลอดแดงดำสูงสุดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

9. ด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ได้แก่ ความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ย และพลังเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ค่าพลังสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม และค่าดัชนีความล้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

10. ด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ขณะวิ่งพื้นระดับ ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ค่าความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม และค่าการใช้พลังงานขณะวิ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีค่าความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดน้อยกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ขณะวิ่งพื้นระดับ ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ค่าความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม และค่าการใช้พลังงานขณะวิ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

11. ด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (%△MVC) การกระตุ้นกล้ามเนื้อสูงสุด (VA) การเปลี่ยนแปลงการ

กระตุ้นกล้ามเนื้อสูงสุด (%△VA) การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 หลังจำลองวิ่งเทรล และการเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหลังการฝึกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม และค่าการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 หลังการฝึกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 หลังการฝึกมากกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และความแตกต่างระหว่างกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT)

12. ด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อในท่ากดปลายเท้า ได้แก่ การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (%△MVC) การกระตุ้นกล้ามเนื้อสูงสุด (VA) การเปลี่ยนแปลงการกระตุ้นกล้ามเนื้อสูงสุด (%△VA) คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 100 การออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 และการเปลี่ยนแปลงการออกแรงด้วยกระแสไฟแบบคู่ 10 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

13. ด้านความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรล ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวหลังหยุดวิ่ง ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว การเปลี่ยนแปลงความสูงของการกระโดดแบบย่อเข่า ความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส มาลอนไดอัลดีไฮด์ และซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ค่าเวลา และเพซเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) ค่าความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ค่าความสูงและพลังในการกระโดดแบบงอเข่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) ค่าเวลา และเพซเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ค่าความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) ค่าความสูงและพลังในการกระโดดแบบงอเข่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(HT) และค่าการเปลี่ยนแปลงความสูงและพลังในการกระโดดแบบงอเข่าเพิ่มขึ้นในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) สูงในการกระโดดแบบงอเข่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ค่าพลังในการกระโดดแบบงอเข่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในกลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) และค่าการเปลี่ยนแปลงอินเตอร์ลูคินซิคซ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีค่าการเปลี่ยนแปลงอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์น้อยกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT)

14. ด้านสารชีวเคมีในเลือด ได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคติต คอลเลสเตอรอล ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน ไตรกลีเซอร์ไรด์ และระดับน้ำตาลในเลือดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทุกกลุ่ม ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

อภิปรายผลการวิจัย

1. ด้านสรีรวิทยาทั่วไป

นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ที่อายุเฉลี่ย 42.1 – 43.4 ปี และเป็นผู้มีประสบการณ์แข่งขันเฉลี่ย 3.8 – 4.3 ปี ด้วยระยะทางไม่เกิน 50 กิโลเมตร แม้ว่าอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป ร่างกายจะมีประสิทธิภาพการทำงานของสมรรถภาพทางกายเสื่อมลง แต่เนื่องจากการวิ่งเทรลบนภูเขา หรือป่าต้องใช้ประสบการณ์ในการจัดการตนเองในสนามแข่งขัน อันได้แก่ ระยะทางร่วมกับความชัน และพื้นผิวสนาม (Scheer et al., 2020) นักวิ่งเทรลควรมีการฝึกซ้อมเพื่อป้องกันการบาดเจ็บ และพัฒนาสมรรถภาพทางกายให้มีความพร้อมและเหมาะสม (Tayrose et al., 2015) ในการศึกษาครั้งนี้ นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ได้รับการฝึกทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ค่าน้ำหนัก และดัชนีมวลกายไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Festa และคณะ (Festa et al., 2019) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการฝึกความแข็งแรงด้วยฟลายล์วีล (Fly wheel) และการฝึกที่ความหนักสลับช่วงสูงในนักวิ่งสมัครเล่น จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า น้ำหนักตัวไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Berzosa และคณะ (Berzosa et al., 2021) ทำการศึกษาน้ำหนักตัวมีผลอย่างไรต่อระยะเวลาการวิ่งขึ้นเขาในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น พบว่า น้ำหนักตัวเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญเกี่ยวกับเวลาในการแข่งขัน แต่ในขณะวิ่งขึ้นเขาต้องเคลื่อนไหวร่างกายต้านกับ

แรงโน้มถ่วงตามความชันที่ได้รับด้วยพลังของกล้ามเนื้อ ดังนั้น นักวิ่งเทรลที่มีไขมันทั้งร่างกายอยู่ในระดับต่ำก็จะเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการวิ่งเทรลได้ดีกว่า หรือมีระยะเวลาวิ่งที่ลดลงได้

ในขณะที่นักวิ่งเทรลมีค่าความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว มีแนวโน้มลดลง บ่งชี้ถึงการพัฒนาของสมรรถภาพทางแอโรบิก อาจเป็นเพราะการฝึกตามโปรแกรมของแต่ละกลุ่มมีการออกกำลังกายแบบแอโรบิก อันประกอบไปด้วย 1) การฝึกเสริมด้วยกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) และ 2) การฝึกปกติ (Usually training) ได้แก่ การฝึกวิ่งอย่างง่าย การฝึกวิ่งเทมโป้ และการฝึกวิ่งระยะไกลที่กำหนดให้นักวิ่งทำการฝึกซ้อมในงานวิจัยนี้ ส่งผลให้ร่างกายลดการทำงานขณะพักลง ซึ่งทำให้ลดการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic Nervous System; SNS) และเพิ่มการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic activity ; Vagal tone) ทำให้มีผลต่อการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจกำหนดจากจังหวะหัวใจ (Pacemaker activity) บริเวณจุดกำเนิดคลื่นกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ผนังห้องขวาบน (Sinoatrial node; SA node) ซึ่งเกิดจากการควบคุมอินทรินสิกเกิดจากการปิดกั้นของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 (Vagus nerve : CN.X) สอดคล้องกับงานวิจัยของเพ็รซ์สกอตต์และลิเบอร์เลส (Prescott & Liberles, 2022) ที่ได้รายงานผลของการฝึกที่ความหนักสูงสุดของสมรรถภาพของหัวใจและปอด ว่ามีผลต่อการลดลงของการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic Nervous System; SNS) และส่งผลให้มีการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ซึ่งการศึกษาวิจัยนี้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจไปในทางลดลงมีความสอดคล้องกับงานวิจัยชองกานินิกาและพุชปา (Kaninika and pushpa, 2014) ที่ได้ศึกษาการออกกำลังกายต่ออัตราการเต้นของหัวใจ (Resting ECG) ขณะพักในนักวิ่งวัยกลางคน โดยติดตามการการออกกำลังกายด้วยการวิ่งแบบความเร็วคงที่ด้วยระดับความหนักที่ 70% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลา 30 นาที จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ตลอดระยะเวลา 3 เดือน พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจลดลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

2. ด้านสมรรถภาพทางกาย

จากผลการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ที่ทำการฝึกการแบบวงจร (CT) การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ไขมันทั้งร่างกายลดลง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 โดยทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าไขมันรยางค์ขาลดลง มวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกายและมวลกล้ามเนื้อ

ขาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 จากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การฝึกแบบวงจร มีท่าการออกกำลังกาย 10 ท่าที่คล้ายคลึงกัน ความหนักด้วยน้ำหนักตัวและอุปกรณ์ฟรีเวท ระยะเวลา 30 นาที จำนวน 2 เซต มีเปอร์เซ็นต์ไขมันทั้งร่างกาย และไขมันรยางค์ขาลดลง (Beqa Ahmeti et al., 2020) ส่วนการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง ที่ความหนักช่วงสูง 100%vVO_2max ระยะเวลา 30 วินาที และความหนักช่วงเบา 65% จำนวน 10 – 14 เซต พบว่า น้ำหนักตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่มีการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจากการทดสอบกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าหรือควอทไดรเซ็ปส์ อาจกล่าวได้ว่า มีมวลกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น ดังนั้น การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ถึงแม้ว่าจะทำการฝึกแบบวงจร 1 เซต และการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง 1 เซต ก็ยังสามารถช่วยพัฒนาเปอร์ณซ็นต์ไขมันทั้งร่างกาย และมวลกล้ามเนื้อทั้งร่างกายได้ ซึ่งทั้งกลุ่ม 3 การฝึกออกกำลังกายช่วยเพิ่มขนาดและมวลของกล้ามเนื้อ อีกทั้งเพิ่มความสามารถของกล้ามเนื้อในการเผาผลาญไขมันได้ดีขึ้น (Lu et al., 2021) เนื่องจากการฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับช่วงที่ความหนักสูงต้องใช้ระบบพลังงานของร่างกายจากคาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นพลังงานหลักในการออกกำลังกาย ในขณะร่างกายเข้าสู่สภาวะพักและการออกกำลังกายที่ระดับความหนัก 45 - 65 %VO_2max จะใช้ไขมัน (Fat oxidation) และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) จะถูกปล่อยออกมาเป็นแหล่งพลังงานหลักในการเผาผลาญ เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue) และไมโตคอนเดรียในกล้ามเนื้อ เมื่อมีความหนักในการของกำลังกายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องที่ความหนักระดับ 80%VO_2max ขึ้นไป จากแหล่งพลังงานไขมันจะถูกเปลี่ยนเป็นการเผาผลาญกูสโคสเป็นหลัก (Glucose oxidation) ดังนั้น กระบวนการสลายไขมัน (Lipolysis) จึงกระตุ้นให้กล้ามเนื้อมีความสามารถในการใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน (Fat oxidation) ดีขึ้นตามกลไกที่กล่าวมาข้างต้นได้ (Beqa Ahmeti et al., 2020)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่า นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีมวลกล้ามเนื้อร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะผลของความหนักจากการออกกำลังกายแบบวงจรด้วยแรงต้านและแบบการวิ่งขึ้นสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยความหนัก 95 – 100%vVO_2max โดยทั่วไปนักวิ่งรุ่นมาสเตอร์อายุ 35 ปีขึ้นไป จะมีการลดลงของมวลกล้ามเนื้อจากปัจจัยการใช้ชีวิต เช่น การทำงาน เวลา และการออกกำลังกาย เป็นต้น นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวมีผลต่อประสิทธิภาพในการวิ่ง (Willy & Paquette, 2019) ความหนักสูงในการออกกำลังกายจะช่วยเพิ่มการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 (Type II fiber recruitment) จึงเพิ่มการตอบสนองของเซลล์แซทเทิลไลท์ (Satellite cell) ส่งผลให้มวลกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นจากการสร้างโปรตีนใหม่ (Ogborn & Schoenfeld, 2014) ดังนั้น

เป็นไปได้ว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alcaraz และคณะ (Alcaraz et al., 2011) ที่ทำการเปรียบเทียบการฝึกการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่ความหนักสูงด้วยการออกแรง 6 ครั้ง พักระหว่างเซ็ต 30 วินาที ทั้งหมด 3 – 6 เซ็ต และการออกกำลังกายแบบเสริมสร้างความแข็งแรงรูปแบบเดิมด้วยการออกแรง ออกแรง 6 ครั้ง พักระหว่างเซ็ต 3 นาที ทั้งหมด 3 – 6 เซ็ต เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ช่วยเพิ่มมวลกล้ามเนื้ออาจเป็นเพราะการฝึกออกกำลังกายที่มีความหนักสูง กระตุ้นให้เกิดการเผาผลาญพลังงานภายในเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างมากส่งผลให้เพิ่มปริมาณการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อโดยการเพิ่มขึ้นของกระบวนการแมมมาเลียนทาร์เกตออฟ ราพาไมซิน (Mammalian target of rapamycin; mTOR) และเอมไซม์ไมโทเจนแอคทิเวเตด โปรตีนไคเนส (Mitogen activated protein–kinase; MAPK) เพิ่มขึ้น (Abe et al., 2006; Kim et al., 2016) อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ฝึกด้วยรูปแบบกลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) มีแนวโน้มของมวลกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่า นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) มีแรงสูงสุดและแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) ของกล้ามเนื้อควอทไดเซ็ปส์ (Quadriceps) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (HT) แนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะการฝึกแบบวงจร (CT) เป็นรูปแบบการฝึกแรงต้าน และเนื่องจากน้ำหนักตัวที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้การระดมหน่วยยนต์ดีขึ้นเป็นเหตุให้มีความแข็งแรงของขาเพิ่มขึ้น (Staron et al., 1994) นอกจากนี้การฝึกแบบแรงต้านอาจทำให้เกิดการกระตุ้นการเพิ่มสารเมตาบอไลต์ที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการผลิตพลังงานเพิ่มมากขึ้น (Scott et al., 2014) ส่งสัญญาณไปยังเซลล์กล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อ (Muscle synthesis) ผ่านกลไกการเกิดอินซูลินไลท์โกรทแฟคเตอร์–วัน (IGF–1) และกระบวนการ mTOR ช่วยในการสร้างกล้ามเนื้อ (Sakamaki, et al., 2010) ส่งผลให้ช่วยลดการสร้างฮอร์โมนไมโอสเตติน (Myostatin) ซึ่งเป็นกลไกการการสลายกล้ามเนื้อ (Muscle breakdown) (Amani- Shalamzari et al., 2019) และกระตุ้นการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 2 จนเกิดความล้าที่มากจึงเป็นการกระตุ้นหน่วยยนต์ของกล้ามเนื้อให้ทำงานเพิ่มขึ้น (Loenneke et al., 2015) ทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้นและแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Amani-Shalamzari et al., 2019) และสอดคล้องกับการวิจัยของ Ferrauti และคณะ (Ferrauti et al., 2010) ได้ทำการการฝึกความแข็งแรงร่วมกับความอดทนในนักวิ่งสมัครเล่นช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แต่การฝึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความอดทนเพียงอย่างเดียวไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Ferrauti et al., 2010)

จากการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า ทุกรูปแบบการฝึก มีแนวโน้มแรงสูงสุด และแรงสูงสุดต่อน้ำหนักตัวในท่างอเข่า (Knee flexion) ของกล้ามเนื้อแฮมตริงส์ (Hamstrings) เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะจำนวนท่าทางในการฝึกกล้ามเนื้อแฮมสตริงส์ไม่เพียงพอ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการฝึกท่าที่มีกล้ามเนื้อแฮมตริงส์เป็นกล้ามเนื้อมัดหลักทั้งหมด 3 ท่า ได้แก่ ท่า A-B walks – A-B skips ท่า Glute walking – Glute marching และท่า Romanian deadlift – Single-leg Romanian Deadlift โดยท่า Glute walking – Glute marching และท่า Romanian deadlift – Single-leg Romanian Deadlift เป็นการออกแรงในลักษณะในการเหยียดออก (Eccentric contraction) ของกล้ามเนื้อควอทไดรเซ็ปส์ (Quadriceps) และกล้ามเนื้อแฮมสตริงส์ (Hamstrings) แต่ไม่มีการออกแรงกระโดด จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยส่วนใหญ่ทำการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และทดสอบด้วยการออกแรง 1 ครั้งด้วยน้ำหนักสูงสุด (1RM) พบว่า การเปรียบเทียบการฝึกความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อร่วมกับการฝึกความอดทน และการฝึกความแข็งแรงด้วยแรงระเบิดร่วมกับการฝึกความอดทนสามารถพัฒนากล้ามเนื้อได้ดีกว่าการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกความอดทน (Taipale et al., 2010) ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Li และคณะ (Li et al., 2019) ได้ทำการเปรียบเทียบการฝึกความแข็งแรงสูงสุดสลับร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริกและความอดทน การฝึกความแข็งแรงสูงสุดร่วมกับความอดทน และกลุ่มควบคุมในนักวิ่งมาราธอนสมัครเล่นชาย เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การฝึกความแข็งแรงสูงสุดสลับร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริกและความอดทนมีการออกแรง 1 ครั้งด้วยน้ำหนักสูงสุด (1RM) เพิ่มขึ้นดีกว่ากลุ่มอื่นๆ จากข้างต้น จึงอาจกล่าวได้ว่าการฝึกความแข็งแรง จากการฝึกท่าบริหารกล้ามเนื้ออาจส่งพัฒนาต่อหลายข้อต่อ (Multiple-joint) ในการเคลื่อนไหวได้มากกว่าการเคลื่อนไหวเพียงข้อต่อเดียว (Single-joint) ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยการออกแรงสูงสุดเพียงข้อต่อเดียว จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

จากการศึกษาวิจัยนี้ ความอดทนของกล้ามเนื้อทดสอบด้วยการออกแรงในท่าเหยียดเข่าและการออกแรงในท่างอเข่า พบว่า การฝึกแบบวงจร การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงและการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีแนวโน้มของค่างาน และงานต่อน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะการฝึกวงจรที่มีความหลากหลายของอุปกรณ์ เช่น ดัมเบล ยางยืด แท่นความสูง และบันไดลิง เป็นต้น เนื่องจากความหนักในการฝึกแบบวงจร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำหนักที่สามารถยกได้จำนวน 15 ครั้งต่อท่า ทั้งหมด 14 ท่า ช่วยเพิ่มความอดทนในการออกแรง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mikkola และคณะ (Mikkola et al., 2011) ได้ทำการเปรียบเทียบการฝึกแรงต้าน การฝึกแรงระเบิด และการฝึกความอดทนของกล้ามเนื้อโดยทั้ง 3 กลุ่มฝึกร่วมกับความอดทนในนักวิ่งชาย พบว่า การฝึกแรงต้าน และการฝึกแรงระเบิดมีค่าการออกแรงสูงสุด (1RM) ได้ดีขึ้น แต่การฝึกความอดทนของกล้ามเนื้อไม่เกิดการพัฒนาของค่าการออกแรงสูงสุด และการฝึกวิ่งสลับช่วงที่ความหนักสูงช่วยเพิ่มความอดทนของกล้ามเนื้อ ในงานวิจัยนี้ มีเพียง 1 กลุ่ม คือ การวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าระดับความล้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเพราะการฝึกด้วยความหนัก 8 – 10 เซ็ตด้วยความเร็วในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 90 – 100% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Menz และคณะ (Menz et al., 2019) ได้ทำการเปรียบเทียบการวิ่งที่ความหนักสลับช่วงสูงในคนที่มีสุขภาพดี พบว่า การฝึกความหนักสลับช่วงสูงมีการพัฒนาความอดทนในการวิ่งเพิ่มขึ้น การพัฒนาแรงของท่าเหยียดเข่า (Leg extensors) มีค่าเพิ่มขึ้น จากการกระตุ้นของกระแสประสาทในการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีค่าแรงไม่เกิดการเปลี่ยน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ อาจบอกได้ว่าการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงสามารถช่วยให้เกิดความล้าน้อยลงได้ (Balducci et al., 2017) รวมถึงมีการรักษาสภาพดัชนีความล้าของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าการฝึกแบบวงจร และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากการศึกษาวิจัยนี้ การฝึกแบบวงจร และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง พบว่า มีค่าพลังและความสูงในการกระโดดแบบย่อเข่า (Countermovement jump) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะการฝึกแบบวงจร มีการฝึกพลัยโอเมตริกที่มีส่วนช่วยทำให้ค่าพลังและความสูงในการกระโดดแบบย่อเข่าดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Behrens และคณะ (Behrens et al., 2014) ได้ทำการศึกษาการฝึกพลัยโอเมตริก เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ค่าความสูงในการกระโดดแบบย่อเข่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 จากการปรับตัวของกระแสประสาทที่ส่งไปยังกล้ามเนื้อควอทไดรเซ็ปส์ (Quadriceps) ทั้งการประเมินจากการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary activation: %VA) และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ จึงทำให้การฝึกพลัยโอเมตริกช่วยเพิ่มความสามารถในการกระโดดแบบย่อเข่าได้ อีกทั้ง การฝึกแบบวงจร พบว่า มีค่าความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 (Balducci et al., 2017) และงานวิจัยของ Lemire (Lemire et al., 2021) พบว่า การวิ่งลงเขาที่ทำให้ค่าความกระโดดแบบเหยียดเข่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 แต่ในการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีค่าพลังและ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความสูงในการกระโดดแบบย่อเข่า (Countermovement jump) ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

จากผลการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ที่ทำการฝึกการแบบวงจรการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง พบว่า ค่าการทรงตัวแบบตัวนิ่งไม่แตกต่างระหว่างก่อนและหลังการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะการรับรู้ (Proprioceptors) รอบๆ ข้อเท้า ได้แก่ เอ็น และข้อต่อ มีความไว (Sensitive) ต่อแรงตึงในการทรงตัวขาข้างเดียวในฐานการรองรับด้านหน้า – หลัง และด้านซ้าย – ขวา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Huynh และคณะ (Huynh et al., 2021) ทำการเปรียบเทียบการทรงตัวขาข้างเดียวในนักกีฬาวิ่งกับคนทั่วไป พบว่า นักกีฬาวิ่งมีการรับรู้ตำแหน่งของข้อเท้าที่แย่ลง แต่ไม่ส่งผลต่อความมั่นคงของข้อเท้า และนักกีฬาวิ่งอาจมีการควบคุมการเคลื่อนไหว (Motor) ที่ดีขึ้น เพื่อรักษาการทรงตัวของขาข้างเดียว และความมั่นคงของข้อเท้าได้ เนื่องจากนักกีฬามีลักษณะการวิ่งท่าเดิมที่ยาวนานในการควบคุมการเคลื่อนไหว (Motor control) เพื่อเพิ่มความมั่นคงของข้อเท้าต่อไป

จากผลการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ที่ทำการฝึกการแบบวงจรการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง พบว่า ค่าการทรงตัวขณะเคลื่อนไหวขาขวามีดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะปริมาณการฝึกมีความเพียงต่อระดับความท้าทายในการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในรูปแบบการเคลื่อนไหว โดยนักวิ่งควรจะลดแรงกระทบของส้นเท้า เพิ่มแรงของการแตะเท้าไปข้างหน้า และลดเวลาในการเบรคลง เพื่อให้ความเร็วในการวิ่ง และยังสามารถรักษาท่าทางได้ (K. Sato & M. Mokha, 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Paterno และคณะ (Paterno et al., 2004) ทำการฝึกระบบประสาทกล้ามเนื้อเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ กับผู้หญิงอายุ 13 – 17 ปี พบว่า มีค่าเฉลี่ยขาข้างเดียวที่เท้าขวาดีกว่าเท้าซ้ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Werkhausen และคณะ (Werkhausen et al., 2019) ได้ทำการฝึกการกดปลายเท้า 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมในนักวิ่งสมัครเล่น 21 คน พบว่าความแข็งตัวของเอ็นข้อเท้า (Achilles tendon) มีค่าเพิ่มขึ้น 18% ดังนั้น การเคลื่อนไหวที่รักษาสมดุลได้ดีมีผลต่อความเร็วในการวิ่ง และความมั่นคงของรยางค์ส่วนล่างได้ (K. Sato & M. Mokha, 2009) และสอดคล้องกับ Jouira และคณะ (Jouira et al., 2020) ทำการเปรียบเทียบผลของการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหวกับการอบอุ่นร่างกายของพลัยโอเมตริก พบว่า ทั้ง 2 แบบ สามารถพัฒนาการทรงตัวแบบเคลื่อนไหวได้ ผลของการทรงตัวและความมั่นคงของระยางค์ขามีการเคลื่อนไหวที่ดีจะใช้

ชีวิตที่ช่วยป้องกันการบาดเจ็บจากการเล่นกีฬาเล่นได้ ขัแย้งกับกับงานวิจัยของ Sato และ Mokha (Kimitake Sato & Monique Mokha, 2009) ทำการฝึกความแข็งแรงของแกนกลางลำตัวในนักวิ่งระย 5,000 เมตร พบว่า ค่าการทรงตัวแบบเคลื่อนไหวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 แม้ว่าการทำให้นักกีฬาวิ่ง วิ่งได้เร็วขึ้นหรือการป้องกันการบาดเจ็บ จึงต้องทำให้รยางค์ส่วนล่างที่มั่นคงในการควบคุมการเคลื่อนไหวเพื่อพัฒนาการวิ่งต่อไป

จากผลการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ที่ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า มีสมรรถภาพทางแอโรบิกที่ดีขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) อย่างมีนัยสาคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อาจเป็นเพราะการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและการหายใจดีขึ้น ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด และอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาทีสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ferley และคณะ (Ferley et al., 2014) ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงและฝึกวิ่งบนพื้นระดับในนักวิ่ง พบว่า ทั้ง 2 กลุ่มการฝึกสามารถช่วยกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาความสามารถในการวิ่งได้ดีขึ้น แต่การฝึกวิ่งพื้นระดับจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Barnes และคณะ (Barnes et al., 2013) ได้ทำการเปรียบเทียบการวิ่งขึ้นเขาที่ความชันและความเร็วที่แตกต่างกัน พบว่า มีค่าการใช้ออกซิเจนที่ดีขึ้นเนื่องจากได้รับการฝึกความชัน 10 % และความเร็ว 98 – 100 % ของอัตรการเต้นของหัวใจสูงสุด ซึ่งเป็นการฝึกที่มีความเหมาะสมทั้งความเร็วและความหนักของโปรแกรมจึงทำให้เกิดการพัฒนาสมรรถภาพทางแอโรบิก อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่าสมรรถภาพทางแอโรบิกของการฝึกแบบวงจรไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Giovanelli และคณะ (Giovanelli et al., 2017) ทำการฝึกความแข็งแรง แรงระเบิด และพลัยโอเมตริกในนักวิ่งชาย พบว่าค่าความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) ไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

สำหรับตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก พบว่า ทั้ง 3 กลุ่มการฝึกไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะการวิ่งเทรลที่ต้องใช้ระยะเวลานานในการวิ่ง การวิ่งเร็วและสั้นไม่ใช่ความสำคัญของกีฬาประเภทนี้ซึ่งไม่เกิดการพัฒนาเนื่องจากไม่ได้ฝึกที่จำเพาะเจาะจง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nummela และคณะ (Nummela et al., 2008) ได้ทำการทดสอบความล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อหลังจากการวิ่งเป็นระยะเวลา 5 กิโลเมตร ด้วยการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 20 เมตรทันที พบว่าการวิ่ง 20 เมตร ไม่ก่อให้เกิดความล้า ความล้าจะเกิดจากความเร็วในการวิ่งของ 5 กิโลเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งพื้นระดับและขึ้นเขา

การวิ่งเทรลเป็นการออกกำลังกายที่ท้าทายเมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งในลู่วิ่งหรือถนน เนื่องจากต้องวิ่งบนพื้นผิวที่มีสภาพหลากหลาย และมีความชันเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งตัวชี้วัดความสามารถในการวิ่งเทรล มีหนึ่งปัจจัยสำคัญคือ ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy : RE) หมายถึง ความสามารถในการวิ่งด้วยความเร็วอย่างคงที่ก่อนความสามารถในการวิ่งสูงสุด (Submaximal running) โดยการประหยัดพลังงานประเมินได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึม ระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ ชีวกลศาสตร์ และระบบประสาทกล้ามเนื้อ ซึ่งกระบวนการเผาผลาญหรือการสร้างแรงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของนักกีฬาหรือภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ดังนั้น ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (RE) ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ในช่วงความเร็วคงที่ร่วมกับสถานการณ์ และค่าการใช้พลังงาน ผลของการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ส่งผลให้มี RE ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ซึ่งการมี RE ที่ต่ำ เป็นตัวบ่งชี้งานที่หนักขึ้นแต่ใช้พลังงานน้อยลง ปัจจัยทางสรีรวิทยามีความสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (RE) สามารถประเมินได้จากปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO2) ที่ให้ความเร็วคงที่ในการวิ่งบนลู่กลเป็นระยะเวลานานเพียงพอจนกระทั่งอยู่ในระดับคงที่ (Steady-state) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการฝึกรูปแบบ HIIT มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (RE) เพิ่มขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าการฝึกแบบหนักสลับช่วงที่ความหนักสูง 93 – 106% VO2max สามารถช่วยพัฒนา RE ได้ (Midgley, 2007) ในปี ค.ศ. 1998 แฟรนว์และคณะ (Franch et al., 1998) พบว่า RE มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นหลังจากการฝึกแบบสลับช่วงที่มีความหนัก 94% และ 106% VO2max แต่ไม่พบการพัฒนา RE ที่ความหนัก 132% VO2max ด้วยเหตุจากการฝึกแบบสลับช่วงด้วยความหนักที่สูงมากอาจทำให้สูญเสียท่าทางในการวิ่ง (Running form) และการที่ใช้ความหนักเกินไปนั้น อาจทำให้มีปริมาณของการฝึก (Training volume) ไม่เพียงพอได้ สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ใช้ความหนักของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนัก 95% VO2max ส่งผลทำให้ RE ดีขึ้นได้ ปัจจัยที่มีผลทำให้ RE ลดลง ได้แก่ ความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ระดับความล้า (Fatigue index) และการเคลื่อนไหวอย่างมีประสิทธิภาพ (Ehrstrom, 2017) ในการศึกษาวิจัยนี้ กลุ่มการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่มีความหนักสูง มีระดับความล้าที่ลดลงต่ำกว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจร ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลให้กลุ่มกลุ่มการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ที่ความหนักสูง (HT) และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CH) ที่จะสามารถลด RE ได้มากกว่า กลุ่มการฝึกแบบวงจร (CT) แต่ไม่เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 สำหรับการเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Mechanical efficiency) เป็นผลมาจากการมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ การพัฒนาระดมหน่วยยนต์ (Motor unit recruitment) และการเพิ่มความแข็งแรงของเอ็นกล้ามเนื้อ (Tendon stiffness) (Midgley et al, 2007) จากการศึกษาวิจัยนี้ กลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่มีความหนักสูง (CH) มีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) ที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นอีกเหตุหนึ่งที่ทำให้ RE ลดลงได้

4. ด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) หมายถึง สภาวะที่ร่างกายมีความสามารถในการออกกำลังกายจากการออกแรงเชิงมุม (Maximum voluntary torque) ของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อลดลง การศึกษาวิจัยนี้ ทดสอบความล้าจากการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่ากดปลายเท้า (Plantar flexion) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) การล้าโดยรวม (Total fatigue) ทดสอบโดยการประเมินการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVC) ด้วยเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) 2) การล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ทดสอบโดยการประเมินเปอร์เซ็นต์การกระตุ้นสูงสุดให้กล้ามเนื้อหดตัว (Maximum voluntary activation: %VA) จากสูตร [(1-Superimposed Db100)/Control Db100] x 100 และ 3) การล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ทดสอบโดยการประเมินค่าเอ็ม-เวฟ (M-wave) ในการกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยเครื่องตรวจสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG)

การกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

การศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) การจำลองการวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการ ให้ทำการเดินบนลู่กลที่ความชัน 15% คงที่ เพื่อจำลองการขึ้นเขาที่ความหนัก 75%HRR เป็นระยะเวลา 30 นาที และจำลองการลงเขาด้วยการเดินบนลู่กลที่ความชัน -15% ความหนัก 40%HRR เป็นระยะเวลา 30 นาที ระยะเวลารวม 1 ชั่วโมง และ 2) การ

จำลองการวิ่งเทรลบนภูเขา ประกอบด้วยความชันสะสมช่วงปีนเขา 1,021 เมตร (6%) และความชันสะสมช่วงลงเขา 1,018 เมตร (6%) รวมระยะทาง 18 กม.

การวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่า การวิ่งเทรล ซึ่งประกอบไปด้วยการวิ่งขึ้นเขาและวิ่งลงเขาบนพื้นผิวที่หลากหลายนั้น ทำให้มีค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVC) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างนักกีฬาวิ่งเทรลยอดฝีมือกับนักกีฬาวิ่งเทรลมือสมัครเล่น จะพบว่า นักกีฬาวิ่งเทรลยอดฝีมือมีค่าการลดลงของการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ต่ำกว่านักกีฬาวิ่งเทรลมือสมัครเล่น (Ehrstrom et. al., 2010) สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า การจำลองการวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการส่งผลทำให้การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVC) และเอ็ม – เวฟ (M-wave) ของกล้ามเนื้อเรคตัส ฟีเมอร์ริส (Rectus femoris) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในขณะที่การกระตุ้นสูงสุดให้กล้ามเนื้อหดตัว (Maximum voluntary activation: MVA) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง บ่งชี้ให้เห็นว่า การจำลองการวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการมีผลทำให้เกิดการล้าโดยรวม (Total fatigue) และการล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) โดยไม่มีผลต่อการล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) อย่างไรก็ตาม การจำลองการวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการไม่ส่งผลทำให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อทุกระดับในกลุ่มกล้ามเนื้อน่อง (Gastrocnemius muscles) สำหรับผลจากการศึกษาการวิ่งเทรลบนภูเขานั้น มีข้อจำกัดในทางด้านการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ โดยไม่สามารถนำเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) เคลื่อนย้ายจากห้องปฏิบัติการไปประเมินการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular function) ในพื้นที่บริเวณภูเขาได้ จึงได้ทำการวัดการกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ (Gathercole et al. 2015) ผลการศึกษาพบว่าภายหลังจากการวิ่งเทรลบนภูเขา พลังของการกระโดดแบบย่อเข่ามีค่าลดลงในทุกกลุ่มการฝึกออกกำลังกายเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนวิ่ง บ่งชี้ให้เห็นว่า การวิ่งเทรลบนภูเขา ประกอบด้วยความชันสะสมช่วงปีนเขา 1,021 เมตร (6%) และความชันสะสมช่วงลงเขา 1,018 เมตร (6%) รวมระยะทาง 18 กิโลเมตร น่าจะส่งผลทำให้เกิดการล้าโดยรวม (Total fatigue) ของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้

การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อโดยรวมในการศึกษาวิจัยนี้ สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นเกี่ยวกับสารสื่อประสาทและ/หรือกลไกการเร้าและการหดตัว (excitation–contraction coupling) ของกล้ามเนื้อลาย (Hunter, 2018.) ซึ่งอาจเกิดจากการปล่อย Ca2+ ที่ลดลงจากโครงข่ายซาร์โคพลาสมิกและการลดลงของปริมาณแคลเซียม (Ca2+) ที่จับกับไมโอฟิลาเมนต์ที่เกี่ยวข้อง อันส่งผลให้จำกัดปริมาณแรงของกล้ามเนื้อ เห็นได้จากการลดลงของการหดตัวสูงสุดของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กล้ามเนื้อภายหลังการวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการ และการลดลงของพลังของการกระโดดแบบย่อเข่าภายหลังการวิ่งเทรลบนภูเขา (Keeton and Binder-Macleod, 2006) ทั้งนี้การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของการออกกำลังกาย ความหนักและระยะเวลา และหน้าที่ของตัวแปรที่ชี้วัดเกี่ยวกับการกลุ่มกล้ามเนื้อในรูปแบบการกระตุ้น และชนิดของการหดของกล้ามเนื้อ (Millet et al., 2011) จากผลของการศึกษา แสดงให้เห็นว่า การจำลองการวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการและการวิ่งเทรลบนภูเขาที่กำหนดในการศึกษาวิจัยนี้ มีความหนักและระยะเวลาที่เพียงพอในการทำให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ การศึกษาวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักวิ่งเทรลที่มีคะแนนไอทรา (ITRA) ไม่สูงมากนัก โดยกำหนดให้ผู้ชายต้องไม่เกิน 400 คะแนน และผู้หญิงต้องไม่เกิน 350 คะแนน ร่วมกับมีประสบการณ์การแข่งขันวิ่งเทรลไม่เกิน 3 ปี ปีละอย่างน้อย 1 การแข่งขัน ซึ่งถือว่ากลุ่มตัวอย่างของการศึกษาวิจัยนี้เป็นนักวิ่งเทรลมือสมัครเล่น ดังนั้นจึงน่าจะถูกกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ง่าย อย่างไรก็ตาม หากต้องการกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อที่มากขึ้น หรือมีผลกระตุ้นไปยังการล้าของระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ได้ด้วยนั้น แนะนำว่าระยะเวลาของการออกกำลังกายควรที่จะมีความยาวนานมากขึ้น โดยเฉพาะ การจำลองวิ่งลงเขาในห้องปฏิบัติการควรที่จะมีระยะเวลามากกว่า 30 นาที และมีความชันมากกว่า 15% แต่ไม่ควรใช้ความเร็วที่มากเกินไป โดยควรใช้ความเร็วคงที่ในช่วง 10 – 14 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อลดการบาดเจ็บอันอาจจะเกิดขึ้นได้ (Garnier et al., 2020)

ผลของการฝึกต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ

จากผลการทดสอบจำลองวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 3 กลุ่มการฝึก ได้แก่ กลุ่มการฝึกแบบวงจร กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ และเอ็ม-เวฟ ของกล้ามเนื้อเรคตัส ฟีเมอร์ริส (Rectus femoris) ในช่วงก่อนการกระตุ้นการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 สอดคล้องกันกับผลการวิ่งเทรลบนภูเขา ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ซึ่งพบว่า ทั้ง 3 กลุ่มการฝึกมีพลังของการกระโดดแบบย่อเข่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 เช่นเดียวกัน

ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ การกระตุ้นการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยการทดสอบจำลองวิ่งเทรลในห้องปฏิบัติการยังคงมีผลทำให้มีการลดลงของค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อเรคตัส ฟีโมริสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 แต่การลดลงของค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อนั้น มีแนวโน้มที่จะดีขึ้นในทั้ง 3 กลุ่ม โดยกลุ่มการฝึกแบบวงจรมีเปอร์เซ็นต์การ

เปลี่ยนแปลงลดลงจาก 9% เป็น 6.4% กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลงจาก 8.5% เป็น 8.4% และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลงจาก 7.1% เป็น 7.0% จะเห็นว่ากลุ่มการฝึกแบบวงจรมีแนวโน้มลดลงของการเปลี่ยนแปลงค่าการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อเรคตัส ฟีโมริสภายหลังการกระตุ้นการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้มากกว่ากลุ่มอื่น อีกทั้ง ผลการทดสอบพลังของการกระโดดแบบย่อเข่าภายหลังการกระตุ้นการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อด้วยการจำลองวิ่งเทรลบนภูเขา พบว่า กลุ่มการฝึกแบบวงจรมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลงจาก -8.4% เป็น 2.0% กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลงจาก -3.5% เป็น -0.9% และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลงจาก -4.7% เป็น -1.9% โดยการฝึกแบบวงจรและการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ชี้ให้เห็นว่า การฝึกแบบวงจรและการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงสามารถช่วยพัฒนาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ดีกว่า จึงส่งผลให้ลดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อโดยรวม (Total fatigue) ได้มากกว่า แม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การฝึกแบบวงจรและการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงส่งผลดีต่อการลดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อโดยรวมได้นั้น อาจเป็นเพราะการฝึกทั้งสองรูปแบบประกอบด้วยการฝึกกล้ามเนื้อหลากหลายวิธี โดยการฝึกโดยใช้น้ำหนักตัวเป็นแรงต้าน การฝึกพลัยโอเมตริก และการฝึกความคล่องแคล่วว่องไวนั้น ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อ เพิ่มความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการระดมหน่วยยนต์และการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อ (motor unit recruitment and synchronization) รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพของกลไกการเร้าและการหดตัว (excitation–contraction coupling) ของกล้ามเนื้อลายได้เป็นอย่างดี (Jurasz et al., 2022).

5. ด้านความสามารถในการวิ่งเทรล

การวิ่งเทรลเป็นการวิ่งที่มีความท้าทายมากกว่าการวิ่งในลู่ (Track) หรือการวิ่งบนถนน (Road) เนื่องจากต้องวิ่งบนพื้นผิวที่หลากหลาย เช่น ดิน โคลน หญ้า รากไม้ หินทราย หรือหินลอย รวมถึงการมีความชัน (Elevation gain) ของเส้นทาง และสภาพอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Pastor et al., 2022) ปัจจัยที่กำหนดความสำเร็จของการวิ่งเทรลนั้นขึ้นอยู่กับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) ระดับกั้นของแลคเตท (Lactate threshold) การวิ่งที่ประหยัดพลังงาน

(Running economy) และการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Bjorklund et al., 2019; Pastor et al., 2022) การประเมินความสามารถในการวิ่งเทรลของการศึกษาวิจัยนี้ ได้จำลองการวิ่งเทรลบนภูเขา ณ เขาฉลาก จังหวัดชลบุรี ประกอบด้วยความชันสะสมช่วงปีนเขา 1,021 เมตร และความชันสะสมช่วงลงเขา 1,018 เมตร รวมระยะทาง 18 กิโลเมตร ซึ่งอาจเป็นระยะทางที่สั้นกว่าการแข่งขันจริง แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีรายงานการทดสอบความสามารถในการวิ่งเทรล การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และตัวแปรทางสรีรวิทยาอื่นๆ ด้วยการวิ่งเทรลบนภูเขาที่ระยะทาง 18.6 กิโลเมตร ความชันสะสมช่วงปีนเขา 1,420 เมตร ความชันสะสมช่วงลงเขา 2,600 เมตร (Vercruyssen et al., 2017) และระยะทาง 15.6 กิโลเมตร ความชัน 5,600 เมตร (Easthope et al., 2010) ด้วยเช่นเดียวกัน การศึกษาวิจัยนี้ พบว่า ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีเวลาในการวิ่งเทรลบนภูเขาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ในขณะที่กลุ่มการฝึกแบบวงจรมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชี้ให้เห็นว่า ทั้งการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงส่งผลให้นักวิ่งเทรลมีความสามารถในการวิ่งเทรลที่ดีขึ้น

การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) เป็นรูปแบบการฝึกแบบช่วงสลับช่วงความหนักสูง ในขณะวิ่งขึ้นเขาสลับกับวิ่งลงเขา ที่ความหนักอัตราการออกำลังกายต่อระยะพัก (Work : rest) ร่วมกับความชันและความเร็วในการวิ่งที่เหมาะสม โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะพัฒนาหลากหลายระบบการทำงานต่างๆ ของร่างกาย ได้แก่ ระบบประสาทกล้ามเนื้อ ระบบสมรรถภาพไหลเวียนโลหิตแลหายใจ ระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งในนักวิ่งระยะไกล (Basnes et al., 2013) กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีเวลาในการวิ่งเทรลบนภูเขาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงที่ร่วมกับการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) ซึ่งการวิ่งขึ้นเขาเป็นองค์ประกอบสำคัญในการฝึกความเร็วสูงสุดที่มีแรงต้านในขณะเคลื่อนไหว เป็นวิธีที่เพิ่มสมรรถภาพของหัวใจและปอดของนักวิ่งควบคู่กับการพัฒนาความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อขาไปด้วย (Ferley et al., 2014) การฝึกบนลู่วิ่งที่มีความหนักสลับเบา ในระดับความชัน 10 % สามารถพัฒนาทางด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy) จากการทดสอบปริมาณการใช้ออกซิเจน และปริมาณแลคเตทในเลือดที่ 60 % และ 80 % ซึ่งมีความสำคัญในการพัฒนา VO2max โดยการฝึกวิ่งขึ้นเขาที่มากกว่า 8 % ขึ้นไปจะทำให้เกิดการพัฒนา และมีความเหมาะสมกับลักษณะของนักวิ่งเทรล (Lamire et al., 2020) สอดคล้องกับผลของการศึกษาวิจัยนี้ที่กลุ่มการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงและมีความชันที่ 10-15% ส่งผลให้มีค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างมากและมีการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อด้วย ส่วนความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขา

ด้านหน้ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงน่าจะเป็นวิธีที่จะเพิ่มความเร็วในการวิ่ง และประสิทธิภาพในการวิ่งเทรลได้ดี เห็นได้จากการเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานขณะวิ่งขึ้นเขาได้ จากการประเมินกลศาสตร์การเคลื่อนไหว พบว่า การวิ่งขึ้นเขามีการทำงานของกล้ามเนื้อ และเพิ่มงานในการออกแรง ที่ข้อเท้า ข้อเข่า และข้อสะโพก (Gottschall, 2015)

ในปี ค.ศ. 2013 และ 2014 เฟอร์เลย์ และคณะ ได้ศึกษาผลของการวิ่งขึ้นเขาเทียบกับการวิ่งพื้นราบในการฝึกแบบหนักสลับช่วงบนลู่วิ่งในนักวิ่งระยะไกล อายุ 27 ± 3.8 ปี โดยทำการฝึกทั้งหมด 4 วันต่อสัปดาห์ แบ่งออกเป็น กลุ่มที่ 1 ทำการฝึกการวิ่งขึ้นเขาแบบหนักสลับช่วง 2 วันจำนวนการฝึก 10 – 14 รอบ ที่ความชัน 10% ที่ระดับความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด 100%เป็นระยะเวลา 30 วินาที และช่วงพักที่อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 65% ร่วมกับการวิ่งต่อเนื่อง 2 วัน จำนวนการฝึก 1 รอบ ความชัน 1% และความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด 75% เป็นระยะเวลา 45 – 60 นาที และกลุ่มที่ 2 ทำการฝึกการวิ่งพื้นราบแบบหนักสลับช่วง 2 วัน จำนวนการฝึก 4 – 6 รอบ ที่ระดับความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด 100% เป็นระยะเวลาของการหมดแรง 60% ร่วมกับการวิ่งต่อเนื่อง 2 วัน จำนวนการฝึก 1 รอบ ที่ความหนักและเวลาในการฝึก และพักที่เท่ากันกับกลุ่มที่ 1 พบว่า การฝึกแบบวิ่งขึ้นเขา และการวิ่งพื้นราบสามารถพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO2max) อีกทั้งยังสามารถพัฒนาความสามารถในการกระโดดไกล ปริมาณแลคเตทในเลือด จุดกั้นแลคเตท และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy) แต่พลังกล้ามเนื้อไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Ferley et al., 2014) และในปีค.ศ. 2021 พาสเตอร์ และคณะทำการศึกษาความล้าในการแข่งขันวิ่งเทรลระยะทาง 40 – 50 กิโลเมตร (ระยะสั้น) เทียบกับระยะทางมากกว่า 101 – 170 กิโลเมตร (ระยะไกล) และการใช้พลังงานที่ความชัน 1% และความชัน 15% โดยประเมินก่อนและหลังการแข่งขัน พบว่า การใช้พลังงาน (Energy cost) จะเพิ่มขึ้นในการวิ่งเทรลระยะสั้น และมีอิทธิพลต่อความล้า (Pastor et al., 2021)

การที่กลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีเวลาในการวิ่งเทรลบนภูเขาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นได้จากการที่เป็นประโยชน์ร่วมกันของการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงและการฝึกแบบวงจร (Circuit training) ผลดีของการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงได้กล่าวไปแล้วข้างต้น สำหรับการฝึกแบบวงจรหรือแบบสถานีนั้น ได้ถูกนำมาใช้ในการฝึกนักกีฬา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาความอดทนของระบบสมรรถภาพไหลเวียนโลหิตและการหายใจ (Cardiorespiratory endurance) เสริมสร้างความแข็งแรง (Muscular strength) และความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) ของร่างกายอย่างเป็นระบบ สมรรถภาพความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตไปพร้อมกัน ในปี ค.ศ. 2010 ปาโอลี และคณะ ได้ทำการศึกษารูปแบบการฝึกวงจร 3 รูปแบบในนักกีฬารุ่นมาสเตอร์ อายุ

56 ± 2.7 ปี โดยทำการฝึกเป็นระยะเวลาทั้งหมด 50 นาที จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 12 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ได้รับการฝึกแบบอดทนบนลู่วิ่งด้วยความเร็วคงที่ 65% HRmax ระยะเวลา 40 นาทีร่วมกับการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหน้าท้องในท่าครันช์ (Abdominal crunch) จำนวน 20 ครั้ง จำนวน 4 เซ็ต กลุ่มที่ 2 รับการฝึกแบบอดทนบนลู่วิ่งด้วยความเร็วคงที่ 65%HRmax สลับกับการวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 75%HRmax ทั้งหมด 8 รอบ ร่วมกับการฝึกแบบวงจรความหนักต่ำ ประกอบด้วยการฝึกกล้ามเนื้อ ได้แก่ กล้ามเนื้อหลัง (Underhand cable pulldowns) หน้าอก (Chest press) หัวไหล่ (Lateral shoulder raise) และรยางค์ขา (Horizontal press) จำนวน 15 ครั้งของ 1 อาร์เอ็ม จำนวน 3 เซ็ต จากนั้นทำการพัก 60 วินาที ทำการฝึกกล้ามเนื้อท้อง (Abdominal crunch) คั่นในแต่ละท่าของการฝึกกล้ามเนื้อ จำนวน 20 ครั้ง จำนวน 1 เซ็ต และทำการฝึกท่าถัดไปโดยไม่พัก และกลุ่มที่ 3 รับการฝึกแบบอดทนบนลู่วิ่งประกอบด้วยความเร็วคงที่ 65%HRmax จำนวน 3 ครั้ง และความเร็วคงที่ 75%HRmax จำนวน 1 ครั้ง ทั้งหมดจำนวน 8 ครั้ง ร่วมกับการฝึกแบบวงจรความหนักสูง ประกอบด้วยการฝึกกล้ามเนื้อ ได้แก่ กล้ามเนื้อหลัง (Underhand cable pulldowns) หน้าอก (Chest press) หัวไหล่ (Lateral shoulder raise) และรยางค์ขา (Horizontal press) จำนวน 6 ครั้งอาร์เอ็ม จำนวน 3 เซ็ต จากนั้นทำการพัก 60 วินาที ทำการฝึกกล้ามเนื้อท้อง (Abdominal crunch) คั่นในแต่ละท่าของการฝึกกล้ามเนื้อ จำนวน 20 ครั้ง จำนวน 1 เซ็ต พบว่า การฝึกแบบอดทนร่วมกับแบบวงจรความหนักสูงส่งผลให้องค์ประกอบร่างกาย และปริมาณแลคเตทในเลือดลดลงและยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้มากกว่าการฝึกแบบอดทนเพียงอย่างเดียว หรือการฝึกแบบวงจรความหนักต่ำ (Paoli et al., 2010) และในปี 2010 เบอร์รีแมนและคณะ ได้ทำการผลของการฝึกพลัยโอเมตริกร่วมกับการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักเปรียบเทียบกับการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนัก พบว่า การฝึกพลัยโอเมตริกร่วมกับการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักมีประสิทธิภาพมากกว่าการฝึกแรงต้านด้วยน้ำหนักเพียงอย่างเดียว และส่งผลให้ค่าการใช้พลังงาน (Energy cost) เกิดการพัฒนาในนักวิ่งระยะไกล (Berryman et al., 2018)

การฝึกแบบวงจรในการศึกษาวิจัยนี้ใช้การฝึกด้วยแรงต้านจากน้ำหนักของตัวเอง (Body weight) หรือแรงต้านจากอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเบา โดยต้องทำการฝึกกล้ามเนื้อท่าที่กำหนดไว้ในแต่ละสถานีให้ครบหรือเสร็จสิ้นตามที่กำหนดไว้ในการฝึก เป็นจำนวน 14 สถานี และมีการทำซ้ำหลายรอบร่วมกับการฝึกพลัยโอเมตริกและความคล่องแคล่วว่องไว ซึ่งส่งผลให้เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ รวมถึงพัฒนาการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานขณะวิ่งขึ้นเขา เมื่อนำประโยชน์ในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายดังกล่าวไปรวมกับประโยชน์ของการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง จึงทำให้มีผลในการพัฒนาความสามารถในการวิ่งเทรลได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้เป็นการฝึกแบบผสมผสาน (Concurrent

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

training) ที่ปริมาณของการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงและการฝึกแบบวงจรจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับการฝึกแบบเดียวก็ตาม

ผลของสารชีวเคมีในเลือดการวิ่งเทรลบนภูเขาต่อสารชีวเคมีในเลือดที่เกี่ยวข้องกับการทำลายกล้ามเนื้อ

อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (IL-6) เป็นไซโตไคน์สำคัญที่สร้างมาจากเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดแม็คโครฟาจ เซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์กระดูก มีหน้าที่กระตุ้นการสร้างแอนติบอดีของ B cell กระตุ้นการพัฒนาของ T cell กระตุ้นการสร้าง Acute phase protein ในตับ กระตุ้นการสร้างกระดูกและหลอดเลือด รวมทั้งเพิ่มการขยายตัวของหลอดเลือด อีกทั้งอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (IL-6) ยังสามารถตรวจสอบการอักเสบของเนื้อเยื่อในร่างกายได้อีกด้วย เช่น การล้าของกล้ามเนื้อ โดยปริมาณอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (IL-6) สามารถบ่งชี้เบื้องต้นว่ามีการอักเสบแบบเฉียบพลัน โดยค่าปกติของอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (IL-6) เท่ากับ 0 - 7 pg/ml ข้อจำกัดของการทดสอบ (sensitivity/specificity) จะมีค่าต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ 1.5 pg/ml ในงานวิจัยนี้ พบว่า ค่าอินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และอยู่ในช่วงเกณฑ์ปกติ อาจเป็นเพราะการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ และระบบกล้ามเนื้อยังไม่พบความล้มเหลว สอดคล้องกับงานวิจัยของ การออกกำลังกายในน้ำ 8 สัปดาห์ ไม่พบว่า อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine kinase) คือ ตัวชี้วัดในกล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อเกิดการบาดเจ็บในสภาวะรุนแรง เช่น ปวดเมื่อย กล้ามเนื้อ การล้า และการลดลงของความแข็งแรง เนื่องจากมีการทำลายโครงร่างกล้ามเนื้อ โดยส่วนใหญ่ความสียหายจะเกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความเสียหายของเนื้อเยื่อทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรังในการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งค่าครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine kinase) จะเพิ่มขึ้นจากมีการออกกำลังกายเป็นระยะเวลานานมากกว่าความหนัก และมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลาระหว่าง 24 – 48 ชั่วโมง นับหลังจากการทดสอบเสร็จสิ้นลง หากนักวิ่งใช้ความเร็วในการวิ่งช้าการเพิ่มขึ้นของค่า ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine kinase) ก็จะน้อยตามลงไปด้วย (Le Goff et al., 2021) ในวิจัยครั้งนี้ โดยทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ การฝึกแบบวงจร การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง หลังจากการวิ่งเทรลบนภูเขา พบว่า ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine kinase) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ชี้ให้เห็นว่าการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงช่วยลดการเกิดการทำลายของกล้ามเนื้อได้แต่การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงมีค่าการเปลี่ยนแปลงครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine kinase) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

.05 บ่งชี้ว่าการวิ่งเทรลบนภูเขาระยะทาง 18 กิโลเมตร ในงานวิจัยนี้มีผลทำให้เกิดการทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ซึ่งก่อให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อได้ สอดคล้องกับผลของพลังการกระโดดแบบย่อเข่า สอดคล้องกับ (Da Ponte et al., 2018) ได้ทำการวิ่งขึ้นเขาเพียงอย่างเดียว พบว่า ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine kinase) มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) เป็นสารอนุมูลอิสระ (Free radical) ที่เกิดขึ้นจะทำให้เซลล์ของร่างกายที่เกิดการถูกทำลาย ซึ่งเซลล์อาจหมายถึง กล้ามเนื้อ หรือเกิดการล้าของกล้ามเนื้อ หากมีสารอนุมูลอิสระมากจะเกิดการอักเสบของกล้ามเนื้อมากจากสารอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งเป็นไขมันตัวร้าย (Lipid peroxyl) ตัวชี้วัดคือ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) เป็นตัวบ่งชี้การทำลายของกล้ามเนื้อ โดยทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ การฝึกแบบวงจร การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง หลังจากการวิ่งเทรลบนภูเขา พบว่า มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) มีค่าลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะการวิ่งเทรลที่ระยะทาง 18 กิโลเมตรไม่มีผลต่อไขมัน ไพร์ออกซิไดส์ (Lipid peroxyl) (Case et al., 1999)

ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) คือ เป็นเอนไซม์ที่ป้องกันการออกซิไดส์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิยาดิสมิวเทชัน (Dismutation reaction) พบ SOD ในสิ่งมีชีวิตทั่วไป มีความสำคัญในการป้องกันองค์ประกอบของเซลล์ถูกทำลายเนื่องจาก O_2 เช่น ป้องกันการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชั่น (Lipid peroxidation) และไลโปโปรตีน (Lipoprotein) ที่จะทำลาย DNA และ การแบ่งเซลล์ นอกจากนี้ ยังช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น เส้นเลือดอุดตัน มะเร็งและภูมิคุ้มกันบกพร่อง เพราะความชรา ช่วยในการต่อต้านอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเผาผลาญและใช้พลังงานภายในเซล เอนไซม์ชนิดนี้มีอยู่ในร่างกายตั้งแต่แรกเกิด แต่จะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ เมื่ออายุมากขึ้น ในการวิจัยครั้งนี้ ค่าซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสของทั้ง 3 กลุ่ม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 อาจเป็นเพราะหลังจากวิ่งเทรลจะเกิดการทำลายเยื้อหุ้มเซล์ ด้วยกระบวนการลิปิดเปอร์ออกซิไดส์ (lipid peroxides) ซึ่งเกิดการทำลายที่หัวใจ ตับได้ งานวิจัยก่อนหน้า รายงานว่า ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส ในนักวิ่งมาราธอนสามารถควบคุมสารต่อต้านอนุมูลอิสระ จึงทำให้เกิดการปรับตัวลดลงในระหว่างออกกำลังกายแบบเฉียบพลัน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการป้องกันการกระตุ้นอนุมูลอิสระในกลุ่มนักกีฬาวิ่งได้ (Le Goff et al., 2021)

6. ด้านสารชีวเคมีในเลือด

จากผลการศึกษานี้ ไม่พบการเพิ่มขึ้นของจำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต หลังจากการฝึกออกกำลังกายในทุกรูปแบบ ซึ่งเม็ดเลือดแดงจะมีหน้าที่ขนส่งออกซิเจน โดยขึ้นอยู่กับหลายขั้นตอน เช่น การระบายอากาศ การแผร่กระจายไปยังของเม็ดเลือดแดง การจับตัวกับฮีโมโกลบิน การไหลเวียนของเลือด และการแพร่ของออกซิเจนจากเม็ดเลือดแดงเข้าสู่เซลล์ไมโตคอนเดรีย ซึ่งออกซิเจนจะทำการจับตัวกับฮีโมโกลบินในปอด และปล่อยออกซิเจนไว้ที่เนื้อเยื่อ เช่น กล้ามเนื้อ เป็นต้น (Le Goff et al., 2021) ดังนั้นการขนส่งออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพในการสกัดออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการแข่งขันกีฬาที่ต้องใช้ความอดทน (Tilahun Muche et al., 2021) การศึกษาที่ผ่านมา การก้าวเท้า (Foot strike) มีส่วนช่วยให้เม็ดแดงแดงแตกตัว (Hemolysis) ในหลอดเลือดแดงที่ผ่านเส้นเลือดฝอย (Capillaries) ซึ่งทำให้ระดับฮีโมโกลบิลลดลง และเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Heimo Mairbäurl, 2013) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sheykhlouvand และคณะ (Sheykhlouvand et al., 2018) ได้ทำการเปรียบเทียบการฝึกหนักสลับช่วงสูงด้วยความหนัก 100 – 130 % ของความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (vVO_2max) การฝึกหนักสลับช่วงสูงด้วยปริมาณที่จำนวน 7 – 9 ครั้ง ในการฝึก 100%vVO_2max และการฝึกต่อเนื่อง 75% ของความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักเรือแคนูโปโล พบว่า จำนวนเม็ดเลือดแดงเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ส่วนฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต มีแนวโน้มลดลงอาจเป็นเพราะความสามารถในการรองรับออกซิเจนของเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการปรับจำนวนฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริตลดลง ซึ่งเมื่อเกิดการหายใจจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สจากคาร์บอนไดออกไซต์เป็นออกซิเจนที่เอ็ลวีโอล่า (Alveolar) เพื่อนำออกซิเจนเข้าสู่เม็ดเลือดแดง จึงทำให้เม็ดเลือดแดงมีออกซิเจนฮีโมโกลบิน (Oxygenation Hemoglobin: Oxy-Hb) ซึ่งมีหน้าที่เคลื่อนย้ายออกซิเจน (O_2) ไปสู่เนื่อเยื่อส่วนปลาย โดยทำการแพร่ O_2 เข้าสู่เนื้อเยื่อ หรือดีออกซิเจนเนชั่น (Deoxygenation) และในขณะเดียวกันที่หลอดเลือดฝอยส่วนปลายทำการปล่อยคาร์บอนไดออกไซต์ (Carbon dioxide : CO2) ไปจับตัวกับเม็ดเลือดแดง โดยคาร์บอนิก แอนไฮเดรส (Carbonic anhydrase: CA) และเม็ดเลือดแดงนำ CO2 เข้าสู่ไบคาร์บอนเนต (Bicarbonate : HCO^-_3) เพื่อย้ายกลับไปยังปอด (H. Mairbäurl, 2013) อย่างไรก็ตาม การขนส่งออกซิเจนมักพบในการฝึกแบบแอโรบิกที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพหลังการแพร่ของเซ้ลเม็ดเลือดแดง รวมไปถึงความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ในนักกีฬา ดังนั้นจึงทำให้เกิดการดูดซับ O_2 ที่เพิ่มขึ้น (Schmidt & Prommer, 2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า การฝึกแบบวงจรมีแนวโน้มที่ดีค่าเฉลี่ยคอลเลสเตอรอล และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) เพิ่มขึ้น ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (HDL) และระดับน้ำตาลในเลือดลดลง แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ซึ่งระดับของโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนหากมีค่าสูงบ่งบอกถึงไขมันส่วนเกินในเลือดเป็นการเพิ่มความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด (Sapounakis et al., 2010) อาจเป็นเพราะภายหลังการฝึกแบบวงจรกระตุ้นให้เกิดความเครียดของระบบการเผาผลาญอาหาร (Metabolic stress) ช่วยให้ร่างกายมีความสามารถในการใช้พลังงานได้ดีขึ้น (Metabolic control) จากการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อ และความสามารถของกล้ามเนื้อในการเผาผลาญพลังงาน (Muscle metabolism) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kyröläinen และคณะ (H. Kyröläinen et al., 2018) ที่ทำการศึกษาผลของการฝึกความแข็งแรงร่วมกับความอดทนที่มีผลต่อความสามารถทางกายและไบโอมาร์คเกอร์ในเยาวชนหญิงที่มีสุขภาพดี พบว่า คอลเลสเตอรอล ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (HDL) และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และเนื่องจากงานวิจัยในครั้งนี้ ไม่ได้ควบคุมอาหารกับกลุ่มตัวอย่างจึงอาจรับประทานอาหารในสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่มากเกินไป จึงมีผลทำให้ค่าโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนเพิ่มขึ้น (Wilson et al., 2020) ส่วนในการฝึกแบบวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการฝึกแบบวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงสูง พบว่า มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยคอลเลสเตอรอล และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (HDL) และระดับน้ำตาลในเลือดลดลง แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 สอดคล้องกับ Beqa Ahmeti และคณะ (Beqa Ahmeti et al., 2020) ได้ทำการศึกษาผลของการวิ่งที่ความหนักสลับช่วงสูงผู้หญิงที่มีสุขภาพดี พบว่า มีค่าเฉลี่ยคอลเลสเตอรอล และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ลดลง จากการที่รูปแบบการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในการขึ้นเขาบนลู่กลทำให้เกิดความเครียด (Stress) ขั้นต่ำของระบบการเคลื่อนไหว (Locomotor system) และร่วมกับการดึงไขมันมาเป็นพลังงานหลักในออกกำลังกาย (Mitsuzono & Ube, 2006) สอดคล้องกับ Sapounakis และคณะ (Sapounakis et al.,2010) ได้ทำการศึกษาในช่วงนักวิ่งอัลตร้ามาราธอนเตรียมความพร้อมก่อนแข่งขัน พบว่า ค่าคอลเลสเตอรอล และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (LDL) ลดลง ซึ่งช่วงการฝึกและการแข่งขันของการวิ่งอัลตร้ามามาราธอนอาจจะช่วยลดความเสี่ยงของโรคการไหลเวียนโลหิตและหลอดเลือดได้ (Knechtle & Nikolaidis, 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้รูปแบบโปรแกรมใหม่ที่จะทำการฝึกซ้อมวิ่งเทรลสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีภูเขาในการฝึกซ้อม
2. ได้รับความรู้ใหม่เกี่ยวกับผลของการฝึกแบบวงจรสลับช่วงความหนักสูง ที่มีต่อสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและหายใจ การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น
3. ได้มีรูปแบบโปรแกรมการฝึกวิ่งเทรลที่เหมาะสมสำหรับนักวิ่งเทรลสมัครเล่น
4. สามารถนำรูปแบบการฝึกแบบวงจรสลับช่วงความหนักสูง ไปประกอบการฝึกของนักกีฬาวิ่งเทรลและนักกีฬาวิ่งประเภทอื่นๆ ที่มีลักษณะทักษะใกล้เคียงกัน ให้มีประสิทธิภาพในการวิ่งมากยิ่งขึ้น
5. ได้ทราบถึงองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับโปรแกรมการฝึกเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของนักวิ่งเทรลสมัครเล่น

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. การทดสอบตัวแปรต่าง ๆ อ้างอิงจากงานวิจัยต่างประเทศในนักวิ่งเทรลมืออาชีพ อาจมีความหนักมากเกินไปสำหรับคนไทย
2. การเก็บข้อมูลภาคสนามมีความยากลำบากในด้านการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์และไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้
3. การกลับมาเพื่อเก็บตัวอย่างสารเคมีในเลือดภายหลังการวิ่งเทรลบนภูเขา 24 ชม. สร้างความไม่สะดวกแก่ผู้เข้าร่วมวิจัย
4. กลุ่มตัวอย่างไม่ได้รับการควบคุมอาหารจึงอาจมีผลกระทบต่อค่าสารชีวเคมีในเลือด
5. เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีการวางแผนในการแข่งล่วงหน้าไปแล้ว ทำให้กลุ่มตัวอย่างบางท่านมีการแข่งขันในระหว่างฝึก
6. การเพิ่มความก้าวหน้า (Progression) ไม่สามารถกำหนดจังหวะในการฝึกได้ ปริมาณการฝึกจึงกำหนดได้เพียงเวลาและความถี่ แต่ความหนักขึ้นจะขึ้นอยู่กับการฝึกแบบแต่ละรูปแบบ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. การฝึกแบบวงจร การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง มีความปลอดภัย ไม่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บ แต่ควรมีผู้ควบคุมและดูแลตลอดการฝึก
2. การฝึกวิ่งขึ้นเขาแบบหนักสลับช่วงสูงควรสร้างความคุ้นเคยก่อนการฝึกจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อเสนอแนะของการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรนำการฝึกแบบวงจร การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง ไปศึกษาวิจัยในกลุ่มนักกีฬาวิ่งระยะไกลประเภทอื่น และช่วงอายุอื่นๆ
2. ควรทำการทดสอบสารเคมีในเลือดหลังการทดสอบความสามารถในการวิ่งเทรลในหลายช่วงเวลา เพื่อสามารถอธิบายการล้าในกล้ามเนื้อได้มากยิ่งขึ้น
3. ควรทำการคิดค้นและเปรียบเทียบการฝึกอื่นๆ ที่เหมาะสมกับนักวิ่งเทรลระยะไกลขึ้นต่อไป (Size M และ L)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สรุปผลการวิจัย

นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ที่ทำการฝึกแบบวงจร การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ปริมาณ 6 วันต่อสัปดาห์

นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ทำการฝึกแบบวงจร (Circuit training) ระยะเวลา 30 นาที เพิ่มความก้าวหน้าด้วยความยากของท่าออกกำกาย ระยะเวลา 40 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ ช่วยพัฒนาการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximal voluntary contraction; MVC) เอ็ม-เวฟ (M-wave) ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ มวลกล้ามเนื้อ (Muscle mass) การงทรงตัว (Balance) และความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO2max) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น เห็นได้จากมวลกล้ามเนื้อขา และการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของการกระโดดย่อเข่าลดลง การกระโดดเหยียดเข่า และการทรงตัวดีขึ้น

นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) จำนวน 8 เซต ระยะเวลา 32 นาที และเพิ่มความก้าวหน้าด้วย จำนวน 10 เซต ระยะเวลา 44 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ ช่วยพัฒนาการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximal voluntary contraction; MVC) เอ็ม-เวฟ (M-wave) ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนขณะวิ่งขึ้นเขาในห้องปฏิบัติการ ใช้เวลาในการวิ่งเทรลบนภูเขา และค่าดัชนีความล้าของกล้ามเนื้อขาที่ลดลง นอกจากนี้ การทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและการหายใจดีขึ้น จากค่าปริมาณเลือดที่หัวใจบีบออกแต่ละครั้งสูงสุด และอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจใน 1 นาที สูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ความสามารถในการใช้ออกซิเจนขณะวิ่งขึ้นเขาในห้องปฏิบัติการที่ดีขึ้นและใช้เวลาในการวิ่งเทรลบนภูเขาที่ลดลง

นักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ ทำการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training) โดยการฝึกแบบวงจร ระยะเวลา 15 นาที เพิ่มความก้าวหน้าด้วยความยากของท่าออกกำกาย ระยะเวลา 20 นาที ร่วมกับการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง จำนวน 4 เซต ระยะเวลา 16 นาที และเพิ่มความก้าวหน้าด้วยจำนวน 8 เซต ระยะเวลา 22 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ ช่วยพัฒนาการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximal voluntary contraction; MVC) เอ็ม-เวฟ (M-wave) ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนขณะวิ่งขึ้นเขาในห้องปฏิบัติการที่ดีขึ้นและใช้เวลาในการวิ่งเทรลบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภูเขาที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ การทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและการหายใจดีขึ้น (ดังตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 การสรุปผลการวิจัย

Groups / Variables	Circuit		HIIT		Combined	
	Significant Changes	△ %Change	Significant Changes	△ %Change	Significant Changes	△ %Change
1. Trail running time (hours)	→	4.4%	↓	19.1%*	↓	15.2%*
2. VO_{2max} (ml/kg/min)	↑	11%*	↑↑	22%*	↑	15.1%*
3. RE at uphill running (O_2ml/kg/min)	→	90.2% 4.0 - 3.9	↓	90.2%* 4.0 – 3.9	↓	90.5%* 4.0 – 3.8
4. LT (L/min)	→	4.0%	→	8.5%	→	9.2%
7. MVC (Nm)	↑↑	17.3%*	↑	8.1%*	↑↑	17.6%*
8. △% MVC	→	28.9%	→	6.7%	→	1.4%
9. M-wave (Nm)	↑↑↑	84.5%*	↑↑	69.7%*	↑	36.5%*
10. Power-CMJ (W)	↑↑	25.9*	→	4.6%	↑	12.7%*
11. △% Power-CMJ	↑	-189.3%*	↑	-125.7%	↑	225.5%*
12. Muscle strength (Nm)	↑↑	14.4%*	→	1.8%	↑	8.8%*
13. Muscle endurance (J)	→	9.6%	→	9.6%	→	16.5%
14. Fatigue index (%)	→	42.8%	↓↓	73.2%*†	↓	40.7%*‡
15. Muscle power - leg stiffness (KNm)	↑↑	59.3%*	↑	23.1%*	↑	32.8%*
16. Muscle mass (Kg)	↑↑↑	18.3%*	↑	3.2%*	↑↑	9.3%*
17. Static balance	→	18.2%	→	9.9%	→	20%
18. Dynamic balance - Right leg (CM)	↑↑	25.6%*	↑	16.0%*	↑	12.5%*

→ ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ↑ มีค่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ↓ มีค่าการเปลี่ยนแปลงลดลง * แตกต่างจากก่อนการฝึกภายในกลุ่มเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปได้ว่า การฝึกทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ การฝึกแบบวงจร การฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีประโยชน์ในการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายของนักวิ่งเทรลที่แตกต่างกัน การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงน่าจะเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพในการช่วยลดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และเพิ่มความสามารถในการวิ่งเทรลในนักกีฬาวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

บรรณานุกรม

Al-Mallah, M. H., Sakr, S., & Al-Qunaibet, A. (2018). Cardiorespiratory Fitness and Cardiovascular Disease Prevention: an Update. *Curr Atheroscler Rep*, 20(1), 1. https://doi.org/10.1007/s11883-018-0711-4

Alcaraz, P. E., Perez-Gomez, J., Chavarrias, M., & Blazevich, A. J. (2011). Similarity in Adaptations to High-Resistance Circuit vs. Traditional Strength Training in Resistance-Trained Men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2519-2527. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182023a51

Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., & Jurancich, M. (2012). Effect of High-Intensity Interval Training on Cardiovascular Function, $\dot{V}o_2$max, and Muscular Force. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 138-145. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318218dd77

Avois, L., Robinson, N., Saudan, C., Baume, N., Mangin, P., & Saugy, M. (2006). Central nervous system stimulants and sport practice. *Br J Sports Med*, 40 *Suppl* 1(Suppl 1), i16-20. https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.027557

Bahenský, P., Bunc, V., Tlustý, P., & Grosicki, G. J. (2020). Effect of an Eleven-Day Altitude Training Program on Aerobic and Anaerobic Performance in Adolescent Runners. *Medicina (Kaunas)*, 56(4). https://doi.org/10.3390/medicina56040184

Bakhtiary, A. H., & Fatemi, E. (2008). Open versus closed kinetic chain exercises for patellar chondromalacia. *Br J Sports Med*, 42(2), 99-102; discussion 102. https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.038109

Balducci, P., Clémençon, M., Trama, R., Blache, Y., & Hautier, C. (2017). Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *Int J Sports Med*, 38(11), 819-826. https://doi.org/10.1055/s-0043-112342

Bańkowski, S., Petr, M., Rozpara, M., & Sadowska-Krępa, E. (2022). Effect of 6-week curcumin supplementation on aerobic capacity, antioxidant status and sirtuin 3 level in middle-aged amateur long-distance runners. *Redox Rep*, 27(1), 186-192. https://doi.org/10.1080/13510002.2022.2123882

Barnes, K. R., Hopkins, W. G., McGuigan, M. R., & Kilding, A. E. (2013). Effects of different

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

uphill interval-training programs on running economy and performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(6), 639-647. https://doi.org/10.1123/ijspp.8.6.639

Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Strategies to improve running economy. *Sports Med*, 45(1), 37-56. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0246-y

Behrens, M., Mau-Moeller, A., & Bruhn, S. (2014). Effect of plyometric training on neural and mechanical properties of the knee extensor muscles. *Int J Sports Med*, 35(2), 101-119. https://doi.org/10.1055/s-0033-1343401

Beqa Ahmeti, G., Idrizovic, K., Elezi, A., Zenic, N., & Ostojic, L. (2020). Endurance Training vs. Circuit Resistance Training: Effects on Lipid Profile and Anthropometric/Body Composition Status in Healthy Young Adult Women. *Int J Environ Res Public Health*, 17(4). https://doi.org/10.3390/ijerph17041222

Berzosa, C., Gutierrez, H., Bascuas, P. J., Arbones, I., & Bataller-Cervero, A. V. (2021). Muscle Tone and Body Weight Predict Uphill Race Time in Amateur Trail Runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 2040. https://www.mdpi.com/1660-4601/18/4/2040

Björklund, G., Swarén, M., Born, D. P., & Stöggl, T. (2019). Biomechanical Adaptations and Performance Indicators in Short Trail Running. *Front Physiol*, 10, 506. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00506

Boyas, S., & Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Ann Phys Rehabil Med*, 54(2), 88-108. https://doi.org/10.1016/j.rehab.2011.01.001

Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle. *Sports medicine*, 43(5), 313-338. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x

Cartón-Llorente, A., Rubio-Peirotén, A., Cardiel-Sánchez, S., Roche-Seruendo, L. E., & Jaén-Carrillo, D. (2023). Training Specificity in Trail Running: A Single-Arm Trial on the Influence of Weighted Vest on Power and Kinematics in Trained Trail Runners. *Sensors (Basel)*, 23(14). https://doi.org/10.3390/s23146411

Case, D., Baer, J. T., & Subbiah, M. T. (1999). The effect of prolonged exercise on lipid peroxidation in eumenorrheic female runners. *Med Sci Sports Exerc*, 31(10), 1390-1393. https://doi.org/10.1097/00005768-199910000-00005

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Cha, K. S. (2013). Soft-tissue thickness of South Korean adults with normal facial profiles. *Korean J Orthod*, 43(4), 178-185. https://doi.org/10.4041/kjod.2013.43.4.178

Da Ponte, A., Giovanelli, N., Antonutto, G., Nigris, D., Curcio, F., Cortese, P., & Lazzer, S. (2018). Changes in cardiac and muscle biomarkers following an uphill-only marathon. *Res Sports Med*, 26(1), 100-111. https://doi.org/10.1080/15438627.2017.1393750

Davis, M. P., & Walsh, D. (2010). Mechanisms of fatigue. *J Support Oncol*, 8(4), 164-174.

Debanne, D., Campanac, E., Bialowas, A., Carlier, E., & Alcaraz, G. (2011). Axon physiology. *Physiol Rev*, 91(2), 555-602. https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2009

Easthope, C. S., Hausswirth, C., Louis, J., Lepers, R., Vercruyssen, F., & Brisswalter, J. (2010). Effects of a trail running competition on muscular performance and efficiency in well-trained young and master athletes. *Eur J Appl Physiol*, 110(6), 1107-1116. https://doi.org/10.1007/s00421-010-1597-1

Ehrström, S., Tartaruga, M. P., Easthope, C. S., Brisswalter, J., Morin, J. B., & Vercruyssen, F. (2018). Short Trail Running Race: Beyond the Classic Model for Endurance Running Performance. *Med Sci Sports Exerc*, 50(3), 580-588. https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001467

Espeit, L., Brownstein, C. G., Royer, N., Besson, T., Martin, V., Millet, G. Y., & Lapole, T. (2021). Central fatigue aetiology in prolonged trail running races. *Exp Physiol*, 106(3), 663-672. https://doi.org/10.1113/ep089177

Falkner, B. (2018). Cardiac Output Versus Total Peripheral Resistance. *Hypertension*, 72(5), 1093-1094. https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.118.11963

Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling. *Sports medicine*, 35(4), 285-312.

Ferley, D. D., Osborn, R. W., & Vukovich, M. D. (2013). The effects of uphill vs. level-grade high-intensity interval training on VO2max, Vmax, V(LT), and Tmax in well-trained distance runners. *J Strength Cond Res*, 27(6), 1549-1559. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182736923

Ferley, D. D., Osborn, R. W., & Vukovich, M. D. (2014). The effects of incline and level-grade high-intensity interval treadmill training on running economy and muscle power in well-trained distance runners. *J Strength Cond Res*, 28(5), 1298-1309.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000274

FernÁndez-garcÍa, B., Pérez-Landaluce, J., Rodríguez-Alonso, M., & Terrados, N. (2000). Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(5), 1002-1006.

Ferrauti, A., Bergermann, M., & Fernandez-Fernandez, J. (2010). Effects of a concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2770-2778. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d64e9c

Festa, L., Tarperi, C., Skroce, K., Boccia, G., Lippi, G., La Torre, A., & Schena, F. (2019). Effects of Flywheel Strength Training on the Running Economy of Recreational Endurance Runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(3), 684-690. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002973

Finsterer, J., & Mahjoub, S. Z. (2014). Fatigue in healthy and diseased individuals. *Am J Hosp Palliat Care*, 31(5), 562-575. https://doi.org/10.1177/1049909113494748

García-Pinillos, F., Soto-Hermoso, V. M., & Latorre-Román, P. A. (2017). How does high-intensity intermittent training affect recreational endurance runners? Acute and chronic adaptations: A systematic review. *J Sport Health Sci*, 6(1), 54-67. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.08.010

Garnier, Y., Lepers, R., Assadi, H., & Paizis, C. (2020). Cardiorespiratory Changes During Prolonged Downhill Versus Uphill Treadmill Exercise. *Int J Sports Med*, 41(2), 69-74. https://doi.org/10.1055/a-1015-0333

Gebel, A., Prieske, O., Behm, D. G., & Granacher, U. (2020). Effects of Balance Training on Physical Fitness in Youth and Young Athletes: A Narrative Review. *Strength & Conditioning Journal*, 42(6), 35-44. https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000548

Giandolini, M., Vernillo, G., Samozino, P., Horvais, N., Edwards, W. B., Morin, J. B., & Millet, G. Y. (2016). Fatigue associated with prolonged graded running. *Eur J Appl Physiol*, 116(10), 1859-1873. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3437-4

Gibbons, C. H. (2019). Basics of autonomic nervous system function. *Handb Clin Neurol*, 160, 407-418. https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64032-1.00027-8

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*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sport Sci, 17(7), 805-813. https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1305454

Glenny, R. W., & Robertson, H. T. (2011). Determinants of pulmonary blood flow distribution. *Compr Physiol*, 1(1), 39-59. https://doi.org/10.1002/cphy.c090002

Gould, L. M., Gordon, A. N., Cabre, H. E., Hoyle, A. T., Ryan, E. D., Hackney, A. C., & Smith-Ryan, A. E. (2022). Metabolic effects of menopause: a cross-sectional characterization of body composition and exercise metabolism. *Menopause*. https://doi.org/10.1097/gme.0000000000001932

Green, H. J. (1992). Muscular adaptations at extreme altitude: metabolic implications during exercise. *Int J Sports Med*, 13 *Suppl* 1, S163-165. https://doi.org/10.1055/s-2007-1024627

Guidolin, D., Tortorella, C., Marcoli, M., Maura, G., & Agnati, L. F. (2016). Neuroglobin, a Factor Playing for Nerve Cell Survival. *Int J Mol Sci*, 17(11). https://doi.org/10.3390/ijms17111817

Halabchi, F., Alizadeh, Z., Sahraian, M. A., & Abolhasani, M. (2017). Exercise prescription for patients with multiple sclerosis; potential benefits and practical recommendations. *BMC Neurol*, 17(1), 185. https://doi.org/10.1186/s12883-017-0960-9

Hammami, M., Gaamouri, N., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2019). Effects of Contrast Strength vs. Plyometric Training on Lower-Limb Explosive Performance, Ability to Change Direction and Neuromuscular Adaptation in Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 33(8), 2094-2103. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002425

Han, J., Anson, J., Waddington, G., Adams, R., & Liu, Y. (2015). The Role of Ankle Proprioception for Balance Control in relation to Sports Performance and Injury. *Biomed Res Int*, 2015, 842804. https://doi.org/10.1155/2015/842804

Hegewald, M. J. (2009). Diffusing capacity. *Clin Rev Allergy Immunol*, 37(3), 159-166. https://doi.org/10.1007/s12016-009-8125-2

Huerta, D. E., Norris, J. M., McCormack, W. P., Shoepe, T. C., & Almstedt, H. C. (2023). The Relationship Between Muscular Strength, Jump Power, and Bone Health in Collegiate Distance Runners. *Int J Exerc Sci*, 16(4), 563-575.

Huynh, B., Tacker, R., & Hung, Y.-J. (2021). Active ankle position sense and single-leg balance in runners versus non-runners. *Physiotherapy Theory and Practice*,

37(12), 1429-1437. https://doi.org/10.1080/09593985.2019.1698084

Jouira, G., Srihi, S., Ben Waer, F., Rebai, H., & Sahli, S. (2020). Dynamic Balance in Athletes With Intellectual Disability: Effect of Dynamic Stretching and Plyometric Warm-Ups. *J Sport Rehabil*, 30(3), 401-407. https://doi.org/10.1123/jsr.2020-0100

Jurasz, M., Boraczyński, M., Wójcik, Z., & Gronek, P. (2022). Neuromuscular Fatigue Responses of Endurance- and Strength-Trained Athletes during Incremental Cycling Exercise. *Int J Environ Res Public Health*, 19(14). https://doi.org/10.3390/ijerph19148839

Kalat, J. W. (2016). *Biological psychology*. Cengage Learning.

Kaufmann, C. C., Wegberger, C., Tscharre, M., Haller, P. M., Piackova, E., Vujasin, I., Kassem, M., Tentzeris, I., Freynhofer, M. K., Jäger, B., Wojta, J., & Huber, K. (2021). Effect of marathon and ultra-marathon on inflammation and iron homeostasis. *Scand J Med Sci Sports*, 31(3), 542-552. https://doi.org/10.1111/sms.13869

Knaus, U. G. (2021). Oxidants in Physiological Processes. *Handb Exp Pharmacol*, 264, 27-47. https://doi.org/10.1007/164_2020_380

Knechtle, B., & Nikolaidis, P. T. (2018). Physiology and Pathophysiology in Ultra-Marathon Running. *Front Physiol*, 9, 634. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00634

Koral, J., Fanget, M., Imbert, L., Besson, T., Kennouche, D., Parent, A., Foschia, C., Rossi, J., & Millet, G. Y. (2022). Fatigue Measured in Dynamic Versus Isometric Modes After Trail Running Races of Various Distances. *Int J Sports Physiol Perform*, 17(1), 67-77. https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0940

Kyröläinen, H., Hackney, A. C., Salminen, R., Repola, J., Häkkinen, K., & Haimi, J. (2018). Effects of Combined Strength and Endurance Training on Physical Performance and Biomarkers of Healthy Young Women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(6), 1554-1561. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002034

Kyröläinen, H., Hackney, A. C., Salminen, R., Repola, J., Häkkinen, K., & Haimi, J. (2018). Effects of Combined Strength and Endurance Training on Physical Performance and Biomarkers of Healthy Young Women. *J Strength Cond Res*, 32(6), 1554-1561. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002034

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Le Goff, C., Kaux, J. F., Dulgheru, R., Seidel, L., Pincemail, J., Cavalier, E., & Melon, P. (2021). The impact of an ultra-trail on the dynamic of cardiac, inflammatory, renal and oxidative stress biological markers correlated with electrocardiogram and echocardiogram. *Acta Cardiol*, 76(7), 739-747. https://doi.org/10.1080/00015385.2020.1778871

Leatt, P., Reilly, T., & Troup, J. G. (1986). Spinal loading during circuit weight-training and running. *Br J Sports Med*, 20(3), 119-124. https://doi.org/10.1136/bjsm.20.3.119

Lefebvre, J. L. (2021). Molecular mechanisms that mediate dendrite morphogenesis. *Curr Top Dev Biol*, 142, 233-282. https://doi.org/10.1016/bs.ctdb.2020.12.008

Lemire, M., Hureau, T. J., Favret, F., Geny, B., Kouassi, B. Y. L., Boukhari, M., Lonsdorfer, E., Remetter, R., & Dufour, S. P. (2021). Physiological factors determining downhill vs uphill running endurance performance. *J Sci Med Sport*, 24(1), 85-91. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.06.004

Levine, D. N. (2007). Sherrington's "The Integrative action of the nervous system": a centennial appraisal. *J Neurol Sci*, 253(1-2), 1-6. https://doi.org/10.1016/j.jns.2006.12.002

Li, F., Wang, R., Newton, R. U., Sutton, D., Shi, Y., & Ding, H. (2019). Effects of complex training versus heavy resistance training on neuromuscular adaptation, running economy and 5-km performance in well-trained distance runners. *PeerJ*, 7, e6787. https://doi.org/10.7717/peerj.6787

Lovinger, D. M. (2008). Communication networks in the brain: neurons, receptors, neurotransmitters, and alcohol. *Alcohol Res Health*, 31(3), 196-214.

Lu, Y., Wiltshire, H. D., Baker, J. S., & Wang, Q. (2021). The Effects of Running Compared with Functional High-Intensity Interval Training on Body Composition and Aerobic Fitness in Female University Students. *Int J Environ Res Public Health*, 18(21). https://doi.org/10.3390/ijerph182111312

Lucía, A., Hoyos, J., PÉrez, M., & Chicharro, J. L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(10), 1777-1782.

Mairbäurl, H. (2013). Red blood cells in sports: Effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells [Review]. *Frontiers in Physiology*, 4.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332

Mairbäurl, H. (2013). Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front Physiol*, 4, 332. https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332

May, J. E., Marques, M. B., Reddy, V. V. B., & Gangaraju, R. (2019). Three neglected numbers in the CBC: The RDW, MPV, and NRBC count. *Cleve Clin J Med*, 86(3), 167-172. https://doi.org/10.3949/ccjm.86a.18072

Meeusen, R., Van Cutsem, J., & Roelands, B. (2021). Endurance exercise-induced and mental fatigue and the brain. *Exp Physiol*, 106(12), 2294-2298. https://doi.org/10.1113/ep088186

Menz, V., Marterer, N., Amin, S. B., Faulhaber, M., Hansen, A. B., & Lawley, J. S. (2019). Functional Vs. Running Low-Volume High-Intensity Interval Training: Effects on VO(2)max and Muscular Endurance. *J Sports Sci Med*, 18(3), 497-504.

Methenitis, S., Feidantsis, K., Kaprara, A., Hatzitolios, A., Skepastianos, P., Papadopoulou, S. K., & Panayiotou, G. (2022). Body Composition, Fasting Blood Glucose and Lipidemic Indices Are Not Primarily Determined by the Nutritional Intake of Middle-Aged Endurance Trained Men-Another "Athletes' Paradox"? *J Clin Med*, 11(20). https://doi.org/10.3390/jcm11206057

Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K., & Nummela, A. (2011). Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *J Sports Sci*, 29(13), 1359-1371. https://doi.org/10.1080/02640414.2011.589467

Millet, G. Y. (2011). Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons?: the flush model. *Sports Med*, 41(6), 489-506. https://doi.org/10.2165/11588760-000000000-00000

Mitsuzono, R., & Ube, M. (2006). Effects of endurance training on blood lipid profiles in adolescent female distance runners. *Kurume Med J*, 53(1-2), 29-35. https://doi.org/10.2739/kurumemedj.53.29

Monzel, A. S., Enríquez, J. A., & Picard, M. (2023). Multifaceted mitochondria: moving mitochondrial science beyond function and dysfunction. *Nat Metab*, 5(4), 546-562. https://doi.org/10.1038/s42255-023-00783-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Mugnaini, E., Sekerková, G., & Martina, M. (2011). The unipolar brush cell: a remarkable neuron finally receiving deserved attention. *Brain Res Rev*, 66(1-2), 220-245. https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2010.10.001

Murias, G., Blanch, L., & Lucangelo, U. (2014). The physiology of ventilation. *Respir Care*, 59(11), 1795-1807. https://doi.org/10.4187/respcare.03377

Murtazina, A., & Adameyko, I. (2023). The peripheral nervous system. *Development*, 150(9). https://doi.org/10.1242/dev.201164

Nummela, A. T., Heath, K. A., Paavolainen, L. M., Lambert, M. I., St Clair Gibson, A., Rusko, H. K., & Noakes, T. D. (2008). Fatigue during a 5-km running time trial. *Int J Sports Med*, 29(9), 738-745. https://doi.org/10.1055/s-2007-989404

Padilla, S., Mujika, I., OrbaÑanos, J., & Angulo, F. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(4), 850-856.

Pastor, F. S., Besson, T., Varesco, G., Parent, A., Fanget, M., Koral, J., Foschia, C., Rupp, T., Rimaud, D., Féasson, L., & Millet, G. Y. (2022). Performance Determinants in Trail-Running Races of Different Distances. *Int J Sports Physiol Perform*, 17(6), 844-851. https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0362

Paterno, M. V., Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2004). Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*, 34(6), 305-316. https://doi.org/10.2519/jospt.2004.34.6.305

Pearson, A. M. (1990). Muscle growth and exercise. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 29(3), 167-196. https://doi.org/10.1080/10408399009527522

Petersen, W., Rembitzki, I. V., Brüggemann, G. P., Ellermann, A., Best, R., Koppenburg, A. G., & Liebau, C. (2014). Anterior knee pain after total knee arthroplasty: a narrative review. *Int Orthop*, 38(2), 319-328. https://doi.org/10.1007/s00264-013-2081-4

Pfeiffer, R. P., Harder, B. P., Landis, D., Barber, D., & Harper, K. (1993). Correlating Indices of Aerobic Capacity With Performance in Elite Women Road Cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 7(4), 201-205.

Pikija, S., Kunz, A. B., Nardone, R., Enzinger, C., Pfaff, J. A. R., Trinka, E., Seifert-Held, T., & Sellner, J. (2022). Spontaneous spinal cord infarction in Austria: a two-center

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

comparative study. *Ther Adv Neurol Disord*, 15, 17562864221076321. https://doi.org/10.1177/17562864221076321

Powden, C. J., Dodds, T. K., & Gabriel, E. H. (2019). THE RELIABILITY OF THE STAR EXCURSION BALANCE TEST AND LOWER QUARTER Y-BALANCE TEST IN HEALTHY ADULTS: A SYSTEMATIC REVIEW. *Int J Sports Phys Ther*, 14(5), 683-694.

Prescott, S. L., & Liberles, S. D. (2022). Internal senses of the vagus nerve. *Neuron*, 110(4), 579-599. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuron.2021.12.020

Raiteri, B. J. (2018). Aponeurosis behaviour during muscular contraction: A narrative review. *Eur J Sport Sci*, 18(8), 1128-1138. https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1472299

Rothschild, C. (2012). Running Barefoot or in Minimalist Shoes: Evidence or Conjecture? *Strength & Conditioning Journal*, 34(2), 8-17. https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318241b15e

Saalfield, J., Piersol, K. L., Monaco, R., Womack, J., Weismiller, S. A., Esopenko, C., Todaro, S. M., Conway, F. N., Brostrand, K., & Buckman, J. F. (2022). Comparison of Concurrent and Same-Day Balance Measurement Approaches in a Large Sample of Uninjured Collegiate Athletes. *Int J Sports Phys Ther*, 17(2), 228-236. https://doi.org/10.26603/001c.31178

Sato, K., & Mokha, M. (2009). Does Core Strength Training Influence Running Kinetics, Lower-Extremity Stability, and 5000-m Performance in Runners? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 133-140. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818eb0c5

Sato, K., & Mokha, M. (2009). Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-M performance in runners? *J Strength Cond Res*, 23(1), 133-140. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818eb0c5

Scheer, V., Basset, P., Giovanelli, N., Vernillo, G., Millet, G. P., & Costa, R. J. S. (2020). Defining Off-road Running: A Position Statement from the Ultra Sports Science Foundation. *Int J Sports Med*, 41(5), 275-284. https://doi.org/10.1055/a-1096-0980

Scheer, V., Janssen, T. I., Vieluf, S., & Heitkamp, H. C. (2019). Predicting Trail-Running Performance With Laboratory Exercise Tests and Field-Based Results. *Int J Sports Physiol Perform*, 14(1), 130-133. https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0390

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Schmidt, W., & Prommer, N. (2010). Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO 2 max. *Exerc Sport Sci Rev*, 38(2), 68-75. https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181d4957a

Sheykhlouvand, M., Gharaat, M., Khalili, E., Agha-Alinejad, H., Rahmaninia, F., & Arazi, H. (2018). Low-Volume High-Intensity Interval Versus Continuous Endurance Training: Effects on Hematological and Cardiorespiratory System Adaptations in Professional Canoe Polo Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(7), 1852-1860. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002112

Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E., Hagerman, F. C., & Hikida, R. S. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol (1985)*, 76(3), 1247-1255. https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.3.1247

Støren, Ø., Ulevåg, K., Larsen, M. H., Støa, E. M., & Helgerud, J. (2013). Physiological determinants of the cycling time trial. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2366-2373.

Stucky, F., Vesin, J.-M., Kayser, B., & Uva, B. (2018). The Effect of Lower-Body Positive Pressure on the Cardiorespiratory Response at Rest and during Submaximal Running Exercise [Original Research]. *Frontiers in Physiology*, 9. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00034

Südhof, T. C. (2021). The cell biology of synapse formation. *J Cell Biol*, 220(7). https://doi.org/10.1083/jcb.202103052

Sulowska, I., Mika, A., Oleksy, Ł., & Stolarczyk, A. (2019). The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on the Lower Extremity Muscle Strength and Power in Proximal Segments of the Kinematic Chain in Long-Distance Runners. *BioMed Research International*, 2019, 6947273. https://doi.org/10.1155/2019/6947273

Sundby, O. H., & Gorelick, M. L. (2014). Relationship between functional hamstring: quadriceps ratios and running economy in highly trained and recreational female runners. *J Strength Cond Res*, 28(8), 2214-2227. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000376

Sundby, Ø. H., & Gorelick, M. L. S. (2014). Relationship Between Functional Hamstring: Quadriceps Ratios and Running Economy in Highly Trained and Recreational

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Female Runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(8), 2214-2227. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000376

Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., Gitonga, D., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2010). Strength training in endurance runners. *Int J Sports Med*, 31(7), 468-476. https://doi.org/10.1055/s-0029-1243639

Tayrose, G. A., Beutel, B. G., Cardone, D. A., & Sherman, O. H. (2015). The Masters Athlete: A Review of Current Exercise and Treatment Recommendations. *Sports Health*, 7(3), 270-276. https://doi.org/10.1177/1941738114548999

Temesi, J., Besson, T., Parent, A., Singh, B., Martin, V., Brownstein, C. G., Espeit, L., Royer, N., Rimaud, D., Lapole, T., Féasson, L., & Millet, G. Y. (2021). Effect of race distance on performance fatigability in male trail and ultra-trail runners. *Scand J Med Sci Sports*, 31(9), 1809-1821. https://doi.org/10.1111/sms.14004

Tilahun Muche, Z., Haile Wondimu, D., Bayissa Midekssa, M., Chekol Abebe, E., Mengie Ayele, T., & Abebe Zewdie, E. (2021). A Comparative Study of Hematological Parameters of Endurance Runners at Guna Athletics Sport Club (3100 Meters above Sea Level) and Ethiopian Youth Sport Academy (2400 Meters above Sea Level), Ethiopia. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp)*, 2021, 8415100. https://doi.org/10.1155/2021/8415100

Trowell, D., Vicenzino, B., Saunders, N., Fox, A., & Bonacci, J. (2020). Effect of Strength Training on Biomechanical and Neuromuscular Variables in Distance Runners: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 50(1), 133-150. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01184-9

Vercruyssen, F., Gruet, M., Colson, S. S., Ehrstrom, S., & Brisswalter, J. (2017). Compression Garments, Muscle Contractile Function, and Economy in Trail Runners. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(1), 62-68. https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0035

Vercruyssen, F., Tartaruga, M., Horvais, N., & Brisswalter, J. (2016). Effects of Footwear and Fatigue on Running Economy and Biomechanics in Trail Runners. *Med Sci Sports Exerc*, 48(10), 1976-1984. https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000981

Vermand, S., Ferrari, F. J., Cherdo, F., Garson, C., Lavenant, M., Alex, M. C., Castillo, A., Renard, F., & Garcin, O. (2022). Running biomechanical alterations during a 40-km

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

mountain race. *J Sports Med Phys Fitness*, 62(10), 1323-1328. https://doi.org/10.23736/s0022-4707.22.13049-5

Vernillo, G., Brighenti, A., Limonta, E., Trabucchi, P., Malatesta, D., Millet, G. P., & Schena, F. (2017). Effects of Ultratrail Running on Skeletal-Muscle Oxygenation Dynamics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 496-504. https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0745

Vorup, J., Tybirk, J., Gunnarsson, T. P., Ravnholt, T., Dalsgaard, S., & Bangsbo, J. (2016). Effect of speed endurance and strength training on performance, running economy and muscular adaptations in endurance-trained runners. *European Journal of Applied Physiology*, 116(7), 1331-1341. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3356-4

Wan, J. J., Qin, Z., Wang, P. Y., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Exp Mol Med*, 49(10), e384. https://doi.org/10.1038/emm.2017.194

Werkhausen, A., Cronin, N. J., Albracht, K., Paulsen, G., Larsen, A. V., Bojsen-Møller, J., & Seynnes, O. R. (2019). Training-induced increase in Achilles tendon stiffness affects tendon strain pattern during running. *PeerJ*, 7, e6764. https://doi.org/10.7717/peerj.6764

Wilder, R. P., Greene, J. A., Winters, K. L., Long, W. B., 3rd, Gubler, K., & Edlich, R. F. (2006). Physical fitness assessment: an update. *J Long Term Eff Med Implants*, 16(2), 193-204. https://doi.org/10.1615/jlongtermeffmedimplants.v16.i2.90

Willy, R. W., & Paquette, M. R. (2019). The Physiology and Biomechanics of the Master Runner. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 27(1), 15-21. https://doi.org/10.1097/jsa.0000000000000212

Wilson, J. M., Lowery, R. P., Roberts, M. D., Sharp, M. H., Joy, J. M., Shields, K. A., Partl, J. M., Volek, J. S., & D'Agostino, D. P. (2020). Effects of Ketogenic Dieting on Body Composition, Strength, Power, and Hormonal Profiles in Resistance Training Men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(12), 3463-3474. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001935

Yazdani, B., Kleber, M. E., Yücel, G., Delgado, G. E., Benck, U., Krüger, B., März, W., & Krämer, B. K. (2020). Association of double product and pulse pressure with

cardiovascular and all-cause mortality in the LURIC study. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 22(12), 2332-2342. https://doi.org/10.1111/jch.14067

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
เอกสารพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: 02-218-3202, 02-218-3049 Email: eccu@chula.ac.th

COA No. 172/65

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 650087 : ผลของการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงที่มีต่อกาล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรในนักวิ่งเทรสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

ผู้วิจัยหลัก : นางสาว ศิรประภา พานทอง

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 (ค.) 2560, นโยบายแห่งชาติและแนวทางปฏิบัติการวิจัยในมนุษย์ 2558 อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม (รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ ปรีดา ทัศนประดิษฐ)
ประธาน

ลงนาม (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระวีนันท์ มิ่งภัคนีย์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 1 กันยายน 2565

วันหมดอายุ : 31 สิงหาคม 2566

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1.เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย
2.โครงการวิจัย
3.ผู้วิจัย
4.เครื่องมือวิจัย
5.ใบประชาสัมพันธ์

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. หากยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนดต้องแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 2 สัปดาห์พร้อมคำชี้แจง
8. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่งแบบรายงานสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 01-15) และบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น
9. โครงการวิจัยที่มีหลายระยะ จะรับรองโครงการเป็นระยะ เมื่อดำเนินการวิจัยในระยะแรกเสร็จสิ้นแล้ว ให้ดำเนินการส่งรายงานความก้าวหน้า พร้อมโครงการวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องในระยะถัดไป
10. คณะกรรมการฯ สงวนสิทธิ์ในการตรวจเยี่ยมเพื่อติดตามการดำเนินการวิจัย
11. สำหรับโครงการวิจัยจากภายนอก ผู้บริหารส่วนงาน กำกับการดำเนินการวิจัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1

Digital Certificate

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย/ผู้อยู่ในปกครองและหนังสือแสดงยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์
ชื่อผู้วิจัย นางสาวศิรประภา พานทอง ตำแหน่ง นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา
สถานที่ติดต่อผู้วิจัย (ที่ทำงาน) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1
แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
(ที่บ้าน) 655/8 ห้อง 85 ตรอกวัดพระยายัง แขวนถนนเพชรบุรี เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์มือถือ 064-6954446 E-mail : Siraprapa.ma@gmail.com

เรียน อาสาสมัครทุกท่าน

ขอเรียนเชิญเข้าร่วมการวิจัย ก่อนตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย โปรดทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างรอบคอบ และสามารถสอบถามเพิ่มเติมกับผู้วิจัยได้ตลอดเวลา ผู้วิจัยจะอธิบายจนกว่าจะเข้าใจอย่างชัดเจน

1. **โครงการนี้เกี่ยวข้องกับ**การวิจัยด้านการพัฒนาความสามารถทางกีฬาในนักกีฬาวิ่งเทรล รุ่นมาสเตอร์ ทั้งเพศชายและหญิง ที่มีอายุระหว่าง 35 – 55 ปี โดยมุ่งคิดค้นการฝึกออกกำลังกาย ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่มีความหนักสูง ที่มีผลต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา การล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ การทำงานของกล้ามเนื้อ การทรงตัว สมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก สารชีวเคมีในเลือด ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งเทรล และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

<u>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</u>

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

วัตถุประสงค์รอง

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ที่มีต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ การทรงตัว สมรรถภาพทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก สารชีวเคมีในเลือด และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

2. **รายละเอียดของผู้เข้าร่วมการวิจัยและคุณสมบัติ**
วิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย (Inclusion criteria)

1. นักวิ่งเทรลสมัครเล่น อายุระหว่าง 35 – 55 ปี เพศชาย และเพศหญิงที่ยังไม่หมดประจำเดือน (Not menopause)
2. มีดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI) ไม่เกิน 29.9 ทุกช่วงอายุ
3. มีประสบการเข้าร่วมการแข่งขันวิ่งเทรลในระยะตั้งแต่ 20 – 44 กิโลเมตร กำหนดโดยองค์กรการวิ่งเทรลนานาชาติ อย่างน้อย 1 สนาม เป็นประจำทุกปี ภายในช่วง 3 ปีย้อนหลัง
4. มีการฝึกซ้อมด้วยการวิ่งพื้นราบ หรือภูเขา ระยะทางไม่น้อยกว่า 20 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ ต่อเนื่องอย่างน้อยเป็นเวลา 3 เดือน
5. มีความต้องการที่จะพัฒนาระยะการแข่งขันของตนเองให้เพิ่มมากขึ้น จากแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลและประวัติการวิ่งเทรล ต้องมีคะแนนวัดความต้องการเท่ากับหรือมากกว่า 5 คะแนน จาก 10 คะแนนเต็ม
6. ไม่ได้รับการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงหรือการฝึกแบบวงจร ในช่วง 2 เดือนก่อนการวิจัย
7. มีระดับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งประเมินโดยการทดสอบวิ่งบนสนาม 400 เมตร ระยะทาง 2.4 กิโลเมตร อยู่ในเกณฑ์พอใช้ (ภาคผนวก ธ) (Lockie et al., 2020)
8. มีค่าดัชนีสมรรถภาพในการวิ่งเทรล (Performance index; PI) ในเพศชาย มีค่า PI 100 – 400 และเพศหญิง มีค่า PI 100 – 350 โดยตรวจสอบคะแนนจากเว็บไซต์ WWW.ITRA.run
9. ผ่านการคัดกรองว่า ไม่มีความเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะแข็งตัวของหลอดเลือด และไม่มีโรคหรือความผิดปกติของกระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ
10. ไม่มีการใช้ยา หรืออาหารเสริมที่ส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ หัวใจ และหลอดเลือด
11. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัยออกจากการวิจัย (Exclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเข้าร่วมการฝึกน้อยกว่าร้อยละ 80 ของระยะเวลาการฝึกทั้งหมด หรือจำนวน เข้าร่วมการฝึกไม่ถึง 58 ครั้ง จากการฝึกทั้งหมด 72 ครั้ง
2. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ หรือ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น
3. ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยต่อ

เมื่อได้ผู้เข้าร่วมวิจัยครบ จำนวน 60 คน ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังจากนั้นทำการแบ่งกลุ่ม ผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน โดยใช้วิธีสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด แล้วทำการจับฉลากในแต่ละลำดับชั้นเพื่อสุ่มเข้ากลุ่ม ทางผู้วิจัยยินดีที่จะให้ความรู้และคำแนะนำในการฝึกปฏิบัติจนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเองหลังจากเสร็จสิ้นการวิจัย

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มนักกีฬาวิ่งเทรลที่ฝึกด้วยโปรแกรมการวิ่งพื้นราบ

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มนักกีฬาวิ่งเทรลที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบวงจร

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มนักกีฬาวิ่งเทรลที่ฝึกด้วยโปรแกรมการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มนักกีฬาวิ่งเทรลที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่สิ้นอายุ 31 ส.ค. 2566

3. การคัดกรองผู้มีส่วนร่วมฯ ตามเกณฑ์การคัดเข้า-คัดออก

ผู้เข้าร่วมวิจัยที่เข้าร่วมโครงการวิจัยจะได้รับการคัดกรองโดยทำการตอบแบบสอบถามประวัติสุขภาพ แบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลและประวัติการวิ่งเทรล ทั้งหมดจำนวน 3 ชุด จำนวน 40 ข้อ ถัดมาผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย จำนวน 2 คน เป็นนิสิต ระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ผ่านการเรียนในการใช้เครื่องมือเพื่อทำการทดสอบในโครงการครั้งนี้ทุกอุปกรณ์ และแพทย์เวชศาสตร์ฉุกเฉิน ทำหน้าที่ประเมินผลการทดสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย (Exercise stress test) เพื่อประเมินความเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะแข็งตัวของหลอดเลือด และไม่มีโรคหรือความผิดปกติของกระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ และทดสอบการวิ่งระยะทาง 2.4 กิโลเมตร ใช้เวลา 30 นาที เมื่อผ่านเกณฑ์การคัดกรองจะเชิญชวนเข้าร่วมงานวิจัยต่อไป แต่กรณีผู้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดกรองจะได้รับคำแนะนำการดูแลสุขภาพและแนวทางการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับตนเอง หรือแนะนำให้ปรึกษาแพทยหรือบุคคลอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป และจะได้รับค่าเดินทางในการเข้าร่วมคัดกรอง จำนวน 200 บาท

4. การดำเนินการกับผู้เข้าร่วมในการวิจัย

1. ผู้วิจัยดำเนินการหากลุ่มตัวอย่างด้วยตนเอง โดยทำการประชาสัมพันธ์ผ่านทางโซเชียลมีเดีย เช่น เฟซบุ๊ค อินสตาร์แกรม ไลน์ และช่องทางอื่นๆ และผ่านทางชมรมวิ่งเทรลต่างๆ โดยประสานกับประธานชมรม/สังกัดกีฬาในกลุ่มนังวิ่งเทรล เพื่อหากลุ่มตัวอย่างที่สนใจและติดต่อไปยังนักกีฬาโดยตรง หรือติดต่อนักกีฬาอิสระที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย ชี้แจงและอธิบายข้อมูลการวิจัยตามเอกสารการวิจัยให้กับผู้เข้าร่วมวิจัย และดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้า โดยการสมัครใจเข้าร่วม

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยจะทำการอธิบายถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการฝึกออกกำลังกาย และการปฏิบัติตัวระหว่างช่วงที่เข้าร่วมการวิจัย ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งนี้ผู้วิจัยจะตอบข้อสงสัยจนผู้เข้าร่วมวิจัยเข้าใจ และให้เวลาตัดสินใจโดยอิสระ ก่อนลงนามให้ความยินยิมเข้าร่วมวิจัย และนัดหมายให้ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่งกายด้วยชุดกีฬาเข้าร่วมการทดสอบ การตรวจร่างกาย และการฝึกซ้อมออกกำลังกาย

3. ทำการคัดกรองผู้เข้าร่วมวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีอุปกรณ์ช่วยชีวิตเป็นเครื่องกระตุกหัวใจอัตโนมัติ (AED) โดยผู้วิจัยและแพทย์เวชศาสตร์ฉุกเฉิน จะทำหน้าที่ในการประเมินผลการทดสอบคลื่อนไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย หากตรวจพบความผิดปกติขณะทำการทดสอบ ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้าของการวิจัย โดยจะแจ้งให้ผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบ และแนะนำให้พบแพทย์หรือบุคคลที่เกี่ยวข้องต่อไปใช้ระยะเวลาในการคัดกรองประมาณ 1 ชั่วโมง รายละเอียด โดยผู้เข้าร่วมวิจัยกรอกข้อมูลในแบบสอบ ได้แก่ แบบสอบถามประวัติสุขภาพ แบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลและประวัติการวิ่งเทรล และทดสอบภาวะการขาดเลือดของหัวใจด้วยคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องลู่วิ่งที่ความเร็ว 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 0% เมื่อครบทุก 2 นาที ให้ปรับความเร็วขึ้นทีละ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และปรับความชันเป็น +10% ตลอดช่วงการทดสอบ จนผู้เข้าร่วมวิจัยขอยุติการทดสอบ หรือเรียกว่า การวิ่งบนลู่วิ่งที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนหมดแรง

4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการตรวจร่างกาย และการทดสอบสมรรถภาพร่างกาย ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่

เลขที่โครงการวิจัย 030087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

ควบคุมอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียล จำนวน 2 วัน และการทดสอบสมรรถภาพร่างกายนอกห้องปฏิบัติการ ณ เขาฉลาก วัดพรมมาวาส อ.บางพระ จ.ชลบุรี จำนวน 1 วัน ท่านจะได้รับการทดสอบตัวแปร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ จำนวน 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย ในแต่ละครั้งทำการเก็บข้อมูล 3 วัน โดยมีระยะห่างกันแต่ละวันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล มีดังนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

เวลา	**การทดสอบวันที่ 1**	ระยะเวลา
07.30	-เจาะเลือด โดยเทคนิคการแพทย์ที่คณะสหเวชศาสตร์ ปริมาณ 2 ช้อนชา **งดอาหาร 10 ชั่วโมงก่อนเจาะเลือด***	30 นาที
08.00	ตอบแบบสอบถาม	10 นาที
08.00	ตัวแปรด้านสรีรวิทยา -วัดองค์ประกอบร่างกาย -วัดความดันโลหิตและชีพจรขณะพัก -ชั่งน้ำหนัก และวัดส่วนสูง -วัดความแข็งตัวของหลอดเลือด	30 นาที
08.40	รับประทานอาหารเช้า	30 นาที
	พัก 90 นาที	
10.10	ทดสอบความสามารถในการทรงตัว	30 นาที
10.40	ทดสอบความสามารถในการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว	10 นาที
10.50	ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ	20 นาที
11.10	ทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ	25 นาที
	พัก 10 นาที	
11.45	ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก	20 นาที
12.05	พักทานอาหารกลางวัน	30 นาที
	พัก 90 นาที	
14.05	การทดสอบพลังสูงสุดในการกระโดดย่อเข่า	10 นาที
14.15	การทดสอบพลังสูงสุดในการกระโดดเหยียดเข่า	10 นาที
	พัก 10 นาที	
14.35	ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในการวิ่งขึ้นเขา	45 นาที
	รวมระยะเวลาทั้งสิ้น	**7 ชั่วโมง 45 นาที**

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

เวลา	การทดสอบวันที่ 2	ระยะเวลา
09.00	ทดสอบความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ (1RM) จำนวน 2 ท่า ได้แก่ Deadlift และ Lunge	60 นาที
	พัก 20 นาที	
10.20	ทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ดังนี้ 1. ทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ 2. ทดสอบการวิ่งขึ้นเขาที่ความเร็วต่อเนื่อง 30 นาที และการวิ่งลงเขาที่ความเร็วต่อเนื่อง 30 นาที 3. ทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ	 25 นาที 70 นาที 25 นาที
12.30	พักทานอาหารกลางวัน	30 นาที
	พัก 90 นาที	
14.00	ทดสอบตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่ง (Running economy)	30 นาที
	พัก 30 นาที	
15.00	ทดสอบการวิ่งระยะทาง 2.4 กิโลเมตร ที่สนาม 400 เมตร	30 นาที
	พัก 30 นาที	
16.00	ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในการวิ่งขึ้นระดับพื้นราบ (Level - aerobic fitness)	45 นาที
	รวมระยะเวลาทั้งสิ้น	**7 ชั่วโมง 35 นาที**

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

เวลา	การทดสอบวันที่ 3 ตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล (Trail running time trial)	ระยะเวลา
04.00 – 06.00	เดินทางไปโดยรถโดยสาร กทม. – เขาฉลาก ชลบุรี (โดยทางโครงการจัดเตรียมไว้ให้)	120 นาที
06.30	ทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ขณะพัก	5 นาที 10 นาที
	พัก 15 นาที	
07.00	ทดสอบความสามารถในการวิ่งเทรล และทดสอบความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ที่ 7.5 กิโลเมตร	6 ชั่วโมง
12.00-15.00	-ทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ที่ 16 กิโลเมตร และหลังจากสิ้นสุดการทดสอบแล้ว 3 นาที -ทดสอบความสามารถสูงสุดในการกระโดดย่อเขา (CMJ) -ทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ RPE	5 นาที 10 นาที
	พักระหว่างการทดสอบ 24 ชั่วโมง	
16.00 – 18.00	เดินทางกลับโดยรถโดยสาร เขาฉลาก ชลบุรี – กทม. (โดยทางโครงการจัดเตรียมไว้ให้)	120 นาที
12.00 – 15.00	การทดสอบสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ของการทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ได้แก่ IL-6, CPK, MDA และ SOD โดยเทคนิคการแพทย์ที่คณะสหเวชศาสตร์ ปริมาณ 1 ช้อนชา	30 นาที
	รวมระยะเวลาทั้งสิ้น	**35 ชั่วโมง 15 นาที**

หมายเหตุ รายละเอียดขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ทางโครงการเป็นผู้จัดเตรียมให้ทุกขั้นตอน

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

การเตรียมตัวก่อนเข้ารับการทดสอบ

1. ท่านจะต้องนอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง
2. นำชุดออกกำลังกายมาเปลี่ยนหรือสวมชุดออกกำลังกายมาทดสอบทุกครั้ง

5. เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้น จะดำเนินการฝึกออกกำลังกายตามกลุ่ม ดังนี้

5.1 **กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มนักกีฬาวิ่งเทรลที่ฝึกด้วยโปรแกรมการวิ่งพื้นราบ (Level-HIIT)**

- การฝึกเสริมเป็นการฝึกแบบการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Level grade-high intensity interval training: Level-HIIT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 ในเวลา 16.00 – 18.00 น.

- การฝึกวิ่งปกติ (Usual trial running training; UTR) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และเสาร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ สนามศุภัชลาศัย สนามกีฬาแห่งชาติทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม รายละเอียดของการฝึกมี ดังนี้

1. การฝึกแบบการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Level grade-high intensity interval training: Level-HIIT 1) สัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้ (ตารางที่ 2)

1.1 การฝึกแบบการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Level grade-high intensity interval training: Level-HIIT 1) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่งมีความชัน 1% ตลอดช่วงการฝึก ที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด เป็นระยะเวลา 35 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

ตารางที่ 2 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกวิ่งพื้นราบ (Level-HIIT1) สัปดาห์ที่ 1 – 6

วัน/ 16.00-18.00 น.	**รายละเอียดโปรแกรมการฝึกวิ่งพื้นราบ (Level-HIIT1)**
จันทร์: Level-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด ระหว่างชุดพัก 5 นาที - ความชัน 1%
อังคาร: Easy run	- ความหนักของการฝึก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

เอกสารรับรองการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

พุธ: Level-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 1%
พฤหัสบดี: Tempo run	- ความหนักของการฝึก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที
ศุกร์: Level-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 1%
เสาร์: Long run	- ความหนักของการฝึก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที
อาทิตย์	พักระหว่างสัปดาห์

2. การฝึกแบบการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Level grade-high intensity interval training: Level-HIIT 2) สัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้ (ตารางที่ 3)

2.1 โปรแกรมการฝึกแบบการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Level grade-high intensity interval training: Level-HIIT 2) (รูปที่ 21) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่งที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 1% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด (ระยะเวลา 45 นาที) ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 90 นาที

ตารางที่ 3 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกวิ่งพื้นราบ (Level-HIIT2) สัปดาห์ที่ 7 – 12

วัน/ 16.00-18.00 น.	**รายละเอียดโปรแกรมการฝึกวิ่งพื้นราบ (Level-HIIT2)**
จันทร์: Level-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 1%
อังคาร: Easy run	- ความหนักของการฝึก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
พุธ: Level-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 1%
พฤหัสบดี: Tempo run	- ความหนักของการฝึก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันสิ้นสุดรับรอง 31 ส.ค. 2566

ศุกร์: Level-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 1%
เสาร์: Long run	- ความหนักของการฝึก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที
อาทิตย์	พักระหว่างสัปดาห์

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์ (ภาคผนวก ป)

โดยมีขั้นตอนในการฝึก ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 4 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที ใช้เวลา 15 นาที

3) ฝึกการฝึกแบบการวิ่งพื้นราบสลับช่วงที่ความหนักสูง (Level grade-high intensity interval training: Level-HIIT) และพักระหว่างชุด 5 นาที ใช้เวลา 35 – 45 นาที

4) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Static Stretching) ใช้เวลา 10 นาที

5.2 **กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มนักกีฬาวิ่งเทรลที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT)** ทำการฝึกทั้งสิ้น 6 วันต่อสัปดาห์ แบ่งออกเป็น 2 การฝึก ดังนี้

- การฝึกเสริมเป็นการฝึกแบบวงจร (Circuit training; CT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 ในเวลา 16.00 – 18.00 น.

- การฝึกวิ่งปกติ (Usual trial running training; UTR) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และเสาร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ สนามศุภชลาศัย สนามกีฬาแห่งชาติทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม รายละเอียดของการฝึกมี ดังนี้

1. การฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT1) สัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้ (ตารางที่ 4)

1.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT1) (ตารางที่ 6) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัว และอุปกรณ์ฟรีเวทที่ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึก จำนวน 15 ครั้ง จำนวน 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการคำนวณตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรลเดิมที่มีอยู่แล้ว ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 มิ.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

ตารางที่ 4 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT1) สัปดาห์ที่ 1 – 6

วัน/ 16.00-18.00 น.	**รายละเอียดโปรแกรมการฝึกแบบวงจร (CT1)**
จันทร์: CT1	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที
อังคาร: Easy run	- ความหนักของการฝึก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
พุธ: CT1	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที
พฤหัสบดี: Tempo run	- ความหนักของการฝึก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
ศุกร์: CT1	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที
เสาร์: Long run	- ความหนักของการฝึก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที
อาทิตย์	พักระหว่างสัปดาห์

2. การฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT2) สัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้ (ตารางที่ 5)

2.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT2) (ตารางที่ 6) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัว และอุปกรณ์ฟรีเวท ที่ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึก จำนวน 15 ครั้ง จำนวน 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 90 นาที

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1

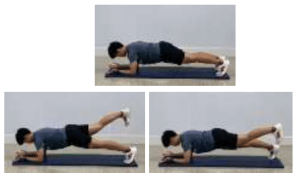
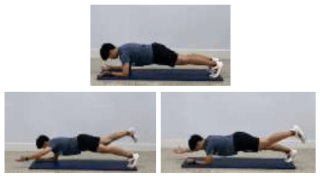
เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

ตารางที่ 5 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT2) สัปดาห์ที่ 7 – 12

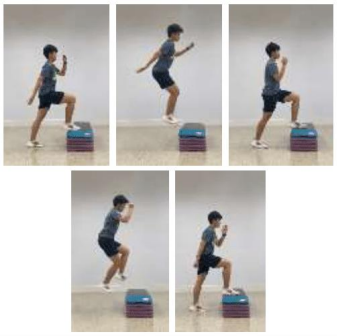
วัน/ 16.00-18.00 น.	รายละเอียดโปรแกรมการฝึกแบบวงจร (CT2)
จันทร์: CT2	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที
อังคาร: Easy run	- ความหนักของการฝึก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
พุธ: CT2	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที
พฤหัสบดี: Tempo run	- ความหนักของการฝึก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
ศุกร์: CT2	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 2 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที
เสาร์: Long run	- ความหนักของการฝึก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที
อาทิตย์	พักระหว่างสัปดาห์

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์

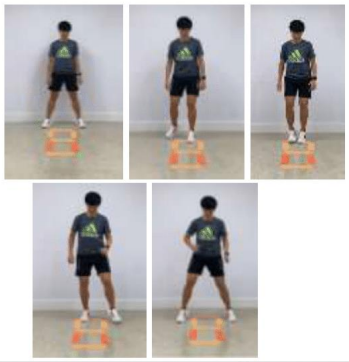
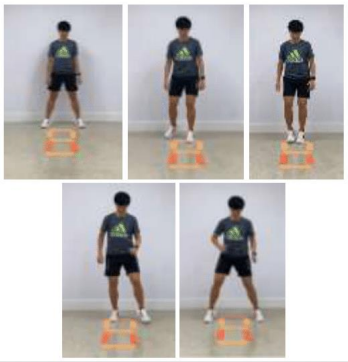
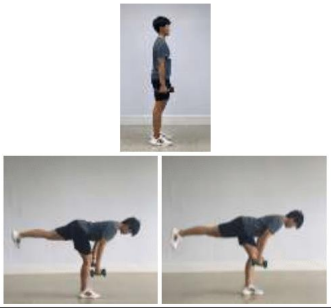
ตารางที่ 6 แสดงท่าการฝึกของกลุ่มการฝึกแบบวงจร ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 และสัปดาห์ที่ 7 – 12

สัปดาห์ที่ 1 – 6	สัปดาห์ที่ 7 – 12
การฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ประกอบด้วย 3 ท่า ได้แก่	
1. Rotating three-point plank 	1. Rotating two-point plank 
2. Side plank hip drop	2. Side plank hip drop and leg open
3. Sprinter sit-up	3. Sprinter sit-up (Speed-ups)

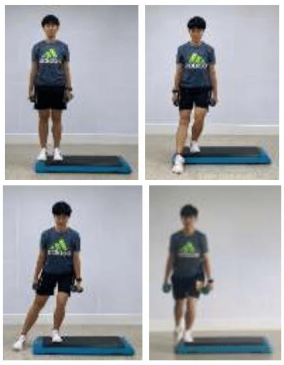
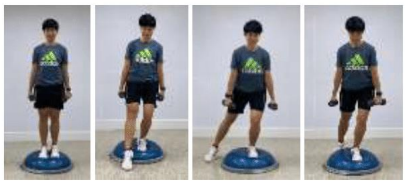
เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

สัปดาห์ที่ 1 – 6	สัปดาห์ที่ 7 – 12
การฝึกพลัยโอเมตริก ประกอบด้วย 5 ท่า ได้แก่	
4. Alternating Jump Step-Up 	4. Alternating Jump Step-Up (Highest)
5. Box jump	5. Box jump (Highest)
6. Lateral Bound	6. Double Lateral Bound

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

สัปดาห์ที่ 1 – 6	สัปดาห์ที่ 7 – 12
7. A-B walks	7. A-B skips
8. Double trouble 	8. Double trouble (Speed-ups) 
การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย 6 ท่า ได้แก่	
9. Romanian Deadlift	9. Single-Leg Romanian Deadlift 
10. Glute walking	10. Glute march

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

สัปดาห์ที่ 1 – 6	สัปดาห์ที่ 7 – 12
11. Single leg heel touch squat 	11. Single leg 3 way reach on Bosu 
12. Side-Lying Clam	12. Side-Lying hip Raise
13. Elevated Calf Raise	13. Single-Leg Elevated Calf Raise
14. Backward Lunge	14. Walking lunge

โดยมีขั้นตอนในการฝึก ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 4 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที ใช้เวลา 15 นาที

3) ฝึกการฝึกแบบวงจร (Circuit training) จำนวน 2 ชุด และพักระหว่างชุด 5 นาที ใช้เวลา 35 – 45 นาที

4) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Static stretching) ใช้เวลา 10 นาที

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

5.3 กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มนักกีฬาวิ่งเทรลที่ฝึกด้วยโปรแกรมการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-HIIT) ทำการฝึกทั้งสิ้น 6 วันต่อสัปดาห์ แบ่งออกเป็น 2 การฝึกดังนี้

- การฝึกเสริมเป็นการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 ในเวลา 16.00 – 18.00 น.

- การฝึกวิ่งปกติ (Usual trail running training; UTR) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และวันเสาร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ สนามศุภัชลาศัย สนามกีฬาแห่งชาติทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม รายละเอียดของการฝึกมี ดังนี้

1. การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT1) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้ (ตารางที่ 7)

1.1 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT1) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่ง ที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด (ระยะเวลา 35 นาที) ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

ตารางที่ 7 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกวิ่งขึ้นเขา (Uphill-HIIT1) สัปดาห์ที่ 1 – 6

วัน/ 16.00-18.00 น.	**รายละเอียดโปรแกรมการฝึกวิ่งขึ้นเขา (Uphill-HIIT1)**
จันทร์: Uphill-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 10%
อังคาร: Easy run	- ความหนักของการฝึก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที
พุธ: Uphill-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 10%
พฤหัสบดี: Tempo run	- ความหนักของการฝึก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที
ศุกร์: Uphill-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 10%
เสาร์: Long run	- ความหนักของการฝึก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

อาทิตย์	พักระหว่างสัปดาห์

2. การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้ (ตารางที่ 8)

2.1 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT2) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่งที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด (ระยะเวลา 45 นาที) ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที

ตารางที่ 8 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกวิ่งขึ้นเขา (Uphill-HIIT2) สัปดาห์ที่ 7 – 12

วัน/ 16.00-18.00 น.	**รายละเอียดโปรแกรมการฝึกวิ่งขึ้นเขา (Uphill-HIIT2)**
จันทร์: Level-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 10%
อังคาร: Easy run	- ความหนักของการฝึก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
พุธ: Level-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 10%
พฤหัสบดี: Tempo run	- ความหนักของการฝึก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
ศุกร์: Level-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที - ความชัน 10%
เสาร์: Long run	- ความหนักของการฝึก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที
อาทิตย์	พักระหว่างสัปดาห์

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์ (ภาคผนวก ป)

โดยมีขั้นตอนในการฝึก ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 4 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที ใช้เวลา 15 นาที

3) ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) ใช้เวลา 35 – 45 นาที

4) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Stretching static) ใช้เวลา 10 นาที

5.4 กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มนักกีฬาวิ่งเทรลที่ฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit + Uphill-HIIT) ทำการฝึกทั้งสิ้น 6 วันต่อสัปดาห์ แบ่งออกเป็น 2 การฝึก ดังนี้

- การฝึกเสริมเป็นการฝึกแบบวงจร (Circuit training) ร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) (ภาคผนวก น) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ ห้องปฏิบัติการแขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 10 ในเวลา 16.00 – 18.00 น.

- การฝึกวิ่งปกติ (Usual trail running training) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และวันเสาร์ สถานที่ในการฝึกซ้อม ณ สนามศุภัชลาศัย สนามกีฬาแห่งชาติทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม รายละเอียดของการฝึกมี ดังนี้

1. การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: CT1 + Uphill-HIIT1) สัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้ (ตารางที่ 9)

1.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT1) (ตารางที่ 11) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัวและอุปกรณ์ฟรีเวทที่ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึก จำนวน 1 ชุด พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.2 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT1) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่ง ที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด เป็นระยะเวลา 32 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.3 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

ตารางที่ 9 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขา (CT1 + Uphill-HIIT1) สัปดาห์ที่ 1 – 6

วัน/ 16.00-18.00 น.	รายละเอียดโปรแกรมการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขา (CT1 + Uphill-HIIT1)
จันทร์: CT1 + Uphill-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 1 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 35 นาที พักระหว่างออกกำลังกาย 5 นาที - ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 1 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที และคงความชัน 10%
อังคาร: Easy run	- ความหนักของการฝึก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
พุธ: CT1 + Uphill-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 1 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 35 นาที พักระหว่างออกกำลังกาย 5 นาที - ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 1 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที และคงความชัน 10%
พฤหัสบดี: Tempo run	- ความหนักของการฝึก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
ศุกร์: CT1 + Uphill-HIIT1	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 1 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 35 นาที พักระหว่างออกกำลังกาย 5 นาที - ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 1 ชุด พักระหว่างชุด 5 นาที และคงความชัน 10%
เสาร์: Long run	- ความหนักของการฝึก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที
อาทิตย์	พักระหว่างสัปดาห์

2. การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: CT + Uphill-HIIT) สัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้ (ตารางที่ 10)

2.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT2) (ตารางที่ 11) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัว และอุปกรณ์ฟรีเวท ที่ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึก จำนวน 2 ชุด พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 40 นาที พักระหว่างการออกกำลังกาย 5 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.2 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT2) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่งที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด เป็นระยะเวลา 40 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.3 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการฝึกตามตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 90 นาที

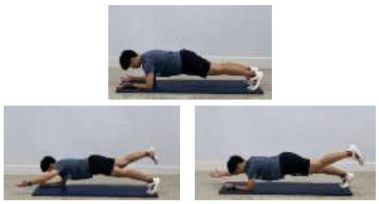
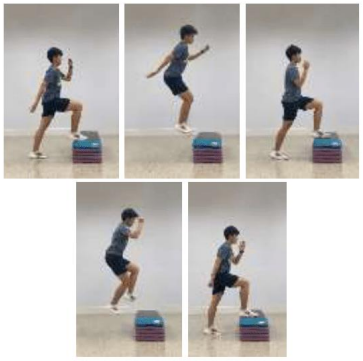
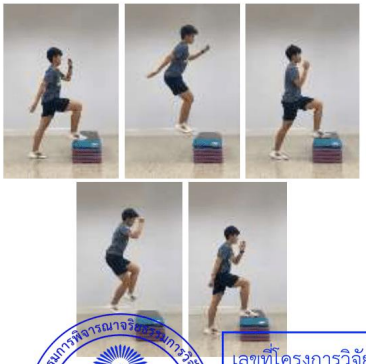
ตารางที่ 10 โปรแกรมการฝึกรายสัปดาห์ของกลุ่มการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขา (CT2 + Uphill-HIIT2) สัปดาห์ที่ 7 – 12

วัน/ 16.00-18.00 น.	**รายละเอียดโปรแกรมการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขา (CT2 + Uphill-HIIT2)**
จันทร์: CT2 + Uphill-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 1 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 35 นาที พักระหว่างออกกำลังกาย 5 นาที - ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 1 ชุด และคงความชัน 10%
อังคาร: Easy run	- ความหนักของการฝึก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
พุธ: CT2 + Uphill-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 1 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 35 นาที พักระหว่างออกกำลังกาย 5 นาที - ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 1 ชุด และคงความชัน 10%
พฤหัสบดี: Tempo run	- ความหนักของการฝึก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที
ศุกร์: CT2 + Uphill-HIIT2	- ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึกจำนวน 15 ครั้ง จำนวน 1 ชุด จำนวน 14 ท่า พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 35 นาที พักระหว่างออกกำลังกาย 5 นาที - ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 1 ชุด และคงความชัน 10%
เสาร์: Long run	- ความหนักของการฝึก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที
อาทิตย์	พักระหว่างสัปดาห์

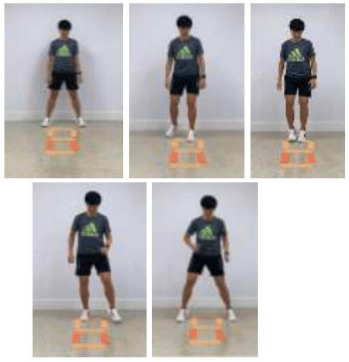
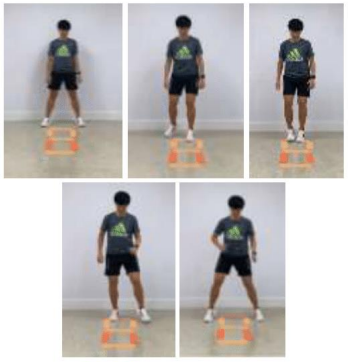
หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์ (ภาคผนวก ป)

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

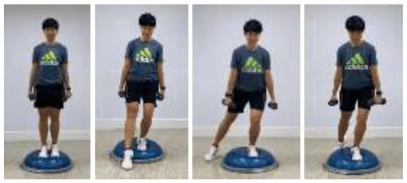
ตารางที่ 11 แสดงท่าการฝึกของกลุ่มการฝึกแบบวงจร (Circuit) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 และสัปดาห์ที่ 7 – 12

สัปดาห์ที่ 1 – 6	สัปดาห์ที่ 7 – 12
การฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ประกอบด้วย 3 ท่า ได้แก่	
1. Rotating three-point plank	1. Rotating two-point plank 
2. Side plank hip drop	2. Side plank hip drop and leg open
3. Sprinter sit-up	3. Sprinter sit-up (Speed-ups)
การฝึกพลัยโอเมตริก ประกอบด้วย 5 ท่า ได้แก่	
4. Alternating Jump Step-Up 	4. Alternating Jump Step-Up (Highest) 

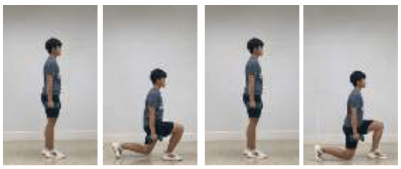
เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

สัปดาห์ที่ 1 – 6	สัปดาห์ที่ 7 – 12
6. Lateral Bound	6. Double Lateral Bound
7. A-B walks	7. A-B skips
8. Double trouble 	8. Double trouble (Speed-ups) 

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

สัปดาห์ที่ 1 – 6	สัปดาห์ที่ 7 – 12
การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย 6 ท่า ได้แก่	
9. Romanian Deadlift	9. Single-Leg Romanian Deadlift
10. Glute walking	10. Glute march
11. Single leg heel touch squat	11. Single leg 3 way reach on Bosu 
12. Side-Lying Clam	12. Side-Lying hip Raise
13. Elevated Calf Raise	13. Single-Leg Elevated Calf Raise

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

สัปดาห์ที่ 1 – 6	สัปดาห์ที่ 7 – 12
14. Backward Lunge	14. Walking lunge 

โดยมีขั้นตอนการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CT + Uphill-HIIT) ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 5 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที รวมทั้งรวม 15 นาที

3) ทำการฝึกการออกกำลังกายแบบวงจร (Circuit training) ใช้เวลา 15 - 20 นาที และพักระหว่างท่า 30 วินาที

4) พักระหว่างการออกกำลังกาย 5 นาที

5) ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) ใช้เวลา 16 - 20 นาที

6) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Stretching static) รวมทั้งหมด 10 นาที

5. ความเสี่ยงหรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ การฝึกวิ่งพื้นราบ การฝึกแบบวงจร การวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง และการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง อาจทำให้มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อหลังจากออกกำลังกายไปแล้ว 2-3 วัน แต่ทั้งนี้ก่อนและหลังการทดสอบการออกกำลังกายทุกครั้ง ท่านจะได้รับการอบอุ่นร่างกายก่อนการออกกำลังกาย และผ่อนคลายกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกาย แต่หากอาการนั้นยังคงอยู่ผู้วิจัยจะทำการประคบเย็น ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ หรือนวด โดยทำการดูแลจนกว่าอาการนั้นจะดีขึ้น แต่หากมีการบาดเจ็บ หรือมีอาการวิงเวียนศีรษะ แน่นหน้าอก ตาพร่ามัว หรือมีอาการหายใจติดขัดเกิดขึ้นในขณะฝึกออกกำลังกาย ท่านต้องรีบแจ้งให้ผู้วิจัยทราบทันทีเพื่อทำการหยุดการทดสอบทันที โดยมีการปฐมพยาบาลเบื้องต้นโดยผู้วิจัยได้ผ่านการอบรมการปฐมพยาบาลเบื้องต้นแล้ว และหากยังไม่ดีขึ้นนำส่งแพทย์หรือผู้ที่เกี่ยวข้องทันที

2. ในการเจาะเลือดอาจมีอาการบาดเจ็บหรือเขียวช้ำ เล็กน้อยบริเวณที่เจาะ ผู้วิจัยจะแนะนำให้พักการใช้งานบริเวณนั้น และทำการประคบด้วยความเย็น หากท่านมีอาการเจ็บ เลือดออก ช้ำจากการเจาะเลือด อาการบวมบริเวณที่เจาะเลือดหรือหน้ามืด และโอกาสที่จะเกิดการติดเชื้อบริเวณที่เจาะเลือด ซึ่งพบได้น้อยมาก

แบบโครงการวิจัย 050087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

มาตรการความปลอดภัยในการเก็บข้อมูลวิจัย

1. ผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย และกลุ่มตัวอย่างก่อนที่จะเข้าปฏิบัติการทดสอบสมรรถภาพต้องได้รับการการคัดกรองอาการเจ็บป่วยเบื้องต้น โดยมีการตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิทางผิวหนัง หากมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 37.5 องศาเซลเซียส หรือมีอาการที่ไม่ปกติ เช่น ไอ จาม มีน้ำมูก มีเสมหะ เจ็บคอ ปวดเมื่อยตามตัวโดยไม่ทราบสาเหตุ หรือหายใจลำบาก และแนะนำให้บุคคลนั้นกลับบ้านเพื่อสังเกตอาการหรือพบแพทย์ และทำการงดการเก็บข้อมูลในวันนั้น และทำการนัดหมายใหม่เมื่อไม่มีอาการดังกล่าวแล้ว

2. ผู้วิจัย และผู้ช่วยวิจัยจะต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกัน ได้แก่ หน้ากากอนามัย แผ่นบังหน้า ถุงมือยางเสมอตลอดระยะเวลาทำการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ ในส่วนกลุ่มตัวอย่างหากเป็นการทดสอบสมรรถภาพที่ไม่ได้มีการใส่อุปกรณ์บริเวณใบหน้าให้สวมหน้ากากอนามัยอยู่เสมอ

3. ผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย และกลุ่มตัวอย่างจะต้องล้างมือทำความสะอาดด้วยสบู่ หรือเจลแอลกอฮอล์สำหรับล้างมือก่อนและหลังสิ้นสุดในการทดสอบแต่ละสถานี

4. อุปกรณ์ทดสอบสมรรถภาพที่มีการใช้ซ้ำ เช่น หน้ากากวิเคราะห์แก๊ส หน้ากากคาโนปี ปากคีบ เป็นต้น จะต้องทำการทำความสะอาดหลังจากใช้แล้วทันที โดยทำการเช็ดหรือแช่ด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่ไม่เป็นอันตรายและเช็ดให้แห้ง ก่อนนำกลับมาใช้อีกครั้ง

5. ทำความสะอาดพื้นห้อง เครื่องใช้ เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ของปฏิบัติการทดสอบสมรรถภาพก่อนและหลังสิ้นสุดการทดสอบในแต่ละวันทุกครั้ง

6. หลีกเลี่ยงการเปิดเครื่องปรับอากาศ เปลี่ยนเป็นการเปิดหน้าต่างและพัดลม ในสถานีทดสอบที่สามารถทำได้

6. ประโยชน์ในการเข้าร่วมการวิจัย

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้ของการเกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการฝึกออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อเสริมสร้างสุขภาพทางกายให้แข็งแรง และความมีสามารถทางด้านการวิ่งเทรลที่ดีขึ้น ผลจากการวิจัยนี้จะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับนักวิ่งเทรล หรือนักวิ่งประเภทอื่นๆ ที่ต้องใช้ความอดทน ในผู้ที่มีอายุเพิ่มมากขึ้น และนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง

7. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะเก็บเป็นความลับ

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ โดยการปกปิดข้อมูลทุกข้อมูลของท่านในการทดลองครั้งนี้ จะไม่มีการระบุชื่อของผู้เข้าร่วมวิจัย จะมีเพียงหมายเลขระบุลำดับการเข้าร่วมการวิจัยเท่านั้น จะมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

8. เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้ว ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลาย

9. การแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ในวันทำการทดสอบผู้วิจัยจะทำการเตรียม น้ำดื่ม เกลือแร่ กล้วยหอมหรือทิชชู่เปียกให้ผู้เข้าร่วมวิจัย และเมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้นจากการเข้าร่วมในการวิจัย แต่ท่านจะได้รับค่าตอบแทนเพื่อชดเชยการสูญเสียรายได้ หรือความไม่สะดวก ไม่สบาย ในการมาทดสอบตามการตรวจวัดต่างๆ ครั้งละ 200 บาท จำนวน

เอกสารรับรองโครงการวิจัยที่ 050087
วันที่รับรอง 01 ก.ค. 2565
วันที่หมดอายุ 30 มิ.ย. 2566

3 ครั้ง ค่าเดินทางทดสอบความสามารถในการวิ่งเทรล ณ เขาฉลาก จ.ชลบุรี คนละ 1,500 บาท และค่าเสียเวลาของกลุ่มตัวอย่าง 1,000 บาท โดยจะมอบให้หลังจากการทดลองเสร็จสิ้น

10. การเข้าร่วมการวิจัยเป็นโดยสมัครใจ สามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือ**ถอนตัว**จากการวิจัยได้ทุกขณะ **โดยไม่ต้องให้เหตุผล ไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ และไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผู้เข้าร่วมวิจัย**

11. หากมีข้อสงสัย โปรดสอบถามเพิ่มเติมจากผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

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

ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัย **และเข้าใจข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทุกประการแล้ว จึงลงนามเข้าร่วมการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ** และได้รับเอกสารไว้ 1 ชุดแล้ว

ลงชื่อ.....
(นางสาวศิรประภา พานทอง)
ผู้วิจัยหลัก
วันที่...../...../.....

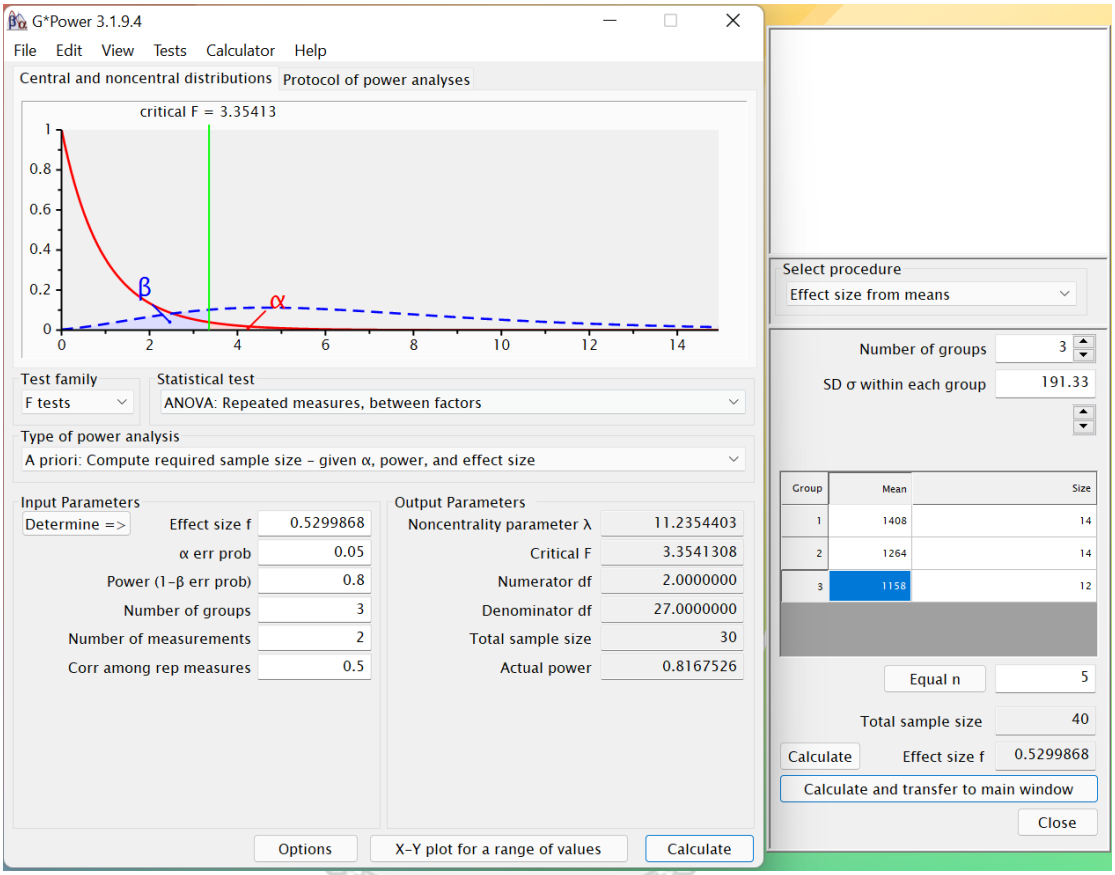
ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เข้าร่วมการวิจัย
วันที่...../...../.....

ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน
วันที่...../...../.....

เลขที่โครงการวิจัย 650087
วันที่รับรอง 01 ก.ย. 2565
วันที่หมดอายุ 31 ส.ค. 2566

ภาคผนวก ข

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power)



คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power) เวอร์ชั่น 3.1.9.7 โดยใช้ตัวแปรการกระโดดแบบย่อเข่า(Counter movement jump: CMJ) ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test; β) ที่ 0.8 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Probable Error; α) ที่ 0.05 ค่าขนาดของผลกระทบ (Effect size; d) ที่ 0.53 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 30 คน เพื่อป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของผู้เข้าร่วมการวิจัย และเกิดความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงคำนวณกลุ่มตัวอย่างเพิ่มเติมจำนวนร้อยละ 35 เท่ากับ 10 คน รวมเป็น 40 คน การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 และ 2 จำนวน 13 คน และกลุ่มที่ 3 จำนวน 14 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา: Hammami M, Gaamouri N, Shephard RJ, Chelly MS. Effects of Contrast Strength vs. Plyometric Training on Lower-Limb Explosive Performance, Ability to Change Direction and Neuromuscular Adaptation in Soccer Players. J Strength Cond Res. 2019 Aug;33(8):2094-2103. doi: 10.1519/JSC.0000000000002425. PMID: 29351161.

ภาคผนวก ค
การศึกษานำร่อง

การศึกษานำร่องที่ 1: การทดสอบตัวแปรด้านสมรรถภาพด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น

คัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ จำนวน 3 คน ได้แก่ ผู้ชาย 1 คน และผู้หญิง 2 คน เข้ารับการทดสอบตัวแปรด้านสมรรถภาพด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness) โดยวิธีการทดสอบ Graded incremental exercise test เพื่อประเมินความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (Maximal oxygen uptake; VO_2max) อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximal heart rate; HRmax) ระดับกั้นการระบายอากาศ (Ventilatory threshold; VT)

ทำการทดสอบด้วยเครื่องลู่กลที่ความเร็ว 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 0% เมื่อครบทุก 2 นาที ให้ปรับความเร็วขึ้นทีละ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และปรับความชันเป็น +10% ตลอดช่วงการทดสอบ จนผู้เข้าร่วมวิจัยขอยุติการทดสอบ

ตารางแสดงข้อมูลทั่วไปและความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์

ข้อมูล	ผลการทดลอง	
	คนที่ 1	**คนที่ 2**
1. ข้อมูลทั่วไป		
อายุ	37	49
ส่วนสูง	160	159
น้ำหนัก	48	52
ประสบการณ์การแข่งขัน (ปี)	2	3
อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	88	66
2. ความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) (ml/min/kg)	37	32
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้ง/นาที)	164	169
ระดับกั้นการระบายอากาศ (L)	1.257	1.079

จากผลข้อมูลทั่วไปและความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬาวิ่งเทรลสมัครเล่น รุ่นมาสเตอร์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด 37 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 169 ครั้งต่อนาที และใช้เวลาในการทดสอบ 10 – 15 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษานำร่องที่ 2: การทดสอบตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ด้วยเครื่องลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคมาสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Trackmaster, USA) ทำการทดสอบ การใช้พลังงาน (Energy cost) โดยแบ่งเป็น 2 ระดับการวิ่ง ได้แก่ การวิ่งระดับพื้น (Level running) และการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) โดยพักระหว่างการทดสอบ 5 นาทีดังนี้ (Ehrström et al., 2018) ดังนี้

8.1 การวิ่งระดับพื้น (Level running) โดยการอบอุ่นร่างกายที่ความเร็ว 50% ของความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ความชัน 0% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้น เริ่มทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ความเร็ว ความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด คูณกับ 0.6 ความชัน 0% เป็นระยะเวลา 5 นาที นำค่า VO_2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล

8.2 พักระหว่างการทดสอบ 5 นาที ในท่านั่ง

8.3 การวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) โดยการอบอุ่นร่างกายที่ความเร็ว 35% ของความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ความชัน 10% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้น เริ่มทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ความเร็วการวิ่งพื้นระดับ คูณกับ 2/3 จากค่าที่ได้ความเร็วสูงสุด ความชัน 0% และการวิ่งขึ้นเขานำความเร็วที่ได้จากการวิ่งพื้นระดับคูณกับ 0.6 ความชัน 10% เป็นระยะเวลา 5 นาที นำค่า VO_2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมูล	ผลการทดลอง	
	คนที่ 1	คนที่ 2
ปริมาณออกซิเจน (VO_2) (ml/min/kg)	34	24.7
ปริมาณออกซิเจน (VO_2) (L)	1.82	1.24

3) ทำการทดลองการออกกำลังกายแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงร่วมกับแบบวงจร (High-intensity uphill interval training combined with circuit training) ในนักวิ่งเทรลสมัครเล่น พบว่า ทำการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดบนลู่วิ่ง 2 นาที ความชัน 10% และความสามารถด้านการใช้ออกซิเจนสูงสุด 90 – 100% สลับกับ

ช่วงเดิน 4 นาที ที่ความชัน 0% และความสามารถด้านการใช้ออกซิเจนสูงสุด 50 – 55% ทำการฝึกอย่างต่อเนื่อง จำนวน 6 รอบ และตามด้วยการฝึกแบบวงจรสลับช่วงความหนักสูง จำนวน 15 สถานี จำนวน 3 รอบ รวมเป็นระยะเวลา 80 นาที พบว่า ผู้เข้าร่วมวิจัย 2 คนแรก ฝึกเป็นระยะเวลา 1 เดือน กล่าวคล้ายกันคือ ช่วง 1 – 2 สัปดาห์แรก ต้องทำการปรับตัวอย่างมาก เนื่องจากความหนักของโปรแกรมอยู่ในระดับสูง 95 – 100% ที่ตนเองเหนื่อยที่สุด (จากการทดลอง VO_2max) แต่เมื่อผ่านช่วงสัปดาห์แรกมาได้ จะพบ การพัฒนาในการวิ่งทั่วไป หรือที่เคยฝึกซ้อมอยู่ ดังนั้น ด้วยความหนัก ระยะเวลาในการฝึกมีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย และสามารถปฏิบัติได้

ข้อมูล	ผลการทดลอง	
	คนที่ 1	คนที่ 2
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (bpm)	167	177
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้ง/นาที) ในขณะทดสอบ VO_2max	164	169

4) ทำการทดลองวัดตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ด้วยการประเมินด้านการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อแบบความยาวคงที่ (Isometric maximum voluntary contraction: IMVC) ด้วยเครื่องวัดแรง ไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA) ในท่านั่งเหยียดเข่า (Knee extension) และท่ากดปลายเท้า (Plantar flexion) พร้อมทำการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยเครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (Electrical stimulation) วิธีการกระตุ้นไฟฟ้าผ่านทางผิวหนัง (Transcutaneous electrical stimulations) เป็นระยะเวลา 4 วินาที เวลาพัก 2 วินาที จำนวน 3 ครั้ง ทั้งหมด 2 รอบ พักระหว่างรอบ 15 วินาที และจำนวน 2 ชุด พักระหว่างชุด 30 วินาที บันทึกตัวแปรที่ได้ การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อแบบความยาวคงที่ (Isometric maximum voluntary contraction: IMVC) ทั้งท่าเหยียดเข่า และกดปลายเท้า คือ แรงสูดสุด (Fmax) มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร และทำการคำควณการล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ได้แก่ การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ (Maximum voluntary activation: %VA) คำนวณจากสมการ (Ehrström et al., 2018) และการล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ได้แก่ คลื่นไฟฟ้าจากการกระตุ้นไฟฟ้า (RMS) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็น พบว่า การกระตุ้นไฟเข้ากล้ามเนื้อใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นักวิ่งเทรลสมัครเล่นไม่ก่อให้เกิดการเจ็บปวดต่อกล้ามเนื้อ เป็นเพียงการกระตุ้นเพื่อให้กล้ามเนื้อกระตุ้น เป็นเวลา 2 วินาที จึงไม่ทำให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อในภายหลัง ดังนั้น ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ สามารถทำการทดสอบได้

$$\text{ดังสมการ VA} = \left[1 - \frac{(Db100\,\text{sup} - Fbefore) \times \frac{Fbefore}{Fmax}}{controlDb100}\right] \times 100$$

ข้อมูล	ผลการทดลอง	
	คนที่ 1	คนที่ 2
1. แรงสูดสุด (Fmax) (นิวตันเมตร)	28.8	-
2. แรงในขณะกระตุ้นช่วงแรก (Fbefore) (นิวตันเมตร)	30.7	-
3. การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อสูงสุด (Maximum voluntary activation: %VA) (เปอร์เซ็นต์)	96.44	-
4. การออกแรงสูงสุดพร้อมกับการกระตุ้น 100 Hz (Db100sup) (นิวตันเมตร)	31.1	-
5. การกระตุ้น 100 Hz ขณะที่กล้ามเนื้อพัก (Db100 control) (นิวตันเมตร)	12	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตาราง แรงสูงสุดที่สามารถทำได้ คือ 28.8 นิวตันเมตร เมื่อมีการกระตุ้นไฟที่กล้ามเนื้อทำให้ระบบประสาทส่วนกลางระดมหน่วยยนต์ (Motor unit) ที่มากขึ้น ดังนั้น การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อจึงสูงถึง 96.44 % ซึ่งหมายถึง เมื่อมีการออกแรงที่กล้ามเนื้อ ระบบประสาทก็มีการสั่งการตามไปด้วย การทดสอบตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) โดยการกระตุ้นไฟเข้ากล้ามเนื้อในนักวิ่งเทรลสมัครเล่นไม่ก่อให้เกิดการเจ็บปวดต่อกล้ามเนื้อ เป็นเพียงการกระตุ้นเพื่อให้กล้ามเนื้อกระตุ้น เป็นเวลา 2 วินาที จึงไม่ทำให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อในภายหลัง ดังนั้น ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ สามารถทำการทดสอบได้

ภาคผนวก ง

แบบตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือของผู้เชี่ยวชาญ

การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์

(Index of Item Objective Congruence; IOC)

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบโปรแกรมการทดสอบ 5 ท่าน

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

1. อาจารย์ ดร. นภัสกร ชื่นศิริ อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา แขนงวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ทรงภายนอก

1. อาจารย์ ดร. นที ทองศิริ อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. อาจารย์ ดร.ชลชัย อานามนารถ อาจารย์ประจำวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล
3. อาจารย์ ดร. วรพงษ์ คงทอง อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีวิทยาศาสตร์สุขภาพ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหวและสุขภาพ ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์
4. คุณเตชิต เตชะชัยภักดิ์ ผู้ฝึกสอนออกกำลังกายทักษะกีฬาประเภทความอดทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

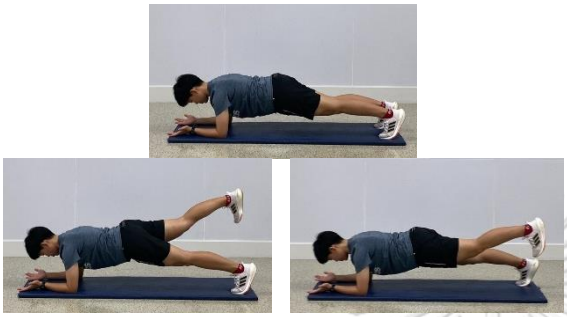
<u>คำชี้แจง</u> ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อโปรแกรมการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงสำหรับนักวิ่งเทรลสันทนาการ รุ่นมาสเตอร์ จากโครงการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูงที่มีต่อการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และความสามารถในการวิ่งเทรลในนักวิ่งเทรลสันทนาการ รุ่นมาสเตอร์

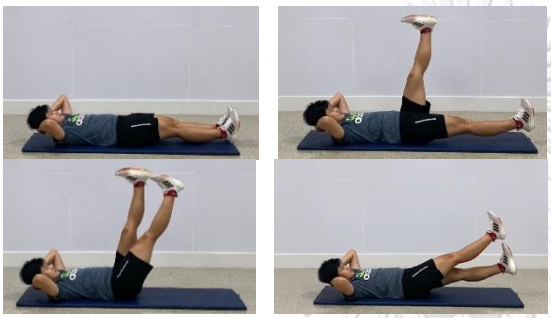
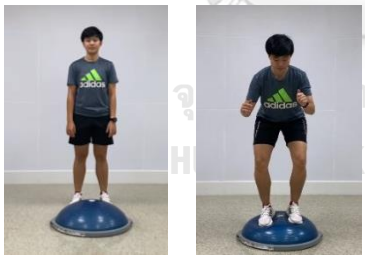
โดยใส่เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

รายละเอียดของเนื้อหา	**คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	ค่า IOC	**แปลผล**
1. โปรแกรมการอบอุ่นร่างกาย และคลายอุ่นร่างกาย							
1.1. การอบอุ่นร่างกาย ตามลำดับ ดังนี้ - เดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 4 นาที - ยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 3 นาที ใช้ทั้งหมดเวลา 10 นาที	-1	1	1	1	1	0.6	ใช้ได้
1.2. การคลายอุ่นร่างกาย ตามลำดับ ดังนี้ - ยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบค้างนิ่ง (Static stretching) 10 นาที	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
2. โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ							
2.1. ปริมาณการฝึกวิ่งปกติ (Usual trail running training; UTR) ประกอบด้วย - การฝึกวิ่งถนน มากกว่า 5 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ อย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ - การฝึกวิ่งเทรล ณ สถานที่จริง (ภูเขาบนทางที่มีพื้นไม่ราบเรียบ) ด้วยระยะทาง ความชัน มากกว่า 2 ชั่งโมงต่อครั้ง (ต่อเนื่อง) อย่างน้อย 1 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 5 - 8 (เดือนที่ 2 ของการฝึก) **หมายเหตุ:** โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
3. โปรแกรมการฝึกเสริม ประกอบด้วย 3 กลุ่ม							

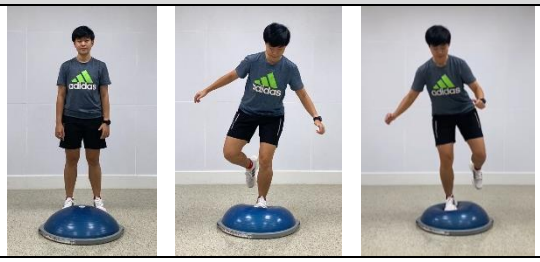
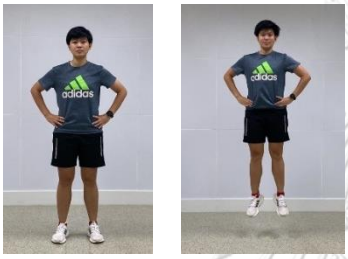
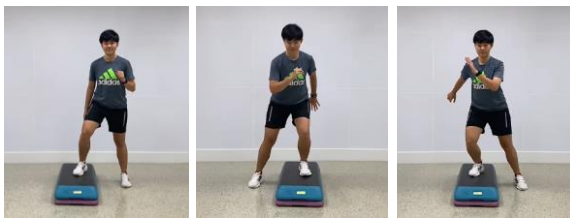
รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
3.1. ปริมาณการฝึกเสริม ประกอบด้วย - กลุ่มที่ 1 การฝึกแบบวงจร (Circuit training; Circuit) - กลุ่มที่ 2 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) - กลุ่มที่ 3 การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT + Circuit) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 รวมเป็นระยะเวลา 90 นาทีต่อสัปดาห์ และในสัปดาห์ที่ 7 – 12 รวมเป็นระยะเวลา 120 นาทีต่อสัปดาห์	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
4. กลุ่มที่ 1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit)							
4.1. ปริมาณในการฝึกแบบวงจร (Circuit) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 (Week 1 - 6) จำนวนการฝึก 2 เซ็ต พักระหว่างท่า 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 1 นาที รวมเป็นระยะเวลา 30 นาที ตามลำดับท่าที่กำหนด จำนวน 15 ท่า และในสัปดาห์ที่ 7 – 12 (Week 7 - 12) เพิ่มระดับความก้าวหน้าของท่า และระยะเวลาในการฝึก 40 นาที ดังต่อไปนี้	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
4.2. การฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ได้แก่							

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

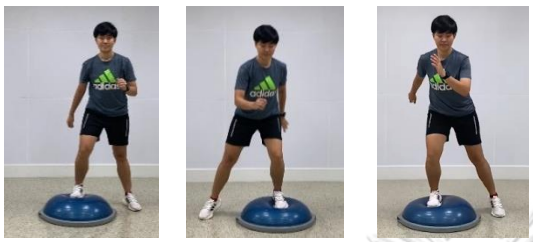
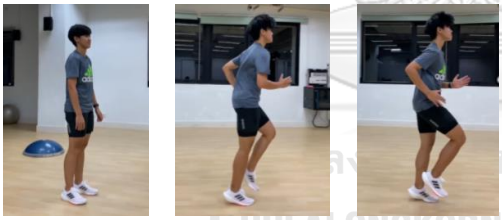
รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
1. Rotating three-point plank (Week 1 - 6) 	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
2. Rotating two-point plank (Week 7 - 12)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
3. Side plank hip drop (Week 1 - 6)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
4. Side plank hip drop and leg open (Week 7 - 12)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
5. Lying straight-leg raise (Week 1 - 6)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
6. Scissor kick (Week 7 - 12) 	1	1	0	0	1	0.6	ใช้ได้
4.3. การฝึกพลัยโอเมตริก							
1. Jump to bosu ball (Week 1 - 6) 	0	-1	0	0	0	0.2	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ควรฝึกจากพื้นที่มีความมั่นคงก่อน และ Bosu อาจทำให้ไม่เกิดพลัยโอเมตริก
2. Single leg jumps on bosu ball (Week 7 - 12)	-1	1	0	0	0	0	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ควรฝึกจากพื้นแข็งที่มีความมั่นคง

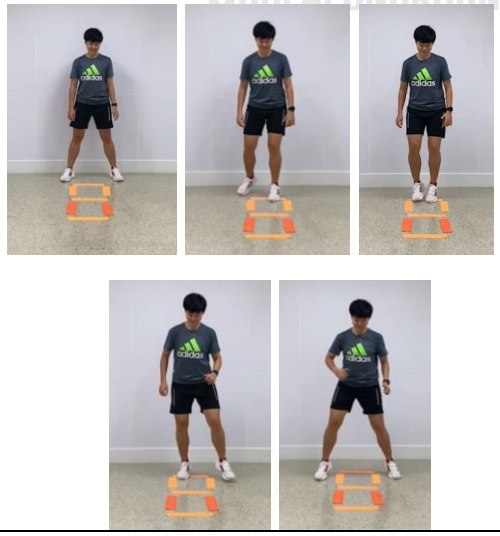
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
							ก่อน และ Bosu อาจทำให้ไม่เกิดพ-ลัยโอเมตริก
3. Stiffness hop (Week 1 - 6) 	1	0	0	1	1	0.6	ใช้ได้
4. Stiffness single leg hop (Week 7 - 12)	1	0	0	1	1	0.6	ใช้ได้
5. Side to Side Shuffle on hard surface (Week 1 - 6) 	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้

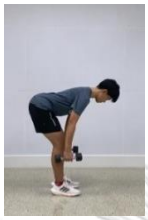
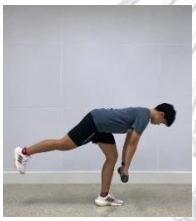
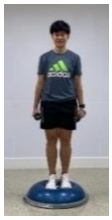
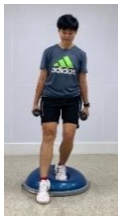
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
6. Side to Side Shuffle on soft surface (Week 7 - 12) 	1	1	0	1	0	0.6	ใช้ได้
7. Ankling (Week 1 - 6)	1	1	1	1	0	0.8	ใช้ได้
8. Ankling (Week 7 - 12) 	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้
9. A-skip (Week 1 - 6)	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

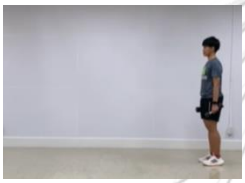
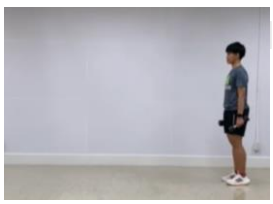
รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
10. A-skip (Week 7 - 12)	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้
11. Double trouble (Week 1 - 6)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
12. Double trouble (Week 7 - 12) 	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

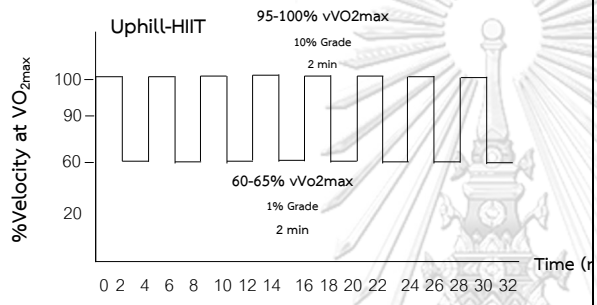
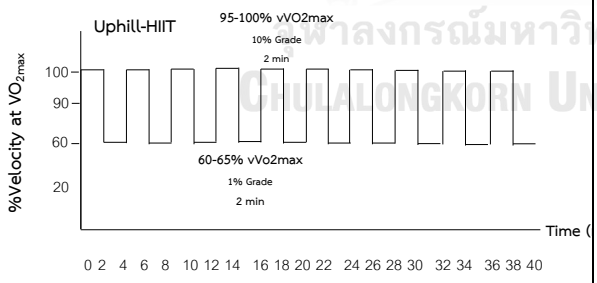
รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
4.4. การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ได้แก่							
1. Romanian Deadlift (Week 1 - 6) 	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
2. Single-Leg Romanian Deadlift (Week 7 - 12) 	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
3. Single leg squat on hard surface (Week 1 - 6)	1	1	1	1	0	0.8	ใช้ได้
4. Single leg squat on soft surface (Week 7 - 12)  	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
5. Glute bride (Week 1 - 6)	1	-1	0	1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ให้ฝึกกับพื้นแข็งก่อน
6. Glute march (Week 7 - 12)	1	-1	1	1	1	0.6	ใช้ได้
7. Side-Lying Clam (Week 1 - 6)	1	-1	1	1	1	0.6	ใช้ได้
8. Side-Lying hip Raise with rubber band (Week 7 - 12)	1	-1	1	1	1	0.6	ใช้ได้
9. Elevated Calf Raise (Week 1 - 6)	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
10. Single-Leg Elevated Calf Raise with weight (Wk 7 - 12)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
11. Forward Lunge (Wk 1 - 6) 	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
12. Forward and backward Lunge with weight (Wk 7 - 12) 	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
5. กลุ่มที่ 2 โปรแกรมการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-HIIT)							
5.1. ความหนักของการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-HIIT) ช่วงออกกำลังกาย	0	1	-1	1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ:

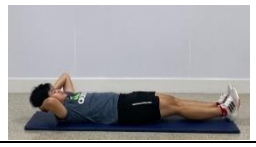
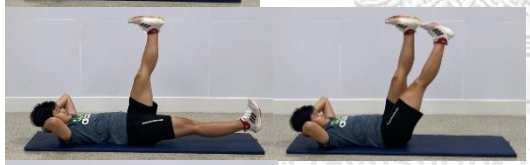
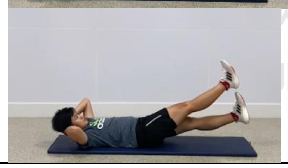
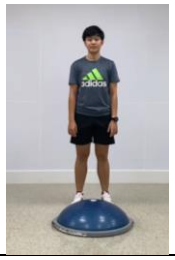
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
GKORN UNIVERSITY

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
หนัก 95 - 100% vVO_{2max} ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_{2max} ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที							ความหนักอาจหจักเกินไป
5.2. ปริมาณในการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-HIIT) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 จำนวนการฝึก 8 เซต รวมเป็นระยะเวลา 32 นาที 	0	1	-1	1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ความหนักอาจหจักเกินไป
5.3. ปริมาณในการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-HIIT) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12 จำนวนการฝึก 10 เซต รวมเป็นระยะเวลา 40 นาที 	0	1	-1	1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ความหนักอาจหจักเกินไป
6. กลุ่มที่ 3 โปรแกรมการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-HIIT + Circuit)							
6.1.ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 (Week 1 – 6) ปริมาณในการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-HIIT + Circuit) รวมระยะเวลาทั้งหมด 31 นาที ประกอบด้วย Circuit จำนวนการฝึก 1 เซ็ต พักระหว่างท่า 30 วินาที และพักระหว่าง	0	1	-1	1	0	0.2	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: เพิ่มช่วงพักระหว่างการ

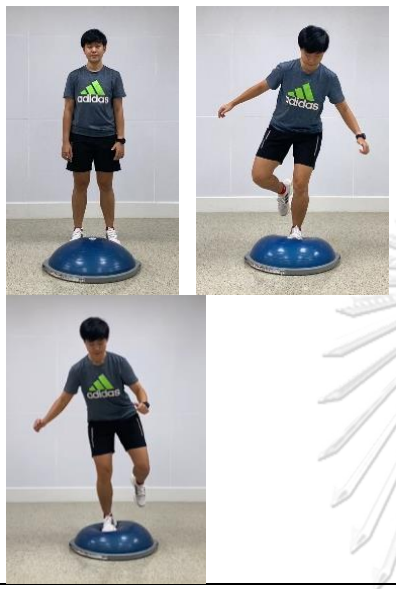
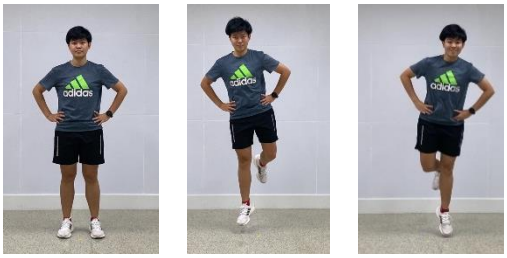
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
เซ็ต 1 นาที รวมเป็นระยะเวลา 15 นาที ตามลำดับท่าที่กำหนด จำนวน 15 ท่า ตามลำดับ ดังต่อไปนี้							ฝึก
6.2.ในสัปดาห์ที่ 7 – 12 (Week 7 – 12) ปริมาณในการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-HIIT + Circuit) รวมระยะเวลาทั้งหมด 40 นาที ประกอบด้วย Circuit จำนวนการฝึก 1 เซ็ต พักระหว่างท่า 30 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 1 นาที รวมเป็นระยะเวลา 15 นาที ตามลำดับท่าที่กำหนด จำนวน 15 ท่า ตามลำดับ ดังต่อไปนี้	0	1	-1	0	0	0	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ปรับความหนัก และระยะเวลาพักระหว่างเซ็ต
6.3. การฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ได้แก่							
1. Rotating three-point plank (Week 1 - 6)	1	1	1	1	1	1	
2. Rotating two-point plank (Week 7 - 12)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
3. Side plank hip drop (Week 1 - 6)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้

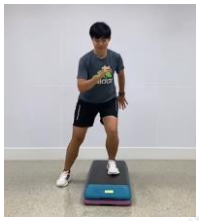
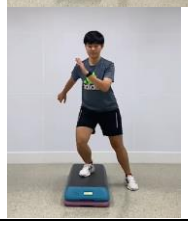
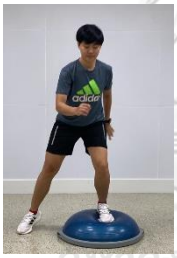
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
4. Side plank hip drop and leg open (Week 7 - 12)	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
5. Lying straight-leg raise (Week 1 - 6) 	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
6. Scissor kick (Week 7 - 12)  	1	1	0	0	1	0.6	ใช้ได้
6.4. การฝึกพลัยโอเมตริก							
1. Jump to bosu ball (Week 1 - 6) 	0	-1	0	0	0	-0.2	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ควรฝึกบนพื้นแข็งก่อน

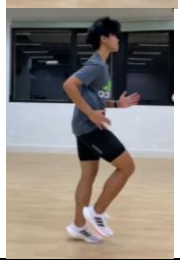
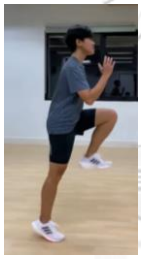
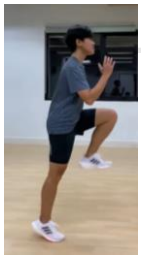
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
2. Single leg jumps on bosu ball (Week 7 - 12) 	-1	1	0	0	0	0	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ควรฝึกบนพื้นแข็งก่อน
3. Stiffness hop (Week 1 - 6)	1	0	0	1	1	0.6	ใช้ได้
4. Stiffness single leg hop (Week 7 - 12) 	1	0	0	1	1	0.6	ใช้ได้

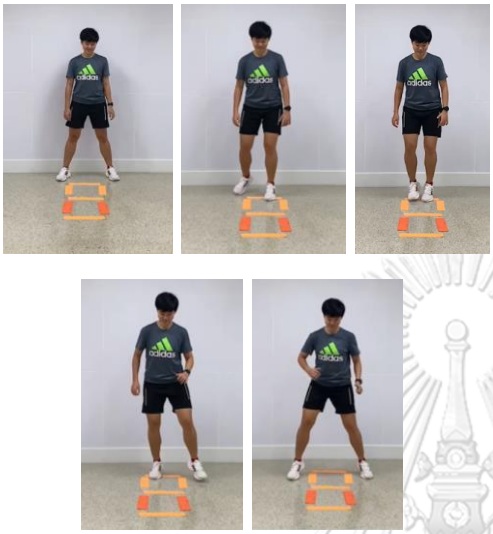
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
5. Side to Side Shuffle on hard surface (Week 1 - 6)  	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
6. Side to Side Shuffle on soft surface (Week 7 - 12) 	1	1	0	1	0	0.6	ใช้ได้
7. Ankling (Week 1 - 6)	1	1	1	1	0	0.8	ใช้ได้

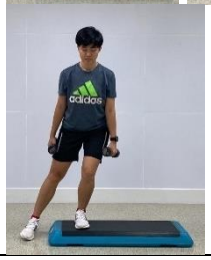
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
8. Ankling (Week 7 - 12) 	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้
9. A-skip (Week 1 - 6) 	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
10. A-skip (Week 7 - 12) 	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้

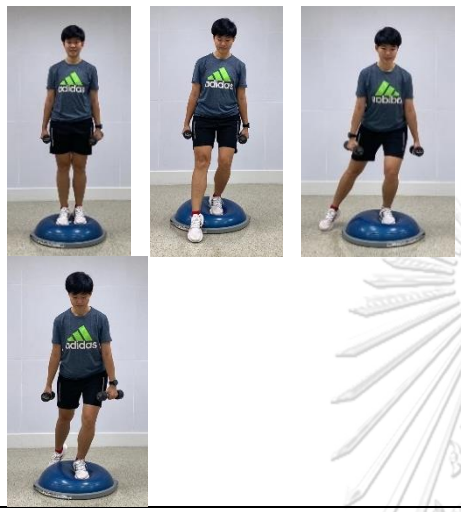
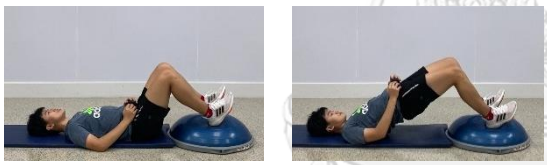
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
11. Double trouble (Week 1 - 6) 	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
12. Double trouble (Week 7 - 12)	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้
6.5. การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ได้แก่							

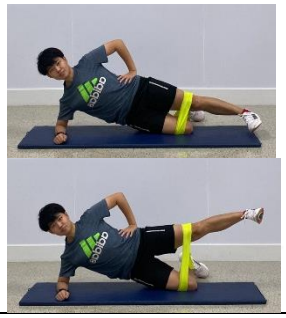
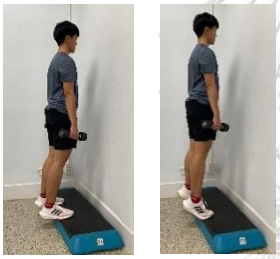
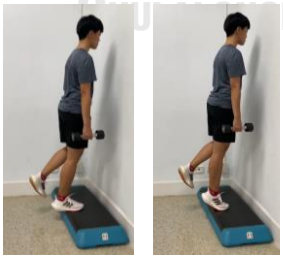
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
1. Romanian Deadlift (Week 1 - 6)	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
2. Single-Leg Romanian Deadlift (Week 7 - 12)	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
3. Single leg squat on hard surface (Week 1 - 6) 	1	1	1	1	0	0.8	ใช้ได้

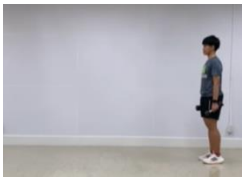
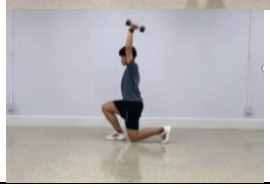
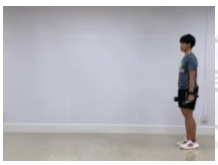
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

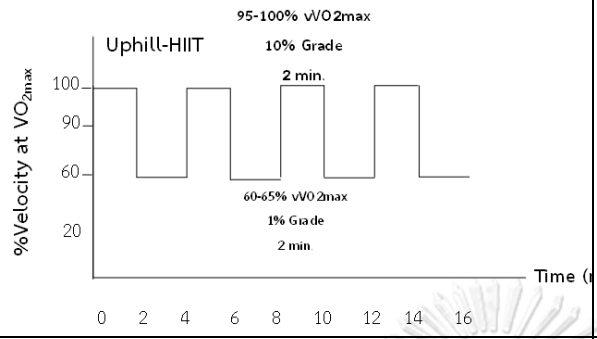
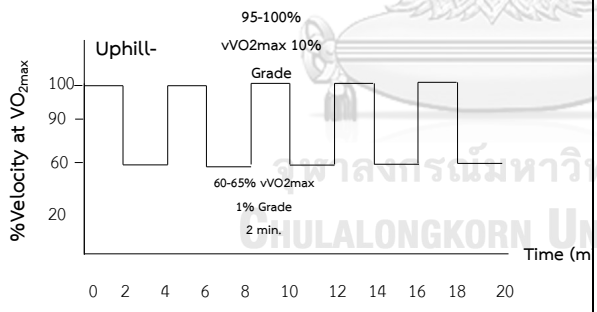
รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
4. Single leg squat on soft surface (Week 7 - 12) 	1	1	1	0	1	0.8	ใช้ได้
5. Glute bride (Week 1 - 6) 	1	-1	0	1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ควรฝึกบนพื้นแข็ง
6. Glute march (Week 7 - 12)	1	-1	0	1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ควรฝึกบนพื้นแข็ง
7. Side-Lying Clam (Week 1 - 6)	1	-1	1	1	1	0.6	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
8. Side-Lying hip Raise with rubber band (Week 7 - 12) 	1	-1	1	1	1	0.6	ใช้ได้
9. Elevated Calf Raise (Week 1 - 6) 	1	1	0	1	1	0.8	ใช้ได้
10. Single-Leg Elevated Calf Raise with weight (Week 7 - 12) 	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
11. Forward Lunge (Week 1 - 6)  	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
12. Forward and backward Lunge with weight (Week 7 - 12) 	1	1	1	1	1	1	ใช้ได้
6.6.ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 หลังจากฝึก Circuit เสร็จสิ้นแล้ว จะทำการฝึกแบบ Uphill-HIIT ร่วมกับปริมาณใน การฝึกจำนวน 4 เซต ความหนักช่วงออกกำลังกายหนัก 95 - 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max ร่วมกับความชัน 1% เป็นเวลา 2 นาที รวมเป็นระยะเวลา 16 นาที ดังต่อไปนี้	0	1	-1	1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ควรปรับความหนักลง

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
							
6.7. ในสัปดาห์ที่ 7 – 12 หลังจากฝึก Circuit เสร็จสิ้นแล้ว จะทำการฝึกแบบ Uphill-HIIT ร่วมกับปริมาณในการฝึกจำนวน 5 เซต ความหนักช่วงออกกำลังกายหนัก 95 - 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max ร่วมกับความชัน 1% เป็นเวลา 2 นาที รวมเป็นระยะเวลา 20 นาที 	0	1	-1	1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: ควรปรับความหนักลง
ตัวแปรที่ใช้ทดสอบในการศึกษา							
1. การทดสอบตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue)							
1.1. ทำการกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ด้วยการอบอุ่นร่างกาย 10 นาที ด้วยการวิ่งระดับพื้นราบ ความชัน 1% ความหนัก 50% ของ (Heart rate reserve; HR_R) จากนั้นทำการวิ่งขึ้นเขา ความชัน 15% ความหนัก 75% HR_R ระยะเวลา 30 นาที (Ehrstrom et al., 2018) และวิ่ง	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
ลงเขา ความชัน 8.5% ระยะเวลา 30 นาที ความหนัก 60% HRmax (Garnier et al., 2018) วิ่งต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นการทดสอบ ด้วยลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรค เฮช พี คอสมอส ประเทศสหรัฐอเมริกา (h/p/cosmos, Germany)							
1.2. การทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ในท่านั่งเหยียดเข่า (Knee extension) และท่ากดปลายเท้า (Plantar flexion) พร้อมทำการกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยเครื่องวัดแรง ไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA) และเครื่องเครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (Electrical stimulation) โดยวิธีการกระตุ้นไฟฟ้าผ่านทางผิวหนัง (Transcutaneous electrical stimulations) โดยทำการทดสอบการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ ของกล้ามเนื้อ (MVC) เป็นระยะเวลา 4 วินาที ต่อมาทำการกระตุ้นไฟกระแสเดี่ยว (Tw) จำนวน 2 ครั้ง พักระหว่างการออกแรง และกระตุ้นไฟ ระยะเวลา 2 วินาที ทั้งหมด 2 รอบ พักระหว่างรอบ 15 วินาที พักระหว่างชุด 30 วินาที และทำการทดสอบการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อ ของกล้ามเนื้อ (MVC) ร่วมกับกระแสไฟคู่ 100 เฮิร์ต เป็นระยะเวลา 4 วินาที ต่อมากระตุ้นกระแสไฟคู่ 100 เฮิร์ต และกระแสไฟคู่ 10 เฮิร์ต ระยะเวลา 2 วินาที ทั้งหมด 2 รอบ พักระหว่างรอบ 15 วินาที เสร็จสิ้นการทดสอบ (Vercruyssen et al., 2017)	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
2. การทดสอบตัวแปรด้านสมรรถภาพกล้ามเนื้อ (Muscular fitness)							
2.1. การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) โดยประเมินการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ด้วยเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA) อัตราเร็วเชิงมุม 60 องศาต่อวินาที จำนวน 5 ครั้ง พักระหว่างครั้ง 90 วินาที (Sundby and Gorelick, 2014)	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
2.2. การทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) โดยประเมินการหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อในท่าเหยียดเข่า (Knee extension) และท่างอเข่า (Knee flexion) ด้วยเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA) อัตราเร็วเชิงมุม 180 องศาต่อวินาที จำนวน 20 ครั้งต่อเนื่อง (Astorino et al., 2012)	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
2.3.การทดสอบการกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump: CMJ) ที่มุมข้อเข่า 90 องศา (Half squat jump) ด้วยเครื่องวัดแรง (Force platform) รุ่น FT 700 Power Cage และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ballistic Measurement System จำนวน 1 ครั้งต่อรอบ จำนวน 2 รอบ พักระหว่างรอบ 3 นาที และนำค่าที่ดีที่สุด 1 ครั้ง เป็นข้อมูลในการวิจัย (Lemire et al., 2020)	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
2.4.การทดสอบการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) ด้วยเครื่อง แท่นวัดแรง (Force platform) รุ่น FT 700 Power Cage และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ballistic Measurement System จำนวน 10 ครั้งต่อรอบ จำนวน 1 รอบ เป็นข้อมูลในการวิจัย (Balducci et al., 2017)	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
2.5.การทดสอบตัวแปรด้านระดับออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle oxygenation) ทำการวัดที่กล้ามเนื้อ Vastus lateralis muscle ประเมินในระหว่างการทดสอบ Aerobic test และ Anaerobic test ด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near-infrared spectroscopy; NIRS) ยี่ห้อโนนิน ประเทศสหรัฐอเมริกา (Equanox, Nonin Medical Inc., Plymouth, MN USA) (Vernillo et al., 2017)	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
3. การทดสอบตัวแปรด้านการทรงตัว (Balance test)							
3.1. การทดสอบความสามารถในการทรงตัว (Balance test) ด้วยเครื่องวัดการทรงตัว (Postural sway detected machine) ยี่ห้อ Biodex รุ่น BioSwayTM (Biodex, BioSway, USA) รูปแบบการทดสอบ 8 เงื่อนไข (Saalfield et al., 2022) ได้แก่ 3.1.1. ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาสองข้างบนพื้นแข็ง (Eyes open firm surface) 3.1.2. ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาสองข้างบนพื้นแข็งร่วมกับหลับตา (Eyes closed firm surface) 3.1.3. ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาหนึ่งข้างบนพื้นแข็ง (Eyes open firm surface) 3.1.4. ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาหนึ่ง	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
ข้างบนพื้นแข็งร่วมกับหลับตา (Eyes closed firm surface) 3.1.5. ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาสองข้างบนพื้นโฟม (Eyes open foam surface) 3.1.6. ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาสองข้างบนพื้นโฟมร่วมกับหลับตา (Eyes closed foam surface) 3.1.7. ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาหนึ่งข้างบนพื้นโฟม (Eyes open foam surface) 3.1.8. ทดสอบด้วยการยืนด้วยขาหนึ่งข้างบนพื้นโฟม ร่วมกับหลับตา (Eyes closed firm surface)							
3.2. การทดสอบความสามารถในการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (Star excursion balance test; SEBT) ด้วยการติดเทปกาวในลักษณะ 8 ทิศทาง * ทำการทดสอบการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว 8 ทิศทางของขาทั้ง 2 ข้าง โดยยืนขาเดียวที่จุดกึ่งกลางของเส้นที่ตัดกันมือทั้ง 2 ข้างเท้าเอว และเหยียดขาออกไปให้ไกลที่สุดในแต่ละทิศทาง	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
4. การทดสอบตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (Maximum aerobic speed fitness)							
4.1. ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (Maximum aerobic speed fitness) ด้วยเครื่องลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคมาสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Trackmaster, USA) และการประเมินความสามารถขณะการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อวีแม็ก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Vmax, USA) โดยวิธีการ	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
ทดสอบ Graded incremental exercise test โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องลู่กลที่ความเร็ว 8.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 0% เมื่อครบทุก 1 นาที ให้ปรับความเร็วขึ้นทีละ 0.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จนผู้เข้าร่วมวิจัยขอยุติการทดสอบ (Balducci et al., 2017)							
5. การทดสอบตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness)							
5.1. ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness) ทำการทดสอบความสามารถในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ (Repeated sprint ability test; RAST) ด้วยเครื่องลู่กล non-motorized treadmill (NMT) (Assaultfitness, Sunny, California) ยี่ห้อแอสเซล ฟิตเนส ประเทศแคลิฟอเนีย โดยต้องวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ระยะเวลา 4 วินาที จำนวน 6 รอบ พักด้วยท่ายืนระหว่างรอบ 15 วินาที และทำการเร่งความเร็วก่อนวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 5 วินาที จนสิ้นสุดการทดสอบ (Wiewelhove et al., 2015)	0	1	1	0	1	0.6	ใช้ได้
6. การทดสอบตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy)							

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
6.1. ตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ด้วยเครื่องลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคมาสเตอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Trackmaster, USA) ทำการทดสอบการใช้พลังงาน (Energy cost) โดยแบ่งเป็น 2 ระดับการวิ่ง ได้แก่ - การวิ่งระดับพื้น (Level running) โดยการอบอุ่นร่างกายที่ความเร็ว 50% ของความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ความชัน 0% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้น เริ่มทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ความเร็ว ความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด คูณกับ 0.6 ความชัน 0% เป็นระยะเวลา 5 นาที นำค่า VO2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล - พักระหว่างการทดสอบ 5 นาที ในท่านั่ง - การวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) โดยการอบอุ่นร่างกายที่ความเร็ว 35% ของความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ความชัน 10% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้น เริ่มทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ความเร็ว 2/3 จากค่าที่ได้ความเร็วสูงสุด คูณกับ 0.6 ของการวิ่งพื้นระดับ ความชัน 10% เป็นระยะเวลา 5 นาที นำค่า VO2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
7. การทดสอบตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry)							

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
7.1. ทำการเก็บตัวอย่างเลือดของผู้เข้าร่วมการวิจัยในเวลา 07.00–08.00 น. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องนอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง งดรับประทานอาหารอย่างน้อย 8 - 12 ชั่วโมง แต่สามารถดื่มน้ำได้เล็กน้อย ผู้เข้าร่วมวิจัยจะนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นทำการเจาะเลือด 10 ซีซี (ประมาณ 2 ช้อนชา) โดยพยาบาลวิชาชีพหรือนักเทคนิคการแพทย์ และส่งตรวจ ณ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิเคราะห์สารชีวเคมีในเลือด ดังนี้ 1. องค์ประกอบของเลือด (Compete blood count; CBC) เช่น จำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต 2. ปริมาณไขมันในเลือด (Lipid profiles) ได้แก่ คอลเลสเตอรอล ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน และไตรกลีเซอไรด์ 3. ระดับน้ำตาลในเลือด (Fasting blood glucose) 4. ไฮ เซ็นซิทีวิตี้ ซี-รีแอคทีฟโปรตีน (High sensitivity c-reactive protein; hs-CRP) 5. อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6) 6. ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK) 7. มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) 8. ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) 9. อินซูลินไลด์โกรสแฟคเตอร์-วัน (Insulin-like growth factor-1; IGF-1)	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
10. วาสคิวลาร์เอนโดทีเลียมโกรทแฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor; VEGF)							
8. การทดสอบตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล (Trail running time trial)							

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
8.1. ทดสอบการวิ่งเทรล ณ เขาฉลาก วัดพรมมาวาส อ. เมือง จ. ชลบุรี ระยะทางเทรล 15 กิโลเมตร ความชันการวิ่งขึ้นเขาและลงเขา 2,088 เมตร เริ่มทดสอบเวลา 06.00 น. ทำการแข่งขันเสมือนจริงโดยทำเวลาที่ดีที่สุด ผู้วิจัยทำการบันทึกสภาพอากาศ อุณหภูมิ และความชื้น (Easthope et al., 2018)	0	0	1	1	1	0.6	ใช้ได้
8.2. บันทึกความดันโลหิตก่อน-หลังการทดสอบและอัตราการเต้นของหัวใจตลอดเวลาตลอดเวลาการทดสอบ	0	1	1	-1	1	0.4	ใช้ไม่ได้ คำแนะนำ: การเจาะที่ 7.5 อาจรบกวนการวิ่ง
8.3. ในระหว่างการทดสอบจะมีการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วมือ เพื่อทดสอบความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 0, 7.5 และ 15 กิโลเมตร และหลังจากหยุดการทดสอบวิ่งเทรลเสร็จสิ้นแล้ว 3 นาที	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
8.4. จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการกระโดดแบบย่อเข่า(Counter movement jump) ทันที	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
8.5. วัดสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ของการทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ได้แก่ IL-6, CPK, MDA และ SOD ภายหลังหยุดการทดสอบวิ่งเทรลแล้ว 24 ชั่วโมง	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
9. การเรียงลำดับการทดสอบ							
9.1. วันที่ 1 ทดสอบตัวแปร ดังนี้	0	1	1	-1	1	0.4	ใช้ไม่ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
- 07.30 น. ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ใช้เวลา 30 นาที - 08.00 น. ตอบแบบสอบถาม ใช้เวลา 10 นาที - 08.10 น. ตัวแปรด้านสรีรวิทยา (General physiological data) ใช้เวลาทั้งหมด 30 นาที ได้แก่ ➢ วัดองค์ประกอบร่างกาย (DEXA) ความดันโลหิต และชีพจรขณะพัก ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง และวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด - 08.40 น. พักทานอาหารเช้า 30 นาที และพักผ่อน 90 นาที ใช้เวลาทั้งหมด 120 นาที - 10.10 น. ตัวแปรด้านการทรงตัว (Balance test) ใช้เวลาทั้งหมด 40 นาที ได้แก่ ➢ การทดสอบความสามารถในการทรงตัว (Balance test) ใช้เวลา 30 นาที ➢ การทดสอบความสามารถในการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว (Star excursion balance test; SEBT) ใช้เวลา 10 นาที - 10.50 น. ตัวแปรด้านสมรรถภาพกล้ามเนื้อ (Muscular fitness) ใช้เวลาทั้งหมด 45 นาที ได้แก่ ➢ การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) ใช้เวลา 20 นาที ➢ การทดสอบความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) ใช้เวลา 25 นาที - 11.35 น. พักระหว่างการทดสอบ 10 นาที - 11.45 น. ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก							คำแนะนำ: ควรเรียงลำดับ Power > Strength > Endurance

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
(Anaerobic fitness) ใช้เวลา 20 นาที - 12.05 น. พักทานอาหารกลางวัน 30 นาที และพักผ่อน 90 นาที ใช้เวลาทั้งหมด 120 นาที - 14.05 น. ตัวแปรด้านสมรรถภาพกล้ามเนื้อ (Muscular fitness) ใช้เวลาทั้งหมด 20 นาที ➢ การทดสอบการกระโดดแบบย่อเข่า (CMJ) ใช้เวลา 10 นาที ➢ การทดสอบการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) ใช้เวลา 10 นาที - 14.25 น. พักระหว่างการทดสอบ 10 นาที - 14.35 น. ตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (Maximum aerobic speed fitness) ใช้เวลา 45 นาที							
9.2. วันที่ 2 ทดสอบตัวแปร ดังนี้ - 09.00 น. ตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ใช้เวลาทั้งหมด 120 นาที ได้แก่ ➢ การทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ในท่านั่งเหยียดเข่า (Knee extension) และท่ากดปลายเท้า (Plantar flexion) ใช้เวลา 25 นาที ➢ ทำการกระตุ้นให้เกิดการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ใช้เวลา 1 ชั่งโมง 10 นาที ➢ การทดสอบการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue) ในท่านั่งเหยียดเข่า (Knee extension) และท่ากดปลายเท้า (Plantar flexion) ใช้เวลา 25 นาที	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของเนื้อหา	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ						
	1	2	3	4	5	ค่า IOC	แปลผล
- 11.00 น. พัก 10 นาที - 11.10 น. ตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy) ใช้เวลา 30 นาที							
9.3. วันที่ 3 ทดสอบตัวแปร ดังนี้ - 06.30 น. ตัวแปรด้านความสามารถในการวิ่งเทรล (Trail running time trial) ใช้เวลาทั้งหมด 32 ชั่วโมง ➢ การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิต และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ที่ 0, 8, 16 และหลังจากสิ้นสุดการทดสอบแล้ว 3 นาที ➢ การทดสอบเวลาในการวิ่งเทรล (Trail running time trial) ใช้เวลา 4 – 6 ชั่วโมง ➢ การทดสอบความสามารถสูงสุดในการกระโดดย่อเข่า (CMJ) หลังจากสิ้นสุดการทดสอบแล้ว 4 นาที - 11.30 – 13.30 น. สิ้นสุดการทดสอบ - พักระหว่างการทดสอบ 24 ชั่วโมง - 11.30 – 13.30 น. การทดสอบสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ของการทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ได้แก่ IL-6, CPK, MDA ใช้เวลา 30 นาที	0	1	1	1	1	0.8	ใช้ได้
รวม						0.71	ใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ

แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย สำหรับบุคคลทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 15 – 69 ปี

(Physical activity Readiness Questionnaire; PAR-Q+)

แบบสอบถามความพร้อมที่จะมีกิจกรรมทางกาย แปลจาก 2019-PAR-Q +

ส่วนของคำถามทั่วไป

การออกกำลังกาย หรือ กิจกรรมทางกาย มีหลักฐานที่ชัดเจนแล้วว่ามีประโยชน์ต่อสุขภาพ คนส่วนใหญ่ควรมีกิจกรรมทางกายในทุกวันของสัปดาห์ การมีกิจกรรมทางกายมีความปลอดภัยสำหรับประชาชนส่วนใหญ่ แบบสอบถามนี้จะบอกได้ว่า มีความจำเป็นที่จะขอคำแนะนำเพิ่มเติมจากแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกกำลังกายก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายที่หนักขึ้นจากเดิมที่เคยมีกิจกรรมทางกาย หรือไม่

โปรดอ่านคำถาม 7 ข้อด้านล่างอย่างถี่ถ้วนและตอบด้วยความสัตย์จริงว่า ใช่ หรือไม่ใช่	ใช่	ไม่ใช่
1. คุณเคยได้รับทราบจากแพทย์ว่า เป็นโรคเกี่ยวกับ ☐ โรคหัวใจ หรือ ☐ ความดันโลหิตสูง	☐	☐
2. คุณรู้สึกเจ็บที่หน้าอกในขณะพัก หรือระหว่างมีกิจกรรมในชีวิตประจำวัน หรือระหว่างออกกำลังกาย	☐	☐
3. ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณเคยวิงเวียนศีรษะจนเสียการทรงตัว หรือเป็นลมไม่รู้สึกตัว หรือไม่ (ในกรณีที่ออกกำลังกายอย่างหนักจนทำให้หายใจเร็ว แล้วตามด้วยการเวียนศีรษะ ให้ตอบว่าไม่ใช่)	☐	☐
4. คุณได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเรื้อรังนอกเหนือจากโรคหัวใจหรือโรคความดันโลหิตสูง หรือไม่ ถ้าตอบว่าใช่ ให้ระบุว่าเป็นโรคเรื้อรังอะไร	☐	☐
5. ปัจจุบันคุณได้รับประทานยาเพื่อรักษาโรคเรื้อรัง หรือไม่ โปรดระบุเงื่อนไขและยาที่ได้รับ	☐	☐
6. ปัจจุบัน หรือ ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณมีปัญหาเรื่องกระดูกและข้อหรือกล้ามเนื้อเส้นเอ็น ซึ่งอาการจะแย่ลงเมื่อมีกิจกรรมทางกายเพิ่มขึ้น (ในกรณีที่คุณมีปัญหาโรคกระดูก ข้อ กล้ามเนื้อหรือเส้นเอ็นในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา แต่ปัจจุบันภาวะดังกล่าวได้หายไปแล้ว และไม่มีผลต่อความสามารถต่อการออกกำลังกายหรือกิจกรรมทางกายในปัจจุบัน ให้ตอบไม่ใช่)	☐	☐
7. แพทย์เคยบอกคุณว่า คุณควรได้รับคำแนะนำก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายหรือออกกำลังกาย	☐	☐

✅ ถ้าตอบว่าไม่ใช่ทุกข้อ คุณสามารถที่จะออกกำลังกายได้ และให้ลงนามในคำประกาศของผู้สมัครเข้าร่วมกิจกรรมทางกาย โดยไม่ต้องตอบคำถามในหน้า 2-3

- ให้เริ่มการมีกิจกรรมทางกายที่เพิ่มขึ้น โดยค่อยๆเพิ่มความแรงของการมีกิจกรรมทางกาย
- ให้คุณออกกำลังกายให้สอดคล้องกับอายุตามแนวทางของ International Physical activity guideline (www.who.int/dietphysicalactivity/en/).
- คุณควรที่จะได้รับการประเมินสมรรถภาพทางกาย (fitness) และประเมินสุขภาพ/ตรวจสุขภาพประจำปี (health)
- ถ้าคุณอายุมากกว่า 45 ปี และไม่ได้ฝึกซ้อมออกกำลังกายความหนักมากก่อน ให้ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกายก่อนไปร่วมกิจกรรมทางกายที่มีความหนัก
- ถ้าคุณมีปัญหาเกี่ยวกับกิจกรรมทางกาย ให้สอบถามแพทย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย

Participant Declaration (คำประกาศของผู้สมัครเข้าร่วมกิจกรรมทางกาย)

ข้าพเจ้า ผู้ซึ่งลงนามในคำประกาศนี้ ได้อ่าน เข้าใจ โดยตอบคำถามทั้งหมดอย่างเต็มใจ และตระหนักเป็นอย่างดีว่า คำประกาศนี้จะใช้ได้ภายใน 12 เดือนนับจากวันที่ได้ตอบแบบสอบถาม และจะไม่มีผลในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไข ข้าพเจ้ายินยอมที่จะให้ผู้จัด/ศูนย์ฝึก กิจกรรมทางกายได้สำเนาเอกสารนี้เก็บไว้อีกฉบับ โดยผู้จัด/ศูนย์ฝึกกิจกรรมทางกายต้องไม่นำข้อมูลไปเปิดเผยและปฏิบัติตามการรักษาความลับตามที่กฎหมายกำหนด

ชื่อ ..... ลายเซน ..... วันที่ .....

พยาน ..... ลายเซนของพ่อแม่/ผู้ปกครอง ..... (กรณีที่ยังไม่บรรลุนิติภาวะ)

❌ ในกรณีที่คุณตอบไม่ใช่ 1 ข้อ หรือมากกว่า 1 ข้อ ให้ตอบคำถามในหน้า 2-3

⚠ ให้ชะลอการมีกิจกรรมทางกายที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่

- ✓ คุณกำลังป่วยเป็นโรคปัจจุบันที่ไม่ใช่โรคเรื้อรัง เช่น เป็นหวัด หรือมีไข้ ให้หายจากหวัดหรือไข้ก่อนจนกว่าอาการดีขึ้นถึงจะเข้าร่วมกิจกรรมทางกาย
- ✓ คุณกำลังตั้งครรภ์ ให้ปรึกษาแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย หรือให้ตอบคำถามใน ePAR-X+ www.eparmedx.com ก่อนเพื่อที่จะให้คำแนะนำการมีกิจกรรมทางกายที่เหมาะสมก่อนจะเพิ่มระดับของกิจกรรมทางกายจากเดิม
- ✓ คุณมีการเปลี่ยนแปลงของสุขภาพ ให้ตอบคำถามในหน้า 2-3 หรือปรึกษาแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย ก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายตามโปรแกรมที่เคยได้รับ

แบบสอบถามความพร้อมที่จะมีกิจกรรมทางกาย แปลจาก 2019-PAR-Q +

ส่วนของคำถามต่อเนื่อง เกี่ยวกับเงื่อนไขทางการแพทย์

	ใช่	ไม่ใช่
1. คุณมีอาการข้ออักเสบ กระดูกพรุน หรือมีปัญหาปวดหลัง ใช่หรือไม่ (ถ้าใช่ ตอบข้อ 1a-1c) ☐ ไม่ใช่ข้ามไปตอบข้อ 2		
a. คุณมีปัญหาในเรื่องความปวด โดยการใช้ยาหรือการรักษาด้วยวิธีอื่นนอกจากยาเพื่อควบคุมอาการ (ตอบไม่ใช่ กรณีที่ปัจจุบันคุณไม่ได้รับประทานยาหรือการรักษาด้วยวิธีการอื่นที่ไม่ใช้ยา)	☐	☐
b. ในปัจจุบันหรือที่ผ่านมา คุณมีอาการปวดที่เกิดจากข้อ , กระดูกหักเนื่องจากกระดูกพรุนหรือเป็นมะเร็ง ,กระดูกสันหลังเคลื่อน (spondylolisthesis) ,กระดูกสันหลังเสื่อม (spondylosis) หรือกระดูกสันหลังยุบ	☐	☐
c. ฉีดยาหรือรับประทานยาในกลุ่มสเตียรอยด์ติดต่อกันเป็นเวลามากกว่า 3 เดือน	☐	☐
2. คุณเป็นมะเร็งชนิดใดชนิดหนึ่ง ใช่หรือไม่ (ถ้าใช่ให้ตอบ ข้อ 2a -2b) ☐ ไม่ใช่ ข้ามไปตอบข้อ 3		
a. ประเภทของมะเร็งที่เป็นได้แก่ มะเร็งปอดหรือหลอดลม มะเร็งของระบบ ศีรษะ หู คอ จมูก ,multiple myeloma ใช่หรือไม่	☐	☐
b. ท่านกำลังรักษามะเร็งด้วย เคมีบำบัดหรือรังสีบำบัดอยู่ ใช่หรือไม่	☐	☐
3. คุณป่วยเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งรวมถึงโรคหลอดเลือดหัวใจ หัวใจล้มเหลว หรือจังหวะการเต้นของหัวใจผิดปกติของหรือไม่ ถ้าตอบว่าใช่ ให้ตอบข้อ 3a-3b ☐ ไม่ใช่ ข้ามไปข้อ 4		
a. คุณต้องใช้ยาหรือวิธีการรักษาอย่างอื่นที่ไม่ใช่ยาเพื่อควบคุมอาการของโรคอยู่ (ถ้าเคยรับประทานยาแต่ตอนนี้ไม่ต้องรับประทานยาหรือการรักษาอื่นที่ไม่ใช่ยาแล้ว ให้ตอบว่าไม่ใช่)	☐	☐
b. คุณเคยต้องใช้ยาเพื่อรักษาภาวะการเต้นของหัวใจผิดจังหวะ เช่น การเต้นผิดจังหวะเช่น AF หรือ PVC	☐	☐
c. คุณเป็นโรคหัวใจล้มเหลวแบบเรื้อรัง	☐	☐
d. คุณได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ และไม่ได้ออกกำลังกายในช่วง 2 เดือนที่ผ่านมา	☐	☐
4. คุณเป็นโรคความดันโลหิตสูงหรือไม่ ถ้าใช่ให้ตอบคำถามข้อ 4a-4b ☐ ไม่ใช่ ให้ข้ามไปตอบข้อ 5		
a. คุณต้องควบคุมความดันโลหิตโดยใช้ยาหรือการรักษาอื่นๆที่ไม่ใช่ยาหรือไม่ (ถ้าเคยได้รับแต่ปัจจุบันไม่ต้องใช้ยาหรือการรักษาอื่นที่ไม่ใช่ยาแล้วให้ตอบข้อนี้ว่า ไม่ใช่)	☐	☐
b. ขณะนี้ คุณมีความดันโลหิตขณะพัก มากกว่าหรือเท่ากับ 160/90 ไม่ว่าจะรับประทานยาหรือไม่ได้รับประทานยา หรือไม่ (ถ้าไม่ทราบค่าความดันโลหิตขณะพักของคุณ ให้ตอบว่าใช่)	☐	☐
5. คุณเป็นโรคเบาหวานหรือมีภาวะน้ำตาลในเลือดสูงที่เรียกว่าภาวะก่อนเบาหวานหรือไม่ ถ้าตอบว่าใช่ให้ไปตอบคำถามข้อ 5a-5e ☐ ไม่ใช่ ให้ข้ามไปตอบข้อ 6		
a. คุณต้องควบคุมเบาหวานด้วยยา และการรักษาอื่นๆที่ไม่ใช่ยาหรือไม่	☐	☐
b. คุณประสบปัญหาภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำหลังจากการออกกำลังกายหรือมีกิจกรรมประจำวันเป็นประจำ ใช่หรือไม่ (อาการของการมีน้ำตาลต่ำในเลือดได้แก่ มือสั่น ใจสั่น กระวนกระวาย เหงื่อออกมาก เวียนศีรษะ ปวดศีรษะเล็กน้อย สับสน พูดไม่รู้เรื่องหรือพูดลำบาก อ่อนเพลียหรือ ซึม)	☐	☐
c. คุณมีอาการหรืออาการแสดงของผลแทรกซ้อนจากโรคเบาหวาน ได้แก่ผลแทรกซ้อนของระบบหัวใจหรือหลอดเลือด หรือผลแทรกซ้อนทางตา ไต หรือมีอาการชาที่เท้าและนิ้วเท้า หรือไม่	☐	☐
d. คุณมีผลแทรกซ้อนอื่นๆหรือไม่ เช่น เป็นเบาหวานที่เกิดจากการตั้งครรภ์ หรือโรคไตวายเรื้อรัง หรือโรคตับ ใช่หรือไม่	☐	☐
e. คุณมีโปรแกรมที่จะออกกำลังกายที่หนักขึ้นกว่าที่เคยออกกำลังกายปกติ ในอนาคตอันใกล้ ใช่หรือไม่	☐	☐
6. คุณมีปัญหาสุขภาพจิต เช่นความจำเสื่อม โรคซึมเศร้า โรควิตกกังวล ความผิดปกติของการกิน โรคจิต โรคที่มีผลต่อเชาว์ปัญญา เช่น กลุ่มอาการดาวน์ ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ตอบคำถามข้อ 6a-6c ☐ ไม่ใช่ ให้ข้ามไปตอบข้อ 7		
a. คุณต้องรับประทานยา หรือการรักษาอื่นที่แพทย์สั่ง เพื่อรักษาโรคเหล่านั้นอยู่ ใช่หรือไม่ (ถ้าไม่ต้องใช้ยาหรือการรักษาอื่นที่แพทย์สั่งให้ตอบว่าไม่ใช่)	☐	☐
b. คุณเป็นโรคกลุ่มอาการดาวน์ (Down syndrome) และมีปัญหาปวดหลังอยู่ใช่หรือไม่	☐	☐

แบบสอบถามความพร้อมที่จะมีกิจกรรมทางกาย แปลจาก 2019-PAR-Q +

7. คุณมีโรคของระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ โรคอุดกลั้นทางเดินหายใจแบบเรื้อรัง โรคหอบหืด โรคความดันของเส้นเลือดในปอดสูง (Pulmonary high blood pressure) ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ตอบคำถามข้อ 7a-7d ☐ ไม่ใช่ ให้ข้ามไปข้อ 8
   a. คุณต้องรับประทานยา หรือการรักษาอื่นตามที่แพทย์สั่ง เพื่อรักษาโรคเหล่านั้นอยู่ ใช่หรือไม่ (ถ้าไม่ต้องใช้ยาหรือการรักษาอื่นที่แพทย์สั่งให้ตอบว่าไม่ใช่) ☐ ☐
   b. แพทย์เคยบอกกับคุณว่า คุณมีปริมาณออกซิเจนในเลือดอยู่ในระดับต่ำทั้งในขณะพักหรือขณะออกกำลังกาย และจำเป็นต้องให้ออกซิเจนเพิ่มเติมเนื่องจากออกซิเจนในอากาศไม่เพียงพอ ใช่หรือไม่ ☐ ☐
   c. ในกรณีที่คุณเป็นโรคหอบหืด ขณะนี้คุณมีอาการ แน่นหน้าอก หายใจได้ยินเสียงวี๊ดๆ หายใจลำบาก ไอเป็นประจำ (มากกว่า 2 วันต่อสัปดาห์) หรือต้องได้รับการรักษาแบบฉุกเฉินมากกว่า 2 ครั้งในช่วงสัปดาห์ที่ผ่านมา ใช่หรือไม่ ☐ ☐
   d. แพทย์เคยบอกคุณว่า คุณมีความดันในเส้นเลือดที่ปอดสูง ใช่หรือไม่ ☐ ☐

8. คุณได้รับบาดเจ็บที่ไขสันหลัง และเป็นอัมพาตทั้งตัว หรือครึ่งซีก ถ้าใช่ให้ตอบข้อ 8a-8c ☐ ไม่ใช่ ข้ามไปตอบข้อ 9
   a. คุณต้องรับประทานยา หรือการรักษาอื่นที่แพทย์สั่ง เพื่อรักษาโรค ใช่หรือไม่ (ถ้าไม่ต้องใช้ยาหรือการรักษาอื่นที่แพทย์สั่งให้ตอบว่าไม่ใช่) ☐ ☐
   b. คุณประสบปัญหาความดันโลหิตขณะพักต่ำจนทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะเล็กน้อย หรือเป็นลมไม่รู้สึกตัว ใช่หรือไม่ ☐ ☐
   c. แพทย์เคยบอกกับคุณว่า คุณมีภาวะความดันโลหิตสูงขึ้นอย่างฉับพลัน ที่เรียกในทางการแพทย์ว่า Autonomic dysreflexia ใช่หรือไม่ ☐ ☐

9. คุณป่วยเป็นโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) ซึ่งรวมถึง โรคที่หลอดเลือดสมองหดตัวชั่วคราว ทำให้เกิดอาการชั่วคราวแล้วกลับมาปกติภายใน 24 ชั่วโมง ที่ทางการแพทย์เรียกว่า ว่า Transient Ischemia Attack (TIA) หรือเป็น อัมพาต/อัมพฤกษ์ ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ ให้ตอบคำถามข้อ 9a-9c ☐ ไม่ใช่ ให้ข้ามไปตอบข้อ 10
   a. คุณต้องรับประทานยา หรือการรักษาอื่นที่แพทย์สั่ง เพื่อรักษาโรค ใช่หรือไม่ (ถ้าไม่ต้องใช้ยาหรือการรักษาอื่นที่แพทย์สั่งให้ตอบว่าไม่ใช่) ☐ ☐
   b. คุณมีปัญหาในด้านการเดินหรือการเคลื่อนที่ใช่หรือไม่ ☐ ☐
   c. คุณเคยป่วยด้วยโรคเส้นเลือดสมองหรือมีปัญหาของระบบประสาทหรือกล้ามเนื้อในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมา ใช่หรือไม่ ☐ ☐

10. คุณมีปัญหาด้านสุขภาพนอกเหนือจาก 9 ข้อด้านบนหรือไม่ หรือมีโรค มากกว่าหรือเท่ากับ 2 โรค ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ตอบคำถามข้อ 10a-10c ☐ ไม่ใช่ ให้ข้ามไปอ่านข้อเสนอแนะในหน้า 4
    a. ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณเคยประสบอุบัติเหตุที่ศีรษะ จน หน้ามืด เป็นลมหมดสติ หรือสลบ หรือได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่า Cerebral concussion ใช่หรือไม่ ☐ ☐
    b. คุณมีโรคอื่นนอกจากที่โรคที่ได้กล่าวมาแล้ว เช่น โรคลมชัก (ลมบ้าหมู) โรคของระบบประสาท หรือโรคไต ใช่หรือไม่ ☐ ☐
    c. ปัจจุบันคุณมีโรคหรือภาวะทางการแพทย์ มากกว่าหรือเท่ากับ 2 โรค/ภาวะ ใช่หรือไม่ ถ้าตอบว่าใช่ โปรดระบุ โรคหรือภาวะที่ท่านเป็นอยู่ในปัจจุบัน ..... และชื่อยาหรือการรักษาอื่น ที่ใช้ ..... ☐ ☐

ไปที่หน้าที่ 4 เพื่อดูคำแนะนำเกี่ยวกับเงื่อนไขทางการแพทย์ในปัจจุบันของคุณ พร้อมทั้งลงนามในคำประกาศของผู้เข้าร่วมกิจกรรมทางกาย

แบบสอบถามความพร้อมที่จะมีกิจกรรมทางกาย แปลจาก 2019-PAR-Q +

ถ้าคุณตอบไม่ใช่ในทุกข้อ ของคำถามที่เกี่ยวกับเงื่อนไขทางการแพทย์ คุณมีความพร้อมที่จะมีกิจกรรมทางกายหรือการออกกำลังกายที่เพิ่มมากขึ้น ให้คุณลงชื่อใน คำประกาศของผู้สมัครเข้าร่วมกิจกรรมทางกาย (Participant Declaration)

- แนะนำให้คุณปรึกษาผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกกำลังกายเพื่อแนะนำวิธีการออกกำลังกายที่ปลอดภัยและโปรแกรมการออกกำลังกายที่มีประสิทธิภาพที่สอดคล้องกับปัญหาสุขภาพของคุณ
- แนะนำให้เริ่มออกกำลังกายแบบเบาๆก่อนแล้วค่อยๆเพิ่มความหนักอย่างช้าๆ โดยออกกำลังแบบแอโรบิคที่ความหนักระดับเบาหรือปานกลาง 20-50 นาทีต่อครั้ง อาทิตย์ละ 3-5 วัน รวมถึงการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วย
- ถ้าคุณมีความก้าวหน้าของการออกกำลังกาย คุณควรมีเป้าหมายในการออกกำลังกายด้วยความหนักขนาดปานกลาง สะสมให้ได้ 150 นาทีหรือมากกว่า ต่อสัปดาห์
- ถ้าคุณอายุมากกว่า 45 ปี และไม่ได้ฝึกฝนในการออกกำลังกายที่มีความหนักเป็นประจำ คุณควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกายก่อนที่จะสมัครเข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายต้องใช้ความหนักที่เพิ่มขึ้น

ถ้าท่านตอบว่าใช่ 1 หรือมากกว่า 1 ข้อ ของคำถามที่เกี่ยวกับเงื่อนไขทางการแพทย์ คุณต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมก่อนที่จะไปร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายที่มีหนักเพิ่มขึ้น คุณควรที่จะตอบแบบสอบถามเฉพาะ คือ ePARmed-X+ ที่ web site www.eparmedx.com และ/หรือ ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกายที่ผ่านการรับรอง เพื่อช่วยคุณทำแบบสอบถามใน ePARmed-X+ หรือการค้นหาข้อมูลข่าวสารอื่นๆ

ให้ชะลอการมีกิจกรรมทางกายที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่

- ✓ คุณกำลังป่วยเป็นโรคปัจจุบันที่ไม่ใช่โรคเรื้อรัง เช่น เป็นหวัด หรือมีไข้ โดยให้หายจากหวัดหรือไข้ก่อนจนกว่าอาการดีขึ้น
- ✓ ถ้าคุณกำลังตั้งครรภ์ ให้ปรึกษาแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย หรือให้ตอบคำถามใน ePAR-X+ www.eparmedx.com ก่อนเพื่อที่จะให้คำแนะนำการมีกิจกรรมทางกายที่เหมาะสมก่อนจะเพิ่มกิจกรรมทางกาย
- ✓ ถ้าคุณมีการเปลี่ยนแปลงของสุขภาพ ให้ตอบคำถามในหน้า 3-4 หรือปรึกษาแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย ก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายตามโปรแกรมที่เคยได้รับ

คุณควรถ่ายรูป PAR-Q ทั้ง 4 หน้า และไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบที่ได้ตอบก่อนหน้า ถ้ามีข้อสงสัยในการใช้ PAR-Q+ หรือ ePARMed-X ภายหลังที่คุณได้ตอบแบบสอบถาม ให้ปรึกษาแพทย์ ก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกาย/ออกกำลังกาย

คำประกาศของผู้เข้าร่วมกิจกรรมทางกาย (Participant Declaration)

- ทุกท่านที่ได้ตอบแบบสอบถาม PAR-Q+ จนครบทุกข้อ โปรดลงนามในคำประกาศด้านล่าง
- ผู้ที่ยังไม่บรรลุนิติภาวะตามกฎหมาย ต้องได้รับคำยินยามจาก พ่อแม่ ผู้ปกครอง และร่วมลงนามในประกาศนี้ด้วย

ข้าพเจ้า ผู้ซึ่งลงนามในคำประกาศนี้ ได้อ่าน เข้าใจ และได้ตอบคำถามทั้งหมดอย่างเต็มใจ และตระหนักเป็นอย่างดีว่า คำประกาศนี้สามารถใช้ได้ภายใน 12 เดือนนับจากวันที่ได้ทำแบบสอบถาม และจะไม่มีผลในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไข ข้าพเจ้ายินยอมที่จะให้ ผู้จัด/ ศูนย์ฝึกกิจกรรมทางกาย ได้สำเนาเอกสารนี้เก็บไว้อีกฉบับ โดยผู้จัด/ศูนย์ฝึก ต้องไม่นำข้อมูลไปเปิดเผยและรักษาความลับตามที่กฎหมายกำหนด

รหัส.....

ลงชื่อ.....ผู้วิจัย วันที่ .....

ภาคผนวก ฉ

แบบสอบถามประวัติสุขภาพ (Personal and family medical history)

รหัส.....อายุ.....วันเดือนปีเกิด(ค.ศ./พ.ศ.).....

ประวัติสุขภาพในอดีต			ข้อมูลของคนในครอบครัว			ข้อมูลสุขภาพในปัจจุบัน		
คุณเคยมีอาการเหล่านี้หรือไม่	มี	ไม่มี	ญาติสายตรงมีอาการเหล่านี้หรือไม่มี	มี	ไม่มี	คุณมีอาการเหล่านี้หรือไม่	มี	ไม่มี
ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคลิ้นหัวใจ โรคหลอดเลือดแดง เส้นเลือดขอด โรคปอด หอบหืด โรคไต ตับอักเสบ,เบาหวาน กระดูกเสื่อม			หัวใจวาย ความดันสูง โคเลสเตอรอลสูง หลอดเลือดสมอง เบาหวาน ผ่าตัดหัวใจ โรคหัวใจแต่กำเนิด เสียชีวิตก่อนวัย อาการป่วยอื่นๆ			เจ็บแน่นหน้าอก หายใจติดขัด ใจสั่น หัวใจเต้นผิดจังหวะ มีอาการไอเมื่อมีการเคลื่อนไหวร่างกาย ไอเป็นเลือด เวียนศีรษะ ปวดศีรษะบ่อย ปวดหลัง มีปัญหากระดูก		

การแพ้ยา ☐ ไม่มี ☐ แพ้ โปรดระบุ.....

ตรวจวัดระดับโคเลสเตอรอล ☐ ไม่เคย ☐ เคย ค่าที่ได้.....วันที่ตรวจ.....

คุณเคยใช้ยาหรือไม่ ☐ ไม่เคย ☐ เคย โปรดระบุ

ยาที่ใช้.....สาเหตุที่ใช้.....ระยะเวลาที่ใช้.....

ยาที่ใช้.....สาเหตุที่ใช้.....ระยะเวลาที่ใช้.....

ยาที่ใช้.....สาเหตุที่ใช้.....ระยะเวลาที่ใช้.....

ปัจจุบันคุณสูบบุหรี่ ☐ ไม่สูบ ☐ สูบ ประมาณ.....มวน/วัน

☐ เคยสูบ สูบมานาน.....ปี แต่เลิกมาแล้ว.....ปี

ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ☐ ไม่ดื่ม ☐ ดื่ม ระบุชนิด..... ประมาณ.....แก้ว/สัปดาห์

ดื่มเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน ☐ ไม่ดื่ม ☐ ดื่ม ระบุชนิด..... ประมาณ.....แก้ว/สัปดาห์

ที่มา: ดรุณวรรณ สุขสม. (2561). การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ช

ข้อมูลส่วนบุคคลและประวัติการวิ่งเทรล

รหัส.....

คำชี้แจง: โปรดระบุข้อมูลในช่องว่างหรือใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ ที่ตรงกับตัวท่านมากที่สุด

1. ข้อมูลทั่วไป

   1.1 เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

   1.2 อายุ.....ปี

2. ประวัติการฝึกซ้อมและการแข่งขัน

   2.1 ประสบการณ์วิ่ง จำนวน.....ปี

   2.2 ความถี่การฝึกซ้อมวิ่งถนนต่อสัปดาห์ .....วัน

   ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา.....ชั่วโมง

   2.3 ความถี่การฝึกซ้อมวิ่งเทรลต่อเดือน .....ครั้ง

   ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา.....ชั่วโมง

   2.4 เป้าหมายการพัฒนาระยะทางในการแข่งขันภายในปีนี้.....กิโลเมตร

   2.5 หากต้องให้คะแนนในการวิ่งลงเขาของตนเองอยู่ในระดับใด (1 คือ น้อยที่สุดและ 10 คือ มากที่สุด)

   คะแนน 1☐ 2☐ 3☐ 4☐ 5☐ 6☐ 7☐ 8☐ 9☐ 10☐

   2.7 อุบัติเหตุจากการฝึกซ้อม ☐ ไม่เคย ☐ เคย โปรดระบุ.....

   2.8 จำนวนการเข้าร่วมการแข่งขันวิ่งเทรล

   ☐ 1 รายการ โปรดระบุ.....

   ☐ 2 รายการ โปรดระบุ.....

   ☐ 3 รายการ โปรดระบุ.....

   ☐ มากกว่า 3 รายการ โปรดระบุ.....

   2.9 เวลาที่ดีที่สุดที่ใช้เข้าเส้นชัยในการแข่งขันวิ่งเทรล

   ชื่อรายการ..... คะแนน ITRA.....

   ระยะทาง.....กิโลเมตร ระยะเวลา .....ชั่วโมง

3. สถานที่ในการฝึกซ้อมของคุณ.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ซ

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ (สำหรับผู้วิจัย)

รหัส.....วัน/เดือน/ปี (ค.ศ.) เกิด..... อายุ.....ปี ผู้บันทึก.....

การทดสอบ ☐ Pre-test ☐ Post-test

Check list day: 1

Section 1 ☐ Blood biochemistry rest 5 min.

Section 2 ☐ General physiological data (IOI, GE diamap) rest 5 min.

ข้อมูลทางสรีรวิทยาทั่วไป (ก่อนการทดสอบ – นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที)

รายการ	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)		
ความดันโลหิตขณะพัก (มม.ปรอท)		
องค์ประกอบของร่างกาย		
น้ำหนักตัว (กก.)		
ส่วนสูง (ซม.)		
ดัชนีมวลกาย (กก./ม^2)		
เปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกาย (%BF)		
มวลกล้ามเนื้อ (MM) (กก.)		
ไขมันใต้ผิวหนังบริเวณท้อง (Subcutaneous abdominal fat)		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Section 3 ☐ การวิเคราะห์องค์ประกอบร่างกาย (Dual-energy X-ray absorptiometry; DEXA)

ข้อสังเกต

.....

.....

Section 4 ☐ Balance

Two stands	
Firm Surface R ...../.....	**Form Surface L** ...../.....

Sway index	**Two stands**
Open eye – Firm surface	
Close eye – Firm surface	
Open eye – Form surface	
Close eye – Form surface	
Composition Average	

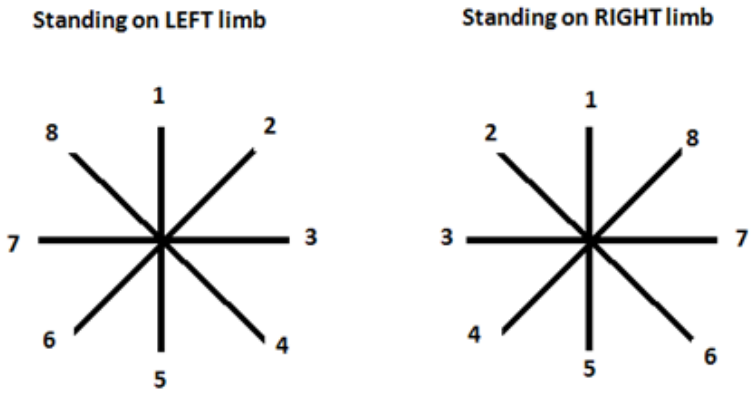
Single leg	
Firm Surface R ...../.....	**Form Surface L** ...../.....

Sway index	**Right – Single leg**	**Left – Single leg**
Open eye – Firm surface		
Close eye – Firm surface		
Open eye – Form surface		
Close eye – Form surface		
Composition Average		

Sway index	**Single leg – athlete**
Composition Average	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Section 5 ☐ Star excursion balance test rest 15 min.



Direction	Right (cm) Length limb.....cm	Left (cm) Length limb.....cm
1. Anterior		
2. Anteromedial		
3. Medial		
4. Posteromedial		
5. Posterior		
6. Posterolateral		
7. Lateral		
8. Anterolateral		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Section 6 ☐ Muscle strength – Isokinetic rest 15 min.

Chair setting	Left	Right
1. ความสูงหัวไดนาโมมิเตอร์		
2. ความยาว Arm		
3. ฐานไดฯ		
4. ความสูงเก้าอี้		
5. องศาเก้าอี้		
6. ฐานเก้าอี้ล่างสุด		
7. ฐานเก้าอี้ใต้เบาะนิ่ม		

Isokinetic ขางข้าง.....	**ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ (3 time: 60°/s)**	**ความอดทนกล้ามเนื้อ (20 time: 180°/s)**
Peak TQ (NM)		
AVG peak TQ (NM)		
Peak TQ/BW (%)		
AVG power (Watt)		
Total work (J)		
3 First work (J)		
3 last work (J)		
Work fatigue (%)		
Agon/Antag ratio (%)		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Section 7 ☐ Muscle endurance – Isokinetic rest 15 min.

Isokinetic ขางข้าง.....	**ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ (3 time: 60°/s)**	**ความอดทนกล้ามเนื้อ (20 time: 180°/s)**
Peak TQ (NM)		
AVG peak TQ (NM)		
Peak TQ/BW (%)		
AVG power (Watt)		
Total work (J)		
3 First work (J)		
3 Last work (J)		
Work fatigue (%)		
Agon/Antag ratio (%)		

Section 8 ☐ Anaerobic fitness

Warm-up 8 kph 3 min. rest 1 min.

Sprint 4 sec. Rest 15 sec. Running 5 sec. Repeat 6 Round

RAST test	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Speed (m/s)						
Distance (m)						
Peak power output (watt)						
AVG Peak power output (watt)						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 ความเร็วในการวิ่ง มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

4.2 พลังสูงสุด (Peak power output) มีหน่วยเป็น วัตต์ ทำการบันทึกทุกรอบที่ทำการวิ่ง

โดยสูตร Peak power output = total body mass × distance^2 / time^3.

4.3 ค่าพลังเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วัตต์

โดยสูตร Summary of all six power values ÷ 6

4.4 ค่าความเมื่อยล้า (Fatigue index) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

โดยสูตร

Fatigue index = (maximum power – minimum power) / total time of six runs

Section 9 ☐ Muscle power – CMJ and Stiffness rest 15 min.

ท่าในการกระโดด	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
	Power	Contact time	flight time	Power	Contact time	flight time	Power	Contact time	flight time
CMJ									
Leg stiffness									

Section 10 ☐ Aerobic fitness rest 15 min.

HRmax: .....

State	Time	Mph	Kph	Grade	HR	RPE	CO	SV	SVR	rSO2	HbI
Baseline	0 - 3	0	0	0%							
WU	3 - 5	2.5	4	1%							
Stage1	5 - 7	3.1	5	10%							
Stage2	7 - 9	3.7	6	10%							
Stage3	9 – 11	4.3	7	10%							
Stage4	11 – 13	4.9	8	10%							
Stage5	13 – 15	5.5	9	10%							
Stage6	15 – 17	6.2	10	10%							
Stage7	17 – 19	7.4	11	10%							
Stage8	19 – 21	8.0	12	10%							
Stage9	21 – 23	8.6	13	10%							
Stage10	23 – 25	9.2	14	10%							

Stop at stage..... > 30 sec. vVO2max..... mph

95% - 100% =.....mph/ .....kph 50% =.....mph/ .....kph

VO_2max (was 30-s three highest values during last stage) ..... ml/min/kg.

Ventilatory threshold = First ventilatory threshold; VT1**/** Aerobic Threshold (VE/ VO_2)

Second ventilatory threshold; VT2**/** Anaerobic Threshold (VE/ VCO_2)

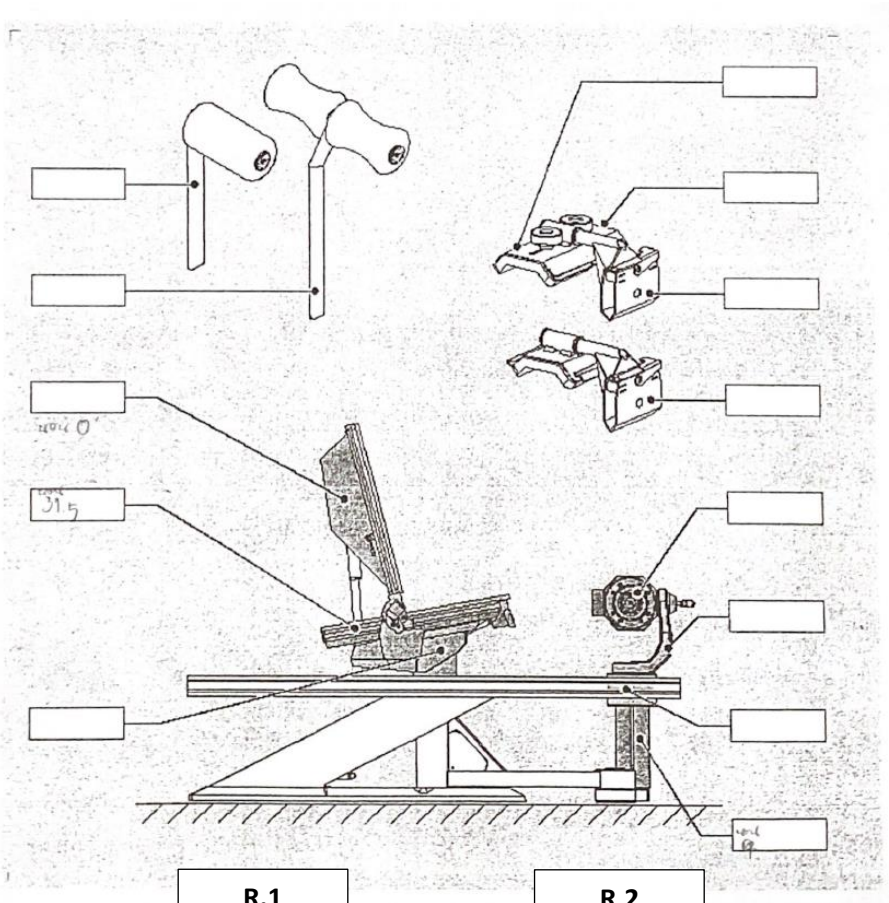
Why are you terminated?

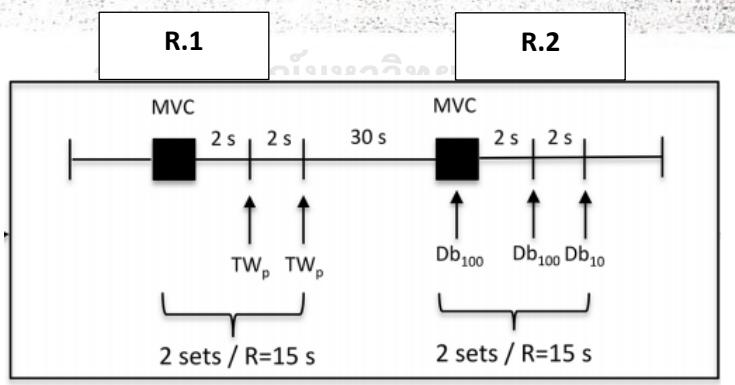
.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Check list day: 2

Section 11 ☐ Neuromuscular function





กล้ามเนื้อ	ตำแหน่ง (cm)
Vastus lateralis 2/3 ASIS Sup + lat. of patella	
Biceps femoris ½ ASIS + patella	
Semitendinosus 1/3 head fibula + Sup. heel	
Gastrocnemius ½ Ischial tubu. + lat.epi tibia	

Time	Isometric ขางข้าง.....	Pre-test	Post-test
	Optimal stimulation intensity (OSI)		
	- **Knee extensor.....x 130%**		
	- **Plantar flexor.....x 130%**		
0 - 4s	MVC (NM) 4s		
6s	Rest 2 s		
8s	Twp		
10s	Rest 2 s		
12s	Twp		
27s	Rest 15 s		
27 – 31s	MVC (NM) 4s		
33s	Rest 2 s		
35s	Twp		
37s	Rest 2 s		
39s	Twp		
69s	Rest 30 s		
69 – 73s	MVC (NM) + Db100		
75s	Rest 2 s		
77s	Db10		
79s	Rest 2 s		
81s	Db10		
96s	Rest 15 s		
96 – 100s	MVC (NM) + Db100		
102s	Rest 2 s		
104s	Db10		
106s	Rest 2 s		
108s	Db10		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. Running

The Kavonen Formula: Target Heart rate = (%intensity training* (MHR – RHR)) + RHR

Time	Running	Grade	HR	HR		RPE		Speed	
0 – 10 min	Warm – up	1%	50% HRR						
10 – 20 min	Uphill	15%	75% HRR						
20 – 30 min									
30 – 40 min									
40 – 50 min	Downhill	8.5%	60% HRmax						
50 – 60 min									
60 – 70 min									

Section 12 ☐ Running Economy rest 30 min.

vVO2max.....mph x 1.60934 = vVO2max.....kph

Variables	**Level running 0 – 5 min.**	**Level running 5 – 10 min.**	**5 min rest (In a seated position)**	**Uphill running 15 – 20 min.**	**Uphill running 20 – 25 min.**
1. Heart rate					
2. RPE					
3. Speed (mph)	50%vVO2max	.....(vVO2max) X 0.6		35%vVO2max at 10%	....(v-Level) x 2/3 = ..., at +10%
3. Speed (kph)	50%vVO2max	.....(vVO2max) X 0.6		35%vVO2max at 10%	....(v-Level) x 2/3 = ..., at +10%

RE (averaged over the final 2 min)

- Level running ..... $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$
- Uphill running ..... $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$

Cr = VO2 steady state – VO2at rest(5ml/min/kg)

Energy expenditure (J.kg.m) จะอยู่ในช่วง 19.62 – 21.13 KJ.L ขึ้นอยู่กับ RER

Check list day: 3

Section 13 ☐ Trail performance time trial

ข้อมูลทางสรีรวิทยาทั่วไป (ก่อนการทดสอบ – นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที)

ตัวแปร	ผลการทดสอบ	หมายเหตุ
อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)		
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)		
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)		

Trail performance time trial	Lap 1; 0 km	Lap 2; 6 km	Lap 3; 12 km	Lap 4; 18 km	Lap 5; 24 km	Lap 6; after 3 min
Time (min)						
Heart rate (bpm)						
Speed (km/hr)						
Blood lactate concentration						
Blood chemical data						

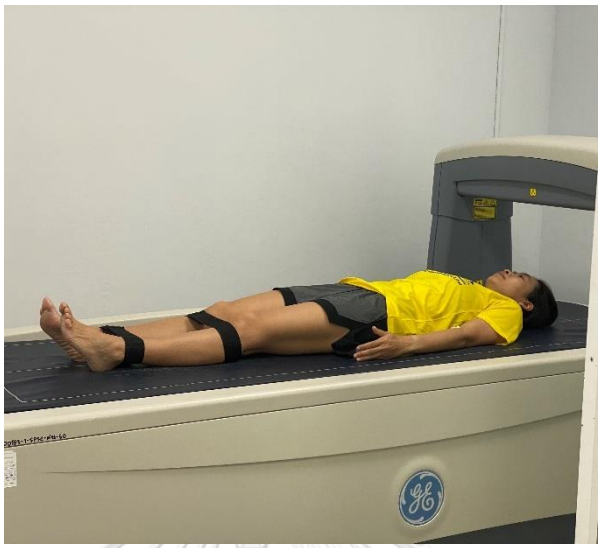
Section 14 ☐ Muscle power – CMJ rest 15 min.

ท่าในการกระโดด	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
	Power	Contact time	flight time	Power	Contact time	flight time	Power	Contact time	flight time
CMJ									

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฌ

การทดสอบตัวแปรองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition)



เครื่องมือ : เครื่องวัดความหนาแน่นของกระดูก (Dual Energy X-ray Absorptiometry: DXA) ยี่ห้อจีอีเฮลท์แคร์ รุ่นโพรดิจี-โปร (GE healthcare, Prodigy-Pro , USA)

วิธีการ

1. กลุ่มตัวอย่างถอดเครื่องประดับ หรือเครื่องใช้ที่เป็นโลหะออกจากร่างกาย
2. สวมใส่เสื้อผ้าที่ไม่หนามากจนเกินไป
3. นอนราบลงให้ลำตัวอยู่บริเวณกลางเบาะของตัวเครื่อง ภายในกรอบสี่เหลี่ยมมุมมองการรับภาพของเครื่องโดยให้ศีรษะอยู่ใต้เส้นขอบบน 3 เซนติเมตร
4. จัดระเบียบท่าทางการวางมือให้ตั้งตรงด้วยสันมือ และปลายเท้าแยกออกจากกันเล็กน้อย
5. ใช้แถบผ้าล็อกการเคลื่อนไหวบริเวณเข่า และข้อเท้าเพื่อป้องกันการขยับขณะทำการทดสอบ
6. เปิดโปรแกรมวิเคราะห์ โดยใช้เวลาการทดสอบประมาณ 10 นาที โดยขณะทดสอบกลุ่มตัวอย่างสามารถหลับตาหรือลืมตาได้โดยอัธยาศัย

ที่มา: Shepherd JA, Ng BK, Sommer MJ, Heymsfield SB. Body composition by DXA. Bone. 2017 Nov; 104:101-105. doi: 10.1016/j.bone.2017.06.010. Epub 2017 Jun 16. PMID: 28625918; PMCID: PMC5659281.

ภาคผนวก ญ

การทดสอบตัวแปรความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength)

เครื่องมือ : เครื่องวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Isokinetic machine) ยี่ห้อไบโอเด็กซ์ รุ่นไบโอเด็กซ์ มัลติ-จอยท์

ซิสเต็ม-โปร (Biodex Multi-Joint System-Pro, Biodex, USA)

วิธีการ

1. กลุ่มตัวอย่างนั่งลงบนเครื่องทดสอบ โดยปรับตำแหน่งเบาะนั่งและพนักพิงให้ปุ่มหัวเข่าด้านนอก (Lateral epicondyle) ตรงกับแกนหมุนของเครื่อง พร้อมจำกัดมุมการเคลื่อนไหวข้อต่ออื่นๆ ด้วยแถบผ้า
2. มือ 2 ข้างแตะหัวใหล่ของฝั่งตรงข้าม
3. เริ่มออกแรงเตะขาด้วยแรงเชิงมุมสูงสุดของกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps peak torque) และกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings peak torque) จำนวน 5 ครั้ง ที่ความเร็วเชิงมุม 60°ต่อวินาที และพักระหว่างการทดสอบ 55 วินาที
4. บันทึกผลที่ดีที่สุด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

ที่ ม า : Sundby, Ø. H., & Gorelick, M. L. S. (2014). Relationship Between Functional Hamstring: Quadriceps Ratios and Running Economy in Highly Trained and Recreational Female Runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(8), 2214-2227.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฎ
การทดสอบตัวแปรความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance)

เครื่องมือ : เครื่องวัดความอดทนของกล้ามเนื้อ (Isokinetic machine) ยี่ห้อไบโอเด็กซ์ รุ่นไบโอเด็กซ์ มัลติ-จอยท์ ซิสเต็ม-โปร (Biodex Multi-Joint System-Pro, Biodex, USA)

วิธีการ

1. กลุ่มตัวอย่างนั่งลงบนเครื่องทดสอบ โดยปรับตำแหน่งเบาะนั่งและพนักพิงให้ปุ่มหัวเข่าด้านนอก (Lateral epicondyle) ตรงกับแกนหมุนของเครื่อง พร้อมจำกัดมุมการเคลื่อนไหวข้อต่ออื่นๆ ด้วยแถบผ้า
2. มือ 2 ข้างแตะหัวใหล่ของฝั่งตรงข้าม
3. เริ่มออกแรงเตะขาด้วยแรงเชิงมุมสูงสุดของกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps peak torque) และกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings peak torque) จำนวน 20 ครั้ง 1 เซต ที่ความเร็วเชิงมุม 180°ต่อวินาที
4. บันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้ มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร
5. นำค่าที่ได้มาคำนวณจากสมการ มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

Fatigue index = 100 – [(least 3 repetitions/first 3 repetitions) x 100]

กำหนดให้	Fatigue index	คือ	ดัชนีความเมื่อยล้า
	Least 5 repetitions	คือ	5 ครั้งสุดท้ายจากการทดสอบ
	First 5 repetitions	คือ	5 ครั้งแรกจากการทดสอบ

ที่ ม า : Sundby, Ø. H., & Gorelick, M. L. S. (2014). Relationship Between Functional Hamstring: Quadriceps Ratios and Running Economy in Highly Trained and Recreational Female Runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(8), 2214-2227.

ภาคผนวก ฏ
การทดสอบตัวแปรพลังของกล้ามเนื้อ (Muscle power)

พลังสูงสุดการกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump: CMJ)

เครื่องมือ : แท่นวัดแรง (Force platform) รุ่น FT 700 Power Cage และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ballistic Measurement System

วิธีการ

1. ยืนบนแท่นวัดแรง มือจับบาร์ทั้ง 2 ข้าง ทำการวอล์มท่ากระโดด 1 ครั้ง แบบไม่เต็มแรง
2. เริ่มการทดสอบพลังสูงสุดการกระโดดแบบย่อเข่า (Counter movement jump: CMJ) โดยเริ่มจากท่ายืนตรง ต่อมางอเข่าที่มุมข้อเข่า 90 องศา (Half squat jump) และทำการกระโดดขึ้นให้สูงที่สุด
3. จำนวน 1 ครั้งต่อรอบ ทั้งหมดจำนวน 2 รอบ พักระหว่างรอบ 3 นาที และนำค่าที่ดีที่สุด 1 ครั้งเป็นข้อมูลในการวิจัย
4. ตัวแปรที่ได้ คือ พลัง และความสูงในการกระโดดแบบย่อเข่า มีหน่วยเป็น วัตต์ และเมตร ตามลำดับ

ที่ ม า : Balducci, P., Clémençon, M., Trama, R., Blache, Y., & Hautier, C. (2017). Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *Int J Sports Med*, *38*(11), 819-826.

Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฐ
การทดสอบตัวแปรพลังของกล้ามเนื้อ (Muscle power)

การกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness)

เครื่องมือ : แท่นวัดแรง (Force platform) รุ่น FT 700 Power Cage และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ballistic Measurement System

วิธีการ

1. ยืนบนแท่นวัดแรง มือจับบาร์ทั้ง 2 ข้าง ทำการวอล์มท่ากระโดด 3 ครั้ง แบบไม่เต็มแรง

2. เริ่มทำการทดสอบการกระโดดแบบเหยียดเข่า (Leg stiffness) โดยเริ่มกระโดดในลักษณะเหยียดเข่าตรงและเท้าแตะพื้นให้ระยะเวลาน้อยที่สุด จำนวน 10 ครั้งต่อเนื่อง ทั้งหมดจำนวน 1 รอบ และนำค่าที่ได้มาคำนวณจากสมการ

$$Kleg = \frac{M\pi\,(Tf + Tc)}{Tc^2\left[\frac{(Tf+Tc)}{\pi} - \frac{Tcd}{4}\right]}$$

กำหนดให้	Kleg	คือ แรง	มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร
	M	คือ น้ำหนักตัว	มีหน่วยเป็น กิโลกรัม
	Tc	คือ เวลาที่กระทำกับพื้น	มีหน่วยเป็น วินาที
	Tf	คือ เวลาที่เท้าลอยจากพื้น	มีหน่วยเป็น วินาที

ที่ ม า : Balducci, P., Clémençon, M., Trama, R., Blache, Y., & Hautier, C. (2017). Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *Int J Sports Med*, *38*(11), 819-826.

ภาคผนวก ฑ

การทดสอบตัวแปรด้านการทรงตัว (Balance)

เครื่องมือ : เครื่องวัดการทรงตัว (Postural sway detected machine) ยี่ห้อ Biodex รุ่น BioSway^{TM} (Biodex, BioSway, USA)

วิธีการ

1. กลุ่มตัวอย่างถอดรองเท้าและถุงเท้าขึ้นยืนบนเครื่องทดสอบ

2. กลุ่มตัวอย่างรับการทดสอบขึ้นยืนบนเครื่อง และหาจุดกึ่งกลางพร้อมบันทึกตำแหน่งของเท้า และข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

3. ผู้เข้ารับการทดสอบทำการทดสอบ Modified Clinical Test of Sensory Interaction in Balance (CTSIB-M) 8 เงื่อนไขได้แก่ 1) ยืนสองขาลืมตาบนพื้นแข็ง 2) ยืนสองขาหลับตาบนพื้นแข็ง 3) ยืนขาเดียวลืมตาบนพื้นแข็ง 4) ยืนขาเดียวหลับตาบนพื้นแข็ง 5) ยืนสองขาลืมตาบนพื้นนุ่ม 6) ยืนสองขาหลับตาบนพื้นนุ่ม 7) ยืนขาเดียวลืมตาบนพื้นนุ่ม และ 8) ยืนขาเดียวหลับตาบนพื้นนุ่ม

4. ทำการทดสอบ จำนวน 2 รอบละ 20 วินาที ระหว่างรอบพักยืนสบายตามอัธยาศัย 1 นาที

5. เมื่อสิ้นสุดการทดสอบนำค่าดัชนีการทรงตัวเป็นข้อมูลในการทดสอบ โดยบันทึกค่าการเคลื่อนไหวของจุดศูนย์กลางแรงกดที่เท้า (Center of pressure; COP) โดยแสดงเป็นค่าดัชนีการเซ (Sway index)

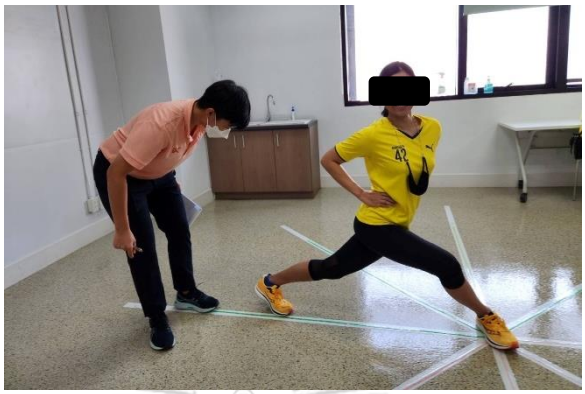
ที่มา: Weismiller, S. A., Monaco, R., Womack, J., Alderman, B., Esopenko, C., Conway, F. N., ... & Buckman, J. F. (2021). Individual Baseline Balance Assessments in a Large Sample of Incoming NCAA Division I Athletes Using a Force Plate System. International Journal of Sports Physical Therapy, 16(1), 126.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฒ

การทดสอบตัวแปรด้านความสามารถในการทรงตัวแบบเคลื่อนที่แบบสตาร์เอ็คเคอชั่น

(Star Excursion Balance test)



เครื่องมือ : เทปกาว โดยใช้เทปกาว จำนวน 4 เส้นติดที่พื้นในลักษณะ + และ x โดย แต่ละเส้นทำมุม 45 องศา

วิธีการ

1. ยืนด้วยขาข้างเดียวที่จุดกึ่งกลางของเส้นที่ลากมาตัดกัน มือทั้ง 2 ข้างเท้าเอว
2. เหยียดขาอีกข้างหนึ่ง ไปแตะใน 8 ทิศทาง ให้ได้ไกลที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยใช้ปลายเท้าไปแตะเบา ๆ
3. เริ่มจากแตะทิศทางด้านหน้า (Anterior) ด้านใน (Medial) และด้านนอก (Lateral) มีหน่วยเป็น เซนติเมตร
4. หากเสียการทรงตัว เท้าสัมผัสพื้น หรือยกมือออกจากที่เท้าเอวให้เริ่มทำใหม่
5. ทดสอบทั้งขาซ้ายและขวา จากนั้นจะนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า SEBT score ตาม สูตรคำนวณดังนี้สูตรคำนวณ

SEBTscore = (Anterolateral distance+anterior distance + anteromedial distance + medial distance + posteromedial distance + posterior distance + posterolateral distance + lateral distance) x 100 / 8 (Leg length)

ที่มา: Weismiller, S. A., Monaco, R., Womack, J., Alderman, B., Esopenko, C., Conway, F. N., ... & Buckman, J. F. (2021). Individual Baseline Balance Assessments in a Large Sample of Incoming NCAA Division I Athletes Using a Force Plate System. International Journal of Sports Physical Therapy, 16(1), 126.

ภาคผนวก ณ

การทดสอบตัวแปรด้านสมรรถภาพทางแอโรบิก (Aerobic fitness)

เครื่องมือ : เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแมกซ์ รุ่นเอ็นคอร์ 29 ซิสเต (VMAX, Encore 29 system, USA)

ลู่วิ่ง (Treadmills) ยี่ห้อ แทรคมาสเตอร์ รุ่นทีเอ็มเอ็กซ์ 425 ซีพี (Trackmaster TMX 425 CP, USA)

วิธีการ

1. กลุ่มตัวอย่างอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินบนลู่กลเป็นเวลา 3 นาที

2. ทำการทดสอบตามที่กำหนดด้วยเครื่องลู่กลความเร็วที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากนั้นเพิ่มความเร็วที่ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทุกๆ 2 นาที จนผู้เข้าร่วมวิจัยขอยุติการทดสอบ

3. การทดสอบจะยุติเมื่อสัดส่วนระหว่างการเกิดขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการออกซิเจนในการหายใจ (Respiratory exchange ratio; RER) มากกว่า 1 หรือกลุ่มตัวอย่างหยุดการทดสอบ

4. เมื่อสิ้นสุดการทดสอบทำการคูลดาวน์ 5 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ด
การทดสอบตัวแปรสมรรถภาพแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness)

เครื่องมือ: เครื่องลู่กล non-motorized treadmill (NMT) (Assaultfitness, Sunny, California) ยี่ห้อแอสเซล ฟิตเนส ประเทศแคลิฟอเนีย

วิธีการ

1. ผู้เข้าร่วมงานวิจัยอบอุ่นร่างกายวิ่งช้าไปจนถึงเร็ว 10 นาที และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 5 นาที ก่อนเริ่มการทดสอบ

2. เมื่อผู้เข้าร่วมงานวิจัยพร้อมเริ่มการทดสอบตัวแปรสมรรถภาพแอนแอโรบิก

3. ผู้วิจัยจะนับถอยหลัง 5 วินาที ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยวิ่งในระดับที่มีความเร็วค่อยๆ เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นให้ทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 4 วินาที จำนวน 6 รอบ และพักระหว่างรอบ 15 วินาที ในท่ายืน จนครบรอบการทดสอบ

4. ทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่

4.1 ความเร็วในการวิ่ง มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

4.2 พลังสูงสุด (Peak power output) มีหน่วยเป็น วัตต์ ทำการบันทึกทุกรอบที่ทำการวิ่ง

โดยสูตร Peak power output = total body mass × distance^2 / time^3.

4.3 ค่าพลังเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วัตต์

โดยสูตร Summary of all six power values ÷ 6

4.4 ค่าความเมื่อยล้า (Fatigue index) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

โดยสูตร

Fatigue index = (maximum power – minimum power) / total time of six runs

ที่มา: Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015). Markers for Routine Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Team Sport Athletes during High-Intensity Interval Training. PloS one, 10(10), e0139801. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139801

ภาคผนวก ต

การทดสอบตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานขณะวิ่ง (Running economy)

เครื่องมือ : เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแมกซ์ รุ่นเอ็นคอร์ 29 ซิสเต (VMAX, Encore 29 system, USA)

ลู่วิ่ง(Treadmills) ยี่ห้อ แทรคมาสเตอร์ รุ่นทีเอ็มเอ็กซ์ 425 ซีพี (Trackmaster TMX 425 CP, USA)

วิธีการ

1. ให้กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกายที่ความเร็ว 50% ของความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ความชัน 0% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้น เริ่มทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ความเร็ว ความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดคูณกับ 0.6 ความชัน 0% เป็นระยะเวลา 5 นาที นำค่า VO2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล

2. พักระหว่างการทดสอบ 5 นาที ในท่านั่ง

3. ให้กลุ่มตัวอย่างทำการวิ่งขึ้นเขา (Uphill running) โดยการอบอุ่นร่างกายที่ความเร็ว 35% ของความสามารถแอโรบิกในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ความชัน 10% ตลอดช่วง เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้น เริ่มทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานขณะวิ่งที่ความเร็ว 2/3 จากค่าที่ได้ความเร็วสูงสุด คูณกับ 0.6 ของการวิ่งพื้นระดับ ความชัน 10% เป็นระยะเวลา 5 นาที นำค่า VO2 ใน 2 นาทีสุดท้ายมาเฉลี่ยเพื่อบันทึกข้อมูล

ที่มา: Ehrström, S., Tartaruga, M. P., Easthope, C. S., Brisswalter, J., Morin, J. B., & Vercruyssen, F. (2018). Short trail running race: beyond the classic model for endurance running performance. Medicine and science in sports and exercise, 50(3), 580-588.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ถ

การทดสอบตัวแปรด้านการล้าของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular fatigue)

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดแรงไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) ยี่ห้อไบโอเดก ประเทศสหรัฐอเมริกา (Biodex, USA)
2. เครื่อง Surface Electromyography (sEMG) ชนิดไร้สาย (Wireless) ยี่ห้อ Cometa ประเทศอิตาลี (Cometa, Italy)
3. ลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อเทรคเฮช พี คอสมอส ประเทศสหรัฐอเมริกา (h/p/cosmos, Germany)
4. เครื่องกระตุ้นกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (Electrical stimulation) ยี่ห้อ Chattanooga ประเทศฝรั่งเศส

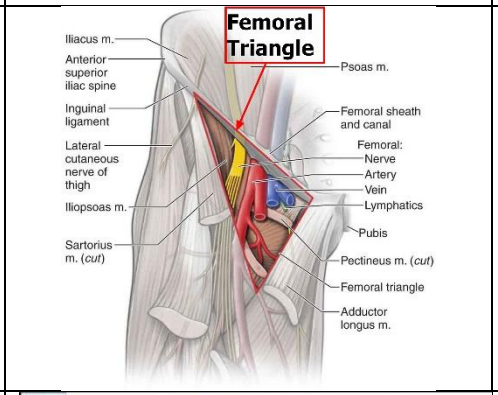
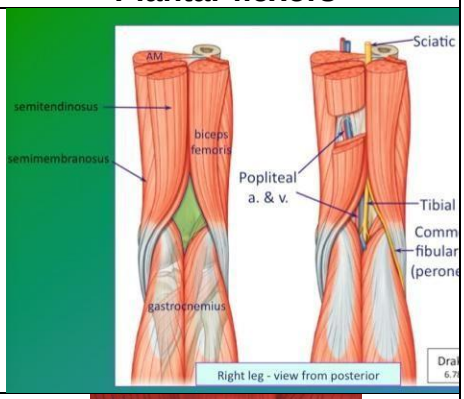
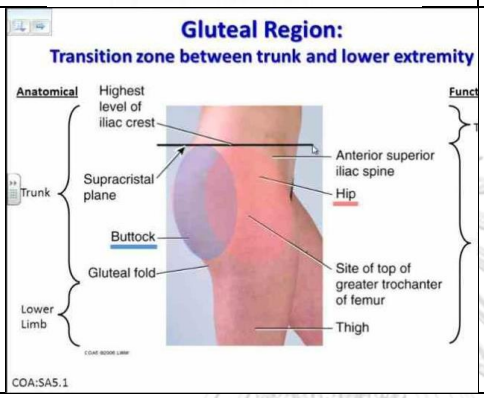
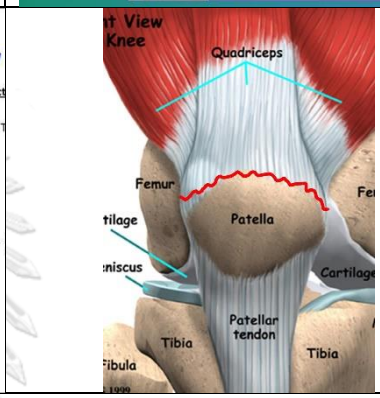
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีการ

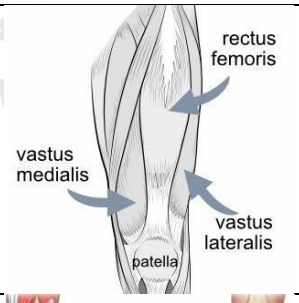
NEUROMUSCULAR FUNCTION TEST

Preparing measurement

1. Isometric unilateral at knee 90, ankle 0
2. Transcutaneous electrical stimulations, use a self-adhesive electrode cathode (10 mm in diameter) pressed manually by a researcher into either the femoral triangle (for knee extensors) or the popliteal fossa (for plantar flexors). The self-adhesive rectangular anode (50 mm x 90 mm, Dura-Stick Premium, Compex) was located either in the gluteal fold (for KE), or on the patella (for PF).

Electrode	Knee extensors	Plantar flexors
Electrode cathode (10 mm in diameter)		
Rectangular anode (50 mm x 90 mm, Dura-Stick Premium, Compex)		

3. Surface EMG signals were continuously recorded from the vastus lateralis and the gastrocnemius medialis muscles with a pair of self-adhesive surface (10 mm diameter) electrodes in bipolar configuration with a 20-mm interelectrode distance.

Muscle	Surface (10 mm diameter) electrodes
Vastus lateralis	
Gastrocnemius medialis	

4. the optimal stimulation intensity was identified by delivering successive single electrical stimuli at increasing intensities on relaxed muscles on the femoral (for KE) and tibial (for PF) nerves.
5. The stimulation intensity used during all tests was 130% of optimal intensity to ascertain full spatial recruitment. The optimal stimulation intensities ranged from 110 to 160 mA for KE and from 110 to 130 mA for PF through the Pre- and Post-test ต้องกระตุ้นใหม่
6. Start protocol

MVC 4 s	Rest 2s	Twp 2s	Rest 2s	Twp 2s	Rest 15 s	MVC 4s	Rest 2s	Twp 2s	Rest 2s	Twp 2s
0	4	8	10	12	14	29	33	35	37	39	41

Rest 30 s
42 72

MVC + Db100 4 s	Rest 2s	Db100 2s	Rest 2s	Db10 2s	Rest 15 s	MVC + Db100 4s	Rest 2s	Db100 2s	Rest 2s	Db10 2s
73	77	79	81	83	85	90	94	96	98	100	102

7. Warm-up on treadmill 10 min 1% incline 50%HRR

8. Uphill running on treadmill 30 min 15%incline 75%HRR

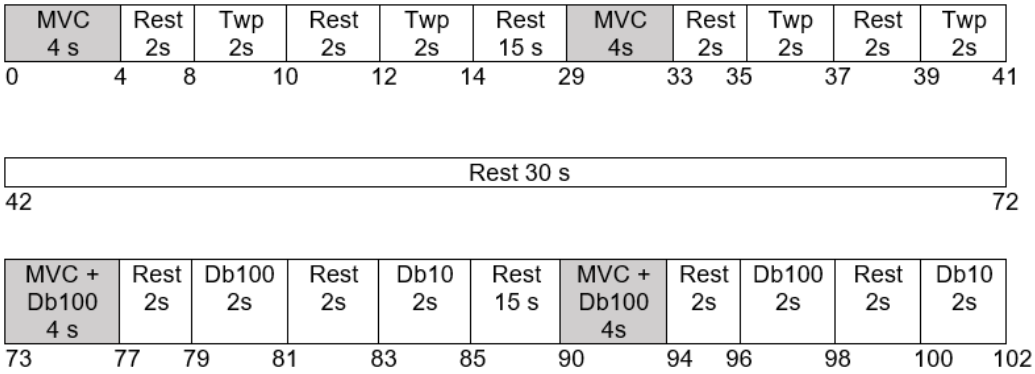
9. Downhill running on treadmill 30 min 15%deline 60%HRmax

10. Return to 6. Again

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Neuromuscular function protocol

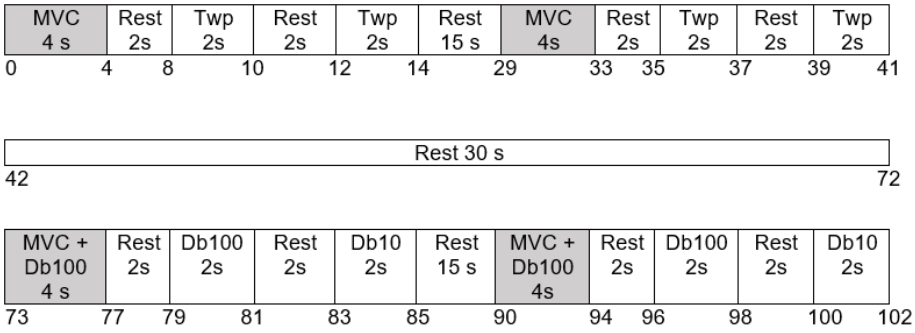
1. Pre-test



2. Exercise

Running on treadmill	Intensity
1. Warm-up 2. Uphill running 3. Downhill running	10 min 1% incline 50%HRR 30 min 15%incline 75%HRR 30 min 15%deline 60%HRmax

3. Post-test



ที่มา: Ehrström S, Gruet M, Giandolini M, Chapuis S, Morin JB, Vercruyssen F. Acute and Delayed Neuromuscular Alterations Induced by Downhill Running in Trained Trail Runners: Beneficial Effects of High-Pressure Compression Garments. Front Physiol. 2018 Nov 28;9:1627. doi: 10.3389/fphys.2018.01627. PMID: 30555337; PMCID: PMC6282050.

ภาคผนวก ท
ความสามารถในการวิ่งเทรล

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติแบบต้นแขน (Automatic blood pressure monitor)
2. เครื่องวัดปริมาณในเลคแตทในเลือด (Lactate analyzer)
3. แท่นวัดแรง (Force platform) รุ่น FT 700 Power Cage และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ballistic Measurement System

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีการ

1. นัดหมายกลุ่มตัวอย่างเป็นเวลาไม่เกิน 8.00 น. ในการทดสอบความสามารถในการวิ่งเทรล ณ เขาฉลาก วัดพรมมาวาส อ. เมือง จ. ชลบุรี
2. เมื่อถึงที่หมายให้ทำการนั่งพักอย่างน้อยเป็นเวลา 5 นาที
3. เริ่มทำการทดสอบวัดความอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต RPE และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ขณะพัก
4. ทำการปล่อยตัวจากศาลาหน้าโบสถ์ กำหนดระยะทางเทรล 18 กิโลเมตร ความชัน 1,080 เมตร โดยกิโลเมตรที่ 9 จะทำการตวรจความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration)
5. เมื่อถึงจุดสิ้นสุด ทำการหยุดนาฬิกาจับเวลาทันที

6. ทำการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต RPE และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ทันที และภายหลัง 5 นาที

7. ทำการทดสอบความสามารถสูงสุดในการกระโดดย่อเขา (CMJ) จำนวน 3 ครั้ง พักระหว่างครั้ง 3 นาที

8. ในวันถัดมา การทดสอบสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ของการทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ได้แก่ IL-6, CPK, MDA และ SOD

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่างเอกสารการเตรียมตัวสำหรับกลุ่มตัวอย่าง

Trail performance test

กำหนดการการทดสอบครั้งที่ 9 ณ เขาฉลาก จ.ชลบุรี

ระยะทางทั้งหมด 18 กิโลเมตร ความชัน 1,080 เมตร

เวลา	กิจกรรม
04.00 น.	ออกเดินทางจากสนามบาส คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาฯ **เนื่องจากหนีร้อน**
06.00 – 06.30 น.	รถตู้ถึง ณ วัดพรหมาวาส พร้อมเตรียมตัวทำการทดสอบ
06.30 – 12.00 น.	ทำการปล่อยตัว จุดปล่อยตัว ณ ศาลาวัดพรหมมาวาส บริเวณห้องน้ำ 2
	1. ทำการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต RPE และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ขณะพัก
	2. ทำการปล่อยตัว
	3. ทำการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต RPE และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ณ กิโลเมตรที่ 9.5
	จุดสิ้นสุด ณ ศาลาวัดพรหมมาวาส หลังห้องน้ำ **กดหยุดเวลา**
	4. ทำการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต RPE และความเข้มข้นของปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood lactate concentration) ทันที และภายหลัง 5 นาที
	5. ทำการทดสอบความสามารถสูงสุดในการกระโดดย่อเขา (CMJ)
12.00 – 14.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน อาบน้ำ เตรียมตัวเดินทางกลับ
14.00 – 16.00 น.	เดินทางกลับโดยรถโดยสาร เขาฉลาก ชลบุรี – กทม. (โดยทางโครงการจัดเตรียมไว้ให้)
วันถัดไป	
07.30 – 11.59 น.	การทดสอบสารชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ของการทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ได้แก่ IL-6, CPK, MDA และ SOD ใช้เวลา 30 นาที

***สามารถนำรถมาจอดได้ที่สนามบาส คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาฯ แจ้งรปภ. “มาเข้าร่วมงานวิจัย” ค่ะ**

***สามารถทานอาหารได้ตามปกติเหมือนจะแข่งนะคะ เมื่อเริ่มเจาะเลือดจะเริ่มนับแคลลอรี่ค่ะ**

สัญลักษณ์บนเส้นทาง (Way making)

- ริบบิ้นสีชมพูอ่อน ในเส้นทางเทรล E

ทางเรามีจัดเตรียม เจล น้ำ และอาหารกลางวัน

โดยจัดมาแล้ว รอบที่ 1 วันที่ 18 กันยายน 2565, รอบที่ 2 วันที่ 25 กันยายน 2565, รอบที่ 3 วันที่ 13 พฤศจิกายน 2565,รอบที่ 4 วันที่ 29 มกราคม 2566, รอบที่ 5 วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2566, รอบที่ 6 วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2566, รอบที่ 7 วันที่ 26 มีนาคม 2566, รอบที่ 8 วันที่ 23 เมษายน 2566, รอบที่ 9 วันที่ 28 พฤษภาคม 2566

ความปลอดภัยและการแพทย์ (Medical)

เบอร์ติดต่อฉุกเฉิน (ผู้วิจัยหลัก): 064-695-4446

เบอร์ติดต่อฉุกเฉิน (ทางการแพทย์): 1669

โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา: 038-320-200

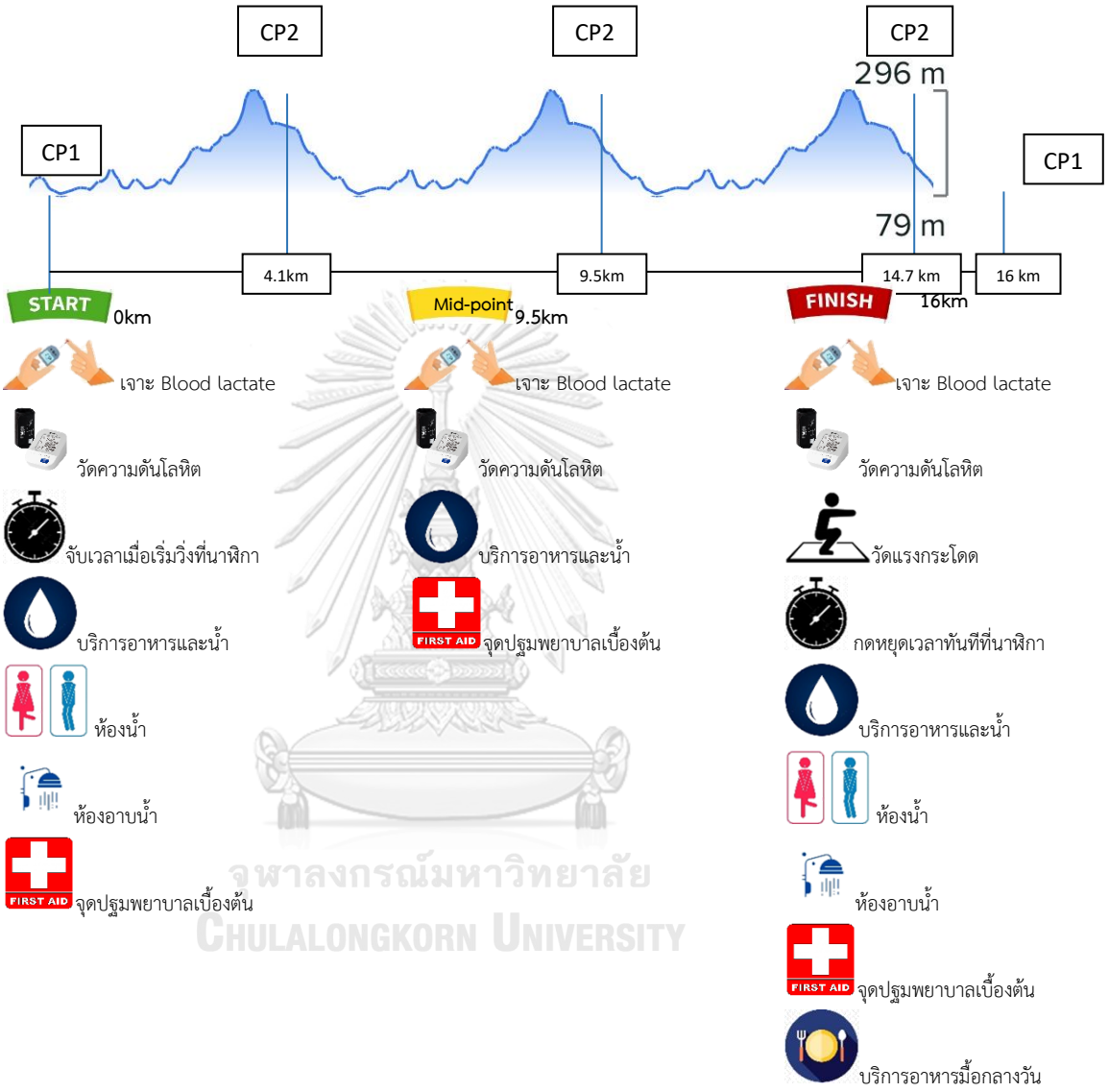
โรงพยาบาลพญาไท ศรีราชา: 084-3000-900

โรงพยาบาลสมิติเวช ศรีราชา: 033-030-100

Trail performance test

แผนที่ และความชันสะสม

ระยะทางทั้งหมด 18 กิโลเมตร ความชัน 1,080 เมตร



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุด CP ได้แก่

CP1 คือ ศาลาเมรุ ห้องน้ำ 2 ฝั่งวัดพรหมมาวาส

CP2 คือ ยอดเขา หรือ ศาลเจ้าพ่อหมื่นผา

ดาวน์โหลดแผนที่ GPX จากการสแกน QR code

หมายเหตุ โปรดเตรียมตัวให้เหมือนการแข่งขันจริง

อุปกรณ์บังคับ (Mandatory gears)

	อุปกรณ์บรรจุน้ำ 500 มล.ขึ้นไป
	แก้วน้ำพกพา
	นกหวีด
	อุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้น
	โทรศัพท์พร้อมใช้งานและแผนที่ออนไลน์
	รองเท้าเทรล และรองเท้าผ้าใบ (สำหรับทดสอบกระโดด)

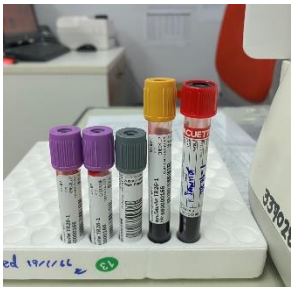
อุปกรณ์แนะนำ (Recommended gears)

	Trekking pole
	เสื้อกันฝน
	ไฟคาดศรีษะพร้อมใช้งาน (Headlamp)
	Power bank
	ยากันยุง/ทาก
	เครื่องอาบน้ำ
	ผ้าเช็ดตัว
	รองเท้าแตะ

ที่ ม า : Ehrström, S., Tartaruga, M. P., Easthope, C. S., Brisswalter, J., Morin, J. B., & Vercruyssen, F. (2018). Short trail running race: beyond the classic model for endurance running performance. Medicine and science in sports and exercise, 50(3), 580-588.

ภาคผนวก ธ

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด



เครื่องมือ:

1. หลอดเก็บเลือด (Tube)
2. กล่องเก็บหลอดไมโครเซนติฟิวก์ (Microcentrifuge rack)
3. กระบอกฉีดยา (Syringe) และเข็มเจาะเลือด (Needle)
4. ตู้แช่แข็ง – 80 องศาเซลเซียส (Freezer)
5. เครื่องปั่นแยกสาร (Centrifuge)
6. ไปป์เป็ป (Auto PIPE)

วิธีการ:

1. ทำการเก็บตัวอย่างเลือดของผู้เข้าร่วมการวิจัยในเวลา 07.00–08.00 น. กลุ่มตัวอย่างจะนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องนอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง งดรับประทานอาหารอย่างน้อย 8 - 12 ชั่วโมง แต่สามารถดื่มน้ำได้เล็กน้อย ทำการเจาะเลือดโดยพยาบาลวิชาชีพหรือนักเทคนิคการแพทย์ และส่งตรวจ ณ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยแบ่งเป็นการเจาะเลือดก่อนการทดสอบตัวแปร และหลังการทดสอบตัวแปร ทั้งก่อน - หลังการทดสอบ โดยแบ่งการเก็บตัวแปรออกเป็นการเก็บค่าพื้นฐาน และการเก็บค่าหลังจากมีการทดสอบความสามารถในการวิ่งเทรล ดังนี้

1.1 ก่อนเริ่มการทดสอบตัวแปร การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จำนวน 7 ตัวแปรสารชีวเคมีในเลือด ประมาณ 15 มิลลิลิตร (ประมาณ 2 ช้อนชา) ดังนี้

1) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ SOD อยู่ในรูป EDTA blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื่อผสมสารป้องกันเลือดการแข็ง EDTA (จุกหลอดเลือดสีม่วง) เพื่อปั่นแยกพลาสมา (Plasma) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด ทำปั่นล้าง (Red cell lysate) ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge rack)

ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส และทำการส่งตรวจห้องปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิธีการส่งโดยใช้กล่องโฟมบรรจุน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) โดยมีอุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส

2) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ IL-6, CPK, MDA อยู่ในรูป Clotted blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อ โดยไม่ต้องผสมสารใดๆ (จุกหลอดเลือดแดง) เพื่อปั่นแยกซีรั่ม (Serum) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 4 หลอด ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge rack) ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที

3) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ CBC, Lipid profiles และ Fasting blood glucose อยู่ในรูป Clotted blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อ โดยไม่ต้องผสมสารใดๆ (จุกหลอดเลือดแดง) ทำการตรวจ ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที

1.2 หลังการทดสอบตัวแปรความสามารถในการวิ่งเทรลสิ้นสุดลงไปแล้ว 24 ชั่วโมง การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จำนวน 4 ตัวแปรสารชีวเคมีในเลือด ประมาณ 8 มิลลิลิตร (ประมาณ 1 ช้อนชา) ดังนี้

1) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ SOD อยู่ในรูป EDTA blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื่อผสมสารป้องกันเลือดการแข็ง EDTA (จุกหลอดเลือดสีม่วง) เพื่อปั่นแยกพลาสมา (Plasma) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด ทำปั่นล้าง (Red cell lysate) ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge rack) ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส และทำการส่งตรวจห้องปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิธีการส่งโดยใช้กล่องโฟมบรรจุน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) โดยมีอุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส

2) การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ IL-6, CPK และ MDA อยู่ในรูป Clotted blood โดยใช้หลอดพลาสติกปราศจากเชื้อ โดยไม่ต้องผสมสารใดๆ (จุกหลอดเลือดแดง) เพื่อปั่นแยกซีรั่ม (Serum) ใส่ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge) ปริมาตร 0.5 ถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 4 หลอด ณ ห้องปฏิบัติการคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บรรจุลงกล่องเก็บหลอดไมโครเซ็นติฟิวก์ (Microcentrifuge rack) ชนิดมีฝาปิด และเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทันที

2. วิเคราะห์ตัวแปรสารชีวเคมีในเลือด ดังนี้

1. ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (Compete blood count; CBC) ได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริต โดยวิเคราะห์เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell; RBC) มีหน่วยเป็น 10^6 ต่อไมโครลิตร ฮีมาโตคริต (Hematocrit; Hct) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ ทดสอบด้วยวิธีการ

อิเล็คทริคอลรีซิชแทนซ์แอนด์ไฮโดรไดนามิคโฟกัสซิง (Electrical resistance and hydrodynamic focusing method) และฮีโมโกลบิน (Hemoglobin; Hb) ด้วยวิธีเอสแอลเอส-ฮีโมโกลบิน (SLS-hemoglobin method) มีหน่วยเป็น กรัมต่อเดซิลิตร

2. ปริมาณไขมันในเลือด (Lipid profiles) ได้แก่ คอลเลสเตอรอล (Cholesterol) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ไฮเดนซิลี้ไลโปโปรตีน (High density lipoprotein; HDL) และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein; LDL) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

3. ระดับน้ำตาลในเลือด (Fasting blood glucose) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

4. อินเตอร์ลูคิน ซิคซ์ (Interleukin-6; IL-6) เป็นตัวที่กระตุ้นการทำงานของโปรตีนแบบฉับพลัน มีผลต่อเซลล์กล้ามเนื้อกระดูก และหลอดเลือด และในเวลาเดียวกัน เป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นว่ามีการอักเสบแบบเฉียบพลัน มีหน่วยเป็น พิโนกรัมต่อมิลลิลิตร

5. ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase; CPK) เป็นเอมไซม์ที่พบในกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การทำลายกล้ามเนื้อ (Muscle damage) มีหน่วยเป็นยูนิตต่อลิตร

6. มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) เป็นสารอนุมูลอิสระหรือ Oxidative stress ที่บ่งชี้ถึงการทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์ มีหน่วยเป็นไมโคลโมล

7. ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (Superoxide Dismutase; SOD) เป็นเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย และจะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ เมื่ออายุมากขึ้น มีหน่วยเป็น ยูนิตต่อมิลลิกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก น

การฝึกแบบวงจร (Circuit training)

อุปกรณ์:

1. ยางรัดแรงต้าน
2. ยิมบอล
3. สเต็ปเปอร์
4. ดัมเบล
5. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor)
6. นาฬิกาจับเวลา

การฝึกแบบวงจร (Circuit training; Circuit) เป็นกลุ่มที่มีการฝึกแบบวงจร (Circuit training; CT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ เสริมจากการฝึกวิ่งปกติ (Usual trial running training; UTR) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และเสาร์ ทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม รายละเอียดของการฝึกมี ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Day	1	2	3	4	5	6	7
Training	Circuit	Easy run	Circuit	Tempo run	Circuit	Long run	Rest

1. การฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT) สัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้

1.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT1) (ภาคผนวก ฝ) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัว และอุปกรณ์ฟรีเวทที่ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึก จำนวน 2 ชุด พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 35 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรลเดิมที่มีอยู่แล้ว ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2. การฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT) สัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้

2.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT2) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัว และอุปกรณ์ฟรีเวท ที่ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึก จำนวน 2 ชุด พักระหว่างท่า 30 วินาที พักระหว่างชุด 5 นาที เป็นระยะเวลา 45 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 90 นาที

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์

โดยมีขั้นตอนในการฝึก ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 4 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที ใช้เวลา 15 นาที

3) ฝึกการฝึกแบบวงจร (Circuit training) จำนวน 2 ชุด และพักระหว่างชุด 5 นาที ใช้เวลา 35 – 45 นาที

4) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Static Stretching) ใช้เวลา 10 นาที

ที่ ม า : Benis, R., Bonato, M., & La Torre, A. (2016). Elite Female Basketball Players' Body-Weight Neuromuscular Training and Performance on the Y-Balance Test. Journal of athletic training, 51(9), 688–695. https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.12.03

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. European journal of sport science, 17(7), 805–813. https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1305454

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก บ

การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training)

อุปกรณ์: 1. เครื่องลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อ H/p/cosmos ประเทศเยอรมันนี (H/p/cosmos, Germany)

2. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor)

การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) เป็นกลุ่มที่มีการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ เสริมจากการฝึกวิ่งปกติ (Usual trail running training; UTR) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และวันเสาร์ ทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม มีดังตาราง

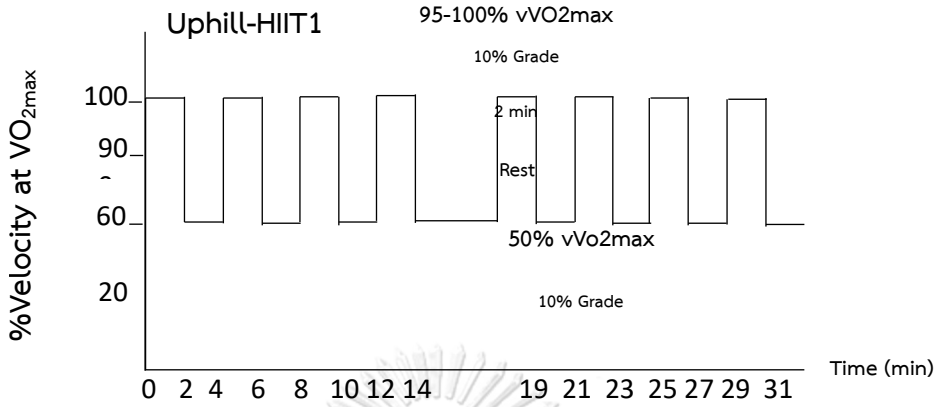
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Day	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Training	**Uphill-HIIT**	Easy run	**Uphill-HIIT**	Tempo run	**Uphill-HIIT**	Long run	Rest

1. การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้

1.1 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT1) (รูปที่ 1) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่ง ที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50%

vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด (ระยะเวลา 35 นาที) ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์



รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT1) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6

1.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

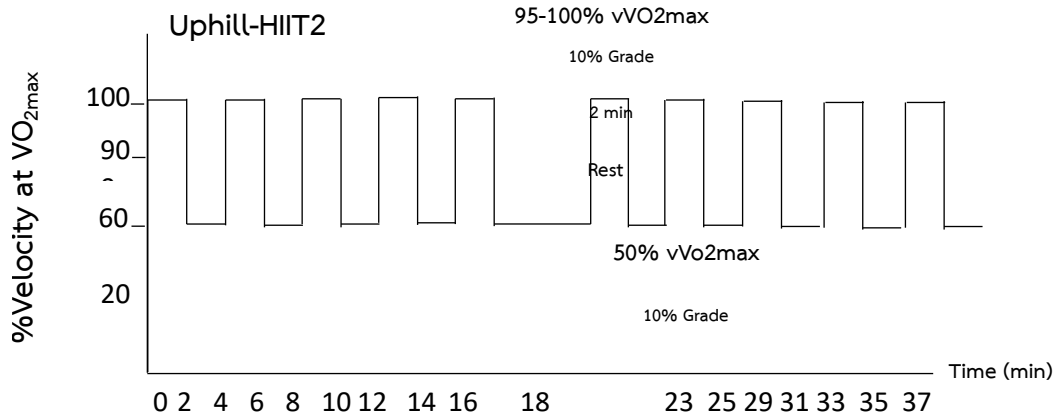
2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2. การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้

2.1 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT2) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่งที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_{2max} ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_{2max} เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด (ระยะเวลา 45 นาที) ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT2) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12

ตารางแสดงความเร็วในการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training : HT) ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max

No.	HT		
	vVO_2max	95%vVO2max	50%%vVO2max
1.	6	5.7	3
2.	10	9.5	5
3.	9	8.6	4.5
4.	10	9.5	5
5.	8	7.6	4
6.	8	7.6	4
7.	10	9.5	5
8.	9	8.6	4.5
9.	7	6.7	3.5
10.	9	8.6	4.5
11.	11	10.5	5.5
12.	7	6.7	3.5
13.	8	7.6	4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะที่ความหนัก 75 – 85% HRmax เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HRmax เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO2max เป็นระยะเวลา 90 นาที

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์

โดยมีขั้นตอนในการฝึก ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 4 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที ใช้เวลา 15 นาที

3) ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) ใช้เวลา 35 – 45 นาที

4) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Stretching static) ใช้เวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา: Ferley, D. D., Osborn, R. W., & Vukovich, M. D. (2014). The effects of incline and level-grade high-intensity interval treadmill training on running economy and muscle power in well-trained distance runners. Journal of strength and conditioning research, 28(5), 1298–1309.

ภาคผนวก ป

การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT+Circuit)

+

อุปกรณ์: 1. เครื่องลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อ H/p/cosmos ประเทศเยอรมันนี (H/p/cosmos, Germany)

2. ยางรัดแรงต้าน
3. ยิมบอล
4. สเต็ปเปอร์
5. ดัมเบล
6. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและนาฬิกา (Heart rate monitor)
7. นาฬิกาจับเวลา

การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: Circuit + Uphill-HIIT) เป็นกลุ่มที่มีการฝึกแบบวงจร (Circuit training) ร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training; Uphill-HIIT) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ เสริมจากการฝึกวิ่งปกติ (Usual trail running training) จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันอังคาร วันพฤหัสบดี และวันเสาร์ ทำการฝึกในเวลา 16.00 – 18.00 น. และพักระหว่างสัปดาห์ ได้แก่ วันอาทิตย์ โดยได้รับคำแนะนำเรื่องการควบคุมการฝึกในระหว่างเข้าร่วมวิจัยในการฝึกซ้อม ดังนี้

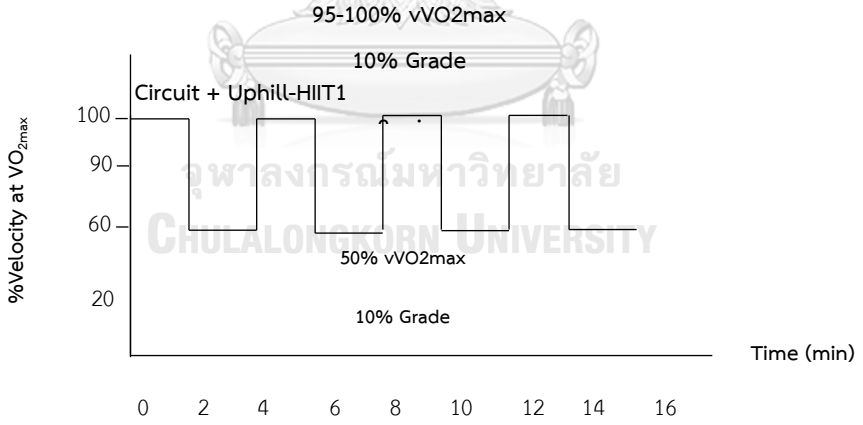
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Day	1	2	3	4	5	6	7
Training	**Circuit+ uphill-HIIT**	Easy run	**Circuit+ uphill-HIIT**	Tempo run	**Circuit+ uphill-HIIT**	Long run	Rest

1. การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: CT1 + Uphill-HIIT) สัปดาห์ที่ 1 – 6 ทำการฝึก ดังนี้

1.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT1) (ภาคผนวก ฝ) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัว และอุปกรณ์ฟรีเวทที่ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึก จำนวน 1 ชุด พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

1.2 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT1) (รูปที่ 1) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่ง ที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 4 ครั้ง จำนวน 2 ชุด เป็นระยะเวลา 32 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์



รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT1) ในสัปดาห์ที่ 1 – 6

ตารางแสดงความเร็วในการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: CH) ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max

No.	CH		
	vVO_2max	95%vVO2max	50%%vVO2max
1.	10	9.5	5
2.	12	11.3	6
3.	6	5.7	3
4.	8	7.5	4
5.	9	8.4	4.5
6.	6	5.7	3
7.	9	8.4	4.5
8.	7	6.6	3.5
9.	9	8.4	4.5
10.	9	8.4	4.5
11.	10	9.5	5
12.	12	11.3	6
13.	9	8.4	4.5
14.	8	7.5	4

1.3 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR1) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 45 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์

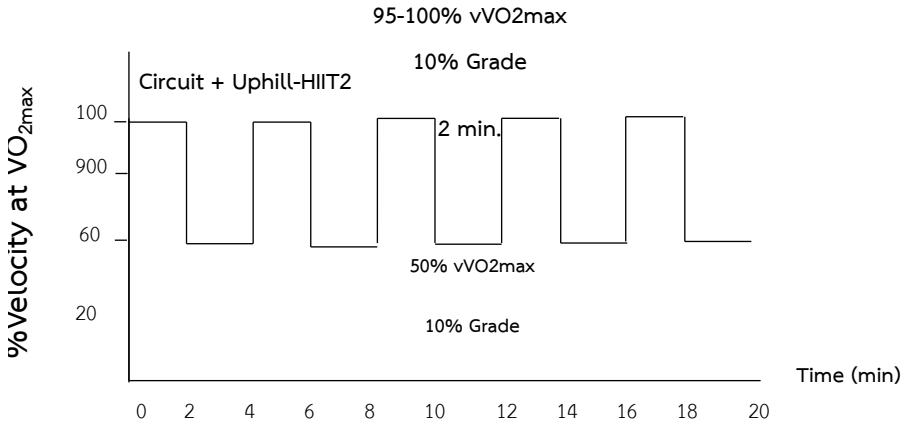
2. การฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Circuit combined with Uphill-high intensity interval training: CT + Uphill-HIIT) สัปดาห์ที่ 7 – 12 ทำการฝึก ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1 โปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training: CT2) โดยทำการฝึกท่าออกกำลังกาย จำนวน 14 ท่า ประกอบด้วย ความแข็งแรง พลังระเบิด และพลัยโอเมตริก ด้วยน้ำหนักตัวและอุปกรณ์ฟรีเวท ที่ความหนักของการฝึก 60% 1RM ปริมาณการฝึก จำนวน 2 ชุด พักระหว่างท่า 30 วินาที เป็นระยะเวลา 40 นาที พักระหว่างการออกกำลังกาย 5 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

2.2 การฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT2) โดยทำการฝึกบนลู่วิ่งที่ความหนักของการฝึก 95 – 100% vVO_2max ร่วมกับความชัน 10% เป็นเวลา 2 นาที สลับกับช่วงออกกำลังกายเบา 50% vVO_2max เป็นเวลา 2 นาที ปริมาณการฝึก 5 ครั้ง จำนวน 2 ชุด เป็นระยะเวลา 40 นาที ความถี่ของการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ได้แก่ วันจันทร์ พุธ และศุกร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปแบบการฝึกแบบการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training: Uphill-HIIT2) ในสัปดาห์ที่ 7 – 12

2.3 โปรแกรมการฝึกวิ่งปกติ (UTR2) เป็นการกำหนดตารางการฝึกปกติของนักวิ่งเทรล โดยทำการฝึก ได้แก่

1) วันอังคาร ทำการวิ่งอย่างง่าย (Easy run) ที่ความหนัก 55 – 80% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 75% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

2) วันพฤหัสบดี ทำการวิ่งเทมโป้ (Tempo run) หรือการวิ่งแบบควบคุมจังหวะ ที่ความหนัก 75 – 85% HR_{max} เปรียบได้กับ 80 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 60 นาที

3) วันเสาร์ ทำการวิ่งระยะยาว (Long run) ที่ความหนัก 55 - 90% HR_{max} เปรียบได้กับ 50 – 90% vVO_{2max} เป็นระยะเวลา 90 นาที

หมายเหตุ : โดยกำหนดให้ไม่มีการฝึกเสริมอื่น ๆ และทำการบันทึกกิจกรรมของการฝึกแต่ละสัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยมีขั้นตอนการฝึกแบบวงจรร่วมกับการวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (CT + Uphill-HIIT) ดังนี้

1) ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นหัวใจ

2) ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินยกเข่าสูงเป็นเวลา 5 นาที และทำการยืดเหยียดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic stretching) 10 นาที รวมทั้งรวม 15 นาที

3) ทำการฝึกการออกกำลังกายแบบวงจร (Circuit training) ใช้เวลา 15 - 20 นาที และพักระหว่างท่า 30 วินาที

4) พักระหว่างการออกกำลังกาย 5 นาที

5) ทำการฝึกวิ่งขึ้นเขาสลับช่วงที่ความหนักสูง (Uphill-high intensity interval training) ใช้เวลา 16 - 20 นาที

6) ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแบบค้างนิ่ง (Stretching static) รวมทั้งหมด 10 นาที

ที่มา:

Ferley, D. D., Osborn, R. W., & Vukovich, M. D. (2014). The effects of incline and level-grade high-intensity interval treadmill training on running economy and muscle power in well-trained distance runners. Journal of strength and conditioning research, 28(5), 1298–1309. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000274

Benis, R., Bonato, M., & La Torre, A. (2016). Elite Female Basketball Players' Body-Weight Neuromuscular Training and Performance on the Y-Balance Test. Journal of athletic training, 51(9), 688–695. https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.12.03

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. European journal of sport science, 17(7), 805–813. https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1305454

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ผ

แบบบันทึกการฝึกออกกำลังกายประจำสัปดาห์

ครั้งที่/ วันที่	รายการการออกกำลังกาย	หมายเหตุ
1/		
2/		
3/		
4/		
5/		
6/		
7/		
8/		
9/		
10/		
11/		
12/		
13/		
14/		
15/		
16/		
17/		
18/		
19/		
20/		
21/		
22/		
23/		
24/		
25/		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

26/		
27/		
28/		
29/		
30/		
31/		
32/		
33/		
34/		
35/		
36/		
37/		
38/		
39/		
40/		
41/		
42/		
43/		
44/		
45/		
46/		
47/		
48/		
49/		
50/		
51/		
52/		
53/		
54/		
55/		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

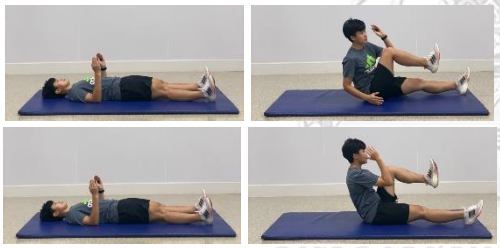
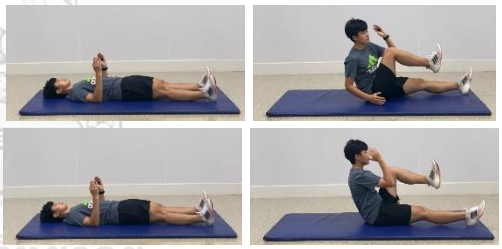
56/		
57/		
58/		
59/		
60/		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

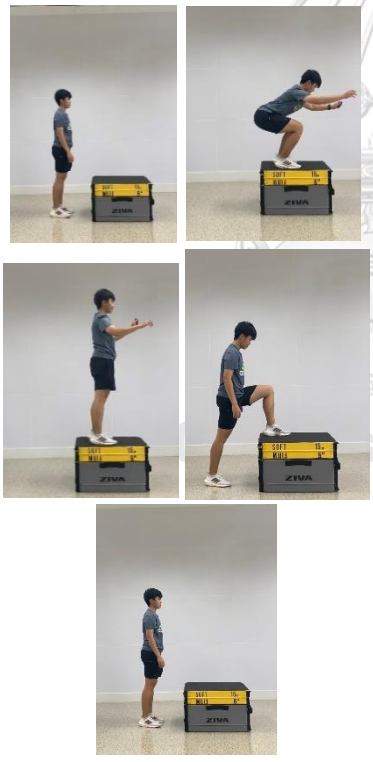
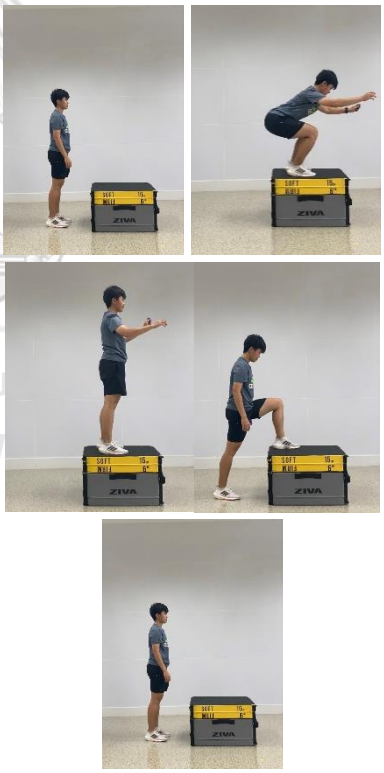
ภาคผนวก ฝ

ตารางแสดงท่าการฝึกแบบวงจร (Circuit training; Circuit)

ในสัปดาห์ที่ 1 – 6 และสัปดาห์ที่ 7 – 12

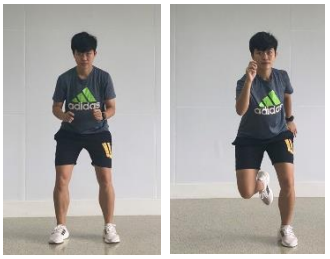
Week 1 – 6	Week 7 – 12
การฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ประกอบด้วย 3 ท่า ได้แก่	
1. Rotating three-point plank	1. Rotating two-point plank
2. Side plank hip drop	2. Side plank hip drop and leg open
3. Sprinter sit-up 	3. Sprinter sit-up (Speed-ups) 

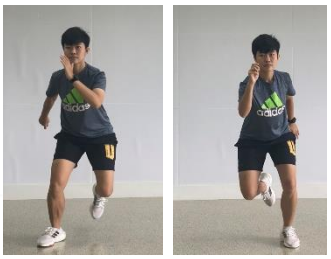
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การฝึกพลัยโอเมตริก ประกอบด้วย 5 ท่า ได้แก่	
4. Alternating Jump Step-Up 	4. Alternating Jump Step-Up (Highest)
5. Box jump 	5. Box jump (Highest) 

6. Lateral Bound

6. Double Lateral Bound

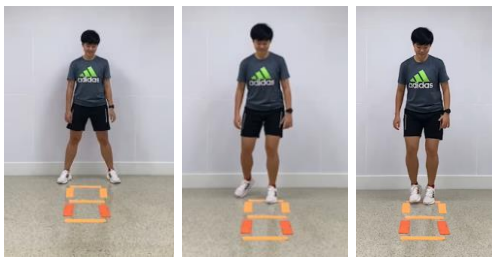


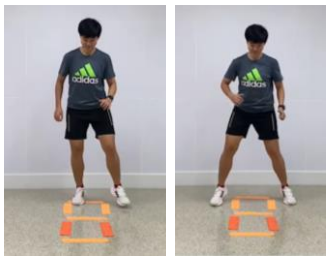


7. A-B walks

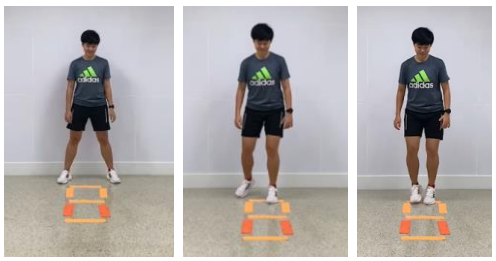
7. A-B skips

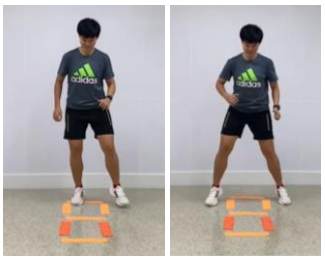
8. Double trouble



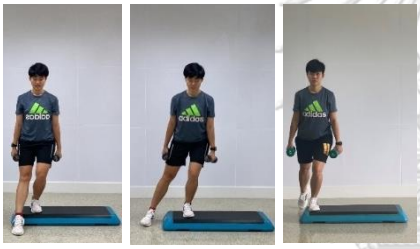
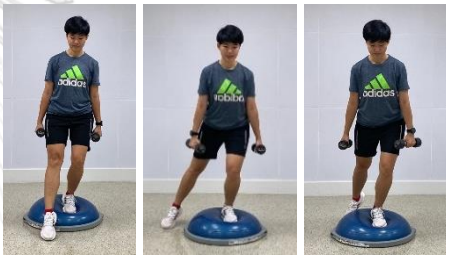
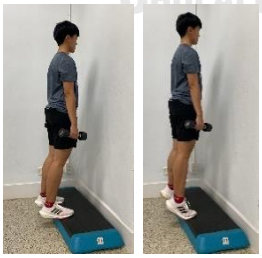
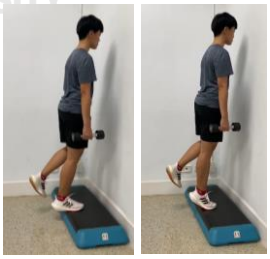


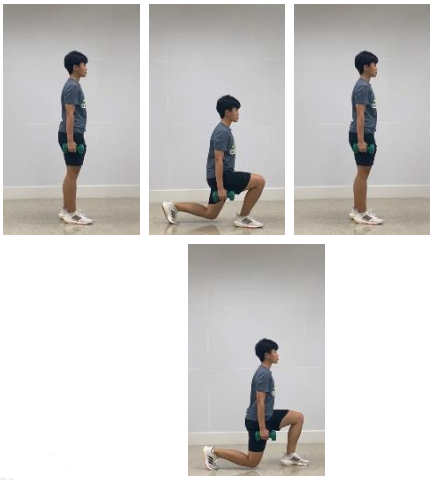
8. Double trouble (Speed-ups)





CHULALONGKORN UNIVERSITY

<table>
<tr><th colspan="2">การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย 6 ท่า ได้แก่</th></tr>
<tr><td>9. Romanian Deadlift
 </td><td>9. Single-Leg Romanian Deadlift
 </td></tr>
<tr><td>10. Glute walking
 </td><td>10. Glute march
 </td></tr>
<tr><td>11. Single leg heel touch squat
  </td><td>11. Single leg 3 way reach on Bosu
  </td></tr>
<tr><td>12. Side-Lying Clam
 </td><td>12. Side-Lying hip Raise
 </td></tr>
<tr><td>13. Elevated Calf Raise
  </td><td>13. Single-Leg Elevated Calf Raise
  </td></tr>
</table>

14. Backward Lunge	14. Walking lunge
	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

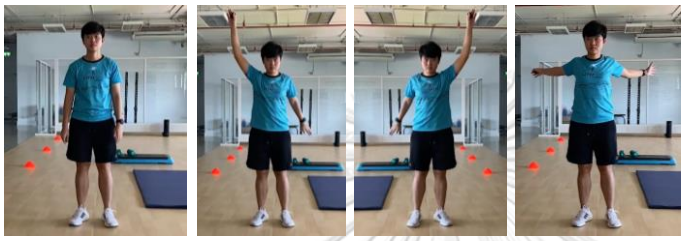
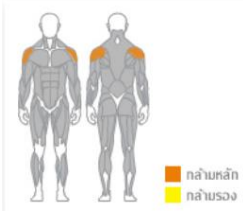
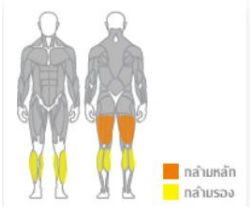
ภาคผนวก พ

ตารางแสดงท่าการอบอุ่น และคลายอุ่นร่างกาย

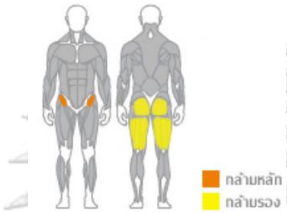
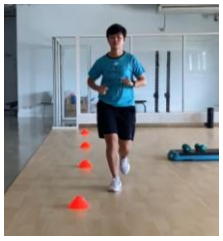
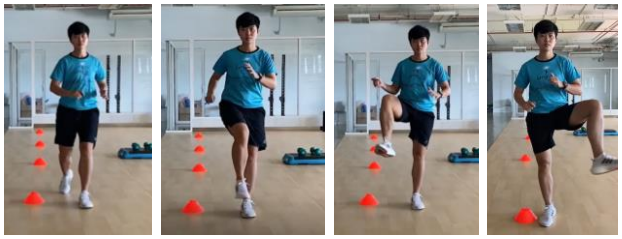
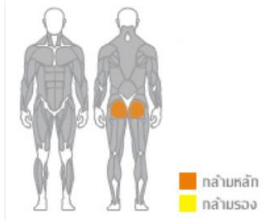
อุปกรณ์

กรวย ดัมเบล สต็ปเปอร์ ยางยืด และบันไดลิง

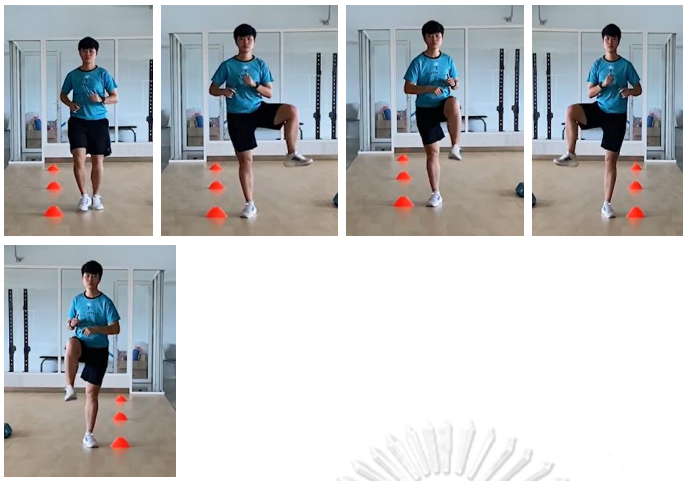
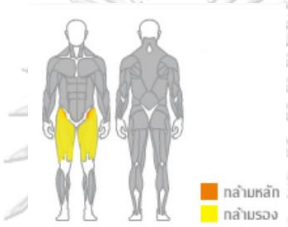
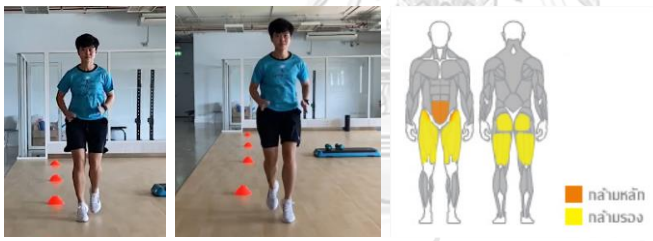
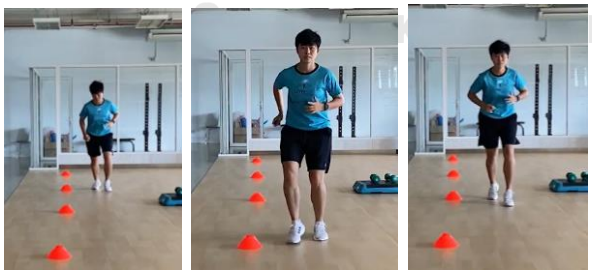
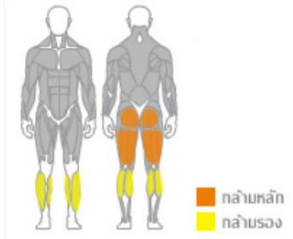
1) ตารางแสดงท่าการอบอุ่นร่างกาย

ท่าการอบอุ่นร่างกาย	จำนวนครั้ง
1. Arm swing 4 direction  	12
2. Ground sweep 	12

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. World's greatest stretch  	12
4. Running and jog back  ให้เน้นการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งขา ตลอดการวิ่ง Jogging ลำตัวไม่ส่าย คิดถึงการเกร็ง Six-pack เข้าไว้ คิดว่ามีไปก่อนค่ะ 😊	2 รอบ (ระยะรวม 20 เมตร)
5. Hip out   	2 รอบ (ระยะรวม 20 เมตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

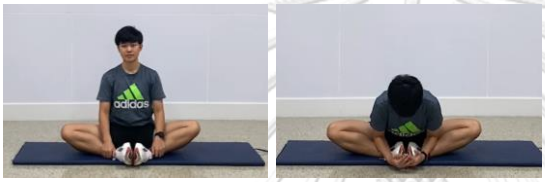
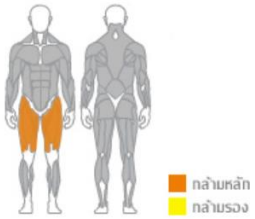
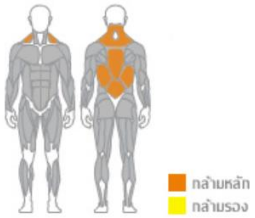
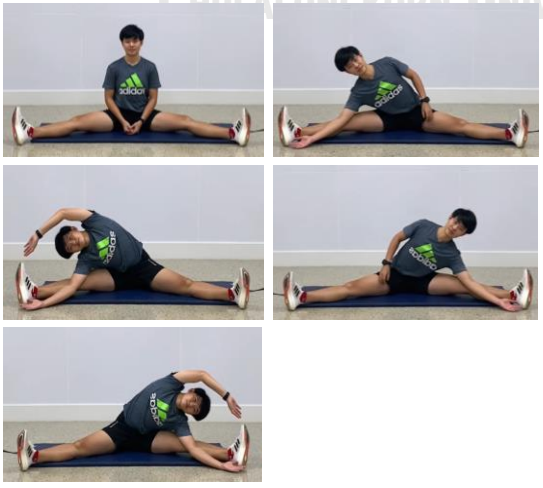
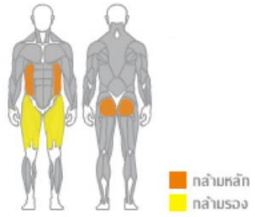
6. Hip in  	2 รอบ
7. Ankling 	2 รอบ
8. Quick forward and backward  	2 รอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ERSITY

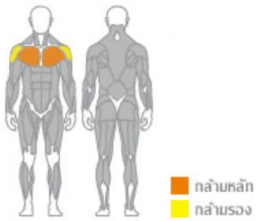
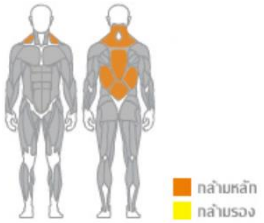
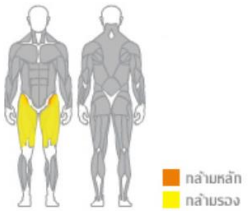
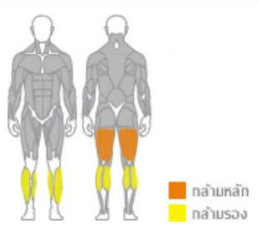
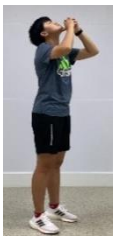
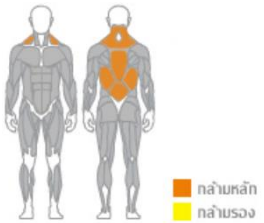
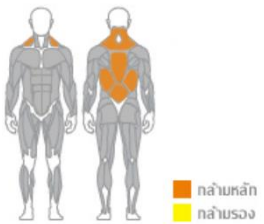
9. Lateral walk	12 Reps L/R

3) Cool-down

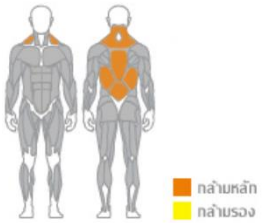
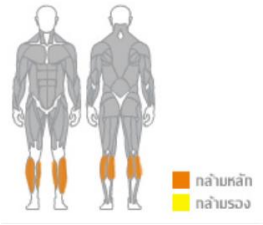
การยืดเหยียด ระยะเวลา 15 – 20 วินาที จำนวน 2 รอบต่อท่า ความเหมาะสมในการยืดเหยียด คือ การยืดให้กล้ามเนื้อเกิดความตึงนิดนึง แต่จะไม่ยืดเหยียดจนเกิดอาการเจ็บ

1. ยืดต้นขาด้านใน 	
2. ยืดหลังบน	
3. ยืดขาด้านในและเอว 	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ยืดหน้าอก 	
5. ยืดหลังบนและล่าง (กดหน้าอกลงพื้น) 	
6. ยืดต้นขา ขาตาม 	
7. ยืดต้นขาด้านหลัง 	
8. ยืดคอด้านหน้า 	
9. ยืดคอด้านข้าง 	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

10. คอด้านหลัง 	
11. ยืดน่อง 	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศิรประภา พานทอง
วัน เดือน ปี เกิด	21 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดสระบุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2555 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2559
ที่อยู่ปัจจุบัน	32 ม. 8 ต. ธารเกษม อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี 18120
ผลงานตีพิมพ์	ผลของการฝึกการเข้าทำด้วยท่าลันจ์ด้วยแรงต้านจากแรงดันอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพในท่าลันจ์ของนักกีฬาดาบสากล ปี พ.ศ. 2560 Panthong, S., Thongsiri, N., & Suksom, D. (2023). Comparison of the effects of simulated and actual short trail running tests on neuromuscular function in master trail runners. Journal of Physical Education and Sport, 23(6), 1518-1527. Panthong, S., Tanaka, H., & Suksom, D. (2023). Comparison of the effects of simulated and actual short trail running tests on neuromuscular function in master trail runners. ECSS 2023 Book of Abstract, p. 708. (Abstract) Panthong, S., Tanaka, H., & Suksom, D. (2022). Total and peripheral but not central neuromuscular fatigue after simulated trail running in trail runners. International Conference on physical activity and sports (IPAS) (Virtual), IPAS-O14. (Abstract)
รางวัลที่ได้รับ	ได้รับรางวัลชนะเลิศอับดับ 1 ประเภทดาบเซเบอร์ ทีมหญิง การแข่งขันกีฬามหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 45 พ.ศ. 2561 ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอับดับ 1 ประเภทดาบเซเบอร์ บุคคลหญิง การแข่งขันชิงชนะเลิศมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2562 ได้รับรางวัลนิสิตฝึกประสบการณ์วิชาชีพดีเด่น (ป.ตรี) พ.ศ. 2561

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ได้รับรางวัลนิสิตดีเด่น (ป.โท) พ.ศ. 2562

ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 ในการนำเสนอผลงานแบบปากเปล่า ณ International Conference on physical Activity and Sports (IPAS) พ.ศ. 2565

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University