ผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

นายธนโชติ เพิ่มเติม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF AEROBIC TRAINING IN NORMOBARIC HYPOXIC CONDITION ON CHEST EXPANSION PATTERN IN RUGBY PLAYERS

Mr. Thanachoat Permterm

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Sports and Exercise Science
FACULTY OF SPORTS SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล
โดย	นายธนโชติ เพิ่มเติม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช)

..... กรรมการ
(ดร.ทศพร ยิ้มลมัย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธนโชติ เพิ่มเติม : ผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล. (EFFECTS OF AEROBIC TRAINING IN NORMOBARIC HYPOXIC CONDITIONON CHEST EXPANSION PATTERN IN RUGBY PLAYERS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.นงนภัส เจริญพานิช

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อศึกษาผลของการฝึกในรูปแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอลกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬารักบี้ชาย อายุ 18-25 ปี จาก ชมรมรักบี้ฟุตบอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 20 คน แบ่งเป็นกลุ่มละ 10 คน โดยผู้วิจัยเป็นผู้คัดกรองกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเองโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purpostive sampling) ในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง และใช้วิธีการการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster random sampling) โดยใช้ค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2 max) และตำแหน่งของผู้เล่นในการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง โดยให้แต่ละกลุ่มมีจำนวนผู้เล่นในตำแหน่งการเล่น และค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน กลุ่มที่ 1 ฝึกที่ระดับออกซิเจนปกติ (20.93%) และ กลุ่มที่ 2 ฝึกที่ระดับออกซิเจนต่ำ (14.5% - 15%) ที่ความดันบรรยากาศปกติทั้ง 2 กลุ่ม ฝึกโดยการวิ่งบนลู่กลในห้องจำลองสภาวะออกซิเจนต่ำ (ATS-5HKP 750 SYSTEM, Australia) ตามโปรแกรมกำหนดก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ วิเคราะห์รูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจโดยใช้โปรแกรม Qualisys Track Manager (QTM) จากตำแหน่งมาร์คเกอร์ 30 จุด บนทรวงอก นำคู่ลำดับของตำแหน่งทั้ง 30 จุดมาคำนวณปริมาตรทรวงอกบนพื้นฐานทางเรขาคณิต ได้ปริมาตรทรวงอกขณะหายใจ 4 ส่วนคือ ทรวงอกส่วนบน (UL) ทรวงอกส่วนล่าง (LL) ช่องท้องส่วนบน (UA) และช่องท้องส่วนล่าง (LA) และปริมาตรโดยรวม (TO) โดยแสดงผลเป็นค่า Tidal Volume (TV), Vital Capacity (VC), Inspiratory Capacity (IC), Expiratory Reserve Volume (ERV) และ Total Lung Capacity (TLC) และค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม โดยใช้ Independent t-test (t) หรือ Mann Whitney U test (U) เปรียบเทียบภายในกลุ่มการฝึกโดยใช้ Pair t-test (t) หรือ Wilcoxon sign rank โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัย เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก ในกลุ่มที่ 1 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า TV ในส่วนของ LA, และค่า TLC ในส่วนของ UL แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า VO2max ขณะที่ ในกลุ่มที่ 2 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ ค่า ERV ในส่วนของ UA และค่า TLC ในส่วนของ LL, UA, LA และ TO UL แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า VO2max และ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของทุกตัวแปรเมื่อเปรียบเทียบก่อนฝึก ขณะที่หลังการฝึกพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ ค่า TV ในส่วนของ UL, ค่า VC ในส่วนของ UA, ค่า IC ในส่วนของ UA และ ค่า ERV ในส่วนของ TO แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า VO2max สรุปผลการวิจัย การฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ มีผลต่อรูปแบบการขยายทรวงอกโดยมีการเพิ่มปริมาตรปอดส่วนบนของ TV และเพิ่มปริมาตรปอดส่วนล่างของ VC โดยมีการเพิ่มปริมาตรปอดส่วนล่างของ IC และส่งผลให้ปริมาตรของปอดส่วนล่างเพิ่มมากขึ้นแต่ปริมาตรปอดโดยรวมของ ERV น้อยลง อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ปริมาตรของ TLC พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาตรของปอดส่วนล่างหลังจากออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ แต่ยังไม่ได้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการพัฒนาค่า VO2max

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6270008839 : MAJOR SPORTS AND EXERCISE SCIENCE
KEYWORD: Rugby, Hypoxia, Chest expansion pattern, Maximum Oxygen Consumption, VO2max
Thanachoat Permterm : EFFECTS OF AEROBIC TRAINING IN NORMOBARIC HYPOXIC CONDITIONON CHEST EXPANSION PATTERN IN RUGBY PLAYERS. Advisor: Asst. Prof. NONGNAPAS CHAROENPANICH, Ph.D.

The purpose of this study was to study the effects of aerobic training in hypoxic normobaric conditions for 6 weeks on chest expansion patterns. The participants were separated into 2 groups (9 each) group 1 was trained in normoxic (20.93%), and group 2 in hypoxic (14.5%-15%), both groups were trained in normobaric conditions. All participants were trained by running on a treadmill in a hypoxic training room (ATS-5HKP 750 SYSTEM, Australia) according to the training program. Each participant was analyzed chest expansion pattern, pre and post-training, by using Qualisys Track Manager from coordination of 30 chest markers and calculated chest volume based on a geometric shape. Four parts of chest volume; Upper Lung (UL), Lower Lung (LL), Upper abdomen (UA) and Lower Abdomen (LA) and Total Part (TO), were shown in Tidal Volume (TV), Vital Capacity (VC), Inspiratory Capacity (IC), Expiratory Reserve Volume (ERV) and Total Lung Capacity (TLC). The Independent t-test or Mann Whitney U test (U) was used to compare between groups and Pair t-test (t) or Wilcoxon sign rank to group comparison by determining the level of significance at p-value ≤ 0.05.

The results after group comparison showed a significant difference between group 1(normoxic) of TV at LA, and TLC at UL, but did not show a significant difference in VO_{2max} and group 2 (hypoxic) showed a significant difference in ERV at UA, TLC at LL, UA, LA, and TO, but did not show a significant difference of VO_{2max}. After comparison between groups did not show a significant difference for all variables when compared before training. While after the training, there was a significant difference in TV at UL, VC at UA, IC at UA, and ERV at TO, , but not showed significant difference in VO_{2max} therefore, can conclude that aerobic training in hypoxic normobaric condition for 6 weeks can change chest expansion pattern by there was an increase in the upper lung volume of TV and an increase in the lower lung volume of VC, with an increase in the lower lung volume of the IC and resulted in an increase in the lower lung volume but a decrease in the total lung volume of ERV. significant While TLC volumes showed a significant difference in lower lung volumes after 6 weeks of aerobic exercise, It did not result in a significant difference in the development of values.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Sports and Exercise Science	Student's Signature .....
Academic Year:	2022	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนภัส เจริญพานิช ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่างๆมากมาย และได้ช่วย ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ด้วยความเมตตา เอาใจใส่ อย่างดีเสมอ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยกราบขอบคุณพระอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มละมัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ

รองศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการ สอบวิยานิพนธ์ และให้คำแนะนำตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ ความสมบูรณ์และถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณชมรมรักบี้ฟุตบอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้นักกีฬาเข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ รวมไปถึงนักกีฬารักบี้ฟุตบอล ชมรมรักบี้ฟุตบอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม) ทุกคน ที่เสียสละเวลาอันมีค่าในการเข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่างและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ตลอดระยะเวลา 6 สัปดาห์ ในการเก็บข้อมูลงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา อบรมสั่งสอน ซึ่งผู้วิจัยได้นำความรู้และคำสอนเหล่านั้นมาก่อประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับสำเร็จนี้สำเร็จตามเป้าหมาย รวมไปถึงบุคลากร เจ้าหน้าที่ และพี่ๆ เพื่อนๆ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำต่างๆ ที่ได้มอบให้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนญาติพี่น้อง ที่ได้อบรมสั่งสอนชี้นำแนว ทางการดำเนินชีวิต รวมทั้งให้คำปรึกษา และกำลังใจในการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ธนโชติ เพิ่มเติม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

คำถามในการวิจัย 3

สมมุติฐานของการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

คำจำกัดความของการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

1. คุณลักษณะของกีฬารักบี้ฟุตบอล และรูปแบบการใช้พลังงาน 7

2. หลักสรีรวิทยาของระบบหายใจ 10

3. การวิเคราะห์รูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจทางชีวกลศาสตร์ 18

4. วิเคราะห์การทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด 21

5. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise) 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. การออกกำลังกายในภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric hypoxic environment) 25
7. รูปแบบการฝึกเพื่อพัฒนาศักยภาพทางระบบพลังงานแอโรบิก 26
8. ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพของปอดและสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในนักกีฬารักบี้ 27
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ 29
9.1 งานวิจัยในประเทศ 29
9.2 งานวิจัยในต่างประเทศ 30
กรอบแนวคิดในการวิจัย 36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 38
ประชากร 38
กลุ่มตัวอย่าง 38
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 40
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 46
การเก็บรวบรวมข้อมูล 50
การวิเคราะห์ข้อมูล 52
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 53
ตอนที่ 1 คุณลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย (Characteristics of participants) 53
ตอนที่ 2 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk (Data distribution test) 54
ตอนที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาตรทรวงอก ในค่า Tidal volume (TV), Vital (VC), Inspiratory capacity (IC), Expiratory reserve volume (ERV), Total lung capacity (TLC) ของทรวงอก 4 ส่วน ได้แก่ Upper lung (UL), Lower lung (LL), - Upper abdomen (UA), Lower abdomen (LA), Total part (TO) 60
ตอนที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) 69
บทที่ 5 อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อภิปรายผล 74
สรุปผลการวิจัย 81
ข้อเสนอแนะงานวิจัย 81
ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป 82
บรรณานุกรม 83
ภาคผนวก 87
ภาคผนวก ก การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power) 88
ภาคผนวก ข แบบสอบถามความพร้อมในการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionaire :PAR-Q) 89
ภาคผนวก ค แบบบันทึกข้อมูล 90
ภาคผนวก ง อบอุ่นร่างกายแบบมีการเคลื่อนไหว (dynamic stretching) 91
ภาคผนวก จ โปรแกรมการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกในกลุ่มภาวะออกซิเจนปกติและภาวะออกซิต่ำความดันปกติ 93
ภาคผนวก ฉ การคำนวณปริมาตรทรวงอกจากรูปทรงเรขาคณิตที่ได้จากกล้อง 3 มิติ 95
(Silvatti et al., 2012) 95
ภาคผนวก ช รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบโปรแกรมการทดสอบ 96
ภาคผนวก ซ แบบตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือของผู้เชี่ยวชาญ การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruence; IOC) 97
ภาคผนวก ฌ ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย 104
ประวัติผู้เขียน 127

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย (Characteristics of participants)... 53

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของข้อมูลก่อนการฝึกในกลุ่มที่ 1 (n = 9)..... 54

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของข้อมูลหลังการฝึกในกลุ่มที่ 1 (n = 9)..... 55

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของข้อมูลก่อนการฝึกในกลุ่มที่ 2 (n = 9)..... 57

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของข้อมูลหลังการฝึกในกลุ่มที่ 2 (n = 9)..... 58

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ของกลุ่มที่ 1 (n = 9) และ กลุ่มที่ 2 (n = 9)..... 60

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ของข้อมูลก่อนการฝึก โดยใช้ Independence t test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติ และ Mann Whitney U test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวไม่ปกติ..... 60

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ของข้อมูลหลังการฝึก โดยใช้ Independence t test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติ และ Mann Whitney U test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวไม่ปกติ..... 63

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก ของกลุ่มที่ 1 โดยใช้ Paired t test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติ และ Wilcoxon sign rank test สำหรับข้ออมูลที่กระจายตัวไม่ปกติ (n = 9)..... 65

ตารางที่ 10 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก ของกลุ่มที่ 2 โดยใช้ Paired t test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติ และ Wilcoxon sign rank test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวไม่ปกติ (n = 9)..... 67

ตารางที่ 11 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ของข้อมูลก่อนการฝึก และ หลังการฝึก โดยใช้ Independence t test (n = 9)..... 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก ของกลุ่มที่ 1 และ ของกลุ่มที่ 2 โดยใช้ Paired t-test (n = 9)..... 70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 กราฟแสดงระบบพลังงานที่ใช้ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของการออกกำลังกาย..... 10

รูปที่ 2 ตารางแสดงอัตราส่วนระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬารักบี้ฟุตบอล..... 10

รูปที่ 3 แสดงตัวควบคุมการทำงานของระบบหายใจ..... 12

รูปที่ 4 กล้ามเนื้อกระบังลมขณะหายใจเข้าและออก..... 15

รูปที่ 5 กล้ามเนื้อหายใจออก กล้ามเนื้อหน้าท้อง..... 16

รูปที่ 6 กล้ามเนื้ออินเตอร์คอสตัล..... 16

รูปที่ 7 ปริมาตรและความจุปอด..... 17

รูปที่ 8 การแสดงภาพบริเวณลำตัวโดยใช้การกำหนดจุดตำแหน่งเพื่อคำนวณปริมาตรต่างๆของลำตัว หน้าอกส่วนบน, หน้าอกส่วนล่าง, ช่องท้องส่วนบน, ช่องท้องส่วนล่าง..... 21

รูปที่ 9 โครงสร้างของระบบหัวใจและหลอดเลือดในคนปกติ ประกอบด้วยระบบไหลเวียนส่วนปอด (Pulmonary circulation) และระบบไหลเวียนส่วนกาย (Systemic circulation) ที่เชื่อมโยงกัน..... 22

รูปที่ 10 รูปภาพแสดงข้อได้เปรียบเสียเปรียบในการทำการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือดด้วยวิธีการต่าง ๆ..... 24

รูปที่ 11 ตารางการออกกำลังกายในแต่ละช่วงความหนัก..... 27

รูปที่ 12 กรอบแนวคิดผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล..... 37

รูปที่ 13 แสดงตำแหน่งมาร์คเกอร์ทางด้านหน้า (Anterior view)..... 43

รูปที่ 14 แสดงตำแหน่ง มาร์คเกอร์ ทางด้านหลัง (Posterior view)..... 44

รูปที่ 15 กล้องความเร็วสูง รุ่น Qualisys oqus 7+ series..... 47

รูปที่ 16 Retroreflective มาร์คเกอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ซม..... 47

รูปที่ 17 เครื่อง CPET ยี่ห้อ cortex รุ่น metamax 3b ประเทศเยอรมัน..... 48

รูปที่ 18 ลู่กล (Tread mill) ยี่ห้อ hp cosmos ประเทศเยอรมัน..... 48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 19 Polar Heart rate sensor H7 49

รูปที่ 20 หน้าจอแสดงค่าการทำงานของห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 49

รูปที่ 21 เครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย (Body composition analyzer)..... 50

รูปที่ 22 แผนภูมิแสดงขั้นตอนวิจัยผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล 51

รูปที่ 23 การคำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้จีพาวเวอร์ 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬารักบี้ฟุตบอลเป็นกีฬาที่ถือกำเนิดมาหลายร้อยปี ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในหลายประเทศ มีการจัดการแข่งขันระดับนานาชาติมากมาย โดยมีรายการแข่งที่ยิ่งใหญ่มากมาย เช่น รักบี้โลก (Rugby world cup), Six Nation Championship, The Rugby Championship และการแข่งขันระดับสโมสร เช่น Super Rugby ซึ่งกีฬารักบี้ฟุตบอลเป็นกีฬาที่ต้องอาศัยรูปแบบและสมรรถภาพทางร่างกายเป็นอย่างมาก โดย Hopkins & Viljoen (2008) กล่าวไว้ว่า กีฬารักบี้ฟุตบอลเป็นกีฬาที่มีความเข้มข้นและความต่อเนื่องในการแข่งขันสูง โดย Blair et al. (2018) ได้กล่าวไว้ว่า กีฬารักบี้นั้นมีอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดเกมอยู่ที่ 154.9 ครั้ง/นาที และเป็นกีฬาที่มีการผสมผสานของสมรรถภาพทางระบบพลังงานหลากหลาย Claro & Bompa (2009) กล่าวว่า ระบบพลังงานที่กีฬารักบี้ใช้ จะแบ่งเป็น ระบบพลังงานแอโรบิก 60% ระบบพลังงานแอนแอโรบิก ไกลโคไลติก 30% และ ระบบพลังงานอะแลคติก 10% ซึ่งแสดงว่ากีฬารักบี้ฟุตบอลเป็นกีฬาที่ใช้พลังงานแอโรบิกหรือการออกกำลังกายจนถึงภาวะที่ร่างกายเผาผลาญพลังงานด้วยการใช้ออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นนักกีฬารักบี้ฟุตบอลจึงควรมีสมรรถภาพที่ดีของระบบหายใจไหลเวียนโลหิต

การออกกำลังกายที่ต้องการผลในการพัฒนาสมรรถภาพของระบบหายใจไหลเวียนโลหิต ได้แก่การออกกำลังกายในรูปแบบแอโรบิก เนื่องจากเป็นรูปแบบการฝึกรูปแบบหนึ่งที่สามารถพัฒนาความสามารถของระบบการทำงานในร่างกายในส่วนของหัวใจและระบบหายใจไหลเวียนโลหิตได้ โดยการกระตุ้นให้หัวใจและเลือดต้องขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อตอบสนองความต้องการผลิตพลังงานของกล้ามเนื้อให้ดียิ่งขึ้นเมื่อออกกำลังด้วยระยะเวลาและความหนักที่เหมาะสม โดยระดับความหนักที่แนะนำจะอยู่ที่ 300 นาทีต่อสัปดาห์ ที่ระดับความหนักปานกลางหรือ 64-77% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum Heart Rate; HRmax) หรือ 40-60% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง (Heart Rate Reserve; HRR) และ แนะนำอยู่ที่ 150 นาทีต่อสัปดาห์ในระดับความหนักสูงหรือ 77-94% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด หรือ 60-85% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง (Pescatello et al., 2014) โดยนอกเหนือจากหัวใจและ*ระบบไหลเวียนโลหิต*ที่ได้ผลโดยตรงแล้วนั้นการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ยังส่งผลต่อการกระตุ้นระบบหายใจ เนื่องจากเป็นระบบที่อาศัยการทำงานร่วมกัน โดยระบบหายใจจะนำออกซิเจนไปสู่เลือดหรือระบบไหลเวียนโลหิต และระบบไหลเวียนโลหิตจะขนส่งออกซิเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ดังนั้นทั้งระบบหายใจไหลเวียนโลหิตจะต้องทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทั้งระบบเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการ

ทำงานของระบบหายใจไหลเวียนโลหิต (Rivera-Brown & Frontera, 2012 ; Pescatello et al, 2014 ; ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560)

โดยการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกตินั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขยายปริมาตรภายในช่องอกขณะหายใจ โดย ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช (2560) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรทรวงอกทั้ง 4 ส่วน ได้แก่ ทรวงอกส่วนบน (Upper lung) ทรวงอกส่วนล่าง (Lower lung) ช่องท้องส่วนบน (Upper abdomen) และช่องท้องส่วนล่าง (Lower abdomen) พบว่า หลังออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติทันที ความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC) ของ ทรวงอกส่วนล่าง ช่องท้องส่วนบน และช่องท้องส่วนล่างมีปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาตรความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity; IC) พบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของส่วน ช่องท้องส่วนล่าง ในขณะที่กลุ่มที่ออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะค่าความจุหายใจเข้าของส่วนทรวงอกส่วนบน ซึ่งแสดงว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติส่งผลให้มีการเปลี่ยนรูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจ โดยมีการขยายทรวงอกส่วนล่าง และช่องท้องเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงความสามารถในการดึงอากาศเข้าสู่ปอดได้ลึกขึ้น มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้น

โดยการขยายหรือเพิ่มขึ้นของปริมาตรภายในทรวงอกขณะหายใจนั้นจะส่งผลต่อความจุปอดให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งในกลุ่มนักกีฬาที่มีการออกกกำลังกายแบบแอโรบิกจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาของความจุปอดเต็มที่ ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็ว แรง จนหมด หลังจากหายใจเข้าอย่างเต็มที่ (Forced Vital Capacity; FVC), ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second; FEV_1), ร้อยละของปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้ในวินาทีที่ 1 ต่อปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้มากที่สุดอย่างเร็วแรง (FEV_1/FVC) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาของปัจจัยต่าง ๆ ทางสมรรถภาพของปอดโดยพัฒนาไปในทิศทางเดียวกันซึ่งมีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) (Lazovic-Popovic et al., 2016 ; ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช, 2560) และยังได้มีการศึกษาเพิ่มเติมว่าปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 และความจุปอดเต็มที่นั้นมีความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Hassel et al., 2015 ; Rasch-Halvorsen et al., 2019 ; Attarzadeh et al., 2016) ซึ่งเป็นสมรรถภาพที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬาของนักกีฬา

จากที่กล่าวมาข้างต้น ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาที่กล่าวว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำบรรยากาศปกติจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขยายทรวงอกได้หลังการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ออกกำลังกายทันที (ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช, 2560) และมีงานวิจัยที่กล่าวว่าการฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำบรรยากาศปกติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานแบบแอโรบิกได้ (Park et al., 2016; Ponsot et al., 2006; Dufour et al., 2006; Czuba et al., 2018) แต่ไม่พบงานวิจัยใดที่ศึกษาถึงผลระยะยาวของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอก ประกอบกับรูปแบบการเล่นกีฬารักบี้ที่มีความต้องการออกซิเจนเพื่อสร้างพลังงานแบบแอโรบิกมากถึง 60% นั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาถึงผลระยะยาวของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในนักกีฬารักบี้เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ว่ามีผลต่อรูปแบบการขยายทรวงอกอย่างไร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลการฝึกในรูปแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกและสมรรถภาพในการหายใจในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

คำถามในการวิจัย

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีผลอย่างไรต่อรูปแบบการขยายทรวงอกและสมรรถภาพทางการหายใจในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

สมมุตติฐานของการวิจัย

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 6 สัปดาห์ มีผลต่อรูปแบบการขยายทรวงอกจากการเพิ่มสมรรถภาพการหายใจโดยการเพิ่มปริมาตรของปอดส่วนล่าง ในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักกีฬารักบี้ชายอายุ 18-25 ปี

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักกีฬารักบี้ชายอายุ 18-25 ปี ของชมรมรักบี้ฟุตบอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 20 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มทดลอง ฝึกการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ

กลุ่มควบคุม ฝึกการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในภาวะออกซิเจนปกติ

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา

ตัวแปรต้น : การออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำและภาวะออกซิเจนปกติ

ตัวแปรตาม :

1. ข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการขยายทรวงอกขณะหายใจ (Kinematic data) ของ ทรวงอกส่วนบน (Upper Lung: UA), ทรวงอกส่วนล่าง (Lower Lung: LL), ช่องท้องส่วนบน (Upper abdomen: UA) และช่องท้องส่วนล่าง (Lower abdomen: LA) ได้แก่

- รูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจ
- ปริมาตรความจุปอดในส่วนต่างๆ ได้แก่
- ความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC)
- ปริมาตรความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity; IC)
- ปริมาตรหายใจเข้าออกหนึ่งครั้ง (Tidal Volume; TV)
- ปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory Reserve Volume; ERV)
- ความจุปอดแท้รวมหรือทีแอลซี (Total Lung Capacity; TLC)

2. สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max)

3. ขอบเขตด้านสถานที่

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล คือ

1. ห้องภาวะออกซิเจนต่ำของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ห้องทดสอบสมรรถภาพทางกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ศูนย์ปฏิบัติทางชีวกลศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ขอบเขตด้านระยะเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประมาณ 3 เดือน

คำจำกัดความของการวิจัย

1. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise) หมายถึง การออกกำลังกายต่อเนื่องในระยะเวลาหนึ่งจนถึงภาวะที่ร่างกายเผาผลาญพลังงานด้วยการใช้ออกซิเจน โดยสามารถออกกำลังกายที่ความหนักตั้งแต่ 40%-96% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง ติดต่อกันตั้งแต่ 1 นาทีจนถึง 3 ชั่วโมงขึ้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. การออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ (Hypoxic nomobalic training) หมายถึง การฝึกในสภาวะที่ปริมาณออกซิเจนมีปริมาณต่ำกว่า 20.9% ในความดันบรรยากาศปกติ โดยในงานวิจัยนี้ จะใช้ระดับออกซิเจนที่ 15-14.5%

3. รูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจ (Chest expansion pattern) หมายถึง การขยายของทรวงอกที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของกระดูกซี่โครงในระดับต่าง ๆ ขณะเกิดการหายใจ โดยคำนวณหาจากปริมาตรทรวงอก Chest volume ; ซึ่งเป็นการคำนวณจากคู่ลำดับของตำแหน่ง Marker ทั้ง 30 จุด บนพื้นฐานทางเรขาคณิตจากผลรวมของปริมาตรทรง 12 เหลี่ยมด้านไม่เท่าเพื่อหา ความจุปอดแท้รวม (Total Lung Capacity=TLC) ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าเต็มที่ (Inspiratory Capacity =IC) ปริมาตรหายใจปกติ (Tidal Volume=TV) ความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity=VC) โดยแบ่งทรวงอกในการคำนวณออกเป็น 4 ส่วนในการคำนวณประกอบไปด้วย ทรวงอกส่วนบน (Upper Lung: UA), ทรวงอกส่วนล่าง (Lower Lung: LL), ช่องท้องส่วนบน (Upper abdomen: UA) และช่องท้องส่วนล่าง (Lower abdomen: LA)

4. ความจุปอดแท้รวม (Total Lung Capacity; TLC) ปริมาตรอากาศในปอดหลังหายใจเข้าเต็มที่

5. ความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC) เป็นปริมาตรอากาศที่ถูกขับออกจากปอดในช่วงหายใจออกเต็มที่หลังจากที่หายใจเข้าเต็มที่ เป็นตัวบอกประสิทธิภาพของปอดได้ดี

6. ปริมาตรหายใจเข้าออกปกติหนึ่งครั้ง (Tidal Volume; TV) หมายถึงปริมาตรอากาศที่เข้าและออกจมูกหรือปากต่อการหายใจปกติ

7. ความจุหายใจเข้าหรือไอซี (Inspiratory Capacity; IC) หมายถึงปริมาตรอากาศที่เข้าสู่ปอดเต็มที่ หลังจากช่วงหายใจออกตามปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

8. ปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory Reserve Volume; ERV) หมายถึงปริมาตรอากาศ ที่ถูกขับออกจากปอดในช่วงหลังจากหายใจออกเต็มที่ เริ่มวัดช่วงตั้งแต่ปลายสุดของการหายใจออกตามปกติ

9. นักกีฬารักบี้ หมายถึงนักกีฬารักบี้ชาย อายุ 18-25 ปี จาก ชมรมรักบี้ฟุตบอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด หมายถึงปริมาณสูงสุดของปริมาณออกซิเจน ที่ร่างกายสามารถ สกัดมาใช้ได้ใน 1 นาที ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม โดยมีหน่วยวัดเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml./kg./min.)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบผลการฝึกออกกำลังแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำที่มีผลต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

2. เป็นรูปแบบทางเลือกในการฝึกสมรรถภาพทางกายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเรื่องผลการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล จึงได้รวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องไว้เป็นข้อมูลในการศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากหนังสือ วารสาร เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศโดยนำเสนอตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. คุณลักษณะของกีฬารักบี้ฟุตบอล และรูปแบบการใช้พลังงาน
2. หลักสรีรวิทยาของระบบหายใจ
3. การวิเคราะห์รูปแบบการขยายทรวงอกโดยวิธีทางชีวกลศาสตร์
4. การวิเคราะห์การทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด
5. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก
6. การออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ
7. การวางโปรแกรมการฝึกระบบพลังงานแอโรบิก
8. ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพของปอดและสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ
    - 9.1 งานวิจัยในประเทศ
    - 9.2 งานวิจัยต่างประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. คุณลักษณะของกีฬารักบี้ฟุตบอล และรูปแบบการใช้พลังงาน

1.1. ลักษณะของกีฬารักบี้ฟุตบอล

1.1.1 ลักษณะการเล่นกีฬารักบี้ฟุตบอล

วิชัย อิงปัญจลาภ (2538) , Chakshuraksha & Apanukul (2021) กล่าวว่ากีฬารักบี้ฟุตบอลเป็นกีฬาที่ประกอบด้วยผู้เล่น 2 ทีม จำนวนผู้เล่นทีมละ 15 คน ที่ใช้ในสนาม แต่ละทีมประกอบด้วยกองหน้า 8 คน และกองหลัง 7 คน ผู้เล่นแต่ละคนมีตำแหน่งและบทบาทที่กำหนด เกมดังกล่าวเล่นเป็นเวลาทั้งหมด 2 ครึ่ง ครึ่งละ 40 นาที โดยมีการหยุดในการเล่นสำหรับการบาดเจ็บ การเตะลูกโทษ และความพยายามในการทำให้ลูกบอลออกจากการเล่น โดยรักบี้ฟุตบอล (Rugby football) มีลูกบอลที่ใช้ในการเล่นเป็นรูปวงรี ทำคะแนนโดยการพาลูกด้วยมือไปยังเขตโกลฝั่งตรงข้าม เรียกว่าการวางทรัย (Try) หรือการเตะให้ข้ามคานประตูไม่ใช่ลอดคานประตู และผู้เล่นจะมีหมายเลขและชื่อเรียกตามตำแหน่งการเล่น ซึ่งการเริ่มเล่นจะเริ่มจากการเตะลูกเริ่มเล่น (Kick off) บริเวณจุดกึ่งกลาง

สนาม ในลักษะณะวางลูกตั้งขึ้นแล้วเตะลูกให้เข้าไปในเขตแดนของฝั่งตรงข้ามหลังจากนั้นผู้เล่นคนอื่นๆ ที่ไม่อยู่ในตำแหน่งล้ำหน้า (Off side) คือไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ผู้เล่นฝ่ายเดียวกันกำลังครองลูกบอลอยู่ โดยยังอยู่ข้างหลังผู้ถือครองลูกจะสามารถเข้าไปแย่งลูกได้โดยวิธีการต่างๆ เช่น การจับรวบ (Tackle) การล้มทับลูก (lying on) การเตะลูก การส่งลูก เป็นต้น

1.1.2 ตำแหน่งการเล่นในกีฬารักบี้ฟุตบอล

วิชัย อิงปัญจลาภ (2538) กล่าวว่า การเล่นกีฬารักบี้ฟุตบอลก็เหมือนกีฬาประเภทอื่นๆ ทั่วไปที่ต้องอาศัยความสัมพันธ์ของผู้เล่นเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้การเล่นดำเนินไปได้ดี โดยมีผู้เล่นทีมละ 15 คน ตามตำแหน่งของผู้เล่นดังนี้

- พร็อปซ้าย (Loose Head Porp) แถวหน้าซ้าย
- ฮุคเกอร์ (Hooker) ตัวกลางแถวหน้า
- พร็อบขวา (Tight Head Prop) แถวหน้าขวา
- แถวสองซ้าย (Left Lock)
- แถวสองขวา (Right Lock)
- แฟรงเกอร์ซ้าย (Left Flanker)
- แฟรงเกอร์ขวา (Right Flanker)
- ผู้เล่นหมายเลข 8 (Number Eight)
- สกรัมฮาล์ฟ (Srum Half)
- ฟรายฮาล์ฟ (Fly Half)
- ปีกซ้าย (left Wing)
- เซนเตอร์ซ้าย (Left Center, In Side)
- เซนเตอร์ขวา (Right Center, Out Side)
- ปีกขวา (Right Wing)
- ฟูลแบ็ค (Full Back)

- ซึ่งผู้เล่นแต่ละตำแหน่งต้องพยายามทำหน้าที่ของตนเองให้ดีที่สุด ต้องมีการฝึกซ้อมอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นทักษะส่วนบุคคล เทคนิคในการเล่น และยุทธวิธีในการเล่นรวมทั้งสมรรถภาพทางกายด้วย การยืนของแต่ละตำแหน่งแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

- ผู้เล่นกองหน้า (Forward Players)
- ผู้เล่นกองหลัง (Back players)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2.ระบบพลังงานแอนแอโรบิก

1.2.1 แอนแอโรบิกอะแลคติก (ATP-CP)

เป็นพลังงานที่ใช้ในช่วงเริ่มออกกำลังกายสำหรับกล้ามเนื้อที่จะต้องทำงานในความหนักที่ระดับ 85%-100% ของความสามารถสูงสุด และระยะเวลาในช่วงประมาน 10 วินาทีแรกของการออกแรง เพราะใช้พลังงานจาก เอทีพีและซีพี (ATP-CP) ที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ เช่น กระโดดสูง

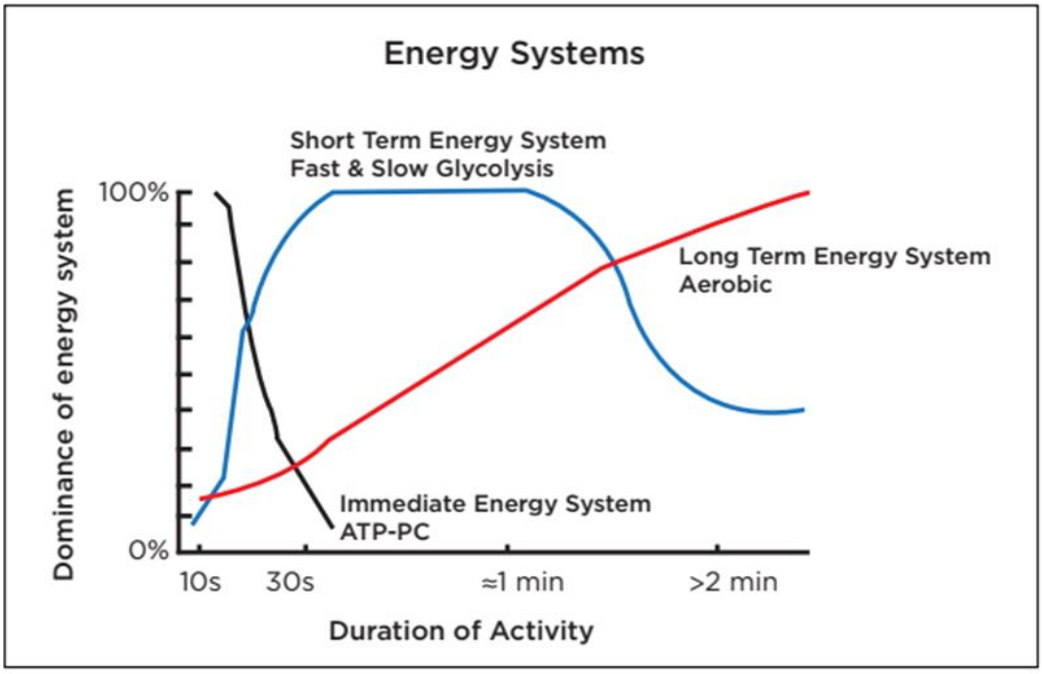
1.2.2 แอนแอโรบิกไกลโคไลติก (Anaerobic glycolytic)

เป็นระบบพลังงานที่ใช้ระหว่างการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงและร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์พลังงานจากออกซิเจนได้เพียงพอรวมไปถึงพลังงานที่เก็บสะสมในกล้ามเนื้อก็ไม่เพียงพอ ที่จะทำกิจกรรมต่อเนื่อง ร่างกายจะมีการสลาย ไกลโคเจน (Glycogen) และกลูโคส (Glucose) ที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ มาใช้เป็นพลังงาน และผลผลิตที่ได้จากการสร้างพลังงานในระบบนี้ ก็จะเป็น เอทีพีซีพี (ATP-CP) และ กรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งกรดแลคติดจะก่อให้เกิดอาการล้า (Fatigue) เพราะจะไปลดการทำงานของเอนไซม์ในกล้ามเนื้อทำงานได้น้อยลงและลดประสิทธิภาพการทำงานของ แคลเซียมไบดิ้ง (Calcium-binding) ในกล้ามเนื้อ

1.3.ระบบพลังงานแอโรบิก

เป็นระบบพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายที่ความหนักไม่สูงมาก โดยกระบวนการสร้างพลังงานจะได้จากกระบวนการ ออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชั่น (Oxidative phosphorylation) เป็นระบบพลังงานที่สามารถสร้างพลังงานได้สูงและสร้างได้ต่อเนื่องในขณะที่ออกกำลังกาย โดยกระบวนการสร้างพลังงานจะทำในไมโตคอนเดรีย (Mitochondria) ในกล้ามเนื้อที่มีการใช้งานหรือถูกกระตุ้น โดยผ่านกระบวนการ เครบไซเคิล (Kreb cycle) และ เรสไพราทอรี่เชน (Respiratory chain) ซึ่งสามารถสร้างพลังงานได้มากกว่า ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic) (Rivera-Brown & Frontera, 2012)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1 กราฟแสดงระบบพลังงานที่ใช้ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของการออกกำลังกาย
ที่มา : (BASICS OF STRENGTH AND CONDITIONING MANUAL. NSCA, 2012)

1.4. อัตราส่วนระบบพลังงานในกีฬารักบี้ฟุตบอล

กีฬารักบี้นั้นมีอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดเกมอยู่ที่ 154.9 ครั้ง/นาที และเป็นกีฬาที่มีการผสมผสานของสมรรถภาพทางระบบพลังงานหลากหลาย โดยระบบพลังงานที่กีฬารักบี้ใช้จะแบ่งเป็น ระบบพลังงานแอโรบิก 60% ระบบพลังงานแอนแอโรบิก ไกลโคไลติก 30% และ ระบบพลังงานอะแลคติก 10% ดังแสดงในรูปที่ 2 (Blair et al., 2017; Claro & Bompa, 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	Proportion of Energy System in %		
Sport	Alactic System	Lactic Acid System	Aerobic System
Rugby	10	30	60

รูปที่ 2 ตารางแสดงอัตราส่วนระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬารักบี้ฟุตบอล
ที่มา : (Claro & Bompa, 2009)

2. หลักสรีรวิทยาของระบบหายใจ

จากการศึกษาของ Fox (2010) , West (2012) , Feher (2017) , ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช (2560) พบว่าระบบการหายใจเป็นระบบที่มีความเกี่ยวข้องในการแลกเปลี่ยนก๊าซ

ออกซิเจนที่ลำเลียงอากาศเข้าสู่ปอดและก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ที่เป็นของเสียจากกระบวนการเผาพลาญเพื่อสร้างพลังงานของเซลล์ซึ่งละลายอยู่ในเลือดที่บริเวณถุงลมปอด สาเหตุที่ต้องมีการแลกเปลี่ยนก๊าซในร่างกายเนื่องจาก ก๊าซออกซิเจนมีความสำคัญในกระบวนการเผาพลาญเพื่อสร้างพลังงานของเซลล์ ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในเซลล์ ซึ่งหากมีการสะสมเป็นจำนวนมากจะทำให้เซลล์ตาย ร่างกายจึงจำเป็นต้องขจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป โดยการหายใจออกและบางส่วนจะถูกกำจัดออกทางไต มีบางส่วนที่อาจจะถูกเซลล์นำไป สังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์อื่น ๆ ต่อไป การหายใจ (Respiratory) จึงเป็นการทำงานของเซลล์ในสิ่งมีชีวิต ที่เกิดขึ้นตลอดเวลา ในสภาวะปกติไม่ว่าจะเป็นการหายใจเข้าหรือการหายใจออก จะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ โดยหน้าที่หลักของระบบหายใจ ประกอบด้วย

1. รับก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายและขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเผาพลาญเพื่อสร้างพลังงานของเซลล์ออกนอกร่างกาย

2. ควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดให้มีระดับที่เหมาะสม

3. ช่วยในการทำงานของหัวใจและทำให้เลือดกับเข้าสู่หัวใจได้มากขึ้น

4. กำจัดและป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับอากาศที่หายใจ

5. ช่วยควบคุยสมดุลความเป็นกรดในร่างกายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

ระบบการหายใจประกอบด้วยอวัยวะที่สำคัญ 2 ส่วนใหญ่คือ ส่วนที่นำอากาศเข้าสู่ปอด ได้แก่โพรงจมูก หลอดคอ กล่องเสียง หลอดลม กิ่งหลอดลม และหลอดลมฝอย และส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซ ที่เกิดขึ้นในถุงลมปอด โดยอาศัยกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจและกลไกในการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นบริเวณปอดและเนื้อเยื่อ

กระบวนการหายใจ หมายถึง การทำงานของปอดตั้งแต่การหายใจเข้าเพื่อดึงอากาศเข้าปอดแล้วเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การขนส่งก๊าซจากปอดไปยังเซลล์และการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เซลล์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ

1. การหายใจภายนอก (External respiratory) หรือการหายใจระดับปอด (Pulmonary respiratory) เพื่อใช้ในกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างปอดกับเลือดการขนส่งก๊าซจากเซลล์ไปยังเนื้อเยื่อและเนื้อเยื่อกลับไปยังปอด จนถึงการระบายก๊าซออกจากร่างกาย

2. การหายใจภายใน (Internal respiratory) หรือการหายใจระดับเซลล์(Cellular respiratory) เป็นการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารอาหารและก๊าซออกซิเจนทำให้ได้พลังงานในรูปของความร้อนซึ่งเพิ่มอุณหภูมิให้ร่างกาย และได้เอทีพี (ATP) ที่สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการหายใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การหายใจภายนอก คือ การทำงานของปอดเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างเลือดที่ไหลเวียนในปอดกับอากาศที่หายใจเข้าไป ประกอบด้วยกระบวนการสำคัญ 3ประการ

1. การระบายอากาศ (Ventilation) หมายถึง กระบวนการที่มีอากาศเคลื่อนเข้าสู่ปอดในขณะหายใจเข้าสลับกับการเคลื่อนที่ของอากาศออกจากปอดขณะหายใจออก เมื่อมีอากาศไหลเวียนเข้าสู่ปอดเพียงพอ การแลกเปลี่ยนก๊าซจึงจะสมบูรณ์ได้

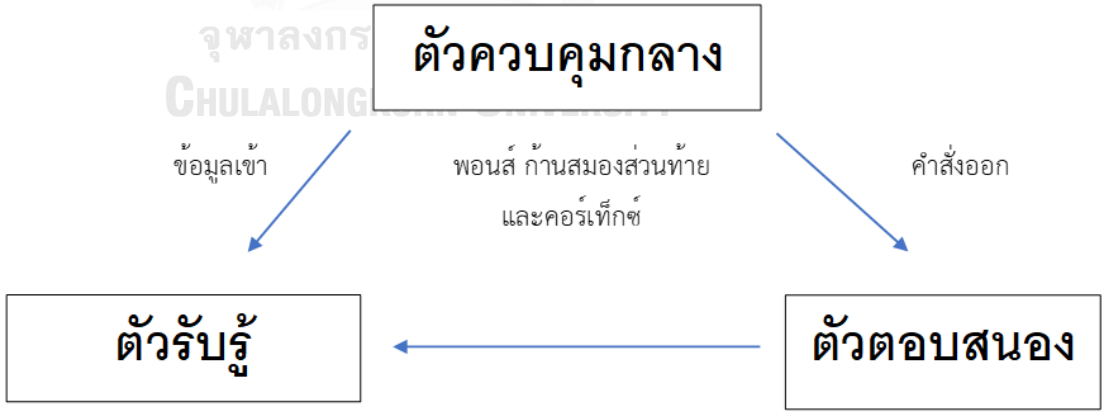
2. การแพร่ของก๊าซ (Diffusion) หมายถึง กระบวนการที่ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแพร่ผ่านเยื่อบางระหว่างถุงลมกับหลอดเลือดฝอยในปอด (Aveolar capillary membrane) โดยอาศัยความดันที่ต่างกันของก๊าซระหว่างเนื้อเยื่อทั้งสองด้าน โดยแพร่ผ่านจากด้านที่มีความดันสูงไปด้านที่มีความดันต่ำ

3. การกำซาบ (Perfusion) หมายถึงกระบวนการไหลเวียนของเลือดมายังหลอดเลือดฝอยของถุงลมปอด โดยการแลกเปลี่ยนของอากาศจะสมบูรณ์ได้เมื่อมีเลือดไหลเวียนผ่านปอดเพียงพอที่จะกระจายไปยังถุงลมแต่ละถุงได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งอาศัยองค์ประกอบระบบควบคุมการหายใจได้แก่ (รูปที่3)

3.1 ตัวรับรู้ (Sensor)

3.2 ตัวควบคุมกลาง (Central controller)

3.3 ตัวตอบสนอง (Effector)



รูปที่ 3 แสดงตัวควบคุมการทำงานของระบบหายใจ

ที่มา : (ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช, 2560)

3.1. ตัวรับรู้ ได้แก่

3.1.1 ตัวรับรู้ทางเคมีส่วนกลาง (Central chemoreceptor) ตัวรับชนิดนี้อยู่บริเวณส่วนก้านสมองส่วนท้าย (Medullar oblongata) ซึ่งอยู่ใกล้ขาออกเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 และ 10 เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ในหลอดเลือดสมองใหญ่ (Cerebrum) สูงขึ้น ก๊าซนี้ก็จะแพร่เข้าไปในน้ำสมองและไขสันหลัง (Cerebral Spinal Fluid; CSF) แล้วแตกตัวให้ไอออนไฮโดรเจน (H+) ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวรับรู้ชนิดนี้ ดังนั้นระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดจึงเป็นตัวควบคุมการหายใจเป็นหลักโดยมีผลต่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำสมอง และ ไขสันหลัง เมื่อก๊าซนี้สูงขึ้น ตัวรับรู้ทางเคมีชนิดนี้จะส่งสัญญาณเข้าสู่ก้านสมองส่วนท้าย ทำให้เกิดการหายใจถี่ขึ้น (Hyperventilation) ซึ่งจะทำให้ระดับของก๊าซนี้ในหลอดเลือดสมองและน้ำสมองและไขสันหลังลดลง

3.1.2 ตัวรับรู้ทางเคมีด้านนอก (Peripheral chemoreceptor) ตัวรับรู้ชนิดนี้อยู่ที่คาโรติดบอดี้ (Carotid body) และเอออร์ติคบอดี้ (Aortic body) โดยคาโรติดบอดีจะเป็นตัวรับรู้ที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นตัวตอบสนองต่อความดันย่อยออกซิเจน ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำลงและความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยจะทำหน้าที่เร่งการหายใจเป็นหลักเมื่อความดันย่อยของก๊าซออกซิเจนในหลอดเลือดแดงลดต่ำลง (Aerial hypoxemia) แต่ตัวรับรู้ชนิดนี้ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่าการตอบสนองจากตัวรับรู้ทางเคมีส่วนกลาง นอกจากนั้น คาโรติดบอดียังตอบสนองต่อการลดลงของความเป็นกรด-ด่างในหลอดเลือด แต่ในมนุษย์ เอออร์ติคบอดี้กลับไม่ทำงานตอบสนองต่อความเป็นกรดด่าง

- การรับรู้ของ Peripheral chemoreceptor
- การลดลงของ PO2
- การเพิ่มขึ้นของ PCO2
- การเพิ่มขึ้นของ H+

3.1.3 ตัวรับรู้ที่ปอดได้แก่

3.1.3.1 ตัวรับรู้การยืดของปอด (Pulmonary stretch receptor) ซึ่งอยู่ภายในกล้ามเนื้อเรียบ ทางเดินหายใจ (Airway smooth muscle) การขยายตัวของปอดกระตุ้นเส้นประสาทเวกัสชนิดเมี มัยอีลินทำให้ความถี่การหายใจช้าลง เรียกรีเฟล็กซ์นี้ว่ารีเฟล็กซ์เฮอริงบรอยเออร์ (Hering-Breuer reflex)

3.1.3.2 ตัวรับรู้การระคายเคือง (Irritant receptor) อยู่ระหว่างเซลล์เอพิทีเลียมในทางเดินหายใจ (Airway epithelial cells) แก๊สพิษ (Noxious gas) ควันบุหรี่ (Cigarette smoke) ฝุ่น (Inhale dusts) และอากาศเย็น (Cold air) ซึ่งเป็นตัวแปรในการกระตุ้นเส้นประสาทเวกัสชนิดมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มัยอีลิน ซึ่งก่อให้เกิดอาการหลอดลมตีบ (Bronchoconstriction) และการหายใจลึกและถี่ (Hypernea) โดยตัวรับรู้ชนิดนี้เรียกว่าตัวรับรู้ ปรับตัวรวดเร็ว (Rapid adapting receptor)

3.1.3.3 ตัวรับรู้เจ (J receptor) ตัวรับรู้นี้เชื่อกันว่าอยู่ในผนังถุงลมปอด (Aveolar wall) บริเวณใกล้หลอดเลือดฝอย (Capillary) การมีเลือดคั่งในหลอดเลือดฝอยที่ถุงลมปอดและการที่ของเหลวระหว่างเซลล์ผนังถุงลมปอดมีปริมาตรเพิ่มขึ้น จะเป็นตัวกระตุ้นเส้นประสาทเวกัสชนิดไม่มีมัยอีลิน ทำให้หายใจตื้นและเร็วและหายใจได้ยาก (Dyspnea) พบมากในภาวะหัวใจห้องซ้ายล้มเหลว (Left heart failure) หรือโรคน้ำท่วมปอด (Interstitial lung disease)

3.1.4 ตัวรับรู้อื่น

3.1.4.1 ตัวรับรู้ที่จมูกแลด้านบนของทางเดินอากาศ (Nose and upper airway receptor) บริเวณจมูก จมูกคอหอย (Nasopharynx) กล่องเสียง (Larynx) และหลอดลม (Trachea) เป็นตัวรับรู้ที่ตอบสนองต่อการกระตุ้นทางกลและเคมีผลที่เกิดขึ้นคือ ไอ จามและ หลอดลมตีบ

3.1.4.2 ตัวรับรู้ที่ข้อต่อและกล้ามเนื้อ (Joint and muscle receptor) จะตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ของรยางค์ (Limb) ซึ่งถือว่าช่วยกระตุ้นการแลกเปลี่ยนอากาศช่วงออกกำลังกาย

3.1.4.3 ระบบแกมม่า (Gamma system) อยู่ที่กล้ามเนื้อรูปกระสวย (Muscle spindle) บริเวณกล้ามเนื้อซี่โครง (Intercostal muscle) และกระบังลมซึ่งรับรู้การยืดของกล้ามเนื้อ

3.1.4.4 ตัวรับรู้ความดับหลอดเลือดแดง (Arterial baroreceptor) ความดันหลอดเลือดแดงสูง ทำให้เกิดการหายใจน้อย (Hyper ventilation) หรือหยุดหายใจโดยผ่านตัวรับรู้ความดันหลอดเลือดแดงใหญ่ และคาโรติคไซนัส (Aortic and carotic sinus baro receptor) และในทางกลับกันการลดความดันเลือดทำให้เกิดการหายใจที่มากเกิน

3.1.4.5 ตัวรับรู้ความเจ็บปวดและความร้อน การเจ็บปวดแความร้อนเป็นสาเหตุให้การหายใจหยุดไปชั่วขณะหนึ่งซึ่ง จะก่อเกิดการหายใจมากขึ้นตามมา

3.2 ตัวควบคุมกลาง สมองส่วนก้านสมอง (Brain stem) มีหน้าที่ส่งกระแสประสาทกำหนดการหายใจอัตโนมัติในขณะที่สมอง ส่วนคอร์เท็กซ์ (Cortex) ควบคุมการหายใจ ภายใต้อำนาจจิตใจ (Voluntary control) ตัวควบคุมกลางได้แก่:

3.2.1 ก้านสมอง ภายในก้านสมองมีกลุ่มเซลล์ประสาท 3 กลุ่มได้แก่

3.2.1.1 ศูนย์หายใจก้านสมองส่วนท้าย (Medullary respiratory center)

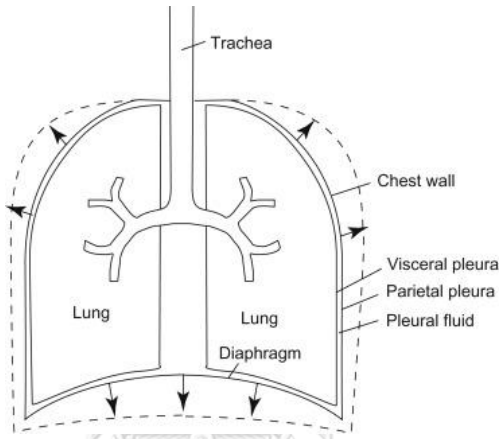
3.2.1.2 ศูนย์หายใจแอปนูสติก (Apneustic center)

3.2.1.3 ศูนย์หายในนูโมแทกซิค (Pneumotaxic center)

2.2 คอร์เท็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

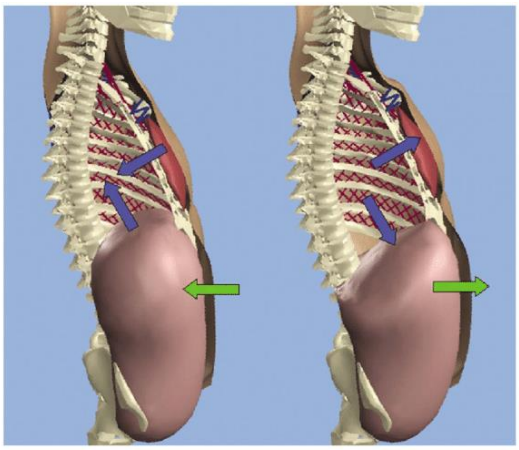
3.3 ตัวตอบสนอง ตัวตอบสนองก็คือกล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจเข้า โดยมีกล้ามเนื้อที่สำคัญคือ กล้ามเนื้อกระบังลม (Diaphragm) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นกล้ามเนื้อบางรูปโดม (Dome-shaped sheet) ซึ่งอยู่ที่ซี่โครง่ร่างและถูก เลี้ยงด้วยประสาทเลี้ยงกระบังลม (Phrenic nerve) เมื่อกล้ามเนื้อกระบังลมหดตัว อาหารภายในช่องท้อง (Abdomen contents) ถูกบีบให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและลงไปข้างล่าง ส่งผลให้ขนาดช่องอก (Chest cavity) ด้านแนวตั้ง (Vertical dimension) เพิ่มขึ้น และขอบกระดูกซี่โครง่(Rib cage) ถูกยกขึ้นและเคลื่อนที่ออกด้านข้าง ส่งผลให้ ช่องอกแนวขวาง (Transverse diameter) เพิ่มขึ้น (รูปที่4)



รูปที่ 4 กล้ามเนื้อกระบังลมขณะหายใจเข้าและออก

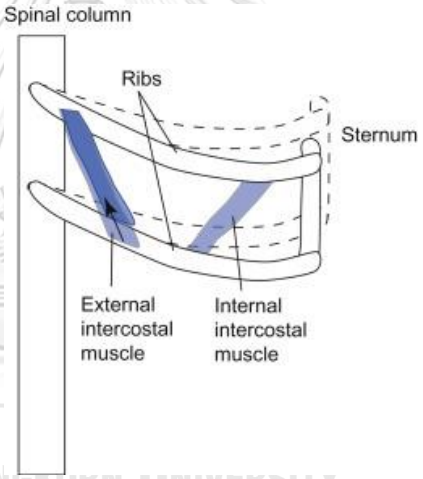
ที่มา : (Feher, 2017)

ปกติการหายใจออกไม่ต้องอาศัยพลังงาน (Passive process) โดยปกติปอดและผนังทรวงอก (Chest wall) เป็นอวัยวะที่มีความยืดหยุ่นและสามารถคืนสู่สภาพสมดุลหลังถูกขยายออกโดยอาศัยพลังงานในช่วงการหายใจเข้าปกติ แต่ในสภาวะที่ร่างกายมีการออกแรงหรือออกกำลังกายหรือเกิดการหายใจมากเกิน การหายใจออกจะต้องอาศัยพลังงาน (Active process) จากการทำงานของกล้ามเนื้อที่สำคัญนการหายใจออก คือ กล้ามเนื้อหน้าท้อง ได้แก่ กล้ามเนื้อเรคตัสแอ๊บโดมินิส (Rectus abdominis) กล้ามเนื้ออินเตอร์นัลและเอ็กเตอร์นัลโอบลิค (Internal and external oblique muscle) และทรานเวอร์ซัสแอ๊บโดนิมิส (Transversus abdominis) ซึ่งกล้ามกล้ามเนื้อเหล่านี้หดตัว ความดันในช่องท้องจะเพิ่มขึ้นและกล้ามเนื้อกระบังลมถูกผลักขึ้นสู่ด้านบน โดยกล้ามเนื้อเหล่านี้ยังทำงานเมื่อเกิดการไอ (Coughing) อาเจียน (Vomiting) และอุจจาระ (Defecation)นอกจากนั้นกล้ามเนื้ออินเตอร์นัลอินเตอร์คอสตัล (Internal intercostal muscle) ยังช่วยในการหายใจออกโดยโดยการดึงกระดูกซี่โครงลงล่างและเข้าด้านใน ทำให้ปริมาตรในช่องอกลดลง ซึ่งทำงานตรงข้ามกับกล้ามเนื้อเอ็กเตอร์นัลอินเตอร์คอสตัล (External intercostal muscle) ดังในรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 กล้ามเนื้อหายใจออก กล้ามเนื้อหน้าท้อง

ที่มา : (Zordan, 2006)



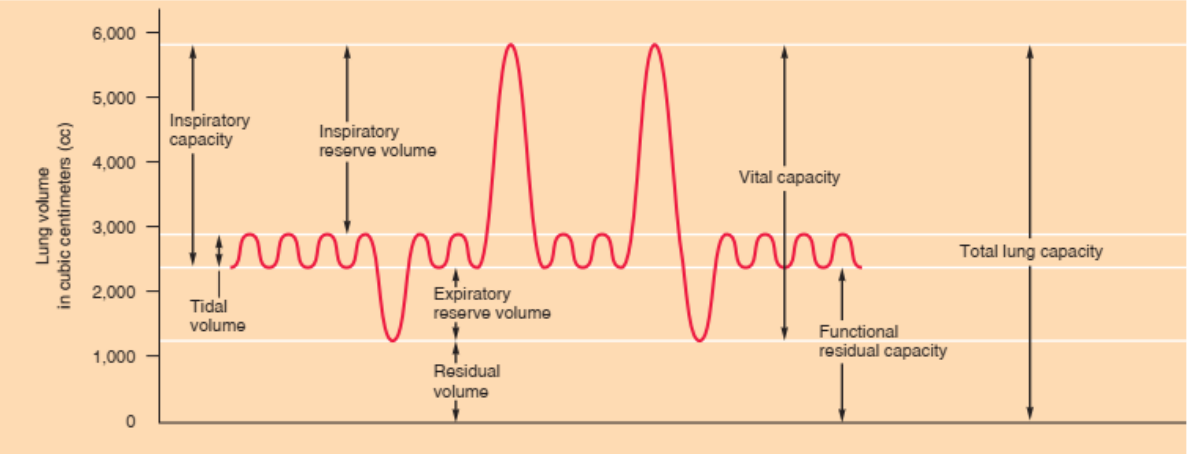
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6 กล้ามเนื้ออินเตอร์คอสตัล

ที่มา : (Feher, 2017)

การขยายตัวของปอด (Distensibility) นั้นสามารถขยายได้ง่ายเมื่อปอดมีปริมาตรต่ำแต่ขยายตัวได้ยากเมื่อมีปริมาตรของปอดใกล้กับระดับความจุปอดทั้งหมด (Total lung capacity) โดยความยืดหยุ่นของปอด (Compliance) หาได้จากค่าความชันของกราฟความดัน-ปริมาตร (Pressure-volume curve) ในช่วงปอดหดตัวคืนสู่สภาพเดิม (Deflection) โดยปริมาตรของปอดที่ค่าๆหนึ่งของความดันปอดในช่วงหายใจออกนั้นสูงกว่าของช่วงหายใจเข้า เนื่องจากแรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างอากาศและของเหลวภายในถุงลมปอด (Aveoli) ต่างกันเพราะเซลล์เอพิธีเลียของถุงลมปอดชนิดไทพ์ทู (Type 2 alveolar epithelial cell) สร้างสารลดแรงตึงผิว (Surfacctant) ซึ่ง

องค์ประกอบหลักของสารนี้เป็นสารไดพัลมิโตอิลฟอสพาติดิลโคลีน (Dipalmitoyl phosphatifylcholine)



รูปที่ 7 ปริมาตรและความจุปอด

ที่มา : (Fox, 2010)

1. ปริมาตรหายใจเข้าออกปกติหนึ่งครั้ง (Tidal volume) หมายถึงปริมาตรอากาศเข้าและออกจมูกหรือปากต่อการหายใจปกติ 1 ครั้ง ค่านี้ถูกกำหนดภายในสมองโดยศูนย์ควบคุมการหายใจที่มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจและยังถูกกำหนดโดยกลศาสตร์ของปอดและผนังทรวงอก ในภาวะหายใจปกติ (Eupnea) มีค่าประมาณ 0.5 ลิตร ในผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดี น้ำหนักตัวประมาณ 70 กิโลกรัม ซึ่งค่านี้สามารถสูงขึ้นได้เมื่อมีการออกกำลังกาย

2. ปริมาตรอากาศเหลือค้างในปอด (Residual volume) หมายถึงปริมาตรอากาศ เหลือค้างในปอดหลังจากหายใจออกเต็มที่สูงสุด ค่าปกติอยู่ที่ 1.3 ลิตร ในผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดีน้ำหนัดตัว 70 กิโลกรัม แต่ในคนที่มีภาวะถุงลมโป่งพอง (Emphysema) ค่าจะสูงมากกว่าปกติ

3. ปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory reserve volume) หมายถึงปริมาตรอากาศที่ถูกขับออกจากปอดในช่วงหลังจากหายใจออกเต็มที่ เริ่มวัดช่วงตั้งแต่ปลายสุดของการหายใจออกตามปกติ มีค่าประมาณ 1.7 ลิตร ในผู้ใหญ่ที่สุขภาพดี น้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม

4. ปริมาตรการหายใจเข้าสำรอง (Inspiratory reserve volume) หมายถึง ปริมาตรอากาศที่สามารถเข้าปอดได้หลังจากหายใจเข้าตามปกติ เริ่มวัดตั้งแต่ช่วงปลายสุดของการหายใจเข้าปกติ มีค่าประมาณ 2.5 ลิตร ในผู้ใหญ่สุขภาพดี น้ำหนัก70 กิโลกรัม

5. ความจุปอดที่เหลือค้าง (Functional residual capacity) หมายถึง ปริมาตรอากาศที่คงค้างอยู่ในปอดหลังจากหายใจออกปกติ มีค่าประมาณ 3 ลิตร ในผู้ใหญ่สุขภาพดี น้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับค่า ปริมาตรอากาศเหลือค้างในปอดบวกรวมกับค่าปริมาตรหายใจออกสำรอง

6. ความจุหายใจเข้า (Inspiratory capacity) หมายถึงปริมาตรอากาศที่เข้าสู่ปอดเต็มที่หลังจากช่วงหายใจออกตามปกติ มีค่าเท่ากับค่าปริมาตรหายใจเข้าออกปกติหนึ่งครั้งบวกรวมกับค่าปริมาตรการหายใจเข้าสำรองมีค่าประมาณ 3 ลิตร ในผู้ใหญ่สุขภาพดีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม

7. ความจุปอดเต็มที่ (Vital capacity) เป็นปริมาตรอากาศที่ถูกขับออกจากปอดในช่วงหายใจออกเต็มที่หลังจากที่หายใจเข้าเต็มที่ ประกอบด้วยค่าปริมาตรหายใจเข้าออกปกติหนึ่งครั้ง ปริมาตรการหายใจเข้าสำรอง และปริมาตรหายใจออกสำรองบวกรวมกันมีค่าประมาณ 4.7 ลิตร ในผู้ใหญ่สุขภาพดี น้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม

8. ความจุปอดรวม (Total lung capacity) ปริมาตรอากาศในปอดหลังหายใจเข้าเต็มที่ ค่านี้ประกอบด้วยค่าปริมาตรหายใจเข้าออกปกติหนึ่งครั้ง ค่าปริมาตรอากาศเหลือค้างในปอด ค่าปริมาตรหายใจออกสำรอง และค่าปริมาตรการหายใจเข้าสำรองบวกรวมกัน มีค่าประมาณ 6 ลิตร ในผู้ใหญ่สุขภาพดี น้ำหนัก 70 กิโลกรัม

3. การวิเคราะห์รูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจทางชีวกลศาสตร์

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวด้วยวิธีการทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanic) คือการประยุกต์วิชาฟิสิกส์และกลศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิตในทางกีฬาชีวกลศาสตร์เกี่ยวกับร่างกายมนุษย์ ทั้งในส่วนของแรงที่ใช้ด้วยตัวแรงและการรับแรงจากผู้อื่นจากการปะทะกันว่าร่างกายได้รับผลอย่างไร โดยความรู้ในด้านชีวกลศาสตร์นั้นจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการที่ผู้ฝึกสอนและนักกีฬาจะได้นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปใช้ในการออกแบบการฝึกสอบหรือตรวจสอบแก้ไขจุดต่างๆ ที่ผิดพลาดให้ดีขึ้น (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ 2544) กล่าวว่าการศึกษาด้านชีวกลศาสตร์การกีฬา (Sports Biomechanics) เป็นสาขา หนึ่งของวิทยาศาสตร์การกีฬาที่ศึกษาถึงการวิเคราะห์ในเชิงชีวกลศาสตร์ของการเคลื่อนไหวของ สิ่งมีชีวิต โดยประยุกต์หลักวิชาของสรีรวิทยากายวิภาคศาสตร์ กลศาสตร์และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน โดยสามารถแบ่งการศึกษาทางด้านกลศาสตร์ (Mechanics) แบ่งออกเป็น

1. สแตติคส์ (Statics) เป็นการศึกษาวัตถุหรือส่วนของร่างกายในสภาวะที่อยู่นิ่ง หรือ อยู่ในสภาวะที่สมดุล (Non-moving System)

2. ไดนามิคส์ (Dynamics) เป็นการศึกษาวัตถุหรือส่วนของร่างกายในสภาวะที่มีการเคลื่อนไหว (Motion system) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1 คิเนเมติคส์ (Kinematics) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของ วัตถุหรือร่างกาย โดยคำนึงถึงลักษณะและส่วนประกอบของการเคลื่อนไหวที่มีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว อัตราเร็ว อัตราเร่ง เวลา เป็นต้น โดยไม่เน้นเรื่อง แรง พลังงาน และโมเมนตั้ม เข้ามาเกี่ยวข้อง

2.2 คิเนติกส์ (Kinetics) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของวัตถุหรือ ร่างกาย โดยคำนึงถึงแรงที่มาทำให้เกิดการเคลื่อนไหว อาจเป็นแรงภายในกล้ามเนื้อ หรือแรง ภายนอกร่างกายก็ได้ โดยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางชีวกลศาสตร์จำเป็นต้อง อาศัยระบบระนาบ จินตนาการทั้งสี่แนวที่ผ่านร่างกายซึ่งอยู่ในท่ากายวิภาคศาสตร์มาตรฐานเส้นแบ่งครึ่งร่างกาย เส้นแบ่ง ครึ่งร่างกาย (Midline of body) คือ การลากเส้นแบ่งครึ่งร่างกายออกเป็นสองสวนซ้ายขวาเท่าๆ กัน โดยการลากเส้นตรงจากหนาผากมายังจมูก หน้าอก ลงมาจรดพื้น

โดยส่วนใหญ่การวิจัยที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของระบบหายใจ จะใช้เครื่องมือ spirometry ซึ่งได้รับความนิยมในการใช้ทดสอบระบบการทำงานของปอด ใช้วัดปริมาตหรืออัตราการไหลของอากาศ ในการหายใจเข้าและหายใจออก แต่เครื่องมือชนิดนี้ไม่สามารถระบุถึงการรูปแบบของการหายใจได้ หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาตรให้เฉพาะเจาะจงกับกลศาสตร์ของการหายใจได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการต่างๆเพื่อให้สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของทรวงอกขณะหายใจ ให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบการหายใจได้ละเอียดยิ่งขึ้น จึงได้มีการนำเทคโนโลยีทางชีวกลศาสตร์มาใช้เพื่อให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ดังกล่าว โดยการวิเคราะห์นี้อยู่บนพื้นฐานทางกายวิภาคศาสตร์ของปอดและกระบังลม โดยใช้วิธีการทางชีวกลศาสตร์ ด้วยการติดมาร์คเกอร์บนทรวงอกตามแนวทางของกายวิภาคศาสตร์ของผิวหนัง (Surface anatomy) ของแนวปอด ซี่โครงและกระบังลม เพื่อคำนวณหาปริมาตรทรวงอก Chest volume ; คำนวณจากคู่ลำดับของตำแหน่ง Marker ทั้ง 30 จุด บนพื้นฐานทางเรขาคณิตจากผลรวมของปริมาตรทรง 12 เหลี่ยมด้านไม่เท่า โดยปริมาตรทรวงอกที่คำนวณหาได้แก่ ความจุปอดแท้รวม (Total lung Capacity=TLC) ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าเต็มที่ (Inspiratory Capacity =IC) ปริมาตรหายใจปกติ (Tidal Volume=TV) ความจุปอดปกติ (Vital Capacity=VC) โดยแบ่งทรวงอกในการคำนวณออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ทรวงอกส่วนบน (Upper lung; UL) ทรวงอกส่วนล่าง (Lower lung; LL) ช่องท้องส่วนบน (Upper abdomen; UA) และ ช่องท้องส่วนล่าง (Lower abdomen; LA) โดยติดมาร์คเกอร์ตามจุดต่างๆดังนี้

ด้านข้างลำตัวทั้ง 2 ข้าง จำนวน 10 จุด ได้แก่

- ข้อต่อกระดูกหัวไหล่ (Acromioclavicular Joint)
- กระดูกซี่โครงที่ 4 (Rib 4: แนวเดียวกันกับ acomioclavicular joint)
- กระดูกซี่โครงที่ 10 (Rib 10: แนวเดียวกันกับ lateral 1/3 ของ clavicle)
- แนวกึ่งกลางระหว่าง rib 10 และ Anterior Superior Iliac Spine (ASIS)
- Anterior Superior Iliac Spine (ASIS)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กึ่งกลางลำตัว จำนวน 5จุด ได้แก่

- Jugular notch
- Xiphisternal joint
- Xiphoid Process
- Umbilicus
- จุดกึ่งกลางระหว่าง Umbilicus และ Pubic symphysis

ทางด้านหลัง (Posterior view)

ด้านข้างลำตัวทั้ง 2 ข้าง จำนวน 10 จุด ได้แก่

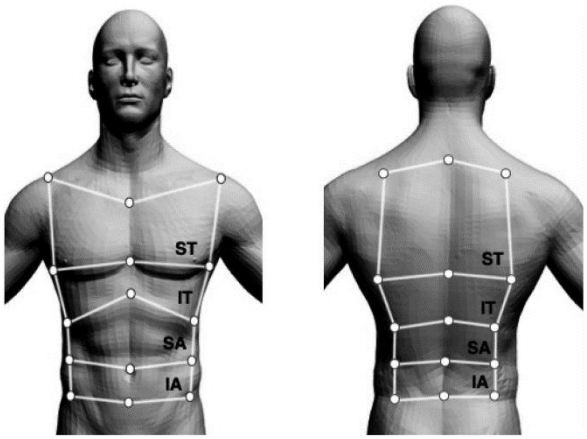
- Lateral 1/3 ของ spine of scapular
- Inferior angle of scapular
- Rib 10: แนวเดียวกันกับ lateral 1/3 ของ spine of scapular
- กึ่งกลางระหว่าง rib 10 และ Iliac crest
- Iliac crest: แนวเดียวกันกับ lateral 1/3 ของ spine of scapular

กึ่งกลางลำตัว จำนวน 5 จุด ได้แก่ spinous process ของกระดูกสันหลัง 5 ระดับ ดังนี้

- Thoracic spine ระดับ 1 (T1)
- Thoracic spine ระดับ 7 (T7)
- Thoracic spine ระดับ 10 (T10)
- Lumbar spine ระดับ 2 (L2)
- Lumbar spine ระดับ 4 (L4)

ดังแสดงในรูปที่6 (Sarro et al., 2008 ; Silvatti et al., 2012 ; ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 8 การแสดงภาพบริเวณลำตัวโดยใช้การกำหนดจุดตำแหน่งเพื่อคำนวณปริมาตรต่างๆของลำตัว หน้าอกส่วนบน, หน้าอกส่วนล่าง, ช่องท้องส่วนบน, ช่องท้องส่วนล่าง
ที่มา : (Silvatti et al., 2012)

4. วิเคราะห์การทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด

4.1 ส่วนประกอบของหัวใจและหลอดเลือด

จาการศึกษาของ สัญญา ร้อยสมมุติ (2555) ระบบหัวใจและหลอดเลือดประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ หัวใจ หลอดเลือด เลือด และระบบควบคุม (รูปที่ 9) โดยหลอดเลือด จะแบ่งเป็น 1. หลอดเลือดแดง 2.หลอดเลือดฝอย และ 3.หลอดเลือดดำ โดยภายในหลอดเลือดมีเลือดซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชนิดหนึ่ง และมีหัวใจ ทำหน้าที่ตัวขับเคลื่อนให้แก่การไหลเวียนของเลือด โดยทำหน้าที่สูบฉีดเลือด ให้ไหลเวียนผ่านหลอดเลือดแดงไปหลอดเลือดฝอยและไปสู่หลอดเลือดดำและกลับสู่หัวใจตามลำดับ ดังนั้น ถ้าหัวใจหยุดการทำงานลง การไหลเวียนเลือดก็จะหยุดด้วยเช่นกัน ดังนั้นโดยทั่วไปอาจจะกล่าวได้ว่า หลอดเลือดแดง และหลอดเลือดดำทำหน้าที่เชื่อมโยง หัวใจกับหลอดเลือดฝอย ซึ่งจะอยู่ภายในอวัยวะต่าง ๆ ทำให้หลอดเลือดฝอยเป็นบริเวณของระบบหัวใจและหลอดเลือด ที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนสารต่าง ๆ ระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อมากที่สุด

4.2 การไหลเวียนเลือดในมนุษย์

แบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ

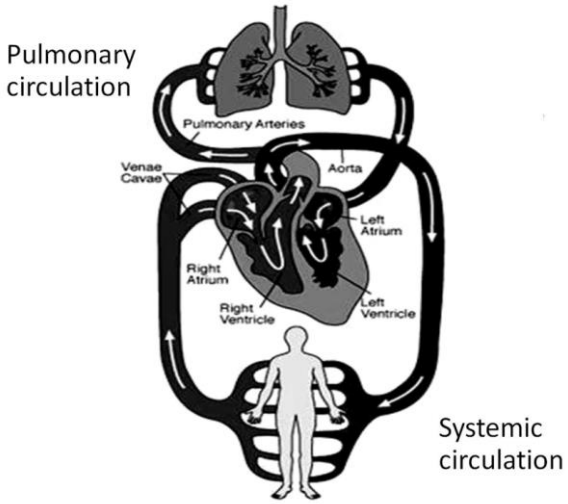
4.2.1 การไหลเวียนส่วนกาย (Systemic circulation)

เป็นการไหลเวียนเลือดที่เริ่มตั้งแต่หัวใจห้องล่างซ้ายบีบเลือดออกสู่เอออร์ตา (Aorta) แล้วไหลไปตามหลอดเลือดแดงขนาดต่าง ๆ ผ่านหลอดเลือดฝอยในอวัยวะต่างๆไปสู่หลอดเลือดดำ และไปสิ้นสุดที่หัวใจห้องบนขวา โดยการไหลเวียนส่วนนี้มีความสำคัญมากที่สุดของระบบ

หัวใจและหลอดเลือด และมีการทำงานและการควบคุมที่ได้ศึกษากันอบ่าง ความดันเลือดและความต้านทานของหลอดเลือดแดงเล็กในระบบนี้ โดยเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดการไหลของเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่าง

4.2.2 การไหลเวียนส่วนปอด (Pulmonary circulation)

เป็นการไหลเวียนเลือดที่เริ่มจากหัวใจห้องล่างขวาบีบเลือดผ่านหลอดเลือดแดงพัลโมนารี (Pulmonary artery) ไปปอด ผ่านหลอดเลือดฝอยที่ปอด หลอดเลือดดำที่ปอด และไปสิ้นสุดหัวใจห้องบนซ้าย อัตราการไหลของเลือดที่ผ่านในส่วนนี้ในเวลาหนึ่งๆ มีค่าเท่ากับการไหลเวียนส่วนกาย การไหลเวียนของเลือดผ่านปอดมีเป้าหมายเพื่อการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างเลือดกับอากาศในถุงลม โดยทั่วไปการไหลเวียนของเลือดผ่านปอดขึ้นกับการทำงานของหัวใจทั้งด้านซ้ายและด้านขวา โดยความดันเลือดและความต้านทานในระบบนี้มีค่าน้อยกว่าการไหลเวียนส่วนกายอย่างมาก



Chulalongkorn University

รูปที่ 9 โครงสร้างของระบบหัวใจและหลอดเลือดในคนปกติ ประกอบด้วยระบบไหลเวียนส่วนปอด (Pulmonary circulation) และระบบไหลเวียนส่วนกาย (Systemic circulation) ที่เชื่อมโยงกัน
ที่มา : (สัญญา ร้อยสมมุติ, 2555)

4.3 หน้าที่ของระบบหัวใจร่วมหลอดเลือด

หน้าที่หลักของระบบหัวใจและหลอดเลือด คือ การขนส่ง เป็นการขนส่งสารจากอวัยวะหนึ่งไปยังอีกอวัยวะหนึ่ง เพื่อการใช้ การทำลาย การออกฤทธิ์ และอื่นๆ อย่างเหมาะสมกับกระบวนการนั้นๆ เช่น นำสารอาหารจากตับและระบบทางเดินอาหารไปยังอวัยวะอื่นๆ เช่น สมอง และกล้ามเนื้อ เป็นต้น และนำของเสียจากอวัยวะต่างๆไปกำจัดที่ ปอด ดับ และไต เป็นต้น โดยปกติเป้าหมายการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดคือ ต้องการให้เลือดไหลไปยังอวัยวะต่างๆ อย่างเหมาะสมตามความต้องการและความสำคัญของอวัยวะนั้นๆ เช่น ในขณะออกกำลังกาย กล้ามเนื้อจะมีความ

ต้องการพลังงานและมีของเสียที่ต้องกำจัดมากขึ้น เลือดก็จะไหลไปยังส่วนไปยังกล้ามเนื้อที่ทำงานนั้นให้มากขึ้น เพื่อนำสารอาหารไปยังกล้ามเนื้อนั้นและพาของเสียออกไปกำจัดยังอวัยวะที่เหมาะสม อวัยวะบางอย่าง เช่น สมอง มีอัตราการใช้พลังงานที่ค่อนข้างคงที่ อัตราการไหลของเลือดไปยังอวัยวะเหล่านี้ก็จะค่อนข้างคงที่ด้วยเช่นกัน ในกรณีที่เกิดการเสียเลือดที่ไปรุนแรง เลือดก็จะไหลไปเลี้ยงอวัยวะอื่นๆลดลง เช่น กล้ามเนื้อลาย อวัยวะช่องท้อง และไต แต่สมองยังคงได้รับเลือดเพียงพอ รวมทั้งหัวใจด้วย โดยลักษณะแบบนี้เหมาะสมกับคุณสมบัติที่สมองและหัวใจนั้นมีต่อความสำคัญต่อการดำรงชีวิตมาก เนื่องจากอัตราการไหลของเลือดต้องมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเหมาะสม จึงทำให้ระบบหัวใจและหลอดเลือดไม่ได้ควบคุมอัตราการไหลของเลือดส่วนกายทั้งหมดโดยตรง แต่ควบคุมความดันเลือดภายในหลอดเลือดแดงให้คงที่ไว้ที่ค่าหนึ่ง เพื่อผลักดันให้เลือดไหลไปยังอวัยวะต่างๆได้ ส่วนอัตราการไหลผ่านอวัยวะต่างๆ นั้น จะถูกควบคุมด้วยการเปลี่ยนขนาดของหลอดเลือดแดงเล็กในแต่ละอวัยวะอีกทอดหนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ขึ้นกับทั้งระบบประสาท ฮอร์โมน และการทำงานของอวัยวะเอง (Autoregulation) การทำงานของระบบประสาท และฮอร์โมนเป็นกระบวนการหลักที่ร่างกายใช้ควบคุมความดันเลือดให้คงที่อยู่ค่าหนึ่งในภาวะเฉียบพลัน ส่วนไตมีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมความดันเลือดในระยะยาว

4.4 การทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary Exercise Testing; CPET)

เป็นการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายโดยการทดสอบจะมีทั้งการวิ่งบนลู่วิ่งหรือปั่นจักรยานพร้อมกับการใส่หน้ากากเพื่อดูอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สและมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการเต้นของหัวใจโดยวิ่งที่การวิ่งบนลู่วิ่งนั้นจะมีความได้เปรียบในการวัดค่าที่มากกว่า 5-10% เพราะเป็นวิธีการที่รูปแบบการเคลื่อนไหวในการทดสอบนั้นใกล้เคียงกับรูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐานในการเดินหรือวิ่งมากที่สุดส่วนการปั่นจักรยานจะเหมาะกับผู้ป่วยมากกว่าเพราะมีความปลอดภัยมากกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Table 1 Exercise equipment: cycle ergometry vs treadmill

Variable	Cycle	Treadmill
Peak oxygen content (PVO_2)	Lower	Higher
Work rate measurement	Yes	No
Blood gas collection	Easier	More difficult
Noise and artefacts	Less	More
Safety	Safer	Less safe?
Weight bearing in obese subjects	Less	More
Degree of leg muscle training	Less	More
More appropriate for	Patients	Active normal subjects

Adapted from ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing.[1]

รูปที่ 10 รูปภาพแสดงข้อได้เปรียบเสียเปรียบในการทำการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือดด้วยวิธีการต่าง ๆ
ที่มา : (Albouaini et al., 2007)

โดยจะเริ่มการทดสอบด้วยการให้ผู้เข้าทดสอบเข้ามานั่งพักและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆแล้วจึงค่อยเริ่มการทดสอบโดยให้ผู้เข้าร่วมทดสอบเริ่มออกกำลังกายตามความหนักที่กำหนดหรือตามที่ผู้เข้าทดสอบวิ่งอยู่เป็นประจำหลังจากนั้นจึงเพิ่มความหนักขึ้นเรื่อยๆตามเวลาที่กำหนดโดยจะเพิ่มเท่ากันทุกๆครั้งและให้ผู้เข้าร่วมทดสอบออกกำลังกายต่อเนื่องจนไม่สามารถทำได้ต่อไปจึงจะนำค่าการแลกเปลี่ยนแก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max)เพื่อใช้ประเมินความสามารถในการออกกำลังกายในผู้ป่วยหรือเพื่อประเมินสมรรถภาพในการออกกำลังกายและวางแผนการฝึกซ้อมในนักกีฬา (Albouaini et al., 2007 ; Engeroff et al., 2016 ; Thomas, 2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก หรือการออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน เป็นการออกกำลังกายที่ใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่และสามารถคงไว้ซึ่งความต่อเนื่องไว้ได้ในระยะเวลาหนึ่ง โดยอาศัยออกซิเจนในการเผาผลาญพลังงาน ให้เป็นพลังงานในรูปของเอทีพี จากกรดอะมิโน (Amino acid) คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) กรดไขมัน (Fatty acid) ซึ่งการทำกิจกรรมในลักษณะนี้จะก่อให้เกิดความสามารถของการใช้ออกซิเจนในกระบวนการสร้างพลังงานมากขึ้น หรือ แอโรบิก คาร์ปาซิตี้ (Aerobic capacity) รวมไปถึงความสามรถในการสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย หรือ คาร์ดิโอเรสไพราทอรี่ (Cadiorespiratory) และความสามารถในการนำออกซิเจนไปใช้ของกล้ามเนื้อต่างต่าง ๆ ซึ่งการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ได้แก่ ว่ายน้ำ วิ่งระยะไกล เต้นรำ ปีนเขา เป็นต้น โดยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ Pescatello (2014) แนะนำ จะอยู่ที่ระดับ 64%/76% - 96% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด หรือ 40% - 60% ในการออกกำลังความหนักปานกลาง (Moderate

exercise) 60% - 90% ในการออกกำลังกายความหนักสูง (Vigorous exercise) และมากกว่า 90% ในความหนักสูงสุด (Near maximal exercise) ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Patel et al., 2017 ; Rivera-Brown & Frontera, 2012 ; Pescatello et al, 2014)

6. การออกกำลังกายในภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric hypoxic environment)

การออกกำลังกายในภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric hypoxic environment) คือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความกดดันบรรยากาศปกติ (Normobaric Hypoxic Training) หรือการฝึกในสภาวะจำลองออกซิเจนต่ำ (Simulated hypoxic training) ซึ่งเป็นวิธีการฝึกที่นิยมนำมาใช้มากขึ้นในปัจจุบัน โดยเป็นการทำให้ปริมาณออกซิเจนในอากาศลดลงจากปกติซึ่งจะมีอัตราส่วนอยู่ที่ 20.93% ของอากาศทั้งหมด โดยที่ความดันบรรยากาศยังคงอยู่ในระดับปกติที่ 760 มิลลิเมตรปรอท โดยระดับออกซิเจนที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดในการฝึกซ้อมจากการศึกษาพบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ 15-14.5% เป็นระดับปริมาณออกซิเจนที่ช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพจากการฝึกมากที่สุดโดยฝึกตั้งแต่ 4วันต่อสัปดาห์ 3-4 สัปดาห์ ขึ้นไป (Wortman, 2012 ; Park et al., 2016 ; Ponsot et al., 2006 ; Dufour et al., 2006 ; Czuba et al., 2018 ; Seitz, 2020) ซึ่งการลดลงของปริมาณออกซิเจนในอากาศจะส่งผลให้ความเครียดทางสรีระวิทยาของภาวะขาดออกซิเจนในระหว่างนักกีฬาฝึกซ้อมเพิ่มขึ้น หายใจขณะออกกำลังกายได้ยากขึ้น ทำให้ความหนักในการออกกกำลังกายนั้นเพิ่มขึ้น โดยการตอบสนองต่อภาวะออกซิเจนต่ำนั้น เกิดขึ้นได้หลายวิธี

การตอบสนองโดยฉับพลัน (Immediate response to altitude)

1. การขยายทรวงอกขณะหายใจเปลี่ยนแปลง (Chest expansion during breathing)
2. การระบายอากาศเพิ่มขึ้น (Hyperventilation)
3. ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2)

การปรับตัวระยะยาวต่อการอยู่ที่สูง (Long-term adjustment to altitude)

1. การปรับสมดุลกรดด่าง ร่างกายจะมีการขับน้ำออกมาเพิ่มขึ้นเพราะเกิดจากการปรับตัวของไตในการขับ CO_2 ในรูปของ HCO_3
2. การเปลี่ยนแปลงทางเลือด โดยมีการสร้างเม็ดเลือดแดงและฮีโมโกลบินรวมไปถึงมีการเพิ่มเพิ่มของเส้นเลือดฝอย (Capillary) ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการนำออกซิเจน
3. การปรับตัวของเซลล์ โดยมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนไมโตคอนเดรียภายในเซลล์เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มศักยภาพในการสังเคราะห์พลังงานจากออกซิเจนให้ได้มากขึ้น

(ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560; Wilber, 2011; Parker, 2004; Powell and Garcia, 2000; Limmer and Platen, 2018)

การปรับตัวจากการออกกำลังกาย (Effect of altitude/hypoxic training)

1. สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) มีการเปลี่ยนแปลงไปทิศทางที่ดีขึ้นเมื่อมีการฝึกออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำทั้งในพื้นที่สูงและในการจำลองสภาวะออกซิเจนความดันบรรยากาศปกติ

2. การเปลี่ยนแปลงทางเลือด โดยมีการสร้างเม็ดเลือดแดงและฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้น รวมไปถึงกระตุ้นฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน (Erythropoietin) ซึ่งมีส่วนสำคัญในการกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดงและระดับของฮีโมโกลบิน (Wortman, 2012 ; Park et al., 2016 ; Ponsot et al., 2006 ; Dufour et al., 2006 ; Czuba et al., 2018 ; Seitz, 2020)

7. รูปแบบการฝึกเพื่อพัฒนาศักยภาพทางระบบพลังงานแอโรบิก

รูปแบบการฝึกเพื่อพัฒนาศักยภาพทางระบบพลังงานแอโรบิกนั้นมีหลากหลายรูปแบบโดยระดับความหนักที่ Pescatello (2014) แนะนำจะอยู่ที่ 300 นาทีต่อสัปดาห์ ที่ระดับความหนักปานกลางหรือ 64-77% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดหรือ 40-60% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรองและแนะนำอยู่ที่ 150 นาทีต่อสัปดาห์ในระดับความหนักสูงหรือ 77-94% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด หรือ 60-85% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง โดยนอกเหนือจากหัวใจและ*ระบบไหลเวียนโลหิต*แล้วที่เป็นผลโดยตรงแล้วนั้นการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ยังส่งผลต่อการกระตุ้นระบบหายใจเนื่องจากเป็นระบบที่อาศัยการทำงานร่วมกัน โดยระบบหายใจจะนำออกซิเจนไปสู่เลือดหรือ *ระบบไหลเวียนโลหิต* และ*ระบบไหลเวียนโลหิต*จะขนส่งออกซิเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ดังนั้นระบบหายใจไหลเวียนโลหิตจะต้องทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทั้งระบบเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานของระบบหายใจไหลเวียนโลหิต (Rivera-Brown & Frontera, 2012 ; Pescatello et al, 2014 ; ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560)

โดยในนักกีฬารักบี้ฟุตบอลนั้นความหนักที่เหมาะสมในการฝึกคือในระดับอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดเกมอยู่ที่ 154.9 ครั้ง/นาที (Blair et al., 2018) หรือประมาณ 60-85% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง ซึ่ง (Gormley et al., 2008) ได้กล่าวว่า การออกกำลังนั้นมีหลากหลายรูปแบบ แต่จากการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น จะแนะนำจากการกำหนดที่ความหนักของการออกกำลังกาย โดยจะมีประมาณ 3 ช่วงคือ

1. ความหนักปานกลาง (Moderate) (40-60% HRR)
2. ความหนักสูง (Vigorous) (60-85% HRR)
3. ความหนักที่ใกล้กับความสามารถสูงสุด (Near-Maximal) (More than 85%HRR)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยการออกกำลังกายทั้ง3รูปแบบนั้นให้ผลในการพัฒนาความสามารถทางระบบพลังงานแอโรบิกอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำต่อเนื่องเป็นเวลา 6 อาทิตย์ และกำหนดให้ มีจำนวนการฝึกซ้อมทางแอโรบิกเท่ากัน หรือ เอทียู (ATU) ซึ่งหาได้จากการนำ ความหนัก (Intensity) x ระยะเวลาในการทำแต่ละครั้ง (Duration) x ความถี่ต่อสัปดาห์ (Frequency) โดยกำหนดตารางการฝึกดังในรูปที่ 11 (Gormley et al., 2008)

TABLE 1. Six-week training program.

	Moderate Group	Vigorous Group	Near-Maximal Group
Week 1	50% HRR	50% HRR	50% HRR
	30 min	30 min	30 min
	3 d	3 d	3 d
	45 ATU	45 ATU	45 ATU
Week 2	50% HRR	75% HRR	75% HRR
	45 min	40 min	40 min
	4 d	3 d	3 d
	90 ATU	90 ATU	90 ATU
Weeks 3–6	50% HRR	75% HRR	5 min 75% HRR
	60 min	40 min	5 × (5 min 90–100%; 5 min 50%)
	4 d	4 d	3 d
	120 ATU	120 ATU	120 ATU

ATU = intensity (%HRR or %$\dot{V}O_2R$) × duration × frequency; equivalent to energy expenditure of *X* number of minutes per week spent at $\dot{V}O_{2max}$.

รูปที่ 11 ตารางการออกกำลังกายในแต่ละช่วงความหนัก

ที่มา : (Gormley et al., 2008)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8. ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพของปอดและสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักกีฬารักบี้

8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพของปอดและสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

การฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นจะก่อให้เกิดการพัฒนาปัจจัยด้านต่างๆของสมรรถของปอด โดยจากการศึกษาพบว่าในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกตินั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขยายปริมาตรภายในช่องอกขณะหายใจ โดย ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช (2560) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรทรวงอกทั้ง 4 ส่วน ได้แก่ ทรวงอกส่วนบน (Superior Thoracic; ST) ทรวงอกส่วนล่าง (Inferior Thoracic; IT) ช่องท้องส่วนบน (Superior abdomen; SA) และ ช่องท้องส่วนล่าง (Inferior abdomen; IA) พบว่า หลังออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติทันที ความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC)

ของ IT, SA และ IA มีปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาตรความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity; IC) พบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของส่วน IA ในขณะที่กลุ่มที่ออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะค่า IC ของส่วน ST ซึ่งแสดงว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติส่งผลให้มีการเปลี่ยนรูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจ โดยมีการขยายทรวงอกส่วนล่าง และช่องท้องเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงความสามารถในการดึงอากาศเข้าสู่ปอดได้ลึกขึ้น มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีการศึกษาอีกว่าในกลุ่มของนักกีฬาที่มีการออกกกำลังกายแบบแอโรบิกจะส่งผลให้ปริมาตรของความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC), ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็ว แรง จนหมด หลังจากหายใจเข้าอย่างเต็มที่ (Forced Vital Capacity; FVC), ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second; FEV_1), ร้อยละของปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้ในวินาทีที่ 1 ต่อปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้มากที่สุดอย่างเร็วแรง (FEV_1/FVC) และในส่วนของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) ก็มีค่าที่มากกว่ากลุ่มนักกีฬาที่ไม่ได้ออกกำลังกายแบบแอโรบิกหรือในกลุ่มบุคคลที่ไม่ได้มีพฤติกรรมการออกกำลังกาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาของปัจจัยต่าง ๆ ทางสมรรถภาพของปอดโดยจะพัฒนาไปในทิศทางเดียวกันซึ่งเป็นการพัฒนาที่มีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Lazovic-Popovic et al., 2016 ; ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช, 2560) และยังได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในกลุ่มบุคคลทั่วไปที่มีสุขภาพดีและผู้สูงอายุว่าปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second: FEV_1) และความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC) นั้นมีความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Erlend Hassel, 2015; Øystein Rasch-Halvorsen, 2019; Seyyed Reza Attarzadeh Hosseini, 2016) ซึ่งเป็นสมรรถภาพที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬาของนักกีฬา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

8.2 ความสำคัญของสมรรถภาพของปอดและสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักกีฬารักบี้

จากการศึกษาของ Claro & Bompa (2009) พบว่ากีฬารักบี้นั้นมีอัตาราส่วนการใช้พลังงานเป็นระบบแอโรบิกถึง 60% ดังนั้นสมรรถภาพที่สำคัญเป็นอย่างมากต่อกีฬารักบี้คือสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) ซึ่งมีการศึกษาว่าปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลทำให้สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นได้นั้นคือการเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพของปอด โดยการออกกกำลังกายแบบแอโรบิกจะส่งผลให้ปริมาตรของความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC), ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็ว แรง จนหมด หลังจากหายใจเข้าอย่างเต็มที่ (Forced Vital Capacity; FVC), ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second; FEV1), ร้อยละของปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้ในวินาทีที่ 1 ต่อ

ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้มากที่สุดอย่างเร็วแรง (FEV1/FVC) และในส่วนของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) มีค่ามากขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาของปัจจัยต่าง ๆ ทางสมรรถภาพของปอดโดยจะพัฒนาไปในทิศทางเดียวกันซึ่งเป็นการพัฒนาที่มีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Lazovic-Popovic et al., 2016) และยังได้มีการศึกษาอีกว่าปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second: FEV1) และความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC) นั้นมีความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Erlend Hassel, 2015; Øystein Rasch-Halvorsen, 2019; Seyyed Reza Attarzadeh Hosseini, 2016) ซึ่งเป็นสมรรถภาพที่สำคัญในการเล่นกีฬารักบี้

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศและต่างประเทศ

9.1 งานวิจัยในประเทศ

ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช (2560) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลฉับพลันของการออกกกำลังแบบแอโรบิกระหว่างปริมาณออกซิเจนปกติและปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อชีวกลศาสตร์ของการขยายทรวงอกขณะหายใจโดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นิสิตชาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18-21 ปี ที่สุขภาพดี จำนวน 14 คน โดยจะสุ่มลำดับรูปแบบการออกกำลังกาย ระหว่างออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติ และสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ออกกำลังกายโดยการให้ผู้เข้าทดสอบวิ่งบนลู่กล ปรับความเร็วลู่กลสูงสุดเท่าที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยวิ่งจนกระทั่งรักษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจขึ้นถึงระดับ 40-60% ของชีพจรเป้าหมาย คำนวณจากอัตราการเต้นหัวใจสำรอง และให้ออกกำลังกายที่ระดับความหนักนั้นเป็นเวลา 15 นาที เมื่อระดับอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเกินระดับ 40-60% ของชีพจรเป้าหมาย ก็จะลดระดับความหนักของการออกกกำลังกายลงให้อยู่ในระดับอัตราการเต้นของหัวใจที่กำหนด หลังจากครบ 15 นาที ให้ผู้เข้าร่วมทดสอบนั่งเพื่อวิเคราะห์การขยายทรวงอก และกลับมาทดสอบครั้งต่อไป โดยเว้นระยะเวลา 5 วัน เพื่อเลี่ยงผลการเก็บข้อมูลครั้งแรกซึ่งเก็บข้อมูลด้วยการตั้งกล้องเพื่อจับมาร์เกอร์และติดมาร์คเกอร์บนตัวผู้เข้าร่วมทดสอบตามจุดต่างๆเพื่อคำนวณหาปริมาตรทรวงอก Chest volume ; คำนวณจากคู่ลำดับของตำแหน่ง Marker ทั้ง 30จุด บนพื้นฐานทางเรขาคณิตจากผลรวมของปริมาตรทรง 12 เหลี่ยมด้านไม่เท่า โดยปริมาตรทรวงอกที่หาได้แก่ ความจุปอดแท้รวม (Total lung Capacity=TLC) ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าเต็มที่ (Inspiratory Capacity =IC) ปริมาตรหายใจปกติ (Tidal Volume=TV) ความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity=VC) โดยแบ่งคำนวณออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ทรวงอกส่วนบน (Superior Thoracic; ST) ทรวงอกส่วนล่าง (Inferior Thoracic; IT) ช่องท้องส่วนบน (Superior abdomen; SA) และ ช่องท้องส่วนล่าง (Inferior

abdomen; IA) โดยหลังจากผู้เข้าร่วมทดสอบ ทดสอบครบทั้ง 2 กลุ่ม นำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาตรทรวงอก และวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป_ผลการวิจัย ปริมาณออกซิเจน 15% ความดันบรรยากาศปกติสามารถกระตุ้นให้ร่างกายตอบสนองต่อการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ระดับ 40-60% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง โดยมีรูปแบบการขยายทรวงอกที่เพิ่มปริมาตรของทรวงอกส่วนล่าง ช่องท้องส่วนบน และ ช่องท้องส่วนล่าง ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อพิจารณาโดยเฉพาะช่วงหายใจเข้าพบว่า เมื่อออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในสภาวะ ออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ พบว่ามีการหายใจเข้าลึกไปยังช่องท้องส่วนล่างมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

9.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

Gormley et al. (2008) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการฝึกออกกำลังแบบแอโรบิกด้วยความหนักต่างๆที่แตกต่างกัน ในกลุ่มคนทั่วไปสุขภาพดีอายุ 18-31 ปี จำนวน 61 คน โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ไม่ได้รับการฝึกการออกกำลังกาย กลุ่มที่ 2 ฝึกการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ที่ความหนักปานกลาง ความหนักที่ 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง กลุ่มที่ 3 ฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิก ที่ความหนักมาก ความหนักที่ 75% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง กลุ่มที่4 ฝึกออกกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักสูงสุด ความหนักที่ 95% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง โดยมีโปรแกรมการฝึกดังนี้ กลุ่มที่ 1 ไม่ต้องเข้ารับการฝึกใดใด กลุ่มที่ 2 ฝึกที่ความหนัก 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง 30 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 1 และ 45นาที 4 วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 2 และ 60 นาที 4 วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 3-6 กลุ่มที่ 3 ฝึกที่ความหนัก 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง 30 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 1 และ ฝึกที่ความหนัก 75% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง 40 นาที 3วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 2 และ ฝึกที่ความหนัก 75% 40นาที 4วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 3-6 กลุ่มที่ 4 ฝึกที่ความหนัก 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง 30 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 1 และ ฝึกที่ความหนัก 75% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง 40นาที 3 วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่2 และ ฝึกที่ความหนัก 75% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง 5 นาที และฝึก 5 รอบรอบละ 5 นาที ที่ความหนัก 95% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง สลับกับ 5นาที ที่ความหนัก 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง 3 วันต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 3-6 ผลการศึกษาพบว่า ในกลุ่มที่ 2 ที่ 3 ที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) มากกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ โดย Gormley et al. (2008) ยังได้สรุปอีกว่า การออกกำลังกายในแบบที่ 3 นั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ 2 และการออกกำลังกายในแบบที่ 4 นั้นมีการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ 4

Park et al. (2016) ได้ศึกษาวิธีการทางสถิติเพื่อใช้เปรียบเทียบและรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆของผลการฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำที่มีผลต่อการขนส่งออกซิเจนของเลือดและสมรรถภาพทางการออกกำลังกายแบบแอโรบิก โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบได้แก่ 1. Live low train

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

high; LLTH 2. Live high train high; LHTH 3. Live high train low; LHTL ซึ่งจะนำผลการวิจัยจากรูปแบบต่างๆมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ทางสถิติ ผลการศึกษาเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มที่มีรูปแบบการฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำนั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญต่อองค์ประกอบของประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนของเลือดและสมรรถภาพทางการออกกำลังกายแบบแอโรบิกจากกลุ่มที่มีรูปแบบการฝึกในระดับน้ำทะเลหรือในสภาวะออกซิเจนปกติ

Lazovic-Popovic et al. (2016) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจากรูปแบบการทำงานของปอดกับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption; VO2max) ในนักกีฬาเยาวชน โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 45 คน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน

1. กลุ่มนักกีฬาแบบใช้พลังงานแอโรบิก (ฟุตบอล)
2. กลุ่มนักกีฬาแบบใช้พลังงานแอนแอโรบิก (คาราเต้)
3. กลุ่มที่ไม่ได้มีพฤติกรรมการออกกำลังกาย

ทำการทดลองโดยการทดสอบบนลู่วิ่งเพื่อหาสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) และวิธีสไปโรเมตรีย์ (Spirometry) เพื่อหาปริมาตรของความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC), ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็ว แรง จนหมด หลังจากหายใจเข้าอย่างเต็มที่ (Forced Vital Capacity: FVC), ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second: FEV_1), ร้อยละของปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้ในวินาทีที่ 1 ต่อปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้มากที่สุดอย่างเร็วแรง (FEV_1/FVC), อัตราการไหลของอากาศหายใจออกสูงที่สุด (Peak expiratory flow: PEF) ผลการศึกษาพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในปริมาตรของ VC, FVC, FEV_1, FEV_1/FVC ระหว่างกลุ่มที่ 1 กับ กลุ่มที่ 3 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในปริมาตรของ FEV_1, FEV_1/FVC and PEF ระหว่างกลุ่มที่ 2 กับ กลุ่มที่ 3 และในส่วนของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด กลุ่มที่ 1 มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ

Hassel et al. (2015) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการทำงานของปอดกับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในผู้สูงอายุ โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 1443 คน แบ่งออกเป็น ชาย 729 คน หญิง 714 คน อายุระหว่าง 69-77 ปี ทำการทดสอบหาสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max)โดยการทดสอบบนลู่วิ่งหรือการปั่นจักรยาน (cycle ergometer) ในคนที่การทรงตัวไม่ดีหรือมีปัญหาอื่นๆจนไม่สามารถทดสอบด้วยลู่วิ่งได้ และใช้วิธีสไปโรเมตรีย์ (Spirometry) เพื่อหาปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second: FEV_1) และ ใช้วิธี single breath-method เพื่อหาปริมาตรการแพร่ของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ((Diffusion Capacity of Carbon monoxide; DLCO) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Expiratory Volume in one second: FEV_1) ในทั้งสองเพศ และปริมาตรการแพร่ของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ((Diffusion Capacity of Carbon monoxide; DLCO) ในเพศชายนั้น มีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

Attarzadeh et al. (2016) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการทำงานของปอดกับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption; VO2max) ในนักเรียนชาย โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 80 คน อายุระหว่าง 20-25 ปี ทำการทดสอบโดย 1. การวัดขนาดของร่างกาย ได้แก่ ค่า น้ำหนัก, ส่วนสูง, อัตราส่วนของรอบเอวต่อรอบสะโพก (Waist-Hip ratio), มวลไขมัน (Fat Mass; FM), มวลกล้ามเนื้อ (Muscle Mass; MM), และปริมาตรน้ำทั้งหมดในร่างกาย (Total Body Water; TBW) 2. การวัดขนาดรอบอก ทำโดยการวางปลายทั้งสองด้านของ sliding caliper บนกระดูกซี่โครงซี่ที่ 2 หรือ 3 สูงจากบริเวณส่วนที่ใหญ่ที่สุดของหน้าอก 2.5 เซนติเมตร ในบริเวณใต้วงแขนหลังจากหายใจออก และวัดแนวลึกของหน้าอกโดยการวางปลายด้านหนึ่งของ sliding caliper ลงบนปลายแหลมของกระดูกสเตอนัม (Sternum) และอีกด้านที่กระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 ในขณะหายใจออก 3. การหาสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดทำโดยวิธีการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary Exercise Testing; CPET) ด้วยลู่วิ่ง โดยเริ่มจากความเร็วที่ 2.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 10% และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกว่าผู้เข้าร่วมทดสอบจะเหนื่อยจนไม่สามารถทำต่อได้ ผลการศึกษาพบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาตรของความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC) กับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

Rasch-Halvorsen al. (2019) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจากรูปแบบการทำงานของปอดกับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max)ในบุคคลทั่วไปที่มีสุขภาพดี โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 741 คน แบ่งเป็น ชาย 359 คน หญิง 382 คน มีอายุระหว่าง 20-77 ปี ซึ่งในการทำทดสอบจะมีการแบ่งระหว่างกลุ่มที่มีอายุน้อยกว่า 45 ปี และกลุ่มที่มีอายุมากกว่า 45 ปี ทำการทดสอบโดยการหาปริมาตรจากรูปแบบการทำงานของปอดด้วยวิธีสไปโรเมตรีย์ (Spirometry) เพื่อหาปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second: FEV_1) และหาสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยวิธีการ ทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary Exercise Testing; CPET) ด้วยลู่วิ่ง ผลการศึกษาพบว่า ปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume in one second: FEV_1) กับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนมีความสัมพันธ์ที่น่าเชื่อถือในทั้งเพศชาย และเพศหญิง และในกลุ่มที่มีอายุน้อยกว่า 45 ปี และมากกว่า 45 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

Wortman (2011) ได้ศึกษาวิธีการทางสถิติเพื่อใช้เปรียบเทียบและรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆเพื่อวิเคราะห์ผลของรูปแบบการฝึกต่างๆในการอาศัยในสภาวะออกซิเจนปกติและฝึกออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำ(Live Low Train High; LLTH) ซึ่งจะนำผลการวิจัยจากรูปแบบต่างๆมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่า การอาศัยในพื้นที่ปกติและฝึกออกกำลังกายในพื้นที่สูง(Live Low Train High; LLTH)นั้นสามารถเพิ่มสมรรถภาพในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกได้โดยระดับความสูงอยู่ที่ 2500-3000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ฝึกประมาน 15 วัน โดยฝึกประมาน 97 นาทีต่อวัน 6 วันต่อสัปดาห์ ความหนักที่ 60-65% ของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max)

Dufour et al. (2006) ความสัมพันธ์ระหว่างการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับสมรรถภาพในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในนักกีฬาวิ่งระยะไกล โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเป็นนักกีฬาชาย 18 คน แบ่งออกเป็นกลุ่มออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ 9 คน กลุ่มควบคุม 9 คน ทำการทดสอบก่อนและหลังโดยการวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill Incremental Exercise Test: IET) โดยความเร็วเริ่มต้นอยู่ที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 0% และเพิ่มความเร็ว 1กิโลเมตรต่อชั่วโมงทุกๆ2นาทีเพื่อทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) โปรแกรมการออกกำลังกายทำทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ โดยผู้เข้าทดสอบยังคงออกกำลังกายตามโปรแกรมปกติของตนเองและเสริมด้วยการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในกลุ่มทดสอบเป็นจำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยออกกำลังกายในความหนักของอัตราการเต้นหัวใจอยู่ที่จุด Ventilation threshold โดยมีระดับออกซิเจนอยู่ที่ 14.5% ผลการศึกษาพบว่า ในกลุ่มที่ฝึกซ้อมเพิ่มเติมด้วยการออกกำลังในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีการพัฒนาของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญแต่ไม่พบความเปลี่ยนงเกี่ยวการขนส่งออกซิเจนของเลือด

Ponsot et al. (2006) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับการเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติในไมโตคอนเดรียในกล้ามเนื้อลายในนักกีฬาวิ่งระยะไกลโดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเป็นนักกีฬาชาย 18 คน แบ่งออกเป็น2 กลุ่ม 1.ออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ 9 คน 2. กลุ่มควบคุม 9 คน ทำการทดสอบก่อนและหลังโดยการวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill Incremental Exercise Test: IET) โดยความเร็วเริ่มต้นอยู่ที่ 10กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความชัน 0% และเพิ่มความเร็ว 1กิโลเมตรต่อชั่วโมงทุกๆ 2 นาทีเพื่อทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) โดยมีโปรแกรมการออกกำลังกายทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ โดยผู้เข้าทดสอบยังคงออกกำลังกายตามโปรแกรมปกติของตนเองและเสริมด้วยการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในกลุ่มทดสอบเป็นจำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยออกกำลังกายในความหนักของอัตรา

การเต้นหัวใจอยู่ที่จุด Ventilation threshold โดยมีระดับออกซิเจนอยู่ที่ 14.5% ผลการศึกษาพบว่าในกลุ่มที่ฝึกซ้อมเพิ่มเติมด้วยการออกกำลังในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีการพัฒนาของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญแต่ไม่พบการเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติในไมโตคอนเดรียในกล้ามเนื้อลายอย่างมีนัยสำคัญ

Czuba et al. (2018) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับการอาศัยในสภาวะออกซิเจนต่ำและฝึกออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติเพื่อดูผลของสมรรถภาพในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในรักกีฬาปั่นจักรยานในสภาวะ ออกซิเจนปกติปกติโดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 30 คน แบ่งออกเป็นสามกลุ่ม 1. ออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ 2.อาศัยในสภาวะออกซิเจนต่ำและฝึกออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติ โดยมีระดับออกซิเจนในสภาวะออกซิเจนต่ำอยู่ที่ 16.3% ในทั้งสองกลุ่ม 3. กลุ่มควบคุม โดยทำการทดสอบก่อนและหลังโดยวิธีการ Cycle ergometer เพื่อทดสอบสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max) โดยมีโปรแกรมการออกกำลังกายทั้งสิ้น 4 สัปดาห์แบ่งเป็น ฝึกออกกำลังกาย 3 สัปดาห์ และฟื้นฟูร่างกาย 1 สัปดาห์ โดยออกกำลังกายครั้งละ 30 นาที ในสัปดาห์ที่หนึ่ง และ 35 นาทีในสัปดาห์ที่สอง และ 40 นาทีในสัปดาห์ที่สาม ความหนักอยู่ที่ 65-70% ของจุด Lactate threshold ซึ่งกลุ่มที่ 1 จะออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ และ กลุ่มที่ 2 และ 3 จะออกกำลังกายในสภาวะปกติ แต่กลุ่มที่ 2 จะต้องอาศัยอยู่ในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติวันละ 11-12 ชั่วโมงในช่วงของการออกกำลังกายนี้ด้วย ผลการศึกษาพบว่า มีการพัฒนาของสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนและฮอร์โมนอีริโทรโพอิติน (Erythropoietin) ในกลุ่มที่ 1.ออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ และกลุ่มที่ 2.อาศัยในสภาวะออกซิเจนต่ำและฝึกออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Seitz et al. (2020) ได้ศึกษาวิธีการทางสถิติเพื่อใช้เปรียบเทียบและรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยทั้งสิ้น 12 งานวิจัยเพื่อวิเคราะห์ผลของรูปแบบการฝึกต่างๆในการอาศัยในสภาวะออกซิเจนปกติและฝึกออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำ(Live Low Train High: LLTH) ซึ่งจะนำผลการวิจัยจากรูปแบบต่างๆมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่า การอาศัยในพื้นที่ปกติและฝึกออกกำลังกายในพื้นที่สูง(Live Low Train High: LLTH) นั้นเมื่อออกกำลังกายโดยใช้ Ventilation threshold เป็นเกณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำทั้งสิ้น 6 งานวิจัย และมีนัยสำคัญเมื่อออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติทั้งสิ้น 4 งาน

Silvatti et al. (2012) ได้วิเคราะห์การทำงานแบบ 3 มิติ ของรูปแบบการหายใจในนักกีฬาว่ายน้ำ โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 30 คนแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม 1. กลุ่มนักกีฬาว่ายน้ำ 2. กลุ่มควบคุม

ทำการทดสอบโดยการเก็บข้อมูลการหายใจ 2 แบบ คือ 1. หายใจแบบปกติ (Quiet Breathing; QB) เป็นเวลา 60 วินาที และ 2. หายใจเต็มที่ (Vital Capacity; VC) อย่างน้อยจำนวน 4 ครั้ง ในเวลา 60 วินาที และเก็บข้อมูลโดยการตั้งกล้องเพื่อจับมาร์เกอร์และติดมาร์คเกอร์บนตัวผู้เข้าร่วมทดสอบตามจุดต่างๆแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ทรวงอกส่วนบน (Upper lung; ST) ทรวงอกส่วนล่าง (Lower lung: IT) ช่องท้องส่วนบน (Upper abdomen; SA) และ ช่องท้องส่วนล่าง (Lower abdomen; IA) ผลการศึกษาพบว่า ในกลุ่มนักกีฬาว่ายน้ำมีการหายใจเต็มที่ (Vital Capacity; VC) ที่ดีกว่ากลุ่มควบคุมโดยเฉพาะในส่วนช่องท้องส่วนบน (Upper abdomen; SA) และ ช่องท้องส่วนล่าง (Lower abdomen: IA) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

Sarro et al. (2008) ได้ศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่างการเคลื่อนไหวของกระดูกซี่โครงและปริมาตรของทรวงอกในนักว่ายน้ำระหว่างการควบคุมการหายใจโดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 30 คนแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม 1. กลุ่มนักกีฬาว่ายน้ำ 2. กลุ่มควบคุม ทำการทดสอบโดยการให้ผู้เข้าทดสอบหายใจเต็มที่ (Vital Capacity; VC) จำนวน 5 ครั้งและเก็บข้อมูลโดยการตั้งกล้องเพื่อจับมาร์คเกอร์และติดมาร์คเกอร์บนตัวผู้เข้าร่วมทดสอบเพื่อดูปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงตามจุดต่างๆ (Silvatti et al., 2012) แล้วแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ทรวงอกส่วนบน (Superior Thoracic; ST) ทรวงอกส่วนล่าง (Inferior Thoracic; IT) ช่องท้องส่วนบน (Superior abdomen; SA) และ ช่องท้องส่วนล่าง (Inferior abdomen; IA) และติดมาร์คเกอร์เพื่อดูการปรับเปลี่ยนองศาของกระดูกซี่โครงโดยจะติดที่กระดูกซี่โครงชิ้นที่ 2 ถึงชิ้นที่ 10 ทั้งด้านซ้ายและด้ายขวาและที่ปุ่มกระดูกสันหลัง (Spinous process) ของกระดูกสันหลังส่วนอก (Thoracic)
ผลการศึกษาพบว่า ในกลุ่มนักกีฬาว่ายน้ำมีการทำงานร่วมกันที่ดีกว่าของการเคลื่อนไหวของกระดูกซี่โครงและปริมาตรทรวงอกโดยเฉพาะปริมาตรช่องท้องส่วนบนและส่วนล่างที่แสดงให้เห็นถึงการทำงานร่วมกันของกระบังลมและกล้ามเนื้อหน้าท้องในการขยายและยุบของผนังทรวงอกซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของรูปแบบการหายใจที่เหมาะสมและอธิบายได้ถึงปริมาตรของปอดที่เพิ่มขึ้น

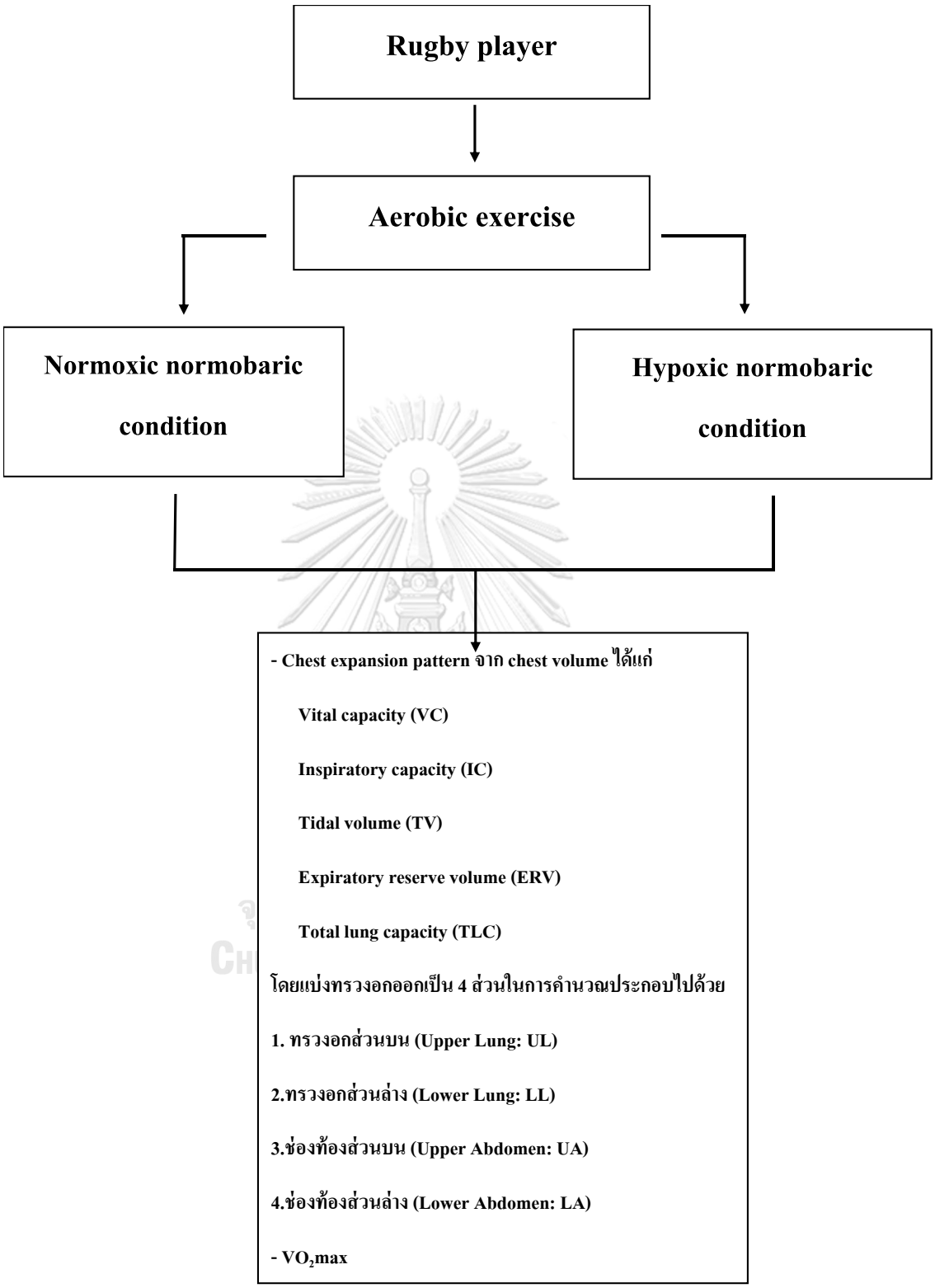
Engeroff et al. (2016) ได้ทำการประเมินค่าประหยัดพลังงานในการวิ่ง (Running economy) ด้วยวิธีการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary Exercise Testing; CPET) ในนักกีฬาที่วิ่งเพื่อนันทนาการ โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 68 คน แบ่งเป็น ชาย 49 คน หญิง 19 คน อายุระหว่าง 21-54 ปี ทำการทดสอบโดยให้วิ่งบนลู่วิ่งโดยความเร็วเริ่มต้นขึ้นอยู่กับข้อมูลในแต่ละบุคคลทั้งจำนวนการวิ่งต่ออาทิตย์ ประสบการณ์ในการวิ่ง ความเร็วที่ใช้ปกติ รวมไปถึงอันดับในการแข่งขันวิ่ง และจะค่อยๆเพิ่มความเร็ว 1.5 กิโลเมตรในทุก ๆ 4นาที จนเหนื่อยหรือไม่สามารถออกกำลังกายต่อไปได้ และเก็บข้อมูลด้วยวิธีการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary Exercise Testing; CPET) เพื่อเก็บข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สแล้วจึงนำไปคำนวณหาสมรรถภาพในการใช้

ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max)แล้วจึงนำไปเทียบกับตารางสมรรถภาพในการออกกำลังกายจาก ACSM guidelines for exercise testing and prescription (Pescatello et al., 2014) เพื่อดูระดับของสมรรถภาพในนักวิ่ง ผลการศึกษาพบว่า นักวิ่งเพื่อนันทนาการมีการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพมากเมื่อวิ่งในระดับความเหนื่อยหรือความเร็วที่สูงและมีอัตราการใช้ออกซิเจนอยู่ที่ระหว่าง 35.2 and 66.0 ml/min/kg ซึ่งในกลุ่มที่วิ่งด้วยความเร็วและมีค่าอัตราในการใช้ออกซิเจนอยู่ในกลุ่มดีและยอดเยี่ยมที่สุดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าประหยัดพลังงานในการวิ่ง (Running economy) แสดงให้เห็นว่าค่าค่าประหยัดพลังงานในการวิ่ง (Running economy) มีผลต่อการวิ่งในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดในนักกีฬาวิ่งเพื่อนันทนาการ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยได้ดังนี้ นักกีฬารักบี้ฟุตบอล (Rugby players) เป็นกีฬาที่ต้องใช้ระบบพลังงานแอโรบิกในการเล่นเป็นส่วนใหญ่ ทำการฝึกฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ น่าจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกและสมรรถภาพในการหายใจในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 12 กรอบแนวคิดผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experiment design) ในนักกีฬารักบี้ชาย อายุ 18-25 ปี จาก ชมรมรักบี้ฟุตบอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดนผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือกลุ่มที่ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนปกติ และกลุ่มที่ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันปกติ เพื่อศึกษาผลของการฝึกเสริมของแต่ละรูปแบบต่อของการขยายทรวงอกขณะหายใจและการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย

ประชากร

นักกีฬารักบี้ฟุตบอลชาย ระดับมหาวิทยาลัย ช่วงอายุ 18-25ปี

กลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬารักบี้ชาย อายุ 18-25 ปี จาก ชมรมรักบี้ฟุตบอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวนกลุ่มตัวอย่างคำนวณจากงานวิจัยของ ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช (2560) โดยนำค่าเฉลี่ยจากผลงานวิจัยมาคำนวณผ่านโปรแกรม G* power โดยกำหนด α = 0.05, β = 0.2 และค่า effect size = 1.38 (ภาคผนวก ก.) ผลการคำนวณได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 16 คน แบ่งเป็นกลุ่มละ 8 คน และเพื่อป้องกันการ dropout จึงเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างอีก 20% จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นทั้งหมด 20 คน แบ่งเป็นกลุ่มละ 10 คน โดยผู้วิจัยเป็นผู้คัดกรองกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเองโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purpostive sampling) ในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยเลือกให้มีแต่ละตำแหน่งการเล่นเท่าๆกัน และใช้วิธีการการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster random sampling) โดยใช้ค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2 max) และตำแหน่งของผู้เล่นในการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง โดยให้แต่ละกลุ่มมีจำนวนผู้เล่นในตำแหน่งการเล่นต่างๆใกล้เคียงกัน และค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน

กลุ่มที่ 1 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังแบบแอโรบิกในสภาวะปกติ จำนวน 10 คน

กลุ่มที่ 2 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ จำนวน 10 คน

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย (Inclusion criteria)

1. เป็นนักกีฬารักบี้ชาย อายุระหว่าง 18-25ปี

2. สุขภาพสมบูรณ์ แข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวที่ร้ายแรง เช่น เบาหวาน โรคปอด โรคหัวใจ หรือโรคประจำตัวอื่น ๆ ที่มีข้อห้ามในการออกกำลังกาย และไม่อยู่ในภาวะอาการเจ็บป่วย

จนไม่สามารถออกกำลังกายได้ในช่วงเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการซักถามประวัติทางการแพทย์ และ การทดสอบ (แบบทดสอบความพร้อมในการออกกำลังกาย (PAR-Q)

3. ไม่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบหายใจ จนมีโครงสร้างทรวงอกผิดปกติ ตัวอย่างเช่น ภาวะอกไก่ อกบุ๋ม หรือ ทรวงอกรูปถังเบียร์ ที่มีการขยายทรวงอกขณะหายใจที่ผิดปกติ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการตรวจประเมินโดยนักกายภาพบำบัด อ.ดร. นงนภัส เจริญพานิช

4. ไม่มีประวัติการได้รับบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ และข้อต่อต่าง ๆ และไม่มีประวัติการบาดเจ็บรุนแรงของกระดูกและกล้ามเนื้อถึงระดับเข้ารับรักษาโดยการผ่าตัด จนไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยได้ ภายใน 3_เดือนก่อนเริ่มเข้าร่วมงานวิจัยและมีความสมัครใจในการเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

5. รับทราบ และ ยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย อย่างเต็มใจ

6. ต้องได้รับวัคซีน COVID-19 อย่างน้อย 2 เข็ม

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจาการวิจัย (Exclusion criteria)

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ หรือมีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่ได้เข้าร่วมการฝึกเกินกว่า 10% นับเป็น 2 ครั้ง ของช่วงระยะเวลาการฝึกที่ใช้ในการฝึก

3. ไม่สมัครใจในการเข้าร่วมการทดลองต่อ

วิธีการพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง

ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้ทราบว่าต้องปฏิบัติสิ่งใดบ้าง ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะรับทราบสิทธิ์ของตนเองจาการชี้แจงโดยตรงจากผู้วิจัย และหนังสือข้อมูลของผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยเมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยมีความสมัครใจในการเข้าร่วม จะต้องมีการลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องไม่ถูกบังคับหรือได้รับรางวัลพิเศษจากการเข้าร่วมการวิจัย ในระหว่างการทำการวิจัย หากผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่สมัครใจที่จะเข้าร่วมต่อไป ผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถออกจากการวิจัยได้ตามประสงค์โดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผลให้ผู้วิจัยทราบ ระหว่างการวิจัยผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยจะพิทักษ์สวัสดิภาพทางร่างกายและจิตใจของผู้เข้าร่วมการวิจัยป้องกันความเสี่ยงต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้น ในกรณีที่เกิดการบาดเจ็บจากการวิจัย ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลเบื้องต้นและนำส่งโรงพยาบาลต่อไป โดยผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการรักษาพยาบาลทั้งหมด นอกจากนี้ข้อมูลของผู้วิจัยจะถูกเก็บเป็นความลับและจะถูกทำลายหลังจากเสร็จสิ้นการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้ ขณะทำการฝึกผู้เข้าร่วมการวิจัยแต่ละคนจะได้รับน้ำดื่มเกลือแร่ น้ำดื่มและอาหารว่าง และได้รับการชดเชยค่าใช้จ่ายในการเดินทางและค่าเสียเวลาด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้า หลักการ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาสร้างโปรงแกรมการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ

2. นำโปรแกรมการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในนักกีฬารักบี้ฟุตบอลชาย เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาความเรียบร้อยของโปรแกรมการฝึก

3. นำเสนอโปรแกรมการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในนักกีฬารักบี้ฟุตบอลชาย ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญการตรวจสอบ ปรับปรุง แก้ไขเพื่อหาค่าความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence; IOC) ซึ่งค่าที่คำนวณได้ต้องมากกว่า 0.50 (Cox and Vargus, 1996)

4. นำเสนอโปรแกรมการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในนักกีฬารักบี้ฟุตบอลชาย เสนอเพื่อพิจารณาผ่านคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน

5. ผู้วิจัยทำหนังสือถึงคณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาเพื่อขออนุญาตใช้สถานที่และอุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูลที่ ห้องปฏิบัติการชีวกลศาสตร์การกีฬา ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และห้องทดสอบสมรรถภาพทางกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ผู้วิจัยทำหนังสือขออนุญาตเข้าถึงกลุ่มตัวอย่าง โดยดำเนินการเชิญชวนกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเองและประสานงานกับผู้ฝึกสอนกีฬารักบี้ฟุตบอล อาจารย์ที่ปรึกษาชมรมรักบี้ฟุตบอล และประธานชมรมรักบี้ฟุตบอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำหนังสือชี้แจงเพื่ออธิบายวัตถุประสงค์ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย รวมถึงขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการวิจัยต่อกลุ่มตัวอย่าง และผู้ที่มีส่วนร่วมในการวิจัย เมื่อกลุ่มตัวอย่างยินยอมเข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมวิจัย และกลุ่มตัวอย่างต้องผ่านแบบสอบถามทุกข้อ (ภาคผนวก ข)

7. จัดเตรียมสถานที่ในการฝึกอุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึก การทดสอบ และใบบันทึกผล เพื่อนำมาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล (ภาคผนวก ค.)

8. ทำการคัดกรองกลุ่มตัวอย่างที่ห้องทดสอบสมรรถภาพทางกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หากไม่ผ่านการคัดกรอง ทางผู้วิจัยจะมีของที่ระลึกเป็นสมุดและปากกามอบให้

9. ทำการทดสอบก่อนการทดลอง โดยทดสอบและเก็บข้อมูลตัวแปรทางสรีรวิทยา ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นไขมัน ด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย (Body composition analyzer) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยถอดรองเท้าและขึ้นไปยืนตัวตรงบนเครื่องสำหรับวัดองค์ประกอบของร่างกาย หน้ามองตรง โดยหน่วยน้ำหนักชั่งเป็นกิโลกรัม (Kilogram; Kg) และส่วนสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน่วยเป็นเซนติเมตร (Centimeter; cm) ดัชนีมวลกาย (Body Mass Index; BMI) และต่อจากนั้นทำการทดสอบก่อนการทดลองจากนั้นทำการแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละ 10 คน ด้วยวิธีการกำหนดกลุ่มแบบสุ่มแบบชั้นภูมิ และมีการชี้แจงขั้นตอนทดสอบอย่างละเอียดกับกลุ่มตัวอย่าง รวมถึงการปฏิบัติก่อนวันเข้ารับการทดสอบดังนี้

10. ก่อนผู้วิจัยจะเข้าสู่กระบวนการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ และการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนปกติ ผู้วิจัยทำการทดสอบก่อนการทดลองเมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยยินยอมในวันที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยสะดวกเข้าร่วมงานวิจัยที่ศูนย์ปฏิบัติทางชีวกลศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในช่วงเวลา 9.00-15.00 และเมื่อฝึกครบ 6 สัปดาห์ให้กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ทำการทดสอบหลังการทดลอง โดยการทดสอบทั้งหมดมีดังนี้

10.1 วัดอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (HR Rest) โดยวัดตามสภาวะที่แต่ละกลุ่มใช้ในการออกกำลังกายเพื่อใช้คำนวณหา อัตราการเต้นหัวใจเป้าหมาย(Target HR)

10.2 ติดตั้งอุปกรณ์วิเคราะห์การเคลื่อนไหว โดยวางกล้องจำนวน 7 ตัว (Infrared base จำนวน 6 ตัว และ Video base จำนวน 1 ตัว) รอบแท่นกระโดด โดยจัดให้คลอบคลุมพื้นที่ในการวิเคราะห์ และทำการ calibrate ความแม่นยำของกล้องโดยใช้ T-wand ตามขั้นตอนการทำ calibration จากคู่มือการใช้งาน (ภาคผนวก ญ)

10.3 นำข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการขยายทรวงอกขณะหายใจมาคำนวณหาปริมาตรทรวงอก Chest volume โดยคำนวณจากคู่ลำดับของตำแหน่ง Marker ทั้ง 30 จุด บนพื้นฐานทางเรขาคณิตจากผลรวมของปริมาตรทรง 12 เหลี่ยมด้านไม่เท่าตามวิธีการของ ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช (2560) (ภาคผนวก ฉ) ได้ตัวแปรดังนี้

- ความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC) คำนวณจากปริมาตรการเปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงหายใจเข้าเต็มที่กับช่วงหายใจออกเต็มที่

- ปริมาตรความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity; IC) คำนวณจากปริมาตรการเปลี่ยนแปลงหลังจากหายใจออกปกติกับช่วงหายใจเข้าเต็มที่

- ปริมาตรหายใจเข้าออกหนึ่งครั้ง (Tidal Volume; TV) คำนวณจากปริมาตรในช่วงการหายใจเข้าออกปกติ

- ปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory Reserve Volume; ERV) คำนวณจากปริมาตรการเปลี่ยนแปลงขณะจากหายใจออกเต็มที่กับช่วงหายใจออกปกติ

- ความจุปอดแท้รวมหรือทีแอลซี (Total Lung Capacity; TLC) คำนวณจากปริมาตรหลังจากหายใจเข้าแบบเต็มที่

โดยแบ่งทรวงอกในการคำนวณออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ทรวงอกส่วนบน (Upper lung; UL)
- ทรวงอกส่วนล่าง (Lower lung; LL)
- ช่องท้องส่วนบน (Upper abdomen; UA)
- ช่องท้องส่วนล่าง (Lower abdomen; LA)

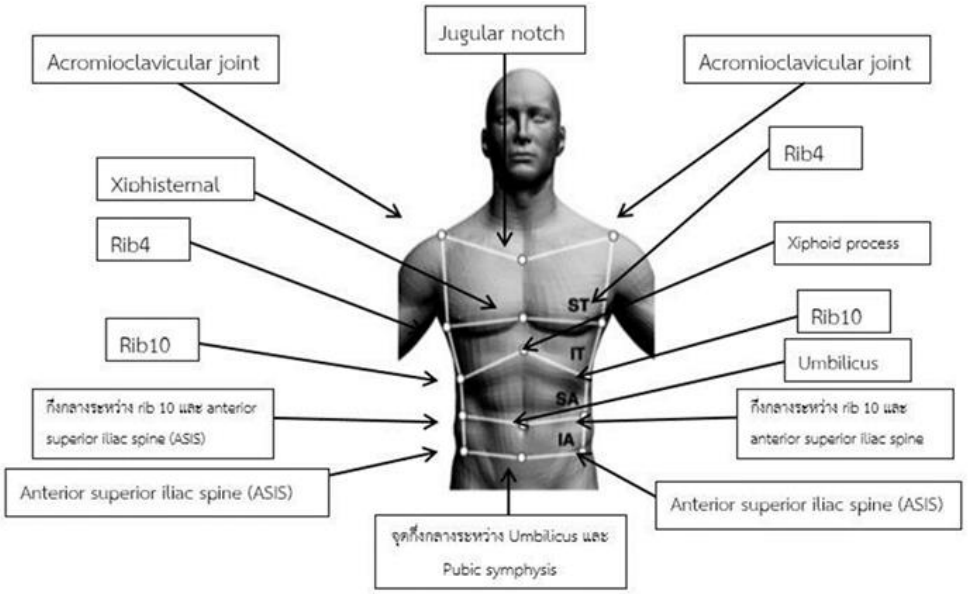
โดยเริ่มจากการทำความสะอาดผิวหนังของผู้เข้าร่วมงานวิจัย โดยใช้สำลีชุบแอลกอฮอลล์เช็ดบริเวณจุดติด มาร์คเกอร์ ทั้ง 30 ตำแหน่ง ในวันที่จะเก็บข้อมูล โดยทั้ง 30 จุด โดยผู้วิจัยเป็นผู้ทำการติด มาร์คเกอร์ ด้วยตนเอง โดยใช้เทปที่เป็น latex free สำหรับติดผิวหนังโดยเฉพาะที่ก่อให้เกิดภูมิแพ้น้อย แต่หากมีอาการแพ้ จะใช้เทปประเภทอื่นในการติด เช่น transpore ซึ่งมีรายละเอียดทั้ง 30 จุด ดังนี้ (ในรูปที่ 13-14) ทางด้านหน้า (Anterior view) ด้านข้างลำตัวทั้ง 2 ข้าง จำนวน 10 จุด ได้แก่ (รูปที่ 13)

- ข้อต่อกระดูกหัวไหล่ (Acromioclavicular Joint)
- กระดูกซี่โครงที่ 4 (Rib 4: แนวเดียวกันกับ acomioclavicular joint)
- กระดูกซี่โครงที่ 10 (Rib 10: แนวเดียวกันกับ lateral 1/3 ของ clavicle)
- แนวกึ่งกลางระหว่าง rib 10 และ anterior Superior Iliac Spine (ASIS)
- Anterior Superior Iliac Spine (ASIS)

กึ่งกลางลำตัว จำนวน 5 จุด ได้แก่

- Jugular notch
- Xiphisternal joint
- Xiphoid Process
- Umbilicus
- จุดกึ่งกลางระหว่าง Umbilicus และ Pubic symphysis

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 13 แสดงตำแหน่งมาร์คเกอร์ทางด้านหน้า (Anterior view)

ที่มา : (ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัสเจริญพานิช, 2560)

ทางด้านหลัง (Posterior view)

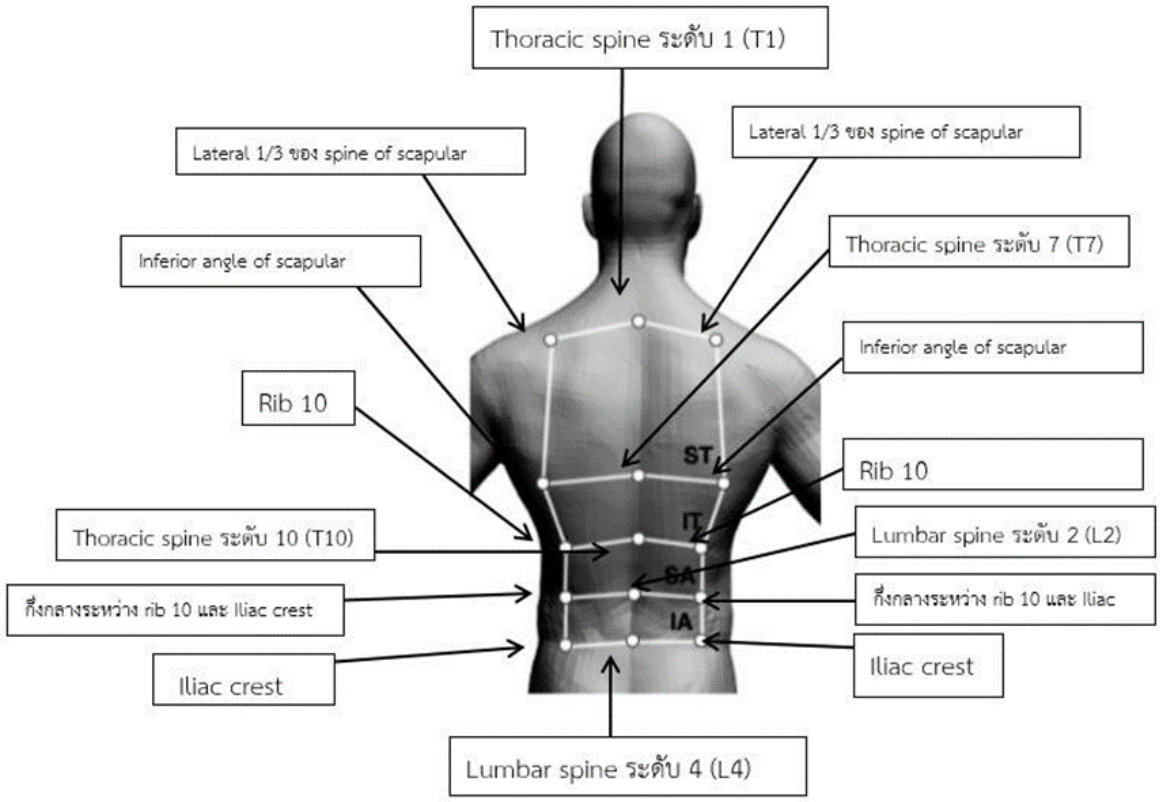
ด้านข้างลำตัวทั้ง 2 ข้าง จำนวน 10 จุด ได้แก่ (รูปที่ 14)

- Lateral 1/3 ของ spine of scapular
- Inferior angle of scapular
- Rib 10: แนวเดียวกันกับ lateral 1/3 ของ spine of scapular
- กึ่งกลางระหว่าง rib 10 และ Iliac crest
- Iliac crest: แนวเดียวกันกับ lateral 1/3 ของ spine of scapular

กึ่งกลางลำตัว จำนวน 5 จุด ได้แก่ spinous process ของกระดูกสันหลัง 5 ระดับ ดังนี้

- Thoracic spine ระดับ 1 (T1)
- Thoracic spine ระดับ 7 (T7)
- Thoracic spine ระดับ 10 (T10)
- Lumbar spine ระดับ 2 (L2)
- Lumbar spine ระดับ 4 (L4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 14 แสดงตำแหน่ง มาร์คเกอร์ ทางด้านหลัง (Posterior view)
ที่มา : (ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560)

วิเคราะห์การขยายทรวงอกก่อนเข้าสู่โปแกรมการฝึกออกกำลังกาย โดยให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยนั่งบนเก้าอี้ไม่มี พนักพิง มือทั้ง 2 ข้าง วางบนตักในท่ากางแขนประมาณ 70 องศา เท้าวางราบกับพื้น ผู้วิจัยเริ่มจับการหายใจปกติ โดยไม่แจ้งให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบ เพื่อป้องกันการเกร็งขณะหายใจ จำนวน 5 รอบของการหายใจ หลังจากนั้น ผู้วิจัยแจ้งให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัย หายใจเข้าเต็มที่ และผ่อนออกให้สุด จำนวน 3 รอบ ของการหายใจ และปล่อยให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยหายใจปกติอีก 3 ครั้ง โดยนำค่าเฉลี่ยของการหายใจครั้งที่ 3-5 ของการหายใจก่อนหายใจเต็มที่ และรอบที่ 2 ของการหายใจเต็มที่มาวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนไหว Qualisys Motion Capture System และ Visual-3D มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

10.4 ทำการทดสอบสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือด เพื่อหาค่า อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยวิธีการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary Exercise Testing; CPET) ด้วยการใช้ควบคู่กับ ลู่วิ่ง โดยเริ่มจากการพัก และเดินเพื่ออบอุ่นร่างกาย เป็นเวลา 3 นาที ที่ความชัน 0 องศา และจึงเริ่มการทดสอบโดยความเร็วเริ่มต้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วพื้นฐาน ประสบการณ์ในการวิ่ง ระยะเวลาการฝึกฝนของแต่ละผู้เข้า

ทดสอบ และจะเพิ่มความเร็ว 1.5 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทุก 4 นาที จนกระทั่งทำต่อไม่ไหว จึงนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

11. อธิบายโปรแกรมการฝึกให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนรับทราบโดยอ้างอิงจากโปรแกรมของ Gormley (2008) ว่าในแต่ละสัปดาห์ต้องออกกำลังกายที่ความหนักเท่าใด จำนวนกี่นาที เป็นจำนวนกี่วันต่อสัปดาห์ โดยโปรแกรมการออกกำลังกายมีดังนี้ (ภาคผนวก จ)

- สัปดาห์ที่1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์
- สัปดาห์ที่2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์
- สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์

ในวันเข้าออกกำลังกายแต่ละครั้งผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถเข้ามาในห้องออกซิเจนต่ำได้ครั้งละไม่เกิน 4 คน จากขนาดห้อง 70 ตารางเมตร ผู้วิจัยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนมีพื้นที่ 15 ตารางเมตรต่อ 1 คนเพื่อให้เว้นระยะห่างได้อย่างเหมาะสม โดยเริ่มการออกกำลังกายจากการให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยยืดเหยียดร่างกายเป็นเวลา 5 นาทีก่อนทำการออกกำลังกาย (ภาคผนวก ง) โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้งสองกลุ่มจะต้องวิ่งบนลู่กล โดยจะทำการออกกำลังกายในห้องสภาวะออกซิเจนต่ำทั้งสองกลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนปกติจะใช้ระดับออกซิเจนตามบรรยากาศปกติที่ 20.93% และกลุ่มที่ 2 ฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติระดับออกซิเจนจะอยู่ที่ 14.5%-15% ซึ่งทั้งสองกลุ่มเมื่อมาถึงห้องสภาวะออกซิเจนต่ำจะให้นั่งพักเพื่อให้หายเหนื่อยและสร้างความคุ้นเคยกับสภาวะที่จะใช้ในการออกกำลังกาย โดยเมื่อเริ่มออกกำลังกายจะปรับความเร็วลู่กลสูงสุดเท่าที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยวิ่งจนกระทั่งรักษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจได้ตามที่โปรแกรมการออกกำลังกายกำหนดในแต่ละครั้งของอัตราการเต้นหัวใจเป้าหมาย (Target HR) โดยคำนวณจากอัตราการเต้นหัวใจสำรอง Target HR = ชีพจรขณะพัก + (%intensity) x (HRmax – ชีพจรขณะพัก) และปรับความชันให้อยู่ในแนวระนาบและให้ออกกำลังกายที่ระดับความหนักนั้น ตามระยะเวลาที่กำหนดในโปรแกรมการออกกำลังกาย ในแต่ละสัปดาห์ โดยเริ่มนับเวลาการออกกกำลังกายเมื่อชีพจรอยู่ในระดับชีพจรเป้าหมายของการฝึก โดยเมื่อระดับอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเกินระดับของชีพจรเป้าหมายที่กำหนดในโปรแกรมการออกกำลังกาย ก็ลดระดับความหนักของการออกกำลังกายลงให้อยู่ในระดับอัตราการเต้นของหัวใจที่กำหนด หลังจากออกกำลังกาย ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการคลายอุ่นร่างกายเป็นระยะเวลา 5 นาที โดยประมาณ

12. โดยในกลุ่มที่ 2 ออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำ จะมีการให้ข้อมูลผู้เข้าร่วมวิจัยว่าหากผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดอาการออกซิเจนไม่เพียงพอ เช่น หน้ามืด วิงเวียน ปวดศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน ผิวหนังซีด ตาพร่ามัว มึนงง ทางผู้วิจัยจะเร่งนำผู้เข้าร่วมวิจัยออกมาพักยังบริเวณที่มีออกซิเจนปกติทันที และหากอาการยังคงไม่ดีขึ้น จะทำการเร่งนำส่งโรงพยาบาลทันที โดยผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบจ่ายค่ารักษาพยาบาลาการผิดปกติที่เกิดจากการเข้าร่วมงานวิจัยทั้งหมด

13. หลังการออกกำลังกาย ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยมาออกกกำลังกายครั้งต่อไปตามโปรแกรมการออกกำลังกายในแต่ละสัปดาห์ โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะต้องเข้าร่วมงานวิจัยตามโปรแกรมที่ได้รับจนครบ
14. ผู้เข้าร่วมงานวิจัย จะต้องมาวิเคราะห์การขยายทรวงอก และทดสอบสมรรถภาพของหัวใจและหลอดเลือด ดังวิธีการที่แสดงไว้ในข้อ 10.3 และ 10.4 ทั้งก่อนเริ่มโปรแกรมการฝึก หลังเสร็จสิ้นโปรแกรมการฝึกใน สัปดาห์ที่ 6
15. นำผลการทดสอบที่ได้ในสัปดาห์ที่กำหนดคือ ค่าคำนวณปริมาตรทรวงอก และค่าคำนวณสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือด ของทั้งสองกลุ่มมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
16. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบสอบถามความพร้อมในการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Quetionnaire; PAR-Q) (ภาคผนวก ข)

2. ข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการขยายทรวงอกขณะหายใจ เป็นข้อมูล จากชุดวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ซึ่งประกอบด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1 กล้องความเร็วสูง จำนวน 7 ตัว รุ่น Qualisys oqus 7+ series โดยเป็นกล้องสำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (infrared base จำนวน 6 ตัว) และกล้องสำหรับแสดงท่าทางการเคลื่อนไหว (Video base) จำนวน 1 ตัว

รูปที่ 15 กล้องความเร็วสูง รุ่น Qualisys oqus 7+ series

2.2 Retroreflective มาร์คเกอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ซม. จำนวน 30 ตัว

รูปที่ 16 Retroreflective มาร์คเกอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ซม.

2.3 สำลีชุบแอลกอฮอล์ สำหรับทำความสะอาดผิวหนังก่อนการติดมาร์คเกอร์

2.4 เทปกาวสำหรับติดมาร์คเกอร์

2.5 เทปกาวยืด สำหรับปิดทับมาร์คเกอร์เพื่อป้องกันการหลุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. อุปกรณ์ทดสอบสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือด ประกอบด้วย

3.1 Spiroergometer สำหรับวัดสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiopulmonary Exercise Testing; CPET) ยี่ห้อ cortex รุ่น metamax 3b ประเทศเยอรมัน

รูปที่ 17 เครื่อง CPET ยี่ห้อ cortex รุ่น metamax 3b ประเทศเยอรมัน

3.2 ลู่กล (Tread mill) ยี่ห้อ hp cosmos ประเทศเยอรมัน

รูปที่ 18 ลู่กล (Tread mill) ยี่ห้อ hp cosmos ประเทศเยอรมัน

4. อุปกรณ์แสดงอัตราการเต้นของหัวใจ: Polar Heart rate sensor H7 พร้อมสายรัด จำนวน 1 เครื่อง โดยจะมีการแสดงผลอัตราการเต้นของหัวใจผ่านทางแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ตโฟน

รูปที่ 19 Polar Heart rate sensor H7

5. ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic Training Room) ระบบเอทีเอส 5 เคเอช พี 750 (ATS-5HKP 750 SYSTEM) ประเทศออสเตรเลีย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ 15% อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 20 หน้าจอแสดงค่าการทำงานของห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

6. เครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย (Body composition analyzer) IOI 353

รูปที่ 21 เครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย (Body composition analyzer)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. สถานที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1.1 ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ในการออกกำลังกายในกลุ่มที่ 1 สภาวะออกซิเจนปกติ และกลุ่มที่2 สภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ

1.2 ศูนย์ปฏิบัติทางชีวกลศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ในการเก็บข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการขยายทรวงอกขณะหายใจ

1.3 ห้องทดสอบสมรรถภาพทางกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้ในการคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง และเก็บข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2 max)

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2565

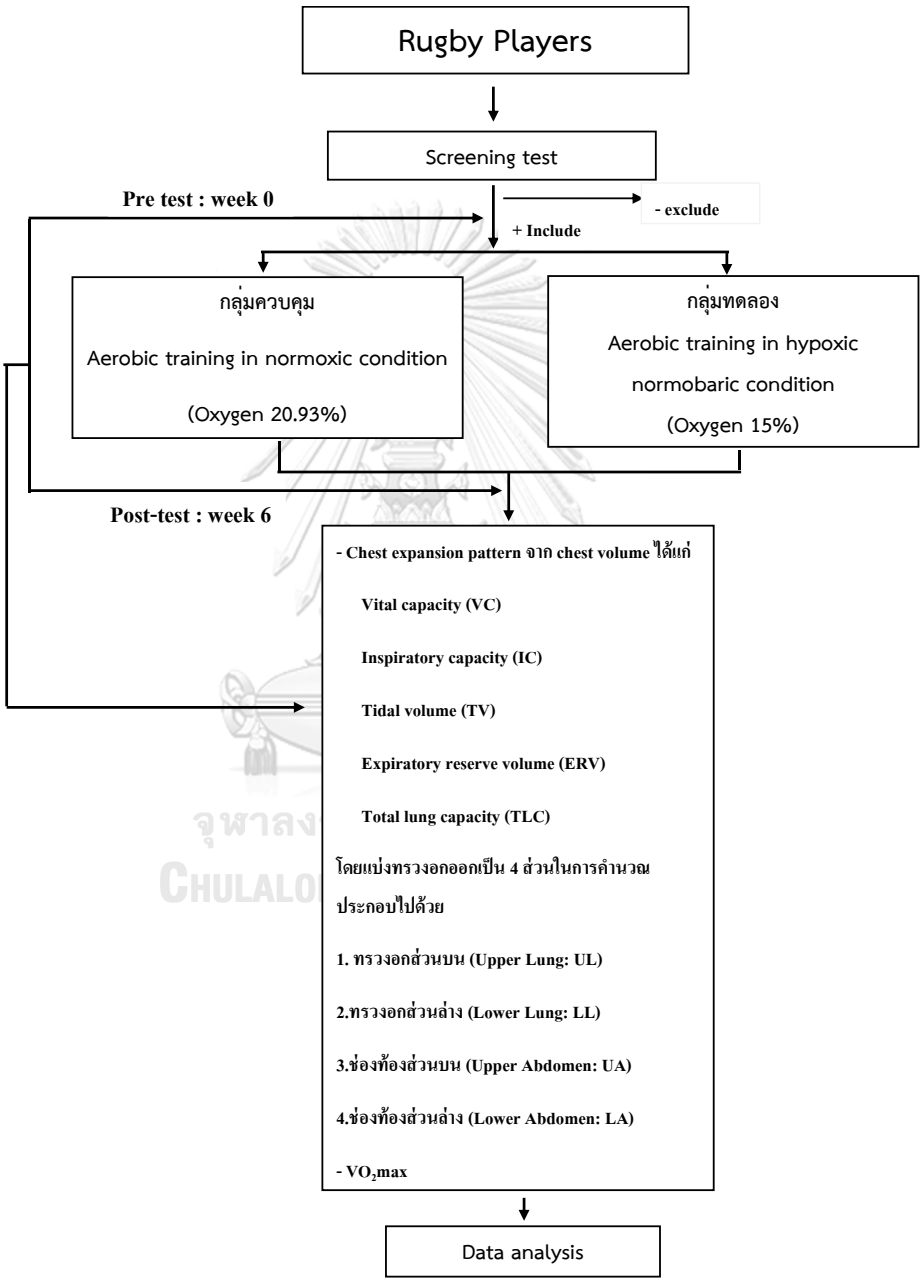
3. ผู้ช่วยในการวิจัย

ผู้ช่วยในการวิจัยเป็นนิสิตปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ชั้นปีที่ 2 สาขาเสริมสร้างสมรรถภาพทางการกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 2 คน ที่ผ่านการอบรมวิธีการดก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการขยายทรวงอกขณะหายใจ วิธีการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption ; VO2max)) และหลักปฏิบัติและข้อควรระวังในการทำกิจกรรมต่างๆที่ผู้เข้าร่วมต้องปฏิบัติ ได้แก่ การทดสอบก่อนฝึกและหลังการฝึก ตลอดจนการพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยมีหน้าที่ ช่วยผู้วิจัยในการฝึกผู้เข้าร่วมการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิจัย ช่วยผู้วิจัยในการทดสอบก่อนฝึกและหลังการฝึก ดูแลความปลอดภัยให้กับผู้เข้าร่วมการวิจัย และอำนวยความสะดวกในการวิจัย

แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย



รูปที่ 22 แผนภูมิแสดงขั้นตอนวิจัยผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการทดสอบก่อนการทดลองและหลังการทดลอง มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เพื่อหาค่าสถิติดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลว่ามีการกระจายแบบปกติหรือไม่ โดยใช้ Shapiro wilk

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ผลของการทดสอบทุกรายการก่อนการฝึก และ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม

2.1 ถ้าผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระจายตัวปกติจะใช้การวิเคราะห์สถิติ Independent t-test ในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

2.2 ถ้าผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระจายตัวไม่ปกติจะใช้การวิเคราะห์สถิติ Mann-Whitney U test ในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

2.3 ถ้าผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระจายตัวปกติจะใช้การวิเคราะห์สถิติ Paired t-test ในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

2.4 ถ้าผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระจายตัวไม่ปกติจะใช้การวิเคราะห์สถิติ Wilcoxon signed-rank test ในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

3. กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ทำการคัดเลือกจากนักกีฬารักบี้ ระดับมหาวิทยาลัย อายุตั้งแต่ 18-25 ปี ทั้งหมด 18 คน โดยแสดงผลการทดลองเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 คุณลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย (Characteristics of participants)

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย (Characteristics of participants)

Characteristics	กลุ่มที่ 1 (n = 9) X±SD	กลุ่มที่ 2 (n = 9) X±SD
1.อายุ (ปี)	19.44±0.53	20.11±0.6
2.น้ำหนัก (กิโลกรัม)	77.91±17.12	81±12.42
3.ส่วนสูง (เซนติเมตร)	173.78±5.54	174±6.65
4.ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)	25.64±4.57	26.8±4.37
5. เปอร์เซ็นไขมัน	20.27±5.76	22.04±7.67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 9 คน โดยกลุ่มที่ 1 มีอายุ 19.44±0.53 ปี น้ำหนัก 77.91±17.12 กิโลกรัม ส่วนสูง 173.78±5.54 ซม. ดัชนีมวลกาย 25.64±4.57 กิโลกรัม/เมตร^2 เปอร์เซ็นไขมัน 20.27±5.76 กลุ่มที่ 2 มีอายุ 20.11±0.6 ปี น้ำหนัก 81±12.42 กิโลกรัม ส่วนสูง 174±6.65 ซม. ดัชนีมวลกาย 26.8±4.37 กิโลกรัม/เมตร^2 เปอร์เซ็นต์ไขมัน 22.04±7.67 เปอร์เซ็นต์

ตอนที่ 2 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk (Data distribution test)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของข้อมูลก่อนการฝึกในกลุ่มที่ 1 (n = 9)

ตัวแปร	X±SD	sig
Tidal Volume (TV) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.15 ± 0.11	.085
- Lower lung (LL)	0.20 ± 0.11	.009*
- Upper abdomen (UA)	0.41 ± 0.44	<.001*
- Lower abdomen (LA)	0.06 ± 0.03	.639
- Total part (TO)	0.82 ± 0.49	.043*
Vital capacity (VC) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.40 ± 0.15	.645
- Lower lung (LL)	0.83 ± 0.23	.392
- Upper abdomen (UA)	0.81 ± 0.32	.283
- Lower abdomen (LA)	0.20 ± 0.15	.022*
- Total part (TO)	2.24 ± 0.68	.556
Inspiratory capacity (IC) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.36 ± 0.17	.079
- Lower lung (LL)	0.77 ± 0.19	.357
- Upper abdomen (UA)	0.73 ± 0.29	.475
- Lower abdomen (LA)	0.14 ± 0.17	.528
- Total part (TO)	1.99 ± 0.63	.563
Expiratory reserve volume (ERV)		
- Upper lung (UL)	0.04 ± 0.10	.651
- Lower lung (LL)	0.06 ± 0.18	.026*
- Upper abdomen (UA)	0.12 ± 0.17	.665
- Lower abdomen (LA)	0.07 ± 0.06	.328
- Total part (TO)	0.29 ± 0.43	.933

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปร	X±SD	sig
Total lung capacity (TLC)		
- Upper lung (UL)	15.39 ± 2.81	.858
- Lower lung (LL)	14.10 ± 2.70	.282
- Upper abdomen (UA)	10.35 ± 1.95	.038*
- Lower abdomen (LA)	6.05 ± 2.01	.318
- Total part (TO)	45.89 ± 8.82	.662

*: significant different at p<0.05

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า TV ของ LL, UA และ TO, ค่า VC ของ LA, ค่า ERV ของ LL และค่า TLC ของ UA แสดงค่า sig < 0.05 แสดงว่า มีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ จึงใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Mann whitney U test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ขณะที่ ค่า TV ของ UL และ LA, ค่า VC ของ UL, LL, UA และ TO, ค่า IC ของ UL, LL, UA, LA และ TO, ค่า ERV ของ UL, UA, LA และ TO และ ค่า TLC ของ UL, LL, LA และ TO มีการกระจายตัวปกติ จึงใช้สถิติ Paired t-test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Independent t-test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของข้อมูลหลังการฝึกในกลุ่มที่ 1 (n = 9)

ตัวแปร	X±SD	sig
Tidal Volume (TV) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.09 ± 0.06	.384
- Lower lung (LL)	0.18 ± 0.1	.486
- Upper abdomen (UA)	0.32 ± 0.2	.004*
- Lower abdomen (LA)	0.12 ± 0.09	.055
- Total part (TO)	0.71 ± 0.38	.004*
Vital capacity (VC) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.40 ± 0.22	.164
- Lower lung (LL)	0.84 ± 0.22	.298
- Upper abdomen (UA)	0.81 ± 0.3	.014*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปร	X±SD	sig
- Lower abdomen (LA)	0.19 ± 0.16	.548
- Total part (TO)	2.25 ± 0.63	.040*
Inspiratory capacity (IC) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.36 ± 0.14	.768
- Lower lung (LL)	0.72 ± 0.14	.212
- Upper abdomen (UA)	0.61 ± 0.21	.037*
- Lower abdomen (LA)	0.07 ± 0.2	.140
- Total part (TO)	1.76 ± 0.32	.231
Expiratory reserve volume (ERV)		
- Upper lung (UL)	0.04 ± 0.16	.430
- Lower lung (LL)	0.11 ± 0.15	.613
- Upper abdomen (UA)	0.22 ± 0.16	.029*
- Lower abdomen (LA)	0.15 ± 0.12	.044*
- Total part (TO)	0.52 ± 0.49	.379
Total lung capacity (TLC)		
- Upper lung (UL)	15.93 ± 3.17	.620
- Lower lung (LL)	14.12 ± 2.81	.875
- Upper abdomen (UA)	10.94 ± 2.42	.532
- Lower abdomen (LA)	6.52 ± 2.19	.401
- Total part (TO)	47.51 ± 10.25	.743

*: significant different at p<0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่า TV ของ UA และ TO, ค่า VC ของ UA และ TO, ค่า IC ของ UA และ ค่า ERV ของ UA และ LL แสดงค่า sig < 0.05 แสดงว่า มีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ จึงใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Mann whitney U test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ขณะที่ ค่า TV ของ UL, LL และ LA, ค่า VC ของ UL, LL และ LA, ค่า IC ของ UL, LL, LA และ TO, ค่า ERV ของ UL, LL และ TO และ ค่า TLC ของ UL, LL, UA, LA และ TO มีการกระจายตัวปกติ จึงใช้สถิติ Paired t-test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Independent t-test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของข้อมูลก่อนการฝึกในกลุ่มที่ 2 (n = 9)

ตัวแปร	X±SD	sig
Tidal Volume (TV) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.23 ± 0.20	.006*
- Lower lung (LL)	0.26 ± 0.25	.001*
- Upper abdomen (UA)	0.37 ± 0.30	.004*
- Lower abdomen (LA)	0.10 ± 0.07	.046*
- Total part (TO)	0.96 ± 0.78	<.001*
Vital capacity (VC) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.54 ± 0.14	.822
- Lower lung (LL)	0.79 ± 0.22	.353
- Upper abdomen (UA)	0.96 ± 0.32	.228
- Lower abdomen (LA)	0.26 ± 0.11	.686
- Total part (TO)	2.54 ± 0.51	.684
Inspiratory capacity (IC) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.50 ± 0.20	.817
- Lower lung (LL)	0.79 ± 0.21	.124
- Upper abdomen (UA)	0.93 ± 0.34	.571
- Lower abdomen (LA)	0.15 ± 0.10	.631
- Total part (TO)	2.38 ± 0.55	.770
Expiratory reserve volume (ERV)		
- Upper lung (UL)	0.04 ± 0.11	.357
- Lower lung (LL)	-0.01 ± 0.19	.017*
- Upper abdomen (UA)	0.03 ± 0.21	.982
- Lower abdomen (LA)	0.11 ± 0.10	.155
- Total part (TO)	0.17 ± 0.50	.087
Total lung capacity (TLC)		
- Upper lung (UL)	17.08 ± 3.69	.875
- Lower lung (LL)	13.98 ± 1.95	.410
- Upper abdomen (UA)	11.12 ± 2.32	.141

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปร	X±SD	sig
- Lower abdomen (LA)	7.16 ± 2.02	.286
- Total part (TO)	49.35 ± 9.47	.770

*: significant different at p<0.05

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่า TV ของ UL, LL, UA, LA, และ TO และ ค่า ERV ของ LL แสดงค่า sig < 0.05 แสดงว่า มีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ จึงใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Mannwhitney U test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ขณะที่ ค่า VC ของ UL, LL, UA, LA และ TO, ค่า IC ของ UL, LL, UA, LA และ TO, ค่า ERV ของ UL, UA, LA และ TO และ ค่า TLC ของ UL, LL, UA, LA และ TO มีการกระจายตัวปกติ จึงใช้สถิติ Paired t-test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Independent t-test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของข้อมูลหลังการฝึกในกลุ่มที่ 2 (n = 9)

ตัวแปร	X±SD	sig
Tidal Volume (TV) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.18 ± 0.16	.181
- Lower lung (LL)	0.24 ± 0.18	.126
- Upper abdomen (UA)	0.34 ± 0.15	.929
- Lower abdomen (LA)	0.07 ± 0.07	.226
- Total part (TO)	0.83 ± 0.48	.237
Vital capacity (VC) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.49 ± 0.20	.033*
- Lower lung (LL)	0.86 ± 0.37	.012*
- Upper abdomen (UA)	1.08 ± 0.23	.328
- Lower abdomen (LA)	0.23 ± 0.17	.284
- Total part (TO)	2.762939 ± 0.63	.235
Inspiratory capacity (IC) (Liter)		
- Upper lung (UL)	0.50 ± 0.24	.824

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปร	X±SD	sig
- Lower lung (LL)	0.79 ± 0.34	.417
- Upper abdomen (UA)	0.90 ± 0.27	.235
- Lower abdomen (LA)	0.18 ± 0.25	.800
- Total part (TO)	2.39 ± 0.61	.458
Expiratory reserve volume (ERV)		
- Upper lung (UL)	-0.02 ± 0.08	.871
- Lower lung (LL)	0.07 ± 0.1	.219
- Upper abdomen (UA)	0.18 ± 0.17	.613
- Lower abdomen (LA)	0.05 ± 0.17	.549
- Total part (TO)	0.27 ± 0.32	.434
Total lung capacity (TLC)		
- Upper lung (UL)	18.28 ± 2.63	.777
- Lower lung (LL)	15.47± 2.26	.366
- Upper abdomen (UA)	14.12 ± 3.27	.852
- Lower abdomen (LA)	8.82± 2.46	.788
- Total part (TO)	56.69 ± 10.14	.835

*: significant different at $p<0.05$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่า VC ของ UL และ LL แสดงค่า sig < 0.05 แสดงว่า มีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ จึงใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Mannwhitney U test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ขณะที่ ค่า TV ของ UL, LL, UA, LA, และ TO, ค่า VC ของ UA, LA และ TO, ค่า IC ของ UL, LL, UA, LA และ TO, ค่า ERV ของ UL, LL, UA, LA และ TO และ ค่า TLC ของ UL, LL, UA, LA และ TO มีการกระจายตัวปกติ จึงใช้สถิติ Paired t-test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Independent t-test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการกระจายข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ของกลุ่มที่ 1 (n = 9) และ กลุ่มที่ 2 (n = 9)

ตัวแปร	X±SD	sig
กลุ่มที่ 1		
- ก่อนการทดลอง	51.11 ± 5.25	0.397
- หลังการทดลอง	52.22 ± 5.40	0.427
กลุ่มที่ 2		
- ก่อนการทดลอง	50.22 ± 4.76	0.971
- หลังการทดลอง	51.667 ± 5.07	0.202

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่าของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ทั้งก่อนการทดลอง และ หลังการทดลอง ไม่แสดงค่า sig < 0.05 แสดงว่า มีการกระจายของข้อมูลตัวปกติ จึงใช้สถิติ Paired t-test สำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก และใช้สถิติ Independent t-test สำหรับเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม

ตอนที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาตรทรวงอก ในค่า Tidal volume (TV), Vital (VC), Inspiratory capacity (IC), Expiratory reserve volume (ERV), Total lung capacity (TLC) ของทรวงอก 4 ส่วน ได้แก่ Upper lung (UL), Lower lung (LL), - Upper abdomen (UA), Lower abdomen (LA), Total part (TO)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ของข้อมูลก่อนการฝึก โดยใช้ Independence t test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติ และ Mann Whitney U test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวไม่ปกติ

ตัวแปร	กลุ่มที่ 1 (n =9) X±SD	กลุ่มที่ 2 (n = 9) X±SD	t	U	p value
Tidal Volume (TV) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.15 ± 0.11	0.23 ± 0.20		-0.927	0.354
- Lower lung (LL)	0.20 ± 0.11	0.26 ± 0.25		-0.044	0.965

ตัวแปร	กลุ่มที่ 1 (n =9) X±SD	กลุ่มที่ 2 (n = 9) X±SD	t	U	p value
- Upper abdomen (UA)	0.41 ± 0.44	0.37 ± 0.30		-0.132	0.895
- Lower abdomen (LA)	0.06 ± 0.03	0.10 ± 0.07		-1.369	0.171
- Total part (TO)	0.82 ± 0.49	0.96 ± 0.78		-0.486	0.627
Vital capacity (VC) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.4 ± 0.15	0.54 ± 0.14	-2.034		0.731
- Lower lung (LL)	0.83 ± 0.23	0.79 ± 0.22	0.43		0.795
- Upper abdomen (UA)	0.81 ± 0.32	0.96 ± 0.32	-0.972		0.646
- Lower abdomen (LA)	0.2 ± 0.15	0.26 ± 0.11		-1.457	0.145
- Total part (TO)	2.24 ± 0.68	2.54 ± 0.51	-1.065		0.640
Inspiratory capacity (IC) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.36 ± 0.17	0.50 ± 0.20	-1.640		0.791
- Lower lung (LL)	0.77 ± 0.19	0.79 ± 0.21	-0.258		0.546
- Upper abdomen (UA)	0.73 ± 0.29	0.93 ± 0.34	-1.385		0.731
- Lower abdomen (LA)	0.14 ± 0.17	0.15 ± 0.10	-0.08		0.391
- Total part (TO)	1.99 ± 0.63	2.38 ± 0.55	-1.37		0.521
Expiratory reserve volume (ERV)					
- Upper lung (UL)	0.04 ± 0.1	0.04 ± 0.11	-0.02		0.983
- Lower lung (LL)	0.06 ± 0.18	-0.01 ± 0.19		-1.015	0.31
- Upper abdomen (UA)	0.12 ± 0.17	0.03 ± 0.21	0.981		0.750

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปร	กลุ่มที่ 1 (n =9) X±SD	กลุ่มที่ 2 (n = 9) X±SD	t	U	p value
- Lower abdomen (LA)	0.07 ± 0.06	0.11 ± 0.1	-0.922		0.209
- Total part (TO)	0.29 ± 0.43	0.17 ± 0.5	0.545		0.895
Total lung capacity (TLC)					
- Upper lung (UL)	15.39 ± 2.81	17.08 ± 3.69	-1.095		0.53
- Lower lung (LL)	14.10 ± 2.7	13.98 ± 1.95	0.109		0.393
- Upper abdomen (UA)	10.35 ± 1.95	11.12 ± 2.32		-0.751	0.453
- Lower abdomen (LA)	6.05 ± 2.01	7.16 ± 2.02	-1.167		0.907
- Total part (TO)	45.89 ± 8.82	49.35 ± 9.47	-0.801		0.834

*: significant different at p<0.05

จากตารางที่ 7 พบว่า ค่าความต่างของ Tidal Volume (TV), Vital capacity (VC), Inspiratory capacity (IC), Expiratory reserve volume (ERV), Total lung capacity (TLC) ในส่วนต่างๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติ และกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ของข้อมูลหลังการฝึก โดยใช้ Independence t test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติ และ Mann Whitney U test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวไม่ปกติ

ตัวแปร	กลุ่มที่ 1 (n =9) X±SD	กลุ่มที่ 2 (n = 9) X±SD	t	U	p value
Tidal Volume (TV) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.09 ± 0.06	0.18 ± 0.16	-1.536		.047*
- Lower lung (LL)	0.18 ± 0.1	0.24 ± 0.18	-0.886		0.145
- Upper abdomen (UA)	0.32 ± 0.2	0.34 ± 0.15		-0.662	0.508
- Lower abdomen (LA)	0.12 ± 0.09	0.07 ± 0.067	1.272		0.651
- Total part (TO)	0.71 ± 0.38	0.83 ± 0.48		-0.927	0.354
Vital capacity (VC) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.40 ± 0.22	0.49 ± 0.20		-1.192	0.745
- Lower lung (LL)	0.84 ± 0.22	0.86 ± 0.37		-0.309	0.459
- Upper abdomen (UA)	0.81 ± 0.3	1.08 ± 0.23		-2.075	0.038*
- Lower abdomen (LA)	0.19 ± 0.16	0.23 ± 0.17	-0.597		0.504
- Total part (TO)	2.25 ± 0.63	2.66 ± 0.63		-1.81	0.07
Inspiratory capacity (IC) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.36 ± 0.14	0.51 ± 0.24	-1.552		0.206
- Lower lung (LL)	0.72 ± 0.14	0.79 ± 0.34	-0.624		0.12
- Upper abdomen (UA)	0.61 ± 0.21	0.91 ± 0.27		-2.252	0.024*
- Lower abdomen (LA)	0.07 ± 0.2	0.18 ± 0.25	-1.098		0.487

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวแปร	กลุ่มที่ 1 (n =9) X±SD	กลุ่มที่ 2 (n = 9) X±SD	t	U	p value
- Total part (TO)	1.76 ± 0.32	2.39 ± 0.61	-2.749		0.076
Expiratory reserve volume (ERV)					
- Upper lung (UL)	0.04 ± 0.16	-0.02 ± 0.08	0.955		0.129
- Lower lung (LL)	0.11 ± 0.15	0.07 ± 0.1	0.78		0.254
- Upper abdomen (UA)	0.22 ± 0.16	0.18 ± 0.17		-0.044	0.965
- Lower abdomen (LA)	0.15 ± 0.12	0.05 ± 0.17		-1.015	0.31
- Total part (TO)	0.52 ± 0.49	0.27 ± 0.32	1.239		.050*
Total lung capacity (TLC)					
- Upper lung (UL)	15.93 ± 3.17	18.28 ± 2.63	-1.711		0.512
- Lower lung (LL)	14.12 ± 2.81	15.47 ± 2.26	-1.125		0.58
- Upper abdomen (UA)	10.94 ± 2.42	14.12 ± 3.27	-2.352		0.234
- Lower abdomen (LA)	6.52 ± 2.19	8.82 ± 2.46	-2.09		0.751
- Total part (TO)	47.51 ± 10.25	56.69 ± 10.14	-1.911		0.94

*: significant different at p<0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 8 พบว่า ค่าความต่างของ Tidal Volume (TV), Vital capacity (VC), Inspiratory capacity (IC), Expiratory reserve volume (ERV), Total lung capacity (TLC) ในส่วนต่างๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างหลังการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติ และกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันปกติ พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่า Tidal Volume (TV) ในส่วนของ Upper lung (UL) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.047, ค่า Vital capacity (VC) ในส่วนของ Upper abdomen (UA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.038, ค่า Inspiratory capacity (IC) ในส่วนของ Upper abdomen

(UA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.024, ค่า Expiratory reserve volume (ERV) ในส่วนของ Total part (TO) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก ของกลุ่มที่ 1 โดยใช้ Paired t test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติ และ Wilcoxon sign rank test สำหรับข้ออมูลที่กระจายตัวไม่ปกติ (n = 9)

ตัวแปร	Pre-training X±SD	Post-training X±SD	t	z	p value
Tidal Volume (TV) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.15 ± 0.11	0.09 ± 0.06	1.278		0.119
- Lower lung (LL)	0.20 ± 0.11	0.18 ± 0.1		-0.652	0.515
- Upper abdomen (UA)	0.41 ± 0.44	0.32 ± 0.2		-0.533	0.594
- Lower abdomen (LA)	0.06 ± 0.03	0.12 ± 0.09	-2.068		.036*
- Total part (TO)	0.82 ± 0.49	0.71 ± 0.38		-0.770	0.441
Vital capacity (VC) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.40 ± 0.15	0.40 ± 0.22	-0.098		0.462
- Lower lung (LL)	0.83 ± 0.23	0.84 ± 0.22	-0.166		0.436
- Upper abdomen (UA)	0.81 ± 0.32	0.81 ± 0.3		-0.178	0.859
- Lower abdomen (LA)	0.20 ± 0.15	0.19 ± 0.16		-0.415	0.678
- Total part (TO)	2.24 ± 0.68	2.25 ± 0.63		-0.059	0.953
Inspiratory capacity (IC) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.36 ± 0.17	0.36 ± 0.14	-0.11		0.457
- Lower lung (LL)	0.77 ± 0.19	0.72 ± 0.14	1.159		0.14
- Upper abdomen (UA)	0.73 ± 0.29	0.61 ± 0.21		-0.533	0.594

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปร	Pre-training X±SD	Post-training X±SD	t	z	p value
- Lower abdomen (LA)	0.14 ± 0.17	0.07 ± 0.2	1.377		0.103
- Total part (TO)	1.99 ± 0.63	1.76 ± 0.32	1.093		0.153
Expiratory reserve volume (ERV)					
- Upper lung (UL)	0.04 ± 0.10	0.04 ± 0.16	-0.003		0.499
- Lower lung (LL)	0.06 ± 0.18	0.11 ± 0.15		-0.770	0.441
- Upper abdomen (UA)	0.12 ± 0.17	0.22 ± 0.16		-1.244	0.214
- Lower abdomen (LA)	0.07 ± 0.06	0.15 ± 0.12		-1.718	0.086
- Total part (TO)	0.29 ± 0.43	0.52 ± 0.49	-1.476		0.089
Total lung capacity (TLC)					
- Upper lung (UL)	15.39 ± 2.81	15.93 ± 3.17	-1.906		.047*
- Lower lung (LL)	14.10 ± 2.70	14.12 ± 2.81	-0.047		0.482
- Upper abdomen (UA)	10.35 ± 1.95	10.94 ± 2.42		-1.362	0.173
- Lower abdomen (LA)	6.05 ± 2.01	6.52 ± 2.19	-1.179		0.136
- Total part (TO)	45.89 ± 8.82	47.51 ± 10.25	-1.457		0.092

*: significant different at p<0.05

จากตารางที่ 9 พบว่า ค่าความต่างของ Tidal Volume (TV), Vital capacity (VC), Inspiratory capacity (IC), Expiratory reserve volume (ERV), Total lung capacity (TLC) ในส่วนต่างๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติ พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่า Tidal Volume (TV) ในส่วนของ Lower abdomen (LA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.036, ค่า Total

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

lung capacity (TLC) ในส่วนของ Upper lung (UL) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.47

ตารางที่ 10 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก ของกลุ่มที่ 2 โดยใช้ Paired t test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวปกติ และ Wilcoxon sign rank test สำหรับข้อมูลที่กระจายตัวไม่ปกติ (n = 9)

ตัวแปร	Pre-training X±SD	Post-training X±SD	t	z	p value
Tidal Volume (TV) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.23 ± 0.20	0.18 ± 0.16		-1.125	0.26
- Lower lung (LL)	0.26 ± 0.25	0.24 ± 0.18		-.296	0.767
- Upper abdomen (UA)	0.37 ± 0.30	0.34 ± 0.15		-.296	0.767
- Lower abdomen (LA)	0.10 ± 0.07	0.07 ± 0.07		-1.599	0.11
- Total part (TO)	0.96 ± 0.78	0.83 ± 0.48		-.770	0.441
Vital capacity (VC) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.54 ± 0.14	0.49 ± 0.20		-.889	0.374
- Lower lung (LL)	0.79 ± 0.22	0.86 ± 0.37		-1.244	0.214
- Upper abdomen (UA)	0.96 ± 0.32	1.08 ± 0.23	-1.281		0.118
- Lower abdomen (LA)	0.26 ± 0.11	0.23 ± 0.17	0.348		0.368
- Total part (TO)	2.54 ± 0.51	2.76 ± 0.63	-0.471		0.325
Inspiratory capacity (IC) (Liter)					
- Upper lung (UL)	0.50 ± 0.20	0.50 ± 0.24	-0.07		0.473
- Lower lung (LL)	0.79 ± 0.21	0.79 ± 0.34	-0.001		0.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปร	Pre-training X±SD	Post-training X±SD	t	z	p value
- Upper abdomen (UA)	0.93 ± 0.34	0.90 ± 0.27	0.296		0.387
- Lower abdomen (LA)	0.15 ± 0.10	0.18 ± 0.25	-0.419		0.343
- Total part (TO)	2.38 ± 0.55	2.39 ± 0.61	-0.056		0.479
Expiratory reserve volume (ERV)					
- Upper lung (UL)	0.04 ± 0.11	-0.02 ± 0.08	1.568		0.078
- Lower lung (LL)	-0.01 ± 0.19	0.07 ± 0.1		-1.481	0.139
- Upper abdomen (UA)	0.03 ± 0.21	0.18 ± 0.17	-1.999		0.040*
- Lower abdomen (LA)	0.11 ± 0.10	0.05 ± 0.17	0.767		0.232
- Total part (TO)	0.17 ± 0.50	0.27 ± 0.32	-0.615		0.278
Total lung capacity (TLC)					
- Upper lung (UL)	17.08 ± 3.69	18.28 ± 2.63	-1.164		0.139
- Lower lung (LL)	13.98 ± 1.95	15.47± 2.26	-2.651		0.015*
- Upper abdomen (UA)	11.12 ± 2.32	14.12 ± 3.27	-4.188		0.002*
- Lower abdomen (LA)	7.16 ± 2.02	8.82± 2.46	-2.89		0.010*
- Total part (TO)	49.35 ± 9.47	56.69 ± 10.14	-3.206		0.006*

*: significant different at p<0.05

จากตารางที่ 10 พบว่า ค่าความต่างของ Tidal Volume (TV), Vital capacity (VC), Inspiratory capacity (IC), Expiratory reserve volume (ERV), Total lung capacity (TLC) ในส่วนต่างๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อน และหลังการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันปกติ พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของค่า Expiratory reserve

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

volume (ERV) ในส่วนของ Upper abdomen (UA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, ค่า Total lung capacity (TLC) ในส่วนของ Lower lung (LL) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.015 ในส่วนของ Upper abdomen (UA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.02 ในส่วนของ Lower abdomen (LA) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ในส่วนของ Total part (TO) ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.006

ตอนที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max})

ตารางที่ 11 ผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ของข้อมูลก่อนการฝึก และ หลังการฝึก โดยใช้ Independence t test (n = 9)

ตัวแปร	กลุ่มที่ 1 (n =9) X±SD	กลุ่มที่ 2 (n = 9) X±SD	t	p value
-เปรียบเทียบก่อนการทดลองระหว่างกลุ่ม	51.11 ± 5.25	50.22 ± 4.76	0.376	0.631
-เปรียบเทียบหลังการทดลองระหว่างกลุ่ม	52.22 ± 5.40	51.667 ± 5.07	0.225	0.792

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 11 พบว่า ค่าความต่างของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติกับในกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ พบว่า ค่าความต่างของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างหลังการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติกับในกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

ตารางที่ 12 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึก ของกลุ่มที่ 1 และ ของกลุ่มที่ 2 โดยใช้ Paired t-test (n = 9)

ตัวแปร	ก่อนการฝึก X±SD	หลังการฝึก X±SD	t	p value
เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดลอง				
- กลุ่มที่1	51.11 ± 5.25	52.22 ± 5.40	-1.23	0.13
- กลุ่มที่2	50.22 ± 4.76	51.667 ± 5.07	-1.73	0.06

จากตางรางที่ 12 พบว่า ค่าความต่างของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและ หลังการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ พบว่า ค่าความต่างของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อน และ หลังการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อศึกษาผลของการฝึกในรูปแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล โดยแบ่งอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 8 คน คือ กลุ่มที่ 1 ฝึกที่ระดับออกซิเจนปกติ (20.93%) และ กลุ่มที่ 2 ฝึกที่ระดับออกซิเจนต่ำ (14.5% - 15%) ที่ความดันบรรยากาศปกติทั้ง 2 กลุ่ม ฝึกโดยการวิ่งบนลู่กลในห้องจำลองสภาวะออกซิเจนต่ำ (ATS-5HKP 750 SYSTEM, Australia) ตามโปรแกรมกำหนด ก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ วิเคราะห์รูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจโดยใช้โปรแกรม Qualisys Track Manager (QTM) จากตำแหน่งมาร์คเกอร์ 30 จุด บนทรวงอก นำคู่ลำดับของตำแหน่งทั้ง 30 จุดมาคำนวณปริมาตรทรวงอกบนพื้นฐานทางเรขาคณิต ได้ปริมาตรทรวงอกขณะหายใจ 4 ส่วนคือ ทรวงอกส่วนบน (UL) ทรวงอกส่วนล่าง (LL) ช่องท้องส่วนบน (UA) และช่องท้องส่วนล่าง (LA) และปริมาตรโดยรวม (TO) โดยแสดงผลเป็นค่า Tidal Volume (TV), Vital Capacity (VC), Inspiratory Capacity (IC), Expiratory Reserve Volume (ERV) และ Total Lung Capacity (TLC) จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม โดยใช้ Independent t-test (t) หรือ Mann Whitney U test (U) เปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึกโดยใช้ Pair t-test (t) หรือ Wilcoxon sign rank เพื่อหาความแตกต่างกันของตัวแปร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการวิจัยพบว่า

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยระหว่างกลุ่ม<u>ก่อนการฝึก</u>

ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาตรหายใจปกติ (Tidal Volume: TV) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างก่อนการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity: VC) ในส่วนต่างๆและผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างก่อนการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity: IC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างก่อนการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory Reserve Volume: ERV) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างก่อนการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุปอดแท้รวม (Total Lung Capacity: TLC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างก่อนการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบค่าของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ระหว่างก่อนการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติกับในกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยระหว่างกลุ่ม<u>หลังการฝึก</u>

ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาตรหายใจปกติ (Tidal Volume: TV) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างหลังการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ ทรวงอกส่วนบน (UL)

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity: VC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างหลังการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ ช่องท้องส่วนบน (UA)

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity: IC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างหลังการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ ช่องท้องส่วนบน (UA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการเปรียบเทียบปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory Reserve Volume: ERV) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างหลังการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของผลรวมทั้งหมด

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุปอดแท้รวม (Total Lung Capacity: TLC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างหลังการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติและสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบค่าของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ระหว่างหลังการออกกำลังกาย ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติกับในกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบภายในกลุ่มของทั้งสองกลุ่ม

ผลการเปรียบเทียบภายในกลุ่มที่ 1 (ฝึกที่ระดับออกซิเจนปกติ)

ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาตรหายใจปกติ (Tidal Volume: TV) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ ช่องท้องส่วนล่าง (LA)

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity: VC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity: IC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory Reserve Volume: ERV) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุปอดแท้รวม (Total Lung Capacity: TLC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ ทรวงอกส่วนบน (UL)

ผลการเปรียบเทียบค่าของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ระหว่างก่อนการออกกำลังกาย ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการเปรียบเทียบภายในกลุ่มที่ 2 (ฝึกที่ระดับออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ)

ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาตรหายใจปกติ (Tidal Volume: TV) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity: VC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity: IC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory Reserve Volume: ERV) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ ช่องท้องส่วนบน (UA)

ผลการเปรียบเทียบค่าความจุปอดแท้รวม (Total Lung Capacity: TLC) ในส่วนต่าง ๆ และผลรวมทั้งหมด พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ ทรวงอกส่วนล่าง (LL) ช่องท้องส่วนบน (UA) และช่องท้องส่วนล่าง (LA) และปริมาตรโดยรวม (TO)

ผลการเปรียบเทียบค่าของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ระหว่างหลังการออกกำลังกาย ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อภิปรายผล

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกคนมีอายุระหว่าง อายุ 18-25 ปี จาก ชมรมรักบี้ฟุตบอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สุขภาพสมบูรณ์ แข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวที่ร้ายแรง ไม่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบหายใจ ดังนั้นจึงสามารเข้าร่วมงานวิจัยนี้ได้ โดยมีผู้ถอนตัวจากงานวิจัยจำนวน 2 คน จากอาการบาดเจ็บ ซึ่งยังอยู่ในจำนวนของการป้องกันการถอนตัว หรือ drop out จากงานวิจัย ซึ่งสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

วิธีการคำนวณปริมาตรทรวงอกที่แสดงในงานวิจัยครั้งนี้พัฒนาจากพื้นฐานทางกายวิภาคศาสตร์ของทรวงอกและช่องท้อง โดยปริมาตรที่ได้จากการคำนวณนี้เป็นปริมาตรทางอ้อมที่ได้จากการเคลื่อนไหวของทรวงอกขณะหายใจ อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าผลของการคำนวณปริมาตร สามารถนำมาเทียบเคียงถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของปอดได้จริง ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงรูปแบบการเคลื่อนไหวที่เปลี่ยนแปลงของการขยายทรวงอกหลังการออกกำลังกายได้โดยใช้วิธีการทางชีวกลศาสตร์ด้วยการติดมาร์คเกอร์บนทรวงอกตามแนวทางของกายวิภาคศาสตร์ของผิวหนัง (Surface anatomy) เพื่อกำหนดตำแหน่งของปอด กระบังลม และช่องท้อง และนำคู่ลำดับแบบสามมิติ (x,y,z) ของตำแหน่งมาร์คเกอร์ทั้ง 30 จุด มาคำนวณหาปริมาตรทรวงอก (Chest volume) โดยใช้สูตรคำนวนปริมาตรทางเรขาคณิตจากผลรวมของปริมาตรทรง 12 เหลี่ยมด้านไม่เท่า และแบ่งทรวงอกในการคำนวณออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ทรวงอกส่วนบน (Upper lung; UL) ทรวงอกส่วนล่าง (Lower lung; LL) ช่องท้องส่วนบน (Upper abdomen; UA) ช่องท้องส่วนล่าง (Lower abdomen; LA) และ ผลรวมปริมาตรทรวงอก (Total part; TO) (Sarro et al., 2008; Silvatti et al., 2012; Karine, 2008; ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560)

อภิปรายผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม

จากการทดลองพบว่าเมื่อคำนวณปริมาตรทรวงอกทั้ง 4 ส่วนก่อนเข้าร่วมงานวิจัย พบว่าปริมาตรทรวงอกเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ก่อนการฝึก ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ของค่าปริมาตรหายใจปกติ (Tidal Volume; TV) ค่าความจุปอดเต็มที่ (Vital Capacity; VC) ค่าปริมาตรความจุหายใจเข้า (Inspiratory Capacity; IC) ค่าปริมาตรหายใจออกสำรอง (Expiratory Reserve Volume; ERV) และค่าความจุปอดแท้รวม (Total Lung Capacity; TLC) ของทรวงอกทั้ง 4 ส่วน และผลรวมปริมาตรทั้งหมด แสดงได้ว่ากลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มมีรูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจในช่วงก่อนการฝึกไม่แตกต่างกัน ดังนั้นหากพบความแตกต่างอย่างมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นัยสำคัญของตัวแปรใด ๆ น่าจะเกิดจากผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติจริง

จากผลการวิจัย ที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่า Tidal volume (TV) ในส่วนของ Upper lung (UL), ค่า Vital capacity (VC) ในส่วนของ Upper abdomen (UA), ค่า Inspiratory capacity (IC) ในส่วนของ Upper abdomen (UA) และ ค่า Expiratory reserve volume (ERV) ในส่วนของ Total part (TO) จึงขออภิปรายแยกตามตัวแปร ดังนี้

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างจากค่า Tidal volume (TV) ซึ่งเป็นปริมาตรปอดขณะหายใจปกติ (Silent Breathing) (Fesher, 2017; West, 2012) จากผลการทดลอง พบว่าค่า TV ของกลุ่มที่ 2 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ แสดงค่ามากกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ของปริมาตรปอดส่วน Upper lung (UL) แสดงว่า หลังการฝึก 6 สัปดาห์ ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติส่งผลให้รูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจปกติ มีการดึงอากาศขึ้นปอดส่วนบนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากกลไกการกระตุ้นการหายใจจากสภาวะออกซิเจนต่ำ โดยระดับของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีผลต่อการตอบสนองของร่างกายโดยส่งผลต่อการเร่งความถี่ในการหายใจ โดยเมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น จะเกิดการกระตุ้นความถี่ในการหายใจ ผ่านทางตัวรับทางเคมี (Chemoreceptor) ซึ่งอยู่ในระบบไหลเวียนโลหิตและระบบทางเดินหายใจ ซึ่งจะส่งสัญญาณกระตุ้นไปยังสมองเพื่อให้ร่างกายเกิดการปรับรูปแบบของการหายใจ โดยจะมีการเร่งความถี่ในการหายใจเพิ่มขึ้น การหายใจมีความลึกเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาตรในการดึงออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย (Dufour et al., 2001; Czuba et al., 2018; Kenny et al., 2015; ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560) แต่เมื่อพิจารณาผลการคำนวนค่าปริมาตรทรวงอกระดับอื่น จะพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาตรทรวงอกส่วน Lower lung (LL), Upper abdomen (UA) และผลรวมปริมาตร (Total Part; TO) ของกลุ่มที่ 2 จะมากกว่าของกลุ่มที่ 1 ขณะที่ ค่าเฉลี่ยของปริมาตรทรวงอกส่วน Lower abdomen (LA) ของกลุ่มที่ 1 มากกว่ากลุ่มที่ 2 แต่ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงน่าจะกล่าวได้ว่า ผลการฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ ไม่ส่งผลในการเพิ่มปริมาตรปอดโดยรวมขณะหายใจปกติได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปแบบการขยายทรวงอกให้เพิ่มปริมาตรอากาศไปยังส่วน Upper lung (UL) มากขึ้นได้ กระนั้นก็ตามอาจเกิดจากการตอบสนองของร่างกายขณะอยู่ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติที่มีความยากในการหายใจ จึงได้ตอบสนองโดยการเพิ่มปริมาตรอากาศไปยังปอดส่วนบนซึ่งเป็นการตอบสนองเบื้องต้นได้ (Fesher, 2017; West, 2012)

จากค่า Vital capacity (VC) ซึ่งเป็นปริมาตรปอดขณะหายใจเข้าและออกเต็มที่ (Deep Breathing) (Fesher, 2017; West, 2012) จากผลการทดลอง พบว่าค่า VC ของกลุ่มที่ 2 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ แสดงค่ามากกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ของปริมาตรปอดส่วน Upper abdomen

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(UA) แสดงว่า หลังการฝึก 6 สัปดาห์ ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติส่งผลให้รูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจลึก ส่งผลให้สามารถดึงอากาศลงสู่ปอดส่วนล่างได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาตรปอดในส่วนต่าง ๆ รวมถึงค่าเฉลี่ยของผลรวมปริมาตรปอด ของกลุ่มที่ 2 มากกว่ากลุ่มที่ 1 ทุกส่วนแม้จะไม่มีนัยสำคัญ จึงน่าจะกล่าวได้ว่า ผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขยายทรวงอกในรูปแบบที่สามารถดึงอากาศลงปอดส่วนล่างได้มากขึ้น ซึ่งรูปแบบการหายใจที่สามารถดึงอากาศลงปอดส่วนล่างนี้ จัดเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากปอดส่วนล่างมีปริมาตรมากกว่าปอดส่วนบน เมื่อสามารถดึงอากาศลงสู่ปอดส่วนล่างได้มากขึ้น จึงน่าจะแสดงถึงประสิทธิภาพในการหายใจเพิ่มขึ้น (Czuba et al., 2018; Park, 2016; Seitz, 2020; Kenny et al., 2015; Hamilton, 2011) จึงน่าจะกล่าวได้ว่า ผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติส่งผลให้ผู้ที่ได้รับการฝึก สามารถพัฒนาสมรรถภาพทางการหายใจโดยมีรูปแบบการขยายทรวงอกที่สามารถดึงอากาศลงสู่ปอดส่วนล่างได้มากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ

จากค่า Inspiratory capacity (IC) ซึ่งเป็นปริมาตรปอดขณะหายใจเข้าเต็มที่เทียบกับปริมาตรปอดขณะหายใจออกปกติ (Fesher, 2017; West, 2012) จากผลการทดลอง พบว่าค่า IC ของกลุ่มที่ 2 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ แสดงค่ามากกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ของปริมาตรปอดส่วน Upper Abdomen (UA) แสดงว่า การเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของค่า VC ที่ปอดส่วนล่างเกิดจากรูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจเข้าเต็มที่สามารถดึงอากาศลงปอดส่วนล่างได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากผลการฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติสามารถพัฒนาสมรรถภาพของการทำงานของกล้ามเนื้อกระบังลมได้มากขึ้น จึงมีรูปแบบการขยายทรวงอกขณะหายใจเข้าเต็มที่ของปอดส่วนล่างได้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช (ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560) ที่พบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ ในการเพิ่มค่า IC ของปอดส่วนล่าง ซึ่งการตอบสนองในร่างกายโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของการขยายทรวงอกให้มีการหายใจโดยการดึงอากาศลงสู่ปอดส่วนล่างเพิ่มขึ้นนั้น เป็นรูปแบบการหายใจที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากปอดส่วนล่างมีปริมาตรมากกว่าและเป็นพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซมากกว่าพื้นที่ปอดส่วนบน การหายใจในลักษณะนี้เป็นการหายใจที่ใช้กล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อบริเวณท้องซึ่งเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ จึงส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในการหายใจเมื่อเทียบกับการใช้กล้ามเนื้อส่วนอื่นในการหายใจ (Aliverti et al., 1997; Hamilton, 2011; Kenny et al., 2015; ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560)

จากค่า Expiratory reserve volume (ERV) ซึ่งเป็นปริมาตรปอดขณะหายใจออกเต็มที่ (Fesher, 2017; West, 2012) จากผลการทดลอง พบว่าค่า ERV ของกลุ่มที่ 1 หลังการฝึก 6 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แสดงค่ามากกว่ากลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของค่าเฉลี่ยปริมาตรรวม (Total Part; TO) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติน่าจะส่งผลต่อกล้ามเนื้อในการหายใจออกเต็มที่ ให้สามารถขับอากาศออกได้มากกว่าการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนปกติ จึงเหลือปริมาตรโดยรวมน้อยกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ

จากค่า Total lung capacity (TLC) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาตรปอดขณะหายใจเต็มที่ (Fesher, 2017; West, 2012) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของปริมาตรทุกส่วนและค่าเฉลี่ยผลรวมปริมาตรปอด จึงน่าจะกล่าวได้ว่าการฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติน่าจะส่งผลต่อกลไกการหายใจ ให้มีรูปแบบการหายใจที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ไม่ได้ส่งผลต่อปริมาตรปอดเมื่อหายใจเข้าเต็มที่ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช (ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560) พบว่าการเปลี่ยนแปลงกลไกการหายใจที่เพิ่มปริมาตรปอดขณะหายใจเข้าและออกเต็มที่ โดยเฉพาะในส่วนของปอดส่วนล่าง เป็นการปรับตัวแบบฉับพลันของร่างกายเมื่ออยู่ในสภาวะออกซิเจนความดันบรรยากาศปกติ โดยการกระตุ้นการหายใจ โดยเมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น จะเกิดการกระตุ้นความถี่ในการหายใจ ผ่านทางตัวรับทางเคมี (Chemoreceptor) ซึ่งอยู่ในระบบไหลเวียนโลหิตและระบบทางเดินหายใจ ซึ่งจะส่งสัญญาณกระตุ้นไปยังสมองเพื่อให้ร่างกายเกิดการปรับรูปแบบของการหายใจ โดยจะมีการเร่งความถี่ในการหายใจเพิ่มขึ้น กลไกการหายใจมีความลึกเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาตรในการดึงออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย แต่ไม่ได้เพิ่มปริมาตรโดยรวมของปอดร่างกาย (Dufour et al., 2001; Czuba et al., 2018; Kenny et al., 2015)

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ค่าของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ในกลุ่มปริมาณออกซิเจนปกติกับในกลุ่มปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยอาจอธิบายได้ว่าโปรแกรมการฝึกในงานวิจัยครั้งนี้อาจหนักไม่เพียงพอต่อผู้เข้าร่วมงานวิจัย เนื่องจากถึงแม้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเป็นนักกีฬารักบี้ฟุตบอล แต่อย่างไรก็ตามช่วงเวลาในการทำวิจัยอยู่ในช่วงเริ่มฤดูกาลฝึกซ้อม ยังไม่ใกล้เวลาแข่งขัน ดังนั้นโปรแกรมการฝึกหลักจึงยังอยู่ในระดับปานกลางเพื่อคงหรือปรับสมรรถภาพทางกายเท่านั้น ซึ่งจากการศึกษาของ Park และ คณะ (2016) แนะนำว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรกยากาศปกติ ควรจะออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ถึง 1.30 ชั่วโมงต่อวัน 4 วันต่อสัปดาห์ขึ้นไป ที่ความหนัก 70% VO_{2max}ขึ้นไป จึงจะเกิดการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) โปรแกรมการฝึกเสริมในงานวิจัยนี้ ที่อ้างอิงจาก Gormley และคณะ (2008) ที่เป็นโปรแกรมการออกกำลังกายของงานวิจัยนี้จะพบว่า การฝึกที่ความ ฝึกที่ความหนัก 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง 30 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 1 และ ฝึกที่ความหนัก 75% ของอัตราการ

เต้นหัวใจสำรอง 40 นาที 3วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 2 และ ฝึกที่ความหนัก 75% 40นาที 4 วันต่อสัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 3-6 ร่วมกับการฝึกหลักปกติ เมื่อรวมกับโปรแกรมการฝึกหลัก จึงอาจยังมีความหนักไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นการพัฒนาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญได้ อีกทั้ง Spurway (2006) ที่แนะนำให้ออกกำลังกายอย่างน้อย 8 สัปดาห์ จึงจะพบการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ดังนั้นจึงน่าจะกล่าวได้ว่าถ้าต้องการกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล ควรปรับความหนักและช่วงเวลาฝึกให้สอดคล้องกับสมรรถภาพ และวัตถุประสงค์ของการฝึกสำหรับนักกีฬาให้เหมาะสม สอดคล้องกับช่วงเวลาของฤดูกาลในการแข่งขันด้วย

อภิปรายผลการเปรียบเทียบภายในกลุ่ม

จากผลการวิจัย ภายในกลุ่มที่ 1 (ฝึกที่ระดับออกซิเจนปกติ) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ ค่า Tidal volume (TV) ในส่วนของ lower abdomen (LA), และค่า Total lung capacity (TLC) ในส่วนของ Upper lung (UL) และภายในกลุ่มที่ 2 (ฝึกที่ระดับออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ) ที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ ค่า Expiratory reserve volume (ERV) ในส่วนของ Upper abdomen (UA) และค่า Total lung capacity (TLC) ในส่วนของ Lower lung (LL) Upper abdomen (UA) Lower abdomen (LA) และ Total part (TO) จึงขออภิปรายแยกตามตัวแปร ดังนี้

จากค่า Tidal Volume (TV) ซึ่งเป็นปริมาตรปอดขณะหายใจปกติ (Silent Breathing) (Fesher, 2017; West, 2012) ของกลุ่มที่ 1 หลังจากการฝึก 6 สัปดาห์แสดงค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของปริมาตรปอดส่วน Lower abdomen (LA) แสดงว่าหลังจากการฝึก 6 สัปดาห์ ในสภาวะออกซิเจนปกติ มีการดึงอากาศเข้าสู่ปอดส่วนล่างเพิ่มขึ้น จากการพัฒนาของระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิต จากการออกกำลังแบบแอโรบิกที่มีการใช้ออกซิเจนเข้าไปสังเคราะห์เป็นพลังงาน เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการออกกำลังกายให้ดีขึ้น (Rivera-Brown & Frontera, 2012; Pescatello et al, 2014) จึงกล่าวได้ว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการหายใจปกติ (TV) ให้มีการดึงอากาศลงสู่ปอดส่วนได้ได้เพิ่มมากขึ้น ขณะที่การออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขยายทรวงอกหลังการฝึก จึงอาจกล่าวได้ว่าหลังการฝึกอาจมีการเคยชินกับการออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนต่ำได้มากขึ้น รูปแบบการขยายทรวงอกจึงกลับสู่สภาวะเหมือนก่อนได้รับการฝึก จึงควรพิจารณาตัวแปรอื่นเพื่ออธิบายเพิ่มเติม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากค่า Vital capacity (VC) ซึ่งเป็นปริมาตรปอดขณะหายใจเข้าและออกเต็มที่ (Deep Breathing) (Fesher, 2017; West, 2012) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของปริมาตรทุกส่วนและค่าเฉลี่ยผลรวมปริมาตรปอด จึงน่าจะกล่าวได้ว่าการฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ไม่ได้ส่งผลต่อกลกลไกการหายใจ ให้มีรูปแบบการหายใจที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้ง 2 สภาวะ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าจากการศึกษาของ ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช (2560) พบว่าการเปลี่ยนแปลงกลไกการหายใจที่เพิ่มปริมาตรปอดขณะหายใจเข้าและออกเต็มที่ โดยเฉพาะในส่วนของปอดส่วนล่าง เป็นการปรับตัวแบบฉับพลันของร่างกายเมื่ออยู่ในสภาวะออกซิเจนความดันบรรยากาศปกติ โดยการกระตุ้นการหายใจ และจากงานวิจัยของ Mazic (2015) ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราการหายใจ ในค่า Vital capacity (VC) และ Forced vital capacity (FVC) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างนักกีฬารักบี้ฟุตบอลและคนบุคคลทั่วไป จึงอาจกล่าวได้ว่า นักกีฬารักบี้ฟุตบอลอาจมีรูปแบบการหายใจที่ไม่จำเป็นต้องหายใจเข้าและออกเต็มที่ขณะเล่นกีฬา ดังนั้นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในงานวิจัยนี้จึงไม่พบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของการหายใจรูปแบบนี้

จากค่า Inspiratory capacity (IC) ซึ่งเป็นปริมาตรปอดขณะหายใจเข้าเต็มที่เทียบกับปริมาตรปอดขณะหายใจออกปกติ (Fesher, 2017; West, 2012) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของปริมาตรทุกส่วนและค่าเฉลี่ยผลรวมปริมาตรปอด จึงน่าจะกล่าวได้ว่าการฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ไม่ได้ส่งผลต่อกลกลไกการหายใจ ให้มีรูปแบบการหายใจที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้ง 2 สภาวะซึ่งอาจกล่าวได้ว่าจากการศึกษาของ ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช (2560) พบว่าการเปลี่ยนแปลงกลไกการหายใจที่เพิ่มปริมาตรปอดขณะหายใจเข้าและออกเต็มที่ โดยเฉพาะในส่วนของปอดส่วนล่าง เป็นการปรับตัวแบบฉับพลันของร่างกายเมื่ออยู่ในสภาวะออกซิเจนความดันบรรยากาศปกติ โดยการกระตุ้นการหายใจ โดยเมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำลงและคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น จะเกิดการกระตุ้นความถี่ในการหายใจ ผ่านทางตัวรับทางเคมี (Chemoreceptor) ซึ่งอยู่ในระบบไหลเวียนโลหิตและระบบทางเดินหายใจ ซึ่งจะส่งสัญญาณกระตุ้นไปยังสมองเพื่อให้ร่างกายเกิดการปรับรูปแบบของการหายใจ โดยจะมีการเร่งความถี่ในการหายใจเพิ่มขึ้น การหายใจมีความลึกเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาตรในการดึงออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย (Dufour et al., 2001; Czuba et al., 2018; ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560)

จากค่า Expiratory reserve volume (ERV) ซึ่งเป็นปริมาตรปอดขณะหายใจออกเต็มที่ (Fesher, 2017; West, 2012) จากการทดลองพบว่า ERV ของกลุ่มที่ 2 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ แสดงค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ Upper abdomen (UA) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ น่าจะส่งผลต่อกล้ามเนื้อในการหายใจออกเต็มที่ ให้สามารถตรึงอากาศได้มากขึ้น จึงเหลือปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hamilton (Hamilton, 2011) ที่พบว่ารูปแบบการหายใจหลังการออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กำลังกาย ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ สามารถกระตุ้นรูปแบบการขยายทรวงอกให้มีรูปแบบ การหายใจโดยดึงอากาศลงสู่ปอดส่วนล่างเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็น ปอดส่วนที่มีปริมาตรมากและจัดเป็นส่วนที่มีประสิทธิภาพ ในการแลกเปลี่ยนก๊าซมากกว่าปอดส่วนบน ซึ่งอาจทำให้เกิดการตรึงอากาศไว้ในปอดส่วนล่างเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากค่า Total Lung Capacity (TLC) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาตรปอดขณะหายใจเต็มที่ (Fesher, 2017; West, 2012) จากผลการทดลองพบว่า ค่า TLC ของกลุ่มที่ 1 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ แสดงค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของ Upper lung (UL) และของกลุ่มที่ 2 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ แสดงค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของ Lower lung (LL) Upper abdomen (UA) Lower abdomen (LA) และ Total part (TO) จึงน่าจะกล่าวได้ว่าการฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ ส่งผลต่อรูปแบบการหายใจ ทำให้มีปริมาตรของปอดส่วนล่างเมื่อหายใจเข้าและออกเต็มที่เพิ่มขึ้นซึ่งการตอบสนองในร่างกายโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของการขยายทรวงอกให้มีการหายใจโดยการดึงอากาศลงสู่ปอดส่วนล่างเพิ่มขึ้นนั้น เป็นรูปแบบการหายใจที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากปอดส่วนล่างมีปริมาตรมากกว่าและเป็นพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซมากกว่าพื้นที่ปอดส่วนบน การหายใจในลักษณะนี้เป็นการหายใจที่ใช้กล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อบริเวณท้องซึ่งเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ จึงส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในการหายใจเมื่อเทียบกับการใช้กล้ามเนื้อส่วนอื่นในการหายใจ (Aliverti et al., 1997; Hamilton, 2011; Kenny et al., 2015; ต้อง คงวิเศษ และ นงนภัส เจริญพานิช, 2560) แต่ในสภาวะออกซิเจนปกติ จะส่งผลต่อปริมาตรของปอดส่วนบนเมื่อหายใจเข้าและออกเต็มที่ให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น

จากผลการเปรียบเทียบค่าของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกาย ของทั้ง 2 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยเหตุผลอาจจะคล้ายคลึงกันกับผลการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ที่ในส่วนของโปรแกรมการฝึกหลักที่ยังอยู่ในระดับปานกลางเพื่อคงหรือปรับสมรรถภาพทางกายเท่านั้น เพราะช่วงเวลาในการทำวิจัยอยู่ในช่วงเริ่มฤดูกาลฝึกซ้อม ยังไม่ใกล้เวลาแข่งขัน ดังนั้นโปรแกรมการฝึกหลักจึงยังอยู่ในระดับปานกลางเพื่อคงหรือปรับสมรรถภาพทางกายเท่านั้นดังนั้น โปรแกรมการฝึกเสริมที่เพิ่มเติมเข้ามาในการทดลองนี้ จึงอาจไม่เพียงพอในกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) โดยยังมีคำแนะนำจากการศึกษาของ Wortman (Wortman, 2012) ว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ ควรจะออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างน้อย 97 นาทีต่อวัน 6 วันต่อสัปดาห์ ที่ความหนัก 65% VO_{2max} จึงจะเกิดการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) หรือจากการศึกษาของ Spurway (Spurway, 2006) ที่แนะนำว่าการพัฒนาสมรรถภาพทางกายในการ

ออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน ควรออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างน้อย 8 สัปดาห์ จึงจะพบการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหากต้องการเพิ่มสมรรถภาพอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) อาจจะต้องใช้โปรแกรมการออกกำลังกายที่กระตุ้นให้เกิดการพัฒนามากขึ้น รวมถึงการวิเคราะห์ช่วงเวลาของฤดูกาลฝึกซ้อมให้อยู่ในช่วงที่ผู้เข้าร่วมวิจัยอยู่ในช่วงของการพัฒนาสมรรถภาพทางร่างกายให้พร้อมสำหรับการแข่งขัน

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ น่าจะกล่าวได้ว่า การศึกษารูปแบบการขยายทรวงอกโดยหลักการของชีวกลศาสตร์และการคำนวนปริมาตรทางคณิตศาสตร์ สามารถใช้เพื่ออธิบายผลของการออกกำลังกายในรูปแบบที่มีผลต่อระบบหายใจได้ โดยจากผลการวิจัยพบว่า การฝึกแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ มีผลต่อรูปแบบการขยายทรวงอกโดยมีการเพิ่มปริมาตรปอดส่วนบนขณะหายใจปกติ (TV) และเพิ่มปริมาตรปอดส่วนล่างเมื่อหายใจเข้า-ออก เต็มที่ (VC) โดยมีการเพิ่มปริมาตรปอดส่วนล่างจากการหายใจเข้าเต็มที่เมื่อเทียบกับการหายใจออกปกติ (IC) และส่งผลให้ปริมาตรของปอดส่วนล่างเพิ่มมากขึ้นแต่ปริมาตรปอดโดยรวมขณะหายใจออกเหลือน้อยลง (ERV) อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ปริมาตรปอดโดยรวมขณะหายใจเข้าเต็มที่ (TLC) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาตรของปอดส่วนล่างหลังจากออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ แต่ยังไม่ได้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในการพัฒนาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) จึงอาจกล่าวได้ว่าหลังผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ส่งผลให้ใช้กล้ามเนื้อส่วนกระบังลม และกล้ามเนื้อส่วนท้องเพิ่มขึ้นเพื่อดึงอากาศลงสู่ปอดส่วนล่างเพิ่มขึ้น จึงอาจสรุปได้ว่า ปริมาณออกซิเจนในอากาศนั้นน่าจะเป็นตัวแปรสำคัญในการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการขยายทรวงอกหลังการออกกำลังกายแบบแอโรบิกได้ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณารูปแบบการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพของระบบหายใจได้

ข้อเสนอแนะงานวิจัย

การออกกำลังกายแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 6 สัปดาห์สามารถกระตุ้นรูปแบบการขยายทรวงอกให้สามารถเพิ่มปริมาตรปอดส่วนล่างได้อย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถนำไปใช้เพื่อฝึกฝนนักกีฬา หรือใช้ออกกำลังกายสำหรับบุคคลทั่วไปที่ต้องการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อกระบังลมให้ทำงานเพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถดึงอากาศลงปอดส่วนล่างได้เพิ่มขึ้น เป็นการพัฒนาสมรรถภาพของการหายใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

จากการวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการหายใจซึ่งได้จากการวัดโดยการใช้กล้องสามมิติ ซึ่งเป็นวิธีการที่จะสามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการหายใจได้ โดยมีตัวแปรคือระดับปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยมีข้อคิดเห็นว่าสามารถใช้วิธีการนี้วัดกับตัวแปรอื่นเพื่อเป็นแนวทางในกาศึกษาเรื่องเกี่ยวกับรูปแบบการหายใจต่อไปได้ แต่หากต้องการเพิ่มสมรรถภาพอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) อาจจะต้องใช้โปรแกรมการออกกำลังกายที่กระตุ้นให้เกิดการพัฒนามากขึ้น รวมถึงการวิเคราะห์ช่วงเวลาของฤดูกาลฝึกซ้อมให้อยู่ในช่วงที่ผู้เข้าร่วมวิจัยอยู่ในช่วงของการพัฒนาสมรรถภาพทางร่างกายให้พร้อมสำหรับการแข่งขัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ต้อง คงวิเศษ และนงนภัส เจริญพานิช (2560). ผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกระหว่างปริมาณ ออกซิเจนปกติและปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อชีวกลศาสตร์ของการขยาย ทรวงอกขณะหายใจ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์. (2544). ชีวกลศาสตร์การกีฬาขั้นนำ. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชัย อิงปัญจลาภ. (2538). คู่มือการสอนรักบี้ฟุตบอล. กรุงเทพฯ: หน่วยศึกษานิเทศก์ สำนักพัฒนาการพลศึกษาสุขภาพและนันทนาการกรมพลศึกษา.

สัญญา ร้อยสมมุติ. (2555). *หัวใจและการไหลเวียนเลือด เล่มที่ 1 โครงสร้าง หลักการ และไฟฟ้าของหัวใจ.* ขอนแก่น: ภาควิชาสรีรวิทยาคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภาษาอังกฤษ

Albouaini, K., Egred, M., Alahmar, A., & Wright, D. J. (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. Postgraduate medical journal, 83(985), 675-682.

Aliverti, A., Cala, S. J., Duranti, R., Ferrigno, G., Kenyon, C. M., Pedotti, A., ... & Yan, S. (1997). Human respiratory muscle actions and control during exercise. Journal of Applied Physiology, 83(4), 1256-1269.

Attarzadeh Hosseini, S. R., & Hejazi, K. (2016). The Relationship Between Peak Oxygen Consumption and Pulmonary Function Indices: Measured by Spirometry and Allometry Equation in Male Students. Physical Treatments-Specific Physical Therapy Journal, 6(3), 137-142.

Blair, M. R., Elsworthy, N., Rehrer, N. J., Button, C., & Gill, N. D. (2018). Physical and physiological demands of elite rugby union officials. International journal of sports physiology and performance, 13(9), 1199-1207.

Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., & Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. Journal of applied physiology, 100(4), 1238-1248

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Chakshuraksha, P., & Apanukul, S. (2021). Effects of Accentuated Eccentric Loading Combined with Plyometric Training on Strength, Power, Speed, and Agility in Male Rugby Players. Journal of Exercise Physiology Online, 24(3).

Claro, F., & Bompa, T. (2009). Periodization in Rugby. Meyer & Meyer Sport

Czuba, M., Fidos-Czuba, O., Płoszczyca, K., Zając, A., & Langfort, J. (2018). Comparison of the effect of intermittent hypoxic training vs. the live high, train low strategy on aerobic capacity and sports performance in cyclists in normoxia. Biology of Sport, 35(1), 39.

Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., & Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. Journal of applied physiology, 100(4), 1238-1248

Engeroff, T., Bernardi, A., Vogt, L., & Banzer, W. (2015). Running economy assessment within cardiopulmonary exercise testing for recreational runners. The Journal of sports medicine and physical fitness, 56(3), 200-205.

Feher, J. J. (2017). Quantitative human physiology: an introduction (9th ed). Academic press.

Fox, S. I. (2010). Human physiology (12th ed.). McGraw-Hill.

Gormley, S. E., Swain, D. P., High, R. E. N. E. E., Spina, R. J., Dowling, E. A., Kotipalli, U. S., & Gandrakota, R. A. M. Y. A. (2008). Effect of intensity of aerobic training on VO2max. Medicine & Science in Sports & Exercise, 40(7), 1336-1343.

Hamilton, N. P. (2011). Kinesiology: Scientific basis of human motion. Brown & Benchmark

Hassel, E., Stensvold, D., Halvorsen, T., Wisløff, U., Langhammer, A., & Steinshamn, S. (2015). Association between pulmonary function and peak oxygen uptake in elderly: the Generation 100 study. Respiratory research, 16(1), 1-8.

Hopkins, N., & Viljoen, W. (2008). BokSmart: Preventive rehabilitation for rugby injuries to the lower back and core. South African Journal of Sports Medicine, 20(4), 95-101

Karine J. Sarro, ,. A. (2008). Coordination between ribs motion and thoracoabdominal volumes in swimmers. Journal of Sports Science and Medicine, 7, 195-200.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2015). Physiology of sport and exercise 6th edition: Human kinetics

Lazovic-Popovic, B., Zlatkovic-Svenda, M., Djeli, M., Durmic, T., Zikic, D., & Zugic, V. (2016). Is there relationship between dynamic volumes of pulmonary function and cardiac workload (maximal oxygen uptake) in young athletes? Revista Portuguesa de Pneumologia, 22(4), 237-240.

Limmer, M., & Platen, P. (2018). The influence of hypoxia and prolonged exercise on attentional performance at high and extreme altitudes: A pilot study. PloS one, 13(10), e0205285.

Mazic, S., Lazovic, B., Djelic, M., Suzic-Lazic, J., Djordjevic-Saranovic, S., Durmic, T., & Zugic,V. (2015). Respiratory parameters in elite athletes–does sport have an influence? *Revista Portuguesa de Pneumologia (English Edition)*, *21*(4), 192-197.

Park, H. Y., Hwang, H., Park, J., Lee, S., & Lim, K. (2016). The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes–a meta-analysis. Journal of exercise nutrition & biochemistry, 20(1), 15.

Parker, D. L. (2004). Effect of Altitude and Acute Hypoxia on VO 2 max. Journal of Exercise Physiology Online, 7(3).

Patel, H., Alkhawam, H., Madanieh, R., Shah, N., Kosmas, C. E., & Vittorio, T. J. (2017). Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. World journal of cardiology, 9(2), 134.

Pescatello, L. S., Riebe, D., & Thompson, P. D. (Eds.). (2014). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Lippincott Williams & Wilkins.

Ponsot, E., Dufour, S. P., Zoll, J., Doutrelau, S., N'Guessan, B., Geny, B., & Richard, R. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. Journal of applied physiology, 100(4), 1249-1257.

Powell, F. L., & Garcia, N. (2000). Physiological effects of intermittent hypoxia. High altitude medicine & biology, 1(2), 125-136.

Powers, S. K., Howley, E. T., & Quindry, J. (2007). Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance: McGraw-Hill

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Rasch-Halvorsen, Ø., Hassel, E., Langhammer, A., Brumpton, B. M., & Steinshamn, S. (2019). The association between dynamic lung volume and peak oxygen uptake in a healthy general population: the HUNT study. BMC pulmonary medicine, 19(1), 1-7.

Rivera-Brown, A. M., & Frontera, W. R. (2012). Principles of exercise physiology: responses to acute exercise and long-term adaptations to training. Pm&r, 4(11), 797-804.

Sarro, K. J., Silvatti, A. P., & Barros, R. M. (2008). Coordination between ribs motion and thoracoabdominal volumes in swimmers during respiratory maneuvers. Journal of sports science & medicine, 7(2), 195.

Seitz, H., Preissler, E., Catalá-Lehnen, P., & Weitl, M. (2020) Effects of the 'Live Low-Train High 'Method on Variables of Endurance Capacity. A Systematic Review.

Silvatti, A. P., Sarro, K. J., Cerveri, P., Baroni, G., & Barros, R. M. (2012). A 3D kinematic analysis of breathing patterns in competitive swimmers. Journal of sports sciences, 30(14), 1551-1560.

Spurway, N., & MacLaren, D. (2006). The physiology of training: Advances in sport and exercise science series. Elsevier Health Sciences.

Thomas W. DeCato MD, H. H. (2020). The American Thoracic Society. Retrieved from https://www.thoracic.org/patients/patient-resources/resources/cpetpdf.

West, J. B. (2012). Respiratory physiology: the essentials. Lippincott Williams & Wilkins.

Wilber, R. L. (2011). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. Journal of Human Sport and Exercise, 6(2), 271-286.

Wortman, M. D. (2012). Training variables of the live low-train high training model: a meta-analysis (Master's thesis).

Zordan, V. B., Celly, B., Chiu, B., & DiLorenzo, P. C. (2006). Breathe easy: Model and control of human respiration for computer animation. Graphical models, 68(2), 113-132.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

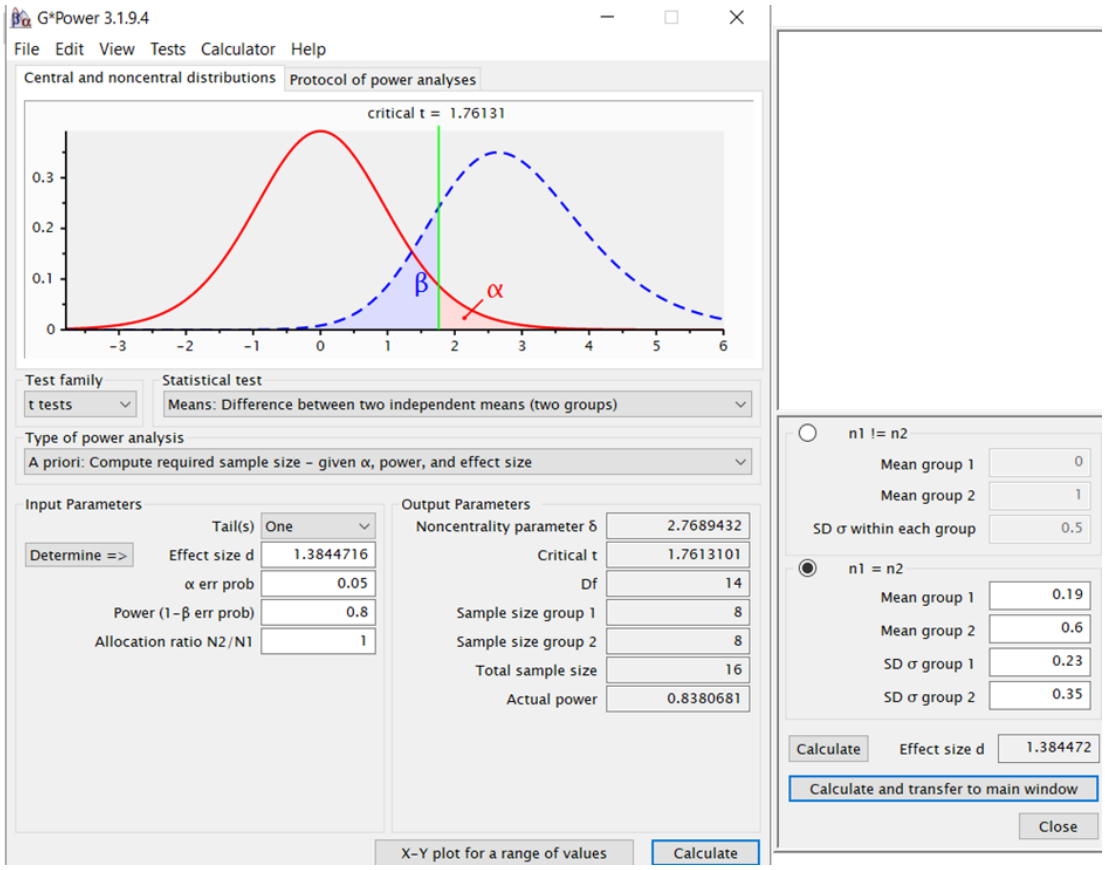
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจีพาวเวอร์ (G*Power)

คำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากงานวิจัยของ (ต้อง คงวิเศษ, 2560) โดยนำค่าเฉลี่ยจากผลงานวิจัยมาคำนวณผ่านโปรแกรม G* power โดยกำหนด α = 0.05, β = 0.2 และค่า effect size = 1.38



รูปที่ 23 การคำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้จีพาวเวอร์

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามความพร้อมในการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionaire :PAR-Q)

เลขรหัสผู้เข้าร่วมการวิจัย

.....

อายุ.....ปี.....เดือน

แบบสอบถามนี้ใช้สำหรับบุคคลที่มีอายุระหว่าง 15-69 ปี มีคำถามทั้งสิ้น 7 ข้อ

ใช่	ไม่	กรุณาทำเครื่องหมายถูกหน้าข้อที่เกิดขึ้นจริง
		1.แพทย์เคยพูดถึงปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวกับหัวใจ หรือเคยได้รับคำแนะนำจากแพทย์เกี่ยวกับอาการทางหัวใจหรือไม่
		2.ท่านเคยหรือมีความรู้สึกเจ็บปวดหรือแน่นบริเวณหน้าอก ขณะออกกำลังหรือไม่
		3.ในช่วงเดือนที่ผ่านมา ท่านมีอาการเจ็บหน้าอก ขณะอยู่เฉยๆโดยไม่ได้ออกกำลังกายหรือไม่
		4.คุณเคยเสียการทรงตัว เพราะสาเหตุมาจากการเวียนศีรษะ หรือเคยหมดสติหรือไม่
		5.ท่านเคยมีปัญหากระดูกหรือข้อต่อ ซึ่งจะมีอาการแย่ลง ถ้าออกกำลังกายหรือไม่
		6.แพทย์เคยให้ยาที่ใช้สำหรับลดความดัน หรือยาที่เกี่ยวข้องกับการรักษาอาการโรคหัวใจหรือไม่
		7.คุณทราบเหตุผลอื่นที่จะทำให้คุณไม่ควรออกกำลังหรือไม่

หมายเหตุ PAR-Q หรือ Physical Activity Readiness Questionaire (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติมปี ค.ศ. 2002) โดยสมาคมสรีรวิทยาการออกกำลังกายประเทศแคนาดา (Canadian Society for Exercise Physiology)

ภาคผนวก ค

แบบบันทึกข้อมูล

แบบบันทึกข้อมูลในการทดสอบในสภาวะ ☐ ออกซิเจนปกติ, ☐ ออกซิเจนต่ำ

เลขรหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

ชีพจรขณะพัก.....

50%HRR.....

75%HRR.....

อายุ.....น้ำหนัก.....

ส่วนสูง.....ดัชนีมวลกาย(BMI).....เปอร์เซ็นต์ไขมัน.....

ผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งสองกลุ่มวิ่งบนลู่กล โดยปรับความเร็วลู่กลสูงสุดเท่าที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัย สามารถวิ่งจนรักษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจได้ตามที่ตั้งไว้ในแต่ละครั้งของการฝึก โดยมี เป้าหมายดังนี้

- สัปดาห์ที่1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์
- สัปดาห์ที่2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์
- สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์

และเมื่อระดับการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเกินระดับชีพจรเป้าหมาย ก็จะลดระดับความหนักของการออกกำลังกายลงให้อยู่ในระดับอัตราการเต้นของหัวใจที่กำหนด

Chest volume

	สัปดาห์ที่ 0	**สัปดาห์ที่ 6**	
Vital capacity = VC			
Inspiration capacity = IC			
Tidal volume =TV			
Exspiratory reserve volume = ERV			
Total lung capacity = TLC			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สัปดาห์ที่ 0 วันที่.....

สัปดาห์ที่ 6 วันที่.....

ลงชื่อ.....

(ผู้บันทึกข้อมูล)

ภาคผนวก ง

อบอุ่นร่างกายแบบมีการเคลื่อนไหว (dynamic stretching)

1.1 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง และกลุ่มกล้ามเนื้อน่อง

สแทนดิ่ง คาล์ฟ แอน แฮมสตริง สเตรทซ์ (Standing calf and hamstring strech)

1.2 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้อสะโพก

Knee to chest walking

1.3 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

วอล์กกิ้ง ควอดไดรเซพพ์ สเตรทช์ (Walking quadriceps stretch)

1.4 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก (Iliopsoas)

ก้าวย่อตัวไปข้างหน้า (Forward Lunges)

ภาคผนวก จ

โปรแกรมการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกในกลุ่มภาวะออกซิเจนปกติและภาวะออกซิต่ำความดันปกติ

โปรแกรมการออกกำลังกายมีดังนี้

- สัปดาห์ที่ 1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์

- สัปดาห์ที่ 2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์

- สัปดาห์ที่ 3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์

โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้งสองกลุ่มจะต้องวิ่งบนลู่กล โดยจะมีการปรับระดับออกซิเจนตามที่กำหนดในแต่ละกลุ่ม โดยปรับความเร็วลู่กลสูงสุดเท่าที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยวิ่งจนกระทั้งรักษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจได้ตามที่โปรแกรมการออกกำลังกายกำหนดในแต่ละครั้งของ อัตราการเต้นหัวใจเป้าหมาย (Target HR) โดยปรับความชันให้อยู่ในแนวระนาบและให้ออกกำลังกายที่ระดับความหนักนั้น ตามระยะเวลาที่กำหนดในโปรแกรมการออกกำลังกาย ในแต่ละสัปดาห์ โดยเริ่มนับเวลาการออกกกำลังกายเมื่อชีพจรอยู่ในระดับชีพจรเป้าหมายของการฝึก โดยเมื่อระดับอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเกินระดับของชีพจรเป้าหมายที่กำหนดในโปรแกรมการออกกำลังกาย ก็ลดระดับความหนักของการออกกำลังกายลงให้อยู่ใรดับอัตราการเต้นของหัวใจที่กำหนด หลังจากออกกำลังกาย ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นระยะเวลา 5 นาที โดยประมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กลุ่มออกกำลังกายแบบแอโรบิค ภาวะออกซิเจนปกติ

	อบอุ่นร่างกายก่อนการฝึกในวันที่มีการฝึก 5 นาที						
Week / Day	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
1	ออกกำลังกายที่ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	พัก
2	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	พัก
3-6	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	พัก
	อบอุ่นร่างกายหลังการฝึกในวันที่มีการฝึก 5 นาที						

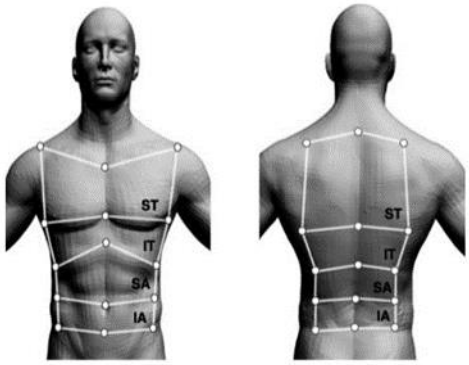
กลุ่มออกกำลังกายแบบแอโรบิค ภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ

	อบอุ่นร่างกายก่อนการฝึกในวันที่มีการฝึก 5 นาที						
Week / Day	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
1	ออกกำลังกายที่ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	พัก
2	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	พัก
3-6	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	ออกกำลังกายที่ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	พัก
	อบอุ่นร่างกายหลังการฝึกในวันที่มีการฝึก 5 นาที						

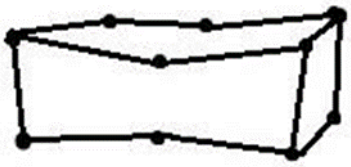
ภาคผนวก ฉ

การคำนวณปริมาตรทรวงอกจากรูปทรงเรขาคณิตที่ได้จากกล้อง 3 มิติ

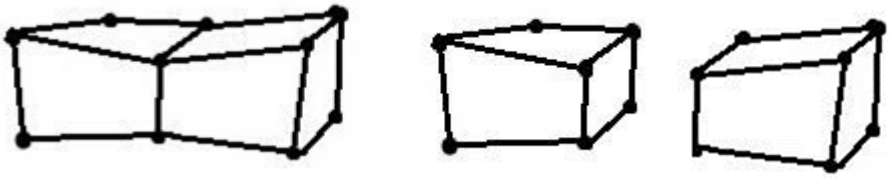
(Silvatti et al., 2012)



จากรูปจะเห็นได้เมื่อแบ่งปริมาตรออกเป็น 4 ส่วนแล้วแต่ละส่วนจะเป็นรูปทรงปริมาตรฐาน 12 เหลี่ยม



และเมื่อแบ่งครึ่งรูปทรงปริมาตรฐาน 12 เหลี่ยม จะได้รูปทรงปริมาตรฐาน 4 เหลี่ยมจำนวน 2 ชิ้น



นำค่าที่ได้ในแต่ละด้านมาคำนวณหาปริมาตรบนพื้นฐานทางคณิตศาสตร์

ภาคผนวก ช

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบโปรแกรมการทดสอบ

1.	ผศ ดร. คนางค์ ศรีหิรัญ	อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2.	อาจารย์ ดร.สุทธิกร อาภานุกูล	อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3.	ผศ.ดร. ไวพจน์ จันทร์เสม	อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขต สมุทรสาคร
4.	อาจารย์ ดร.วรเมธ ประจงใจ	อาจารย์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
5.	นาย ธาตรี ดีประดวง	หัวหน้าผู้ฝึกสอนสโมสรรักบี้ฟุตบอลทหารบก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ซ

แบบตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือของผู้เชี่ยวชาญ

การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruence; IOC)

<u>คำชี้แจง</u> ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญกรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อโปรแกรมการฝึกและการทดสอบ จากโครงการวิจัยเรื่องผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

โดยใส่เครื่องหมาย (√) ลงในช่องความคิดเห็นของท่านพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

เนื้อหาโปรแกรม	ผลพิจารณา			ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)
	เห็นด้วย +1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่เห็นด้วย -1	
รายละเอียดของโปรแกรมการฝึกของทั้ง 2 โปรแกรมการฝึก				
1. กลุ่มที่ 1 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังแบบแอโรบิกในสภาวะปกติ				
1.1 มีการเพิ่มความหนักในการฝึกแบบเป็นลำดับขั้น - สัปดาห์ที่1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์ - สัปดาห์ที่2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์ - สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์				
1.2 ความหนักในการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์				
1.3 ความหนักในการฝึกสัปดาห์ที่ 2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์				
1.4 ความหนักในการฝึกสัปดาห์สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์				
1.5 การฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนปกติจะใช้ระดับออกซิเจนตามบรรยากาศปกติที่ 20.93%				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เนื้อหาโปรแกรม	ผลพิจารณา			ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)
	เห็นด้วย +1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่เห็นด้วย -1	
1.6 เริ่มจับเวลาในการออกกำลังกายเมื่ออัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในระดับเป้าหมายของความหนักในการออกกำลังกายตามโปรแกรม				
2. กลุ่มที่ 2 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ				
2.1 มีการเพิ่มความหนักในการฝึกแบบเป็นลำดับขั้น - สัปดาห์ที่1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์ - สัปดาห์ที่2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์ - สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์				
2.2 ความหนักในการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์				
2.3 ความหนักในการฝึกสัปดาห์ที่ 2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์				
2.4 ความหนักในการฝึกสัปดาห์สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์				
2.5 การฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติระดับออกซิเจนจะอยู่ที่ 14.5%-15%				
2.6 เริ่มจับเวลาในการออกกำลังกายเมื่ออัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในระดับเป้าหมายของความหนักในการออกกำลังกายตามโปรแกรม				
รวม				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงนาม.....ผู้ประเมิน

(.....)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการประเมินความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึก

ความตรงเชิงเนื้อหาของโปรแกรมการฝึก **การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruenece; IOC**						
เนื้อหาโปรแกรมการฝึก	**ผลการพิจารณา**					**เฉลี่ย**
	ผู้ทรงฯ ท่านที่ 1	**ผู้ทรงฯ ท่านที่ 2**	**ผู้ทรงฯ ท่านที่ 3**	**ผู้ทรงฯ ท่านที่ 4**	**ผู้ทรงฯ ท่านที่ 5**	
1. กลุ่มที่ 1 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังแบบแอโรบิกในสภาวะปกติ						
1.1 มีการเพิ่มความหนักในการฝึกแบบเป็นลำดับขั้น - สัปดาห์ที่1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์ - สัปดาห์ที่2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์ - สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์	0	-1	-1	1	1	**0**
1.2 ความหนักในการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์	0	0	-1	1	1	**0.2**
1.3 ความหนักในการฝึกสัปดาห์ที่ 2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์	1	0	1	0	1	**0.6**
1.4 ความหนักในการฝึกสัปดาห์สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40 นาที 4 วัน/สัปดาห์	1	1	-1	0	1	**0.4**
1.5 การฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนปกติจะใช้ระดับออกซิเจนตามบรรยากาศปกติที่ 20.93%	1	1	1	1	1	**1**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.6 เริ่มจับเวลาในการออกกำลังกายเมื่ออัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในระดับเป้าหมายของความหนักในการออกกำลังกายตามโปรแกรม	1	1	1	1	1	**1**
2. กลุ่มที่ 2 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ						
2.1 มีการเพิ่มความหนักในการฝึกแบบเป็นลำดับขั้น - สัปดาห์ที่1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์ - สัปดาห์ที่2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์ - สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์	0	-1	1	1	1	**0.4**
2.2 ความหนักในการฝึกสัปดาห์ที่ 1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์	0	0	1	1	1	**0.6**
2.3 ความหนักในการฝึกสัปดาห์ที่ 2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์	1	0	1	0	1	**0.6**
2.4 ความหนักในการฝึกสัปดาห์สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40 นาที 4 วัน/สัปดาห์	1	1	1	0	1	**0.8**
2.5 การฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติระดับออกซิเจนจะอยู่ที่ 14.5%-15%	1	1	1	1	1	**1**
2.6 เริ่มจับเวลาในการออกกำลังกายเมื่ออัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในระดับเป้าหมายของความหนักในการออกกำลังกายตามโปรแกรม	1	1	1	1	1	**1**
รวม	0.67	0.33	0.5	0.67	1	**0.63**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิ	การปรับปรุงแก้ไข
1. ปรับเพิ่มระดับความหนักของการออกกำลังกายในสัปดาห์ที่ 1	1. จากงานวิจัยของ Gormley (2008) พบว่าโปรแกรมการฝึกในสัปดาห์ที่ 1 ที่มีระดับความหนักที่ 50%HRR นั้น พบว่ามีการเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญของ VO2 max ซึ่งเป็นตัวแปรตามของงานวิจัยนี้ อีกทั้งในงานวิจัยนี้แบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนปกติและภาวะออกซิเจนต่ำ ดังนั้น ในสัปดาห์ที่ 1 จึงยังคงใช้ความหนักเท่าเดิม เพื่อให้ทั้ง 2 กลุ่มได้เริ่มต้นโปรแกรมการฝึกที่ระดับเดียวกัน และโดยเฉพาะกลุ่มที่ต้องฝึกในภาวะออกซิเจนต่ำจะได้เกิดความคุ้นเคยในระดับที่ปลอดภัย
2.ปรับเปลี่ยนการวัดอัตราการเต้นหัวใจ ให้วัดตามสภาวะที่จะใช้จริงในการออกกำลังกาย เพื่อให้ภาระของงานมีความเท่ากัน	2. แก้ไขตามการแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ (ในโครงร่างงานวิจัยหน้าที่ 36)
3.ก่อนการฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำให้กลุ่มตัวอย่างนั่งพักในห้องเพื่อทำความคุ้นเคยก่อน	3.แก้ไขตามการแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ (ในโครงร่างงานวิจัยหน้าที่ 40)
4.การวัดและประเมินสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardio pulmonay exercise testing; CPET) ควรวัดและประเมินตามสภาวะที่แต่ละกลุ่มได้ทำการออกกำลังกาย	4. ตัวแปรจากการทดสอบด้วยเครื่อง CPET เป็นตัวแปรตามหลักในงานวิจัยนี้ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบที่สภาวะเดียวกันในทั้งสองกลุ่ม
5.ในช่วงสัปดาห์ที่ 3-6 พบว่า มีการฝึก 4 วัน คือ วันจันทร์และวันอังคาร / วันพฤหัสบดีและวันศุกร์ มี ความเป็นไปได้ว่าจะมีการสะสมของความเมื่อยล้าจากการฝึกที่ติดกัน	5. เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายในงานวิจัยนี้มีโปรแกรมการฝึกเฉพาะวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดตารางการฝึกให้สอดคล้องกับโปรแกรมการฝึกของผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยไม่รบกวนโปรแกรมการฝึกหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิ	การปรับปรุงแก้ไข
6. เพิ่มความหนักของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยปรับให้มีระยะเวลา 8-12 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดการพัฒนาของระบบแอโรบิก	6. จากงานวิจัยที่อ้างอิงโปรแกรมการฝึกของ Gormley (2008) ซึ่งพบการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ตัวแปรตามหลักของงานวิจัยนี้) อย่างมีนัยสำคัญหลังจากการฝึก 6 สัปดาห์ จึงวางโปรแกรมการฝึกเสริมที่ 6 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ฌ

ใบรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 โทร.0-2218-3202
ที่ จว 014/2565 (ผ) **วันที่** 21 มกราคม 2565
เรื่อง แจ้งผลผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย

เรียน **คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา**

สิ่งที่ส่งมาด้วย เอกสารแจ้งผ่านการรับรองผลการพิจารณา

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

โครงการวิจัยที่ 211.1/64 เรื่อง **ผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล** (EFFECTS OF AEROBIC TRAINING IN NORMOBARIC HYPOXIC CONDITION ON CHEST EXPANSION PATTERN IN RUGBY PLAYERS) ของ นายธนโชติ เพิ่มเติม นิสิตระดับมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ระวีนันท์ มิ่งภัคนีย์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวีนันท์ มิ่งภัคนีย์)
กรรมการและเลขานุการ
คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน
กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AF 02-12

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

COA No. 014/2565

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 211.1/64 : ผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

ผู้วิจัยหลัก : นายธนโชติ เพิ่มเติม

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณา โดยใช้หลัก ของ Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, มาตรฐานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (มคจค.) 2560, นโยบายแห่งชาติและแนวทางปฏิบัติการวิจัยในมนุษย์ 2558 อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้ในระยะที่ 3 ของโครงการวิจัย

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

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระวีนันท์ มิ่งภัคนีย์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 20 มกราคม 2565 **วันหมดอายุ** : 19 มกราคม 2566

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

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

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64
วันที่รับรอง 20 ม.ค. 2565
วันหมดอายุ 19 ม.ค. 2566

เงื่อนไข

1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าเป็นการฝิดจริยธรรม 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 สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ส่งบทคัดย่อผลการวิจัย ภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น
9. โครงการวิจัยที่มีหลายระยะ จะรับรองโครงการเป็นระยะ เมื่อดำเนินการวิจัยในระยะแรกเสร็จสิ้นแล้ว ให้ดำเนินการส่งรายงานความก้าวหน้า พร้อมโครงการวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องในระยะถัดไป
10. คณะกรรมการฯ สงวนสิทธิ์ในการตรวจเยี่ยมเพื่อติดตามการดำเนินการวิจัย

เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงยินยอมเข้าร่วมการวิจัย กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ

ชื่อโครงการวิจัย...ผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

ชื่อผู้วิจัย....นายธนโชติ เพิ่มเติม.....ตำแหน่ง.....นิสิตปริญญาโท.....

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย (ที่ทำงาน) .....คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา.....จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....

(ที่บ้าน) 3/543 ซ.เทิดราชัน45/1 ถ. เทิดราชัน แขวง สีกัน เขต ดอนเมือง จ.กรุงเทพมหานคร 10210

โทรศัพท์ที่บ้าน .....-.....

โทรศัพท์มือถือ .....097-1392034.... E-mail : benz_thehulk@hotmail.com

เรียน อาสาสมัครทุกท่าน

ขอเรียนเชิญเข้าร่วมการวิจัย ก่อนท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัยนี้ โปรดทำความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของการวิจัย กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้วิจัยได้ ผู้วิจัยจะอธิบายจนกว่าจะเข้าใจอย่างชัดเจน

1. งานวิจัยนี้ศึกษาอะไรหรือทำเพื่ออะไร

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลการฝึกในรูปแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อรูปแบบการขยายทรวงอกและสมรรถภาพในการหายใจในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล

2. รายละเอียดของกลุ่มตัวอย่างและคุณสมบัติ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาในนักกีฬารักบี้ฟุตบอลชาย ระดับมหาวิทยาลัย อายุ 18 – 25 ปี จำนวนทั้งสิ้น 20 คน โดยมีระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 6 สัปดาห์ โดยทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่ 1-2และ ฝึก 4 วันต่อสัปดาห์ในสัปดาห์ที่3-6 โดยมีเกณฑ์การคัดเข้าและเกณฑ์การคัดออก ดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย

1. เป็นนักกีฬารักบี้ชาย อายุระหว่าง 18-25ปี
2. เป็นผู้สามารถเข้าร่วมการวิจัยเป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยต้องสามารถเข้าร่วมได้ 24 ครั้ง ในช่วง 6 สัปดาห์
2. เป็นผู้ผ่านการคัดกรอง ดังต่อไปนี้ สุขภาพสมบูรณ์ แข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวที่ร้ายแรง เช่น เบาหวาน โรคปอด โรคหัวใจ หรือโรคประจำตัวอื่น ๆ ที่มีข้อห้ามในการออกกำลังกาย และไม่อยู่ในภาวะอาการเจ็บป่วย จนไม่สามารถออกกำลังกายได้ในช่วงเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการซักถามประวัติทางการแพทย์ และ การทดสอบ (แบบทดสอบความพร้อมในการออกกำลังกาย ไม่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบหายใจ จนมีโครงสร้างทรวงอกผิดปกติ ตัวอย่างเช่น ภาวะอกไก่ อกบุ๋ม หรือ ทรวงอกรูปถังเบียร์ ที่มีการขยายทรวงอกขณะหายใจที่ผิดปกติ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการตรวจประเมินโดยนักกายภาพบำบัด (อ.ดร. นงนภัส เจริญพานิช) และไม่มีประวัติการได้รับบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ และข้อต่อต่าง ๆ และไม่มีประวัติการบาดเจ็บรุนแรงของกระดูกและกล้ามเนื้อถึงระดับเข้ารับรักษาโดยการผ่าตัด จนไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยได้ ภายใน 3 เดือนก่อนเริ่มเข้าร่วมงานวิจัยและมีความสมัครใจในการเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใยยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เลขที่โครงการวิจัย 211.164

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ หรือมีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่ได้เข้าร่วมการฝึกมากกว่า 2 ครั้ง ของช่วงระยะเวลาการฝึกที่ใช้ในการฝึก

3. ไม่สมัครใจในการเข้าร่วมการทดลองต่อ

วิธีการได้มาและการแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัย

การประชาสัมพันธ์เพื่อรับสมัครอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยผ่านทางป้ายประชาสัมพันธ์ ผ่านทางโซเชียลมีเดีย คือ เฟซบุ๊ค อินสตราแกรม และติดใบประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยในคณะต่างๆ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหน่วยงานที่อยู่รอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ยินดีให้ความร่วมมือ ได้แก่ ชมรมรักบี้ฟุตบอลของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสามารถให้ติดต่อเพื่อเข้าร่วมการวิจัยได้ตามที่อยู่และเบอร์โทรศัพท์ของผู้วิจัยที่ระบุในเอกสารประชาสัมพันธ์ และผู้วิจัยทำหนังสือเพื่อชี้แจงและทำหนังสืออธิบายวัตถุประสงค์ และประโยชน์ของงานวิจัย ถึงอาจารย์ที่ปรึกษาชมรมรักบี้ฟุตบอล ผู้ฝึกสอนกีฬารักบี้ฟุตบอล และประธานชมรมกีฬารักบี้ฟุตบอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการวิจัยต่อกลุ่มตัวอย่าง

3. การคัดกรองผู้มีส่วนร่วมฯ ตามเกณฑ์การคัดเข้า-คัดออก

ผู้เข้าร่วมในการวิจัยจะต้องเดินทางมาเพื่อทำแบบทดสอบคัดกรองเข้าร่วมการวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และแต่งกายด้วยชุดกีฬา เพื่อทำการตอบแบบสอบประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย และเก็บข้อมูลตัวแปรทางสรีรวิทยา เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นไขมัน ด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย โดยการคัดกรองจะใช้เวลาประมาน 30 นาที คัดกรองโดย ผู้ทำวิจัย และนักกายภาพบำบัด อ.ดร. นงนภัส เจริญพานิช และจะเริ่มทำการอบอุ่นร่างกาย เพื่อเตรียมทดสอบทำการทดสอบก่อนการทดลองวัดอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก เพื่อใช้คำนวณหา อัตราการเต้นหัวใจเป้าหมาย หาข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการขยายทรวงอกขณะหายใจมาคำนวณหาปริมาตรทรวงอก โดยคำนวณจากคู่ลำดับของตำแหน่ง Marker ทั้ง 30 จุด บนพื้นฐานทางเรขาคณิตจากผลรวมของปริมาตรทรง 12 เหลี่ยมด้านไม่เท่า การทดสอบสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือด เพื่อหาค่า อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยวิธีการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด เพื่อคัดกรองกลุ่มตัวอย่างโดยผู้วิจัยทำการบันทึกข้อมูลและควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดการทดสอบ โดยการทดสอบก่อนการทดลองจะใช้เวลาประมาณ 1ชั่วโมง หากขณะทำการทดสอบมีผู้เข้าข่ายได้รับความช่วยเหลือ จะมีการรีบเข้าช่วยเหลือ ปฐมพยาบาลเบื้องต้น หรือรีบนำส่งโรงพยาบาลทันทีหากมีอาการหนัก ผู้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจะได้รับของที่ระลึกเป็นการตอบแทนโดยของที่ระลึกเป็นสมุดเขียนของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัย

โดยผู้วิจัยเป็นผู้คัดกรองกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเองโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง ในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยเลือกให้มีแต่ละตำแหน่งเท่าๆกัน และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ โดยใช้ค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และตำแหน่งของผู้เล่นในการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง โดยให้แต่ละกลุ่มมีจำนวนผู้เล่นในตำแหน่งต่างๆใกล้เคียงกัน และค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยโดยกำหนดให้ กลุ่มที่ 2 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ 3 วันต่อสัปดาห์ (ฝึกวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์) ในสัปดาห์ที่

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64

1-2 และ 4 วันต่อสัปดาห์ (ฝึกวันจันทร์ วันอังคาร วันพฤหัสบดีและวันศุกร์) ในสัปดาห์ที่ 3-6 ทำการฝึกก่อนการฝึกปกติอย่างน้อย 1 ชั่วโมง การฝึกปกติวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 18.00-20.00 น.

4. ในการเข้าร่วมงานวิจัย มีการดำเนินการกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

1. ผู้วิจัยทำการอธิบายชี้แจง วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย วิธีการดำเนินการวิจัย และขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการวิจัยต่อกลุ่มตัวอย่างและผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย เมื่อกลุ่มตัวอย่างยินยอมเข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมวิจัย โดยผู้เข้าร่วมวิจัยต้องมาร่วมกิจกรรมทั้งหมด 24 ครั้ง เป็นการมาฝึก 22 ครั้ง ใช้เวลาครั้งละ 1 ชั่วโมง และเป็นการมาทดสอบก่อนการและหลังการฝึก 2 ครั้ง ใช้เวลาครั้งละ 1 ชั่วโมง

เมื่อผ่านเกณฑ์คัดเข้าของกลุ่มตัวอย่าง จะมีการชี้แจงขั้นตอนการทดสอบอย่างละเอียดกับกลุ่มตัวอย่างรวมถึงการปฏิบัติก่อนวันเข้ารับการทดสอบดังนี้

1.1 นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8-10 ชั่วโมง การพักผ่อนให้เพียงพอ จะช่วยลดอาการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ เพื่อพร้อมทำการทดสอบ

1.2 ดื่มน้ำให้เพียงพอวันละ 6-8 แก้ว

1.3 หลีกเลี่ยงอาหารที่แตกต่างจากอาหารปกติที่เคยกินเป็นประจำ

2. ผู้วิจัยทำการทดสอบก่อนการทดลอง และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 โดยมีผู้วิจัยและผู้ช่วยในการวิจัยเป็นผู้ควบคุมการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างต้องทำการอบอุ่นร่างกายก่อนการทดสอบ โดยการทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 วัดอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก เพื่อใช้คำนวณหา อัตราการเต้นหัวใจเป้าหมาย

2.2 นำข้อมูลทางชีวกลศาสตร์ของการขยายทรวงอกขณะหายใจมาคำนวณหาปริมาตรทรวงอก โดยคำนวณจากคู่ลำดับของตำแหน่งเครื่องหมาย ทั้ง 30 จุด บนพื้นฐานทางเรขาคณิตจากผลรวมของปริมาตรทรง 12 เหลี่ยมด้านไม่เท่า

2.3 ทำการทดสอบสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือด เพื่อหาค่า อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยวิธีการทดสอบสมรรถภาพในการออกกำลังกายของระบบหัวใจและหลอดเลือด ด้วยการใช้ควบคู่กับ ลู่วิ่ง โดยเริ่มจากการพัก และ เดินเพื่ออบอุ่นร่างกาย เป็นเวลา 3 นาที ที่ความชัน 0 องศา และจึงเริ่มการทดสอบโดยความเร็วเริ่มต้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วพื้นฐาน ประสบการณ์ในการวิ่ง ระยะเวลาการฝึกฝนของแต่ละผู้เข้าทดสอบ และจะเพิ่มความเร็ว 1.5 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทุก 4 นาที จนกระทั่งทำต่อไม่ไหว

3. การเตรียมตัวก่อนวันที่ทำการฝึก ไม่ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมอย่างหนัก 24 ชั่วโมง ก่อนวันที่จะมาทำการฝึก รวมไปถึงการไม่รับประทานอาหารมาก่อน 2 ชั่วโมง และต้องนอนหลับให้เพียงพอก่อนจะมีการฝึก

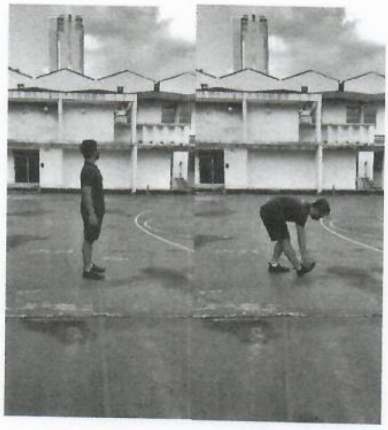
ในวันที่ทำการทดลอง

กลุ่มที่ 2 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำ กลุ่มตัวอย่างจะทำการฝึก ณ ห้องภาวะออกซิเจนต่ำของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเวลา 10.00-12.00 น. กำหนดไว้ดังนี้

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64
วันที่รับรอง 20 ม.ค. 2565
วันหมดอายุ 19 ม.ค. 2566

1. กลุ่มตัวอย่างเริ่มด้วยการทำการอบอุ่นร่างกายแบบมีการเคลื่อนไหว นาที โดยมีรายละเอียดดังนี้

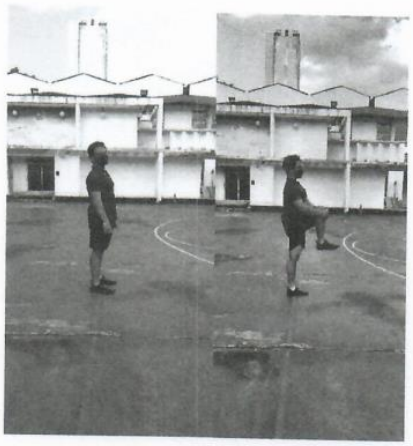
1.1 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง และกลุ่มกล้ามเนื้อน่อง



สแทนดิ่ง คาล์ฟ แอน แฮมสตริง สเตรทช์

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64
วันที่รับรอง 20 ม.ค. 2565
วันหมดอายุ 19 ม.ค. 2566

1.2 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้อสะโพก



1.3 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

วอล์กกิ้ง ควอดไดรเซพพ์ สเตรทช์

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64

1.4 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก

ก้าวย่อตัวไปข้างหน้า

2. โดยผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะต้องวิ่งบนลู่กลโดยกลุ่มฝึกแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนปกติจะใช้ระดับออกซิเจนตามบรรยากาศปกติที่ 20.93% โดยปรับความเร็วลู่กลสูงสุดเท่าที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยวิ่งจนกระทั่งรักษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจได้ตามที่โปรแกรมการออกกำลังกายกำหนดในแต่ละครั้งของอัตราการเต้นหัวใจเป้าหมาย โดยคำนวณจากอัตราการเต้นหัวใจสำรอง และปรับความชันให้อยู่ในแนวระนาบและให้ออกกำลังกายที่ระดับความหนักนั้น ตามระยะเวลาที่กำหนดในโปรแกรมการออกกำลังกาย ในแต่ละสัปดาห์ โดยเริ่มนับเวลาการออกกกำลังกายเมื่อชีพจรอยู่ในระดับชีพจรเป้าหมายของการฝึก โดยเมื่อระดับอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเกินระดับของชีพจรเป้าหมายที่กำหนดในโปรแกรมการออกกำลังกาย ก็ลดระดับความหนักของการออกกำลังกายลงให้อยู่ในระดับอัตราการเต้นของหัวใจที่กำหนด

3. กลุ่มตัวอย่างทำการคลายอุ่นร่างกาย หลังจากการฝึกและการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64
วันที่รับรอง 20 ม.ค. 2565
วันหมดอายุ 19 ม.ค. 2566

7.1 ยืดเหยียดกลุ่มเนื้อต้นขาด้านใน

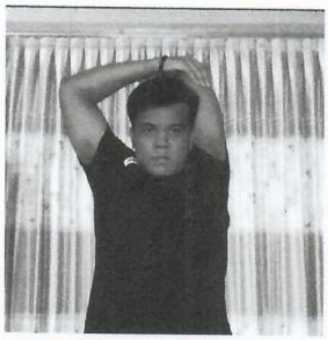
7.2 ยืดเหยียดกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง

7.3 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อก้น

เลขที่โครงการวิจัย..211.1/64
วันที่รับรอง..20 ม.ค. 2565
วันหมดอายุ..19 ม.ค. 2566

7.4 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อก้น

7.5 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหลังแขน



7.6 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อหัวไหล่

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64
วันที่รับรอง 20 ม.ค. 2565
วันหมดอายุ 19 ม.ค. 2566

สรุปตารางการฝึกของกลุ่มที่ 2 ฝึกเสริมด้วยการออกกำลังแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำ 3 วัน ต่อสัปดาห์ (ฝึกวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์) ในสัปดาห์ที่ 1-2 และ 4 วันต่อสัปดาห์ (ฝึกวันจันทร์ วันอังคาร

วันพฤหัสบดีและวันศุกร์) ในสัปดาห์ที่ 3-6 ต้องทำการฝึกวันและเวลาเดิมของทุกสัปดาห์การฝึก และต้องทำการฝึกก่อนการซ้อมปกติเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกายก่อนการฝึก และทำการคลายอุ่นร่างกายหลังการฝึกทุกครั้ง

ตารางแสดงรายละเอียดการฝึกคอนทราสต์ระหว่างสัปดาห์ที่ 1-6

กลุ่มออกกำลังกายแบบแอโรบิค ภาวะออกซิเจนต่ำความดันปกติ

อบอุ่นร่างกายก่อนการฝึกในวันที่มีการฝึก 5 นาที

Week / Day	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
1	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 50% 30 นาที	พัก	พัก
2	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	พัก
3-6	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 75% 40 นาที	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 75% 40 นาที	ออกกำลังกายที่ ความหนัก 75% 40 นาที	พัก	พัก

อบอุ่นร่างกายหลังการฝึกในวันที่มีการฝึก 5 นาที

ในการฝึกแต่ละครั้งจะต้องห่างกันอย่างน้อย 1 วัน (24 ชั่วโมง) เพื่อให้นักกีฬาได้ฟื้นตัวอย่างเต็มที่ ผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย และกลุ่มตัวอย่างต้องเตรียมขวดน้ำส่วนตัว ต้องมีการล้างมือด้วยแอลกอฮอล์ล้างมือก่อนและหลังการฝึกหรือทดสอบ และต้องสวมใส่หน้ากากอนามัยในการเดินทางมาที่สถานที่ฝึก โดยที่ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยต้องสวมใส่หน้ากากอนามัยตลอดเวลาการฝึก และจะทำความสะอาดอุปกรณ์ก่อนและหลังการฝึกทุกครั้ง เพื่อป้องกันตามมาตรการการแพร่ระบาดของโควิด-19

โดยผู้วิจัยมีหน้าที่ในการควบคุมการฝึกด้วยตนเองตลอดการวิจัย และมีผู้ช่วยในการวิจัยเป็นนิสิตปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ชั้นปีที่ 2 แขนงการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 2 คน ที่มีความเข้าใจในหลักปฏิบัติและข้อควรระวังในการทำกิจกรรมต่างๆ ที่กลุ่มตัวอย่างต้องปฏิบัติ โดยมีหน้าที่ช่วยในการป้องกันการเกิดอาการเจ็บของกลุ่มตัวอย่าง และช่วยเก็บข้อมูลในการทำวิจัย ซึ่งระหว่างการฝึกและทดสอบจะมีน้ำ อาหารว่างให้กับกลุ่มตัวอย่าง

5. ความเสี่ยง/อันตราย และความไม่สะดวกต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยอาจมีความเสี่ยงที่จะเป็นตะคริว เมื่อยล้า ปวด เมื่อย หรือหายใจไม่สะดวกในขณะเก็บข้อมูลหรือหลังจากเก็บข้อมูลแล้ว อย่างไรก็ตามผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์การกีฬาคอยดูแลผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างใกล้ชิด และอยู่ในตำแหน่งที่พร้อมให้ความช่วยเหลือผู้เข้าร่วมวิจัยทันทีที่สังเกตเห็นความผิดปกติ โดยหากผู้เข้าร่วมวิจัยประสบอุบัติเหตุ หรือเป็นตะคริวขณะเก็บข้อมูล ผู้วิจัยจะหยุดทำการเก็บข้อมูลและจะดำเนินการปฐมพยาบาลเบื้องต้นทันที หากอาการไม่ดีขึ้นจะนำผู้เข้าร่วมวิจัยส่งโรงพยาบาลใกล้เคียงทันที และหยุดการฝึกในวันนั้นทันที โดยผู้วิจัยจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลที่เกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการวิจัยทั้งหมด

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64

6. **ประโยชน์ในการเข้าร่วมการวิจัย**

ในการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ ท่านจะได้ผลของการฝึกที่สามารถพัฒนาสมรรถภาพของนักกีฬารักบี้ฟุตบอลชายได้ และนอกจากนี้ได้งานวิจัยฐานข้อมูลในการศึกษาเกี่ยวกับผลการฝึกออกกำลังแบบแอโรบิกในสภาวะออกซิเจนต่ำที่มีผลต่อรูปแบบการขยายทรวงอกในนักกีฬารักบี้ฟุตบอล และเป็นรูปแบบทางเลือกของการฝึกสมรรถภาพทางกายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับนักกีฬารักบี้ฟุตบอลหรือกีฬาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

7. **ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะเก็บเป็นความลับ**

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ผู้วิจัยจะดำเนินการอย่างรอบคอบ โดยปกปิดข้อมูลทุกข้อมูลของทุกท่านในการทดลองนี้ จะไม่มีการระบุชื่อของกลุ่มตัวอย่าง จะมีเพียงหมายเลขระบุลำดับการเข้าร่วมการวิจัยเท่านั้น จะมีการเสนอผลการวิจัยเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

8. **เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้ว** ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลาย

9. **การแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย** ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยเป็นค่าชดเชยการเสียเวลาผู้เข้าร่วมวิจัย และค่าเดินทางของผู้เข้าร่วมวิจัย ครั้งละ 100 บาท จำนวน 24 ครั้ง แบ่งเป็นการฝึก 22 ครั้ง และ การทดสอบ 2 ครั้ง

10. **การเข้าร่วมการวิจัยเป็นโดยสมัครใจ** สามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะโดยไม่ต้องให้เหตุผล ไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ และไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผู้เข้าร่วมวิจัย

11. **หากมีข้อสงสัย** โปรดสอบถามเพิ่มเติมจากผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

12. **หากได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามข้อมูลดังกล่าว** สามารถร้องเรียนได้ที่ 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

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64
วันที่รับรอง 20 ม.ค. 2565
วันหมดอายุ 19 ม.ค. 2566

ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัย และเข้าใจข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทุกประการแล้ว จึงลงนามเข้าร่วมการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และได้รับเอกสารไว้ 1 ชุดแล้ว

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้วิจัยหลัก
วันที่...../...../.....

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เข้าร่วมการวิจัย
วันที่...../...../.....

ลงชื่อ.....
(.....)
พยาน
วันที่...../...../.....

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64
วันที่รับรอง 20 ม.ค. 2565
วันหมดอายุ 19 ม.ค. 2566

ภาคผนวก ค

แบบบันทึกข้อมูล

แบบบันทึกข้อมูลในการทดสอบในสภาวะ ☐ ออกซิเจนปกติ ☐ ออกซิเจนต่ำ

เลขรหัสผู้เข้าร่วมวิจัย.....

ชีพจรขณะพัก.....

50%HRR.....

75%HRR.....

อายุ.....น้ำหนัก.....

ส่วนสูง.....ดัชนีมวลกาย(BMI).....เปอร์เซ็นต์ไขมัน.....

ผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งสองกลุ่มวิ่งบนลู่กล โดยปรับความเร็วลู่กลสูงสุดเท่าที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัย สามารถวิ่งจนรักษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจได้ตามที่ตั้งไว้ในแต่ละครั้งของการฝึก โดยมีเป้าหมายดังนี้

- สัปดาห์ที่1 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 50% HRR 30นาที 3 วัน/สัปดาห์
- สัปดาห์ที่2 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 3 วัน/สัปดาห์
- สัปดาห์ที่3-6 ออกกำลังกายด้วยความหนัก 75% HRR 40นาที 4 วัน/สัปดาห์

และเมื่อระดับการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเกินระดับชีพจรเป้าหมาย ก็จะลดระดับความหนักของการออกกำลังกายลงให้อยู่ในระดับอัตราการเต้นของหัวใจที่กำหนด

Chest volume

	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 6	
Vital capacity = VC			
Inspiration capacity = IC			
Tidal volume =TV			
Exspiratory reserve volume = ERV			
Total lung capacity = TLC			

สัปดาห์ที่ 0 วันที่.....

สัปดาห์ที่ 6 วันที่.....

ลงชื่อ.....

(ผู้บันทึกข้อมูล)

เลขที่โครงการวิจัย 211.1/64

วันที่รับรอง 20 ม.ค. 2565

วันหมดอายุ 19 ม.ค. 2566

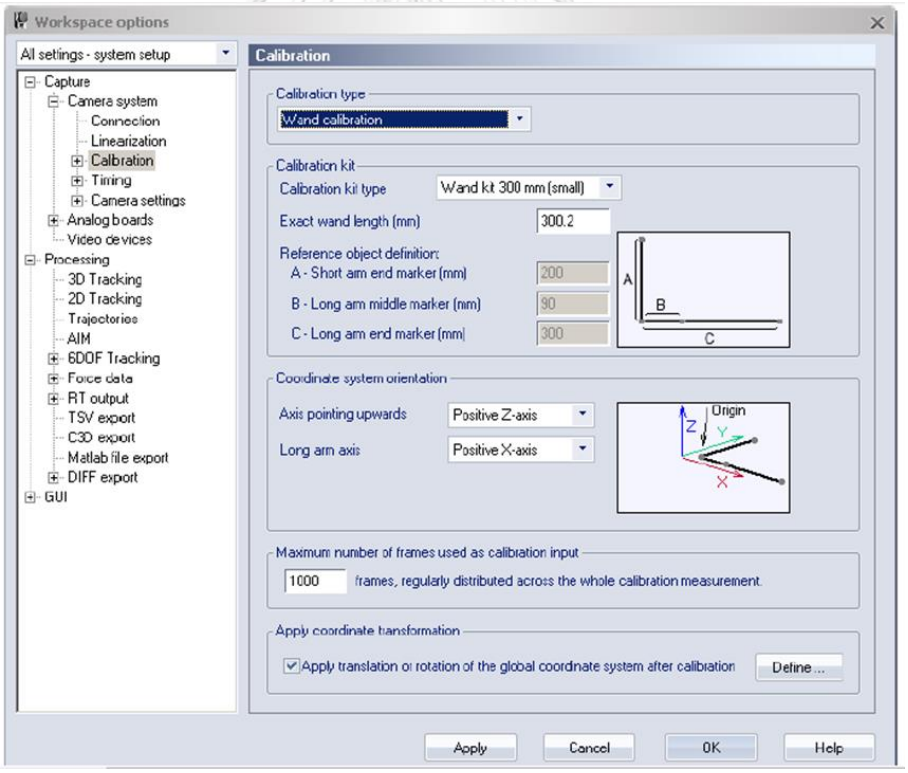
ภาคผนวก ญ
ขั้นตอนการทำ calibration

Calibration of the system

1. วางโครงสร้างการ calibration ใน measurement volume เพื่อให้กล้องทั้งหมดสามารถมองเห็น marker ทั้งสี่ตัวบนโครงสร้างการ calibration ได้

2. ตรวจสอบการตั้งค่าการ Calibration ในปุ่ม Project options โดยคลิก Project options ในเมนู จากนั้นคลิก Calibration ตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ตั้งค่าทั้งหมดไว้ตามภาพดังต่อไปนี้แล้ว จากนั้นคลิก OK เพื่อกลับไปยังหน้าต่างแสดงตัวอย่าง

หมายเหตุ: ความยาวที่แน่นอนของ wand เป็นของแต่ละโครงสร้างการ calibration โดยการตรวจสอบแผ่นบน wand นั้น ก็เพื่อให้ได้ความยาวที่แน่นอนของ wand และเพื่อให้ป้อนค่าได้อย่างถูกต้อง



Wand calibration

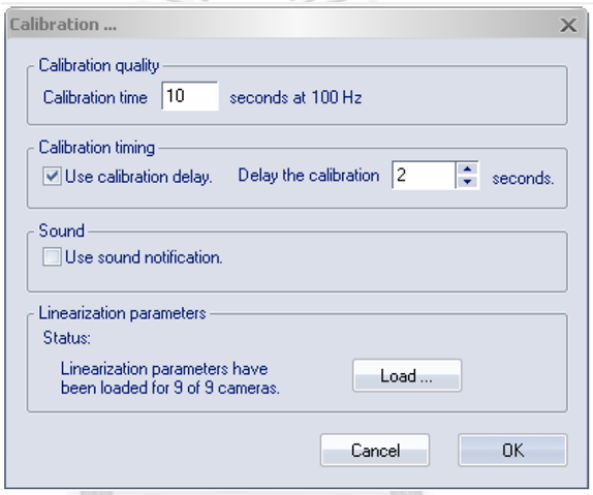
(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

หมายเหตุ: หากแทนที่ด้วย wand 750 การตั้งค่า Calibration kit type จะต้องเปลี่ยนแปลงด้วย

3. คลิกไอคอน Calibration หรือคลิก Calibrate ในเมนู Capture เพื่อเปิดไดอะล็อก Calibration

4. ตรวจสอบว่าได้ติดตั้งไฟล์ linearization ของกล้องไว้แล้วหรือไม่ โดยดูที่ส่วนบนของ Linearization parameters หากยังไม่ได้ติดตั้งไฟล์ คลิกที่ Load และทำตามคำแนะนำในบท "Linearization of the camera"

5. ป้อน calibration times 10 วินาทีลงใต้หัวข้อ Calibration quality จากนั้นคลิก OK เพื่อเริ่ม calibration capture สำหรับคำอธิบายเกี่ยวกับวิธีการ calibration ดูได้จากบท "Wand calibration method"

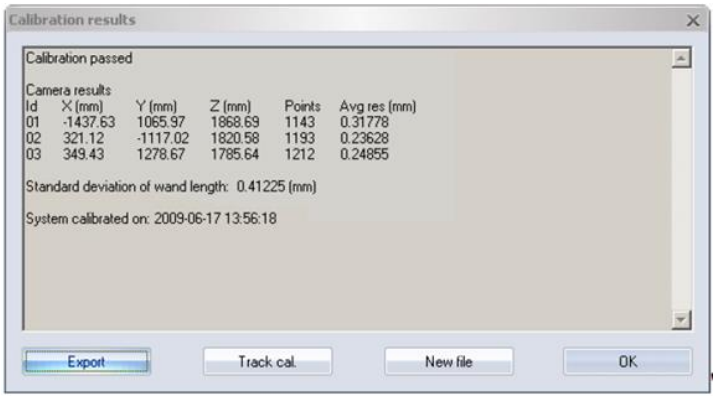


Calibration quality

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

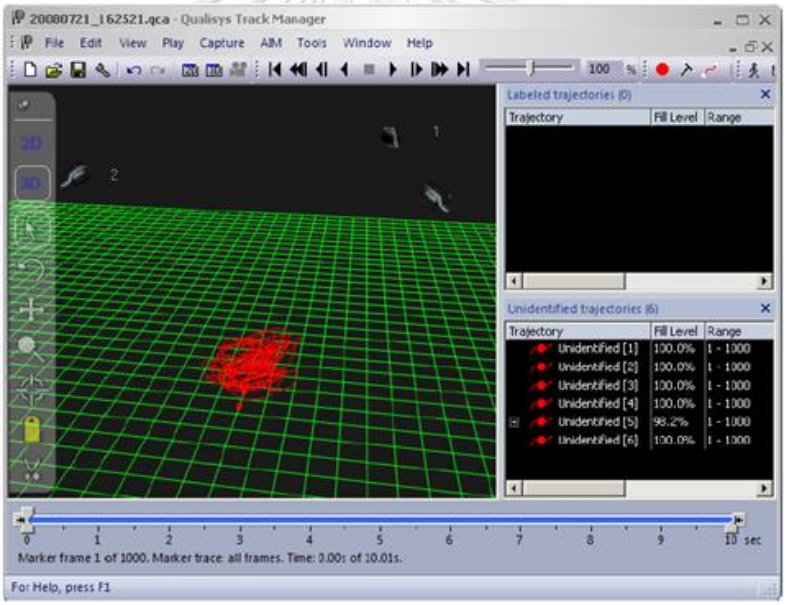
6. เมื่อการ calibration เสร็จสิ้น หน้าต่างที่มีผลการ calibration จะปรากฏขึ้น โดยผลการทดสอบจะแจ้งให้คุณทราบถึง calibration passed และผลการทดสอบบางอย่างของ calibration quality



Calibration results

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

7. นอกจากนี้คุณยังสามารถดู measurement volume ได้โดยคลิก Track cal



Measurement volume

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

8. ปิดไฟล์ calibration โดยการคลิก Close ในเมนู File และ Remove the calibration object ซึ่ง measurement volume จะได้รับการ calibration และการ measurement สามารถนำมาเริ่มต้นใหม่ได้

Calibration

การ Calibration ประกอบด้วยการตั้งค่าการ calibration ที่จำเป็นเพื่อให้เกิด correct calibration ซึ่งข้อมูลที่ถูกป้อนโดยทางอื่นจะทำให้ได้ข้อมูลการจับภาพเคลื่อนไหวที่ไม่มีคุณภาพเท่าที่ควร สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการ calibration

Calibration type

เลือกประเภทการ calibration ที่จะใช้ โดยประเภทการ calibration ที่สนับสนุน ได้แก่ **Wand calibration, Frame calibration** และ **Fixed camera calibration** ซึ่งทั้งสามแบบได้อธิบายไว้ด้านล่างนี้

Wand calibration

Wand calibration ใช้การ calibration 2 แบบเพื่อการ calibration ระบบ หนึ่งคือโครงสร้างอ้างอิงแบบ L-shaped ซึ่งมี marker สี่ตัวติดอยู่ โครงสร้างแบบ stationary L (เรียกว่า reference object below) กำหนดจุดกำเนิดและการวางแนวของระบบในพิกัดที่จะใช้กับระบบกล้อง วัตถุที่ใช้ในการ calibration อื่น ๆ เรียกว่า calibration wand โดยประกอบด้วย marker สองจุดที่อยู่ห่างกัน วัตถุนี้ถูกย้ายไปอยู่ใน measurement volume เพื่อสร้างข้อมูลและกำหนดตำแหน่งทิศทางของกล้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Calibration kit

มีการกำหนด calibration kit ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมาก โดย calibration kit ใช้สำหรับปรับขนาดและหาพิกัดใน measurement volume จึงจำเป็นต้องใช้วัตถุสองอย่างเพื่อทำการ calibration ระบบ : reference structure และ wand

หมายเหตุ: วัตถุที่ใช้ในการ calibration เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์การวัดและควรได้รับการดูแลด้วยความระมัดระวัง ข้อผิดพลาดในการปรับขนาดจากการ calibration ที่เสียหายจะแพร่กระจายไปทั่วทั้งการวัดและการวิเคราะห์

Calibration kit type

การระบุประเภทของ Calibration kit type ใน drop-down block และการระบุขนาดโครงสร้างอ้างอิงแบบ L-shaped จะมีอัลกอริทึมการ calibration เพื่อหาเครื่องหมายอ้างอิงเมื่อทำการบันทึกการ calibration แล้ว ซึ่งการตั้งค่าสำหรับ calibration kit จะมีสี่ชนิดต่อไปนี้

Wand kit 110 mm

Wand kit 300 mm

Wand kit 750 mm

Kit defined below

Exact wand length

ป้อนระยะห่างระหว่างศูนย์ของ marker ที่สะท้อนแสงบน reference wand ใน Exact wand length ซึ่งได้รับการวัดด้วยความแม่นยำสูงและสามารถพบได้บน plate on the wand

Reference object definition

Reference object definition จะใช้เฉพาะเมื่อ Kit define below เป็นชุด Calibration kit type แล้ว ต้องกำหนดตำแหน่งของ marker ที่สะท้อนบน L-shaped เพื่อระบุเครื่องหมายเฟรมอ้างอิง โดยตำแหน่งจะถูกกำหนดเป็นระยะห่างจาก corner marker (origin marker) ไปยัง marker อื่น ๆ ซึ่งดูจากแถบเครื่องมือ Project options

หมายเหตุ: เมื่อใช้ชุดเครื่องมือมาตรฐาน คำจำกัดความอ้างอิงจะแสดงระยะทางสำหรับชุดอุปกรณ์ที่เลือก

Coordinate system orientation and translation

ภายใต้ Coordinate system orientation เป็นการวางแนวระบบ Coordinate จะมุ่งเน้นไปที่ระบบพิกัดของการจับการเคลื่อนไหวด้วยการเลือกทิศทางของแกน X, Y และ Z ใน measurement volume การวิเคราะห์ที่ตามมาจะเหมือนกันกับที่ใช้สำหรับ reference structure

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Axis pointing upwards และ **Long arm axis** เป็นตัวกำหนดทิศทางของแกน เลือกแกนที่ต้องการในแต่ละการตั้งค่าเพื่อให้ได้ระบบพิกัดที่ต้องการ โดยดูรูปที่อยู่ถัดจากการตั้งค่าเพื่อให้เข้าใจถึงแกนที่ถูกปรับทิศทาง

Maximum number of frames used as calibration input

Maximum number of frames used as calibration input จะจำกัดจำนวนเฟรมที่ใช้ในกระบวนการ calibration ค่าเริ่มต้นคือ 1000 เฟรม หากจำนวนเฟรมในไฟล์การ calibration มีขนาดใหญ่กว่าการตั้งค่านี้เฟรมจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้ง measurement เช่น ถ้าเวลาในการ calibration ถูกตั้งไว้ที่ 20 วินาทีจะมีเฟรมประมาณ 2000 เฟรมในไฟล์การ calibration จากนั้นด้วยจำนวนเฟรมเริ่มต้นกรอบทุกวินาทีจะถูกใช้เพื่อ calibration ระบบ

ควรลดค่านี้ลงถ้าคุณมีไดรฟ์ข้อมูลที่คุณสามารถ calibration ได้ภายในประมาณ 10-15 วินาที ซึ่งจะทำให้การคำนวณเร็วขึ้นเล็กน้อย ในทางกลับกันเป็นการดีที่จะเพิ่มกระบวนการนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าไดรฟ์ข้อมูลเป็นไดรฟ์ข้อมูลแบบขยายซึ่งกล้องไม่สามารถดูโครงสร้างอ้างอิงการ calibration ได้ทั้งหมด ในการทดสอบนี้จะทำให้การ calibration และการทดสอบเป็นไปอย่างยาวนานด้วยจำนวนเฟรมสูงสุดที่แตกต่างกันเพื่อดูว่าผลกระทบดังกล่าวมีผลต่อผลการcalibration อย่างไร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Apply coordinate transformation

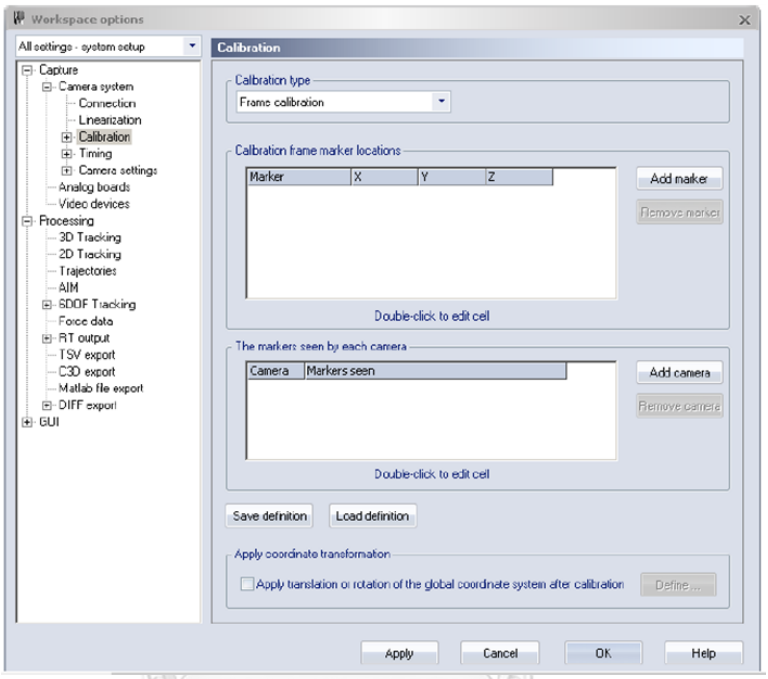
ด้วยการ Apply coordinate transformation นี้ คุณสามารถแปลและหมุนระบบพิกัดทั้งหมดไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยเลือก checkbox และจากนั้นคลิก Define เพื่อตั้งค่าการแปลงพิกัดในหน้า Transformation

Frame calibration

Frame calibration ใช้โครงสร้างที่เข้มงวด (มักเรียกว่า calibration frame) โดยมี marker อย่างน้อยห้าตำแหน่ง ซึ่งจะต้องระบุตำแหน่งที่แน่นอนของ marker ด้วยความแม่นยำสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยจะแนะนำให้วาง marker ไว้ในลักษณะที่ไม่สมมาตร จุดเริ่มต้นและทิศทางของระบบพิกัดของการจับการเคลื่อนไหวจะถูกกำหนดโดยการวางกรอบการ calibration ใช้การ Save

definition เพื่อบันทึก current frame definition และโหลดคำจำกัดความที่บันทึกไว้พร้อม Load definition

หมายเหตุ: การ measurement ควรทำภายในไดรฟ์ข้อมูลที่อยู่ภายใน calibration frame เนื่องจากการ measurement ภายนอกนี้ไม่สามารถรับประกันได้ว่ามีความแม่นยำสูง



Frame calibration

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Calibration frame marker locations

ใช้ปุ่ม Add marker และ Remove marker เพื่อเพิ่มหรือลบเครื่องหมายของ calibration frame จากนั้นดับเบิลคลิกตำแหน่งของแกน X, Y และ Z ของแต่ละ marker เพื่อทำการแก้ไข

หมายเหตุ: ต้องระบุ marker ทั้งหมดเพื่อให้การ calibration frame สำเร็จ

The markers seen by each camera

ใช้ปุ่ม Add camera หรือ Remove camera เพื่อปรับจำนวนกล้องในระบบ ป้อนหมายเลขของเครื่องหมายบน calibration frame ที่กล้องแต่ละตัวเห็น (ตัวเลขจะปรากฏในคอลัมน์แรกของคอลัมน์เครื่องหมายปรับเกณฑ์การ calibration) จากนั้นแยกตัวเลขด้วยเครื่องหมายจุลภาค

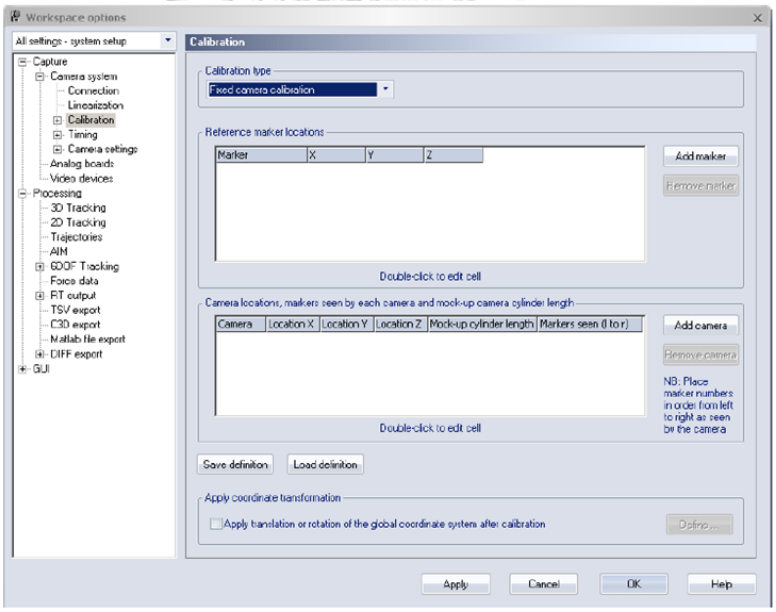
หมายเหตุ: ต้องเพิ่มกล้องเข้าไปทั้งหมดเพื่อให้การ calibration frame สำเร็จ

Apply coordinate transformation

การใช้ปุ่ม Apply coordinate transformation ทำให้สามารถแปลและหมุนระบบพิกัดทั้งหมดไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ เลือก checkbox แล้วจากนั้นคลิก Define เพื่อตั้งค่าการแปลงพิกัดในหน้า transformation

Fixed camera calibration

ในหน้าการ calibration สำหรับการ calibration กล้อง ควรป้อนข้อมูลจากการวัดแบบสำรวจ แต่หากไม่สามารถดูหน้าการ calibration นี้ได้ ให้เปลี่ยน Calibration type เป็น Fixed camera calibration สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบกล้องถาวรติดต่อ Qualisys AB เกี่ยวกับคู่มือ QTM - Marine รวมถึงคำอธิบายโดยละเอียดเกี่ยวกับการติดตั้งกล้อง การวัดแบบสำรวจการ calibration กล้องถาวร การตรวจสอบความถูกต้อง และการใช้งาน 6DOF ในการใช้งานทางทะเล



Fixed camera calibration

(QTM Qualisys Track Manager User Manual, 2011)

ใช้ปุ่ม Save definition และ Load definition เพื่อบันทึกตามลำดับโหลดข้อมูลสำหรับการ calibration กล้อง

หมายเหตุ: ในครั้งแรกที่ป้อนข้อมูล จะต้องป้อนด้วยตนเอง

Reference marker locations

Reference marker locations ควรป้อนข้อมูลการสำรวจของตำแหน่งเครื่องหมายอ้างอิง ใช้เครื่องหมาย Add marker และ Remove marker เพื่อเพิ่มหรือลบตำแหน่งเครื่องหมายอ้างอิง และเพิ่มเครื่องหมายตามลำดับทางกายภาพจากซ้ายไปขวา ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สามารถป้อนเครื่องหมายที่มองเห็นได้ง่ายขึ้น จากนั้นดับเบิลคลิกตำแหน่งของแกน **X, Y** และ **Z** ในแต่ละเครื่องหมายเพื่อแก้ไข

หมายเหตุ: ต้องป้อนตำแหน่งทั้งหมดของ marker เพื่อทำการ calibration กล้องให้สำเร็จ

Camera locations and markers seen by each camera in order from left to right

Camera locations and markers seen by each camera in order from left to right ควรป้อนข้อมูลการสำรวจของตำแหน่งกล้อง ใช้ปุ่ม Add camera เพื่อเพิ่มกล้องใหม่ในรายการ โดยกล้องจะต้องป้อนตามลำดับเดียวกับระบบกล้องต้นแบบจาก MCU และจะไม่สามารถจัดเรียงกล้องใหม่ได้หลังจากที่เพิ่มกล้องเข้ามาแล้ว ให้ทำการดับเบิลคลิกที่คอลัมน์เพื่อป้อนข้อมูลต่อไปนี้

ตำแหน่งแกน X, ตำแหน่งแกน Y และตำแหน่งแกน Z

การสำรวจ measurement data ของกล้อง

Mock-up cylinder length

ความยาวของ cylinder ที่ใช้ในกล้องถ่ายรูปเมื่อทำ survey measurement

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมายเหตุ: ความยาวนี้เป็นระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์ของกล้องกับด้านด้านหน้าของ cylinder สำหรับ Pro Reflex MCU อยู่เสมอที่ 18 มม.

Markers seen (l to r)

Marker ที่มองเห็นได้จากกล้อง ป้อนข้อมูลเหล่านี้ตามลำดับจากซ้ายไปขวาตามที่กล้องมองเห็นและแยกด้วยเครื่องหมายจุลภาค (ตัวเลขอ้างอิงถึงคอลัมน์แรกในรายการที่ตั้งของจุดอ้างอิง)

หมายเหตุ: QTM ใช้เครื่องหมายบนสุดในหน้าต่างมุมมอง 2D เป็น reference marker

หมายเหตุ: กล้องทั้งหมดจะต้องถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อให้การ calibration กล้องสำเร็จ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นาย ธนโชติ เพิ่มเติม
วัน เดือน ปี เกิด	13 ธันวาคม 2539
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562
ที่อยู่ปัจจุบัน	3/543 ซ.เทิดราชัน45/1 ถ.เทิดราชัน แขวง สีกัน เขต ดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University