ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย

นายภัทราวุธ ขาวสนิท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERMITTENT TRAINING IN NORMOBARIC HYPOXIC ENVIRONMENT ON AEROBIC AND ANAEROBIC PERFORMANCE IN VARSITY FUTSAL PLAYERS

Mr. Pattarawut Khaosanit

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Sports Science
Faculty of Sports Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย |
| โดย | นายภัทราวุธ ขาวสนิท |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์การกีฬา |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย บุญรอด |

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย บุญรอด)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย บุญรอด)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภัทราวุธ ขาวสนิท : ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย (EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERMITTENT TRAINING IN NORMOBARIC HYPOXIC ENVIRONMENT ON AEROBIC AND ANAEROBIC PERFORMANCE IN VARSITY FUTSAL PLAYERS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วันชัย บุญรอด, 225 หน้า.

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลฉับพลันของการออกกำลังกายในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน และเพื่อศึกษาผลระยะยาวของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การศึกษา ในการศึกษาที่ 1 นักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย เพศชาย จำนวน 16 คนอายุระหว่าง 18-22 ปี ทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ระยะห่าง 5 เมตร จำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว เที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความพยายามสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักแบบมีกิจกรรม 20 วินาที พักระหว่างเซ็ต 5 นาที ทำการทดลอง 4 ครั้ง โดยใช้วิธีการทดลองแบบถ่วงดุลลำดับเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์โดยมีค่าออกซิเจนที่ต่างกันในแต่ละครั้ง ($F_IO_2$ = 20.9%, 14.5%, 13.5% และ 12.5%) วัดค่าระบบการหายใจและระบบไหลเวียนเลือด คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ปริมาณแลคเตทในเลือด จำนวนการสปรินท์ที่สำเร็จ และการประเมินการรับรู้ความเหนื่อย วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ชนิดวัดซ้ำ เมื่อพบว่ามีความแตกต่างจึงเปรียบเทียบรายคู่โดยวิธีของบอนเฟอร์โรนี่ ผลการศึกษาครั้งที่ 1 ใช้ในการกำหนดสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำในการศึกษาที่ 2 โดยพิจารณาจากความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นในจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแลคเตทในเลือดและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ แล้วจึงพิจารณาถึงความปลอดภัยในการนำไปใช้จากค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ในการศึกษาที่ 2 ผู้เล่นฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย เพศชาย จำนวน 22 คน อายุระหว่าง 18 - 22 ปีแบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้วิธีการจับคู่ตามคะแนนการทดสอบพลังแบบแอนแอโรบิก คือ กลุ่ม Hypoxic (ทำการฝึก $F_IO_2$ = 13.5%) และกลุ่มควบคุม (ทำการฝึก $F_IO_2$ = 20.9%) ผู้เข้าร่วมทำการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ระยะห่าง 5 เมตร จำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6-10 เที่ยว (เพิ่ม 2 เที่ยวทุกๆ 2 สัปดาห์) เที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความพยายามสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักแบบมีกิจกรรม 20 วินาที พักระหว่างเซ็ต 5 นาที ทำการทดสอบก่อนและหลังการฝึกในตัวแปรที่เกี่ยวกับความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้การเปรียบเทียบผลการทดลองโดยการทดสอบค่า"ที กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการศึกษาพบว่า:

1. ในการศึกษาที่ 1 ปริมาณแลคเตทในเลือดหลังการออกกำลังกายในเซ็ตที่ 3 มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$ <0.05) ใน $F_IO_2$ 12.5% (10.4 ± 2.1 มิลลิโมลต่อลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับ $F_IO_2$ 20.9%, 14.5% และ 13.5% (5.0 ± 1.6, 7.8 ± 1.5 และ 9.4 ± 1.9 มิลลิโมลต่อลิตรตามลำดับ) คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเมื่อเทียบกับ $F_IO_2$20.9% มีการลดลง 34.1% ใน $F_IO_2$ 12.5% ในขณะที่สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 14.5% และ 13.5% มีการลดลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ 14.1% และ 18.6% ตามลำดับ และพบว่าค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p$ <0.05) ใน $F_IO_2$ 12.5% (73.7 ± 3.4%) เมื่อเปรียบเทียบกับ $F_IO_2$ 20.9%, 14.5% และ 13.5% (95.1 ± 1.8, 81.1 ± 2.1 และ 79.1 ± 2.4% ตามลำดับ) นอกจากนี้ในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่ลดต่ำลง จำนวนการสปรินท์ที่สำเร็จมีการลดต่ำลง อัตราการเต้นของหัวใจ การระบายอากาศหายใจต่อนาที และระดับการรับรู้ความเหนื่อยเพิ่มสูงขึ้น

ข้อสรุปสำหรับการศึกษาครั้งที่ 1 $F_IO_2$ 13.5% เป็นสภาวะที่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ทำการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว แม้ว่าหากพิจารณาจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความเมื่อยล้า $F_IO_2$ 13.5% จะมีการตอบสนองที่น้อยกว่า $F_IO_2$ 12.5% แต่เนื่องจากใน $F_IO_2$ 12.5% ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดจะลดต่ำลงไปมากกว่า 75% ซึ่งเป็นระดับที่อาจเกิดอันตรายกับนักกีฬาขณะทำการฝึกเป็นอย่างมาก การนำ $F_IO_2$ 13.5% ไปใช้ทำการฝึกจึงมีความปลอดภัยมากกว่า

2. ในการศึกษาที่ 2 กลุ่มที่ฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำมีพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกในตัวแปรเรื่องความอดทนแบบหนักสลับพัก และความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกในตัวแปรความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิกซึ่งมีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$ <0.05) นอกจากนี้ค่า $VO_2$max จุดกั้นแอนแอโรบิก เวลาจากการทดสอบบรูซโปรโตคอล และพลังแบบแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับข้อมูลก่อนการทดลอง ($p$ <0.05) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม (p <0.05) นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้าในกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้อมูลก่อนการทดลอง

ข้อสรุปสำหรับการศึกษาครั้งที่ 2 คือ การฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกได้ดีกว่าการฝึกในสภาวะออกซิเจนปกติ ซึ่งบ่งชี้ว่าการฝึกในลักษณะนี้สามารถนำมาใช้เป็นรูปแบบการฝึกเพื่อพัฒนานักกีฬาฟุตซอลในระดับมหาวิทยาลัยได้เป็นอย่างดี

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬา ลายมือชื่อนิสิต ----------

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ----------

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 5578608439 : MAJOR SPORTS SCIENCE
KEYWORDS: FUTSAL / INTERMITTENT TRAINING / NORMOBARIC HYPOXIC TRAINING / SHUTTLE REPEATED SPRINT / AEROBIC PERFORMANCE / ANAEROBIC PERFORMANCE / ALTITUDE TRAINING

PATTARAWUT KHAOSANIT: EFFECTS OF HIGH-INTENSITY INTERMITTENT TRAINING IN NORMOBARIC HYPOXIC ENVIRONMENT ON AEROBIC AND ANAEROBIC PERFORMANCE IN VARSITY FUTSAL PLAYERS. ADVISOR: ASST. PROF. WANCHAI BOONROD, Ph.D., 225 pp.

The main objective of the present study was to determine acute and chronic effects of high-intensity intermittent training in normobaric hypoxic environment on aerobic and anaerobic performance in varsity futsal players. This research was divided into 2 studies. In study 1, using a counterbalanced design, 16 male university-level futsal players, aged 18 - 22 years, performed 3 sets of repeated sprint shuttles (6 × 10 s) over a 5m distance with 20 s active rest between reps and 5 min active rest between sets. Participants completed 4 trials in a random order over 4 weeks with different inspired oxygen fractions for each trial ($F_IO_2$ = 20.9%, 14.5%, 13.5% and 12.5%). The Measurements of cardiorespiratory, oxygen saturation, electromyography, blood lactate concentration, number of completed sprints, and rating of perceived exertion were assessed. ANOVA with repeated measures followed by Bonferroni multiple comparisons was used to analyze the data. The results from the 1st study were used to set hypoxic environment for study 2. In study 2, 22 male university-level futsal players, aged 18 - 22 years, were divided into 2 groups based on matching group method: Hypoxic group (trained in $F_IO_2$ = 13.5%) and control group (trained in $F_IO_2$ = 20.9%). Participants performed same exercise as the 1st study, 3 times per week for 6 weeks but repetition increased 2 reps every 2 weeks. Pre- and post-training measurements included anaerobic performance and aerobic performance. The obtained data were analyzed in terms of means and standard deviation. Paired t-test and Independent sample t-test were employed for statistical significance ($p < .05$)

The results and conclusion of the present study were as follows:

1. For the study 1, after set3, blood lactate concentration was substantially higher in the 12.5% $F_IO_2$ (10.4 ± 2.1 mmol/L) compared to normoxia, 14.5% or 13.5% condition (5.0 ± 1.6, 7.8 ± 1.5, and 9.4 ± 1.9 mmol/L, respectively). Compared to normoxia, the EMG signal was 34.1% lower in the 12.5% condition, 14.1% and 18.6% lower in the 14.5% and 13.5% oxygen condition respectively. Moreover, $SpO_2$ in 12.5% after set3 was substantially lower (73.7 ± 3.4%) compared to normoxia, 14.5% or 13.5% condition (95.1 ± 1.8, 81.1 ± 2.1, and 79.1 ± 2.4%, respectively). Overall the lower $F_IO_2$ conditions produced lower in number of sprints, and highest heart rate, ventilation and rating of perceived exertion levels.

In conclusion for the 1st study, $F_IO_2$ 13.5% is suitable condition for high-intensity intermittent training. Although, at $F_IO_2$ 13.5% was lower in benefitcial responses than $F_IO_2$ 12.5% but at $F_IO_2$ 12.5% had lower in SpO2 that might be harmful from insufficient oxygen to athletes. Thus, $F_IO_2$ 13.5% was an appropriate choice and selected to use in study 2.

2. For the study 2, hypoxic group had significantly greater in intermittent endurance and anaerobic capacity than the control group ($p<0.05$). $VO_2$max, Anaerobic Threshold, Bruce protocol total time, Anaerobic power showed a significant increase when compared to the pre - experimental data but no significant differences between hypoxic group and control group (all $p<0.05$). Moreover, only percent fatigue index showed a significant decrease when compared to the pre - experimental data.

In conclusion for the 2nd study, training with high-intensity intermittent training in normobaric hypoxic condition had greater effects in aerobic and anaerobic performance than training in normoxic condition. This indicated that high-intensity intermittent training in normobaric hypoxic condition could be used as a beneficial training model for varsity futsal players.

Field of Study: Sports Science Student's Signature _____

Academic Year: 2017 Advisor's Signature _____

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือ ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด การติดตาม ตรวจสอบ รวมถึงการให้แนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ ของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และยังเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตของผู้วิจัยมาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มศึกษาในระดับมหาวิทยาลัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย กรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาเสียสละเวลาในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย รวมไปถึง ดร.เคนเน็ท เกรแฮม และรองศาสตราจารย์ ดร. ไมค์ แฮมลิน ผู้ร่วมเขียนบทความวิจัย ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ฉัตรปุณญกุล อาจารย์ที่ปรึกษาชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคุณสราวุธ บุญปัญญา หัวหน้าผู้ฝึกสอน ที่ให้ความอนุเคราะห์กลุ่มตัวอย่างและให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลงานวิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างทุกคนที่เข้าร่วมงานวิจัย ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่า และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งในงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อทวีป ขาวสนิท และคุณแม่ปราณี ขาวสนิท ผู้เป็นบิดามารดาของผู้วิจัย ครอบครัวขาวสนิททุกคน และคุณนาถลดา สัตถาพร ที่คอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และผลักดันให้ผู้วิจัยทำการศึกษาและดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และสุขภาพ และเพื่อนพี่น้องคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา และคณะครุศาสตร์ สาขาวิชาสุขศึกษาและพลศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่สละเวลา คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา และกองทุนรัชดาภิเภกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และทุกท่านที่อบรมสั่งสอน เลี้ยงดู ให้ความรู้ และให้การสนับสนุน โดยเป็นทั้งแรงบันดาลใจ กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนการศึกษาวิจัยสำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอมอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเครื่องบูชาเพื่อทดแทนคุณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**สารบัญ**

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

บทที่ 1 ..... 1

บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

การศึกษาที่ 1 ..... 9

วัตถุประสงค์ในการวิจัยของการศึกษาที่ 1 ..... 9

คำถามของการวิจัย: การศึกษาที่ 1 ..... 9

สมมติฐานของการวิจัย: การศึกษาที่ 1 ..... 9

ขอบเขตของการวิจัย: การศึกษาที่ 1 ..... 9

การศึกษาที่ 2 ..... 11

วัตถุประสงค์ในการวิจัยของการศึกษาที่ 2 ..... 11

คำถามของการวิจัย: การศึกษาที่ 2 ..... 11

สมมติฐานของการวิจัย: การศึกษาที่ 2 ..... 11

ขอบเขตของการวิจัย: การศึกษาที่ 2 ..... 12

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย ..... 14

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 15

บทที่ 2 ..... 16

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 16

1. กีฬาฟุตซอล ..... 17



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2. สรีรวิทยาของกีฬาประเภทหนักสลับพัก....23
3. การฝึกสมรรถภาพทางกายในกีฬาฟุตซอล....56
4. การฝึกบนที่สูงและการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ....59
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....63
5.1 งานวิจัยในประเทศ....63
5.2 งานวิจัยต่างประเทศ....66
6. กรอบแนวคิดการวิจัย....73
6.1 กรอบแนวคิดการวิจัยการศึกษาที่ 1....73
6.2 กรอบแนวคิดการวิจัยการศึกษาที่ 2....74
บทที่ 3....75
วิธีดำเนินการวิจัย....75
การศึกษาที่ 1....75
กลุ่มตัวอย่าง....75
ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล....77
การศึกษาที่ 2....82
ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล....83
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย....87
การวิเคราะห์ข้อมูล....88
ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย....88
การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง....89
บทที่ 4....90
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล....90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถในการออกกำลังกายในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ..... 91

ตอนที่ 1.1 ข้อมูลของนักกีฬา อายุ น้ำหนัก และส่วนสูง ..... 91

ตอนที่ 1.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% ..... 92

ตอนที่ 1.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของปริมาณกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% ..... 94

ตอนที่ 1.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จ จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% ..... 104

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติกับการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ..... 106

บทที่ 5 ..... 115

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ..... 115

การศึกษาที่ 1 ..... 115

สรุปผลการวิจัยของการศึกษาที่ 1 ..... 116

อภิปรายผลการวิจัยของการศึกษาที่ 1 ..... 124

สรุปผลการวิจัยในภาพรวมของการศึกษาที่ 1 ..... 127

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

การศึกษาที่ 2 ..... 128
สรุปผลการวิจัยของการศึกษาที่ 2 ..... 129
อภิปรายผลการวิจัยของการศึกษาที่ 2 ..... 132
สรุปผลการวิจัยในภาพรวมของการศึกษาที่ 2 ..... 136
ข้อเสนอแนะจากการวิจัย ..... 136
รายการอ้างอิง ..... 138
ภาคผนวก ..... 151
ภาคผนวก ก ..... 152
ภาคผนวก ข ..... 189
ภาคผนวก ค ..... 190
ภาคผนวก ง ..... 195
ภาคผนวก จ ..... 196
ภาคผนวก ฉ ..... 202
ภาคผนวก ช ..... 205
ภาคผนวก ซ ..... 207
ภาคผนวก ฌ ..... 209
ภาคผนวก ญ ..... 210
ภาคผนวก ฎ ..... 211
ภาคผนวก ฏ ..... 212
ภาคผนวก ฐ ..... 213
ภาคผนวก ฑ ..... 218
ภาคผนวก ฒ ..... 219
ภาคผนวก ณ ..... 220

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาคผนวก ด ..... 221

ภาคผนวก ต ..... 222

ภาคผนวก ถ ..... 223

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 225



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬาฟุตซอล (Futsal) มีลักษณะของกฎกติกาที่กำหนดให้แต่ละทีมประกอบด้วยผู้เล่นข้างละ 5 คน รวมในสนามทั้งหมด 10 คน ทำการแข่งขันในสนามที่มีขนาดความกว้าง 18 – 22 เมตร และยาว 25 – 42 เมตร ซึ่งเมื่อเทียบอัตราส่วนของจำนวนผู้เล่นกับพื้นที่สนามแล้ว พบว่าผู้เล่นแต่ละคนจะมีพื้นที่ว่างสำหรับการเล่นลูกที่ค่อนข้างน้อยมาก กติกาดังกล่าวที่กำหนดขึ้นจึงเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ผู้เล่นต้องมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เพื่อหาพื้นที่ว่างในการเล่น นอกจากนี้ระยะเวลาที่ผู้เล่นจะต้องทำการแข่งขันทั้งหมดสองครึ่ง ครึ่งละ 20 นาที และทำการเล่นในเวลาที่กำหนด เวลาจะหยุดเมื่อลูกตาย หรือลูกเสีย (Burns, 2003) จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้นักฟุตซอลมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีสมรรถภาพทางกายอยู่ในระดับที่ดีมาก

กีฬาฟุตซอลนั้นเป็นกีฬาที่มีลักษณะการออกกำลังกายเป็นแบบที่มีการประกอบกิจกรรมแบบหนักสลับพักที่มีความหนักสูง (Intermittent High-Intensity) (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; Gorostiaga et al., 2009) โดยมีความหนักของการประกอบกิจกรรมในการแข่งขันที่สูงกว่าฟุตบอลและกีฬาประเภททีมที่มีการเคลื่อนไหวแบบหนักสลับพัก (Team Intermittent Sports) อื่น ๆ จากงานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวพบว่า นักกีฬาฟุตซอลจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มากกว่านักกีฬาฟุตบอล โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจตลอดทั้งเกมการแข่งขันอยู่ที่ 90% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดอยู่ในช่วง 86-93% โดยใช้เวลา 83%, 16% และ 0.3% ที่ระดับความหนัก >85%, 85-65% และ <65% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดตามลำดับ มีอัตราการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยเท่ากับ 73 – 77 % ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของกรดแลคติกเท่ากับ 5.1 - 5.5 มิลลิโมล/ลิตร โดยมีอัตราส่วนของเวลาของกิจกรรมหนักสลับพักอยู่ที่ 1:1 (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; Makaje et al., 2012) ซึ่งนักกีฬาฟุตซอลจะต้องเคลื่อนที่ตลอดทั้งเกมเป็นระยะทางประมาณ 2.5 – 5 กิโลเมตร โดยมีอัตราของการเคลื่อนที่อยู่ที่ 94.5 – 121 เมตรต่อนาที มีระยะทางทั้งหมดที่นักกีฬาเคลื่อนที่เฉลี่ยตลอดทั้งเกมอยู่ที่ 2.5 – 4.5 กิโลเมตร แบ่งกิจกรรมการเคลื่อนที่ออกเป็นการวิ่งด้วยความเร็วปานกลาง (medium-intensity running)ที่ 28.5% การวิ่งด้วยความเร็วสูง (high-intensity running) ที่ 13.7% และการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (maximal speed running) ที่8.9% (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; Doğramacı, Watsford, & Murphy, 2015; Dogramaci, Watsford, & Murphy, 2011; Makaje et al., 2012) มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทุก ๆ 3-9 วินาที ตามด้วยการพักระยะสั้น ๆ ประมาณ 20 -30 วินาทีระหว่างการสปริ๊นท์ 3-4 ครั้ง (Castagna et al., 2009; de Matos et al., 2008; Doğramacı & Watsford, 2006) จากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่านักกีฬาฟุตซอลจะต้องมีความเร็ว ความคล่องแคล่วว่องไว ความอดทน และความสามารถในการฟื้นตัวอย่างรวดเร็วหลังจากการเล่นที่มีความหนักสูง และสามารถที่จะประกอบกิจกรรมการเล่นที่มีความหนักเหล่านั้นซ้ำ ๆ ได้ตลอดการแข่งขัน ซึ่งส่งผลให้นักกีฬามีความต้องการทางสรีรวิทยาและการเคลื่อนไหวในระดับสูงในการเล่น (Makaje et al., 2012)

รูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อในกีฬาฟุตซอลจึงเป็นลักษณะการใช้ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic system) เป็นหลัก นักกีฬาจำเป็นต้องเคลื่อนที่ด้วยกิจกรรมที่มีความหนักสูงอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้ช่วงพักของนักกีฬามีเวลาเพียงช่วงสั้น ๆ (น้อยกว่า 30 วินาที) ขณะทำการแข่งขัน ทำให้ไม่สามารถทำการสำรองพลังงานเอทีพี-ซีพี (ATP-CP stores) ขึ้นมาใหม่ได้ทัน เมื่อร่างกายใช้พลังงานจากเอทีพี-ซีพีที่สำรองพร่องลงร่างกายจึงต้องเปลี่ยนไปใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส (Anaerobic glycolysis system) ซึ่งเป็นระบบที่ทำให้เกิดของเสีย คือ กรดแลคติกสะสมอยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อและเลือด รวมถึงมีการลดลงของค่ากรดด่าง (pH) ภายในกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อมีสภาพเป็นกรด (Bangsbo, Iaia, & Krustrup, 2008; McArdle, Katch, & Katch, 2010) และการเกิดการลดลงของไกลโคเจนในเส้นใยกล้ามเนื้อ (Bangsbo, 1994; Bangsbo, Norregaard, & Thorsoe, 1992) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง จากการที่เกิดความเมื่อยล้า (Fatigue) เพิ่มมากขึ้น โดยจากการวิเคราะห์ความสามารถของกล้ามเนื้อขาด้วยการตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) พบว่า หลังจากเกิดความเมื่อยล้ากลไกของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจะลดลงและความสามารถสูงสุดในการงอและเหยียดข้อต่อส่วนหัวเข่าจะมีการลดลงด้วย (Drust, Reilly, & Cable, 2000; Rahnama, Reilly, & Lees, 2002) ซึ่งความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นนั้นก็อาจจะมาจากการที่กล้ามเนื้อสะสมกรดแลคติกซึ่งเป็นของเสียเอาไว้ การพัฒนาสมรรถภาพทางกายเพื่อให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อจากการสำรองพลังงานขึ้นมาใหม่และกำจัดของเสียที่เกิดการสะสมซึ่งก่อเกิดความเมื่อยล้าให้ลดลงได้ในเวลาที่รวดเร็วจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้นักกีฬามีประสิทธิภาพในการเล่นเพิ่มมากยิ่งขึ้น (Hamilton et al., 1991)

ในการพัฒนานักกีฬาฟุตซอลได้อย่างมีประสิทธิภาพการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Performance) จะประกอบไปด้วยด้วยตัวแปรที่สำคัญ คือ พลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power) ที่เป็นความสามารถสูงสุดในการสร้างพลังงานจากระบบเอทีพี-ซีพี (ATP-CP) เพื่อใช้ในการปฏิบัติกิจกรรม และความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity) ซึ่งเป็นความสามารถสูงสุดในการรักษาระดับการทำงานของกล้ามเนื้อซึ่งใช้พลังงานที่สร้างจากทั้งระบบเอทีพี-ซีพี (ATP-CP) และระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส (Anaerobic Glycolysis) ให้

คงอยู่ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในกีฬาที่ใช้ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกเป็นหลัก ซึ่งนอกจากนี้การพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกจะช่วยในการลดค่าดัชนีความล้า (Fatigue Index) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นหลังจากการทำงานหนักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Medbø & Burgers, 1990) ซึ่งถ้าดัชนีความล้ามีค่ามากแสดงว่า กล้ามเนื้อมีแนวโน้มเสี่ยงต่อการล้าสูง หมายถึง กล้ามเนื้อมีความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับต่ำและในทางกลับกัน ถ้าดัชนีความล้ามีค่าน้อยแสดงว่า กล้ามเนื้อมีแนวโน้มเสี่ยงต่อการล้าต่ำ หมายถึง กล้ามเนื้อมีความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับสูง (Zacharogiannis, Tziortzis, & Paradisis, 2003)

และเนื่องจากการใช้ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกนั้นจะก่อให้เกิดการสะสมกรดแลคติก ซึ่งส่งผลต่อการเกิดความเมื่อยล้า การป้องกันโดยการกำจัดและบัฟเฟอร์แลคเตทภายในกล้ามเนื้อซึ่งกำลังทำงานเป็นการปรับสมดุลสภาวะความเป็นกรดด่างภายในกล้ามเนื้อให้กลับสู่ภาวะปกติ สิ่งที่ช่วยสนับสนุนให้ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็คือความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก (Aerobic Performance) นักกีฬาที่มีสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Oxygen capacity) ดี จะมีความสามารถของร่างกายในการฟื้นฟูความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นได้ดี โดยการขนส่งออกซิเจนไปยังเส้นใยกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานช่วยในการสำรองพลังงานขึ้นมาใหม่และลดการเกิดของเสียภายในกล้ามเนื้อจากระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส (McMahon & Wenger, 1998; Peterson et al., 2015)

การฝึกแบบหนักสลับพัก (Intermittent training) เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการฝึกแบบสลับช่วง (Interval Training) เป็นการฝึกที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันโดยเฉพาะการฝึกกีฬาที่ใช้ระบบพลังงานผสมผสานและมีรูปแบบการเล่นแบบหนักสลับพักตลอดการแข่งขัน เช่น ฟุตบอล รักบี้ บาสเกตบอล เนื่องจากมีโครงสร้างที่สอดคล้องกับความต้องการในการฝึกและความต้องการเฉพาะของกีฬา และเกิดความเมื่อยล้าจากการฝึกที่เท่ากันหรือน้อยกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง (Continuous Training) ในขณะที่การฝึกแบบสลับช่วงหรือหนักสลับพักใช้เวลาที่น้อยกว่า โดยเป็นการฝึกที่ใช้ความหนักในระดับสูงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ สลับกับการพักด้วยกิจกรรมในระดับเบา และทำการฝึกซ้ำหลาย ๆ รอบ โดยร่างกายจะใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกจากทั้งสองระบบควบคู่กันโดยใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสเป็นหลัก ซึ่งจะทำให้พลังงานแอนแอโรบิกทั้งคู่เกิดการพัฒนาจากการใช้งาน นอกจากนี้การฝึกในลักษณะนี้ยังส่งผลถึงการพัฒนาระบบแอโรบิกได้อีกด้วย (Baechle & Earle, 2000; Barnett et al., 2004; Billat, 2001; Gibala et al., 2006; Hazell et al., 2010; MacDougall et al., 1998; Macpherson et al., 2011; Pyke, 2001)

เมื่อวิเคราะห์ถึงระบบพลังงานที่ใช้ขณะทำการฝึกแบบหนักสลับพักพบว่าการปฏิบัติกิจกรรมด้วยความหนักสูงประมาณ 3-4 วินาทีจะใช้พลังงานจากเอทีพีและซีพีซึ่งสะสมในร่างกายเป็นหลัก โดยเอทีพีและซีพีจะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อร่างกายออกกำลังกายด้วยความหนักสูงกว่า 6 วินาทีขึ้นไป

เมื่อเอทีพีและซีพีลดลง ร่างกายจะต้องใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสเข้ามาช่วย (Baechle & Earle, 2000) ซึ่งการสะสมของเอทีพีและซีพีที่ลดลงนั้นจะต้องใช้เวลาพักประมาณ 3-4 นาที จึงจะกลับสู่ระดับปกติ ดังนั้น การปฏิบัติกิจกรรมด้วยความหนักสูงในระยะเวลาสั้น ๆ 4 วินาที จะทำให้เอทีพีและซีพีในร่างกายลดลง ซึ่งการพักหรือการทำกิจกรรมที่มีความหนักต่ำเป็นเวลาประมาณ 28-40 วินาที หรือประมาณ 7-10 เท่าของเวลาที่ปฏิบัติกิจกรรมด้วยความหนักสูงนั้น ไม่เพียงพอที่ร่างกายจะสะสมเอทีพีและซีพีกลับมาได้เท่าระดับปกติในขณะพัก และเมื่อปฏิบัติกิจกรรมด้วยความหนักสูงในครั้งต่อไปร่างกายจึงต้องใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสเข้ามาช่วย ซึ่งจะส่งผลให้กรดแลคติกเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก การฝึกที่มีความหนักสูงจึงมีส่วนช่วยให้นักกีฬาเกิดการปรับตัวกับการเพิ่มขึ้นของกรดและความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้น (Fleck & Kraemer, 2014)

สำหรับการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงที่เป็นที่นิยมในการฝึกนักกีฬาประเภททีมแบบหนักสลับพักในปัจจุบันจะเป็นรูปแบบการฝึกสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว (Repeated Sprint) ซึ่งมีทั้งการวิ่งและการปั่นจักรยาน นอกจากนี้ยังมีรูปแบบการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) ความนิยมของการฝึกลักษณะนี้สืบเนื่องมาจากการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวในกีฬาประเภททีมพบว่า ในขณะแข่งขันส่วนใหญ่มักจะเป็นการเคลื่อนไหวที่สั้น และมีความหนักสูง ในช่วง 10-30 เมตร หรือ 2-4 วินาที การเคลื่อนไหวอย่างหนักและมีการพักในช่วงสั้น ๆ เหล่านี้มักมีการทำซ้ำตลอดการแข่งขัน โดยสามารถเรียกอีกอย่างได้คือ ความสามารถในการสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว (Repeated Sprint Ability) (Spencer et al., 2005) การฝึกสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับการเคลื่อนไหวในการแข่งขันจึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในการพัฒนานักกีฬาประเภททีมแบบหนักสลับพัก (Buchheit et al., 2010) จากที่กล่าวมาก็สอดคล้องกับการเคลื่อนไหวของกีฬาฟุตซอลซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนไหวที่เป็นการวิ่งด้วยความเร็วไปจนถึงการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด โดยใช้เวลาในการวิ่งไม่เกิน 3-9 วินาที และการตามด้วยการพักสั้น ๆ ประมาณ 20-30 วินาที (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; de Matos et al., 2008; Doğramacı & Watsford, 2006) การฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว จึงเป็นส่วนสำคัญสำหรับกีฬาฟุตซอล เนื่องจากเป็นการใช้พลังงานที่ทำให้เอทีพีและซีพีลดลง และร่างกายจะต้องใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสเข้ามาช่วยจากการที่ไม่สามารถทำการฟื้นคืนเอทีพีและซีพีกลับมาได้ทัน ซึ่งการฝึกลักษณะนี้จะดีกว่าการฝึกแบบสลับช่วง โดยจะเห็นได้จากงานวิจัยของบราโว และคณะ (Bravo et al., 2008) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกสลับช่วงด้วยความหนักสูงและฝึกความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตบอล จำนวน 42 คน แบ่งเป็น กลุ่มฝึกสลับช่วง ฝึกวิ่งที่ความหนัก 90-95%ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 4 นาที จำนวน 4 เที่ยว และกลุ่มฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวระยะทาง 40 เมตร 6 เที่ยว จำนวน 3 ชุด เป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มฝึกฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวมีการ

พัฒนาของความอดทนจากการทดสอบ yo-yo intermittent recovery test และความสามารถในการสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวดีกว่ากลุ่มฝึกสลับช่วง ส่วนตัวแปรด้านความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เวลาในการวิ่ง 10 เมตร ความสูงในการกระโดดและพลังของทั้งสองกลุ่มมีการพัฒนาขึ้นในระดับใกล้เคียงกัน

สำหรับการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) นั้น เป็นการฝึกการวิ่งด้วยความหนักที่สูงในช่วงสั้น ๆ โดยมีการเปลี่ยนทิศทางด้วยการกลับตัวเมื่อถึงจุดที่กำหนดเพื่อกลับมายังจุดเริ่มต้น ซึ่งมีข้อแตกต่างจากการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวดังที่ บุคไฮท์และคณะ (Buchheit et al., 2010) ได้ทำการเปรียบเทียบการตอบสนองของการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) และการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรง (Repeated Sprint in Straight Line) งานวิจัยนี้สรุปว่าลักษณะการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวเหมาะสำหรับนำไปใช้ทำการฝึกเพื่อให้เกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยไม่เป็นการเพิ่มโหลดให้กับกล้ามเนื้อต้นขาเมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวซึ่งไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง นอกจากนี้จากงานวิจัยของ ดาล พูโพและคณะ (Dal Pupo et al., 2013) ซึ่งทำการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาและระบบประสาทกล้ามเนื้อในการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) และการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรง (Repeated Sprint in Straight Line) ซึ่งจากงานวิจัยชิ้นนี้สรุปว่า แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันของเวลาที่ดีที่สุดในการวิ่ง และเวลาเฉลี่ย แต่ก็พบว่ามีความสัมพันธ์กัน และความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว (Repeated Sprint Ability) มีความเป็นอิสระจากการเปลี่ยนทิศทาง นอกจากนี้ความต้องการของระบบไกลโคไลติกและระบบกล้ามเนื้อไม่มีความแตกต่างกันจากรูปแบบการวิ่งสปริ๊นท์ทั้งสองแบบ จากงานวิจัยที่ผ่านมาเหล่านี้จึงกล่าวได้ว่า การนำการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวมาใช้ในการฝึกนักกีฬานั้น มีความเป็นไปได้ใกล้เคียงกับการฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกงานวิจัยการฝึกแบบหนักสลับพักที่ความหนักสูงที่เป็นการฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวหรือการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในปัจจุบันนั้น พบว่า มีการออกแบบประยุกต์รูปแบบต่าง ๆ เข้ากับการฝึกเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดหลากหลายวิธี มีการนำลักษณะของสภาพแวดล้อมที่เพิ่มความเครียดและความหนักให้กับร่างกายขณะออกกำลังกาย ซึ่งที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน คือ วิธีการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติ (Brocherie et al., 2015; Faiss, Leger, et al., 2013; Galvin et al., 2013; Gatterer et al., 2014)

การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric Hypoxic Training) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการฝึกในสภาวะจำลองออกซิเจนต่ำ (Simulated Hypoxic Training) เป็นวิธีการฝึกที่ทีมกีฬานิยมนำมาใช้กันมากขึ้นอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นการเพิ่มระดับความเครียดทางสรีรวิทยาของภาวะขาดออกซิเจนในนักกีฬาระหว่างฝึกซ้อม ซึ่งเป็น

วิธีการที่ทำให้ปริมาณของออกซิเจนในอากาศลดลงจากปกติซึ่งจะมีอัตราส่วนอยู่ที่ 20.93% ของอากาศทั้งหมด โดยให้ความดันบรรยากาศยังคงอยู่ในระดับปกติคือ 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งจากการลดลงของปริมาณของออกซิเจนในอากาศจะส่งผลอย่างฉับพลันให้การหายใจขณะออกกำลังกายทำได้ลำบากขึ้น ทำให้ความหนักของการออกกำลังกายมากขึ้นเมื่อเทียบกับการฝึกที่มีออกซิเจนปกติ (Mazzeo, 2008; West, 1996)

การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติจะใช้ระบบจำลองในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องและน้อยกว่า 3 ชั่วโมง จำนวน 2-5 ครั้งต่อสัปดาห์ (Wilber, Stray-Gundersen, & Levine, 2007) ซึ่งการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำนั้นพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (Czuba et al., 2011; Mao, Fu, & Wang, 2011; Meeuwsen, Hendriksen, & Holewijn, 2001) เพิ่มเอนไซม์ไกลโคไลติก การขนส่งกลูโคส และการควบคุมความเป็นกรดด่างในร่างกาย (Dufour et al., 2006; Vogt et al., 2001; Zoll et al., 2006) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการประกอบกิจกรรมแบบแอนแอโรบิกจากการเพิ่มขึ้นของไกลโคไลติก (Hamlin et al., 2010) ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของความสามารถในการวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว (Faiss, Leger, et al., 2013; Galvin et al., 2013) และพบว่าการใช้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถกระตุ้นการปรับตัวในการฝึกโดยใช้แรงต้านได้ (Manimmanakorn, Hamlin, et al., 2013; Manimmanakorn, Manimmanakorn, et al., 2013; Nishimura et al., 2010) ในขณะที่งานวิจัยบางส่วนก็มีข้อพบว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำนั้น ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดหรือความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกได้ (Morton & Cable, 2005; Neya et al., 2007; Roels et al., 2007; Truijens et al., 2003; Ventura et al., 2003) แม้ว่าจะยังเป็นที่ถกเถียงถึงผลของการฝึก แต่เชื่อกันว่าหากมีจำนวนครั้ง ความหนัก วิธีการฝึก และระดับของปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่เหมาะสม ก็จะสามารถช่วยให้ระดับความสามารถของนักกีฬาเพิ่มมากขึ้นได้ (Czuba et al., 2013; McLean, Gore, & Kemp, 2014)

โดยในการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำนั้น รูปแบบที่ได้มีการนำมาใช้และทำวิจัยกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันคือการฝึกแบบหนักสลับพักด้วยการสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว เช่น กาลวินและคณะ (Galvin et al., 2013) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬารักบี้จำนวน 30 คน กลุ่มทดลองทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีปริมาณออกซิเจน 13% เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ฝึกในสภาวะออกซิเจนปกติ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการฝึกวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถพัฒนาความสามารถในการวิ่งสปรินท์ซ้ำและความสามารถในการใช้ออกซิเจนของนักกีฬาในระยะเวลา 4 สัปดาห์ได้ นอกจากนี้การฝึกวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยวยังสามารถฝึกในพื้นที่จำกัดโดยการปรับปรุงรูปแบบการฝึกเป็นการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยของ แกทเตอเรอร์และ

คณะ (Gatterer et al., 2014) ที่ได้ทำการศึกษาการฝึกวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำในนักกีฬาฟุตบอลเยาวชนชั้นยอด กลุ่มทดลอง ฝึกวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 14.8% เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.95% ทำการฝึก 3 ชุด ชุดละ 5 เที่ยว เที่ยวละ 10 วินาทีไปและกลับด้วยความเร็วสูงสุดในการวิ่งระยะ 4.5 เมตร สลับพัก 20 วินาทีต่อเที่ยว และ 5 นาทีต่อชุด ทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า การฝึกวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวสามารถฝึกในห้องที่มีขนาดจำกัด และผลจากการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถทำให้ความเมื่อยล้าของนักกีฬาจากการทดสอบลดลงได้ดีกว่าในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

ในการศึกษาเพื่อหาระดับปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่เหมาะสมกับการฝึกนั้นเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยจากบทความที่เป็นการทบทวนงานวิจัยของการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ผ่านมาอย่างเป็นระบบ (Systematic Review) พบว่า ปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่ใช้ในการฝึกมีตั้งแต่ประมาณ 16% ไปจนถึงประมาณ 12% (Faiss, Girard, & Millet, 2013; McLean et al., 2014; Wortman, 2012) โดยข้อมูลการสังเคราะห์งานวิจัยด้วยการวิเคราะห์อภิมาน (meta-analysis) ของวอร์ทแมน (Wortman, 2012) ซึ่งได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ระดับความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric Hypoxic Training) เพื่อหารูปแบบของการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่าที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการฝึกมากที่สุด คือ ปริมาณออกซิเจนประมาณ 15-14.5% หรือเทียบเท่ากับระดับของความสูงที่ 2,500-3,000 เมตร ในเวลาต่อมาพบว่าเริ่มมีผู้ทำการทดลองเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน โดยกู๊ดส์และคณะ (Goods et al., 2014) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว ในสภาวะจำลองความสูง 2,000 3,000 และ 4,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล หรือในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่ 16.4% 14.5% และ 12.7% ตามลำดับเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ระดับน้ำทะเล คือ 20.95% โดยพบว่าระดับความสูงที่แนะนำในการฝึกวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยวจากงานวิจัยนี้อยู่ที่ 2,000-3,000 เมตร หรือที่สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ 16.4-14.5 % นอกจากนี้โบวเทลและคณะ (Bowtell et al., 2014) ได้ทำการวิจัยเรื่องการตอบสนองอย่างฉับพลันทางสรีรวิทยาและความสามารถในการวิ่งสปรินท์แบบซ้ำเที่ยว ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ($FiO_2$: 12%, 13%, 14%, 15%, 21%) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าหากต้องการทำการฝึกให้ร่างกายเกิดการตอบสนองต่อความเครียดจากสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำได้ผลที่สุด โดยยังรักษาระดับของความเร็วสูงสุดไว้ได้และไม่เกิดความเมื่อยล้ามากจนเกินไปนั้น ควรทำการฝึกที่ระดับปริมาณของออกซิเจนในอากาศอยู่ที่ 13% ซึ่งจากงานวิจัยที่กล่าวมานั้น ยังมีความขัดแย้งกันอยู่ในเรื่องของปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมกับการฝึก

แนวคิดของงานวิจัยการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำของผู้วิจัยเกิดจากการนำรูปแบบการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) จากงานวิจัยของแกทเตอเรอร์และคณะ (Gatterer et al., 2014) 3 ชุด ชุดละ 5 เที่ยว เที่ยวละ 10 วินาทีไปและกลับด้วยความเร็วสูงสุดในการวิ่งระยะ 4.5 เมตร สลับพัก 20 วินาทีต่อเที่ยว และ 5 นาทีต่อชุด ทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ซึ่งเป็นการฝึกที่สามารถทำได้ในพื้นที่จำกัด เช่นในห้องจำลองสภาวะออกซิเจนต่ำ เพื่อใช้ในการศึกษาการตอบสนองอย่างฉับพลันจากโปรแกรมการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน เนื่องจากในงานวิจัยของบุคไฮท์และคณะ (Buchheit et al., 2010) นั้น จะเห็นได้ว่าการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรง (Repeated Sprint in Straight Line) กับการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Repeated Shuttle Sprint) จะมีความแตกต่างกันในด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาในขณะทำการวิ่ง ซึ่งหากนำลักษณะดังกล่าวมาใช้ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเพื่อช่วยเพิ่มความหนักในการฝึกนักกีฬานั้น สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำระดับใดที่จะมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการฝึกมากที่สุด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกระดับของปริมาณออกซิเจนที่จะนำมาใช้ร่วมกับโปรแกรมการฝึกเพื่อศึกษาผลฉับพลันของโปรแกรมการฝึกนั้นคือ ปริมาณออกซิเจน 20.9% ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนปกติ และปริมาณออกซิเจนต่ำที่ 14.5% 13.5% และ 12.5% ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการตอบสนองต่อปริมาณออกซิเจนในอากาศที่แตกต่างกันในความดันบรรยากาศปกตินั้น (Bowtell et al., 2014; Goods et al., 2014; Wortman, 2012) ผลการวิจัยยังมีความขัดแย้งและมีความแตกต่างกันอยู่มาก ประเด็นในเรื่องของความเหมาะสมของระดับปริมาณออกซิเจนที่ในส่วนนี้จึงนำไปสู่การศึกษาที่ 1 ของงานวิจัยชิ้นนี้ เพื่อนำผลของการศึกษาที่ 1 ไปใช้ออกแบบโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงซึ่งมีลักษณะการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยผู้วิจัยจะนำโปรแกรมการฝึกนี้ไปใช้ในการฝึกนักกีฬาฟุตซอลเพื่อศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกของนักกีฬา ซึ่งเป็นการศึกษาที่ 2 ของงานวิจัยชิ้นนี้ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาการจัดรูปแบบการฝึกด้วยวิธีการใหม่ ๆ ปรับปรุงการฝึกซ้อมให้มีประสิทธิภาพ สร้างสมรรถนะทางการกีฬาได้ง่าย และรวดเร็วมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยถูกต้องตามหลักการฝึกและจริยธรรมทางการกีฬา และส่งเสริมความก้าวหน้าทางวิชาการในทางวิทยาศาสตร์การกีฬาต่อไป

**การศึกษาที่ 1**

**วัตถุประสงค์ในการวิจัยของการศึกษาที่ 1**

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ

**คำถามของการวิจัย: การศึกษาที่ 1**

1. การออกกำลังกายแบบหนักสลับพักโดยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะความดันบรรยากาศปกติที่มีปริมาณของออกซิเจนในอากาศเท่ากับ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% จะมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาอย่างฉับพลันจากการฝึกแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

**สมมติฐานของการวิจัย: การศึกษาที่ 1**

1. การออกกำลังกายแบบหนักสลับพักโดยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีปริมาณของออกซิเจนในอากาศเท่ากับ 14.5% 13.5% และ 12.5% จะมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาอย่างฉับพลันที่มากกว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศเท่ากับ 20.9%

**ขอบเขตของการวิจัย: การศึกษาที่ 1**

**1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย**

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็น นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 16 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย** ประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ได้แก่

2.1.1 สภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศความดันบรรยากาศปกติ โดยใช้ปริมาณของออกซิเจนในอากาศ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่

2.2.1 ระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิต

- อัตราการเต้นของหัวใจ (HR)
- ความสามารถในการใช้ออกซิเจน ($VO_2$)
- ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ($VCO_2$)
- อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ (RER)

- ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที (VE)
- ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$)

2.2.2 ความเมื่อยล้า

- ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Root Mean Square: RMS from electromyography)
- ปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood Lactate Concentration : B[La])

2.2.3 การรับรู้

- ค่าระดับรับรู้ความเหนื่อย (RPE)

2.2.4 การวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จ

2.3 ตัวแปรควบคุม (Control Variable) ได้แก่

2.3.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ไม่ต่ำกว่า 80%

2.3.2 สถานที่ในการฝึกและการทดสอบ

2.3.3 อุณหภูมิห้อง

2.3.4 อุปกรณ์การฝึกและการทดสอบ

2.3.5 ช่วงเวลาในการฝึกและการทดสอบ

**3. ข้อตกลงเบื้องต้น**

3.1 กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจและให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจในการฝึกอย่างเต็มความสามารถ

3.2 การเก็บข้อมูลทุกครั้งทำโดยผู้วิจัยชุดเดียวกันและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน

3.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยยินยอมที่จะปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้วิจัย โดยไม่ทำการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกสมรรถภาพใด ๆ ตลอดช่วงระยะเวลาของการวิจัย 4 สัปดาห์

3.4 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านการฝึกปกติ อาหาร การพักผ่อน ในระหว่างช่วงเวลาการทดลอง

**4. ความปลอดภัยระหว่างการเข้าร่วมวิจัย**

4.1 ควบคุมความหนักของการฝึกของผู้เข้าร่วมวิจัยให้อยู่ในโซนเป้าหมายที่กำหนดในระหว่างการฝึก

4.2 ควบคุมค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse Oxygen Saturation: $SpO_2$) ให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย (ไม่ต่ำกว่า 80%) เพื่อควบคุมความปลอดภัยขณะทำการฝึก โดยผู้วิจัยคอยสังเกต ทุก ๆ 2 นาที (Brown et al., 1993)

4.3 มีการประเมินระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion: RPE) ของผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นระยะ เพื่อเป็นวัดระดับความรู้สึกตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัยขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

4.4 มีการตรวจปัสสาวะเพื่อดูความถ่วงจำเพาะ ความเข้มข้นเจือจาง และภาวะขาดน้ำ

4.5 ทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้

4.5.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ลดลงต่ำกว่า 80%

4.5.2 มีการลดลงอย่างฉับพลันของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

4.5.3 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของอัตราการเต้นหัวใจ

4.5.4 เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก

4.5.5 เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่

**การศึกษาที่ 2**

**วัตถุประสงค์ในการวิจัยของการศึกษาที่ 2**

เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก

**คำถามของการวิจัย: การศึกษาที่ 2**

1. การฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงโดยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 6 สัปดาห์จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลแตกต่างจากการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติหรือไม่ อย่างไร

**สมมติฐานของการวิจัย: การศึกษาที่ 2**

1. การฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงโดยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 6 สัปดาห์จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลดีกว่าการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ขอบเขตของการวิจัย: การศึกษาที่ 2**

**1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย**

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็น นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 26 คน

**2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย** ประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ได้แก่

2.1.1 สภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศความดันบรรยากาศปกติ

2.1.2 สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่

2.2.1 ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก (Aerobic Performance)

- ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$)
- จุดกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic Threshold)
- เวลาจากการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ
- ความอดทนแบบหนักสลับพัก (Intermittent Endurance)

2.2.2 ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Performance)

- พลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power)
- ความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity)
- ดัชนีความล้า (Fatigue Index)
- เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า

2.2.3 ความทนต่อความล้า (Tolerance to Fatigue)

- ปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood Lactate Concentration : BLa)

2.3 ตัวแปรควบคุม (Control Variable) ได้แก่

2.3.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ไม่ต่ำกว่า 80%

2.3.2 สถานที่ในการฝึกและการทดสอบ

2.3.3 อุณหภูมิห้อง

2.3.4 อุปกรณ์การฝึกและการทดสอบ

2.3.5 ช่วงเวลาในการฝึกและการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**3. ข้อตกลงเบื้องต้น**

3.1 กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจและให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจในการฝึกอย่างเต็มความสามารถ

3.2 การเก็บข้อมูลทุกครั้งทำโดยผู้วิจัยชุดเดียวกันและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน

3.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยยินยอมที่จะปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้วิจัย โดยไม่ทำการแข่งขันและทำการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกสมรรถภาพอื่นนอกเหนือจากโปรแกรมฝึกในการวิจัย ตลอดช่วงระยะเวลาของการวิจัย 6 สัปดาห์

3.4 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านการฝึกปกติ อาหาร การพักผ่อน ในระหว่างช่วงเวลาการทดลอง

3.5 กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลองของการศึกษาที่ 1 จะต้องมีช่วงเวลาหยุดพัก (Wash out period) จากการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนเข้าร่วมการทดลองในการศึกษาที่ 2 เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 4 สัปดาห์

**4. ความปลอดภัยระหว่างการเข้าร่วมวิจัย**

4.1 ควบคุมความหนักของการฝึกของผู้เข้าร่วมวิจัยให้อยู่ในโซนเป้าหมายที่กำหนดในระหว่างการฝึก

4.2 ควบคุมค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย (ไม่ต่ำกว่า 80%) เพื่อควบคุมความปลอดภัยขณะทำการฝึก โดยผู้วิจัยคอยสังเกตเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในเลือดจากเครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse Oximeter) ที่ปลายนิ้ว ทุก ๆ 2 นาที (Brown et al., 1993)

4.3 มีการประเมินระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion: RPE) จากการสอบถามความหนักของการออกกำลังกายตามการรับรู้ของผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นระยะทุก 2 นาที เพื่อวัดระดับความรู้สึกตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัยขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

4.4 มีการตรวจปัสสาวะเพื่อดูความถ่วงจำเพาะ ความเข้มข้นเจือจาง และภาวะขาดน้ำ ก่อนการทดลองทุกครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ใส่กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำปัสสาวะ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้

4.5.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ลดลงต่ำกว่า 80%

4.5.2 มีการลดลงอย่างฉับพลันของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

4.5.3 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของอัตราการเต้นหัวใจ

4.5.4 เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก

4.5.5 เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่

**คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย**

**ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก (Aerobic Performance)** หมายถึง ความสามารถสูงสุดของการใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจนในการปฏิบัติกิจกรรมทางกาย ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) จุดกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic Threshold) เวลาที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ (Bruce Protocol) และความอดทนแบบหนักสลับพัก (Intermittent Endurance)

**ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Uptake : $VO_2max$)** หมายถึง ปริมาณสูงสุดของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถรับเข้าไปใช้ได้ในช่วง 1 นาที มีหน่วยเป็น ml/ $kg^{-1}$/ $min^{-1}$ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การทดสอบด้วยวิธีของบรูซ (Bruce Protocol)

**ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Performance)** หมายถึง ความสามารถสูงสุดในการทำงานของกล้ามเนื้อโดยไม่ใช้ออกซิเจนสันดาปเป็นพลังงานในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ โดยใช้พลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อเป็นหลัก ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ประกอบด้วย พลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic power), ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) และดัชนีความล้า (Fatigue index) (Medbo and Burgers, 1990) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ทำการวัดค่าจากการทดสอบด้วยวิธีทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปรินท์ (Running-based Anaerobic Sprint Test) ที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**พลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power)** หมายถึง ความสามารถสูงสุดในการสร้างพลังงานจากระบบเอทีพี-ซีพี (ATP-CP) เพื่อใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมของร่างกายมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watts)

**ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity)** หมายถึง ความสามารถสูงสุดในการรักษาระดับการทำงานของกล้ามเนื้อซึ่งใช้พลังงานที่สร้างจากทั้งระบบเอทีพี-ซีพี (ATP-CP) และระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส (Anaerobic Glycolysis) ให้คงอยู่มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watts)

**ดัชนีความล้า (Fatigue Index)** หมายถึง ค่าที่บ่งบอกถึงความล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นหลังจากการทำงานหนักแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อวินาที (Watts/sec.)

**คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography)** หมายถึง สัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้จากการหดตัวของกล้ามเนื้อ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อที่เกิดจากการผ่านเข้าออกของเซลล์อิออนต่าง ๆ ทำให้เกิดดีโพลาไรเซชั่นไปตามเซลล์กล้ามเนื้อ มีหน่วยเป็น

โวลต์ (volt) โดยทั่วไปจะมีความสูงประมาณ 50 – 1500 ไมโครโวลต์ แต่อาจเปลี่ยนแปลงได้ในกล้ามเนื้อแต่ละมัด ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อรุ่น Delsys EMG works 3.6 ทำการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส

**ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS)** หมายถึง ค่าที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากกล้ามเนื้อโดยใช้รากที่สองของค่าเฉลี่ยของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง โดยจะแสดงถึงการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวได้มากที่สุด หรือมีการระดมหน่วยยนต์ที่มากที่สุดในการวิ่งสปริ๊นท์แต่ละเที่ยว มีหน่วยเป็นโวลต์ ในการวิจัยนี้ค่า RMS คำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Signal acquisition and analysis software)

**การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric Hypoxic Training)** หมายถึง การฝึกในสภาวะที่จำลองให้ปริมาณของออกซิเจนในอากาศ ($FiO_2$) มีอัตราส่วนลดลงต่ำกว่า 20.9% โดยมีความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท ในการวิจัยครั้งนี้กำหนดสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำมีปริมาณของออกซิเจนในอากาศเท่ากับ 14.5% 13.5% และ 12.5%

**การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (Normoxic Training)** หมายถึง การฝึกในสภาวะที่ปริมาณของออกซิเจนในอากาศ ($FiO_2$) มีอัตราส่วนอยู่ที่ประมาณ 20.9 %

**การฝึกแบบหนักสลับพัก (Intermittent Training)** หมายถึง โปรแกรมการฝึกที่มีการสลับหมุนเวียนการทำงานสลับด้วยการผ่อนคลายความเข้มข้นของงานโดยช่วงการทำงาน (Work interval) โดยแต่ละช่วงของการฝึกจะมีการออกกำลังกายโดยใช้ความหนักสูงและช่วงของการผ่อนคลายเป็นการพักระหว่างการทำงาน โดยในงานวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการฝึกแบบหนักสลับพักด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว

**การวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Repeated Shuttle Sprint)** หมายถึง การวิ่งไปกลับใน ระยะห่าง 5 เมตรด้วยความพยายามสูงสุดในระยะเวลา 10 วินาที สลับกับการพัก 20 วินาที

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้ระดับของปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่เหมาะสมกับการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงโดยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว สามารถนำไปใช้ในการฝึกซ้อมนักกีฬาฟุตซอลเพื่อความเป็นเลิศได้

2. ได้แบบฝึกสำหรับกีฬาฟุตซอลที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการฝึกนักกีฬาฟุตซอลเพื่อความเป็นเลิศได้

3. ข้อมูลความรู้ที่ได้จะเป็นแนวทางสำหรับการเตรียมความพร้อมให้นักกีฬาฟุตซอล หรือนักกีฬาประเภทอื่น ๆ ในการวางแผนฝึกซ้อมโดยการใช้การฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมาช่วยในการฝึก

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารอ้างอิงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีเนื้อหาตามหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. กีฬาฟุตซอล
    - 1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกีฬาฟุตซอล
    - 1.2 ข้อแตกต่างระหว่างฟุตบอลและฟุตซอล
    - 1.3 ลักษณะการเคลื่อนที่และการใช้พลังงานในกีฬาฟุตซอล
2. สรีรวิทยาของกีฬาประเภทหนักสลับพัก
    - 2.1 ระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬาประเภทต่าง ๆ
    - 2.2 การใช้พลังงานในระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง
    - 2.3 การตอบสนองทางสรีรวิทยาขณะแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ
    - 2.4 การตอบสนองโดยการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
    - 2.5 ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและการทดสอบ
    - 2.6 ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกและการทดสอบ
3. การฝึกสมรรถภาพทางกายในกีฬาฟุตซอล
    - 3.1 หลักในการฝึก
    - 3.2 การฝึกแบบสลับช่วงและการฝึกแบบหนักสลับพัก
4. การฝึกบนที่สูงและการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ
    - 4.1 การตอบสนองต่อที่สูงและสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ
    - 4.2 รูปแบบการฝึกบนที่สูงและการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ
    - 4.3 ความปลอดภัยในการฝึก
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
    - 5.1 งานวิจัยในประเทศ
    - 5.2 งานวิจัยต่างประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**1. กีฬาฟุตซอล**

**1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกีฬาฟุตซอล**

ฟุตซอล (Futsal) มาจากการนำรากศัพท์ภาษาสเปน หรือโปรตุเกส คือคำว่า ฟุตโบล (Futbol หรือ Futebol) ซึ่งหมายถึง ฟุตบอล (Soccer) มาผสมกับคำศัพท์ที่มีรากศัพท์มาจากภาษาสเปน ฝรั่งเศส คือคำว่า“ซาล่า" (Sala) มีความหมายว่า ห้องโถง ห้องรับแขก หรือในร่ม (Indoor) โดยเมื่อนำทั้งสองคำนำมาผสมรวมกันเป็นคำว่า “ฟุตซอล” (Futsal) มีความหมายว่า การเล่นฟุตบอลในร่ม หรือมีความหมายตรงกับฟุตบอล 5 คน

กีฬาฟุตซอล กำเนิดขึ้นในประเทศแคนาดา เมื่อปี ค.ศ. 1854 (พ.ศ. 2397) เนื่องจากสภาพอากาศในฤดูหนาว ทำให้ไม่สามารถเล่นกีฬาฟุตบอลกลางแจ้งได้ จึงได้เกิดการจัดให้มีการเล่นฟุตบอลในร่ม โดยใช้สนามแข่งขันบาสเกตบอลในโรงยิมเป็นสนามแข่ง ทำให้ช่วงเวลานั้นเรียกกีฬาฟุตซอลว่า อินดอร์ซอคเกอร์ (Indoor soccer) หรือ ฟุตบอล 5 คน (five a side soccer) ต่อมาในปี ค.ศ.1930 มีการจัดการแข่งขันเป็นครั้งแรกอย่างเป็นทางการที่มีการบันทึกไว้ ณ กรุงมอนเตวิเดโอ ประเทศอุรุกวัย โดย Juan Carlos Ceriani ครูสอนพลศึกษาชาวอุรุกวัย ได้นำเกมอินดอร์ซอคเกอร์ไปให้เยาวชนใน YMCA (Young Men’s Christian Association) ได้เล่นกัน โดยใช้สนามแข่งขันบาสเกตบอลในการเล่น แต่มีการแข่งขันทั้งภายในและนอกโรงยิม เพราะไม่ได้ติดปัญหาในเรื่องสภาพอากาศ เพราะอุรุกวัยเป็นประเทศในเขตร้อน อินดอร์ซอคเกอร์จึงได้รับความนิยมและมีผู้สนใจมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งในปี ค.ศ.1932 Roger Grain จึงได้บัญญัติกฎที่เป็นมาตรฐานสำหรับใช้ในการควบคุมการแข่งขันขึ้นและได้ใช้กฎข้อบังคับนี้มาจนถึงปัจจุบัน

กีฬาอินดอร์ซอกเกอร์เป็นที่นิยมมากในแถบอเมริกาใต้ เช่น ประเทศบราซิล ประเทศปารากวัย ประเทศอุรุกวัย แม้กระทั่งในแถบยุโรปเองก็ให้ความนิยมในกีฬาชนิดนี้ไม่แพ้กัน เช่น ประเทศสเปน โปรตุเกส เป็นต้น โดยได้มีการจัดการแข่งขันในระดับนานาชาติครั้งแรกขึ้นในอเมริกาใต้ ในช่วงปี ค.ศ.1965 ซึ่งประเทศปารากวัยเป็นทีมที่ได้แชมป์ในครั้งนั้น หลังจากนั้นก็ได้มีการจัดการแข่งขันอยู่เป็นประจำ โดยเฉพาะในแถบอเมริกาใต้ ส่วนการจัดการแข่งขันฟุตซอลชิงแชมป์โลกอย่างไม่เป็นทางการได้จัดขึ้นครั้งแรกที่ เซาเปาโล ประเทศบราซิล ในปี ค.ศ.1982 และประเทศบราซิลเป็นทีมที่ได้แชมป์ไปครอง ต่อมาได้มีการจัดการแข่งขันอีก 2 ครั้ง อย่างไม่เป็นทางการ ในปี ค.ศ.1985 ประเทศสเปนเป็นประเทศที่ทำการจัดการแข่งขัน และในปี ค.ศ.1988 ประเทศออสเตรเลียเป็นเจ้าภาพในการจัดการแข่งขัน ต่อมาในปี ค.ศ.1989 สหพันธ์ฟุตบอลนานาชาติ(Federation Internationals de Football Association : FIFA) เข้ามาปรับปรุงให้มีแนวทางเป็นแนวทางเดียวกันและเป็นสากลมากขึ้นทั้งกฎกติกาและชื่อของกีฬาฟุตซอล และในปี ค.ศ.1989 นี้เอง การจัดการแข่งขันฟุตซอลชิงแชมป์โลกอย่างเป็นทางการโดย FIFA ก็ได้มีการจัดขึ้นเป็นครั้งแรก โดย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเทศเนเธอร์แลนด์เป็นเจ้าภาพในการจัดการแข่งขัน ประเทศแรกที่ได้ครองแชมป์โลกครั้งแรก คือ ประเทศบราซิล หลังจากนั้นได้มีการจัดการแข่นขันขึ้นอีกในปี ค.ศ.1992, 1996, 2000, 2004, 2008, และ2012 ซึ่งประเทศไทยเป็นเจ้าภาพ โดยประเทศบราซิลครองแชมป์มากที่สุด 5 ครั้ง และประเทศสเปนครองแชมป์ได้อีก 2 ครั้ง จากการแข่งขันทั้งหมด 7 ครั้ง สำหรับการแข่งขันฟุตซอลชิงแชมป์โลกครั้งต่อไปจะจัดขึ้นในปี ค.ศ.2016 โดยมีประเทศโคลัมเบียเป็นเจ้าภาพ

ในประเทศไทยกีฬาฟุตซอลไม่ปรากฏแน่ชัดว่ากีฬาชนิดนี้เข้ามาในประเทศไทยเมื่อใด แต่มีการเล่นชนิดหนึ่งที่มีความคล้ายคลึงกับกีฬาฟุตซอลมาก โดยในประเทศไทยส่วนใหญ่เรียกว่า“ฟุตบอลโกลรูหนู” ซึ่งมีรูปแบบการเล่นคล้ายกับกีฬาฟุตซอล เพียงแต่ฟุตบอลโกลรูหนูไม่มีประตู เพราะประตูจะมีขนาดเล็กโดยส่วนมากนั้นฟุตบอลโกลรูหนูจะเล่นกันมากในชุมชน แรกเริ่มในประเทศไทยรู้จักกีฬาชนิดนี้ในนาม “อินดอร์ซอกเกอร์” (Indoor Soccer) หรือ ฟุตบอลในร่ม และเริ่มจากมีการแข่งขันในบริเวณการกีฬาแห่งประเทศไทยแล้วค่อยมีการขยายออกไปสู่ต่างจังหวัดและเมื่อกีฬานี้ได้เริ่มิ่ เผยแพร่แล้วได้เล่นกันอย่างจริงจังก็ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย กระแสให้กีฬาฟุตซอลขยายวงกว้างมากขึ้นทำให้สมาคมฟุตบอลแห่งประเทศไทยฯ รับเป็นเจ้าภาพในการจัดกิจกรรมกีฬาฟุตซอล 2 กิจกรรม กิจกรรมแรก คือ การจัดอบรมผู้ฝึกสอนนานาชาติโดยสมาพันธ์ฟุตบอลแห่งเอเชียหรือ เอเอฟ ซี เป็นผู้ดำเนินการ โดยการกีฬาแห่งประเทศไทยได้ให้การสนับสนุนและมี ผู้ฝึกสอนจากหลายชาติให้ความสนใจในการเข้าร่วมในครั้งนี้ และในปี พ.ศ.2543 ประเทศไทยโดยสมาคมฟุตบอลแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นเจ้าภาพในการจัดการแข่งขันฟุตซอลระดับนานาชาติในรายการชิงแชมป์เอเชีย เพื่อหาตัวแทนจากทวีปเอเชีย 3 ทีม ไปชิงแชมป์โลก ครั้ง ที่ 4 ที่ประเทศกัวเตมาลา ในครั้งนั้นประเทศไทยได้ที่ 3 โดยสามารถเอาชนะเกาหลีใต้ และได้รับสิทธิ์ในการเข้าแข่งขันรอบสุดท้ายฟุตซอลโลกที่ประเทศกัวเตมาลา พร้อมกับอีกสองทีมจากทวีปเอเชีย คือ ทีมชาติอิหร่านและทีมชาติคาซัคสถาน ในการแข่งขันรอบสุดท้ายที่ประเทศกัวเตมาลา ทีมชาติไทยยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรเพราะไม่มีคะแนนกลับมา แต่ก็ถือว่าประสบความสำเร็จในการมีส่วนร่วมฟุตซอลชิงแชมป์โลก เพราะทีมไทยสามารถพัฒนาเป็นตัวแทนของทวีปเอเชียสามารถเข้าไปร่วมฟุตซอลชิงแชมป์โลกรอบสุดท้ายได้สำเร็จ ต่อมาทีมชาติไทยก็สามารถผ่านเข้ารอบไปเล่นฟุตซอลชิงแชมป์โลกได้อีก 2 ครั้ง แม้ว่าจะไม่สามารถเข้ารอบต่อไปได้ แต่กระแสตอบรับของกีฬาฟุตซอลในประเทศกลับมีมากยิ่งขึ้น และในปีพ.ศ.2554 ประเทศไทยก็ได้รับสิทธิ์เป็นเจ้าภาพการแข่งขันฟุตซอลชิงแชมป์โลก โดยในครั้งนี้ทีมชาติไทยในฐานะเจ้าภาพสามารถผ่านเข้าไปเล่นรอบ 16 ทีมสุดท้ายได้เป็นครั้งแรก

**1.1 ลักษณะการเคลื่อนไหวและการใช้พลังงานในกีฬาฟุตซอล**

กีฬาฟุตซอลเป็นกีฬาที่มีลักษณะการออกกำลังกายเป็นแบบที่มีการประกอบกิจกรรมแบบหนักสลับพักที่มีความหนักสูง (Intermittent High-Intensity) ซึ่งต้องใช้สมรรถภาพทางเทคนิคสูง

และความสามารถในกลยุทธวิธีของผู้เล่นโดยมีสนามขนาด 40 x 20 เมตร ประตูขนาด 3x2 เมตร เช่นเดียวกันกับกีฬาแฮนด์บอล (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; Gorostiaga et al., 2009) และแม้จะมีความคล้ายคลึงกันกับกีฬาฟุตบอล แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกีฬาฟุตบอลจากงานวิจัยหลายชิ้นงานแล้วพบว่า กีฬาฟุตซอลมีความหนักของการประกอบกิจกรรมในการแข่งขันที่สูงกว่าฟุตบอลและกีฬาที่มีการเคลื่อนไหวแบบไม่ต่อเนื่องอื่น ๆ จากงานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวพบว่า นักกีฬาฟุตซอลจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มากกว่านักกีฬาฟุตบอล โดยกีฬาฟุตซอลเป็นกีฬาประเภทหนักสลับพักความหนักสูงที่มีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจตลอดทั้งเกมการแข่งขันอยู่ที่ 90% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดโดยอยู่ในช่วง 86-93% ใช้เวลา 83%, 16% และ 0.3% ที่ระดับความหนัก >85%, 85-65% และ <65% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดตามลำดับ มีอัตราการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยเท่ากับ 73 – 77 % ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของกรดแลคติกเท่ากับ 5.1 - 5.5 มิลลิโมล/ลิตร โดยมีอัตราส่วนของกิจกรรมหนักสลับพักอยู่ที่ 1:1 (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; Makaje et al., 2012) ซึ่งนักกีฬาฟุตซอลจะต้องเคลื่อนที่ตลอดทั้งเกมเป็นระยะทางประมาณ 2.5 – 5 กิโลเมตร โดยมีอัตราของการเคลื่อนที่อยู่ที่ 94.5 – 121 เมตรต่อนาที มีระยะทางทั้งหมดที่นักกีฬาเคลื่อนที่เฉลี่ยตลอดทั้งเกมอยู่ที่ 2.5 – 4.5 กิโลเมตร แบ่งกิจกรรมการเคลื่อนที่ออกเป็นการวิ่งด้วยความเร็วปานกลาง (medium-intensity running)ที่ 28.5% การวิ่งด้วยความเร็วสูง (high-intensity running) ที่ 13.7% และการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (maximal speed running) ที่ 8.9% (Barbero-Alvarez et al., 2008; Castagna et al., 2009; Doğramacı et al., 2015; Dogramaci et al., 2011; Makaje et al., 2012) มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวทุก ๆ 3.28 วินาที ตามด้วยการพักระยะสั้น ๆ ประมาณ 20 -30 วินาทีระหว่างการสปริ๊นท์ 3-4 ครั้ง (Castagna et al., 2009; de Matos et al., 2008; Doğramacı & Watsford, 2006) จากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่านักกีฬาฟุตซอลจะต้องมีความสามารถในการฟื้นตัวอย่างรวดเร็วหลังจากการเล่นที่มีความหนักสูง และสามารถที่จะประกอบกิจกรรมการเล่นที่มีความหนักเหล่านั้นซ้ำๆได้ตลอดการแข่งขัน ซึ่งส่งผลให้นักกีฬามีความต้องการทางสรีรวิทยาและการเคลื่อนไหวในระดับสูงในการเล่น (Makaje et al., 2012) จากข้อมูลเบื้องต้นจึงสรุปได้ว่ารูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อในกีฬาฟุตซอลตลอดเกมการแข่งขันจะมีการใช้พลังงานจากทั้งระบบการใช้ออกซิเจน (Aerobic system) และไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic system)

**1.2 ข้อแตกต่างระหว่างฟุตบอลและฟุตซอล**

กีฬาฟุตซอลเป็นกีฬาที่มีวิวัฒนาการมาจากกีฬาฟุตบอล โดยกีฬาทั้งสองชนิดเป็นกีฬาที่ใช้เท้าเล่นและมีเป้าหมายคือการทำประตูฝ่ายตรงข้าม โดยผลแพ้ชนะวัดจากจำนวนประตูที่ทำได้ แต่กีฬาฟุตซอลนั้นมีข้อจำกัดในการเล่นที่มากกว่ากีฬาฟุตบอลเนื่องจากการประยุกต์มาเพื่อเล่นในที่ร่ม ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างกีฬาทั้งสองชนิดสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

| ฟุตบอล | ฟุตซอล |
|---|---|
| 1. ใช้ลูกบอลเบอร์ 5<br>2. ผู้เล่นทีมละ 11 คน<br>3. เปลี่ยนผู้เล่นสำรองได้ 3 คน<br>4. ส่งบอลที่ออกจากเส้นข้างสนามโดยการทุ่ม<br>5. มีผู้ตัดสิน 1 คน และผู้ช่วยผู้ตัดสิน 2 คน (ผู้กำกับเส้น)<br>6. การรักษาเวลาขึ้นอยู่กับผู้ตัดสิน<br>7. เวลาการแข่งขันแบ่งเป็นสองครึ่ง ครึ่งละ 45 นาที<br>8. ไม่มีขอเวลานอก<br>9. ผู้รักษาประตูส่งบอลเข้าเล่นด้วยการเตะ<br>10. ทำการชนด้วยไหล่ต่อไหล่และสไลด์ได้<br>11. ไม่มีการกำหนด 4 วินาที<br>12. มีการล้ำหน้า<br>13. ผู้รักษาประตูครองบอลต้องส่งบอลเข้าเล่นภายใน 6 วินาที<br>14. ไม่จำกัดจำนวนการทำผิดกติกา<br>15. ผู้รักษาประตูไม่สามารถสัมผัสลูกบอลโดยมือ จากการเตะส่งคืนมาให้<br>16. ส่งคืนให้ผู้รักษาประตูเล่นด้วยเท้าได้ตลอดเวลา<br>17. ไม่มีการเปลี่ยนตัวแทนผู้เล่นที่ถูกไล่ออก<br>18. การเตะจากมุมทำภายในเขตมุม<br>19. ต่อเวลาพิเศษครึ่งละ 15 นาที | 1. ใช้ลูกบอลเบอร์ 3.5 ที่มีการกระดอนต่ำ<br>2. ผู้เล่น 5 คน<br>3. ไม่จำกัดจำนวนการเปลี่ยนตัว เป็นการเปลี่ยนตัวเข้าออก ได้ตลอดเวลา<br>4. ใช้การเตะเข้าเล่น<br>5. มีผู้ตัดสินกับผู้ช่วยผู้ตัดสินอย่างละคน รับผิดชอบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นใกล้ตัวเอง<br>6. ใช้ผู้รักษาเวลาเป็นผู้ดำเนินการหยุดนาฬิกา ตามเหตุการณ์ต่างๆ<br>7. เวลาการแข่งขันแบ่งเป็นสองครึ่ง ครึ่งละ 20 นาที<br>8. ขอเวลานอกได้ 1 นาทีต่อทีมและทำได้ในแต่ละครึ่ง<br>9. ผู้รักษาประตูส่งบอลเข้าเล่นด้วยมือ<br>10. ไม่มีการชนด้วยไหล่ต่อไหล่ หรือการสไลด์แย่งลูก<br>11. มีข้อบังคับการเริ่มเล่นภายใน 4 วินาที<br>12. ไม่มีการล้ำหน้า<br>13. ทีมที่กระทำผิดกติกาเกิน 5 ครั้งในแต่ละครึ่งเวลาจะเสียลูกเตะโทษ ณ จุดเตะโทษที่สอง หรือจุดเกิดเหตุโดยไม่มีการตั้งกำแพงป้องกัน<br>14. ผู้รักษาประตูไม่สามารถสัมผัสลูกบอลโดยมือได้จากการเตะส่งคืนมาให้รวมทั้งการส่งด้วยศีรษะและหน้าอก<br>15. อนุญาตให้ส่งกลับคืนผู้รักษาประตูได้ ภายหลังจากลูกบอลได้ผ่านข้ามเส้นแบ่งแดนไปแล้ว หรือถูกสัมผัสโดยฝ่ายตรงข้าม<br>16. สามารถเปลี่ยนตัวแทนผู้เล่นที่ถูกไล่ออกได้ภายหลัง ผ่านพ้นเวลา 2 นาทีไปแล้ว หรือฝ่ายตรงข้าม ทำประตูได้แล้ว<br>17. การเตะจากมุมตั้งบนมุมสนาม<br>18. ภายหลังเวลาการเล่นจบลง ผลการทำประตูเท่ากัน ให้ต่อเวลาพิเศษออกไปอีก 2 ครึ่งๆ ละ 5 นาที |

**ตารางที่ 1** ตารางเปรียบเทียบฟุตบอลและฟุตซอล

ปรับปรุงจาก เบิร์นส์(Burns, 2003); กรมพลศึกษา (2555)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบความต้องการทางสรีรวิทยาในขณะแข่งขันของฟุตบอลและฟุตบอล พบว่ามีความแตกต่างกันในตัวแปรทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณการใช้ออกซิเจน ระดับแลคเตทในเลือด รวมไปถึงกิจกรรมที่ใช้ในขณะแข่งขันก็มีความแตกต่างกัน ดังตารางต่อไปนี้

| กีฬา | คณะวิจัย | กลุ่มตัวอย่าง | อัตราการเต้นของหัวใจ | | ปริมาณการใช้ออกซิเจน | | ระดับแลคเตท (mml/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mean HR (beat/min) | HR max (%) | Mean $VO_2$ (ml/kg/min) | $VO_2$ max (%) | |
| ฟุตบอล | Bangsbo (1991) | 6 elite | 159 | 77% | 43.2 | 75% | 6.0 |
| | Capranica et al. (2001) | 6 young male | 170 | 84% | - | - | 5.9 |
| | Helgerud et al. (2001) | 8 elite | 177 | 84% | - | - | - |
| | Stroyer et al. (2004) | 9 elite puberty | 175 | 87% | 41.6 | 80% | 5.7 |
| | Krustrup et al. (2006) | 4 professional | 172 | 83% | 44.7 | 78% | 6.7 |
| ฟุตซอล | Castagna et al. (2007) | 15 recreational | 195 | 84% | 28.0 | 76% | - |
| | Castagna et al. (2008) | 8 professional | 179 | 90% | 48.6 | 76% | 5.53 |
| | Barbero-Alvarez et al. (2008) | 10 professional | 171 | 90% | - | - | - |
| | Makaje (2012) | 12 elite | 175 | 89.8 | 43.7 | 77.9% | 5.5 |
| | | 12 amateur | 170 | 86.2 | 38.7 | 73% | 5.1 |

**ตารางที่ 2** ตารางเปรียบเทียบความต้องการทางสรีรวิทยาระหว่างฟุตบอลและฟุตซอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| กีฬา | คณะวิจัย | กลุ่มตัวอย่าง | กิจกรรมที่ใช้ขณะแข่งขัน (%ของระยะทางหรือเวลาที่ใช้ทั้งหมด) | | | | | ระยะทางที่ใช้ทั้งหมด (เมตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ยืน | เดิน | วิ่งเหยาะ | วิ่งเร็วต่ำ-ปานกลาง | วิ่งเร็วสูง-สูงสุด | |
| ฟุตบอล | Bangsbo (1991) | 14 elite | 17.1% | 40.4% | 16.7% | 23.5% | 0.7% | 10,800 |
| | Rienzi et al. (2000) | 17 elite | - | 32% | 42% | 22% | 4% | 8,638 |
| | Mohr et al. (2003) | 18 elite | 19.5% | 41.8% | 16.7% | 16.8% | 1.4% | 10,860 |
| | | 24 pro | 18.4% | 43.6% | 19.1% | 15.1% | 5.1% | 10,330 |
| | Burgess et al. (2006) | 45 pro | - | 33.7% | 37.6% | 17.8% | 10.8% | 10,100 |
| | Bloomfield et al. (2007) | 55 pro | 4.6% | 14.2% | 28.1% | 11.1% | 4.8% | - |
| ฟุตซอล | Barbero-Alvarez and Castagna (2007) | 8 pro | - | - | - | - | 22% | 4,720 |
| | Castagna et al. (2008) | 8 pro | 0% | 9% | 39.9% | 42.1% | 8.9% | 4,314 |
| | Barbero-Alvarez et al. (2008) | 10 pro | 1% | 21% | 30% | 36% | 12% | 4,840 |
| | Makaje (2012) | 15 elite | 4.2% | 26.1% | 18% | 36.5% | 15.2% | 5,087 |
| | | 15 | 6.9% | 27.8% | 17.2% | 34.8% | 13.3% | 4,528 |

**ตารางที่ 3** ตารางเปรียบเทียบกิจกรรมที่ใช้ขณะแข่งขันระหว่างฟุตบอลและฟุตซอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 2 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกีฬาฟุตบอลและฟุตซอลจะพบว่า ในการแข่งขันกีฬาฟุตซอลนั้น จะมีลักษณะของกิจกรรมที่มีความหนักสูงที่มากกว่าในกีฬาฟุตบอล โดยเฉพาะการวิ่งที่มีความเร็วสูงจนถึงความเร็วสูงสุดซึ่งเป็นกิจกรรมที่มีความหนักสูงในเวลาสั้น ๆ

แสดงให้เห็นว่าในกีฬาฟุตซอลนั้นมีความต้องการในการใช้ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มากกว่าในกีฬาฟุตบอล ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์กับโค้ชและนักกีฬาในการวางแผนและโปรแกรมในการฝึกต่อไปได้

**2. สรีรวิทยาของกีฬาประเภทหนักสลับพัก**

ในการเคลื่อนไหวสำหรับกิจกรรมกีฬาทุกประเภท ร่างกายจะมีการตอบสนองโดยการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการเคลื่อนไหวในกีฬาชนิดนั้น ๆ หากวิเคราะห์รูปแบบกิจกรรมของการเคลื่อนไหว จะพบว่า ในกีฬาบางประเภท เช่น ฟุตบอล บาสเกตบอล แฮนด์บอล รักบี้ฟุตบอล เทนนิส ฮอกกี้ และกีฬาอีกหลายประเภท จะมีการเคลื่อนไหวที่เป็นการวิ่งด้วยความเร็วหลากหลายระดับ มีระดับของกิจกรรมที่ไม่คงที่ โดยเป็นการสลับกันของกิจกรรมที่มีความหนักสูงกับกิจกรรมที่มีความหนักเบา หรือการพัก ซึ่งรูปแบบดังกล่าวนี้เรียกว่า กีฬาที่มีการวิ่งหนักสลับพัก (Intermittent Sprint Sports) (Gambetta, 2007) โดยการตอบสนองที่เกี่ยวข้องจะมีรูปแบบที่เป็นลักษณะเฉพาะแตกต่างจากกีฬาประเภทอื่น ๆ โดยองค์ประกอบทางสรีรวิทยาที่สำคัญมีรายละเอียดดังนี้

**2.1 ระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬาประเภทต่าง ๆ**

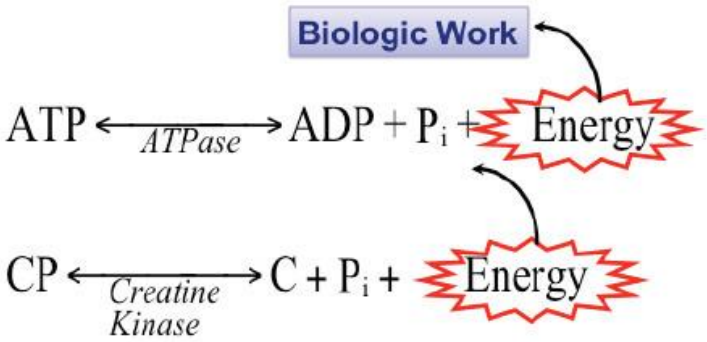
พลังงานมีความจำเป็นมากสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งการออกกำลังกายและการแข่งขันกีฬานั้น ร่างกายต้องอาศัยขบวนการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่ได้จากอาหารให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยร่างกายจะต้องเปลี่ยนอาหารให้เป็นพลังงานเอทีพีก่อน สารนี้จะสังเคราะห์กลับคืนใหม่ได้โดยใช้พลังงานที่ได้จากการเผาผลาญอาหาร (Kenney, Wilmore, & Costill, 2015) โดยเอทีพีที่มีอยู่ในกระแสเลือดหรือเนื้อเยื่อต่างๆ จะไม่สามารถถูกนำไปใช้ได้โดยตรง แต่จะต้องถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ภายในเซลล์ ดังนั้น ร่างกายจึงมีหลายวิธีเพื่อสร้างเอทีพีขึ้นมาใหม่เมื่อเอทีพีที่เก็บสำรองได้ถูกใช้ไปจนหมด ซึ่งหนึ่งในวิธีที่สำคัญเหล่านั้นก็คือ การปรับตัวของร่างกายอันเนื่องมาจากการฝึกซ้อมตามโปรแกรมการฝึกชนิดใด ๆ ก็ตาม เมื่อพลังงานถูกปล่อยออกมาให้กับกล้ามเนื้อเพื่อใช้ในการหดตัวทำงาน เอทีพีก็จะมีการแตกตัวออกเป็นเอดีพีและฟอสเฟตสำรอง ดังนั้นการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่จึงจำเป็นต้องจัดหาแหล่งพลังงานจากที่อื่นเพื่อมาทำปฏิกิริยาให้ฟอสเฟตกลับไปรวมตัวกับเอดีพี และกลับเข้าสู่รูปของเอทีพีขึ้นมาใหม่ พลังงานที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์เอทีพีนั้นจะได้มาจากการเผาผลาญพลังงานใน 3 ระบบ ซึ่งแต่ละระบบของกระบวนการสังเคราะห์เอทีพีนั้นจะมีอัตราที่แตกต่างกันและพลังงานที่ได้จากทั้ง 3 ระบบนี้ อาจจะถูกนำมาใช้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งก็ได้ แต่ระบบใดจะถูกนำมาใช้อย่างเด่นชัดมากกว่าระบบอื่นนั้น จะขึ้นอยู่กับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ธีระศักดิ์ อาภาวัฒนาสกุล (2552) ได้กล่าวถึงพลังงานที่ได้จากทั้ง 3 ระบบ มีดังต่อไปนี้

**2.1.1 ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ไม่เกิดกรดแลคติก (Anaerobic Alactic System)**

เป็นระบบที่ให้พลังงานได้อย่างรวดเร็วในทันที (Immediate Energy System) จากการดึง อะดีโนซีนไตรฟอสเฟส (Adenosine Triphosphate: ATP) และ ครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine Phosphate: CP) ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อมาใช้เป็นพลังงาน จึงสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบเอทีพี ซีพี (ATP-CP System) หรือ ระบบครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine Phosphate System) โดยครีเอทีนฟอสเฟต คือ สารประกอบที่ให้พลังงานสูงอีกชนิดหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงกับเอทีพี ถ้าแขนยึดที่ให้พลังงานสูงในซีพีมีการแตกตัวออก พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาก็จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่โดยการสร้างมาจากเอทีพีที่ได้มีการแตกตัวมาแล้ว ซึ่งหมายถึงการสร้างขึ้นมาใหม่จากเอดีพีและกลุ่มฟอสเฟตสำรอง (ADP+P) ซีพีจะมีเก็บสำรองไว้ใช้เป็นพลังงานได้นานมากกว่าเอทีพีประมาณ 3 – 5 วินาที หรือมีเพียงพอสำหรับไว้ใช้เป็นพลังงานชนิดที่ใช้ได้ในทันทีเป็นเวลานานต่อไปอีกประมาณ 7 วินาที และโดยธรรมชาติทั้งเอทีพีและซีพีที่มีเก็บสำรองจะถูกสังเคราะห์ขึ้นมาร่วมกัน ดังนั้น จึงสามารถใช้เป็นพลังงานสำหรับการปฏิบัติกิจกรรมรวมกันได้นานประมาณ 10 วินาที หลังจากนั้นพลังงานที่ได้มาโดยวิธีอื่นจึงจะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างเอทีพีขึ้นมาใหม่ โดยที่การสร้างพลังงานของระบบนี้ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงานและไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นออกกำลังกายและการฟื้นฟูของซีพีจะเกิดหลังการออกกำลังกายหยุดลง จะใช้เวลาเพียงเล็กน้อย ประมาณ 3 – 5 นาที ดังสมการ

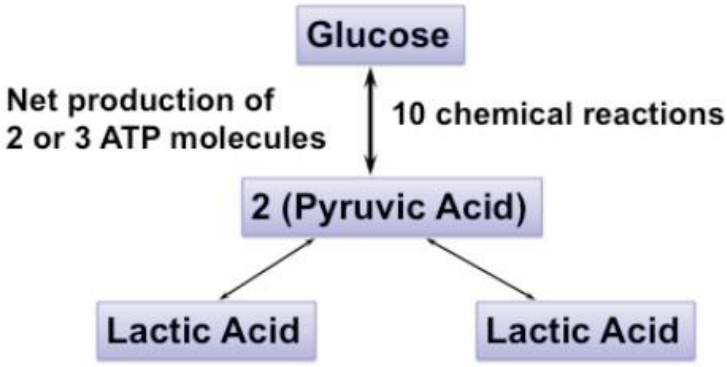



**ภาพที่ 1** แสดงถึงปฏิกิริยาการสร้างพลังงานในระบบเอทีพี พีซี (ATP-CP system) หรือ ระบบครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine Phosphate System)

แหล่งที่มา : Tony Leyland. “Chapter 6: Energy Systems” [Online]. [Cited 7 May 2015]. Available from: http://www.sfu.ca/~leyland/Kin143%20Files/Energy%20Systems.pdf [p.2]

กิจกรรมออกกำลังกายชนิดที่ต้องใช้พลังงานสูงหรือกิจกรรมที่ต้องใช้การเคลื่อนไหวด้วยแรงระเบิดของกล้ามเนื้อและใช้ระยะเวลาสั้นๆ เช่น การตบวอลเลย์บอล การกระโดดลอยตัวยัดลูกบาสเกตบอลลงห่วงการตีลูกโต้กลับในการเล่นเทนนิส การวิ่งเร็วระยะทาง 100 เมตร กีฬายกน้ำหนัก การกระโจนขึ้นบันไดอย่างรวดเร็ว เป็นต้น ซึ่งการปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวทำงานอย่างรวดเร็วในทันที ทำให้พลังงานที่สร้างจากระบบอื่น (แอนแอโรบิกไกลโคไลซิสและแอโรบิก) ยังไม่สามารถสร้างเอทีพีให้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วพอที่จะทำหน้าที่ได้ แต่ถ้าร่างกายมีการปรับตัวจากการฝึกซ้อมได้ดีมากขึ้น ก็จะทำให้มีความสามารถในการใช้เอทีพีและ ซีพีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะสามารถปฏิบัติกิจกรรมที่มีความเข้มข้นต่อไปได้ยาวนานมากขึ้น

**2.1.2 ระบบพลังงานไม่ใช้ออกซิเจนแบบเกิดกรดแลคติก (Anaerobic lactic system)**




**ภาพที่ 2** ปฏิกิริยาการสร้างพลังงานระบบไกลโคไลซิส (Glycolysis system)
แหล่งที่มา : Tony Leyland. “Chapter 6: Energy Systems” [Online]. [Cited 7 May 2015]. Available from: http://www.sfu.ca/~leyland/Kin143%20Files/Energy%20Systems.pdf [p.2]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หรือเรียกอีกชื่อว่าระบบไกลโคไลซิส (Glycolysis system) หรือระบบที่ให้พลังงานในช่วงระยะเวลาสั้นๆ (Short-term energy system) ระบบนี้ กระบวนการการสร้างเอทีพีจะเกิดขึ้นจากการแตกตัวของกลูโคส หรือไกลโคเจน จึงเรียกว่า ระบบไกลโคไลซิส (Glycolysis) ซึ่งไกลโคเจน คือหน่วยรากฐานที่สำคัญที่สามารถนำมาสังเคราะห์เป็นพลังงานเพิ่มมากขึ้นต่อมาได้ ระบบนี้จะให้พลังงานเพื่อใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมได้เป็นเวลาที่ยาวนานมากกว่าระบบแรก อย่างไรก็ตาม กระบวนการสร้างพลังงานในระบบนี้ก็ยังเป็นกระบวนการที่ไม่มีการใช้ออกซิเจนหรือยังไม่ต้องการใช้ออกซิเจน ดังนั้น พลังงานที่ได้โดยวิธีนี้จะไม่สามารถใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมได้เป็นเวลานานๆ และถ้ายังมีการปฏิบัติกิจกรรมที่มีความเข้มข้นสูงอยู่ต่อไป ก็จะทำให้ร่างกายมีออกซิเจนไม่เพียงพอ (Oxygen

deficit) และทำให้เกิดภาวะที่เรียกว่า การเป็นหนี้ออกซิเจน (Oxygen debt) ซึ่งหมายความว่าเป็นภาวะที่ร่างกายต้องการใช้ออกซิเจนเพื่อการฟื้นตัวมากขึ้นเกินกว่าที่ต้องใช้ในขณะพักตามปกติ กรณีเช่นนี้ ร่างกายจำเป็นต้องได้รับออกซิเจนเพื่อชดใช้คืน ซึ่งจะสามารถทำเช่นนี้ได้ถ้าลดความเข้มข้นของการปฏิบัติกิจกรรมลงหรือหยุดการปฏิบัติกิจกรรมนั้น เนื่องจากกระบวนการสร้างพลังงานในระบบนี้ยังไม่มีการนำออกซิเจนจากภายนอกมาใช้จึงทำให้เกิดกรดแลคติก (Lactic acid) สะสมเพิ่มมากขึ้นในกล้ามเนื้อได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้ากรดแลคติกถูกผลิตออกมาอยู่ในกระแสเลือดมากเกินกว่าความสามารถในการกำจัดออกไปได้ ก็จะทำให้กล้ามเนื้อเกิดอาการล้า (ขัดขวางกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อ) และเกิดความรู้สึกระคายเคืองเจ็บปวดในกล้ามเนื้อ ดังนั้น พลังงานในระบบนี้ อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบแลคเตซิด (Lactacid) ซึ่งสามารถให้พลังงานเพื่อการปฏิบัติกิจกรรมเป็นเวลาที่ยาวนานต่อไปได้อีกในช่วงระยะเวลาสั้นๆ (ประมาณ 3 นาที) เช่น ใช้ในการวิ่งเร็วระยะทาง 200 400 หรือ 800 เมตร การขี่จักรยานอย่างเร็วขึ้นภูเขา การวิ่งขึ้นบันไดหลายๆขั้น การตีโต้ลูกลอยในอากาศ (Volley) เป็นเวลานานๆ ในการเล่นเทนนิส การเล่นบาสเกตบอลแบบกดดันคู่ต่อสู้โดยจี้ประชิดบุคคลแบบเต็มหรือครึ่งสนาม (Press) เป็นต้น

ฮิลและสมิธ (Hill & Smith, 1992) กล่าวว่า จำนวนไกลโคเจนที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อจะสามารถสนับสนุนการวิ่งเร็วสูงสุดได้ประมาณ 75 - 80 วินาที อย่างไรก็ตามการปฏิบัติจริงจะไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากผลผลิตของกระบวนการไกลโคไลซิสจะเกิดกรดแลคติก ซึ่งจะก่อให้เกิดกรดอย่างสูงและเป็นสาเหตุทำให้ระดับความเป็นกรดในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดจะมีผลต่อองค์ประกอบที่จำเป็นของการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างน้อยสองอย่าง คือ ลดความสามารถในการทำงานของฟอสโฟฟรุคโตไคเนส (Phosphofructokinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญของกระบวนการไกลโคไลซิส และแทรกแซงการทำงานของแคลเซียมในกระบวนการครอสบริดส์ (Cross-bridge) โดยการป้องกันการเกาะของแคลเซียมกับโทรโปรนิน - ซี (Troponin-c) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้น โดยผลผลิตของกระบวนการไกลโคไลซิสจะนำไปสู่การลดลงของการสำรองพลังงานเอทีพีและการลดลงของแรง (Force) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

การกำจัดกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อหรือร่างกายนั้น ใช้ระยะเวลานานกว่าการสร้างพลังงานใหม่ขึ้นมาทดแทน เพราะอาจจะใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมงในการกำจัดกรดแลคติกให้ลดลงจนอยู่ในระดับเดียวกันก่อนการออกกำลังกาย การเดินหรือการวิ่งเหยาะๆ ภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก หรือภายหลังจากการใช้ความเร็วสูง เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยระบายหรือกำจัดกรดแลคติกในร่างกายให้ลดลงเร็วขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 10 นาทีแรกหลังจากเสร็จสิ้นการออกกำลังกายจะช่วยลดระดับกรดแลคติกลงอย่างมาก

**2.1.3 ระบบแอโรบิก (Aerobic system)**

หรือระบบที่ให้พลังงานมาใช้ได้เป็นเวลานาน (Long-term Energy System) กระบวนการสร้างพลังงานในระบบนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาภายในเซลล์เป็นจำนวนมากมายหลายขั้นตอน ดังนั้นพลังงานในระบบนี้จึงเกิดขึ้นได้ช้าที่สุดในจำนวนทั้งหมดของระบบการสร้างพลังงาน แต่จะสามารถสร้างเอทีพีเพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับการปฏิบัติกิจกรรมได้เป็นระยะเวลาที่ยาวนานกว่า ซึ่งสามารถใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมที่มีความเข้มข้นต่ำได้นานตั้งแต่ 5 นาทีขึ้นไปจนถึงหลายชั่วโมง พลังงานในระบบนี้จะถูกสร้างขึ้นในไมโทคอนเดรีย (Mitochondia) โดยมีการใช้ออกซิเจนที่ได้มาจากการไหลเวียนเลือด ไมโทคอนเดรีย คือ อวัยวะเล็กๆ ที่อยู่ภายในเซลล์มีรูปร่างคล้ายไส้กรอก (Sausage-shaped) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนออกซิเจนและสารอาหารให้เป็นพลังงาน ไมโทคอนเดรียจึงเปรียบเสมือนเป็นโรงงานผลิตพลังงานของเซลล์ทั้งหมดไว้ใช้ในการทำงาน แม้ว่าทุกเซลล์ของร่างกายจะมีเอทีพีอยู่ก็ตาม แต่จะมีอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ เช่น ตับและกล้ามเนื้อจะมีเอทีพีและไมโทคอนเดรียอยู่ในเซลล์มากกว่าเนื้อเยื่อชนิดอื่นๆ การปรับตัวอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการฝึกทางด้านความอดทน ก็คือ จะพบว่ามีจำนวนไมโทคอนเดรียในกล้ามเนื้อที่ถูกฝึกนั้นเพิ่มมากขึ้น (Dalgleish, Dollery, & Frankham, 2001)

ปฏิกิริยาการสร้างเอทีพีในระบบแอโรบิกนี้อาจอยู่ในรูปของกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งจะใช้คาร์โบไฮเดรตในรูปของไกลโคเจนและกลูโคสเป็นแหล่งให้พลังงาน แต่อย่างไรก็ตาม ไขมันที่มีสะสมอยู่ในร่างกายในรูปของกลีเซอรอล และโปรตีนที่อยู่ในรูปของกรดอะมิโน ก็จะถูกนำมาใช้เป็นพลังงานในระบบนี้ด้วยเช่นกัน แต่โปรตีนจะมีบทบาทอย่างจำกัด ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตและไขมันจึงเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นโดยทั่วไปเมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย คาร์โบไฮเดรตจะเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญหรือเป็นต้นตอหลักของพลังงานทั้งหมดในระหว่างการสร้างเอทีพีจากระบบแอโรบิก แต่เมื่อระยะเวลาการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นหรือระหว่างที่มีการออกกำลังกายอย่างยาวนานมากกว่า 20 นาทีขึ้นไป การใช้พลังงานจากการเผาผลาญของไขมันจะเข้ามามีบทบาททีละน้อยและเพิ่มระดับสูงขึ้นเป็นต้นตอหลักของการผลิตพลังงานทั้งหมด (Powers, 1996) ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันของร่างกาย ในการที่จะคงเหลือไกลโคเจนไว้ในร่างกายสำหรับใช้เป็นพลังงานของสมอง กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียวสำหรับการทำงานของสมอง การทำงานร่วมกันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันจึงเป็นสิ่งที่ดีต่อร่างกาย และสามารถที่จะฝึกซ้อมระบบพลังงานแบบแอโรบิกได้ตลอดชั่วอายุ

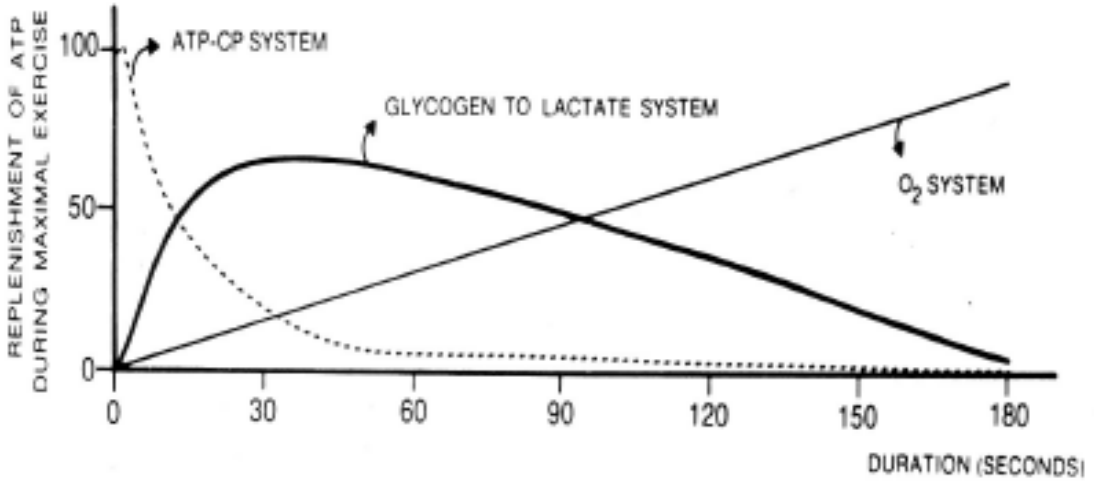
| ATP/PC System (Phosphagen/Alactic) | Glycolytic System (Anaerobic) | Oxidative System (Aerobic) |
|---|---|---|
| Anaerobic (non-aerobic) | Anaerobic | Aerobic |
| Very Rapid | Rapid | Slow |
| Chemical fuel: PC | Food fuel: glycogen | Food fuels: glycogen fats , and protein |
| Very limited ATP production | Limited ATP production | Unlimited ATP production |
| Muscular sores limited | By-product, lactic acid, causes muscle fatigue | No fatiguing by-products |
| Used with sprint of any high-power, short duration activity | Used predominantly with activities of 1 to 3 minutes duration | Used with endurance or long-duration activities |

**ตารางที่ 4** ลักษณะการใช้พลังงานจากระบบพลังงานทั้ง 3 ระบบ

แหล่งที่มา : Tony Leyland. "Chapter 6: Energy Systems" [Online]. [Cited 7 May 2015]. Available from: http://www.sfu.ca/~leyland/Kin143%20Files/Energy%20Systems.pdf [p.5]

สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและไขมันที่ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการปฏิบัติกิจกรรมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการออกกำลังกายและสมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของแต่ละบุคคล การออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะมีการใช้แหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากกว่า แต่บุคคลที่มีการฝึกความอดทนแบบแอนแอโรบิกก็ยังสามารถใช้ไขมันเป็นพลังงานได้ แม้ว่าการออกกำลังกายนั้นจะเป็นการฝึกปฏิบัติที่มีความเข้มข้นสูงก็ตาม การที่บุคคลมีความสามารถใช้ไขมันเป็นพลังงานในระหว่างการออกกำลังกายได้สูงมากขึ้นก็จะเป็นสิ่งที่มีประโยชน์ คือ ช่วยทำให้ลดอัตราการใช้ไกลโคเจนของกล้ามเนื้อ เพราะกล้ามเนื้อสามารถเก็บสำรองไกลโคเจนไว้ได้อย่างจำกัด และเมื่อไกลโคเจนถูกนำไปใช้จนหมดสิ้นก็จะทำให้เกิดอาการเหนื่อยล้า แต่ถ้าอัตราการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อในระหว่างการออกกำลังกายเป็นไปอย่างช้าๆ ก็สามารถยืดระยะเวลาในการใช้ไกลโคเจนจนหมดให้ยาวนานออกไปได้อีก ซึ่งทำให้เกิดอาการล้าได้ช้าตามไปด้วยกระบวนการสร้างพลังงานในระบบแอโรบิกนี้จะถูกจำกัดในทันที ถ้าระบบหายใจและไหลเวียนเลือดไม่สามารถนำส่งออกซิเจนที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อในปริมาณที่มากเพียงพอต่อความต้องการ

นิรอมลี มะกาเจ (2555) ได้กล่าวว่า สิ่งที่จะบ่งชี้ว่าการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาจะใช้พลังงานแบบแอโรบิกหรือแอนแอโรบิก ได้แก่ ระดับความหนักและระยะเวลาในการปฏิบัติกิจกรรมนั้น ๆ อย่างเต็มที่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างระดับความหนักและระยะเวลาของกิจกรรมกับการทำงานของแหล่งพลังงานระบบต่าง ๆ แสดงได้ดังภาพที่ 3




**ภาพที่ 3** ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความหนักและระยะเวลาของการออกกำลังกายในระบบต่าง ๆ
ที่มา: (Hoffman, 2014)

พลังงานที่ถูกสร้างขึ้นใน 3 ระบบดังกล่าว โดยสรุปคือ จะมีการใช้ในแต่ละระบบได้อย่างต่อเนื่อง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงการออกแรงทำงานของกล้ามเนื้อจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง เช่น เปลี่ยนจากการพักผ่อนไปเป็นการออกกำลังกาย หรือเปลี่ยนจากการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นต่ำไปเป็นความเข้มข้นสูง กรณีเช่นนี้จะทำให้มีการใช้พลังงานทั้งจากระบบเอทีพี ซีพี และระบบไกลโคไลซิสไปพร้อมกัน ส่วนพลังงานจากระบบแอโรบิกจะตอบสนองต่อการออกกำลังกายช้ากว่าในสองระบบแรก แต่พลังงานที่ถูกสร้างขึ้นในระบบแอโรบิกนี้จะสามารถนำมาช่วยสนับสนุนให้มีการออกกำลังกายได้ยาวนานมากขึ้น พลังงานในระบบเอทีพี ซีพี จะสามารถนำมาใช้ได้ทันทีในระยะเวลาที่คิดเป็นวินาทีเท่านั้น จากนั้นพลังงานในระบบไกลโคไลซิสและแอโรบิกจะสามารถเกิดขึ้นได้ในเวลาเดียวกันเพื่อใช้สำหรับการปฏิบัติกิจกรรมให้ยาวนานต่อไป เนื่องจากสัดส่วนของการใช้พลังงานในระบบต่างๆ จะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย การออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าจะทำให้มีพลังงานจากระบบแอโรบิกเหลืออยู่มากกว่า จึงทำให้สามารถออกกำลังกายอย่างยาวนานต่อไปได้อีกจนกว่าไกลโคเจนจะถูกใช้ไปจนหมด ส่วนการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้ต้องใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกอย่างมาก และทำให้มีอาหารล้าเกิดขึ้นเนื่องจากมีกรดแลคติกสะสมในกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมาก

พลังงานจากทั้ง 3 ระบบที่ได้มาระหว่างกระบวนการเผาพลาญนั้น ร่างกายจะได้รับอยู่ตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน ดังที่ทราบมาแล้วว่าการเผาพลาญเพื่อนำเอาพลังงานจากระบบใดมาใช้อย่างเด่นชัดก็จะขึ้นอยู่กับความต้องการตามธรรมชาติของร่างกาย เช่น ใช้ในการออกกำลังกาย หรือใช้ในบทบาทหน้าที่การทำงานของร่างกายตามธรรมชาติ ถ้าร่างกายมีการทำงานมากขึ้นก็จำเป็นจะต้องมีการจัดหาพลังงานมาใช้มากยิ่งขึ้น จำนวนพลังงานที่ร่างกายต้องการใช้ในระหว่างกิจกรรมทั่วไปหรือกิจกรรมการออกกำลังกายก็ตามจะเท่ากับปริมาณออกซิเจนที่เซลล์ของร่างกายต้องการใช้ให้เป็นประโยชน์ ถ้าเปรียบเทียบจำนวนออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศกับจำนวนออกซิเจนที่หายใจออกในระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ ก็จะเป็นสิ่งที่แสดงให้ทราบได้ว่า ร่างกายต้องการออกซิเจนเพื่อใช้สำหรับการปฏิบัติกิจกรรมนั้นเป็นจำนวนมากเท่าใด ด้วยเหตุนี้จึงมีการวัดหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption) ซึ่งค่าสูงสุดที่วัดได้ในแต่ละบุคคลจะเรียกว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum oxygen consumption or $VO_2max$) และถูกนำมาใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงระดับสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวกับระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต หรือความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก

ในขณะที่มีการปฏิบัติกิจกรรมมากขึ้น กล้ามเนื้อที่ถูกใช้งานนั้นก็จำเป็นจะต้องได้รับออกซิเจนเป็นจำนวนเพิ่มมากขึ้นด้วย ความต้องการใช้ออกซิเจนในขณะปฏิบัติกิจกรรมโดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 3 – 6 ลิตรต่อนาที (ในขณะที่อยู่ในช่วงพักจะต้องการใช้ออกซิเจนประมาณ 0.3 ลิตรต่อนาทีเท่านั้น) เมื่อการออกกำลังกายมีความเข้มข้นมากขึ้นก็จะทำให้การจัดหาออกซิเจนให้ได้ตามปริมาณที่กล้ามเนื้อต้องการมีความยากลำบากมากขึ้น ถ้าออกซิเจนที่ต้องการใช้มีมากเกินกว่าความสามารถที่จะจัดหาให้ได้ก็จะทำให้ร่างกายกลับเข้าสู่สภาวะการใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกอีกครั้ง ซึ่งจุดที่เกิดขึ้นนี้จะเรียกว่า จุดกั้นแอนแอโรบิกหรือจุดเริ่มต้นที่มีการใช้พลังงานจากระบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Threshold) หมายความว่า เมื่อมีความเข้มข้นของการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้นจนเหนื่อยถึงระดับกั้นนี้ ร่างกายจะได้รับออกซิเจนจากการหายใจไม่เพียงพอ ซึ่งทำให้ระบบพลังงานชนิดที่ต้องการใช้ออกซิเจนไม่สามารถลำเลียงเอทีพีให้แก่ร่างกายได้อีก จึงต้องเพิ่มความต้องการในการทำงานของเซลล์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration) ถ้าร่างกายมีการใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดในระหว่างการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูง ก็จะทำให้มีการผลิตกรดแลคติกเกิดขึ้นในกล้ามเนื้อที่ถูกใช้งานนั้นเพิ่มขึ้น จากนั้นกรดแลคติกจะเข้าสู่กระแสเลือดและถูกส่งไปที่ตับ ถ้าการออกกำลังกายมีความเข้มข้นลดลง กรดแลคติกนี้ก็จะสามารถถูกเปลี่ยนให้นำกลับไปใช้เป็นประโยชน์ใหม่ได้อีก ความเข้มข้นของกรดแลคติกในกระแสเลือดจะเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงระดับกั้นแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ และบ่อยครั้งที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างเพื่อพิจารณาถึงระดับกั้นของแต่ละบุคคลเช่นเดียวกับการใช้เปอร์เซ็นต์ของอัตราเต้นหัวใจสูงสุด โดยการนำตัวอย่างของ

เลือดในแต่ละบุคคลที่ทำการออกกำลังกายมาตรวจสอบ ก็จะแสดงให้เห็นถึงจุดที่ชัดเจนของระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้

### 2.2 การใช้พลังงานในระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

#### 2.2.1 การใช้พลังงานในระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

กรณีที่เป็นการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าระดับสูงสุด (Submaximum Exercise) การใช้พลังงานจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย กล่าวคือ ถ้ามีความเข้มข้นมากขึ้นก็จะมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากขึ้น แต่ในระหว่างการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นต่ำ (เช่น การเดิน) แหล่งพลังงานที่สำคัญจะได้มาจากกรดไขมัน เมื่อการออกกำลังกายมีความเข้มข้นมากขึ้นก็จะมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต (กลูโคสและไกลโคเจนในเลือด) ในอัตราส่วนที่มากขึ้น และจะได้พลังงานจากไตรกลีเซอไรด์ในกล้ามเนื้อมาช่วยสนับสนุนใช้เป็นพลังงานโดยรวมในปริมาณที่เท่าๆกัน และเมื่อมีการออกกำลังกายอย่างยาวนานต่อไปอีก ทั้งไกลโคเจนและไตรกลีเซอไรด์จะถูกนำมาช่วยเป็นพลังงานน้อยลง แต่กลูโคสและกรดไขมันจะกลายเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากขึ้น สำหรับการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงนั้น ไกลโคเจนจะเป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญ แต่อัตราการเผาพลาญพลังงานจากไขมันจะลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นระดับปานกลาง

สำหรับกรณีของการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นเกินกว่าระดับสูงสุด (Supramaximum Exercise) จะมีการใช้เอทีพีที่มีสำรองอยู่ในกล้ามเนื้อให้หมดไปอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากจะมีการสร้างเอทีพีสำรองขึ้นได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการออกกำลังกายนั้นด้วยเช่นเดียวกัน จึงทำให้ไม่ค่อยพบว่าเอทีพีที่ถูกใช้ไปในระหว่างการออกกำลังกายนั้นเหลืออยู่น้อยกว่า 60 % ของระดับที่มีอยู่ในขณะพัก หลังจากที่เริ่มมีการออกกำลังกายก็จะมีการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสร้างพลังงานทั้งในระบบแอนแอโรบิกและแอโรบิกได้อย่างรวดเร็วด้วยเช่นเดียวกัน เพราะฉะนั้นถ้าเป็นกรณีของการออกกำลังกายในระดับสูงสุดที่ใช้ระยะเวลาประมาณ 6 วินาที ถ้ามีการใช้พลังงานจากระบบเอทีพีและซีพี หรือจากระบบไกลโคไลซิส ในระบบใดระบบหนึ่งเพียงระบบเดียว ก็จะทำให้ได้รับพลังงานมาช่วยเพียง 50 % ของปริมาณที่ต้องการใช้ทั้งหมดในการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกนี้เท่านั้น แต่ถ้ามีการใช้พลังงานจากทั้งสองระบบดังกล่าวนี้ร่วมกันก็จะทำให้ได้รับพลังงานมาใช้เพื่อการออกกำลังกายที่ระดับ 20 – 80 % ของระดับสูงสุดได้เป็นเวลานานถึง 30 วินาที (Elliott & Mester, 1998) ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าในช่วงก่อนการออกกำลังกายจะมีการสร้างพลังงานจากระบบแอโรบิกได้อย่างจำกัด เนื่องจากมีการขนส่งออกซิเจนให้กับกล้ามเนื้อได้ช้า แต่ออกซิเจนในโลหิตและในกล้ามเนื้อรวมกันทั้งหมดนี้จะมีอยู่เพียง 5 %เท่านั้นที่สามารถนำมาใช้ได้ทันที เมื่อเริ่มต้นออกกำลังกายและก็จะสามารถใช้สำหรับการออกกำลังกายในระดับสูงสุดนี้ได้นานเพียงพอแค่ในช่วง 6 วินาทีแรกเท่านั้น

### 2.2.2 การใช้พลังงานในระหว่างการออกกำลังกายแบบไม่ต่อเนื่อง

การปฏิบัติงานในกีฬาหลายชนิดที่เป็นการออกกำลังกายแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น การฝึกซ้อมด้วยวิธีออกกำลังกายแบบไม่ต่อเนื่อง (มีการหยุดพักเป็นระยะๆ) จึงถูกนำมาใช้กับกีฬาเกือบทุกชนิด ความยาวนานของการออกกำลังกายคือสิ่งที่สำคัญที่ทำให้มีการสะสมของแลคเตท (Lactate) ในเลือดและในกล้ามเนื้อ ถ้าระยะเวลาในการออกกำลังกายอยู่ระหว่าง 10 – 20 วินาที จะทำให้มีระดับแลคเตทในเลือดและกล้ามเนื้อเกิดขึ้นสูงกว่าในขณะพักอยู่เล็กน้อย และถ้าเป็นการออกกำลังกายที่มีระยะเวลานานขึ้นเป็น 60 – 100 วินาที ค่าแลคเตทก็จะมีความเข้มข้นสูงมากขึ้น แต่การตอบสนองทางด้านกระบวนการเผาพลาญพลังงานในระหว่างการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นนี้ยังพบว่ามีความสัมพันธ์กับระยะเวลาของการหยุดพักในแต่ละช่วงของการออกกำลังกายอีกด้วย แลคเตทในเลือดจะถูกสะสมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องถ้าการออกกำลังกายนั้นมีระยะเวลาหยุดพักนานแค่ 10 วินาที แต่จะมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กเท่านั้นถ้ามีระยะเวลาการหยุดพักนาน 30 วินาที ภายหลังการออกกำลังกายแบบไม่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน 5 นาที ระดับความเข้มข้นของซีพีที่เคยมีเหลืออยู่เพียง 40 %ของขณะพักก็จะมีเหลืออยู่เพิ่มมากขึ้นเป็นประมาณ 70 % หลังจากที่มีการหยุดพักเป็นเวลานาน 15 วินาที (Elliott & Mester, 1998) ซึ่งอัตราการใช้ไกลโคเจนเป็นพลังงานและอัตราการเกิดกรดแลคติกในระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมากกว่าการออกกำลังกายแบบไม่ต่อเนื่อง

อย่างไรก็ดี ในกีฬาประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะกีฬาประเภทหนักสลับพัก (Intermittent Sports) จะมีการใช้พลังงานจากทั้งสามระบบผสมผสานเป็นสัดส่วนที่แตกต่างกันไป ดังตารางที่ 5

| ประเภทกีฬา | Anaerobic (%) | | Aerobic (%) |
|---|---|---|---|
| | ATP-CP และ LA | LA และ $O_2$ | $O_2$ |
| เบสบอล | 80 | 20 | - |
| บาสเกตบอล | 85 | 15 | - |
| ฮอกกี้ | 60 | 20 | 20 |
| ฟุตบอล | | | |
| ผู้รักษาประตู ศูนย์หน้า | 80 | 20 | - |
| กองหลัง กองกลาง | 60 | 20 | 20 |
| วอลเลย์บอล | 90 | 10 | - |
| เทนนิส | 70 | 20 | 10 |
| แบดมินตัน | 80 | 10 | 10 |

**ตารางที่ 5** เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกและแอโรบิกของกีฬาประเภทต่าง ๆ
ที่มา: (Hoffman, 2014)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**2.3 การตอบสนองทางสรีรวิทยาในการแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ**

ความต้องการทางสรีรวิทยา (Physiological Demands) ในขณะแข่งขัน เป็นข้อมูลที่ทำให้ทราบถึงระดับความหนักของกีฬาชนิดนั้น ๆ ซึ่งจะช่วยให้โค้ชและนักกีฬาสามารถวางแผนการฝึกซ้อมได้เหมาะสมและใกล้เคียงกับระดับความหนักในสถานการณ์แข่งขันจริงได้ โดยตัวแปรทางสรีรวิทยาที่สามารถบ่งชี้ระดับความหนักและนิยมใช้ศึกษากันได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณการใช้ออกซิเจน และระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**2.3.1 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate: HR)**

อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนที่สัมพันธ์กันโดยตรงกับระดับความหนักของงานและปริมาณการใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกาย โดยในการออกกำลังกายที่มีความหนักเท่ากันตลอด (Steady State Exercise) อัตราการเต้นของหัวใจจะมีระดับที่คงที่ตลอดการออกกำลังกาย แต่ในการออกกำลังกายแบบหนักสลับพัก (Intermittent Exercise) การเพิ่มของอัตราการเต้นของหัวใจจะมีการเพิ่มขึ้นและลดลงตามระดับความหนักของงานที่เกิดขึ้น (Bangsbo, 2000) โดยการศึกษาข้อมูลการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจในขณะแข่งขันกีฬานั้น มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย กีฬาแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดการแข่งขันที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะระดับความหนัก และระยะเวลาของกีฬาแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4

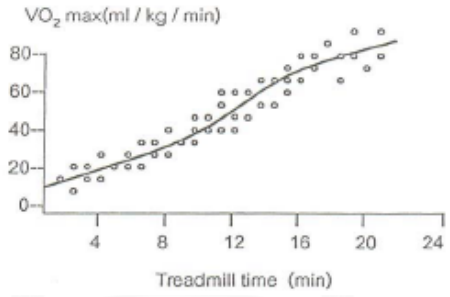
| ประเภทกีฬา | อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที) | ประเภทกีฬา | อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที) |
|---|---|---|---|
| มวย | 148 | ฮอกกี้ | 166 |
| เรือแคนู | 143 | บาสเกตบอล | 170 |
| ฟุตบอล | 168 | เทนนิส | 172 |
| วอลเลย์บอล | 145 | แบดมินตัน | 169 |
| รักบี้ | 174 | ยกน้ำหนัก | 136 |
| **ฟุตซอล** | **175** | | |

**ตารางที่ 6** อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในขณะแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ
ปรับปรุงจาก: (Reilly et al., 2005)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 2.3.2 ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption: $VO_2$)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption: $VO_2$) เป็นอัตราของก๊าซออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้เซลล์เพื่อใช้ในการสันดาปเป็นพลังงานต่อหนึ่งนาที โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของระบบไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ และระบบกล้ามเนื้อ ทั้งนี้ในการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ของคนเรานั้น เซลล์ในร่างกายจำเป็นต้องใช้สารอาหารและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตพลังงาน ดังนั้นจึงต้องอาศัยระบบขนส่งในร่างกายที่มีประสิทธิภาพ โดยระบบหายใจจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่ร่างกาย จากนั้นระบบไหลเวียนโลหิตก็จะนำออกซิเจนไปให้เซลล์กล้ามเนื้อใช้ต่อไป (Robergs & Roberts, 1997) ส่วนปริมาณสูงสุดของออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้เซลล์เพื่อใช้ในการสันดาปเป็นพลังงานต่อหนึ่งนาทีเรียกว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Consumption: $VO_2max$) ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกของร่างกาย ซึ่งความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคนจะไม่เท่ากัน




**ภาพที่ 4** ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ในขณะออกกำลังกายเมื่อความหนักของงานเพิ่มขึ้น

ที่มา: (Robergs & Roberts, 1997)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| กลุ่มหรือกีฬา | อายุ | ชาย | หญิง |
|---|---|---|---|
| คนทั่วไป | 10-19 | 47-56 | 38-46 |
| | 20-29 | 43-52 | 33-42 |
| | 30-39 | 39-48 | 30-38 |
| | 40-49 | 36-44 | 26-35 |
| | 50-59 | 34-41 | 24-33 |
| | 60-69 | 31-38 | 22-30 |
| | 70-79 | 28-35 | 20-27 |
| เบสบอล/ซอฟท์บอล | 18-32 | 48-56 | 52-57 |
| บาสเกตบอล | 18-30 | 40-60 | 43-60 |
| จักรยาน | 18-26 | 62-74 | 47-57 |
| แคนนู | 22-28 | 55-67 | 48-52 |
| อเมริกันฟุตบอล | 20-36 | 42-60 | - |
| ยิมนาสติก | 18-22 | 52-58 | 36-50 |
| ฮอกกี้น้ำแข็ง | 10-30 | 50-63 | - |
| ขี่ม้า | 20-40 | 50-60 | - |
| ออเรียนเทียริง | 20-60 | 47-53 | 46-60 |
| กีฬาแร็กเก็ต | 20-35 | 55-62 | 50-60 |
| เรือพาย (กรรเชียง) | 20-35 | 60-72 | 58-65 |
| สกีลงเขา | 18-30 | 57-68 | 50-55 |
| สกีข้ามทุ่ง | 20-28 | 65-94 | 60-75 |
| สกีกระโดดไกล | 18-24 | 58-63 | - |
| ฟุตบอล | 22-28 | 54-64 | 50-60 |
| สปีดสเก็ตติ้ง | 18-24 | 56-73 | 44-55 |
| ว่ายน้ำ | 10-25 | 50-70 | 40-60 |
| กรีฑา (ขว้างจักร) | 22-30 | 42-55 | - |
| กรีฑา (วิ่ง) | 18-39 | 60-85 | 50-75 |
| | 40-75 | 40-60 | 35-60 |
| กรีฑา (ทุ่มน้ำหนัก) | 22-30 | 40-46 | - |
| วอลเลย์บอล | 18-22 | - | 40-56 |
| ยกน้ำหนัก | 20-30 | 38-52 | - |
| มวยปล้ำ | 20-30 | 52-65 | - |

**ตารางที่ 7** ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของคนทั่วไปกับนักกีฬา (ml / $kg^{-1}$/ $min^{-1}$)

ที่มา: (Kenney et al., 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 2.3.3 ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด (Blood Lactate Concentration)

แลคเตทหรือกรดแลคติกเป็นของเสีย (waste products) ซึ่งเกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) ในระหว่างที่ร่างกายทำงานที่ระดับความหนักปานกลางถึงระดับสูงสุด โดยในขณะพัก กระบวนการไกลโคไลติก (Glycolytic) จะดำเนินไปอย่างช้า ๆ ระดับของแลคเตทที่สะสมในเลือดและกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าประมาณ 1.4 มิลลิโมล/ลิตร ส่วนในระยะเริ่มต้นของการออกกำลังกาย ระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดจะยังคงมีค่าเท่ากับขณะพัก แต่เมื่อความหนักของกิจกรรมเพิ่มสูงขึ้น ความเข้มข้นของแลคเตทก็จะเกิดเร็วขึ้นจนถึงระดับที่กล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานต่อไปได้ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของการแสดงออกความสามารถทางกีฬาลดน้อยลง (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2000)

ระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดจะเป็นดัชนีที่บ่งชี้ระดับความหนักของงานและระดับความเมื่อยล้า (Fatigue) ในขณะออกกำลังกายได้ โดยในการวัดระดับความเข้มข้นของแลคเตทสามารถทำได้สองวิธีคือ การวิเคราะห์จากเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย และการวัดระดับความเข้มข้นของแลคเตทโดยการเจาะเลือดมาวิเคราะห์ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากเนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็ว สามารถทำได้ง่าย อย่างไรก็ดีการตอบสนองของระดับแลคเตทในเลือดขณะแข่งขันของกีฬาแต่ละชนิดจะมีปริมาณและระดับไม่เท่ากัน โดยข้อมูลความเข้มข้นของระดับแลคเตทในเลือดที่ได้จากการศึกษาในกีฬาประเภทต่าง แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

| ประเภทกีฬา | ระดับแลคเตท (มิลลิโมล/ลิตร) | ประเภทกีฬา | ระดับแลคเตท (มิลลิโมล/ลิตร) |
|---|---|---|---|
| เทนนิส | 5.0 | แบดมินตัน | 5.9 |
| รักบี้ | 4.8 | บาสเกตบอล | 6.8 |
| ฮอกกี้ | 5.7 | วอลเลย์บอล | 4.2 |
| ฟุตบอล | 4.5 | **ฟุตซอล** | **5.5** |

**ตารางที่ 8** ระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดขณะแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ
ปรับปรุงจาก: (Reilly et al., 2005)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 2.3.4 จุดกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic Threshold)

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวิวัธน์ (2536) กล่าวว่า แอนแอโรบิก เทรชโฮล (Anaerobic Threshold) หรือจุดกั้นแอนแอโรบิก หมายถึง ระดับความหนักของการออกกำลังกายหรือการใช้ก๊าซออกซิเจน ซึ่งมีการเพิ่มกระบวนการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic

Metabolism) และเป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อร่างกายมีกระบวนการดังกล่าวเพิ่มขึ้น ก็จะมีกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจุดกั้นแอนแอโรบิก จึงเป็นระดับที่พบว่ามีกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นในเลือด วิธีวัดค่าของจุดกั้นแอนแอโรบิก คือการเจาะเลือด เพื่อตรวจวัดระดับของกรดแลคติกเป็นระยะในขณะที่มีการออกกำลังกาย และเพิ่มความหนักขึ้น อย่างไรก็ดีเทคนิคในการเจาะเลือด ทำให้เกิดความเจ็บปวดและไม่สะดวก รวมทั้งต้องใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์กรดแลคติก วิธีที่รวดเร็วกว่าคือวิธีการสังเกตปริมาณการหายใจในแต่ละนาที (Minute Ventilation) รวมทั้งปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยที่ข้อมูลนี้จะเพิ่มเป็นเส้นตรงกับความหนักของการออกกำลังกายจนกระทั่งถึงจุดกั้นแอนแอโรบิก ซึ่งมีปริมาณการหายใจในแต่ละนาทีและปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นทันที ซึ่งสามารถสังเกตได้ในการตรวจวัดสัดส่วนในการหายใจ (Ventilation Equivalent) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของปริมาณการหายใจในแต่ละนาทีกับปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption) (VE/$VO_2$) พบว่า ในคนสภาวะปกติมีประมาณ 25: 1 เมื่อมีการออกกำลังกายด้วยความหนัก 53% ของการใช้ออกซิเจนสูงสด (Maximal Oxygen Uptake) แต่ว่าในเด็กที่ความหนักเดียวกันจะมีปริมาณ 32: 1 อย่างไรก็ตามในการว่ายน้ำอาจจะมีสัดส่วนในการหายใจต่ำกว่านี้ เนื่องมาจากการหายใจถูกจำกัดด้วยการว่ายน้ำ ซึ่งอาจเป็นปัญหาได้ว่าผู้ที่ว่ายน้ำ และผู้ที่ออกกำลังกายเต็มที่อาจได้ก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอ ในการออกกำลังกายที่ความหนักมากขึ้นค่าของสัดส่วนในการหายใจอาจสูงถึง 35 - 40: 1 ส่วน Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA) เมื่อออกกำลังกายให้อยู่ในภาวะคงที่ (Steady - Rate) จะทำให้มีก๊าซออกซิเจนเพียงพอกับระบบกล้ามเนื้อทำงาน จึงไม่มีการคงของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ เมื่อมีการออกกำลังกายหนักมากขึ้นจะทำให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นที่ระดับนี้เรียกว่า ส่วน Onset of Blood Lactate Accumulation หรือ (OBLA) ซึ่งเป็นระดับที่ออกกำลังกายระหว่าง 55- 60% ของการใช้ออกซิเจนสูงสุดในคนที่ไม่ได้รับการฝึก แต่ในคนที่ได้รับการฝึกดีมากจะทำให้ค่า OBLA สูงขึ้นมากเกิน 80%

วาสเซอร์แมน และคณะ (Wasserman et al., 1994) ได้อธิบายไว้ว่า แอนแอโรบิกเทรชโฮล หมายถึง ระดับขั้นการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนการสะสมของกรดแลคติก ในระหว่างการออกกำลังกาย เมื่อร่างกายทำงานไปถึงจุดที่การขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อไม่สามารถทำได้เพียงพอต่อความต้องการในการสร้างพลังงาน กลไกการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Glycolysis) จะเข้ามามีส่วนช่วยในการสร้างพลังงาน โดยการเปลี่ยนไพรูเวต (Pyruvate) เป็นกรดแลคติก (lactic acid) ก่อให้เกิดการสะสมกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นในกล้ามเนื้อ กรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นนี้ จะถูกทำให้เป็นกลาง (buffer) โดย $HCO_3$ ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และสามารถตรวจวัดได้ทันที นอกจากนี้ยังอธิบายไว้ว่าแอนแอโรบิกเทรชโฮล (AT) เป็นจุดที่ระดับความหนักในการออกกำลังกายทำให้ปริมาณความต้องการใช้ออกซิเจนสำหรับการสร้างพลังงานแอโรบิก มีมากกว่าปริมาณที่ร่างกายได้รับ ร่างกายจึงต้องใช้กลไกการสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พลังงานแบบแอนแอโรบิกมาช่วยเสริม เป็นเหตุให้มีการสะสมกรดแลคติกภายในร่างกาย และส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของระบบแลกเปลี่ยนก๊าซ

นอกจากนี้ในการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับจุดกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic Threshold) ได้มีทฤษฎีและแนวคิดที่สอดคล้องกับประเด็น ดังกล่าว โดยจุดกั้นแอนแอโรบิก เป็นจุดเริ่มมีการสะสมระดับการเกิดกรดแลคติกในปริมาณ 4 มิลลิโมลต่อลิตร หลังจากนั้นจะเริ่มมีการสะสมกรดและกรดแลคติกอย่างรวดเร็วในกล้ามเนื้อ จุดเริ่มมีการสะสมอย่างรวดเร็ว เรียกว่า จุดกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic Threshold) จุดนี้มีอิทธิพลต่อการทำงานของร่างกาย ทำให้มีขีดจำกัดในการใช้พลังงานแบบออกซิเจน (Aerobic Energy) อาจเรียกอีกอย่างว่า “ Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA) ” หรือ “ Maximum Lactate Steady State (MLSS or MaxLass ) ” โดยจุดกั้นแอนแอโรบิกที่พบอยู่ในระดับการทำงานประมาณ 85 - 90% ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละคน ดังนั้นเมื่อร่างกายเกิดจุดกั้นแอนแอโรบิกขึ้นทำให้มีผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานของร่างกายรวมทั้งกระทบต่อการทำงานของระบบการใช้ออกซิเจนด้วย แต่ถ้ามีโปรแกรมการฝึกระบบการใช้ออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพทำให้ร่างกายชะลอระยะเวลาของการเกิดจุดกั้นแอนแอโรบิก โดยกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะรวมกับออกซิเจนเพื่อเป็นพลังงานแก่ร่างกายพร้อมกับมีคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำระบายออกมา

จากทฤษฎีเกี่ยวกับจุดกั้นแอนแอโรบิกสอดคล้องกับแนวคิดในการพัฒนาระบบพลังงานคือ ถ้าระดับจุดกั้นแอนแอโรบิกเกิดขึ้นช้าจะทำให้นักกีฬามีประสิทธิภาพในการแข่งขันหรือฝึกซ้อมดีขึ้น นั่นคือในขณะที่นักกีฬาทำการแข่งขันระบบพลังงานที่มีการใช้ออกซิเจนจะรวมตัวกับไพรูเวท (Pyruvate) ซึ่งเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อทำให้ระดับกรดของแลคติกในร่างกายอยู่ในภาวะสมดุล ร่างกายสามารถทำงานต่อไปได้ ระบบพลังงานส่วนใหญ่ที่ถูกใช้ในภาวะนี้คือระบบพลังงานจากการใช้ออกซิเจนและไขมัน ทำให้นักกีฬามีการเกิดจุดกั้นแอนแอโรบิกไม่เร็วจนเกินไป

**2.4 การตอบสนองโดยการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ**

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้จากการหดตัวของกล้ามเนื้อ เพื่อนำไปใช้ในการประเมินกิจกรรมของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อที่เกิดจากการผ่านเข้าออกของอิออนต่าง ๆ ทำให้เกิดดีโพลาไรเซชั่นไปตามเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยจะรับสัญญาณของกระแสประสาทของกระแสไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (electrode) แล้วส่งต่อไปยังแอมพลิฟายเออร์ (amplifier) ของเครื่องมือ เพื่อขยายสัญญาณแล้วแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสดงออกทางจอ (oscilloscope) (Clarys & Cabri, 1993; Gary, 2004; Mills, 2005)

### 2.4.1 การเกิดของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเกิดจากการที่เซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในกล้ามเนื้อและเส้นประสาทถูกล้อมรอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane) มีกลไกที่เก็บและปล่อยประจุไฟฟ้าได้เมื่อมีการกระตุ้น การแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า (Ions) อยู่ตลอดเวลา ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะพัก (Resting Membrane Potential) ของเซลล์กล้ามเนื้อลายจะมีค่าประมาณ –90 มิลลิโวลต์ โดยภายนอกเซลล์จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงขั้วของเซลล์จะถูกกระตุ้นผ่านทางเส้นประสาทมายังเซลล์ของเส้นใยกล้ามเนื้อซึ่งมีอยู่จำนวนมาก ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าได้ โดยจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการกระตุ้นของระบบประสาท (De Luca, 2002) นอกจากนี้ ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน (Action Potential) เมื่อมีการทำงานของเส้นประสาทหรือกล้ามเนื้อจะมีการกระจายของไฟฟ้าออกไป ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของกลไกการทำงาน คือ สำหรับเส้นประสาทจะใช้การกระจายของไฟฟ้า เป็นการส่งกระแสประสาท (Nerve Impulse) ส่วนในกล้ามเนื้อนั้นใช้ การกระจายไฟฟ้าไปตามเซลล์ของกล้ามเนื้อ เพื่อเป็นการนำคำสั่งที่ได้รับจากประสาทโดยผ่านรอยต่อระหว่างปลายประสาทกับเซลล์กล้ามเนื้อลายนั้น ที่เรียกว่า นิวโรมัสคูลาร์จังก์ชัน (Neuromuscular Junction) ให้ไปกระตุ้นกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้ออีกต่อหนึ่ง เมื่อถูกกระตุ้นเยื่อหุ้มเซลล์ของประสาทและกล้ามเนื้อจะมีการยอมให้โซเดียมผ่านเพิ่มขึ้น ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์มีการลดลง ซึ่งเรียกว่าดีโพลาโรเซชั่น (Depolarization) และเมื่อโซเดียมหยุดเข้าไปในเซลล์ โปแตสเซียมอิออนจะออกสู่นอกเซลล์ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์กลับมามีค่าเป็นลบ ซึ่งเรียกว่า รีโพราไรเซชั่น (Repolarization) (Cifrek et al., 2009; De Luca, 1997)

### 2.4.2 ประโยชน์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

เดอ ลูกา (De Luca, 2002) ได้อธิบายถึงประโยชน์ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่นำมาใช้ในทางการกีฬา สรุปได้ดังนี้

1. ศึกษาถึงการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างการเคลื่อนไหวต่าง ๆ
2. ศึกษาถึงพลัง (Force) ที่เกิดขึ้นจากการทำงานของกล้ามเนื้อ
3. ศึกษาถึงความล้าของกล้ามเนื้อ (Fatigue) โดยศึกษาจากความถี่และความสูงของสัญญาณคลื่นไฟฟ้า ถ้าความถี่และความสูงของคื่นสัญญาณไฟฟ้าลดลง แสดงว่าเกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อมัดนั้น

### 2.4.3 เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

ในการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อนั้นต้องใช้เครื่องมือในการวัด ซึ่งประกอบไปด้วยส่วน ขั้วรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้า (electrode) ที่ใช้ตรวจวัดกล้ามเนื้อสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่ ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดเข็ม (needle electrode) ทำการบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยใช้เข็มแทงเข้าไปในกล้ามเนื้อ ซึ่งมีความละเอียดและยังเหมาะสำหรับการตรวจวัดกล้ามเนื้อที่อยู่ในชั้นลึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(deep muscle) อีกด้วย ส่วนขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่ง คือ ขั้นรับสัญญาณไฟฟ้าชนิดผิว (surface electrode) รูปทรงเป็นแผ่นกลม มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 - 5 มิลลิเมตร มีส่วนประกอบของโลหะซิลเวอร์ และสารละลายซิลเวอร์คลอไรด์ ซึ่งใช้ทำการบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้โดยการวางบนผิวหนังหรือกล้ามเนื้อ สัญญาณคลื่นไฟฟ้าที่บันทึกได้เป็นผลรวมของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากหลายหน่วยยนต์ ซึ่งในทางการกีฬามักใช้ขั้วรับสัญญาณชนิดนี้มาวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อ (Merletti, Rainoldi, & Farina, 2001) โดยการใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบผิว (surface electrode) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยการใช้ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อแบบผิว (surface electrode) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (De Luca, 1997, 2002)

1. ปัจจัยภายนอก (extrinsic factor)

1.1 ลักษณะของขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (electrode configuration) ขนาดและรูปร่างของขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า มีผลต่อการบันทึกการทำงานของหน่วยยนต์ (motor units) ที่ทำงาน

1.2 ตำแหน่งการวางขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า (location of electrode) ตำแหน่งที่วางมีผลต่อความสูง และความถี่ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้วัด ต้องวางขนานกัน และตั้งฉากกับใยกล้ามเนื้อ

2. ปัจจัยภายใน (intrinsic factor)

2.1 จำนวนหน่วยยนต์ของกล้ามเนื้อที่ทำงาน (number of active motor units) ขณะหดตัว

2.2 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (fiber type) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ของของเหลวในกล้ามเนื้อ ขณะหดตัว

2.3 การไหลเวียนเลือดในกล้ามเนื้อ (blood flow) การเคลื่อนย้ายสารที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism)

2.4 ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (fiber diameter) มีผลต่อความสูง และความเร็วในการนำคลื่นไฟฟ้า

2.5 ความลึกและตำแหน่งของเส้นใยกล้ามเนื้อ (depth and location of active fiber) มีผลต่อความสูงและความถี่ของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

2.6 ความหนาแน่นของเนื้อเยื่อ ระหว่างกล้ามเนื้อ กับขั้วรับสัญญาณไฟฟ้า จะมีผลต่อสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้ โดยที่ถ้ามีความหนาแน่นของชั้นไขมันใต้ผิวหนังมาก จะทำให้ความสูงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้มีค่าน้อยลงกว่าค่าที่ควรจะได้จริง

**2.4.4 การทำงานของกล้ามเนื้อที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ความล้า**

ในกีฬาประเภทหนักสลับพักนั้น ลักษณะการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่จะเป็นการวิ่ง การทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการวิ่ง ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวบริเวณข้อต่อต่าง ๆ ของขาจึงเป็นสิ่งที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อ และการตรวจสอบความล้าในกีฬาประเภทหนักสลับพัก โดยไวเนค (Weineck, 1990) ได้ทำการวิเคราะห์กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ออกแรงทำให้เกิดการเคลื่อนไหวบริเวณข้อต่อต่าง ๆ ของขา โดยเรียงลำดับจากกล้ามเนื้อมัดที่ออกแรงมากไปหาน้อยตามลำดับ ดังนี้

1. กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพก ประกอบด้วย
    - กล้ามเนื้อกลูเทียส แมกซิมัส (Gluteus Maximus)
    - กล้ามเนื้อแอดดัคเทอร์ แมกนัส ( Adductor Magnus)
    - กล้ามเนื้อเซมิเมมเบรโนซัส (Semimembranosus)
    - กล้ามเนื้อเซมิเทนดิโนซัส (Semitendinosus)
    - กล้ามเนื้อกลูเทียส มีเดียส (Gluteus Medius)
    - กล้ามเนื้อควอราทัส ฟีมอริส (Quadratus Femoris)
2. กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดหัวเข่า ประกอบด้วย
    - กล้ามเนื้อเรคตัส ฟีมอรีส (Rectus Femoris)
    - กล้ามเนื้อวาสตัส มีเดียอาลิส (Vastus Medialis)
    - กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis)
    - กล้ามเนื้อวาสตัส อินเตอร์มีเดียส (Vastus Intermedias)
3. กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดข้อเท้า ประกอบด้วย
    - กล้ามเนื้อแกสทรอคนีเมียส (Gastrocnemius)
    - กล้ามเนื้อโซเลียส (Soleus)
    - กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์ ฮัลลูซิส ลองกัส (Flexor Hullucis Longus)
    - กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์ ดิจิทอรัม ลองกัส (Flexor Digitorum Longus)
    - กล้ามเนื้อทีเบียลิส โพสทีเรีย (Tebialis Posterior)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าส่วนใหญ่มักทำการทดสอบความล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle Fatigue) จากกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดหัวเข่า (Quadriceps Femoris Muscle) โดยมัดกล้ามเนื้อที่เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดหัวเข่า (Quadriceps Femoris Muscle) ประกอบด้วย กล้ามเนื้อเรคตัส ฟีมอริส (Rectus Femoris) กล้ามเนื้อวาสตัส มีเดียอาลิส (Vastus Medialis) กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis) และกล้ามเนื้อวาสตัส อินเตอร์มีเดียส (Vastus Intermedias) เป็นกลุ่ม

กล้ามเนื้อที่พาดผ่านข้อเข่ารวมกันเป็นส่วนเดียวและไปเกาะที่กระดูกสะบ้า แคปซูลของข้อเข่า และส่วนหน้าของกระดูกทีเบีย (Tibia) ผู้ที่มีโครงสร้างกล้ามเนื้อดีและมีไขมันใต้ผิวหนังน้อยสามารถมองเห็น กล้ามเนื้อเรคตัส ฟีมอรีส กล้ามเนื้อวาสตัส มีเดียอาลิส และกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส แยกเป็นมัดได้ ส่วนกล้ามเนื้อวาสตัส อินเตอร์มีเดียสอยู่ลึกจึงไม่สามารถมองเห็นได้โดยง่าย (Houglum & Bertoti, 2011; Prentice, 2006)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis) เป็นกล้ามเนื้อที่มักนำมาใช้ในการทดสอบความล้าของกล้ามเนื้อมากในปัจจุบัน (Akima et al., 2004; Bowtell et al., 2014; Mendez-Villanueva, Hamer, & Bishop, 2008) เนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อมัดที่ใหญ่ที่สุดจาก 4 มัด (Houglum & Bertoti, 2011) และยังพบว่า total power output ของการสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวมีความสัมพันธ์กับการทำงานของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิสจากการประเมินด้วยการตรวจเอกซเรย์ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic resonance imaging) (Akima et al., 2004)

โดยกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis) จะอยู่ด้านนอกของกล้ามเนื้อเรคตัส ฟีมอริส มีส่วนเกาะที่ส่วนนอกของกระดูกฟีเมอร์ (Femur) ด้านหลังเหนือต่อกับ Greater Trochanter และหลัง Linea Aspera ส่วนปลายกล้ามเนื้ออยู่บริเวณด้านนอกของกระดูกสะบ้าและเป็นส่วนหนึ่งของ Patella Tendon ไปเกาะที่ Tibial Tuberosity ของกระดูกทีเบีย โดยจะไปรวมกันโดยทำมุม 12-15 องศากับกระดูกสะบ้า สามารถมองเห็นกล้ามเนื้อได้ชัดที่ส่วนปลายและมีขนาดใหญ่กว่าส่วนต้น มีเส้นประสาทแต่แตกมาจาก Femoral Nerve มาเลี้ยง (Houglum & Bertoti, 2011)

โดยงานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการเลือกวิเคราะห์กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis) เช่น งานวิจัยของ เมนเดซ-บียานูเอบาและคณะ (Mendez-Villanueva et al., 2008) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความล้าจากการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวกับปัจจัยของพลังกล้ามเนื้อและการลดลงของกิจกรรมกล้ามเนื้อ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้มีสุขภาพดี เพศชาย จำนวน 8 คน ทำการปั่นจักรยานสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว 10 รอบ ด้วยความสามารถสูงสุด 6 วินาที สลับกับการพักระหว่างรอบ 30 วินาที พลังสูงสุด และพลังเฉลี่ยคำนวณจากการสปริ๊นท์ทั้งหมด คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิสของขาขวา ทำการทดสอบจากขั้วไฟฟ้าพื้นผิวตลอดช่วงการออกกำลังกาย ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) ใช้ในการบ่งบอกกิจกรรมของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ หลังจากสปริ๊นท์ครบ 10 รอบ พลังสูงสุด และพลังเฉลี่ยลดลง 24.6% และ 28.3% จากค่าสูงสุด นอกจากนี้ค่าRMS ลดลง 14.6% หลังจากครบ 10 รอบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของการเปลี่ยนแปลงของพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดย RMS จากกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส หลังจากการปั่นจักรยานสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว 10 รอบ และในการวิจัยล่าสุดของโบเทลและคณะ

(Bowtell et al., 2014) ได้ทำการวิจัยเรื่องการตอบสนองอย่างฉับพลันทางสรีรวิทยาและความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ($FiO_2$: 12%, 13%, 14%, 15%, 21%) ด้วยการให้นักกีฬาทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดภายในระยะเวลา 6 วินาที สลับกับการพัก 30 วินาที จำนวน 10 รอบ ทำการวัดค่าความเร็วสูงสุดในการวิ่ง คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิสทำการทดสอบจากขั้วไฟฟ้าพื้นผิวตลอดช่วงการออกกำลังกาย ควบคู่ไปกับอัตราการเต้นของหัวใจและความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด การตอบสนองทางระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิตทำการประเมินจากการวิเคราะห์แก๊ส และอัตราการลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อทำการทดสอบจากอุปกรณ์ Near Infrared Spectroscopy พบว่า ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำทุกระดับเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญโดย อัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการระบายอากาศหายใจต่อนาที ค่าแลคติกในเลือด และอัตราการลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อมีการเพิ่มขึ้น ขณะที่ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ความสามารถในการใช้ออกซิเจน และค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีการลดลง และมีการแตกต่างมากที่สุดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ 13% อย่างไรก็ตาม ดัชนีความล้า และการลดลงของความเร็วมีความแตกต่างมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสภาวะออกซิเจนปกติ

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้ กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis) ในการวิเคราะห์ความล้าของกล้ามเนื้อด้วยการทดสอบการลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle Deoxygenation) อีกด้วย เช่น งานวิจัยของบุคไฮท์และคณะ (Buchheit et al., 2010) ได้ทำการเปรียบเทียบการตอบสนองของการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) และการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรง (Repeated Sprint in Straight Line) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาประเภททีมจำนวน 13 คน โดยกลุ่มวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ทำการวิ่งจำนวน 6 รอบ โดยมีระยะการวิ่งอยู่ที่ 2x12.5เมตร กลุ่มวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรงทำการวิ่งจำนวน 6 รอบ โดยมีระยะการวิ่งอยู่ที่ 25 เมตร ทำการเปรียบเทียบเวลาที่ดีที่สุดในการวิ่ง เวลาเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์การลดลงของความเร็ว ความสามารถในการใช้ออกซิเจน การลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis) และปริมาณแลคเตทในเลือด พบว่า เวลาในการวิ่งของกลุ่มวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจะใช้เวลาที่มากกว่าทั้งในส่วนของเวลาที่ดีที่สุดและเวลาเฉลี่ย เนื่องจากมีการลดลงของความเร็วในช่วงกลับตัว ในขณะที่เปอร์เซ็นการลดลงของความเร็วในกลุ่มวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวน้อยกว่ากลุ่มวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ปริมาณแลคเตทในเลือดและความสามารถในการใช้ออกซิเจนมากกว่าเล็กน้อยในกลุ่มวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว และไม่มีความแตกต่างจากการลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขา ซึ่งจากงานวิจัยนี้สรุปว่าลักษณะการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวเหมาะสำหรับนำไปใช้ทำการฝึกเพื่อให้เกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยไม่เป็นการเพิ่มโหลดให้กับกล้ามเนื้อต้นขาเมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวซึ่งไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง

**2.5 ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและการทดสอบ**

**2.5.1 ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก**

ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก คือ ความสามารถสูงสุดของร่างกายในการออกกำลังกายโดยใช้ระบบการสร้างพลังงานแบบใช้ออกซิเจน นั้น ตัวแปรที่นิยมมาใช้ในการวัดความสามารถทางด้านนี้คือ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Uptake หรือ $VO_2$max)

ชูศักดิ์ เวชแพทย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) กล่าวไว้ว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หมายถึง ปริมาณของออกซิเจน (มิลลิลิตร) ที่ร่างกายรับไปให้เซลล์ต่อนาที ซึ่งถูกกำหนดโดยปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อ และปริมาณของออกซิเจนที่แพร่จากเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อ หน่วยที่ใช้ในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด คือ มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเป็นตัวบ่งชี้ของการทำหน้าที่ของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ มีความสัมพันธ์อย่างยิ่งในการผลิตพลังงานเพื่อใช้ในการออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน โดยออกซิเจนจะรับการลำเลียงเข้าสู่เซลล์บริเวณไมโทคอนเดรีย และขบวนการนี้คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกขับออกจากร่างกาย ขณะที่ร่างกายออกกำลังกายอย่างหนักขึ้น ขบวนการขนถ่ายออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จะทำงานเร็วขึ้น จนในที่สุดเซลล์และเนื้อเยื่อไม่สามารถสกัดและรับออกซิเจนมาใช้ได้อีกต่อไปแล้วถึงแม้ว่าความหนักของงานหรือการออกกำลังกายจะมีความหนักเพิ่มขึ้น เมื่อนั้นร่างกายก็ได้ออกกำลังกายที่ระดับการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2$max) ซึ่งความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะแตกต่างกันออกไปตามสถานะทางเพศ อายุ ขนาด รูปร่าง

วิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (Medicine, 2013) ได้ให้คำจำกัดความว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หมายถึง ความสามารถสูงสุดของแต่ละบุคคลในการส่ง และใช้ออกซิเจน ขณะที่การออกกำลังกายเพิ่มขึ้น เป็นตัวที่แสดงให้เห็นถึงสมรรถภาพทางกายของแต่ละบุคคล โดยที่คำย่อ $VO_2$max มาจาก V คือ ปริมาตรต่อเวลา (Volume Per Time) $O_2$ คือ ออกซิเจน (Oxygen) Max คือ สูงสุด (Maximum) โดยที่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีหน่วยจริง (Absolute Rate) เป็น ลิตรต่อนาที (l/min) หรือ หน่วยที่สัมพันธ์กับน้ำหนัก (Relative Rate) เป็น มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (ml/kg/min)

รุ่งชัย ชวนไชยะกูล (2548) ได้ให้ความหมายของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดว่า หมายถึง ปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ไปภายในเวลา 1 นาที ในภาวะที่ร่างกายออกกำลังจนถึงจุดที่อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด หมายความว่า

1) กล้ามเนื้อหัวใจทำหน้าที่บีบตัวด้วยแรงสูงสุดและอัตราการเต้นสูงสุด (Maximal Contraction and Rate) แล้วไม่สามารถเพิ่มการบีบตัวและการเต้นได้อีก

2) อัตราการหายใจและการขยายของปอดถึงจุดสูงสุด ถุงลมทุกถุงเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซด้วยอัตราที่สูงสุดแล้ว (Maximal Gas Exchange)

3) เม็ดเลือดแดงทุกเม็ดมีโมเลกุลของออกซิเจนมาเกาะอยู่อย่างเต็มที่ครบหมดแล้ว

4) เซลล์กล้ามเนื้อทุกเซลล์สามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้เต็มที่แล้ว

เมื่อใดออกกำลังกายจนเกิดภาวะทั้ง 4 ประการข้างต้นหมายความว่า ทุกระบบไม่สามารถให้ออกซิเจนตอบสนองความต้องการของร่างกายได้มากกว่านี้อีกแล้ว เราจึงต้องทดสอบจนแน่ใจว่าถึงภาวะของ $VO_2max$ จริง ๆ นักวิทยาศาสตร์การกีฬาจะใช้หลักการว่า $VO_2max$ เกิดขึ้นเมื่อชีพจรถึงจุดสูงสุดแล้วไม่ว่าจะเพิ่มงาน (Workload) ไปอีกเท่าใดก็ตาม ค่า $VO_2max$ นี้ เป็นดัชนีหลักที่ใช้ในการบอกสมรรถภาพที่ร่างกายของแต่ละคนและเนื่องจากเป็นการสะท้อนหน้าที่สูงสุดของ4 ระบบหลักของร่างกาย ค่า $VO_2max$ จึงเป็นดัชนีทั้งทางแอโรบิกของร่างกาย (Aerobic Index) และดัชนีความทนทานของหัวใจ (Cardiac Endurance)

สนธยา สีละมาด (2560) ได้กล่าวถึง วิธีการฝึกซ้อมความอดทนแบบใช้ออกซิเจนว่า ต้องเป็นวิธีการที่สนับสนุนให้มีการพัฒนาของระบบหัวใจไหลเวียนโลหิต ความสามารถในการเผาพลาญอาหารของกล้ามเนื้อ และการทำงานของประสาทกล้ามเนื้อ และวิธีการที่นิยมนำมาใช้พัฒนาความอดทนแบบใช้ออกซิเจนจะประกอบด้วย การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Continuous Exercise) และ การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval Exercise)

การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง เป็นลักษณะการปฏิบัติกิจกรรม เช่นการวิ่งการปั่นจักรยานหรือการว่ายน้ำอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ 30 นาทีขึ้นไป ถึง 2 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับระดับความสามารถและจุดมุ่งหมายของการฝึกซ้อม อย่างไรก็ตามสำหรับการพัฒนาความอดทนแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยรูปแบบการทำงานอย่างต่อเนื่องจะถูกจำกัดด้วยความหนักของการทำงาน การออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่จะปฏิบัติที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุด แต่ถ้านักกีฬาต้องการออกกำลังกายให้ได้ระยะเวลานานขึ้น ความหนักของการทำงานก็จะลดต่ำลง

การออกกำลังกายแบบสลับช่วง เป็นรูปแบบที่ช่วยให้นักกีฬามีการทำงานอย่างหนักเพิ่มขึ้นโดยการสลับช่วงของการทำงานด้วยช่วงของการฟื้นสภาพ ขณะช่วงของการทำงานร่างกายจะก้าวขึ้นไปสู่การเป็นหนี้ออกซิเจน และผลิตกรดแลคติกเพิ่มขึ้น ขณะที่ช่วงการฟื้นสภาพหัวใจและปอดจะยังคงมีการทำงานสูง ในการทำงานที่จะใช้การเป็นหนี้ออกซิเจนและการสำรองออกซิเจนเพื่อใช้ในการเผาผลาญกรดแลคติกและการสังเคราะห์พลังงานขึ้นกลับคืน การฝึกซ้อมจึงส่งผลให้ร่างกายมีการพัฒนาด้วยการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดแดงฝอย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวใจ การปรับปรุงการควบคุมกรดด่างของร่างกาย ซึ่งจะเป็นผลนำไปสู่การปรับปรุงความสมบูรณ์ทางกายที่เกี่ยงข้องกับการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนโลหิต

จากเรื่องการพัฒนาการทำงานของระบบแอโรบิกสามารถสรุปได้ว่า ในการพัฒนาความสามารถของระบบแอโรบิกวิธีที่นิยมใช้ได้แก่ การฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบวงจร การฝึกแบบสลับช่วง ซึ่งการออกแบบการฝึกต้องคำนึงถึง ความหนักในการฝึก ระยะเวลาในการฝึก ความถี่ในการฝึก และอัตราการเพิ่มความหนักของการฝึกเป็นสำคัญ

**2.5.2 การทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก**

นักกีฬาที่มีความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกหรือความอดทนทางแอโรบิกในระดับที่สูงสามารถออกกำลังกายได้นานก่อนที่ความเมื่อยล้าจะสะสมเพิ่มสูงขึ้น และสามารถออกกำลังกายต่อเนื่องไปได้อีกในแม้จะมีความเมื่อยล้าสูง ต่างจากนักกีฬาที่มีความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกต่ำ ตัวชี้วัดความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก คือ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) แสดงถึงความสามารถสูงสุดของร่างกายในการนำออกซิเจนมาใช้ แสดงออกมาในหน่วย มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ซึ่งสามารถวัดได้จากการทดสอบที่ใช้เวลาระหว่าง 9 – 16 นาที หรือ บางครั้งอาจจะใช้เวลานานถึง 25 นาที หากผู้ทดสอบมีความอดทนทางแอโรบิกสูง การทดสอบสามารถทำได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม โดยการทดสอบทางตรงจะปฏิบัติในห้องแล็ป คือ การวิเคราะห์แก๊ส ส่วนทางอ้อมจะเป็นการประมาณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น อัตราการเต้นของหัวใจและเวลาที่ทำได้ในการปฏิบัติกิจกรรมนั้น ๆ ซึ่งแบบทดสอบที่ใช้ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีมากมายหลากหลายรูปแบบและกิจกรรม โดยกิจกกรรมที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดนี้ จะต้องประกอบไปการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ ๆ และมีการเคลื่อนไหวที่สอดคล้องกับนักกีฬาที่จะทดสอบ

ดังนั้นการนำไปใช้จึงขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ทดสอบ กิจกรรมที่สอดคล้องกับผู้เข้าร่วมการทดสอบ และการใช้แบบทดสอบที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ เพื่อที่จะได้นำผลของการประเมินไปประยุกต์ใช้ปรับปรุงแบบฝึกให้ดีและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

**2.5.3 การทดสอบด้วยวิธีของบรูซ**

การเริ่มต้นของการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแม้จะเริ่มตั้งแต่ยุคปีค.ศ. 1920 แต่การศึกษาและวิจัยกันอย่างจริงจังเกิดขึ้นในช่วงปีค.ศ. 1940 – 1950 โดยดร.โรเบิร์ต บรูซ แพทย์ด้านหัวใจจากมหาวิทยาลัยวอชิงตัน ผู้นำในการศึกษาด้านนี้จากการใช้กิจกรรมออกกำลังกายที่เพิ่มระดับของความหนักขึ้นเรื่อย ๆ โดยเขาเน้นในการศึกษาการพัฒนารูปแบบของการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถภาพด้านหัวใจและการออกกำลังกายของผู้ป่วย เพราะเขาค้นพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะออกกำลังกาย แสดงถึงสมรรถภาพในการออกกำลังกายของผู้ป่วย และเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อวินิจฉัยโรคได้ จนเป็นที่มาของแบบทดสอบที่ชื่อว่า Bruce protocol ซึ่งเป็นต้นแบบของแบบทดสอบที่ค่อยๆเพิ่มความหนักของงาน

ขึ้นเรื่อยๆ ที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดกั้นแอนแอโรบิกของนักกีฬาในปัจจุบัน โดยสามารถใช้ได้ทั้งลู่วิ่งกล และการปั่นจักรยานวัดงานในการทดสอบ

**อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดสอบ**

1. ลู่วิ่งกล
2. นาฬิกาจับเวลา
3. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (หากต้องการวัดการแลกเปลี่ยนแก๊สโดยตรง)
4. สายวัดอัตราการเต้นของหัวใจ
5. ผู้ช่วยทดสอบ

**วิธีการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ**

1. ติดเครื่องวิเคราะห์แก๊สให้กับผู้เข้ารับการทดสอบ
2. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบทำการอบอุ่นร่างกาย โดยการเดินช้าๆบนลู่วิ่งกล ประมาณ 3 – 5 นาที
3. ผู้ช่วยทดสอบตั้งค่าลู่วิ่งกลที่ความเร็ว 2.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความชันที่ 10 % (ระดับที่ 1) โดยออกคำสั่งว่า “เริ่ม” พร้อมกับเริ่มจับเวลา
4. จากนั้นทุก ๆ 3 นาที ปรับความเร็วและความชัน ตามตารางต่อนี้

| Stage | Speed (km/hr) | Speed (mph) | Gradient (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 2.74 | 1.7 | 10 |
| 2 | 4.02 | 2.5 | 12 |
| 3 | 5.47 | 3.4 | 14 |
| 4 | 6.76 | 4.2 | 16 |
| 5 | 8.05 | 5.0 | 18 |
| 6 | 8.85 | 5.5 | 20 |
| 7 | 9.65 | 6.0 | 22 |
| 8 | 10.46 | 6.5 | 24 |
| 9 | 11.26 | 7.0 | 26 |
| 10 | 12.07 | 7.5 | 28 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจที่เปลี่ยนแปลง ทุกๆระดับที่เพิ่มความหนักขึ้น
6. หยุดจับเวลาเมื่อผู้รับการทดสอบไม่สามารถปฏิบัติกิจกรรมต่อไปได้ โดยพิจารณาจากการเกิดอาการตามข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

6.1 ผู้ทดสอบปฏิบัติถึงระดับการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ไม่มีเปลี่ยนแปลงของการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นกว่าระดับนั้น แม้จะปฏิบัติต่อไปได้อีก)

6.2 เมื่อปฏิบัติจนระดับการเต้นของหัวใจถึงอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด

6.3 อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส (Respiratory Exchange Ratio) เท่ากับหรือสูงกว่า 1.15

6.4 ค่าความเข้มข้นของแลคแตทในเลือดสูงกว่า 8 มิลลิโมลต่อลิตร

6.5 อาการสั่นทั้งตัวขณะปฏิบัติ

จากนั้นจึงบันทึกเวลาที่ทำได้ และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากโปรแกรม

**วิธีการคำนวณจากการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ**

หากเราใช้การติดเครื่องวิเคราะห์แก๊สในการทดสอบ ค่าที่ได้ออกมาจะแสดงผลในคอมพิวเตอร์ที่เครื่องวิเคราะห์แก๊สเชื่อมต่ออยู่ โดยผลที่ได้ค่อนข้างมีความแม่นยำ และน่าเชื่อถือ เพราะเป็นการวัดการแลกเปลี่ยนแก๊สจากลมหายใจของผู้ทดสอบในขณะที่ทำการทดสอบจริงๆ โดยจะทราบถึงการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ ระยะ แต่ถ้าหากไม่ได้ใช้การติดเครื่องวิเคราะห์แก๊ส เราก็สามารถคำนวณทางอ้อมได้

โดยดูจากเวลา หรือระดับที่ทำได้ในการทดสอบ จากสมการต่อไปนี้

$VO_2max$ (ml/kg/min) = 14.76 - (1.379 × T) + (0.451 × $T^2$) - (0.012 × $T^3$)

หรือ

ผู้หญิง : $VO_2max$ (ml/kg/min) = 2.94 x T + 3.74

เด็กผู้หญิง : $VO_2max$ (ml/kg/min) = 4.38 × T - 3.9

ผู้ชาย : $VO_2max$ (ml/kg/min) = 2.94 x T + 7.65

เด็กผู้ชาย : $VO_2max$ (ml/kg/min) = 3.62 x T + 3.91

ที่มา : ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual

โดย T คือ เวลาที่สามารถทำได้ ตัวอย่างเช่น สามารถทำได้ที่ 10 นาที 45 วินาที ก็จะแทนค่าด้วย 10.75

**ข้อควรระวัง** เนื่องจากการทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่ระดับความสามารถสูงสุด จึงเหมาะกับนักกีฬาที่มีสมรรถภาพของหัวใจและหลอดเลือดที่ดีในระดับหนึ่ง และต้องมีผู้ควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด ตลอดการทดสอบ

### 2.6 ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกและการทดสอบ

#### 2.6.1 ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก

ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก คือ ความสามารถสูงสุดของร่างกายในการออกกำลังกายโดยใช้ระบบการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีองค์ประกอบในการประเมินอยู่ 3 ส่วน คือ

1. พลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power)

2. ความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity)

3. ดัชนีความล้า (Fatigue Index)

**2.6.1.1 พลังแบบแอนแอโรบิก**

หมายถึง ความสามารถสูงสุดที่กล้ามเนื้อทำงานโดยใช้ความสามารถของกล้ามเนื้อในการที่จะสังเคราะห์พลังงานระบบฟอสฟาเจน หรือ ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกโดยไม่ใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงานแบบระบบพลังงานฉับพลัน (Immediate Energy System) เป็นหลัก หรือเป็นค่าปริมาณงานสูงสุดที่ทำได้ในช่วง 3 – 5 วินาทีแรกของการทดสอบขณะที่ปราศจากการใช้ออกซิเจน เรียกว่า พลังสูงสุดที่แสดงออก (Peak Power Output) มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watts) (Beam & Adams, 2011; Zacharogiannis et al., 2003)

**2.6.1.2 ความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิก**

หมายถึง ความสามารถสูงสุดในจะรักษาระดับการทำงานของกล้ามเนื้อให้คงอยู่แบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้พลังงานจากการทำงานร่วมกันของระบบเอทีพี – ซีพี และระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส ซึ่งเป็นการใช้พลังงานแบบฉับพลัน และ การใช้พลังงานแบบระยะสั้นจากไกลโคเจนที่เก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อเป็นหลักในช่วงระยะเวลาสั้นๆ มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watts) (Beam & Adams, 2011; Medbø & Burgers, 1990; Zacharogiannis et al., 2003)

แมคอาเดิลและคณะ(McArdle et al., 2010) กล่าวว่า ความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิกหรือกำลังเฉลี่ยนั้น เป็นการแสดงถึงความสามารถในการใช้พลังงานแบบไกลโคไลติก ซึ่งสมรรถภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ เป็นองค์ประกอบสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกีฬาหลาย ๆ ประเภท โดยเฉพาะกีฬาที่มีการแข่งขันที่ใช้ความสามารถสูงสุด หรือกำลังความเร็วสูงสุดมีการทำงานซ้ำหลาย ๆ เที่ยวเป็นระยะเวลานาน เช่น ฟุตบอล บาสเกตบอล รักบี้ฟุตบอล เทนนิส เป็นต้น

**2.6.1.3 ดัชนีความล้า**

เป็นตัวที่บ่งบอกถึงความล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นหลังจากการทำงานหนักแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยที่ ถ้าดัชนีความล้ามีค่ามากแสดงว่า กล้ามเนื้อมีความล้าสูงนั่น หมายถึง กล้ามเนื้อมีความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับต่ำและในทางกลับกัน ถ้าดัชนีความล้ามีค่าน้อยแสดงว่ากล้ามเนื้อมีความล้าต่ำนั่น หมายถึง กล้ามเนื้อมีความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับสูง (Zacharogiannis et al., 2003)

**2.6.1.4 การพัฒนาการทำงานของระบบแอนแอโรบิก**

ในการฝึกเพื่อพัฒนาการทำงานของระบบแอนแอโรบิกมีวิธีการและรูปแบบในการฝึกที่หลากหลาย เช่น การสปริ๊นท์ การวิ่งขึ้นบันได การฝึกแบบพลัยโอเมตริก เหล่านี้เป็นเพียงบางส่วนของกิจกรรมการฝึกที่สามารถใช้ในการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก บางโปรแกรม

การฝึกให้ความสำคัญต่อระบบฟอสฟาเจน เช่น การสปริ๊นท์และการฝึกพลัยโอเมตริก ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้ระยะเวลาน้อยกว่า 10 วินาที และมีการพักอย่างเต็มที่ เช่น 5 – 10 นาที ดังนั้นกรดแลคติกจะไม่สะสมในปริมาณที่มาก และนักกีฬาสามารถปฏิบัติที่ความหนักสูงสุดได้ การฝึกรูปแบบนี้จะเพิ่มความสามารถของความเร็วและพลัง ขึ้นอยู่กับการระดมระบบประสาทที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะต้องมีการพักฟื้น เพราะความเร็วและพลังไม่สามารถพัฒนาได้เมื่อนักกีฬาปฏิบัติทักษะในขณะที่เมื่อยล้า ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญของการฝึกที่ให้ความสำคัญต่อระบบฟอสฟาเจน แต่ในการฝึกระบบไกลโคไลติกจะมีช่วงการพักที่สั้น และใช้การปฏิบัติที่ต่ำกว่าความเร็วและพลังสูงสุดการผสมผสานการเผาพลาญพลังงานทั้ง 2 ระบบเป็นสิ่งสำคัญที่จำเป็นในการฝึก เนื่องจากนักกีฬาต้องมีการปฏิบัติทักษะในสภาวะที่เมื่อยล้า อย่างไรก็ตาม การเผาพลาญพลังงานแต่ละระบบจำเป็นต้องฝึกครั้งละรูปแบบเพื่อให้ได้ผลดีที่สุด (Baechle & Earle, 2000)

การฝึกแบบแอนแอโรบิก และกิจกรรมที่มีระยะเวลาน้อยกว่า 2 นาที จะเกี่ยวข้องกับการใช้ระบบฟอสฟาเจนและระบบกรดแลคติกในการให้พลังงาน โดยกิจกรรมที่ใช้ระยะเวลาน้อยกว่า 6 วินาที จะใช้พลังงานส่วนใหญ่จากระบบฟอสฟาเจน ส่วนกิจกรรมที่มีระยะเวลาตั้งแต่ 30 – 90 วินาที จะใช้พลังงานส่วนใหญ่จากระบบกรดแลคติก ซึ่งระบบพลังงานนี้สามารถพัฒนาได้ โดยใช้รูปแบบการฝึกแบบสลับช่วง สิ่งที่สำคัญก็คือ ถึงแม้ว่าระบบพลังงานหนึ่งอาจจะเป็นระบบที่เป็นแหล่งสำคัญในการให้พลังงานในการทำกิจกรรมใดๆ แต่ระบบพลังงานทั้งหมดจะถูกใช้ในการให้พลังงานอยู่ตลอดเวลา (Wathen & Roll, 1994)

ชาร์คกี้และแกสคิล (Sharkey & Gaskill, 2006) กล่าวว่า กีฬาที่ต้องใช้แรงสูงสุด เช่น การยกน้ำหนัก การสปริ๊นท์ พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่จะใช้จากระบบเอทีพี ซีพี ที่สะสมอยู่ในร่างกาย และจากการสลายไกลโคเจน โดยไม่ใช้ออกซิเจน การหดตัวของกล้ามเนื้อในระยะสั้นอย่างรวดเร็วจะนำไปสู่การเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและอาจจะเพิ่มเอนไซม์ในระบบเอทีพี ซีพี และระบบไกลโคไลซิส ความพยายามในการฝึกระบบพลังงานนี้ ด้วยการใช้ความพยายามอย่างหนักเป็นเวลา 30 วินาที สามารถเพิ่มความสามารถของกิจกรรมที่ใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสได้ 10 – 15 % อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ของการฝึกเพื่อเพิ่มสมรรถภาพยังไม่ชัดเจน อาจเป็นไปได้ที่การพัฒนาจะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular) รวมถึงการเพิ่มความแข็งแรง ดังนั้นจึงสามารถสรุปประโยชน์ของการฝึกแบบแอนแอโรบิกว่าเป็นความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน และเนื่องจากเป็นการฝึกที่ใช้ความหนักสูง สามารถทำให้เกิดการบาดเจ็บได้ เราจึงควรใช้ความหนักที่เหมาะสมในการฝึกแบบสลับช่วง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักกีฬาระดับเยาวชน นักกีฬาที่ใช้พลังและการสปริ๊นท์ในการแข่งขันจำเป็นต้องมีการฝึกแบบแอนแอโรบิกที่เพียงพอ เพื่อเป็นพื้นฐานของสมรรถภาพและป้องกันการบาดเจ็บและส่งเสริมประสิทธิภาพขณะใช้ความพยายามสูงสุด

พาวเวอร์และฮาวลี่ย์ (Powers & Howley, 2009) กล่าวว่า สถานการณ์ในการแข่งขันที่ใช้เวลาน้อยกว่า 6 วินาที จะใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกเป็นสำคัญ โดยทั่วไปการฝึกเพื่อเพิ่มพลังแบบแอนแอโรบิกจำเป็นต้องเพิ่มสมรรถภาพของทั้งระบบแอทีพี ซีพี และ ระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส อย่างไรก็ดี บางกิจกรรมต้องการการสนับสนุนของทั้ง 2 ระบบในการให้พลังงานที่จำเป็นในการแข่งขัน นอกจากนั้นโปรแกรมการฝึกต้องมีการใช้กลุ่มกล้ามเนื้อเดียวกันกับที่นักกีฬาใช้ในขณะแข่งขัน

อาซิซ เชีย และเท (Aziz, Chia, & Teh, 2000) กล่าวว่า ในการฝึกวิ่งระยะทาง 40 เมตร ด้วยการฝึกแบบซ้ำเที่ยว (Repeated Sprint) เป็นการฝึกที่ใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิก เพราะการวิ่งเร็วเป็นการฝึกแบบเจาะจงซึ่งคล้ายกับการใช้ความสามารถในการแข่งขันจริงมากกว่าการฝึกแบบอื่นๆ และสามารถกำหนดรูปแบบการฝึกได้ เช่น ระยะทางในการวิ่ง จำนวนเที่ยวในการวิ่ง ระยะเวลาในการพักระหว่างเที่ยว ซึ่งสามารถปรับให้เหมาะสมกับการแข่งขันจริงได้

ในเรื่องการพัฒนาการทำงานของระบบแอนแอโรบิกสามารถสรุปได้ว่า วิธีการพัฒนาการทำงานของระบบแอนแอโรบิกมีหลายรูปแบบ เช่น การฝึกแบบสลับช่วง การฝึกความเร็ว การฝึกพลัยโอเมตริก การฝึกวิ่งแบบซ้ำเที่ยว ซึ่งการเลือกใช้รูปแบบการฝึกต้องคำนึงถึงรูปแบบที่ใช้ในการแข่งขันจริงเป็นสำคัญ โดยที่การฝึกระบบฟอสฟาเจนนั้นใช้เวลาในช่วงเวลาสั้นๆ (น้อยกว่า 10 วินาที) และต้องให้มีการพักอย่างเต็มที่ (5 – 10 นาที) ส่วนการฝึกระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสจะใช้ระยะเวลาในการฝึกที่นานกว่า (20 – 60 วินาที) และมีระยะเวลาในการพักที่สั้นกว่าการฝึกระบบฟอสฟาเจน

**2.6.2 การทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก**

**2.6.2.1 การทดสอบด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ (Running-based Anaerobic Sprint Test : RAST)**

การทดสอบด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ (RAST) ถูกพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยวูลฟ์แฮมพ์ตัน ในประเทศอังกฤษ เพื่อทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกในนักกีฬา การทดสอบด้วยวิธีนี้มีความคล้ายคลึงกับการทดสอบด้วยวิธีวินเกทแอนแอโรบิกเทสต์ ที่สามารถทดสอบพลังแบบแอนแอโรบิก ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก และดัชนีความล้า ได้เช่นเดียวกัน แต่การทดสอบด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ต่างจากการทดสอบด้วยวิธีวินเกททั้งเรื่องของความเฉพาะเจาะจงของแบบทดสอบและค่าใช้จ่ายในการทดสอบ การทดสอบด้วยวิธีวินเกทจำเป็นที่ต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น จักรยานวัดงาน และคอมพิวเตอร์ ซึ่งโค้ชทุกคนอาจไม่มีความพร้อมในการจัดหาอุปกรณ์สองสิ่งนี้มาใช้ เนื่องจากราคาแพง และไม่สามารถหาได้ในบางโอกาส และการทดสอบด้วยวิธีวินเกทมีความเฉพาะเจาะจงกับนักกีฬาจักรยานมากกว่า ในขณะที่การทดสอบด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ใช้แค่นาฬิกาจับเวลาและเครื่องคิดเลข มีความเฉพาะเจาะจงสำหรับการทดสอบความสามารถด้านแอนแอโรบิกในกีฬาที่ใช้การวิ่งเป็นทักษะพื้นฐานได้เหมาะสมกว่า

นอกจากนั้นเวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบใกล้เคียงกับ 30 วินาที ทำให้การทดสอบนี้สามารถเปรียบเทียบกับการทดสอบด้วยวิธีวินเกทได้ เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบจะได้เวลาจากการวิ่ง 6 ครั้ง ซึ่งสามารถใช้คำนวณ พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (Peak Anaerobic Power) พลังต่ำสุดแบบแอนแอโรบิก (Min Anaerobic Power) ความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity) และค่าดัชนีความล้า (Fatigue Index) โดยใช้น้ำหนักของผู้ทดสอบในการคำนวณ ซึ่งซาคาโรจิแอนนิสและคณะ (Zacharogiannis, Paradisis, & Tziortzis, 2004) รายงานไว้ว่าแบบทดสอบนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งในการประเมินความสามารถในการสังเคราะห์พลังงานแบบแอนแอโรบิก โดยที่ค่าพลังแบบแอนแอโรบิก หรือปริมาณสูงสุดของพลังงานที่ได้รับจากระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนต่อหน่วยเวลาที่ทดสอบได้นั้น แสดงถึงความสามารถของกล้ามเนื้อในการที่จะสังเคราะห์พลังงานในระบบฟอสฟาเจนหรือระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกโดยไม่ใช้ออกซิเจน โดยการนำเอาเวลาที่เร็วที่สุดในการวิ่งในการทดสอบของแต่ละคนมาใช้ในการคำนวณโดยที่ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการวิ่งเที่ยวแรกหรือเที่ยวที่สองของการทดสอบ ซึ่งความสามารถทางด้านพลังแบบแอนแอโรบิกของแต่ละคนแตกต่างกันออกไปตามความสามารถ และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่จะทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพภายในระยะเวลาอันสั้น

ส่วนค่าความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิก หรือปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ได้รับจากระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจน อันได้แก่ระบบฟอสฟาเจนและระบบไกลโคไลซิสหรือระบบแลคติกของแต่ละคน ซึ่งความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิกจากการทดสอบด้วยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อด้วยความสามารถสูงสุดและต่อเนื่องกันด้วยการวิ่งในช่วงเวลา 20 – 60 วินาที นอกจากนี้ค่าดัชนีความล้าที่เป็นตัวบ่งบอกถึงความล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นหลังจากการทำงานหนักอย่างเต็มที่ตามเวลาที่แบบทดสอบกำหนด ซึ่งหาได้จาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[ (กำลังสูงสุด – กำลังต่ำสุด) / เวลารวมในการวิ่งทั้งหมด ]

ถ้าค่าที่ได้มีค่ามากแสดงว่า กล้ามเนื้อมีความล้าสูง หมายถึงกล้ามเนื้อมีความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับต่ำ และในทางกลับกันถ้าค่าน้อยแสดงว่า กล้ามเนื้อมีความล้าต่ำ หมายถึง กล้ามเนื้อมีความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับสูง

ซึ่งซาคาโรจิแอนนิสและคณะ (Zacharogiannis et al., 2004) ได้ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยใช้แบบทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ โดยทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบด้วยแบบทดสอบวินเกทและแบบทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ โดยใช้นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 พบว่าค่าของพลังแบบแอนแอโรบิกสูงสุดมีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่า r = 0.82 และค่าความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิกมีความสัมพันธ์กันโดย

มีค่า r = 0.75 ซึ่งสามารถใช้แบบทดสอบ รันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ แทนการทดสอบด้วยวินเกทในการทดสอบพลังแบบแอนแอโรบิก และความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก

**อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดสอบ**

1. ลู่วิ่ง หรือ สนามที่มีระยะทางยาว 35 เมตร เป็นเส้นตรง
2. นาฬิกาจับเวลา
3. กรวย 2 อัน ใช้สำหรับจุดเริ่มต้นวิ่งและจุดสิ้นสุด ระยะห่าง 35 เมตร
4. นกหวีด 1 ตัว
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. ผู้ช่วยทดสอบ
7. เครื่องคิดเลข

**วิธีการทดสอบด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์**

- ผู้ทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักของผู้ทดสอบก่อนการทดสอบและอธิบายวิธีการทดสอบ
2. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่ง เพื่อทำการอบอุ่นร่างกาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 – 15 นาที
3. ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งโดยใช้ความเร็วสูงสุดเหมือนการทดสอบจริง 1 เที่ยว หลังการอบอุ่นร่างกายให้พัก 5 นาที ก่อนเริ่มการทดสอบ
4. ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 35 เมตร จำนวน 6 เที่ยว โดยในแต่ละเที่ยวจะมีเวลาพักระหว่างเที่ยว 10 วินาที โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบพักที่เส้น 35 เมตร (ไม่ต้องกลับมายังจุดเริ่มต้น) ผู้ทดสอบเริ่มวิ่งจากท่ายืน ย่อตัว หรือ ก็ได้ และในการวิ่งทุกเที่ยว ผู้ทดสอบจำเป็นที่จะต้องวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดตลอดทั้งระยะทาง 35 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ผู้ช่วยทดสอบ

1. บันทึกเวลาที่ทำได้ในแต่ละเที่ยว จากการวิ่ง 35 เมตร จำนวน 6 เที่ยว
2. เพื่อให้การบันทึกเวลามีความแม่นยำ ควรใช้ผู้ช่วยในการจับเวลา 2 คน ผู้ช่วยคนที่ 1 จะทำหน้าที่ในการจับเวลาพักระหว่างเที่ยว (10 วินาที) และให้สัญญาณเสียงหมดเวลาพักแก่ผู้เข้ารับการทดสอบ ผู้ช่วยคนที่ 2 จะจับเวลาในการวิ่งที่ทำได้ในแต่ละเที่ยว
3. นำเวลาที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังแบบแอนแอโรบิก ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก และค่าดัชนีความล้า

**การคำนวณ**

พลังแบบแอนแอโรบิกของการวิ่งแต่ละเที่ยวคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (Harman,1955):

ความเร็ว (Velocity) = ระยะทาง (Distance) ÷ เวลา (Time)

ความเร่ง (Acceleration) = ความเร็ว (Velocity) ÷ เวลา (Time)

แรง (Force) = น้ำหนักตัว (Weight) × ความเร่ง (Acceleration)

พลัง (Powers) = แรง (Force) × ความเร็ว (Velocity)

= น้ำหนักตัว (Weight) × ระยะทาง (Distance)$^2$ ÷ เวลา (Time) $^3$

โดยที่ พลัง มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)

น้ำหนักตัว (กก.) คือ น้ำหนักตัวของผู้เข้ารับการทดสอบ

ระยะทาง (เมตร) คือ ระยะทางในการทดสอบ คือ 35 เมตร

เวลา (วินาที) คือ เวลาที่ทำได้ในการวิ่ง 35 เมตร จากการวิ่ง 6 ครั้ง สามารถคำนวณพลังในแต่ละครั้ง และสามารถหาค่าต่อไปนี้ได้ คือ

- พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (Peak Anaerobic Power )

  ได้จาก ค่าที่ได้สูงสุด

- พลังต่ำสุดแบบแอนแอโรบิก (Min Anaerobic Power)

  ได้จาก ค่าที่ได้น้อยที่สุด

- ความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity)

  ได้จาก ผลรวมจากพลังทั้งหมด 6 ครั้ง ÷ 6

- ค่าดัชนีความล้า (Fatigue Index)

  ได้จาก (ค่าที่ได้สูงสุด – ค่าที่ได้น้อยที่สุด) ÷ ผลรวมเวลาทั้งหมด 6 ครั้ง

**ตัวอย่างการคำนวณ**

ผู้ทดสอบน้ำหนัก 76 กิโลกรัม และเวลาที่ใช้วิ่งของระยะทาง 35 เมตร จำนวน 6 เที่ยวเป็นดังนี้

เที่ยวที่ 1 4.52 วินาที

เที่ยวที่ 2 4.75 วินาที

เที่ยวที่ 3 4.92 วินาที

เที่ยวที่ 4 5.21 วินาที

เที่ยวที่ 5 5.46 วินาที

เที่ยวที่ 6 5.62 วินาที

พลังแบบแอนแอโรบิกจากสมการ น้ำหนักตัว(Weight) × ระยะทาง(Distance)$^2$ ÷ เวลา (Time) $^3$ จากการวิ่งแต่ละเที่ยว เป็นดังนี้

เที่ยวที่ 1 1,008 วัตต์ ($76 \times 35^2 \div 4.523$)

เที่ยวที่ 2 869 วัตต์ ($76 \times 35^2 \div 4.753$)

เที่ยวที่ 3 782 วัตต์ ($76 \times 35^2 \div 4.923$)

เที่ยวที่ 4 658 วัตต์ ($76 \times 35^2 \div 5.213$)

เที่ยวที่ 5 572 วัตต์ ($76 \times 35^2 \div 5{,}463$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เที่ยวที่ 6 525 วัตต์ $(76 \times 35^2 \div 5.623)$

พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก = 1,008 วัตต์

พลังต่ำสุดแบบแอนแอโรบิก = 525 วัตต์

ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก = (1,008 +869+782+658+572+525) ÷ 6

= 736 วัตต์

ค่าดัชนีความล้า = (1,008 – 525) ÷ 30.48

= 15.8 วัตต์/วินาที

**การวิเคราะห์ผล**

วิเคราะห์ผลได้โดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบก่อนหน้านั้น ซึ่งสามารถชี้ให้เห็นถึงการพัฒนาที่เกิดขึ้นได้

พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (Maximum Anaerobic Power) คือ การทดสอบพลังสูงสุดและเป็นข้อมูลที่บอกถึงความแข็งแรง (Strength) และความเร็วสูงสุด (Maximal Sprint Speed) จากตัวอย่างที่ยกมา ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 1,008 วัตต์ ถึง 525 วัตต์

พลังต่ำสุดแบบแอนแอโรบิก (Minimum Anaerobic Power) คือ การที่พลังต่ำสุดที่ได้จากวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดจากการวิ่ง 35 เมตร และนำไปใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความล้า

พลังเฉลี่ย (Average Power) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของผู้ทดสอบ ในการที่จะรักษาระดับของพลังสูงสุดให้นานที่สุด ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการทำงานทางด้านแอนแอโรบิก

ค่าดัชนีความล้า (Fatigue Index) เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการลดลงของพลัง หากค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าต่ำ (<10) แสดงว่าผู้ทดสอบมีความสามารถในการรักษาระดับของการทำงานที่ดี แต่หากได้ค่าดัชนีความล้าสูง (>10) ก็ชี้ให้เห็นว่า ผู้ทดสอบควรมีการพัฒนาในด้านความทนทานต่อแลคเตท (Lactate Tolerance)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การนำวิธีทดสอบนี้ไปใช้**

การทดสอบนี้ควรใช้เป็นประจำตลอดทั้งโปรแกรมการฝึก ผลการทดสอบควรนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบก่อนหน้านั้น เพื่อกำหนดโปรแกรมการฝึกต่อไปเมื่อได้รับผลจากการฝึกที่คาดหวังไว้แล้ว นอกจากนั้น ผลการทดสอบสามารถใช้เพื่อปรับความเหมาะสมของการฝึกได้ สิ่งที่สำคัญของการทดสอบในแต่ละครั้ง คือ สถานที่ ช่วงเวลาในการทดสอบ สภาพแวดล้อมขณะการทดสอบ การอบอุ่นร่างกาย ต้องควบคุมกันให้คล้ายคลึงกันในการทดสอบแต่ละครั้ง

- ควรใช้แบบทดสอบนี้เมื่อไหร่?

การทดสอบด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ สามารถใช้ได้เป็นประจำ (3 ถึง 6 สัปดาห์) ตลอดทั้งฤดูกาลของการฝึก ระยะเวลาระหว่างการทดสอบควรจะถูกกำหนดโดยช่วงของโปรแกรมการฝึก และปริมาณของการฝึก

- กลุ่มเป้าหมายของการทดสอบ

การทดสอบนี้เหมาะสมสำหรับนักกีฬาประเภทที่ใช้ความเร็วสูงสุดแบบต่อเนื่อง และนักกีฬาประเภทความอดทน ตัวอย่างเช่น ฟุตบอล รักบี้ และวิ่ง

**3. การฝึกสมรรถภาพทางกายในกีฬาฟุตซอล**

**3.1 หลักในการฝึก**

หลักในการฝึกกีฬาแบ่งออกเป็น 4 หลักการฝึกได้ดังนี้ ตามแนวความคิดของ (Bompa, 1993)

**3.1.1 หลักการของความหลากหลายในการฝึก (Principle of variety)**

ความหลากหลายในการฝึก เป็นสิ่งจาเป็นในการพัฒนาการฝึก เพราะจะส่งผลดีต่อร่างกายและจิตใจของนักกีฬา เพราะการฝึกที่ซ้าๆกันนั้น นักกีฬาจะเกิดความเบื่อหน่าย ไม่เกิดความอยากฝึก การให้ความหลากหลายของรูปแบบการฝึกที่เหมาะสมกับการพัฒนาการ การเคลื่อนที่และเคลื่อนไหวของร่างกายในช่วงก่อนการแข่งขัน ในช่วงระหว่างแข่งขัน และช่วงจบฤดูการแข่งขัน ความหลากหลายในการฝึกโดยการการใช้น้าหนักในการฝึกที่สัมพันธ์กับหลักการเพิ่มน้าหนักแบบก้าวกระโดดในการฝึก ความหลากหลายในเรื่องของชนิดของการหดตัวของกล้ามเนื้อ ความหลากหลายในเรื่องของความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ตามโปรแกรมที่กาหนดที่สัมพันธ์กับช่วงของการฝึก และรวมไปถึงความหลากหลายของเครื่องมือที่ใช้ในการฝึก ความหลากหลายของระยะเวลาในการฝึก จะส่งผลให้การฝึก และนักกีฬามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

**3.1.2 หลักการของความแตกต่างของแต่ละบุคคล (Principle of individualization)**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความแตกต่างระหว่างบุคคลในการฝึก ที่จะต้องคานึงถึง คือ ระดับความสามารถของแต่ละบุคคล และรวมไปถึงพื้นฐานของแต่ละบุคคล ดังนั้น ถ้ามีนักกีฬา 10 คน ก็หมายความว่า ความแตกต่างของแต่ละบุคคลก็ต้องมีมากขึ้นตามจานวนนักกีฬาที่มี ถึงแม้นักกีฬาจะเล่นกีฬาประเภทเดียวกัน การฝึกก็อาจจะไม่เหมือนกัน

**3.1.3 หลักการของความเฉพาะเจาะจง (Principle of specificity)**

การฝึกที่ดีนั้นควรจะมีความเฉพาะเจาะจงที่จะพัฒนาขีดความสามารถในชนิดกีฬานั้นๆ จึงเป็นเหตุเป็นผลทาให้ต้องเลือกโปรแกรมการฝึกที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการเคลื่อนที่และเคลื่อนไหวของร่างกายในกีฬาประเภทนั้นๆ หรือทักษะทางกีฬา ควรพิจารณาดังนี้ คือ ระบบพลังงานหลักที่ต้องใช้ในกีฬาประเภทนั้นๆ ควรเลือกที่จะฝึกระบบพลังงานใดก่อนหลัง มีระบบพลังงานแบบใดเป็นระบบพลังงานหลัก และรองลงมา เช่น กีฬาแบดมินตัน ที่เป็นเกมการแข่งขันระยะยาว การแสดงออกทาง

ทักษะ คือ ตีลูกไปยังฝั่งตรงข้ามด้วยความรุนแรง หนัก เร็ว และแม่นยา รวมถึงมีการเคลื่อนที่และเคลื่อนไหวร่างกายสลับหยุดพัก เป็นต้น

3.1.4 **หลักการของการแบบก้าวหน้าในการฝึก (Principle of progressive increase)**

หลักการของความก้าวหน้าในการฝึก เป็นพื้นฐานสาคัญสาหรับการวางแผนการฝึกของนักกีฬา ซึ่งควรคานึงถึงระดับความสามารถ และพื้นฐานการฝึก ของนักกีฬาแต่ละบุคคลด้วย

**3.2 การฝึกแบบสลับช่วงและการฝึกแบบหนักสลับพัก (Interval Training and Intermittent Training)**

การปฏิบัติกิจกรรมที่กระทำโดยไม่มีการหยุดระหว่างการฝึกจะเรียกการฝึกนั้นว่า การฝึกแบบต่อเนื่อง แต่ถ้าการฝึกนั้นถูกแบ่งออกเป็นช่วงโดยมีช่วงปฏิบัติกิจกรรมสลับกับช่วงพักหรือช่วงการฟื้นตัว ก็จะเรียกการฝึกนั้นว่า การฝึกแบบสลับช่วง (Interval Training)

การฝึกสลับช่วงนั้นมีการวิจัยและพัฒนาวิธีการฝึกมาอย่างยาวนาน มีนักวิชาการหลายท่านได้กล่าวถึงการฝึกแบบสลับช่วงด้วยความหนักสูงว่าสามารถพัฒนาระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกทั้งระบบเอทีพี – ซีพี และระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสได้เป็นอย่างดี และยังส่งผลถึงการพัฒนาระบบแอโรบิกด้วย (Barnett et al., 2004; Gibala et al., 2006; Hazell et al., 2010; MacDougall et al., 1998; Macpherson et al., 2011) ซึ่งการฝึกแบบสลับช่วงได้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงรูปแบบที่ได้กำหนดใช้ช่วงระยะเวลาของการปฏิบัติกิจกรรมในช่วงสั้นๆ จนถึงช่วงนานปานกลาง มาเป็นรูปแบบที่กำหนดใช้ช่วงเวลาของการหยุดพักจากระยะสั้นถึงระยะทางปานกลาง หรือใช้วิธีลดความหนักของงานลงมาแทนการหยุดพัก เป็นต้น ความคิดเกี่ยวกับการฝึกแบบนี้จะมีรากฐานจากการอาศัยหลักการทางสรีรวิทยา ซึ่ง เคนนี่และคณะ (Kenney et al., 2015) ได้สรุปว่า มีผลการวิจัยที่แสดงให้เห็นว่านักกีฬาจะสามารถปฏิบัติงานได้มากขึ้น โดยการหยุดพักการปฏิบัติงานเป็นช่วงเวลาสั้นๆ หรือโดยการลดปริมาณของการฝึกลง หรือโดยการกระจายความเข้มข้นของงาน และการหยุดพักเป็นช่วงๆ สลับกันอย่างต่อเนื่องและเหมาะสม โดยปกติช่วงการฝึกและช่วงการหยุดพักจะมีความเท่ากันและสามารถใช้ระยะเวลาได้หลากหลาย นับตั้งแต่จำนวนหลายวินาทีไปจนถึง 5 นาที หรือมากกว่า มีข้อเสนอแนะว่า โปรแกรมการฝึกแบบสลับช่วงควรจะมีการใช้ระยะเวลาทั้งแบบช่วงสั้นและแบบช่วงยาว เพื่อให้ได้รับการฝึกอย่างหลากหลายในการเพิ่มสมรรถภาพทั้งทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก

พาวเวอร์และฮาวลี่ (Powers & Howley, 2009) ได้กล่าวไว้ว่า การฝึกแบบสลับช่วง เป็นการออกกำลังกายที่แบ่งออกเป็นช่วงๆ โดยมีช่วงของการพื้นสภาพในระหว่างการฝึกหรือการออกกำลังกาย การฝึกแบบสลับช่วงที่มีระยะทางมากจะส่งผลทำให้ร่างกายใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจนและส่งผลให้ร่างกายมีการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มสูงขึ้น

เคนนี่และคณะ (Kenney et al., 2015) ได้กล่าวไว้ว่า การฝึกแบบสลับช่วง เป็นการฝึกแบบเป็นช่วงซ้ำๆกัน โดยประกอบด้วยช่วงของการฝึกซึ่งมีความหนักที่สูง ร่วมกับช่วงของการพักสั้นๆ การฝึกแบบสลับช่วงจะส่งผลให้มีการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจน เนื่องจากช่วงของการพักจะส่งผลทำให้ร่างกายมีการฟื้นสภาพ การฝึกวิธีนี้จะช่วยความอดทนในการทำงานของร่างกายแบบใช้ออกซิเจนได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

โพลแมนและสมิธ (Plowman & Smith, 2013) ได้กล่าวถึงการฝึกแบบสลับช่วง คือ การออกกำลังกายในแบบแอโรบิกและ/หรือแอนแอโรบิกที่กำหนดเลือกใช้องค์ประกอบ 3 ประการ คือ การกำหนดช่วงของการปฏิบัติงาน เวลาที่กำหนด และจำนวนเวลาที่กำหนดสำหรับการฟื้นตัวจากการปฏิบัติงานก่อนที่จะปฏิบัติการฝึกซ้ำในช่วงต่อไป การฝึกแบบนี้ส่วนมากจะใช้ในโปรแกรมฝึกเพื่อการแข่งขันของกีฬาชนิดต่างๆ เช่น บาสเกตบอลวิ่งระยะสั้นและระยะกลาง เป็นต้น การฝึกรูปแบบนี้จะประกอบด้วยช่วงฝึกที่มีความเข้มข้นสูงสลับกับช่วงหยุดพัก ซึ่งหมายถึงการปฏิบัติกิจกรรมการฝึกที่มีความเข้มข้นระดับหนึ่งซ้ำๆ กันเป็นช่วง หรือเป็นรอบ หรือเป็นเซต โดยแต่ละช่วงของการฝึกจะมีช่วงพัก ซึ่งอาจใช้เวลาที่เท่ากันกับเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการฝึก หรืออาจจะใช้เวลามากกว่าเล็กน้อย ในระหว่างช่วงการหยุดพัก สารเคมีที่ทำให้ให้เกิดอาการล้าจะมีโอกาสถูกจำกัดออกไปได้มากขึ้น และสิ่งที่เป็นต้นตอของพลังงานใหม่ก็จะถูกนำเข้ามาใช้ในกล้ามเนื้อ ยกตัวอย่าง การฝึกของนักวิ่งระยะทาง 1,500 เมตร อาจใช้วิธีฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งเป็นระยะทาง 400 เมตร ในเวลา 60 วินาที เป็นจำนวน 8 เที่ยว โดยมีการหยุดพักระหว่างการวิ่งในแต่ละเที่ยวเป็นเวลา 3 นาที เป็นต้น

จากการศึกษาของงานวิจัยที่มีการใช้การฝึกแบบสลับช่วงที่เกิดการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก พบว่าความถี่ที่ใช้ในการฝึกจะอยู่ที่ 3 วันต่อสัปดาห์ (K. A. Burgomaster et al., 2008; Gibala et al., 2006; Hazell et al., 2010; Macpherson et al., 2011; Ziemann et al., 2011) ไปจนถึงฝึกทุกวัน (Parra et al., 2000) ซึ่งแม้ว่าบางงานวิจัยจะใช้ระยะเวลาในช่วงสั้น ๆ เช่น 2 สัปดาห์ (McKay, Paterson, & Kowalchuk, 2009; Parra et al., 2000) แต่มีการฝึกอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ก็สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกได้

### 3.2.1 การฝึกแบบหนักสลับพัก

การฝึกแบบหนักสลับพัก เป็นรูปแบบหนึ่งของการฝึกแบบสลับช่วง โดยลักษณะของการออกกำลังกายทั้งสองกลุ่มเป็นลักษณะการทำงานที่มีการผสมผสานระหว่างช่วงของการฝึกและช่วงของการพักเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบระหว่างการออกกำลังกาย ซึ่งหากเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของทั้งสองลักษณะจะมีความแตกต่างกันที่ความหนักและระยะเวลาการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยในการออกกำลังกายแบบหนักสลับพัก จะมีการสลับกันของ “การระเบิด” ในการออกกำลังกายที่หนัก และ “ช่วงสั้น ๆ” ของการออกกำลังกายที่เบา (น้อยกว่า 1 นาที) ความหนักของการฝึกด้วยวิธีการนี้สูงกว่าค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด

หรือสูงกว่าอัตราการเต้นของชีพจรที่ระดับ 90% ของอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด หรือมากกว่า 100% ของความเร็วสูงสุดแบบแอโรบิก การฝึกชนิดนี้ควรฝึกกับนักกีฬาที่มีประสบการณ์และการเตรียมความพร้อมทางด้านความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกเป็นอย่างดีแล้ว และ การฝึกชนิดนี้เป็นการฝึกที่มีความหนักสูง ระยะเวลาพักน้อย จึงควรจัดโปรแกรมการฝึกให้ระยะเวลาฝึกและพักมีความสัมพันธ์กันและตรงกับประเภทของกีฬา (Kent, 2006; Shephard & Astrand, 1992)

**4. การฝึกบนที่สูงและการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ**

การที่มนุษย์ขึ้นไปอยู่บนที่สูง เป็นการขึ้นไปอยู่ท่ามกลางสิ่งแวดล้อมที่มีความดันบรรยากาศแตกต่างจากความกดดันบรรยากาศบนพื้นราบจากระดับน้ำทะเล ซึ่งมีค่าความกดดันบรรยากาศเท่ากับ 1 บรรยากาศ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท ท่ามกลางสิ่งแวดล้อมบนที่สูง ได้ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตและความสามารถในการทำงานของร่างกาย การออกกำลังกายและกิจกรรมอื่นๆ ที่มนุษย์ต้องการกระทำในชีวิตประจำวันผลกระทบเหล่านี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับความสูง โดยยิ่งสูงมากผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตและการทำงานของมนุษย์ก็ยิ่งมากขึ้น เนื่องจากในสภาพแวดล้อมบนที่สูง ออกซิเจนในบรรยากาศเบาบาง จากการที่ความกดดันบรรยากาศลดลง (Strauss, 1984) ซึ่งโดยปกติแล้ว ความต้องการออกซิเจนในการสร้างพลังงานของร่างกาย ที่ความหนักของระดับหนึ่ง ๆ จะคงที่เสมอ ไม่ว่ามนุษย์จะอยู่ที่ความสูงมากน้อยเพียงใด แต่ปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศบนที่สูง ซึ่งร่างกายนำไปใช้ได้ลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น โดยยิ่งสูงมากปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายได้รับก็ลดลงมาก แม้ว่าสัดส่วนของออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศจนถึงระดับความสูง 110,000 เมตร จะมีค่าคงที่เท่ากับร้อยละ 20.93 ก็ตาม แต่ออกซิเจนในบรรยากาศที่ปกคลุมพื้นผิวโลกที่ระดับน้ำทะเล จะถูกแรงดึงดูดของโลกกดดันให้โมเลกุลของก๊าซอัดแน่นกันมากกว่า ดังนั้นโมเลกุลของก๊าซที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรจึงมีมาก แต่บนที่สูงจากระดับน้ำทะเล แรงดึงดูดของโลกลดลง ทำให้อากาศขยายตัวมากขึ้น ความหนาแน่นของก๊าซที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรจึงน้อยลง ส่งผลให้ความดันย่อยของออกซิเจนในบรรยากาศลดลงด้วยการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากสภาวะบนพื้นราบที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งปกติเกิดได้จากความแตกต่างของความดันออกซิเจนที่ถุงลมปอด กับความดันของออกซิเจนในเลือดดำ ที่ไหลเวียนเข้ามาในปอด หากความดันของออกซิเจนในอากาศหายใจเข้าลดลง จะทำให้ความดันของออกซิเจนในถุงลมปอดลดลงด้วย (Frisancho, Velásquez, & Sanchez, 1973) ซึ่งจากการที่ความดันบรรยากาศลดลงและทำให้ความดันของออกซิเจนลดลงนี้ทำให้ดูเหมือนว่าสภาวะที่เกิดขึ้นสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic Condition) ในการแบ่งระดับความสูงนั้น บาทช์ ดโวแรค และซาลติน (Bärtsch, Saltin, & Dvorak, 2008) ได้กล่าวถึงการแบ่งระดับระดับความสูงของการฝึกบนที่สูงไว้ 5 ระดับคือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. ความสูงที่ใกล้เคียงระดับน้ำทะเล (Near Sea Level) มีความสูงตั้งแต่ 0 ถึง 500 เมตร จากระดับน้ำทะเล มีค่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศร้อยละ 20.9 ถึงประมาณ 20.0 ซึ่งเป็นระดับออกซิเจนปกติ

2. ความสูงระดับต่ำ (Low Altitude) มีความสูงมากกว่า 500 ถึง 2,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล ที่ระดับนี้พบว่า ความสามารถทางแอโรบิกจะลดลงเล็กน้อย มีค่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศตั้งแต่ประมาณร้อยละ 20.0 ถึงประมาณ 16.5

3. ความสูงระดับกลาง (Moderate Altitude) มีความสูงมากกว่า 2,000 ถึง 3,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล ที่ระดับนี้พบว่า อาการแพ้ความสูง (Mountain Sickness) จะเริ่มเกิดขึ้น และการปรับตัวจะมีผลที่สำคัญกับการประสิทธิภาพในการทำงาน มีค่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศตั้งแต่ประมาณร้อยละ 16.5 ถึงประมาณ 14.2

4. ความสูงระดับสูง (High Altitude) มีความสูงมากกว่า 3,000 ถึง 5,500 เมตร จากระดับน้ำทะเล ที่ระดับนี้พบว่า อาการแพ้ความสูง และประสิทธิภาพในการทำงานของร่างกายจะลดลงอย่างมาก มีค่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศตั้งแต่ประมาณร้อยละ 14.2 ถึงประมาณ 10.5

### 3.1 การตอบสนองต่อที่สูงและสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

เมื่อสัมผัสกับอากาศบนที่สูงหรือในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ร่างกายจะมีการปรับตัวโดยมีการตอบสนองที่เกิดขึ้นทันที และการตอบสนองในระยะยาวเมื่อร่างกายเกิดความเคยชินต่อการอยู่ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ดังนี้

#### 3.1.1 การตอบสนองที่เกิดขึ้นทันที

1. การระบายอากาศเพิ่มขึ้น (Hyperventilation) โดยจะมีการเพิ่มขึ้นทันที และมีการเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2-3 สัปดาห์แรก จนถึงเป็นปีเมื่ออยู่ในที่สูงหรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยมีกลไกที่เกิดจากการที่ออกซิเจนลดน้อยลง ทำให้คีโมรีเซปเตอร์ (Chemoreceptors) กระตุ้นให้มีการหายใจเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในถุงลม การเพิ่มความดันออกซิเจนในถุงลมพร้อมกับการระบายอากาศจะทำให้ออกซิเจนในปอดเพิ่มขึ้น (Noble, 1986)

2. การสูญเสียน้ำ (Fluid Loss) ร่างกายอาจสูญเสียน้ำออกไปโดยการระเหยจากทางเดินหายใจ และเป็นผลให้ร่างกายขาดน้ำ ปากและคอแห้ง โดยเฉพาะผู้ที่ออกกำลังกายก็จะยิ่งเสียน้ำออกไปอีกทางเหงื่อจึงทำให้ขาดน้ำได้มาก จึงควรให้มีการตรวจสอบน้ำหนักร่างกาย และดื่มน้ำชดเชยอยู่เสมอ (McArdle et al., 2010)

3. ระบบไหลเวียนโลหิตมีการตอบสนองมากขึ้น (Accelerated circulatory response) โดยในระยะแรกพบว่า อัตราการเต้นหัวใจเกือบจะสูงสุด (Submaximum Heart Rate) และปริมาตรการสูบฉีดของเลือดในหนึ่งนาที (Cardiac output) อาจเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาตรการสูบฉีด

เลือดต่อการเต้นของหัวใจหนึ่งครั้ง (Stroke volume) ยังไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดที่มาจากอัตราการสูบฉีดเลือดในหนึ่งนาทีจะช่วยชดเชยภาวะที่เลือดมีออกซิเจนลดลงได้ (McArdle et al., 2010)

**3.1.2 การปรับตัวระยะยาว**

1. การปรับสมดุลกรด-ด่าง เมื่ออยู่ในที่สูงร่างกายจะมีการขับ $CO_2$ ออกมามากทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะเป็นด่าง ร่างกายจะมีการปรับตัวโดยการปรับ $HCO_3$ โดยทางไต

2. ลดความสามารถการเป็นบัฟเฟอร์ เมื่อร่างกายต้องมีการปรับตัวทำให้ร่างกายต้องเสียด่างสำรองไป ดังนั้นเมื่อออกกำลังกายแล้วมีการหลั่งกรดแลคติคออกมา ร่างกายจึงไม่สามารถขจัดกรดแลคติคออกไปได้อย่างดี ทำให้มีการจำกัดการออกกำลังกาย

3. การเปลี่ยนแปลงทางเลือด เมื่อปริมาณของออกซิเจนในเลือดลดลง โดยไตจะสร้างฮอร์โมนอีริทโทรโพอิติน (Erythropoietin) เพิ่มขึ้น และการเพิ่มระดับของอีริทโทรโพอิตินนี้จะช่วยกระตุ้นให้ไขกระดูกสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น เพื่อช่วยในการจับและขนส่งออกซิเจนไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายผ่านระบบไหลเวียนเลือดต่อไป (Wilber, 2004)

4. การปรับตัวของเซลล์ พบว่า หลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้อลายเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดระยะการดูดซึมของออกซิเจนระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อ นอกจากนี้มีการเพิ่มขึ้นของจำนวน 2,3 Diphosphoglycerate (2-3 DPG) ไมโตรคอนเดรีย (Mitochondria) ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ในพลังงานแอโรบิก และมีปริมาณของไมโอโกลบินเพิ่มขึ้น 16 เปอร์เซ็นต์ (McArdle et al., 2010)

**3.2 รูปแบบการฝึกบนที่สูงและการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ**

**3.2.1 การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric Hypoxic Training)**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric Hypoxic Training) เป็นวิธีการฝึกที่พัฒนามาจากหลักการฝึกแบบอยู่ในที่ต่ำ และฝึกบนที่สูง (Live Low – Train High : LLTH) ซึ่งเป็นการฝึกร่างกายของนักกีฬาในสภาวะที่ในอากาศมีออกซิเจนน้อยกว่าปกติ ซึ่งโดยทั่วไปจะนิยมใช้วิธีการฝึกในภูมิประเทศที่มีความสูงระดับสูง (High Altitude Training) แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีในการจำลองสภาวะความสูง (Simulated Altitude Training) มาใช้ในการฝึกนักกีฬา เพื่อให้ได้ภาวะที่ใกล้เคียงกับการฝึกในที่สูง คือสภาวะที่มีระดับปริมาณของออกซิเจนในอากาศ ($FiO_2$) ต่ำเทียบเท่ากับสภาวะของออกซิเจนที่มีในระดับความสูงที่แตกต่างกัน วิธีการฝึกที่ผู้เข้ารับการฝึกจะใช้ชีวิตที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ และสัมผัสกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกติหรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันอากาศต่ำในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องและช่วงเวลาที่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง 2-5 ครั้งต่อสัปดาห์ (Wilber et al., 2007) โดยการฝึกแบบ LLTH

นี้สามารถนำมาใช้ได้เมื่อนักกีฬาอยู่ในช่วงพัก ซึ่งเรียกว่า การสัมผัสหรือการพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Intermittent Hypoxic Exposure: IHE) และใช้ในช่วงที่นักกีฬาทำการฝึกซ้อม ซึ่งเรียกว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Intermittent Hypoxic Training: IHT)

การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติจะใช้ระบบจำลองในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องและน้อยกว่า 3 ชั่วโมง จำนวน 2-5 ครั้งต่อสัปดาห์ (Wilber et al., 2007) ซึ่งการฝึกในลักษณะนี้สามารถนำมาใช้ได้เมื่อนักกีฬาอยู่ในช่วงพัก ซึ่งเรียกว่า การสัมผัสหรือการพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Intermittent Hypoxic Exposure: IHE) และใช้ในช่วงที่นักกีฬาทำการฝึกซ้อม ซึ่งเรียกว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Intermittent Hypoxic Training: IHT) โดย IHE / IHT มีการพบว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำในช่วงสั้น ๆ ร่วมกับการฝึกสมรรถภาพทางกายนั้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (Czuba et al., 2011; Mao et al., 2011; Meeuwsen et al., 2001) เพิ่มเอนไซม์ไกลโคไลติก การขนส่งกลูโคส และการควบคุมความเป็นกรดด่างในร่างกาย (Dufour et al., 2006; Vogt et al., 2001; Zoll et al., 2006) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการประกอบกิจกรรมแบบแอนแอโรบิกจากการเพิ่มขึ้นของไกลโคไลติก (Hamlin et al., 2010) ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว (Faiss, Leger, et al., 2013; Galvin et al., 2013) และพบว่าการใช้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถกระตุ้นการปรับตัวในการฝึกโดยใช้แรงต้านได้ (Manimmanakorn, Hamlin, et al., 2013; Manimmanakorn, Manimmanakorn, et al., 2013; Nishimura et al., 2010) ในขณะที่งานวิจัยบางส่วนก็มีข้อพบว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำนั้น ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดหรือความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกได้ (Morton & Cable, 2005; Neya et al., 2007; Roels et al., 2007; Truijens et al., 2003; Ventura et al., 2003) แม้ว่าการวิธีการฝึกแบบ IHT จะยังเป็นที่ถกเถียงถึงผลของการฝึก แต่เชื่อกันว่าหากมีจำนวนครั้ง ความหนัก วิธีการฝึก และระดับของปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่เหมาะสม ก็จะสามารถช่วยให้ระดับความสามารถของนักกีฬาเพิ่มมากขึ้นได้ (Czuba et al., 2013; McLean et al., 2014)

**3.3 ความปลอดภัยในการฝึก**

สำหรับความปลอดภัยของการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำนั้น พบว่าในสภาวะปกติร่างกายจะมีค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด(**Pulse Oxygen Saturation:** $SpO_2$) อยู่ที่ 95-100% โดยสามารถวัดได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Pulse Oximeter ซึ่งถ้าได้รับออกซิเจนในปริมาณที่น้อยลงค่า $SpO_2$ ก็จะลดลงเรื่อย ๆ ในการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจึงมีข้อควรระวังคือ ระดับ $SpO_2$ หากต่ำกว่า 80% อาจทำให้การทำงานของอวัยวะบกพร่อง เช่น สมองและหัวใจ ซึ่งควรได้รับการดูแลและแก้ไขในทันที เนื่องจากหากปล่อยให้มีระดับของออกซิเจนในเลือดในระดับต่ำต่อไป อาจทำให้เกิดอาการหยุดหายใจ หรือหัวใจหยุดเต้นได้ (Woerlee, 2005)

**5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

**5.1 งานวิจัยในประเทศ**

**3.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกแบบสลับช่วงและการฝึกแบบหนักสลับพัก**

วรเมธ ประจงใจ (2556) ทำการศึกษาผลของการฝึกด้วยโปรแกรมหนักสลับพักที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางอนากาศนิยมและอากาศนิยมของนักกีฬาแบดมินตันเยาวชนชาย กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักกีฬาแบดมินตัน อายุระหว่าง 14-18 ปี จำนวน 24 ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการกำหนดกลุ่มแบบสุ่ม (Random Assignment) ออกเป็น 2 กลุ่มกลุ่มละ 12 คน กลุ่มทดลองฝึกด้วยโปรแกรมหนักสลับพัก 2 วันต่อสัปดาห์และฝึกปกติ กลุ่มควบคุม ฝึกปกติเพียงอย่างเดียว ระยะเวลาฝึกทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ ทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางอนากาศนิยมและอากาศนิยมก่อนการทดลอง หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 8 พบว่า ความสามารถที่แสดงออกทางอนากาศนิยมและอากาศนิยมของกลุ่มทดลอง ดีกว่า กลุ่มควบคุม หลังจากการทดลองสัปดาห์ที่ 4 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มทดลอง มีความสามารถที่แสดงออกทางอนากาศนิยมและอากาศนิยม หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 8 ดีกว่า ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มควบคุม หลังการทดลองสัปดาห์ที่ 8 มีค่าดัชนีความล้าและค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ดีกว่า ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 8 มีค่าพลังแบบอนากาศนิยม ความสามารถสูงสุดแบบอนากาศนิยม และค่าจุดกั้นแอนแอโรบิกไม่แตกต่างกัน ก่อนการทดลองและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 การฝึกหนักสลับพักมีผลต่อความสามารถที่แสดงออกทางอนากาศนิยมและอากาศนิยมของนักกีฬาแบดมินตันเยาวชนชาย ผู้ฝึกสอนสามารถนำโปรแกรมการฝึกหนักสลับพักไปใช้ได้จริง และผสมผสานกับแผนการฝึกซ้อมของนักกีฬาระดับเยาวชน เพื่อความสำเร็จในอนาคตต่อไป

วิรัตน์ สนธิ์จันทร์ (2555) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบอินเทอร์วาลที่ระดับความหนักและระยะเวลาที่ต่างกัน ที่มีต่อความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ปริมาณฮีโมโกลบิน สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกและแอนแอโรบิกเทรชโฮล ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ภายหลังการฝึกที่ระดับความหนักร้อยละ 80-85 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 3 นาที สลับกับช่วงพัก 3 นาที สามารถพัฒนาค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ และค่าแอนแอโรบิกเทรชโฮลให้เพิ่มสูงขึ้นได้ ส่วนการฝึกที่ระดับความหนักร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 1 นาทีสลับกับช่วงพัก 5 นาที สามารถพัฒนาค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ให้เพิ่มสูงขึ้นได้เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การฝึกแบบอินเทอร์วาลไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณฮีโมโกลบิน และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ฐาปนวัฒน์ สุขปาละ (2554) ศึกษาวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบการฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งและการปั่นจักรยานที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอนโรบิกและแอโรบิกของนักกีฬารักบี้ฟุตบอล เพื่อเปรียบเทียบการฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งและการปั่นจักรยานที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกและแอโรบิกของนักกีฬารักบี้ฟุตบอล กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬารักบี้ฟุตบอลชายของทีมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18 – 22 ปี จำนวน 27 คน โดยการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 9 คน ได้แก่ กลุ่มฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่ง กลุ่มฝึกแบบสลับช่วงด้วยการปั่นจักรยาน และกลุ่มควบคุม ทำการฝึกเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ๆ ละ 2 ครั้ง ทำการทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกและแอโรบิกก่อนการทดลองและหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละการเปลี่ยนแปลง และเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการทดลอง 6 สัปดาห์ภายในแต่ละกลุ่มโดยทดสอบค่าทีแบบรายคู่ (Paired t-test) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One – way Analysis of Variance) โดยหากพบความแตกต่างจึงเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยวิธีการของแอลเอสดี ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการวิจัยหลังการทดลอง 6 สัปดาห์พบว่า กลุ่มฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งและกลุ่มฝึกแบบสลับช่วงด้วยการปั่นจักรยาน มีค่าเฉลี่ยพลังแบบแอนแอโรบิก ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก และเวลาในการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ สูงกว่ากลุ่มควบคุมและก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ค่าเฉลี่ยดัชนีความล้า มีเพียงกลุ่มทดลองที่ 1 ที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง ส่วนร้อยละดัชนีความล้ามีเพียงกลุ่มควบคุมที่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดพบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทั้ง 3 กลุ่ม

**5.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ**

สมชาย กุลโสภิต (2555) ทำการวิจัยเรื่อง ผลการฝึกซ้อมบนที่สูงที่มีต่อสมรรถนะเชิงแอโรบิก แอนแอโรบิก และความสามารถของนักกีฬาเรือพายที่ระดับความสูง 300 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกซ้อมบนที่สูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 1,520 เมตร เป็นเวลา 28 วัน ระหว่าง ก่อน และหลังสิ้นสุดโปรแกรมการฝึกซ้อมเป็นระยะเวลา 1 วัน 7 วัน และ 14 วัน ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงด้านเลือด สมรรถนะเชิงแอโรบิก แอนแอโรบิก และความสามารถของนักกีฬาเรือพายด้านความอดทนและความเร็วของการพายเรือ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักพายเรือ จำนวน 10 คน อายุ 18 – 22 ปี เลือกแบบเจาะจง โดย 5 คนฝึกซ้อมบนที่สูงประมาณ 1,520 เมตร และ 5 คนเป็นกลุ่มควบคุม ฝึกซ้อมที่ความสูงประมาณ 300 เมตร ทั้งสองกลุ่มฝึกซ้อมตามโปรแกรมการฝึกเดียวกันเป็นเวลา 28 วัน ประกอบด้วย การฝึก

แบบสลับช่วง การฝึกโดยใช้น้ำหนัก การฝึกแบบแอโรบิก โดยฝึกซ้อมสัปดาห์ละ 6 วัน วันละ 3 – 4 ชั่วโมง และในวันอาทิตย์จะเป็นการฝึกทบทวนทักษะการพายเรือประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง พบว่า กลุ่มฝึกในที่สูง 1,520 เมตร ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริตและเซลล์เม็ดเลือดแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายหลังสิ้นสุดโปรแกรมการฝึกซ้อมเป็นเวลา 7 วัน สำหรับค่าตัวแปรอื่น ๆ ของเลือดหลังการฝึกซ้อมทุกช่วงเวลามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่าพลังงานแอโรบิกและแอนแอโรบิก หลังสิ้นสุดโปรแกรมการฝึกซ้อมเป็นระยะเวลา 1 วัน 7 วัน และ 14 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับความสามารถด้านการพายเรือเมื่อสิ้นสุดโปรแกรมการฝึกซ้อมเป็นระยะเวลา 1 วัน 7 วัน และ 14 วัน พบว่า เวลาในการพายเรือด้านความอดทนเพิ่มขึ้น สำหรับเวลาของความเร็วลดลง ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มควบคุม พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังสิ้นสุดโปรแกรมการฝึกซ้อม 7 วัน แต่หลังสิ้นสุดโปรแกรมการฝึก ปริมาณฮีมาโตคริตและฮอร์โมนอิริทโทรโปอิตินมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าตัวแปรอื่น ๆ ของเลือดหลังการฝึกซ้อมทุกช่วงเวลามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการวิจัยพบว่า ไม่มีข้อมูลที่สนับสนุนว่า ผลการฝึกซ้อมบนที่สูงประมาณ 1,520 เมตร เป็นระยะเวลา 28 วัน ส่งผลให้ร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านการพัฒนาระบบพลังงานแอโรบิก พลังงานแอนแอโรบิก และด้านโลหิตวิทยา แต่ทำให้ความสามารถในการพายเรือของนักกีฬาที่ได้รับการฝึกพัฒนาขึ้นที่ระดับพื้นที่ต่ำกว่า

ชายุตม์ หวังวนวัฒน์ (2554) ทำการวิจัยเรื่อง ผลของการฝึกบนที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,500 เมตร ต่อการเปลี่ยนแปลงผลทางโลหิตวิทยาในเด็กสุขภาพดีอายุ 10 – 12 ปี เพื่อศึกษาผลของการฝึกบนที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,500 เมตร ต่อการเปลี่ยนแปลงผลทางโลหิตวิทยา คือ จำนวนเม็ดเลือดขาว จำนวนเม็ดเลือดแดง ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน และค่าฮีมาโตคริต กลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กบนพื้นที่สูงที่มีสุขภาพดี อายุ 10 – 12 ปี จำนวน 16 คน (ชาย 12 คน หญิง 4 คน) โดย 8 คน ฝึกบนความสูง 1,500 เมตร และ 8 คน ไม่ได้รับการฝึกและใช้ชีวิตประจำวันตามปกติ ระยะเวลาการทดลอง สัปดาห์ละ 4 วัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ก่อนและหลังการฝึกตามโปรแกรมการฝึกบนที่สูง กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีค่าจำนวนเม็ดเลือดขาว จำนวนเม็ดเลือดแดง ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน ค่าฮีมาโตคริต ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม จึงแสดงให้เห็นว่า โปรแกรมการฝึกในที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,500 เมตร ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยาในเด็กสุขภาพดี อายุ 10 – 12 ปี ที่อาศัยอยู่บนที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,200 เมตร

**5.2 งานวิจัยต่างประเทศ**

**3.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกแบบสลับช่วงและการฝึกแบบหนักสลับพัก**

ดาล พูโพและคณะ (Dal Pupo et al., 2013) ซึ่งทำการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาและระบบประสาทกล้ามเนื้อในการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) และการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรง (Repeated Sprint in Straight Line) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตซอล 14 คน โดยกลุ่มวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ทำการวิ่งจำนวน 6 รอบ โดยมีระยะการวิ่งอยู่ที่ 2x12.5เมตร กลุ่มวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรงทำการวิ่งจำนวน 6 รอบ โดยมีระยะการวิ่งอยู่ที่ 25 เมตร ทำการเปรียบเทียบเวลาที่ดีที่สุดในการวิ่ง เวลาเฉลี่ย ดัชนีความล้า ความสามารถในการกระโดด และกรดแลคติกในเลือด ก่อนและหลังการวิ่ง พบว่าเวลาที่ดีที่สุดในการวิ่ง และเวลาเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อยในกลุ่มวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรง ขณะที่ดัชนีความล้ามีค่าน้อยกว่าในกลุ่มวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว โดยไม่พบความแตกต่างของความสามารถในการกระโดด และกรดแลคติกในเลือดระหว่างกลุ่ม ซึ่งจากงานวิจัยชิ้นนี้สรุปว่า แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันของเวลาที่ดีที่สุดในการวิ่ง และเวลาเฉลี่ย แต่ก็พบว่ามีความสัมพันธ์กัน และความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว (Repeated Sprint Ability) มีความเป็นอิสระจากการเปลี่ยนทิศทาง นอกจากนี้ความต้องการของระบบไกลโคไลติกและระบบกล้ามเนื้อไม่มีความแตกต่างกันจากรูปแบบการวิ่งสปริ๊นท์ทั้งสองแบบ

แม็คเพียสันและคณะ (Macpherson et al., 2011) ได้เปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสลับช่วงโดยการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (Sprint Interval Training) กับการฝึกวิ่งด้วยความอดทน (Endurance Training) ที่มีผลต่อองค์ประกอบของร่างกาย (Body Composition) เวลาในการวิ่ง 2,000 เมตร ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) และปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาที (Cardiac Output) กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ชายและผู้หญิงสุขภาพดี และบางคนเป็นนักกีฬา จำนวน 20 คน แบ่งเป็น กลุ่มทดลองที่ 1 จำนวน 10 คน ฝึกแบบสลับช่วงโดยการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดบนลู่กล (Treadmill) เป็นเวลา 30 วินาที ใช้เวลาในการพัก 4 นาที ฝึกซ้ำจำนวน 4 รอบ และเพิ่มจำนวนรอบในการฝึก 1 รอบทุกๆ 2 สัปดาห์ จนถึงครั้งละ 6 รอบ และกลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกความอดทนด้วยการวิ่งที่ความหนัก 65 % ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 30 – 60 นาที ต่อครั้ง ทั้งสองกลุ่มฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลจากการศึกษาพบว่ากลุ่มฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่ง มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นคือ มวลไขมัน (Fat Mass) ลดลง 12.4 % มวลกล้ามเนื้อ (Lean Mass) เพิ่มขึ้น 1 % เวลาในการวิ่งพัฒนาขึ้น 4.6 % และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น 11.5 % สรุปได้ว่าการฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งในระยะเวลาสั้นๆ โดยร่างกายมีการใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิก สามารถพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บุคไฮท์และคณะ (Buchheit et al., 2010) ได้ทำการเปรียบเทียบการตอบสนองของการวิ่งสปรึ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) และการวิ่งสปรึ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรง (Repeated Sprint in Straight Line) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาประเภททีมจำนวน 13 คน โดยกลุ่มวิ่งสปรึ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ทำการวิ่งจำนวน 6 รอบ โดยมีระยะการวิ่งอยู่ที่ 2x12.5เมตร กลุ่มวิ่งสปรึ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในทางตรงทำการวิ่งจำนวน 6 รอบ โดยมีระยะการวิ่งอยู่ที่ 25 เมตร ทำการเปรียบเทียบเวลาที่ดีที่สุดในการวิ่ง เวลาเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์การลดลงของความเร็ว ความสามารถในการใช้ออกซิเจน การลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขา (Vastus Lateralis) และปริมาณแลคเตทในเลือด พบว่า เวลาในการวิ่งของกลุ่มวิ่งสปรึ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจะใช้เวลาที่มากกว่าทั้งในส่วนของเวลาที่ดีที่สุดและเวลาเฉลี่ย เนื่องจากมีการลดลงของความเร็วในช่วงกลับตัว ในขณะที่เปอร์เซ็นการลดลงของความเร็วในกลุ่มวิ่งสปรึ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวน้อยกว่ากลุ่มวิ่งสปรึ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ปริมาณแลคเตทในเลือดและความสามารถในการใช้ออกซิเจนมากกว่าเล็กน้อยในกลุ่มวิ่งสปรึ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว และไม่มีความแตกต่างจากการลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นขา ซึ่งจากงานวิจัยนี้สรุปว่าลักษณะการวิ่งสปรึ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวเหมาะสำหรับนำไปใช้ทำการฝึกเพื่อให้เกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยไม่เป็นการเพิ่มโหลดให้กับกล้ามเนื้อต้นขาเมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งสปรึ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวซึ่งไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง

ฮาเซลและคณะ (Hazell et al., 2010) ได้เปรียบเทียบผลจากการฝึกแบบสลับช่วงโดยใช้ระยะเวลาในการพักที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า เวลาที่ใช้ในการปั่นจักรยาน 5 กิโลเมตร ของกลุ่มต่างๆมีการพัฒนาขึ้นดังนี้ กลุ่ม 30 : 4 (5.2%) กลุ่ม 10 : 4 (3.5%) และกลุ่ม10 : 2 (3.0%) ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2$max) เพิ่มขึ้นในกลุ่ม 30:4 (9.3%) และกลุ่ม10:4 (9.2%) แต่ไม่มีการพัฒนาเกิดขึ้นในกลุ่ม10:2 พลังแบบแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้น ดังนี้ กลุ่ม 30 : 4 (9.5%) กลุ่ม10 : 4 (8.5%) และกลุ่ม10 : 2 (4.2%) ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นดังนี้ กลุ่ม 30 : 4 (12.1%) กลุ่ม 10 : 4 (6.5%) จึงสรุปได้ว่าแบบฝึกโดยวิธีสลับช่วงของกลุ่มทดลองทุกกลุ่ม มีผลต่อการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกและแอโรบิก

บราโว และคณะ (Bravo et al., 2008) ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกสลับช่วงด้วยความหนักสูงและฝึกความสามารถในการวิ่งสปรึ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ที่มีตัวแปรทางสรีรวิทยาแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตบอล กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 42 คน แบ่งเป็น กลุ่มฝึกสลับช่วง ฝึกวิ่งที่ความหนัก 90-95%ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 4 นาที จำนวน 4 เที่ยว และกลุ่มฝึกวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดไปกลับระยะทาง 40 เมตร 6 เที่ยว จำนวน 3 ชุด เป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มฝึกวิ่งสปรึ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว มีการพัฒนาของความอดทนจากการทดสอบ yo-yo intermittent recovery test และความสามารถในการเร่งความเร็วแบบซ้ำดีกว่ากลุ่มฝึกสลับช่วง ส่วนความสามารถ

ในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เวลาในการวิ่ง 10 เมตร ความสูงในการกระโดดและพลังของทั้งสองกลุ่มมีการพัฒนาขึ้นในระดับใกล้เคียงกัน

นอโควสกี้และฮูซินสกี้ (Norkowski & Huciński, 2007) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่ง ที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ในการศึกษาครั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาผู้ชาย ที่ไม่เป็นนักกีฬา จำนวน 24 คน แบ่งเป็น กลุ่มทดลอง จำนวน 12 คน ฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งไปกลับด้วยความเร็วสูงสุด จำนวน 24 รอบ ระยะทาง 25+25 เมตร รวมระยะทางประมาณ 1,200 เมตร ใช้เวลาประมาณ 8 – 10 วินาทีต่อรอบ ระยะเวลาในการพัก 30 วินาที ฝึก 4 ครั้งต่อสัปดาห์ ทั้งหมด 6 สัปดาห์ โดยทำการฝึกบนสนามแฮนด์บอล และกลุ่มควบคุมจำนวน 12 คน ใช้ชีวิตประจำวันตามปกติ พบว่า ค่าเฉลี่ยของเวลารวมจากการวิ่งไปกลับ 25+25 เมตร มีการลดลงในกลุ่มทดลอง โดยเกิดขึ้นหลังจากฝึกไป 3 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยของงาน (J/kg) ที่ได้จากการทดสอบวินเกทในแต่ละสัปดาห์ของกลุ่มทดลองพัฒนาขึ้นโดยแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 3 ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยของพลังสูงสุด (W/kg) ของกลุ่มฝึกแบบสลับช่วงพัฒนาขึ้น โดยแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 6 ค่าเฉลี่ยของเวลาที่รักษาระดับการปฏิบัติขณะระดับสูงสุด พัฒนาขึ้นโดยแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 6 สรุปได้ว่า รูปแบบการฝึกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีผลในการพัฒนาทั้งพลังแบบแอนแอโรบิกและความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ซึ่งสามารถนำโปรแกรมการฝึกนี้ไปประยุกต์ใช้พัฒนาพลังแบบแอนแอโรบิกและความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ในการฝึกกีฬาที่มีความหนักสูงขณะแข่งขันได้

จิบาลา และคณะ (Gibala et al., 2006) ได้เปรียบเทียบความแตกต่างในการเปลี่ยนแปลงของระบบเมตาบอลิก โมเลกุล และเซลล์ในกล้ามเนื้อ ของการฝึกแบบสลับช่วงด้วยความเร็วสูงสุด ที่ใช้ระยะเวลาในการฝึกสั้นๆ (Sprint-interval training) และการฝึกความอดทน (Endurance training) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ชายสุขภาพดี จำนวน 16 คน แบ่งเป็น กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบสลับช่วงโดยการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุด ความหนักประมาณ 700 วัตต์ เป็นเวลา 30 วินาที ใช้เวลาในการพัก 4 นาที ฝึกซ้ำจำนวน 4 รอบ และเพิ่มจำนวนรอบในการฝึก 1 รอบทุกๆการฝึก 2 ครั้ง จนถึงครั้งละ 6 รอบ กลุ่มที่ 2 ฝึกความอดทนด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 % ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด แรงต้านประมาณ 175 วัตต์ เป็นเวลา 90 – 120 นาที ต่อครั้ง ทั้งสองกลุ่มฝึกทั้งหมด 6 ครั้ง ในระยะเวลา 2 สัปดาห์ แต่ละครั้งห่างกัน 1 – 2 วัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มฝึกสลับช่วงและกลุ่มฝึกความอดทน แต่ความแตกต่างของปริมาณการฝึกที่ใช้เวลาน้อยกว่า (เวลารวม 2.5 ชั่วโมงในกลุ่มฝึกสลับช่วง และ 10.5 ชั่วโมงกลุ่มฝึกความอดทน) โดยแตกต่างกันถึง 90% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ของการฝึกที่ดีกว่าในเรื่องของระยะเวลาการในฝึก และความหนักโดยรวมทั้งหมด (630 กิโลจูล ในกลุ่มฝึกสลับช่วง และ 6,500 กิโลจูล ในกลุ่มฝึกความอดทน)

เอดจ์และคณะ (Edge et al., 2005) ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงความหนักสูงและการฝึกแบบต่อเนื่องความหนักปานกลางที่มีต่อความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว (Repeated sprint ability) กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้หญิง 20 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มฝึกแบบสลับช่วงความหนักสูงทำการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 120-140% ของระดับกั้นแลคเตท 2 นาที 6-10 เที่ยว กลุ่มฝึกแบบต่อเนื่องความหนักปานกลางทำการฝึกปั่นจักรยานที่ความหนัก 80-95% ของระดับกั้นแลคเตท เป็นเวลา 20-30 นาที 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มฝึกแบบสลับช่วงด้วยความหนักสูงสามารถพัฒนาความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว 5x6วินาที สลับพัก 30 วินาที ได้ดีกว่ากลุ่มฝึกแบบต่อเนื่องด้วยความหนักปานกลาง

ดูปองท์และคณะ (Dupont et al., 2004) ได้ศึกษาการฝึกแบบสลับช่วงความหนักสูงในนักฟุตบอลอาชีพช่วงฤดูกาลแข่งขัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ทำการฝึกวิ่งแบบหนักสลับพัก (Intermittent run) 12 -15 ชุด ชุดละ 15 วินาที ที่ความหนัก 120% ของความเร็วสูงสุดแบบแอโรบิก (Maximal Aerobic Speed: MAS) สลับกับการพัก 15 วินาที และฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว (Sprint Repetitions) 12 -15 ชุด ชุดละ 40 เมตร วิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสลับกับการพัก 30 วินาที พบว่า การฝึกสามารถพัฒนาความเร็วสูงสุดแบบแอโรบิกและลดเวลาในการวิ่ง 40 เมตรลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001

### 3.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

โบรเชอรีและคณะ (Brocherie et al., 2015) ทำการศึกษาการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ในนักกีฬาฟุตบอลชายระดับเยาวชน จำนวน 16 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง ฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 14.3% และกลุ่มควบคุม ฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 21% ฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว 2 ชุดต่อเนื่อง โดยชุดที่ 1 ทำ 10 ชุด ๆ ละ 30 เมตร สลับพัก 30 วินาที ต่อด้วยชุดที่ 2 ทำ 6 ชุด ๆ ละ 20 เมตร สลับพัก 30 วินาที ฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า การฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว สามารถเพิ่มความคล่องแคล่วว่องไวในการเร่งความเร็วซ้ำ ๆ แต่ไม่มีผลต่อพลังระเบิดของขา ความเร็วสูงสุด และความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว

แกทเตอเรอร์และคณะ (Gatterer et al., 2014) ทำการศึกษาการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำในนักกีฬาฟุตบอลเยาวชนชั้นยอด กลุ่มตัวอย่างจำนวน 16 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง ฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 14.8% (เทียบเท่าระดับความสูง 3300 เมตร) และกลุ่มควบคุม ฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.95% ทำการฝึก 3 ชุด ชุดละ 5 เที่ยว เที่ยวละ 10 วินาทีไปและ

กลับด้วยความเร็วสูงสุดในการวิ่งระยะ 4.5 เมตร สลับพัก 20 วินาทีต่อเที่ยว และ 5 นาทีต่อชุด ทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า การฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวสามารถฝึกในห้องที่มีขนาดจำกัด และการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถทำให้ความเมื่อยล้าลดลงได้ดีกว่าในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

กู๊ดส์และคณะ (Goods et al., 2014) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ระยะเวลา 4 วินาที 9 รอบ จำนวน 3 เซ็ตภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ระดับน้ำทะเล สภาวะจำลองออกซิเจนต่ำเทียบเท่าความสูง 2,000 3,000 และ 4,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล พบว่าความสูงที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดลดลง ในเซ็ตแรกค่าพลังเฉลี่ยมีการลดลงในระดับ 4,000 เมตร แต่หลังจากปฏิบัติครบทุกเซ็ตค่าพลังเฉลี่ยมีการลดลงในกลุ่มสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำทุกกลุ่ม ค่าพลังสูงสุดสามารถรักษาระดับไว้ได้ทุกเซ็ต ยกเว้นเซ็ตที่ 3 ในระดับ 4,000 เมตร ค่ากรดแลคติกในเลือดสูงสุดที่ระดับ 4,000 เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับน้ำทะเลหลังจากปฏิบัติทุกเซ็ต ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ความสูงที่สูงกว่าอาจจะไม่ใช่สิ่งที่ดีกว่าในการฝึกซ้อม และระดับปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่น้อยกว่าอาจจะไม่ใช่ระดับที่เหมาะสมกับการฝึกซ้อม โดยระดับความสูงที่แนะนำในการฝึกอยู่ที่ 2,000-3,000 เมตร

โบวเทลและคณะ (Bowtell et al., 2014) ได้ทำการวิจัยเรื่องการตอบสนองอย่างฉับพลันทางสรีรวิทยาและความสามารถในการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ($FiO_2$: 12%, 13%, 14%, 15%, 21%) ด้วยการให้นักกีฬาทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดภายในระยะเวลา 6 วินาที สลับกับการพัก 30 วินาที จำนวน 10 รอบ ทำการวัดค่าความเร็วสูงสุดในการวิ่ง คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิสทำการทดสอบจากขั้วไฟฟ้าพื้นผิวตลอดช่วงการออกกำลังกาย ควบคู่ไปกับอัตราการเต้นของหัวใจและความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด การตอบสนองทางระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิตทำการประเมินจากการวิเคราะห์แก๊ส และอัตราการลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อทำการทดสอบจากอุปกรณ์ Near Infrared Spectroscopy พบว่า ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำทุกระดับเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญโดย อัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการระบายอากาศหายใจต่อนาที ค่าแลคติกในเลือด และอัตราการลดลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อมีการเพิ่มขึ้น ขณะที่ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ความสามารถในการใช้ออกซิเจน และค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีการลดลง และมีการแตกต่างมากที่สุดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ 13% อย่างไรก็ตามดัชนีความล้า และการลดลงของความเร็วมีความแตกต่างมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสภาวะออกซิเจนปกติ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าหากต้องการทำการฝึกให้ร่างกายเกิดการตอบสนองต่อความเครียดจากสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำได้ผลที่สุด โดยยังรักษาระดับของความเร็วสูงสุดไว้ได้และ

ไม่เกิดความเมื่อยล้ามากจนเกินไปนั้น ควรทำการฝึกที่ระดับปริมาณของออกซิเจนในอากาศอยู่ที่ 13%

ฟาอิสและคณะ (Faiss, Leger, et al., 2013) ทำการศึกษาผลของการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อความสามารถในการสปรินท์ซ้ำของนักกีฬา โดยทำการฝึกปั่นจักรยานด้วยการสปริ้นท์ซ้ำ ๆ โดยกลุ่มทดลองทำการฝึกที่ระดับออกซิเจนเทียบเท่าความสูง 3,500 เมตรจากระดับน้ำทะเล และกลุ่มควบคุมทำการฝึกที่ระดับออกซิเจนปกติที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งพบว่าหลังการฝึกความสามารถในการสปริ้นท์ของทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แต่จำนวนครั้งที่ทำการสปริ้นท์จนเกิดการล้าของกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01ในขณะที่กลุ่มที่ฝึกที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ตัวแปรทางสรีรวิทยาอื่น ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เฉพาะในกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ทำให้ความสามารถในการสปริ้นท์ซ้ำของนักกีฬาดีกว่าการฝึกที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติจากการปรับตัวในระดับโมเลกุลและการขนถ่ายเลือดเพื่อใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อ

ซูบาและคณะ (Czuba et al., 2013) ทำการศึกษาผลของการฝึกสลับช่วงความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อความสามารถในการใช้ออกซิเจนของนักกีฬาบาสเกตบอล โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่าง ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 6 คน กลุ่มที่ 1 ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำเทียบเท่าความสูง 2500 เมตร มีปริมาณออกซิเจนในอากาศ 15.2% กลุ่มที่ 2 ทำการฝึกที่ออกซิเจนปกติ ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยฝึกวิ่งที่ความหนัก 90% ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จำนวน 5 รอบ รอบละ 4 นาที และทำการเพิ่มความเร็ว ให้ระดับความสามารถในการใช้ออกซิเจนอยู่ที่ 90% โดยมีช่วงการผ่อนเบา 4 นาที ที่ความหนัก 60% ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งพบว่ากลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ มีค่าความสามรถในการใช้ออกซิเจนสูงกว่ากลุ่มที่ฝึกที่ออกซิเจนปกติ

วอร์ทแมน (Wortman, 2012) ได้ทำการสังเคราะห์งานวิจัยโดยใช้วิธีวิเคราะห์อภิมาน (Meta – analysis) เกี่ยวกับการฝึกแบบอยู่ในที่ต่ำและฝึกบนที่สูง (Live Low –Train High : LLTH) พบว่า ขนาดผลกระทบสูงสุดของการฝึกจะอยู่ที่ระดับความสูง 2,500 – 3,000 เมตร ขนาดผลกระทบสูงสุดของการฝึกอยู่ที่ 15 วัน ขนาดผลกระทบสูงสุดของความถี่ในการฝึกคือ 6 วันต่อสัปดาห์ ขนาดผลกระทบสูงสุดของระยะเวลาในการฝึกคือ 97 นาที ต่อการฝึกหนึ่งครั้ง ขนาดผลกระทบสูงสุดของการใช้ความหนักในการฝึกอยู่ที่ 60-65% ของ $VO_2$max ที่ระดับน้ำทะเล และขนาดผลกระทบสูงสุดหลังจากการฝึกจะพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นในวันที่ 8 หลังยุติการฝึก

แฮมลิน (Hamlin et al., 2010) ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบ Live Low – Train High ที่มีต่อความอดทนและความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกในการปั่นจักรยาน โดยใช้นักกีฬาที่

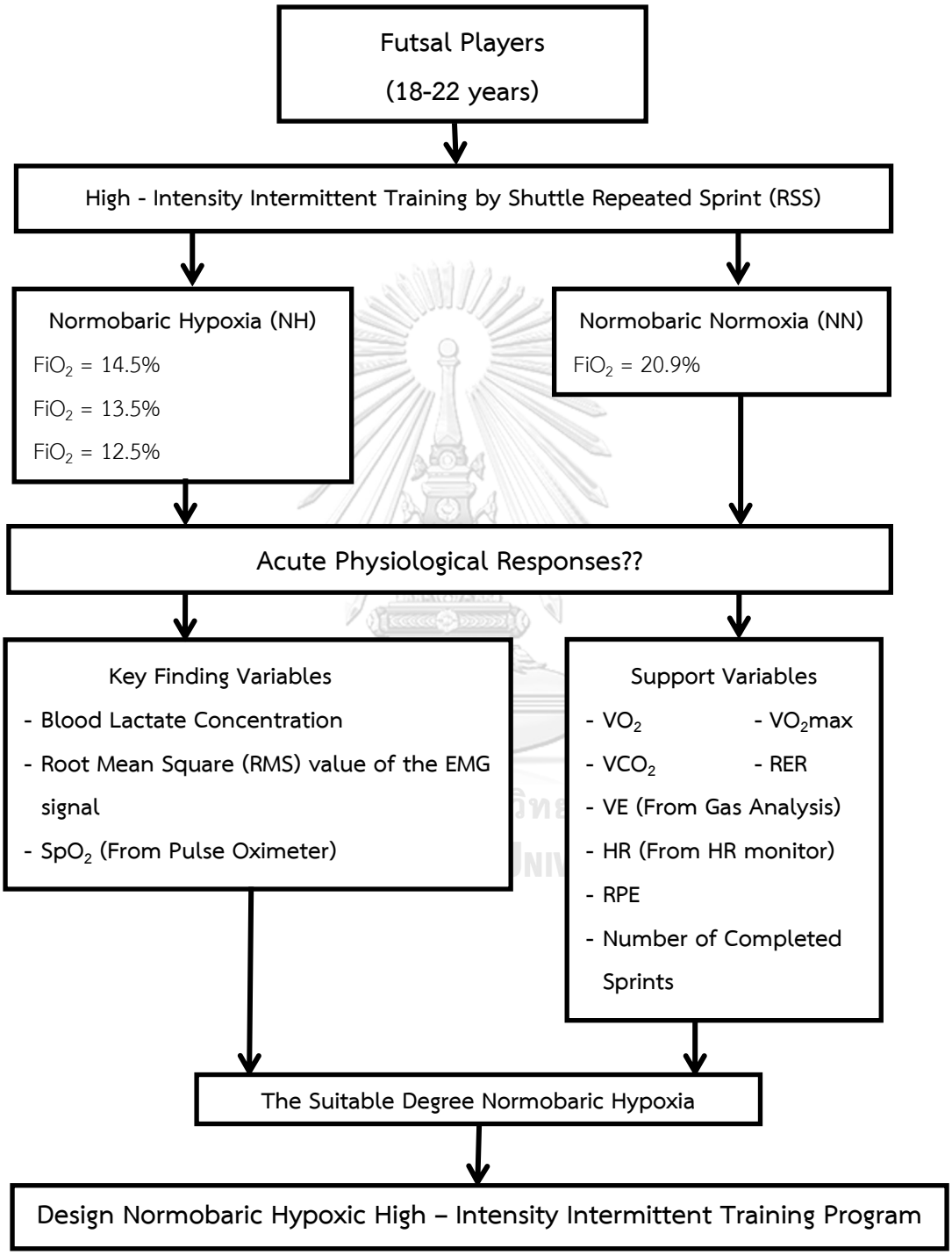
ถูกฝึกมาเป็นอย่างดี ทำการฝึกเป็นเวลา 90 นาที ด้วยการฝึกความอดทนที่ระดับ 60-70%ของอัตราการเต้นหัวใจสำรอง ตามด้วยการปั่นด้วยความเร็วสูงสุดเต็มกำลัง 30 วินาที เป็นเวลา 10 วัน โดยกลุ่มทดลองทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ระดับความสูง 3,200 -4,400 เมตรจากระดับน้ำทะเลโดยกำหนดให้ค่า $SpO_2$ ของกลุ่มทดลองอยู่ที่ 88 -82 % และกลุ่มควบคุมฝึกที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ หลังจากการฝึกพบว่า ค่าพลังแอนแอโรบิกเฉลี่ยจากการทดสอบด้วยวิธีวินเกท 30 วินาทีของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการสปริ๊นท์ของนักกีฬาอาจจะมาจากการเพิ่มขึ้นของไกลโคไลซิส

มอร์ตันและเคเบิล (Morton & Cable, 2005) ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบสลับช่วงในสภาวะปริมาณออกซิเจนเบาบางที่มีต่อการใช้พลังงานแบบออกซิเจนและไม่ใช้ ทำการฝึก 4 สัปดาห์โดย กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ใช้แบบฝึกเดียวกัน คือ แบ่งความหนักสลับเบาออกเป็น 10 ช่วง โดยเริ่มใช้ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที และลดลงมาเหลือ 50 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ทำสลับกัน 10 รอบ เป็นเวลารวมทั้งหมด 30 นาที และหลังจากการฝึกในครั้งที่ 6 เพิ่มความหนักขึ้นอีก 5% จากความหนักเดิมทั้งในช่วงที่หนักและช่วงที่เบา และขณะเดียวกัน กลุ่มทดลองทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความสูงในระดับ 2,750 เมตร กลุ่มควบคุมฝึกที่ระดับน้ำทะเล การทดสอบวัดระบบพลังงานแบบแอโรบิคในร่างกายโดยใช้การทดสอบวินเกต แอนแอโรบิค และการวิเคราะห์แก๊ส พบว่า ทั้ง 2 กลุ่มมีความสามารถในการใช้ออกซิเจน จุดกั้นแอนแอโรบิก และพลังเพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำทั้ง 2 กลุ่มมาเปรียบเทียบกันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเนื่องจากมีระยะเวลาในการฝึกที่น้อยเกินไป

เวนทูราและคณะ (Ventura et al., 2003) ได้ศึกษาการตอบสนองจากการฝึกความทนทานกับนักกีฬา 6 สัปดาห์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนเบาบางหรือระดับน้ำทะเล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาจักรยาน โดยกลุ่มทดลองฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ระดับ 3200 เมตร กลุ่มควบคุมฝึกที่สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ระดับความสูง 560 เมตร โดยทั้ง 2 กลุ่มปั่นจักยาน 30 นาทีต่อวัน 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่ฝึกในที่สูงสามารถเพิ่มความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดเพิ่มขึ้น กรดแลคติกในเลือดลดลง แต่ผลการฝึกไม่สามารถพัฒนาความทนทานได้ในทั้งสองกลุ่ม ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเนื่องจากมีระยะเวลาในการฝึกที่น้อยเกินไป

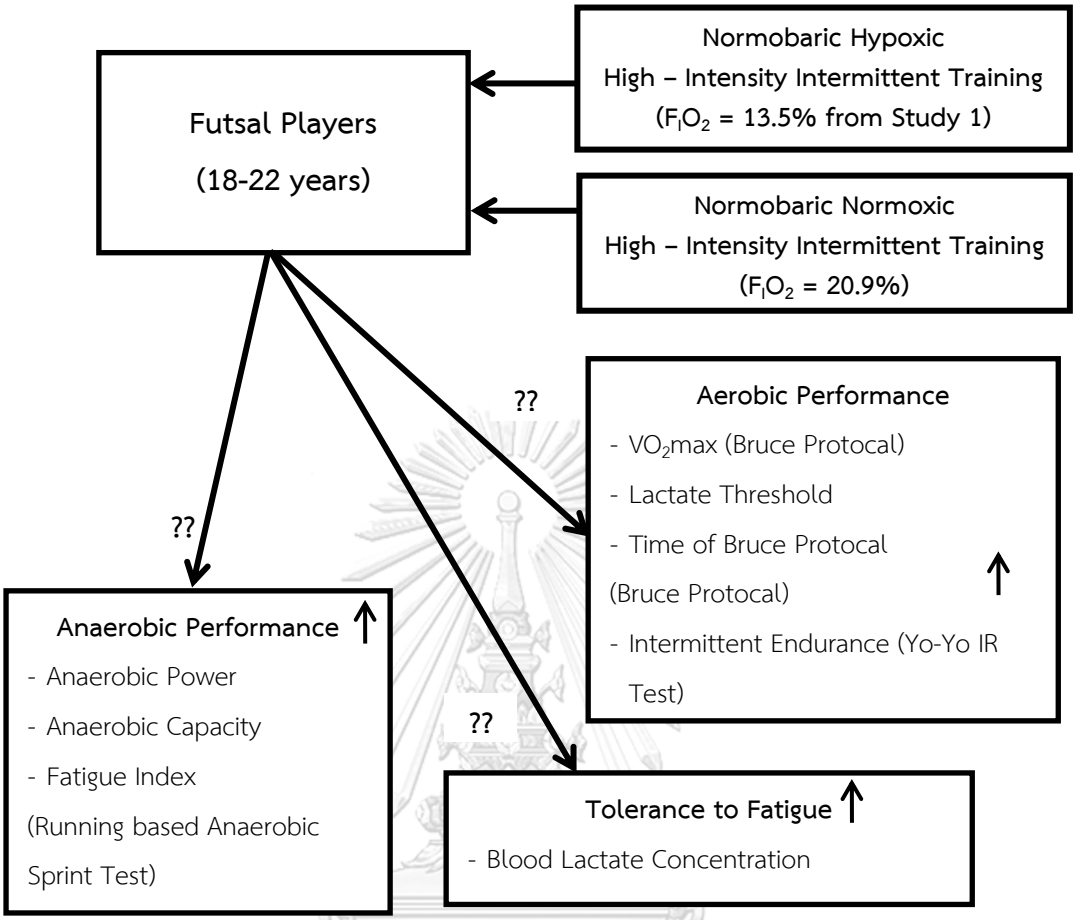
**6. กรอบแนวคิดการวิจัย**

**6.1 กรอบแนวคิดการวิจัยการศึกษาที่ 1**




**ภาพที่ 5** กรอบแนวคิดการวิจัยของการศึกษาที่ 1

**6.2 กรอบแนวคิดการวิจัยการศึกษาที่ 2**




**ภาพที่ 6** กรอบแนวคิดการวิจัยของการศึกษาที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research Design) ซึ่งแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 การศึกษา โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

**การศึกษาที่ 1**

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยา

**กลุ่มตัวอย่าง**

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ใช้รูปแบบการทดลองถ่วงดุลลำดับ (Counterbalanced Design) แบบลาตินสแควร์ (Latin Square) (Williams, 1949) กำหนดรูปแบบโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักในปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่

1. ปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% (ปริมาณออกซิเจนปกติที่ระดับน้ำทะเล)
2. ปริมาณออกซิเจนในอากาศ 14.5% (เทียบเท่าออกซิเจนที่ระดับความสูง ~3,200 เมตรจากระดับน้ำทะเล) ที่ความดันบรรยากาศปกติ
3. ปริมาณออกซิเจนในอากาศ 13.5% (เทียบเท่าออกซิเจนที่ระดับความสูง ~3,800 เมตรจากระดับน้ำทะเล) ที่ความดันบรรยากาศปกติ
4. ปริมาณออกซิเจนในอากาศ 12.5% (เทียบเท่าออกซิเจนที่ระดับความสูง ~4,400 เมตรจากระดับน้ำทะเล) ที่ความดันบรรยากาศปกติ

กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ที่ 0.8 และค่าขนาดของผลกระทบ (Effect size) ที่ 0.5 กำหนดความมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากตารางของโคเฮน (Cohen, 1977) ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 12 คน ผู้วิจัยป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของผู้เข้าร่วมการวิจัยระหว่างดำเนินการทดลองจนอาจทำให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่พอแก่การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจึงเพิ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จำนวนกลุ่มตัวอย่างอีกร้อยละ 30 เท่ากับ 4 คน การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 16 คน แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มย่อย 4 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน โดยกลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายในสภาวะออกซิเจนที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 ระดับ เพื่อทำการศึกษาผลฉับพลันของการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยกลุ่มตัวอย่างจะทำการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักในปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันทุกสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 4 สัปดาห์

**ตารางที่ 9** รูปแบบการทดลองรูปแบบการทดลองถ่วงดุลลำดับแบบลาตินสแควร์

| สัปดาห์ที่ | ปริมาณออกซิเจนที่ทำการออกกำลังกาย | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| 1 | กลุ่ม A | กลุ่ม B | กลุ่ม C | กลุ่ม D |
| 2 | กลุ่ม B | กลุ่ม D | กลุ่ม A | กลุ่ม C |
| 3 | กลุ่ม C | กลุ่ม A | กลุ่ม D | กลุ่ม B |
| 4 | กลุ่ม D | กลุ่ม C | กลุ่ม B | กลุ่ม A |

**เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย**

**เกณฑ์การคัดเข้า**

1. นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
3. มีประวัติการฝึกซ้อมกีฬาฟุตซอลอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี
4. ไม่เคยทำการฝึกหรืออยู่อาศัยในที่สูงมากกว่า 500 เมตร หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 20%
5. ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง
6. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสุขภาพแข็งแรงปราศจากโรคหรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมที่จะออกกำลังกาย โดยการประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) โดยต้องตอบ “ไม่เคย” ทุกข้อจึงถือว่าผ่านเกณฑ์
7. ไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคเกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูง

**เกณฑ์การคัดออก**

1. ขาดการเข้าร่วมทดสอบ 1 ครั้ง
2. มีอาการบาดเจ็บ จนไม่สามารถฝึกซ้อมได้
3. ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและคำแนะนำในการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

5. มีสัญญาณของอาการขาดออกซิเจน เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน

**ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล**

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพและการใช้ระบบพลังงานในกีฬาฟุตซอล หลักการฝึก การฝึกแบบหนักสลับพัก การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และการทดสอบสมรรถภาพทางกายในกีฬาฟุตซอลและกีฬาหนักสลับพักประเภทอื่น ๆ

2. จัดทำโปรแกรมการฝึก

3. ทำการศึกษานำร่อง (Pilot Study) โดยทำการทดลองโปรแกรมการฝึกกับกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างที่จะดำเนินการวิจัย เพื่อทดสอบหาระดับของสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ สำหรับใช้ในการปรับให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้กับการวิจัย

ในการศึกษานำร่องครั้งที่ 1 ทำการทดสอบเพื่อตรวจสอบการใช้อุปกรณ์คือเครื่องวิเคราะห์แก๊สแบบพกพาร่วมกับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อกับลักษณะของโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวว่าสามารถทำได้จริงหรือไม่ และเกิดการเปลี่ยนแปลงในเบื้องต้นอย่างไร โดยการให้อาสาสมัครทำการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สแบบพกพาร่วมกับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยติดขั้วไฟฟ้าพื้นผิว (Surface Electrode) ที่กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis) และให้ทดลองวิ่งตามลักษณะของโปรแกรมการฝึกที่ออกแบบไว้ คือ การอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนักอยู่ในช่วง 50-60%ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 5 นาที จากนั้นจึงทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวระยะทาง 2x5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องทำการเอามือแตะกรวยที่2 แล้วจึงวิ่งกลับมายังจุดเริ่มต้น จำนวน 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละไม่เกิน 5 วินาที สลับกับการพักด้วยการเดินบริเวณจุดเริ่มต้น 20 วินาที เมื่อสิ้นสุดการวิ่งสปรินท์เที่ยวสุดท้าย จึงทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนักอยู่ในช่วง 50-60%ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดอีก 5 นาที ทำการทดสอบในสภาวะออกซิเจนปกติ จากการทดสอบพบว่าสามารถทำการวิ่งได้โดยอุปกรณ์ที่ใช้ไม่เป็นอุปสรรคต่อการวิ่ง

4. ปรับปรุงโปรแกรมการฝึก และทดสอบนำร่องครั้งที่ 2

ในการศึกษานำร่องครั้งที่ 2 ทำการทดสอบโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำโดยใช้ปริมาณออกซิเจน 12.5% เพื่อตรวจสอบว่านักกีฬาสามารถออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ และเกิดการเปลี่ยนแปลงในเบื้องต้นอย่างไร โดยการให้อาสาสมัครทำการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สแบบพกพาร่วมกับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยติดขั้วไฟฟ้าพื้นผิว (Surface Electrode) ที่กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis) และให้ทดลองวิ่งตามลักษณะของโปรแกรมการฝึกที่ทำการปรับปรุง

จากครั้งที่ 1 แล้ว โดยทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนักอยู่ในช่วง 50-60%ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 10 นาที จากนั้นจึงทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวระยะทาง 2x5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องทำการเอามือแตะกรวยที่2 แล้วจึงวิ่งกลับมายังจุดเริ่มต้น กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละไม่เกิน 5 วินาที สลับกับการพักด้วยการเดินบริเวณจุดเริ่มต้น 20 วินาที จำนวน 6 เที่ยว คิดเป็น 1 เซ็ต ทำซ้ำจำนวน 3 เซ็ต เมื่อสิ้นสุดการวิ่งสปริ๊นท์เที่ยวสุดท้าย จึงทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนักอยู่ในช่วง 50-60%ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดอีก 10 นาที จากการทดสอบพบว่าอาสาสมัครสามารถทำตามโปรแกรมได้จนจบโปรแกรม โดยรายละเอียดของผลและภาพการทดสอบแสดงในภาคผนวก ณ

5. ทำการประเมินคุณภาพของโปรแกรมการฝึก โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินความเป็นไปได้ของโปรแกรม และพิจารณาความสอดคล้องขององค์ประกอบในโปรแกรม ในการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence: IOC) ซึ่งค่าที่คำนวณได้ต้องมากกว่า 0.60 (Cox and Vargas, 1966) และนำไปปรับแก้ไขในส่วนที่ยังไม่เหมาะสม

6. เสนอคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการทำวิจัยในคนเพื่อพิจารณาโครงการวิจัย

7. ขอความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. ดำเนินการประสานงานกับประธานชมรมและอาจารย์ที่ปรึกษาชมรมฟุตซอลที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ด้วยตนเอง

9. ทำหนังสือขอความร่วมมือในการทำวิจัย จากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไปยังผู้จัดการทีมเพื่อขอความร่วมมือในการทำการทดลอง และเก็บข้อมูล

10. ชี้แจงและทำหนังสืออธิบาย วัตถุประสงค์ และประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย รวมถึงขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการวิจัยต่อกลุ่มตัวอย่าง เมื่อกลุ่มตัวอย่างยินยอมเข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมวิจัย

11. ดำเนินการอบรม วิธีการฝึกซ้อมโปรแกรมการฝึกให้กับผู้ช่วยวิจัย 3 ท่าน ในเรื่อง การทดสอบสมรรถภาพทางกาย การตั้งค่าปริมาณออกซิเจนภายในห้องฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ การดูแลรักษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย รวมทั้งการจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ อย่างถูกต้องเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงวิธีดำเนินการวิจัย ควบคุมการฝึกซ้อม และการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างถูกต้องเป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยผู้ช่วยวิจัยจะต้องมีคุณสมบัติเป็นนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาในแขนงวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา ซึ่งมีใบประกาศผ่านการอบรมการปฐมพยาบาลและการช่วยชีวิตขั้นต้นที่ยังไม่หมดอายุ

12. ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาที่ 1 ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับคัดเลือดเข้าร่วมการวิจัยจะได้รับทราบรายละเอียดของการวิจัยทุกขั้นตอน พร้อมทั้งลงชื่อ

ในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ก่อนการวิจัยผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับคำแนะนำต่าง ๆ ในการปฏิบัติตัวก่อนเข้ารับการฝึกและการทดสอบ ได้แก่

12.1 ข้อปฏิบัติของผู้เข้าร่วมวิจัย

12.1.1 นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8-10 ชั่วโมง

12.1.2 ระมัดระวังการกินอาหารที่แตกต่างจากอาหารปกติที่เคยกินเป็นประจำ

12.1.3 ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 6 – 8 แก้วต่อวัน

12.1.4 งดเครื่องดื่มและอาหารที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนหรือแอลกอฮอล์ก่อนการทดสอบ 48 ชั่วโมง

12.1.5 รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

12.2 ความปลอดภัยระหว่างการเข้าร่วมวิจัย

12.2.1 ควบคุมความหนักของการฝึกของผู้เข้าร่วมวิจัยให้อยู่ในโซนและเวลาเป้าหมายที่กำหนดในระหว่างการฝึก

12.2.2 ควบคุมค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย (ไม่ต่ำกว่า 80%) เพื่อควบคุมความปลอดภัยขณะทำการฝึก โดยผู้วิจัยคอยสังเกตเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในเลือดจากเครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse Oximeter)ที่ปลายนิ้ว ทุก ๆ 2 นาที (Brown et al., 1993)

12.2.3 มีการประเมินระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion: RPE) จากการสอบถามความหนักของการออกกำลังกายตามการรับรู้ของผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นระยะทุก 2 นาที เพื่อวัดระดับความรู้สึกตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัยขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

12.2.4 มีการตรวจปัสสาวะเพื่อดูความถ่วงจำเพาะ ความเข้มข้นเจือจางและภาวะขาดน้ำ ก่อนการทดลองทุกครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ใส่กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำปัสสาวะ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12.2.5 มีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยใช้สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Soda lime)

12.2.6 จัดเตรียมน้ำดื่มให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยตลอดการฝึกเพื่อดื่มชดเชยการสูญเสียน้ำขณะฝึก

12.2.7 ทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้

12.2.7.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ต่ำกว่า 80%

12.2.7.2 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างฉับพลันของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

12.2.7.3 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของอัตราการเต้นหัวใจ

12.2.7.4 เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก

12.2.7.5 เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่

13. ดำเนินการวิจัย โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มย่อยทั้งหมด 4 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน และเริ่มทำการออกกำลังกายโดยใช้โปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะที่มีปริมาณของออกซิเจนในอากาศอยู่ที่ระดับที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยกลุ่มตัวอย่างจะทำการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักในปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันทุกสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ สำหรับโปรแกรมการฝึกจะเริ่มจากการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึกเพื่อให้ร่างกายปรับสภาพและเกิดความคุ้นชิน 10 นาที การอบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ตามด้วยอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที จากนั้นจึงทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง เมื่อสิ้นสุดการวิ่งสปริ๊นท์เที่ยวสุดท้าย จึงทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนดอีก 10 นาที รวมเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายทั้งหมด 58 นาที ในการทำการทดลองทั้ง 4 ครั้ง ประกอบด้วยการทดสอบตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

13.1 ตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิต ทำการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์แก๊สและอัตราการเต้นหัวใจ (ข้อ 13.1.1 – 13.1.6) และเครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (ข้อ 14.1.7) โดยทำการวัดและบันทึกค่าตั้งแต่เริ่มโปรแกรมการฝึกจนจบโปรแกรมการฝึก มีตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

13.1.1 ความสามารถในการใช้ออกซิเจน ($VO_2$)

13.1.2 ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ($VCO_2$)

13.1.3 อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ (RER)

13.1.4 ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที ($V_E$)

13.1.5 อัตราการเต้นของหัวใจ (HR)

13.1.6 ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$)

13.2 ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle Fatigue) มีตัวแปรดังนี้

13.2.1 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Signal acquisition and analysis software)

13.2.2 ปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood Lactate Concentration : B[La]) ทำการทดสอบโดยการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่ทำการฝึกแต่ละวัน จำนวน 5 ครั้ง คือ ก่อนการออกกำลังกาย หลังการอบอุ่นร่างกาย หลังเซ็ตที่ 1 2 และ 3 เนื่องจากในแต่ละช่วงนั้นค่าของกรดแลคติกจะมีการเพิ่มขึ้น จึงต้องทำการวัดเป็นระยะหลังจากการออกกำลังกายแต่ละช่วง ทำการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้วโดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแลคเตทในเลือด โดยจะระมัดระวังไม่ให้การเจาะเลือดมีการบาดเจ็บกระทบต่อการฝึก

13.2.3 จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จ นับจำนวนจากกรวยที่กลุ่มตัวอย่างแตะได้จากการวิ่งแต่ละครั้ง

14. หลังการทดลองทั้ง 4 ครั้ง ทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาระดับของสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เพื่อทำการฝึกมากที่สุด โดยตัวแปรหลักที่ใช้บ่งชี้การตอบสนองของการออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่เหมาะสม พิจารณาจากปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood Lactate Concentration : B[La]) และความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) โดยนำตัวแปรอื่น ๆ มาใช้สนับสนุน โดยการเลือกสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาที่ 2พิจารณาจาก

14.1 ปริมาณแลคเตทในเลือดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยปริมาณแลคเตทในเลือดที่เพิ่มขึ้น และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลง เป็นตัวบ่งบอกความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้น โดยสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างจากค่าที่เกิดขึ้นในสภาวะออกซิเจนปกติมาก หมายถึงความหนักที่มีความแตกต่างกับในสภาวะออกซิเจนปกติมาก และเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการฝึก

14.2 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด โดยต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 75%

15. สรุปผลการศึกษาที่ 1

16. นำตัวอย่างเลือดและปัสสาวะทั้งหมดไปทำลายโดยผ่านระบบการจัดการความปลอดภัยสารเคมีและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังสิ้นสุดการวิจัยการศึกษาที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การศึกษาที่ 2**

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

**กลุ่มตัวอย่าง**

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมจี-พาวเวอร์ (G*Power) เวอร์ชั่น 3.1.9.2 (Faul et al., 2007) กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ที่ 0.8 และค่าขนาดของผลกระทบ (Effect size) ที่ 1.1 กำหนดความมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Morton & Cable, 2005) ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 13 คน รวม 26 คน การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 13 คน จำนวน 2 กลุ่ม รวมทั้งสิ้น 26 คน

**การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง**

ทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง (Random assignment) เข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เรียงลำดับตามพลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power) โดยการทดสอบด้วยแบบทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ (Running-based Anaerobic Sprint Test: RAST) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนดำเนินการทดลอง แล้วทำการจับฉลากเพื่อสุ่มเข้ากลุ่มควบคุมหรือกลุ่มทดลอง (Random assignment)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย**

**เกณฑ์การคัดเข้า**

1. นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
3. มีประวัติการฝึกซ้อมกีฬาฟุตซอลอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี
4. ไม่เคยทำการฝึกหรืออาศัยในที่สูงมากกว่า 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 20% หากเป็นนักกีฬาที่เข้าร่วมการศึกษาที่ 1 ต้องมีช่วงพัก (Wash out period) โดยไม่ทำการสัมผัสกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำอย่างน้อย 4 สัปดาห์ก่อนการทดลอง เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับการวิจัยในการศึกษานี้ (Hinckson & Hopkins, 2005)
5. ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง

6. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสุขภาพแข็งแรงปราศจากโรคหรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมที่จะออกกำลังกาย โดยการประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) โดยต้องตอบว่า “ไม่เคย” ทุกข้อ จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์

7. ไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคเกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูง

**เกณฑ์การคัดออก**

1. ขาดการเข้าร่วมฝึกซ้อมมากกว่า 1 ครั้งจาก 18 ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 90 ของช่วงระยะเวลาในการฝึกซ้อม

2. มีอาการบาดเจ็บ จนไม่สามารถฝึกซ้อมได้

3. ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและคำแนะนำในการวิจัย

4. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

5. มีสัญญาณของอาการขาดออกซิเจน เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน

**ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล**

1. ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาที่ 2 ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับคัดเลือดเข้าร่วมการวิจัยจะได้รับทราบรายละเอียดของการวิจัยทุกขั้นตอน พร้อมทั้งลงชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ก่อนการวิจัยผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับคำแนะนำต่าง ๆ ในการปฏิบัติตัวก่อนเข้ารับการฝึกและการทดสอบ

1.1 ข้อปฏิบัติของผู้เข้าร่วมวิจัย

1.1.1 นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8-10 ชั่วโมง

1.1.2 ระมัดระวังการกินอาหารที่แตกต่างจากอาหารปกติที่เคยกินเป็นประจำ

1.1.3 ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 6 – 8 แก้วต่อวัน

1.1.4 งดเครื่องดื่มและอาหารที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนหรือแอลกอฮอล์ก่อนการทดสอบ 48 ชั่วโมง

1.1.5 รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

1.2 ความปลอดภัยระหว่างการเข้าร่วมวิจัย

1.2.1 ควบคุมความหนักของการฝึกของผู้เข้าร่วมวิจัยให้อยู่ในโซนเป้าหมายที่กำหนดในระหว่างการฝึก

1.2.2 ควบคุมค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย (ไม่ต่ำกว่า 80%) เพื่อควบคุมความปลอดภัยขณะทำการฝึก โดยผู้วิจัยคอยสังเกต

เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในเลือดจากเครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse Oximeter)ที่ปลายนิ้ว ทุก ๆ 2 นาที (Brown et al., 1993)

1.2.3 มีการประเมินระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion: RPE) จากการสอบถามความหนักของการออกกำลังกายตามการรับรู้ของผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นระยะทุก 2 นาที เพื่อวัดระดับความรู้สึกตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัยขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

1.2.4 มีการตรวจปัสสาวะเพื่อดูความถ่วงจำเพาะ ความเข้มข้นเจือจาง และภาวะขาดน้ำ ก่อนการทดลองทุกครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ใส่กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำปัสสาวะ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2.5 มีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยใช้สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Soda lime)

1.2.6 จัดเตรียมน้ำดื่มให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยตลอดการฝึกเพื่อดื่มชดเชยการสูญเสียน้ำขณะฝึก

1.2.7 ทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้

1.2.7.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ต่ำกว่า 80%

1.2.7.2 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างฉับพลันของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

1.2.7.3 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของอัตราการเต้นหัวใจ

1.2.7.4 เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก

1.2.7.5 เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่

2. ทำการทดสอบค่าตัวแปรทางสรีรวิทยาทั่วไป (General physiological data) ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง และเปอร์เซ็นต์ไขมัน ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยถอดรองเท้าและถุงเท้าก่อนทำการชั่งน้ำหนัก (กิโลกรัม) และวัดเปอร์เซ็นต์ไขมัน (เปอร์เซ็นต์) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณในการทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก

3. ทำการทดสอบด้วยแบบทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ (Running-based Anaerobic Sprint Test: RAST) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ และทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 13 คน โดยใช้วิธีการจับคู่ (Matching group) เรียงลำดับจากพลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power) ซึ่งได้จากการคำนวณค่าการทดสอบ RAST มีหน่วยเป็นวัตต์ (watts) โดยนำมาเรียงจัดอันดับ 1-26 แล้วสุ่มเข้ากลุ่มแบบจับคู่ แบ่งเป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มทดลอง ทำการฝึกโดยเริ่มจากการสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึกเพื่อให้ร่างกายปรับสภาพและเกิดความคุ้นชิน 10 นาที อบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ตามด้วยอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที จากนั้นจึงทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6-10 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง เมื่อสิ้นสุดการวิ่งสปริ๊นท์เที่ยวสุดท้าย จึงทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนดอีก 10 นาที โดยสัปดาห์ที่ 1-2 ปฏิบัติเซ็ตละ 6 เที่ยว รวมเวลาในการฝึก 58 นาที สัปดาห์ที่ 3-4 ปฏิบัติเซ็ตละ 8 เที่ยว รวมเวลาในการฝึก 61 นาที และ สัปดาห์ที่ 5-6 ปฏิบัติเซ็ตละ 10 เที่ยว รวมเวลาในการฝึก 64 นาที ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% สัปดาห์ละ 3 ครั้ง 6 สัปดาห์ (ภาคผนวก จ)

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มควบคุม ทำการฝึกโดยการพักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้อง 10 นาที อบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ตามด้วยอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที จากนั้นจึงทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6-10 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง เมื่อสิ้นสุดการวิ่งสปริ๊นท์เที่ยวสุดท้าย จึงทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนดอีก 10 นาที โดยสัปดาห์ที่ 1-2 ปฏิบัติเซ็ตละ 6 เที่ยว รวมเวลาในการฝึก 58 นาที สัปดาห์ที่ 3-4 ปฏิบัติเซ็ตละ 8 เที่ยว รวมเวลาในการฝึก 61 นาที และ สัปดาห์ที่ 5-6 ปฏิบัติเซ็ตละ 10 เที่ยว รวมเวลาในการฝึก 64 นาที ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง 6 สัปดาห์ (ภาคผนวก จ)

4. ทำการทดสอบก่อน และหลังการทดลอง ประกอบด้วยกลุ่มของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก (Aerobic Performance) ประกอบด้วยการทดสอบ 2 การทดสอบ ได้แก่

4.1.1 การทดสอบด้วยวิธีของบรูซ (Bruce Incremental Treadmill Protocol) (Kenney et al., 2015) (ภาคผนวก ซ) ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส โดยวิ่งทดสอบบนลู่กลไฟฟ้า (Treadmill) โดยจะทำการทดสอบในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.9 % มีค่าตัวแปรที่ศึกษาคือ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) จุดกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic Threshold) และเวลาจากการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ

4.1.2 การทดสอบด้วยแบบทดสอบโยโย่อินเตอร์มิทเทนท์รันนิ่ง (Yo-Yo Intermittent Recovery Test) (Bangsbo et al., 2008) (ภาคผนวก ฌ) โดยจะทำการทดสอบในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.9 % มีค่าตัวแปรที่ศึกษาคือ ระยะทางที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งบ่งบอกความอดทนแบบหนักสลับพัก (Intermittent Endurance)

4.2 ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Performance) ทำการทดสอบด้วยแบบทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ (Running-based Anaerobic Sprint Test: RAST) (Draper & Whyte, 1997) (ภาคผนวก ช) โดยจะทำการทดสอบในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.9 % มีค่าตัวแปรที่ศึกษาคือ พลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power) ความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity) ดัชนีความล้า (Fatigue Index) เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า

4.3 ความทนต่อความล้า (Tolerance to Fatigue) มีค่าตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood Lactate Concentration : B[LA]) ทำการทดสอบร่วมกับการทดสอบโยโย่อินเตอร์มิทเทนท์รันนิ่ง (Yo-Yo Intermittent Running Test) โดยการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.9 % จำนวน 3 ครั้ง คือ ก่อนการทดสอบ (Baseline) หลังการทดสอบทันที เนื่องจากผู้เข้าร่วมการวิจัยจะมีความล้าจากการสะสมของกรดแลคติกมากที่สุด และหลังการทดสอบ 5 นาที เพื่อใช้วิเคราะห์เรื่องการฟื้นตัวจากการลดการสะสมของกรดแลคติก (Galvin et al., 2013) ทำการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้วโดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแลคเตทในเลือด โดยจะระมัดระวังไม่ให้การเจาะเลือดมีการบาดเจ็บกระทบต่อการฝึก

5. ทำการวิเคราะห์ข้อมูล

6. สรุปผลการศึกษาที่ 2

7. นำตัวอย่างเลือดและปัสสาวะทั้งหมดไปทำลายโดยผ่านระบบการจัดการความปลอดภัยสารเคมีและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังสิ้นสุดการวิจัยการศึกษาที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

เครื่องมือในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

1. แบบสอบถามความพร้อมในการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q)

เครื่องมือที่ใช้ในการฝึก

1. ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic Training Room) ระบบเอทีเอส 5 เคเอชพี 750 (ATS-5KHP 750 SYSTEM) ประเทศออสเตรเลีย

2. โปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงโดยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว

3. กรวยยาง และเทปวัดระยะทาง

4. สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ *Drägersorb 800 plus* ประเทศเยอรมันนี

เครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

1. แบบบันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยา

2. แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย

3. แบบวัดระดับรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE)

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดตัวแปรทางสรีรวิทยา

1. เครื่องชั่งน้ำหนักตัวและวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Body Composition Analyzer) ยี่ห้ออินบอดี้ (Inbody) ประเทศเกาหลีใต้

2. เครื่องวัดออกซิเจนในเลือด และอัตราการเต้นหัวใจ ดิจิตอล (Finger Pulse Oximeter) ยี่ห้อโนนิน (Nonin) ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ยี่ห้อ คอเท็กซ์ ซีพีอีที (Cortex CPET) รุ่น เมตาไลเซอร์ 3 บี (MetaLyzer 3B) ประเทศอิตาลี

4. เครื่องทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ยี่ห้อ Delsys EMG works 3.6 ประเทศสหรัฐอเมริกา

5. โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Signal acquisition and analysis software)

6. เครื่องวิเคราะห์ค่าแลคเตทในเลือด Analox LM5 ประเทศอังกฤษ

7. แถบทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ (Urine specific gravity test strips)

8. สายวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ยี่ห้อ Polar S710i

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรทางสมรรถภาพทางกาย

1. การทดสอบด้วยวิธีของบรูซ (Bruce Incremental Treadmill Protocol) สำหรับใช้ในการทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก

2. แบบทดสอบ รันนิ่งเบสแอนแอโรบิก สปรินท์ (Running-based Anaerobic Sprint Test) สำหรับใช้ในการทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. แบบทดสอบโยโย่อินเตอร์มิทเทนท์รันนิ่ง (Yo-Yo Intermittent Recovery Test) สำหรับใช้ในการทดสอบความอดทนแบบหนักสลับพัก

4. เครื่องมือในการจับเวลา ยี่ห้อ สวิฟท์ เพอฟอร์มานซ์ (Swift Performance) รุ่น Speedlight Dual BeamTiming Gates ประเทศออสเตรเลีย

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

**การศึกษาที่ 1**

1. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

2. เปรียบเทียบผลของการทดสอบทุกรายการภายในกลุ่มจากผลการทดลองในแต่ละครั้งทั้งหมด 4 ครั้ง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ชนิดวัดซ้ำ (One – way analysis of variance with repeated measures) เมื่อพบว่ามีความแตกต่างจึงเปรียบเทียบรายคู่โดยวิธีของบอนเฟอโรนี (Bonferroni)

3. ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**การศึกษาที่ 2**

1. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

2. เปรียบเทียบผลของการทดสอบทุกรายการระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองของแต่ละกลุ่มโดยใช้การทดสอบค่า”ที” (Pair samples t-test)

3. เปรียบเทียบผลของการทดสอบทุกรายการ ก่อนการทดลอง และหลังการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้การทดสอบค่า”ที” (Independent t-test)

4. ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้เพื่อความปลอดภัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย จึงมีการตรวจสอบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ เพื่อมิให้เกิดความเสี่ยงใด ๆ ที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย อาจมีผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อขาในขณะออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายในแต่ละครั้ง หรือไม่มีกำลังเพียงพอและท้อแท้ในระหว่างทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยา หรือรู้สึกอึดอัด หายใจไม่สะดวกขณะทำการทดสอบการออกกำลังกาย แต่อาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติในเวลาอันสั้น ทั้งนี้ก่อนและ

หลังการออกกำลังกายทุกครั้งในการออกกำลังกายจะ มีการอบอุ่นร่างกาย และผ่อนคลายกล้ามเนื้อเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น

หากพบว่ามีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือมีการบาดเจ็บเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบให้หยุดการทดสอบทันที ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องรีบแจ้งผู้วิจัยทราบโดยเร็ว โดยผู้วิจัยได้มีการเตรียมอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้น เพื่อช่วยในการปฐมพยาบาล ในกรณีที่อาการไม่ดีขึ้น ผู้วิจัยจะทำการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลใกล้เคียง คือ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สำหรับสถานที่ที่ทำการวิจัย คือ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และถ้ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นผู้วิจัยจะเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา

**การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง**

ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยพบกลุ่มตัวอย่างและแนะนำตัว อธิบายวัตถุประสงค์ ขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูล และประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการทำวิจัยด้วยความสมัครใจ การตอบรับหรือการปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้จะไม่มีผลต่อท่าน ท่านสามารถแจ้งออกจากการศึกษาได้ก่อนที่การวิจัยจะสิ้นสุดลง โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผลหรือคำอธิบายใดๆ ข้อมูลทุกอย่างจะถือเป็นความลับและนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น ผลการวิจัยจะเสนอในภาพรวม หากท่านมีข้อสงสัยเกี่ยวกับโครงการวิจัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 4
# ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ในการศึกษาที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถในการออกกำลังกายในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย นอกจากนี้ในการศึกษาที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติซึ่งเป็นผลที่ได้จากการศึกษาที่ 1 กับการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย โดยนำผลการวิจัยมาทำการวิเคราะห์ผลตามระเบียบวิธีทางสถิติ และนำมานำเสนอในรูปแบบตารางประกอบความเรียง โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 ตอนดังนี้

**ตอนที่ 1** ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถในการออกกำลังกายในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย

ตอนที่ 1.1 ข้อมูล อายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของนักกีฬา

ตอนที่ 1.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

ตอนที่ 1.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของปริมาณแลคเตทในเลือดและค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

ตอนที่ 1.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

ตอนที่ 1.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของตัวแปรที่เกี่ยวข้องระบบการหายใจ จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

ตอนที่ 1.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จ จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

**ตอนที่ 2** ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2.1 ข้อมูล อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายของนักกีฬา

ตอนที่ 2.2 ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก ของกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ กับกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยเปรียบเทียบก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

ตอนที่ 2.3 ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ของกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ กับกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยเปรียบเทียบก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

ตอนที่ 2.4 ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงที่มีต่อความทนต่อความเมื่อยล้า ของกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ กับกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยเปรียบเทียบก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

**ตอนที่ 1** ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถในการออกกำลังกายในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย

ตอนที่ 1.1 ข้อมูลของนักกีฬา อายุ น้ำหนัก และส่วนสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ตารางที่ 9** ข้อมูล อายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของนักกีฬา

| จำนวน (คน) | อายุ (ปี) | น้ำหนัก (กิโลกรัม) | ส่วนสูง (เซนติเมตร) |
|---|---|---|---|
| 16 | $\bar{x}$ $\pm$ S.D. | $\bar{x}$ $\pm$ S.D. | $\bar{x}$ $\pm$ S.D. |
| | 20.4 $\pm$ 0.9 | 63.4 $\pm$ 7.5 | 171.2 $\pm$ 5.5 |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

จากตารางที่ 9 กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ มีจำนวนทั้งหมด 16 คน มีอายุเฉลี่ย 20.4 + 0.9 ปี มีน้ำหนักเฉลี่ย 63.4 + 7.5 กิโลกรัม และมีส่วนสูงเฉลี่ย 171.2 + 5.5 เซนติเมตร

ตอนที่ 1.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

**ตารางที่ 10** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| | เซ็ต | รอบ | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (ไมโครโวลท์) | 1 | 1 | 369.1 ± 81.3 | 320.3 ± 59.6 [a] | 318.8 ± 73.8 [a] | 267.2 ± 77.9 [a, b, c] |
| | | 2 | 367.2 ± 78.5 | 312.8 ± 76.5 [a] | 300.3 ± 78.2 [a] | 249.7 ± 81.6 [a, b, c] |
| | | 3 | 349.4 ± 75.2 | 310.0 ± 76.9 [a] | 291.6 ± 76.9 [a] | 230.9 ± 78.7 [a, b, c] |
| | | 4 | 353.8 ± 75.7 | 291.3 ± 72.6 [a] | 272.8 ± 77.4 [a] | 218.8 ± 71.1 [a, b, c] |
| | | 5 | 325.3 ± 75.1 | 277.2 ± 66.7 [a] | 259.4 ± 71.9 [a] | 213.4 ± 66.7 [a, b, c] |
| | | 6 | 314.7 ± 57.6 | 269.7 ± 73.7 [a] | 249.7 ± 74.9 [a] | 198.4 ± 61.8 [a, b, c] |
| | 2 | 1 | 365.0 ± 67.7 | 316.9 ± 67.7 [a] | 318.4 ± 70.5 [a] | 265.3 ± 65.7 [a, c] |
| | | 2 | 358.4 ± 70.5 | 306.3 ± 67.7 [a] | 304.1 ± 77.0 [a] | 252.2 ± 69.0 [a, c] |
| | | 3 | 348.8 ± 72.0 | 300.9 ± 73.0 [a] | 287.5 ± 73.5 [a] | 236.9 ± 69.9 [a, b, c] |
| | | 4 | 340.3 ± 71.0 | 289.1 ± 68.9 [a] | 270.6 ± 71.6 [a] | 219.7 ± 64.6 [a, b, c] |
| | | 5 | 322.5 ± 74.6 | 271.9 ± 69.5 [a] | 250.0 ± 75.2 [a] | 208.4 ± 68.9 [a, b, c] |
| | | 6 | 304.7 ± 65.9 | 262.8 ± 65.3 [a] | 237.5 ± 70.4 [a] | 191.9 ± 57.2 [a, b, c] |
| | 3 | 1 | 354.7 ± 60.8 | 313.1 ± 70.7 [a] | 307.2 ± 73.7 [a] | 248.1 ± 66.0 [a, b, c] |
| | | 2 | 351.9 ± 63.7 | 307.8 ± 67.4 [a] | 292.8 ± 64.0 [a] | 230.6 ± 64.3 [a, b, c] |
| | | 3 | 342.5 ± 69.8 | 298.8 ± 65.8 [a] | 285.0 ± 80.9 [a] | 222.8 ± 66.2 [a, b, c] |
| | | 4 | 330.0 ± 68.2 | 283.8 ± 68.9 [a] | 264.1 ± 71.6 [a] | 200.3 ± 63.6 [a, b, c] |
| | | 5 | 310.6 ± 72.6 | 263.1 ± 69.5 [a] | 241.6 ± 74.7 [a] | 186.6 ± 55.5 [a, b, c] |
| | | 6 | 301.3 ± 70.1 | 251.3 ± 67.9 [a] | 223.1 ± 58.0 [a] | 187.5 ± 43.1 [a, b, c] |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | | 339.4 ± 71.9 | 291.5 ± 70.5 [a] | 276.4 ± 76.3 [a, b] | 223.8 ± 69.4 [a, b, c] |
| % ความแตกต่างกับ | | | | -14.1% | -18.6% | -34.1% |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จากตารางที่ 10 พบว่า ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) ที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% เมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในการวิ่งทุกรอบของเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3

ในขณะที่ความแตกต่างของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% ในการวิ่งรอบที่ 1-6 ของเซ็ตที่ 1 การวิ่งรอบที่ 3-6 ของเซ็ตที่ 2 และในการวิ่งรอบที่ 1-6 ของเซ็ตที่ 3

นอกจากนี้ ความแตกต่างของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ในการวิ่งทุกรอบของเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% กับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการวิ่งทุกรอบของเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3

ในส่วนของค่าเฉลี่ยรวมของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% เปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยรวมของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยรวมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ13.5%

และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศปกติ 20.9% พบว่า ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีการลดลง 14.1% ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีการลดลง 18.6% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีการลดลง 34.1%

ตอนที่ 1.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของปริมาณกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

**ตารางที่ 11** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของปริมาณแลคเตทในเลือด จากการออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| ตัวแปร | ช่วง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| ปริมาณแลคเตทในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร) | ขณะพัก | 2.2 ± .7 | 3.4 ± 1 [a] | 3.9 ± 1[a] | 4.5 ± 1[a,b] |
| | เซ็ตที่ 1 | 4.3 ± 1.8 | 7.5 ± 1.8 [a] | 8.7 ± 2 [a] | 9.3 ± 2 [a, b] |
| | เซ็ตที่ 2 | 5.1 ± 1.9 | 8.1 ± 1.6 [a] | 9.2 ± 1.8 [a] | 10.2 ± 1.8 [a, b] |
| | เซ็ตที่ 3 | 5.0 ± 1.6 | 7.8 ± 1.5 [a] | 9.4 ± 1.9 [a, b] | 10.4 ± 2.1 [a, b] |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 11 พบว่า ในช่วงขณะพัก เซ็ตที่ 1 และเซ็ตที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

ในขณะที่ในเซ็ตที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% และ 13.5% มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

**ตารางที่ 12** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| ตัวแปร | ช่วง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (%) | ขณะพัก | 97.4 ± 0.9 | 91.8 ± 2.1[a] | 89.4 ± 2.3 [a] | 85.5 ± 2.7 [a, b, c] |
| | เซ็ตที่ 1 | 95.0 ± 2.3 | 84.4 ± 1.9 [a] | 81.3 ± 1.4 [a, b] | 75.6 ± 2.8 [a, b, c] |
| | เซ็ตที่ 2 | 95.2 ± 1.9 | 82.3 ± 2.7 [a] | 79.8 ± 2.3 [a, b] | 74.2 ± 2.4 [a, b, c] |
| | เซ็ตที่ 3 | 95.1 ± 1.8 | 81.1 ± 2.1[a] | 79.1 ± 2.4 [a, b] | 73.7 ± 3.4 [a, b, c] |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จากตารางที่ 12 พบว่า ในช่วงขณะพัก เมื่อเปรียบเทียบค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในขณะที่ในเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และ เซ็ตที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5%

ตอนที่ 1.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

**ตารางที่ 13** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของค่าระดับรับรู้ความเหนื่อย จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| ตัวแปร | ช่วง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| ค่าระดับรับรู้ความเหนื่อย | ขณะพัก | 6.1 ± 0.3 | 6.2 ± 0.4 | 6.4 ± 0.8 | 6.8 ± 0.7 [a, b] |
| | เซ็ตที่ 1 | 13.8 ± 0.8 | 14.7 ± 0.5 [a] | 14.8 ± 0.9 [a] | 15.4 ± 1.1[a] |
| | เซ็ตที่ 2 | 13.2 ± 1.1 | 14.6 ± 1[a] | 15.3 ± 0.9 [a] | 15.7 ± 1 [a, b] |
| | เซ็ตที่ 3 | 14.1 ± 2 | 16 ± 1.2 [a] | 16.3 ± 1.5 [a] | 17.1 ± 0.7 [a, b] |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จากตารางที่ 13 พบว่า ในช่วงขณะพัก เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

ในเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ในเซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3 ระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 1.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของตัวแปรที่เกี่ยวข้องระบบการหายใจ จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

**ตารางที่ 14** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของอัตราการเต้นของหัวใจจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| ตัวแปร | ช่วง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที) | ขณะพัก | 75.6 ± 11.5 | 84.9 ± 8.8 [a] | 88.3 ± 9.2 [a] | 89.4 ± 11.9 [a] |
| | เซ็ตที่ 1 | 134.7 ± 8.5 | 137.4 ± 7.5 | 142.9 ± 7.8 [a, b] | 147.0 ± 9.5 [a, b] |
| | ช่วงพัก1 | 143.8 ± 9.3 | 144.1 ± 4.8 | 149.7 ± 4.7 [b] | 151.1 ± 7.4 |
| | เซ็ตที่ 2 | 141.7 ± 9.3 | 146.2 ± 6.1 | 148.5 ± 6.3 [a] | 153.3 ± 8.5 [a, b] |
| | ช่วงพัก2 | 149.0 ± 8.7 | 153.6 ± 4.9 | 157.1 ± 5.4 [a] | 160.9 ± 7.2 [a, b] |
| | เซ็ตที่ 3 | 143.6 ± 9.1 | 148.4 ± 7.2 | 151.7 ± 6.1 [a] | 155.2 ± 7.2 [a, b] |
| | ช่วงพัก3 | 152.1 ± 8.6 | 155.5 ± 4.6 | 160.3 ± 4.9 [a, b] | 163.2 ± 5.8 [a, b] |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จากตารางที่ 14 พบว่า ในช่วงขณะพัก เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ขณะที่ในเซ็ตที่ 1 ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 1 ในอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ในเซ็ตที่ 2 ค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% ในเซ็ตที่ 3 ค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% และ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5%

**ตารางที่ 15** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความสามารถในการใช้ออกซิเจนจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| ตัวแปร | ช่วง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (ลิตรต่อนาที) | ขณะพัก | 0.4 ± 0.1 | 0.5 ± 0.2 | 0.5 ± 0.2 | 0.5 ± 0.2 |
| | เซ็ตที่ 1 | 1.6 ± 0.3 | 1.9 ± 0.2 [a] | 1.9 ± 0.3 [a] | 2.2 ± 0.4 [a, b, c] |
| | ช่วงพัก1 | 1.7 ± 0.4 | 1.9 ± 0.5 | 1.9 ± 0.4 | 1.9 ± 0.4 |
| | เซ็ตที่ 2 | 1.8 ± 0.3 | 2.0 ± 0.3 [a] | 2.1 ± 0.4 [a] | 2.3 ± 0.4 [a, b, c] |
| | ช่วงพัก2 | 1.7 ± 0.4 | 2.2 ± 0.5 [a] | 2.0 ± 0.5 | 2.2 ± 0.5 |
| | เซ็ตที่ 3 | 1.9 ± 0.3 | 2.1 ± 0.3 | 2.1 ± 0.3 [a] | 2.4 ± 0.4 [a, b, c] |
| | ช่วงพัก3 | 1.8 ± 0.5 | 2.1 ± 0.5 | 2.0 ± 0.5 | 2.2 ± 0.5 |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จากตารางที่ 15 ในช่วงขณะพัก พบว่า ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5%

ในเซ็ตที่ 1 และ 2 ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

นอกจากนี้ในเซ็ตที่ 3 ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ส่วนค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 1 และ 3 ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนอื่นๆ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวในเซ็ตที่ 2 ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 16** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| ตัวแปร | ช่วง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ (ลิตรต่อนาที) | ขณะพัก | 0.4 ± 0.1 | 0.4 ± 0.2 | 0.5 ± 0.2 | 0.5 ± 0.2 |
| | เซ็ตที่ 1 | 1.5 ± 0.3 | 1.8 ± 0.3 [a] | 1.9 ± 0.3 [a, b] | 2.2 ± 0.5 [a, b, c] |
| | ช่วงพัก1 | 1.7 ± 0.4 | 1.9 ± 0.6 | 1.9 ± 0.4 | 1.9 ± 0.5 |
| | เซ็ตที่ 2 | 1.6 ± 0.3 | 1.8 ± 0.3 [a] | 2.0 ± 0.3 [a, b] | 2.2 ± 0.4 [a, b, c] |
| | ช่วงพัก2 | 1.6 ± 0.5 | 1.9 ± 0.4 | 1.9 ± 0.5 | 2.1 ± 0.5 [a] |
| | เซ็ตที่ 3 | 1.7 ± 0.3 | 1.9 ± 0.3 [a] | 2.0 ± 0.3 [a] | 2.2 ± 0.4 [a, b, c] |
| | ช่วงพัก3 | 1.6 ± 0.5 | 1.9 ± 0.4 | 1.9 ± 0.4 | 2.0 ± 0.4 [a] |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จากตารางที่ 16 ในช่วงขณะพัก พบว่า ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5%

ขณะที่ในเซ็ตที่ 1 และ 2 ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

นอกจากนี้ในเซ็ตที่ 3 ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

ความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ส่วนค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 1 ในความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติทุกระดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 2 และ 3 ในความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5%

**ตารางที่ 17** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| ตัวแปร | ช่วง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที (ลิตรต่อนาที) | ขณะพัก | 13.4 ± 3.9 | 16.6 ± 5.4 | 16.9 ± 5.7 | 16.7 ± 6.9 |
| | เซ็ตที่ 1 | 52.0 ± 9.0 | 57.1 ± 9.7 [a] | 65.3 ± 10.5 [a, b] | 73.3 ± 13.2 [a, b, c] |
| | ช่วงพัก1 | 58.1 ± 16.4 | 63.6 ± 17.7 | 65.4 ± 12.9 [a] | 61.7 ± 12.4 |
| | เซ็ตที่ 2 | 58.5 ± 10.6 | 62.9 ± 10.7 | 70.4 ± 9.2 [a, b] | 76.9 ± 13.3 [a, b] |
| | ช่วงพัก2 | 60.1 ± 18.5 | 71.7 ± 14.7 [a] | 69.7 ± 18.8 | 75.1 ± 14.7 |
| | เซ็ตที่ 3 | 63.4 ± 12.6 | 66.6 ± 10.5 | 73.5 ± 11.9 [a] | 79.8 ± 14.5 [a, b] |
| | ช่วงพัก3 | 62.3 ± 19.0 | 72.8 ± 14.6 | 70.8 ± 17.1 | 77.9 ± 16.5 [a] |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จากตารางที่ 17 ในช่วงขณะพัก พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5%

ขณะที่ในเซ็ตที่ 1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ในเซ็ตที่ 2 ค่าเฉลี่ยของปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5%

ในเซ็ตที่ 3 ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% นอกจากนี้ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ส่วนค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 1 ในปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 2 ในปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% ขณะที่ช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 3 ในปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 18** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซจากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| ตัวแปร | ช่วง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ | ขณะพัก | 0.87 ± 0.07 | 0.88 ± 0.09 | 0.89 ± 0.05 | 0.86 ± 0.08 |
| | เซ็ตที่ 1 | 0.93 ± 0.05 | 0.94 ± 0.08 | 0.97 ± 0.06 | 0.98 ± 0.09 |
| | ช่วงพัก1 | 0.95 ± 0.09 | 0.96 ± 0.10 | 0.98 ± 0.05 | 0.97 ± 0.07 |
| | เซ็ตที่ 2 | 0.91 ± 0.05 | 0.91 ± 0.06 | 0.94 ± 0.04 | 0.95 ± 0.06 |
| | ช่วงพัก2 | 0.92 ± 0.06 | 0.94 ± 0.07 | 0.95 ± 0.04 | 0.93 ± 0.05 |
| | เซ็ตที่ 3 | 0.90 ± 0.05 | 0.92 ± 0.05 | 0.93 ± 0.05 | 0.93 ± 0.06 |
| | ช่วงพัก3 | 0.91 ± 0.06 | 0.93 ± 0.06 | 0.94 ± 0.04 | 0.92 ± 0.06 |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตอนที่ 1.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จ จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

**ตารางที่ 15** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวชนิดวัดซ้ำของจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จ จากการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5%

| | เซ็ต | รอบ | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ($F_IO_2$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20.9% | 14.5% | 13.5% | 12.5% |
| จำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จ (ครั้ง) | 1 | 1 | 6.2 ± 0.4 | 6.1 ± 0.3 | 6.0 ± 0.4 | 5.9 ± 0.3 |
| | | 2 | 6.1 ± 0.5 | 5.9 ± 0.3 | 6.0 ± 0.4 | 5.9 ± 0.3 |
| | | 3 | 6.1 ± 0.3 | 6.1 ± 0.5 | 5.9 ± 0.4 | 5.9 ± 0.3 |
| | | 4 | 6.1 ± 0.3 | 6.0 ± 0.4 | 5.9 ± 0.3 | 5.8 ± 0.4 |
| | | 5 | 6.1 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.7 ± 0.5 |
| | | 6 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.6 ± 0.5 |
| | | | | | | |
| | 2 | 1 | 6.3 ± 0.5 | 6.1 ± 0.4 | 6.1 ± 0.4 | 5.9 ± 0.3 |
| | | 2 | 6.1 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.7 ± 0.5 |
| | | 3 | 6.1 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.8 ± 0.4 |
| | | 4 | 6.1 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.8 ± 0.4 | 5.6 ± 0.5 [a] |
| | | 5 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.8 ± 0.4 | 5.4 ± 0.5 [a, b] |
| | | 6 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.4 | 5.8 ± 0.5 | 5.5 ± 0.5 |
| | | | | | | |
| | 3 | 1 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.8 ± 0.4 | 5.8 ± 0.5 |
| | | 2 | 6.0 ± 0.0 | 5.9 ± 0.3 | 5.9 ± 0.3 | 5.6 ± 0.5 |
| | | 3 | 5.9 ± 0.3 | 5.8 ± 0.4 | 5.7 ± 0.5 | 5.6 ± 0.5 |
| | | 4 | 5.9 ± 0.3 | 5.8 ± 0.4 | 5.8 ± 0.5 | 5.5 ± 0.5 |
| | | 5 | 5.9 ± 0.3 | 5.8 ± 0.5 | 5.7 ± 0.5 | 5.4 ± 0.5 [a] |
| | | 6 | 5.9 ± 0.3 | 5.7 ± 0.5 | 5.6 ± 0.5 | 5.4 ± 0.5 [a] |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | | 6.0 ± 0.3 | 5.9 ± 0.4 [a] | 5.8 ± 0.3 [a] | 5.7 ± 0.3 [a, b, c] |
| % ความแตกต่างกับออกซิเจนปกติ | | | | -1.8% | -2.8% | -5.6% |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

[a]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 20.9%; [b]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 14.5%; [c]p< .05 เมื่อเปรียบเทียบกับ 13.5%

จากตารางที่ 15 พบว่า จำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3

ในขณะที่จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% ในการวิ่งรอบที่ 4 และการวิ่งรอบที่ 5 ของเซ็ตที่ 2 และในการวิ่งรอบที่ 5 และการวิ่งรอบที่ 6 ของเซ็ตที่ 3

นอกจากนี้ จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ในการวิ่งรอบที่ 5 ของเซ็ตที่ 2

และเมื่อนำค่าเฉลี่ยรวมของจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยรวมของจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยรวมของจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยรวมของจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ13.5%

เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศปกติ 20.9% พบว่า จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีการลดลง 1.8% จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีการลดลง 2.8% และจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีการลดลง 5.6%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตอนที่ 2** ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติกับการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2.1 ข้อมูล อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายของนักกีฬา

**ตารางที่ 16** ข้อมูล อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายของนักกีฬากลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึก

| **ตัวแปร** | **กลุ่มฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (n =11)** | **กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (n =11)** |
|---|---|---|
| อายุ (ปี) | 20.0 ± 1.5 | 20.1 ± 1.2 |
| น้ำหนัก (กิโลกรัม) | 63.4 ± 8.4 | 61.5 ± 4.8 |
| ส่วนสูง (เซนติเมตร) | 170.9 ± 6.9 | 172.6 ± 3.0 |
| ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร$^2$) | 21.63 ± 1.83 | 20.64 ± 1.59 |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

p>.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไปทุกค่า ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกาย ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 17** น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกายของนักกีฬา กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึก และหลังการฝึก 6 สัปดาห์

| **ตัวแปร** | **กลุ่มฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (n =11)** | | **กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (n =11)** | |
|---|---|---|---|---|
| | **ก่อนทำการฝึก** | **หลังการฝึก 6 สัปดาห์** | **ก่อนทำการฝึก** | **หลังการฝึก 6 สัปดาห์** |
| น้ำหนัก (กิโลกรัม) | 61.5 $\pm$ 4.8 | 61.4 $\pm$ 4.7 | 63.4 $\pm$ 8.4 | 63.3 $\pm$ 8.2 |
| ส่วนสูง (เซนติเมตร) | 172.6 $\pm$ 3.0 | 172.7 $\pm$ 3.0 | 170.9 $\pm$ 6.9 | 171.0 $\pm$ 6.9 |
| ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร$^2$) | 20.64 $\pm$ 1.59 | 20.59 $\pm$ 1.61 | 21.63 $\pm$ 1.83 | 21.59 $\pm$ 1.74 |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

p>.05

จากตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไปทุกค่า ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกาย ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มที่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 2.2 ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก ของกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ กับกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ โดยเปรียบเทียบก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

**ตารางที่ 18** ตัวแปรด้านความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึก

| **ตัวแปร** | **กลุ่มฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (n =11)** | **กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (n =11)** |
|---|---|---|
| ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที) | 52.36 $\pm$ 4.32 | 53.73 $\pm$ 3.66 |
| จุดกั้นแอนแอโรบิก(มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที) | 26.27 $\pm$ 19.24 | 27.09 $\pm$ 6.94 |
| เวลาในการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ (นาที) | 12.7 $\pm$ 0.5 | 13.1 $\pm$ 1.0 |
| ความอดทนแบบหนักสลับพัก (เมตร) | 1065.5 $\pm$ 247.4 | 1098.2 $\pm$ 140.1 |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

p>.05

จากตารางที่ 18 แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรด้านความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก ได้แก่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จุดกั้นแอนแอโรบิก เวลาในการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ และความอดทนแบบหนักสลับพัก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ตารางที่ 19** ตัวแปรด้านความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ก่อนทำการฝึก และหลังการฝึก 6 สัปดาห์

| ตัวแปร | กลุ่มฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (n =11) | | กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (n =11) | |
|---|---|---|---|---|
| | ก่อนทำการฝึก | หลังการฝึก 6 สัปดาห์ | ก่อนทำการฝึก | หลังการฝึก 6 สัปดาห์ |
| ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที) | 52.36 ± 4.32 | 55.82 ± 4.75* | 53.73 ± 3.66 | 59.73 ± 4.31* |
| จุดกั้นแอนแอโรบิก (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที) | 26.27 ± 19.24 | 33.09 ± 11.10* | 27.09 ± 6.94 | 34.00 ± 3.90* |
| เวลาในการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ (นาที) | 12.67 ± 0.52 | 13.08 ± 0.88* | 13.02 ± 0.99 | 13.66 ± 1.14* |
| ความอดทนแบบหนักสลับพัก (เมตร) | 1065.5 ± 247.4 | 1247.3 ± 222.6* | 1098.2 ± 140.1 | 1418.18 ± 128.2*# |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

*p<.05 เมื่อเปรียบเทียบกับภายในกลุ่มหลังการฝึก 6 สัปดาห์

#p<.05 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มหลังการฝึก 6 สัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 19 แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ระหว่างกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ หลังการฝึก 6 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ในกลุ่มที่ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ในขณะที่จุดกั้นแอนแอโรบิก และเวลาในการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ระหว่างกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า จุดกั้นแอนแอโรบิกระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

นอกจากนี้ยังพบว่า ความอดทนแบบหนักสลับพัก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ระหว่างกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติหลังการฝึก 6 สัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า ความสามารถด้านความอดทนแบบหนักสลับพัก ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางที่ 20** ปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึก

| **ปริมาณแลคเตทในเลือด จากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test** | **กลุ่มฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (n =11)** | **กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (n =11)** |
|---|---|---|
| ก่อนทำการทดสอบ | 3.45 $\pm$ 1.27 | 3.09 $\pm$ 0.41 |
| หลังการทดสอบ | 10.27 $\pm$ 2.64 | 10.01 $\pm$ 2.06 |
| หลังการทดสอบ 5 นาที | 9.02 $\pm$ 2.10 | 8.75 $\pm$ 2.16 |
| เปอร์เซ็นต์การลดลงระหว่างหลังการทดสอบและหลังการทดสอบ 5 นาที | 12.17% | 12.58% |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

p<.05

จากตารางที่ 20 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในช่วงก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ และหลังการทดสอบ 5 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 21** ปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึก และหลังการฝึก 6 สัปดาห์

| **ปริมาณแลคเตทในเลือด จากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test** | **กลุ่มฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (n =11)** | | **กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (n =11)** | |
|---|---|---|---|---|
| | **ก่อนทำการฝึก** | **หลังการฝึก 6 สัปดาห์** | **ก่อนทำการฝึก** | **หลังการฝึก 6 สัปดาห์** |
| ก่อนทำการทดสอบ | 3.45 ± 1.27 | 2.75 ± 0.65 | 3.09 ± 0.41 | 2.77 ± 0.59 |
| หลังการทดสอบ | 10.27 ± 2.64 | 9.19 ± 1.03 | 10.01 ± 2.06 | 9.85 ± 1.93 |
| หลังการทดสอบ 5 นาที | 9.02 ± 2.10 | 7.95 ± 1.35* | 8.75 ± 2.16 | 7.51 ± 1.94* |
| เปอร์เซ็นต์การลดลงระหว่างหลังการทดสอบและหลังการทดสอบ 5 นาที | 12.17% | 13.49% | 12.58% | 23.75% |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

*p<.05 เมื่อเปรียบเทียบกับภายในกลุ่มหลังการฝึก 6 สัปดาห์

#p<.05 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มหลังการฝึก 6 สัปดาห์

จากตารางที่ 21 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึก และหลังการฝึก 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในช่วงก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ และหลังการทดสอบ 5 นาที

เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่า ปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มในช่วงก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ช่วงหลังการทดสอบ 5 นาทีพบว่าปริมาณแลคเตทในเลือดระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อนำปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test มาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงระหว่างหลังการทดสอบและหลังการทดสอบ 5 นาทีพบว่า ก่อนการฝึกในกลุ่มที่ฝึกใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ มีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดคิดเป็น 12.17% และหลังการฝึก 6 สัปดาห์มีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดคิดเป็น 13.49%

ในขณะที่ก่อนการฝึกในกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ มีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดคิดเป็น 12.58% และหลังการฝึก 6 สัปดาห์มีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดคิดเป็น 23.75%

ตอนที่ 2.3 ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ของกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ กับกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยเปรียบเทียบก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

**ตารางที่ 22** ตัวแปรด้านความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึก

| **ตัวแปร** | **กลุ่มฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (n =11)** | **กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (n =11)** |
|---|---|---|
| พลังแบบแอนแอโรบิก (วัตต์) | 584.64 ± 66.10 | 600.27 ± 103.18 |
| พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ (วัตต์/กิโลกรัม) | 9.55 ± 1.09 | 9.49 ± 1.13 |
| ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (วัตต์) | 535.82 ± 64.14 | 548.36 ± 94.77 |
| ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ (วัตต์/กิโลกรัม) | 8.76 ± 1.16 | 8.67 ± 1.04 |
| ดัชนีความล้า (วัตต์/วินาที) | 2.78 ± 1.33 | 3.39 ± 1.23 |
| เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า(%) | 14.81 ± 7.15 | 17.46 ± 4.71 |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{X}$ + S.D.)

p<.05

จากตารางที่ 22 แสดงให้เห็นว่า พลังแบบแอนแอโรบิก พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ดัชนีความล้า และเปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้าของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตอนที่ 2.4 ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงที่มีต่อความทนต่อความเมื่อยล้า ของกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ กับกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยเปรียบเทียบก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

**ตารางที่ 23** ตัวแปรด้านความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึก และหลังการฝึก 6 สัปดาห์

| ตัวแปร | กลุ่มฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (n =11) | | กลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (n =11) | |
|---|---|---|---|---|
| | ก่อนทำการฝึก | หลังการฝึก 6 สัปดาห์ | ก่อนทำการฝึก | หลังการฝึก 6 สัปดาห์ |
| พลังแบบแอนแอโรบิก (วัตต์) | 584.64 ± 66.10 | 625.73 ± 67.53* | 600.27 ± 103.18 | 708.09. ± 120.28* |
| พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ (วัตต์/กิโลกรัม) | 9.55 ± 1.09 | 10.24 ± 1.29* | 9.49 ± 1.13 | 11.20 ± 1.34* |
| ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (วัตต์) | 535.82 ± 64.14 | 581.55 ± 56.08* | 548.36 ± 94.77 | 646.27 ± 84.24*# |
| ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ (วัตต์/กิโลกรัม) | 8.76 ± 1.16 | 9.52 ± 1.13* | 8.67 ± 1.04 | 10.24 ± 0.79* |
| ดัชนีความล้า (วัตต์/วินาที) | 2.78 ± 1.33 | 2.73 ± 1.23 | 3.39 ± 1.23 | 3.52 ± 2.69 |
| เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า(%) | 14.81 ± 7.15 | 13.14 ± 5.48 | 17.46 ± 4.71 | 11.44 ± 4.60* |

แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\bar{x}$ + S.D.)

*p<.05 เมื่อเปรียบเทียบกับภายในกลุ่มหลังการฝึก 6 สัปดาห์

#p<.05 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มหลังการฝึก 6 สัปดาห์

จากตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่า พลังแบบแอนแอโรบิก พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ดัชนีความล้า และเปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้าระหว่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึก และหลังทำการฝึก 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังทำการฝึก 6 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่ม พบว่า พลังแบบแอนแอโรบิก พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก และความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้าของกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่ดัชนีความล้า ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 การศึกษา ดังนี้

**การศึกษาที่ 1**

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถในการออกกำลังกายในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลระดับมหาวิทยาลัย ทีมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 16 คน โดยนักกีฬาที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้า (Inclusion criteria) ต้องสมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย โดยมีประวัติการฝึกซ้อมกีฬาฟุตซอลอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี ไม่เคยทำการฝึกหรืออยู่อาศัยในที่สูงมากกว่า 500 เมตร หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 20% ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง มีการประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) โดยต้องตอบว่า “ไม่เคย” ทุกข้อ จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์ และไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคเกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูง ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการแบ่งกลุ่มออกเป็นกลุ่มย่อยทั้งหมด 4 กลุ่ม ตามสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ ระดับที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงโดยใช้การวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle repeated sprint) โดยใช้รูปแบบการทดลองแบบถ่วงดุลลำดับ (Counterbalanced design) ทำการออกกำลังกายสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จนครบทั้ง 4 ระดับ โดยเริ่มจากการอบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ตามด้วยอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที จากนั้นจึงทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง เมื่อสิ้นสุดการวิ่งสปรินท์เที่ยวสุดท้าย จึงทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตรา

การเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนดอีก 10 นาที รวมเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายทั้งหมด 58 นาที ทำการเก็บข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการออกกำลังกายแต่ละครั้ง คือ

1. ตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิต ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ (HR) ความสามารถในการใช้ออกซิเจน ($VO_2$) ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ($VCO_2$) ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที ($V_E$) อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ (RER) และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$)

2. ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle Fatigue) ได้แก่ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) ที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) และปริมาณแลคเตทในเลือด (Blood Lactate Concentration : B[La])

3. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ ได้แก่ ค่าระดับรับรู้ความเหนื่อย (RPE)

4. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการออกกำลังกาย ได้แก่ จำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จ

การเลือกสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาที่ 2 พิจารณาจาก

1. ปริมาณแลคเตทในเลือดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ โดยปริมาณแลคเตทในเลือดที่เพิ่มขึ้น และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ลดลง เป็นตัวบ่งบอกความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้น โดยสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างจากค่าที่เกิดขึ้นในสภาวะออกซิเจนปกติมาก หมายถึงความหนักที่มีความแตกต่างกับในสภาวะออกซิเจนปกติมาก และเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการฝึก

2. ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด โดยต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 75%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**สรุปผลการวิจัยของการศึกษาที่ 1**

ผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% สามารถแยกตามกลุ่มตัวแปรได้ดังนี้

**1. ระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิต**

**1.1 อัตราการเต้นของหัวใจ (HR)**

อัตราการเต้นของหัวใจในช่วงขณะพัก เมื่อเปรียบเทียบในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ขณะที่ในเซ็ตที่ 1 อัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5%

นอกจากนี้ในเซ็ตที่ 2 และ 3 อัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ส่วนค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 1 ในอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ในเซ็ตที่ 2 ค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% ในเซ็ตที่ 3 ค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% และ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**1.2 ความสามารถในการใช้ออกซิเจน ($VO_2$)**

ในช่วงขณะพัก พบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5%

ในเซ็ตที่ 1 และ 2 ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

นอกจากนี้ในเซ็ตที่ 3 ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ส่วนค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 1 และ 3 ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนอื่นๆ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวในเซ็ตที่ 2 ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

**1.3 ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ($VCO_2$)**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในช่วงขณะพัก พบว่า ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5%

ขณะที่ในเซ็ตที่ 1 และ 2 ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

นอกจากนี้ในเซ็ตที่ 3 ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ส่วนค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 1 ในความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติทุกระดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 2 และ 3 ในความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5%

**1.4 ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที ($V_E$)**

ในช่วงขณะพัก พบว่า ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5%

ขณะที่ในเซ็ตที่ 1 ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% ในขณะที่ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% และปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับ

ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ในเซ็ตที่ 2 ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5%

ในเซ็ตที่ 3 ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% และ 12.5% นอกจากนี้ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

ส่วนค่าเฉลี่ยของช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 1 ในปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 2 ในปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% ขณะที่ช่วงพักระหว่างเที่ยวของเซ็ตที่ 3 ในปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5%

**1.5 อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ (RER)**

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วง

**1.6 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$)**

ในช่วงขณะพัก เมื่อเปรียบเทียบค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5%

ในขณะที่ในเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และ เซ็ตที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5%

**2. ความล้าของกล้ามเนื้อ**

**2.1 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG)**

ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) ที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% เมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในการวิ่งทุกรอบของเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3

ในขณะที่ความแตกต่างของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% ในการวิ่งรอบที่ 1-6 ของเซ็ตที่ 1 การวิ่งรอบที่ 3-6 ของเซ็ตที่ 2 และในการวิ่งรอบที่ 1-6 ของเซ็ตที่ 3

นอกจากนี้ ความแตกต่างของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ในการวิ่งทุกรอบของเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% กับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการวิ่งทุกรอบของเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3

ในส่วนของค่าเฉลี่ยรวมของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% เปรียบเทียบกับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยรวมของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยรวมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ13.5%

และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่ได้จากการคำนวณศักย์ไฟฟ้าที่บันทึกได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศปกติ 20.9% พบว่า ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีการลดลง 14.1% ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีการลดลง 18.6% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีการลดลง 34.1%

**2.2 ปริมาณแลคเตทในเลือด (B[La])**

ในช่วงขณะพัก เซ็ตที่ 1 และเซ็ตที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

ในขณะที่ในเซ็ตที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% และ 13.5% มีความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

**3. การรับรู้**

**3.1 ค่าระดับรับรู้ความเหนื่อย (RPE)**

ในช่วงขณะพัก เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

ในเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% กับค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ในเซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3 ระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับรับรู้ความเหนื่อยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5%

**4. จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จ**

จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในเซ็ตที่ 1 เซ็ตที่ 2 และเซ็ตที่ 3

ในขณะที่จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% ในการวิ่งรอบที่ 4 และการวิ่งรอบที่ 5 ของเซ็ตที่ 2 และในการวิ่งรอบที่ 5 และการวิ่งรอบที่ 6 ของเซ็ตที่ 3

นอกจากนี้ จำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการวิ่งสปริ๊นท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ในการวิ่งรอบที่ 5 ของเซ็ตที่ 2

และเมื่อนำค่าเฉลี่ยรวมของจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยรวมของจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% และ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยรวมของจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยรวมของจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ13.5%

เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศปกติ 20.9% พบว่า จำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% มีการลดลง 1.8% จำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีการลดลง 2.8% และจำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีการลดลง 5.6%

**อภิปรายผลการวิจัยของการศึกษาที่ 1**

จากการศึกษาผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนในอากาศที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% พบว่า

ในการวิจัยครั้งนี้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% มีเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการฝึกหรือออกกำลังกายด้วยโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวมากที่สุด เนื่องจากเป็นระดับที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้มากและมีความปลอดภัยสำหรับการนำไปใช้ในการฝึก

แม้ว่าหากพิจารณาจากความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่า สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% อาจเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ เนื่องจากปริมาณแลคเตทในเลือดจากการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในเซ็ตสุดท้ายที่ระดับ14.5% อยู่ที่ 7.8 มิลลิโมลต่อลิตร ที่ระดับ13.5% อยู่ที่ 9.4 มิลลิโมลต่อลิตร และที่ระดับ 12.5% อยู่ที่ 10.4 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณแลคเตทในเลือดในสภาวะออกซิเจนปกติ นอกจากนี้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ มีการลดลงอย่างมากในระหว่างการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ การลดลงของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับระดับ

ปริมาณออกซิเจนที่ลดลง โดยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีการลดลงของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมากที่สุด โดยมีความแตกต่างจากการทดสอบในสภาวะออกซิเจนปกติที่ระดับ 20.9% อยู่ถึง 34.1% ในขณะที่ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% และ 13.5% ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อมีความแตกต่างจากการทดสอบในสภาวะออกซิเจนปกติที่ระดับ 20.9% อยู่ที่ 14.1% และ 18.6% ตามลำดับ การออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% เป็นสภาวะที่สร้างความเมื่อยล้าให้กับกล้ามเนื้อได้มากที่สุดและอาจมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ฝึกนักกีฬา

แต่เมื่อพิจารณาในด้านความปลอดภัยจากการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยปกติการขาดออกซิเจนซึ่งสามารถวัดได้จากการวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดจะมีการลดลงขณะที่ทำการออกกำลังกาย และจะมีการเพิ่มขึ้นเมื่อหยุดออกกำลังกาย ซึ่งหากค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดต่ำกว่า ~ 80% เป็นเวลานานอาจทำให้การทำงานของอวัยวะบกพร่อง เช่น สมองและหัวใจ ซึ่งควรได้รับการดูแลและแก้ไขในทันที เนื่องจากหากปล่อยให้มีระดับของออกซิเจนในเลือดในระดับต่ำต่อไป อาจทำให้เกิดอาการหยุดหายใจ หรือหัวใจหยุดเต้นได้ (Woerlee, 2005) ซึ่งในนักกีฬาค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดขณะออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำอาจลดลงต่ำกว่า 80% ได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตามระดับปริมาณออกซิเจนที่แนะนำสำหรับนักกีฬาจะมีค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดที่เกิดขึ้นหลังการออกกำลังกายแต่ละครั้งไม่ต่ำกว่า ~ 75% (Bowtell et al., 2014; Goods et al., 2014) ซึ่งผลของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดจากการวิจัยครั้งนี้ซึ่งพบว่าสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% หลังการออกกำลังกายในเซ็ตสุดท้ายมีค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนอยู่ที่ 73.7 ± 3.4% ซึ่งอาจทำให้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% มีความเสี่ยงสูงต่อการออกกำลังกาย ในขณะที่สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% หลังการออกกำลังกายในเซ็ตสุดท้ายมีค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนอยู่ที่ 79.1 ± 2.4% ซึ่งมีค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดอยู่ในระดับที่ปลอดภัยมากกว่า และเป็นสภาวะที่ทำให้เกิดความล้าในลำดับรองลงมาจึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้มากกว่า

การอธิบายการตอบสนองที่เกิดขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ กล่าวคือ รูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อในการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ในช่วงแรกจะมาจากใช้พลังงานในระบบเอทีพี-ซีพี (ATP-CP System) ซึ่งในการหดตัวของกล้ามเนื้อต้องอาศัยพลังงานจาก ATP ในการทำงานช่วงสั้นๆ ไม่เกิน 5-6 วินาที โดยกล้ามเนื้อจะใช้สาร ATP ที่สะสมอยู่ในเซลล์ เมื่อกล้ามเนื้อทำงานนานขึ้นจะต้องสร้าง ATP เพิ่มเติมจากแหล่งพลังงานที่อยู่ใกล้ที่สุดคือ Creatine Phosphate การสลาย Creatine Phosphate จะทำให้มี ATP ในการทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มได้อีกระยะหนึ่ง (ประมาณ 10-15 วินาที) การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาจากการออกกำลังกายใน

สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณออกซิเจนลดต่ำลง จากความดันย่อยของออกซิเจนที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจึงส่งผลให้มีโมเลกุลของออกซิเจนที่จับกับฮีโมโกลบินน้อยลง ออกซิเจนที่มีอยู่จะถูกนำมาใช้อย่างรวดเร็วเพื่อสร้างครีเอทีนฟอสเฟตในระหว่างการออกกำลังกาย แต่ด้วยการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักในช่วงสั้น ๆ ด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในงานวิจัยนี้ทำให้เกิดการขาดแคลนของออกซิเจนและจะทำให้ร่างกายต้องเปลี่ยนมาใช้ระบบการใช้พลังงานจากระบบไกลโคไลซิส (Anaerobic Glycolysis System) ในการสร้าง ATP-CP และการใช้ Creatine Phosphate เป็นจำนวนมากจากการออกกำลังกายที่มีความหนักสูง (Bogdanis et al., 1996) จะส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตสูงขึ้นและอาจทำให้เกิดความเมื่อยล้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเส้นใยกล้ามเนื้อแบบหดตัวเร็ว (Fast Twitch Fibers) (Westerblad, Allen, & Lannergren, 2002) ซึ่งปริมาณของแลคเตตในเลือดที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ จะเกิดขึ้นพร้อมกับระดับการสะสมของไฮโดรเจนไอออนที่สูงกว่าที่เกิดขึ้นกับการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกซึ่งทำให้เกิดความเมื่อยล้าที่ตามมาในกลุ่มตัวอย่าง (Girard, Mendez-Villanueva, & Bishop, 2011) นอกจากนี้ในสถานการณ์ที่สภาวะปริมาณของออกซิเจนในอากาศลดลงมากขึ้นในงานวิจัยนี้ ทำให้นักกีฬาพยายามที่จะนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายมากขึ้นเพื่อนำไปช่วยในการสังเคราะห์พลังงาน โดยจะเห็นได้จากปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีที่สูงมากขึ้นในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% และ 13.5% การเพิ่มขึ้นของปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีที่มีสาเหตุมาจากแรงกดดันบางส่วนของออกซิเจนและภาวะการเพิ่มขึ้นของกรดแลคติกในเลือด (Faiss, Leger, et al., 2013; Wagner et al., 1986) อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนที่ได้รับอาจไม่เพียงพอส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณออกซิเจนในอากาศลดลงมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในส่วนของการทำงานของกล้ามเนื้อในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งพบว่า ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่มีการลดลงมีความสัมพันธ์กับระดับปริมาณออกซิเจนที่ลดลง มีความสอดคล้องกับการวิจัยที่ผ่านมา (Billaut et al., 2013; Bowtell et al., 2014; Smith & Billaut, 2010) อย่างไรก็ตามการลดลงของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อในงานวิจัยนี้ อาจเกี่ยวข้องกับความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นจากระบบประสาทส่วนกลาง (central fatigue) นอกเหนือจากความเมื่อยล้าที่เกิดจากกลไกการกระตุ้นและหดตัวของเซลล์กล้ามเนื้อหรือที่เรียกว่าการล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (peripheral fatigue) (Billaut et al., 2013; Smith & Billaut, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมิธและบิลเลาท์ (Smith & Billaut, 2010) ที่พบว่าการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ระดับ 13.3% มีความสัมพันธ์กับการผิดปกติในการแลกเปลี่ยนออกซิเจน (deoxygenation) ในสมองมากขึ้นและส่งผลต่อการระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการขาดออกซิเจนในกล้ามเนื้อจะกระตุ้นเส้นประสาทประเภท III / IV ที่นำไปสู่การยับยั้งการ

ทำงานเซลล์ประสาทของกล้ามเนื้อ (Amann & Calbet, 2008) การลดลงของการไหลเวียนเลือดที่ไปเลี้ยงสมองเนื่องจากการขาดออกซิเจนทำให้เกิดภาวะการมีคาร์บอนไดออกไซด์ในเม็ดเลือดแดงลดลง (hypocapnia) และอาจเกิดอาการภาวะที่เลือดกลายเป็นด่างทำให้หลอดเลือดหดตัว (vasoconstriction) ในสมองได้ หากภาวะการขาดออกซิเจนที่รุนแรงมาก (Ainslie & Ogoh, 2010) นอกจากนี้การขาดออกซิเจนได้แสดงถึงการเพิ่มระดับของ deoxyhemoglobin ในกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่องในระหว่างการทดสอบวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว 10 x 6 วินาทีจากงานวิจัยของโบวเทลและคณะ (Bowtell et al., 2014)

ดังนั้นในการวิจัยนี้ การขาดออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก ทำให้เกิดของเสียที่ได้จากการเผาผลาญที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงท้ายของการออกกำลังกาย ซึ่งสอดคล้องกับแบงสโบ มอร์ และครุสทรัป (Bangsbo, Mohr, & Krustrup, 2006) ที่กล่าวว่าประสิทธิภาพในการออกกำลังกายที่ลดลงเป็นผลมาจากการลดลงของไกลโคเจนเพราะเมื่อไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อไม่เพียงพอเป็น สาเหตุให้เกิดความเมื่อยล้าระหว่างการออกกำลังกายแบบหนักสลับพัก (intermittent exercise) เป็นเวลานาน ๆ การลดลงของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อจะลดลงทันทีที่มีการวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว นอกจากนี้งานวิจัยครั้งนี้ยังพบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดกับคะแนนค่าระดับรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ซึ่งความสัมพันธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวกับการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำของบิลเลาท์และสมิธ (Smith & Billaut, 2010) และชี้ให้เห็นว่าการขาดออกซิเจนมีความเกี่ยวข้องกับการรับรู้ความพยายาม (sense of effort) โดยมอนโรและคณะ (Monroe et al., 2016) กล่าวว่าการผิดปกติในการแลกเปลี่ยนออกซิเจน (deoxygenation) ของบางส่วนของสมอง (dorsolateral prefrontal cortex) อาจเกี่ยวข้องกับการรับรู้ความรู้สึกของการออกแรงและความเมื่อยล้า (Monroe et al., 2016) และยังอาจเป็นไปได้ว่าความรู้สึกดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการตอบสนองทางระบบประสาทการรับรู้ที่เพิ่มขึ้นจากกล้ามเนื้อขาดออกซิเจนในระหว่างการออกกำลังกายด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Amann & Calbet, 2008)

**สรุปผลการวิจัยในภาพรวมของการศึกษาที่ 1**

จากงานวิจัยครั้งนี้ การออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ระดับ 13.5% มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการฝึกมากที่สุด เนื่องจากการออกกำลังกายที่ระดับนี้ทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้มากจากการสะสมของเสียที่เกิดจากการใช้ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้กล้ามเนื้อทำงานได้อย่างลำบากมากขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่มีการลดลงอย่าง

มีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายลักษณะเดียวกันในสภาวะออกซิเจนปกติ นอกจากนี้ยังมีกลไกอื่น ๆ ซึ่งรวมถึงการเปลี่ยนแปลงจากระบบประสาทส่วนกลาง และการรับรู้ความเหนื่อยที่เพิ่มขึ้น

และแม้ว่าผลของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 12.5% จะส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 14.5% 13.5% แต่ก็พบว่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดในระดับนี้ มีค่าต่ำกว่า 75% ซึ่งเป็นค่าที่ตั้งไว้เพื่อความปลอดภัยในการออกกำลังกายของนักกีฬา ทำให้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ที่ส่งผลให้ร่างกายเกิดความเมื่อยล้าได้มากในลำดับรองลงมามีความเหมาะสมในการนำไปใช้มากกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงอาการที่ไม่พึงประสงค์จากการฝึกที่อาจเกิดขึ้นกับนักกีฬา สอดคล้องกับที่ กู๊ดส์และคณะ (Goods et al., 2014) ได้ให้ความเห็นว่าการฝึกซ้อมในความสูงที่สูงกว่าหรือในระดับของปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่น้อยกว่าอาจจะไม่ใช่ระดับที่เหมาะสม

**การศึกษาที่ 2**

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลระดับมหาวิทยาลัย ทีมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 26 คน โดยนักกีฬาที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้า (Inclusion criteria) ต้องสมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย โดยมีประวัติการฝึกซ้อมกีฬาฟุตซอลอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี ไม่เคยทำการฝึกหรืออยู่อาศัยในที่สูงมากกว่า 500 เมตร หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 20% หากเป็นนักกีฬาที่เข้าร่วมการศึกษาที่ 1 ต้องมีช่วงพัก (Wash out period) โดยไม่ทำการสัมผัสกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำอย่างน้อย 4 สัปดาห์ก่อนการทดลอง เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับการวิจัยในการศึกษานี้ ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง มีการประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) โดยต้องตอบว่า “ไม่เคย” ทุกข้อ จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์ และไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคเกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูง ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการทดสอบก่อนการฝึก หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงทำการแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยจากค่าพลังแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power) ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้วิธีการจับคู่ (Matching group) คือ กลุ่มทดลอง ซึ่งทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติโดยมีปริมาณออกซิเจนในอากาศ 13.5% และกลุ่มควบคุม ซึ่งทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติโดยมีปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 2 กลุ่มทำ

การฝึกโดยใช้โปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle repeated sprint) โดยเริ่มจากการอบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ตามด้วยอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที จากนั้นจึงทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6-10 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง เมื่อสิ้นสุดการวิ่งสปรินท์เที่ยวสุดท้าย จึงทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนดอีก 10 นาที ทำการฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้ง โดยในสัปดาห์ที่ 1-2 ทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวเซ็ตละ 6 เที่ยว รวมเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายแต่ละครั้ง 58 นาที สัปดาห์ที่ 3-4 ทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวเซ็ตละ 8 เที่ยว รวมเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายแต่ละครั้ง 61 นาที และสัปดาห์ที่ 5-6 ทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวเซ็ตละ 10 เที่ยว รวมเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายแต่ละครั้ง 64 นาที เมื่อสิ้นสุดการฝึก 6 สัปดาห์ จึงทำการทดสอบหลังการฝึกเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและทางแอนแอโรบิกที่เกิดขึ้น โดยในขณะที่ทำการฝึกในช่วง 6 สัปดาห์ มีกลุ่มตัวอย่างได้รับบาดเจ็บจากการฝึกซ้อมกีฬาฟุตซอลจำนวน 2 คน มีอาการป่วยเป็นไข้หวัดไม่สามารถเข้าร่วมวิจัยได้ 1 คน และขอถอนตัวจากการวิจัยจำนวน 1 คน ทำให้เหลือกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 22 คน แบ่งเป็นกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ 11 คน และกลุ่มที่ฝึกในออกซิเจนปกติจำนวน 11 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**สรุปผลการวิจัยของการศึกษาที่ 2**

ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย สามารถแยกตามกลุ่มตัวแปรได้ดังนี้

**1. ตัวแปรด้านสรีรวิทยาทั่วไป**

1.1 น้ำหนัก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มที่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

1.2 ส่วนสูง ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มที่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

1.3 ดัชนีมวลกาย ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มที่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

**2. ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก**

2.1 ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ระหว่างกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ในกลุ่มที่ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.2 จุดกั้นแอนแอโรบิก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ระหว่างกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า จุดกั้นแอนแอโรบิกระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.3 เวลาในการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ระหว่างกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งก่อนและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า จุดกั้นแอนแอโรบิกระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.4 ความอดทนแบบหนักสลับพัก ของนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย ระหว่างกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติหลังการฝึก 6 สัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า ความอดทนแบบหนักสลับพัก ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.5 ปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติก่อนทำการฝึก และหลังการฝึก 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในช่วงก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ และหลังการทดสอบ 5 นาที เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่า ปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test ระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มในช่วงก่อนการทดสอบและหลังการ

ทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ช่วงหลังการทดสอบ 5 นาทีพบว่า ปริมาณแลคเตทในเลือดระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อนำปริมาณแลคเตทในเลือดจากการทดสอบ YoYo Intermittent Recovery Test มาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงระหว่างหลังการทดสอบและหลังการทดสอบ 5 นาทีพบว่า ก่อนการฝึกในกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ มีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดคิดเป็น 12.17% และหลังการฝึก 6 สัปดาห์มีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดคิดเป็น 13.49% ในขณะที่ก่อนการฝึกในกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ มีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดคิดเป็น 12.58% และหลังการฝึก 6 สัปดาห์มีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดคิดเป็น 23.75%

**3. ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก**

3.1 พลังแบบแอนแอโรบิก ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึกและหลังทำการฝึก 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.2 พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึก และหลังทำการฝึก 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.3 ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึก และหลังทำการฝึก 6 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.4 ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึก และหลังทำการฝึก 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.5 ดัชนีความล้า ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึก และ

หลังทำการฝึก 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ของทั้งสองกลุ่มพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.6 เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติก่อนทำการฝึกและหลังทำการฝึก 6 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์พบว่ากลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่ในกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์

**อภิปรายผลการวิจัยของการศึกษาที่ 2**

จากการศึกษาผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย พบว่า

การฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาทั่วไปหลังการฝึก 6 สัปดาห์ ซึ่งได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกาย ในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยทั้งกลุ่มที่ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ และกลุ่มสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

**ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก**

ผลการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส จุดกั้นแอนแอโรบิกเวลาในการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ และความอดทนแบบหนักสลับพักระหว่างกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและกลุ่มที่ฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในงานวิจัยครั้งนี้ พบว่าตัวแปรความอดทนแบบหนักสลับพักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลังการฝึก 6 สัปดาห์ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ แม้ว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จุดกั้นแอนแอโรบิกและเวลาในการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม แต่เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มระหว่างก่อนการฝึกและหลังการฝึก 6 สัปดาห์ภายในกลุ่มก็พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในทั้ง 2 กลุ่ม ซึ่งเป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีผลในการเพิ่มความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการฝึก

ในสภาวะออกซิเจนปกติ ซึ่งสอดคล้องกับแบงสโบและคณะ (Bangsbo et al., 2008) ได้ทำการวิจัยในนักกีฬาฟุตบอล และพบว่า ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกที่สูงกว่าจะสามารถเพิ่มความสามารถด้านความอดทนแบบหนักสลับพัก โดยระยะทางที่นักกีฬาทำการวิ่งได้ระหว่างการแข่งขันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความอดทนแบบหนักสลับพักซึ่งเป็นผลของการทดสอบ Yoyo Intermittent Recovery Test ในงานวิจัยนี้ ซึ่งอาจเป็นผลมากจากการปรับเปลี่ยนภายในระบบกล้ามเนื้อ ซึ่งในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจะมีโอกาสเกิดขึ้นมากกว่าสภาวะออกซิเจนปกติ (Czuba et al., 2011; Dufour et al., 2006; Zoll et al., 2006) โดยการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ จะทำให้มีการปรับตัวเพิ่มขึ้นของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อมากกว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ทั้งการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของไมโตคอนเดรียในกล้ามเนื้อลาย และอัตราเส้นใยของหลอดเลือดฝอย (Vogt et al., 2001) นอกจากนี้ความหนักในการฝึกที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของไมโตคอนเดียลมาร์คเกอร์ในกล้ามเนื้อลาย และเกิดกระบวนการที่เรียกว่า Mitochondria biogene ในการเผาผลาญพลังงาน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจนเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกดีขึ้น (Little et al., 2011; Talanian et al., 2007)

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก จากการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มในงานวิจัยนี้ อาจจะมาจากการพัฒนาหรือการเปลี่ยนแปลงของสรีรวิทยาในหลายด้าน โดยการฝึกแบบหนักสลับพัก หรือการฝึกแบบสลับช่วง จะส่งผลต่อการกระตุ้นการทำงานของระบบหัวใจและระบบไหลเวียนเลือด โดยเฉพาะช่วง 10 วินาทีแรกของการฝึกหนัก และในช่วง 10 วินาทีแรกหลังเสร็จสิ้นการฝึก โดยในแต่ละครั้ง หัวใจจะเต้นเร็วและแรง ผนังของหัวใจขยายตัวมากกว่าปกติ เลือดไหลเวียนไปสู่ช่องหัวใจเพิ่มขึ้นเพื่อสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมากขึ้นกว่าปกติ ทำให้ระบบการทำงานของหัวใจและระบบไหลเวียนเลือดทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบตัวแต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้นและเป็นตัวนำออกซิเจนมาชดเชยให้กับร่างกายที่เป็นหนี้ออกซิเจนในขณะพักหลังจากปฏิบัติกิจกรรมที่มีความหนักสูงได้รวดเร็วขึ้น ช่วยในการฟื้นฟูร่างกายอย่างรวดเร็วระหว่างการฝึกซ้อมและแข่งขัน ช่วยในการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด การทำหน้าที่ในระบบหายใจ การแลกเปลี่ยนแก๊สให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Kirsten A Burgomaster et al., 2005; Daussin et al., 2007; Gibala et al., 2006) นอกจากนี้ความถี่ของการฝึกที่เหมาะสมก็จะส่งผลต่อการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกเช่นกัน โดยงานวิจัยครั้งนี้ใช้ความถี่ของการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆที่มีการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จะใช้ความถี่ในการฝึกตั้งแต่ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (K. A. Burgomaster et al., 2008; Gibala et al., 2006; Hazell et al., 2010; MacDougall et al., 1998; Macpherson et al., 2011; Ziemann et al., 2011) ไปจนถึงฝึกทุกวัน (Parra et al., 2000) และแม้บางงานวิจัยจะใช้ระยะเวลา

ในช่วงสั้น ๆ เช่น 2 สัปดาห์ (McKay et al., 2009; Parra et al., 2000) แต่ใช้การฝึกอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ก็สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้

เมื่อพิจารณาในแง่ของระยะเวลาในการฝึกและการพักนั้น บาร์เน็ตและคณะ (Barnett et al., 2004) กล่าวว่า ระยะเวลาในการพักที่น้อย มีผลอย่างยิ่งต่อในพัฒนาด้านความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกของกล้ามเนื้อ เพราะเมื่อมีการปฏิบัติซ้ำโดยมีระยะเวลาพักไม่เพียงพอที่จะทำให้ร่างกายได้ฟื้นฟู ATP และ CP อย่างเต็มที่เพื่อใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมเที่ยวต่อไป ร่างกายจะสังเคราะห์พลังงานแบบแอโรบิกในอัตราส่วนที่สูงขึ้นในขณะช่วงพัก เพื่อชดเชยการเป็นหนี้ออกซิเจนที่สะสมเพิ่มสูงขึ้นระหว่างช่วงการฝึก ทั้งนี้ระยะเวลาในช่วงพักควรจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในช่วงฝึกด้วยเช่นกัน โดยในงานวิจัยนี้ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว 10 วินาที และทำการพัก 20 วินาที ก่อนทำการวิ่งอีกครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับที่ ซีแมนและคณะ (Ziemann et al., 2011) ได้เสนอว่าอัตราส่วนระหว่างช่วงฝึกและช่วงพักอยู่ที่ 1 : 2 จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการฝึกแบบสลับช่วงเพื่อพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก นอกจากนี้ในการพักระหว่างเซ็ตในการวิจัยนี้คือการพักแบบมีกิจกรรมเป็นเวลา 5 นาที โดยการควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจให้อยู่ในช่วง 55-60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดก่อนการปฏิบัติการฝึกในเซ็ตต่อไป ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงพักระหว่างเซ็ตนี้ก็จะเป็นส่วนหนึ่งในการส่งเสริมการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก เนื่องจากนักกีฬายังทำการออกกำลังกายต่อเนื่องในความหนักระดับเบาตลอดช่วงพักก่อนทำการฝึกในระดับความหนักสูงต่อไป

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำเพื่อพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกที่ผ่านมา ก็พบทั้งงานวิจัยที่มีผลการเปลี่ยนแปลงด้านความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในทางที่ดีขึ้น (Czuba et al., 2011; Mao et al., 2011; Meeuwsen et al., 2001) และงานวิจัยที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Morton & Cable, 2005; Neya et al., 2007; Roels et al., 2007; Truijens et al., 2003; Ventura et al., 2003) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาในการฝึก ระยะเวลาในการพัก ความถี่ในการฝึก ความหนักในการฝึก อัตราการเพิ่มความหนักของการฝึก กิจกรรมที่ใช้ในการฝึก ความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมงานวิจัย และรวมไปถึงระดับของสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยครั้งนี้ยังพบว่า การสะสมของปริมาณแลคเตทในเลือดหลังจากการทดสอบความอดทนแบบหนักสลับพัก 5 นาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม แต่เมื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะเห็นได้ว่าหลังจากการฝึก 6 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดหลังการทดสอบ 5 นาที ในกลุ่มที่ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติมีการลดลงถึง 23.75% ขณะที่กลุ่มที่ทำการฝึกในสภาวะออกซิเจนปกติมีการลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดหลังการทดสอบอยู่ที่ 13.49% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเพิ่มค่าความทนทานของการสะสมกรดแลคติกในร่างกาย และการกำจัดของเสียที่

เกิดขึ้นจากการออกกำลังกายที่ดีขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแลคเตทในเลือดหลังการทดสอบ 5 นาที ที่แตกต่างกันประมาณ 10% ช่วยสนับสนุนการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของผลการทดสอบ Yoyo Intermittent Recovery Test โดย แกทเตอเรอร์และคณะ (Gatterer et al., 2014) ได้ทำการศึกษาการฝึกวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำในนักกีฬาฟุตบอลเยาวชนชั้นยอด พบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถทำให้ความเมื่อยล้าลดลงได้ดีกว่าในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ เวนทูราและคณะ (Ventura et al., 2003) ได้ศึกษาการตอบสนองจากการฝึกความทนทานในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ระดับ 3200 เมตร ซึ่งพบว่า กรดแลคติกในเลือดจากการออกกำลังกายลดลงหลังการฝึก 6 สัปดาห์

**ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก**

ผลการเปลี่ยนแปลงของพลังแบบแอนแอโรบิก และความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก จากการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในการวิจัยครั้งนี้ อาจจะมาจากการพัฒนาความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เพิ่มเอนไซม์ไกลโคไลติก การขนส่งกลูโคส และการควบคุมความเป็นกรดด่างในร่างกาย (Dufour et al., 2006; Vogt et al., 2001; Zoll et al., 2006) ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่เร็วขึ้น การสะสมของแลคเตทระหว่างกิจกรรมการออกกำลังกายด้วยความหนักสูงมีการลดลง เพิ่มความสามารถในการกำจัดแลคเตทในเลือดและการควบคุมสมดุลแร่ธาตุในร่างกาย กระบวนการไกลโคเจโนไลสิส (Glycogenolysis) ในกล้ามเนื้อมีการลดลง ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อมีการสะสมเพิ่มมากขึ้น (K. A. Burgomaster et al., 2008; Gibala et al., 2006; Harmer et al., 2000; MacDougall et al., 1998) นอกจากนี้ผลของการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มจากการวิจัยนี้ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในตัวแปรด้านความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ สอดคล้องกับงานวิจัยของแฮมลินและคณะ (Hamlin et al., 2010) ที่พบว่าการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการประกอบกิจกรรมแบบแอนแอโรบิกจากการเพิ่มขึ้นของไกลโคไลติก ซึ่งหมายความว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกตินั้น มีส่วนช่วยให้เกิดการพัฒนาความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity) ได้ดีกว่าการฝึกในสภาวะออกซิเจนปกติ ซึ่งความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกเป็นความสามารถที่ช่วยในเรื่องการการรักษาระดับการทำงานของกล้ามเนื้อซึ่งใช้พลังงานที่สร้างจากทั้งระบบเอทีพี-ซีพี (ATP-CP) และระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส (Anaerobic Glycolysis) ให้คงอยู่ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจะสร้างความล้าให้กับกล้ามเนื้อในระดับที่สูงกว่าการฝึกในสภาวะปกติ เนื่องจากมีปริมาณของแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นมาก เมื่อทำการทดสอบในสภาวะออกซิเจนปกติ กล้ามเนื้อที่เกิดการปรับตัวเพื่อให้คุ้นชินกับสภาวะที่ทำให้เกิดความล้าสูงจึงสามารถทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากการลดลงของค่าดัชนีความล้า (Fatigue Index) ซึ่งเป็นค่าที่

บ่งบอกถึงความล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นหลังจากการทำงานหนักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Medbø & Burgers, 1990) ซึ่งถ้าดัชนีความล้ามีค่ามากแสดงว่า กล้ามเนื้อมีแนวโน้มเสี่ยงต่อการล้าสูง หมายถึง กล้ามเนื้อมีความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับต่ำและในทางกลับกัน ถ้าดัชนีความล้ามีค่าน้อยแสดงว่า กล้ามเนื้อมีความอดทนต่อการเพิ่มขึ้นของกรดแลคติกในระดับสูง (Zacharogiannis et al., 2003) แม้ว่าค่าดัชนีความล้าจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ก็พบว่ามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของแกทเตอเรอร์และคณะ (Gatterer et al., 2014) ที่ได้ทำการศึกษาการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำในนักกีฬาฟุตบอลเยาวชนชั้นยอด ด้วยการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 14.8% และในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.95% โดยทำการฝึก 3 ชุด ชุดละ 5 เที่ยว เที่ยวละ 10 วินาทีไปและกลับด้วยความเร็วสูงสุดในการวิ่งระยะ 4.5 เมตร สลับพัก 20 วินาทีต่อเที่ยว และ 5 นาทีต่อชุด ทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ โดยผลจากการฝึกพบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถทำให้ความเมื่อยล้าของนักกีฬาจากการทดสอบลดลงได้ดีกว่าในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

**สรุปผลการวิจัยในภาพรวมของการศึกษาที่ 2**

จากงานวิจัยครั้งนี้ การออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5 % สามารถพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกได้ในตัวแปรด้านความอดทน และความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกในตัวแปรด้านความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิกได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับการฝึกในสภาวะออกซิเจนปกติ หลังจากการฝึก 6 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่ามีแนวโน้มที่จะช่วยในการพัฒนาความทนต่อความเมื่อยล้า ซึ่งเป็นความความสามารถที่ช่วยในเรื่องการการรักษาระดับการทำงานของกล้ามเนื้อได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ และยังส่งผลให้เกิดการพัฒนาความอดทนแบบหนักสลับพักในนักกีฬามีการพัฒนามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

**ข้อเสนอแนะจากการวิจัย**

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ สามารถนำการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่ระดับ 13.5% ไปใช้ในการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัยและอาจนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาความสามารถของนักกีฬาประเภททีมแบบหนักสลับพักชนิดอื่น ๆ ได้

**ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป**

1. ควรมีการเปรียบเทียบผลของการฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติในหลาย ๆ ระดับ เพื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงที่อาจแตกต่างกันในแต่ละตัวแปร

2. ควรมีการทดสอบในลักษณะอื่น ๆ เพื่อประเมินความหนักของรูปแบบการออกกำลังกายที่แตกต่างกันในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ ซึ่งจะสามารถช่วยให้กำหนดโปรแกรมการฝึกที่เหมาะสมกับนักกีฬาได้ดียิ่งขึ้น

3. ควรมีการตรวจสอบผลของการฝึกในระดับเซลล์และเม็ดเลือดในตัวแปรอื่น ๆ นอกจากการเกิดขึ้นของปริมาณแลคเตทในเลือด ควบคู่กับการทดสอบสมรรถภาพหลังการฝึก เพื่อที่จะสามารถอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นจากการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

4. ควรมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกกำลังกายและการฝึกที่สอดคล้องกับแต่ละชนิดกีฬา เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงจากการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# รายการอ้างอิง


กรมพลศึกษา, กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา,. (2555). คู่มือผู้ฝึกสอนกีฬาฟุตซอล *T-Certificate: Futsal Coaching Guide*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก ในพระบรมราชูปถัมภ์.

ชายุตม์ หวังวนวัฒน์. (2554). ผลของการฝึกบนที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,500 เมตร ต่อการเปลี่ยนแปลงผลทางโลหิตวิทยาในเด็กสุขภาพดีอายุ 10 – 12 ปี. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวิวัธน์. (2536). สรีรวิทยาการออกกาลังกาย. กรุงเทพฯ: ธรรมกมลการพิมพ์.

ฐาปนวัฒน์ สุขปาละ. (2554). การเปรียบเทียบการฝึกแบบสลับช่วงด้วยการวิ่งและการปั่นจักรยานที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิกและแอโรบิกของนักกีฬารักบี้ฟุตบอล. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ธีระศักดิ์ อาภาวัฒนาสกุล. (2552). หลักวิทยาศาสตร์ในการฝึกกีฬา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิรอมลี มะกาเจ. (2555). แบบทดสอบความอดทนที่เฉพาะเจาะจงกับกีฬาฟุตซอลตามความต้องการทางสรีรวิทยาและกิจกรรมที่ใช้ในขณะแข่งขัน. (วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

รุ่งชัย ชวนไชยะกูล. (2548). วิทยาศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ: มีเดียเพรส.

วรเมธ ประจงใจ. (2556). ผลของการฝึกหนักสลับพักที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางอนากาศนิยมและอากาศนิยมของนักกีฬาแบดมินตันเยาวชนชาย. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

วิรัตน์ สนธิ์จันทร์. (2555). ผลของการฝึกแบบอินเทอร์วาลในระดับความหนักและระยะเวลา ต่างกัน ที่มีต่อความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ปริมาณฮีโมโกลบิน สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกและแอนแอโรบิกเทรชโฮล. (วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต), มหาวิทยาลัยบูรพา,

สนธยา สีละมาด. (2560). หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมชาย กุลโสภิต. (2555). ผลการฝึกซ้อมบนที่สูงที่มีต่อสมรรถนะเชิงแอโรบิก แอนแอโรบิก และความสามารถของนักกีฬาเรือพายที่ระดับความสูง 300 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง. (วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต), มหาวิทยาลัยบูรพา,

Ainslie, P. N., & Ogoh, S. (2010). Regulation of cerebral blood flow in mammals during chronic hypoxia: a matter of balance. *Exp Physiol,* 95(2), 251-262. doi:10.1113/expphysiol.2008.045575

Akima, H., Takahashi, H., Kuno, S. Y., & Katsuta, S. (2004). Coactivation pattern in human quadriceps during isokinetic knee-extension by muscle functional MRI.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

*European Journal of Applied Physiology,* 91(1), 7-14. doi:10.1007/s00421-003-0942-z

Amann, M., & Calbet, J. A. (2008). Convective oxygen transport and fatigue. *J Appl Physiol (*1985), 104(3), 861-870. doi:10.1152/japplphysiol.01008.2007

Aziz, A., Chia, M., & Teh, K. (2000). The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness,* 40(3), 195.

Baechle, T., & Earle, R. (2000). Essentials of strength Training and Conditioning, Illionois. In: Human Kinetices Books.

Bangsbo, J. (1994). Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci,* 12 *Spec No*, S5-12.

Bangsbo, J. (2000). Physiology of intermittent exercise. *Exercise and sport science*, 53-65.

Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krustrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test : a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports med,* 38(1), 37-51.

Bangsbo, J., Mohr, M., & Krustrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences,* 24(07), 665-674.

Bangsbo, J., Norregaard, L., & Thorsoe, F. (1992). The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. *Int J Sports Med,* 13(2), 152-157. doi:10.1055/s-2007-1021247

Barbero-Alvarez, J. C., Soto, V. M., Barbero-Alvarez, V., & Granda-Vera, J. (2008). Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *J Sports Sci,* 26(1), 63-73. doi:10.1080/02640410701287289

Barnett, C., Carey, M., Proietto, J., Cerin, E., Febbraio, M. A., & Jenkins, D. (2004). Muscle metabolism during sprint exercise in man: influence of sprint training. *J Sci Med Sport,* 7(3), 314-322.

Bärtsch, P., Saltin, B., & Dvorak, J. (2008). Consensus statement on playing football at different altitude. *Scandinavian journal of medicine & science in sports,* 18(s1), 96-99.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Beam, W. C., & Adams, G. M. (2011). *Exercise physiology laboratory manual*: McGraw-Hill.

Billat, L. V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Sports medicine,* 31(1), 13-31.

Billaut, F., Kerris, J. P., Rodriguez, R. F., Martin, D. T., Gore, C. J., & Bishop, D. J. (2013). Interaction of central and peripheral factors during repeated sprints at different levels of arterial O2 saturation. *PloS one,* 8(10), e77297. doi:10.1371/journal.pone.0077297

Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol (*1985), 80(3), 876-884.

Bompa, T. O. (1993). Theory and Methodology of Training, the Key to Athletic. *Publising Company*.

Bowtell, J. L., Cooke, K., Turner, R., Mileva, K. N., & Sumners, D. P. (2014). Acute physiological and performance responses to repeated sprints in varying degrees of hypoxia. *J Sci Med Sport,* 17(4), 399-403. doi:10.1016/j.jsams.2013.05.016

Bravo, D. F., Impellizzeri, F., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., & Wisloff, U. (2008). Sprint vs. interval training in football. *International Journal of Sports Medicine,* 29(08), 668-674.

Brocherie, F., Girard, O., Faiss, R., & Millet, G. P. (2015). High-intensity intermittent training in hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled field study in youth football players. *J Strength Cond Res,* 29(1), 226-237. doi:10.1519/JSC.0000000000000590

Brooks, G., Fahey, T., & Baldwin, K. (2000). Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications. 2000. *London: Mayfield,* 3.

Brown, D. D., Knowlton, R. G., Sanjabi, P. B., & Szurgot, B. T. (1993). Re-examination of the incidence of exercise-induced hypoxaemia in highly trained subjects. *Br J Sports Med,* 27(3), 167-170.

Buchheit, M., Bishop, D., Haydar, B., Nakamura, F. Y., & Ahmaidi, S. (2010). Physiological responses to shuttle repeated-sprint running. *Int J Sports Med,* 31(6), 402-409. doi:10.1055/s-0030-1249620

Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol,* 586(1), 151-160. doi:10.1113/jphysiol.2007.142109

Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of applied physiology,* 98(6), 1985-1990.

Burns, T. (2003). *Holistic futsal: a total mind-body-spirit approach*. New York (NY): Lulu.

Castagna, C., D'Ottavio, S., Granda Vera, J., & Barbero Alvarez, J. C. (2009). Match demands of professional Futsal: a case study. *J Sci Med Sport,* 12(4), 490-494. doi:10.1016/j.jsams.2008.02.001

Cifrek, M., Medved, V., Tonković, S., & Ostojić, S. (2009). Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clinical Biomechanics,* 24(4), 327-340.

Clarys, J. P., & Cabri, J. (1993). Electromyography and the study of sports movements: a review. *Journal of sports sciences,* 11(5), 379-448.

Cohen, J. (1977). Statistical power analysis for the behavioral sciences (revised ed.). In: New York: Academic Press.

Czuba, M., Waskiewicz, Z., Zajac, A., Poprzecki, S., Cholewa, J., & Roczniok, R. (2011). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *Journal of sports science & medicine,* 10(1), 175.

Czuba, M., Zając, A., Maszczyk, A., Roczniok, R., Poprzęcki, S., Garbaciak, W., & Zając, T. (2013). The Effects of High Intensity Interval Training in Normobaric Hypoxia on Aerobic Capacity in Basketball Players. *Journal of human kinetics,* 39(1), 103-114.

Dal Pupo, J., Detanico, D., Carminatti, L. J., & Santos, S. G. (2013). Physiological and neuromuscular responses in the shuttle and straight line-repeated sprint running. *Apunts. Medicina de l'Esport,* 48(178), 43-48.

Dalgleish, J., Dollery, S., & Frankham, H. (2001). *The health and fitness handbook*: Pearson Education.

Daussin, F., Ponsot, E., Dufour, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Geny, B., . . . Richard, R. (2007). Improvement of VO2max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology,* 101(3), 377-383.

De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of applied biomechanics,* 13(2), 135-163.

De Luca, C. J. (2002). Surface electromyography: Detection and recording. *DelSys Incorporated,* 10, 2011.

de Matos, J. A. B., Aidar, F. J., Mendes, R. R., de Malaquias Lômeu, L., Santos, C. A., Pains, R., . . . Reis, V. M. (2008). Acceleration capacity in futsal and soccer players. *Fitness & Performance Journal (Online Edition),* 7(4).

Doğramacı, S. N., Watsford, M., & Murphy, A. (2015). Activity Profile Differences Between Sub-Elite Futsal Teams. *International Journal of Exercise Science,* 8(2), 2.

Doğramacı, S. N., & Watsford, M. L. (2006). A comparison of two different methods for time-motion analysis in team sports. *Int J Perform Anal Sport,* 6(1), 73-83.

Dogramaci, S. N., Watsford, M. L., & Murphy, A. J. (2011). Time-motion analysis of international and national level futsal. *J Strength Cond Res,* 25(3), 646-651. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c6a02e

Draper, P., & Whyte, G. (1997). Anaerobic performance testing. *Peak Perform,* 97, 3-5.

Drust, B., Reilly, T., & Cable, N. T. (2000). Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci,* 18(11), 885-892. doi:10.1080/026404100750017814

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

Dupont, G., Moalla, W., Guinhouya, C., Ahmaidi, S., & Berthoin, S. (2004). Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Medicine & Science in Sports & Exercise,* 36(2), 302-308.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Edge, J., Bishop, D., Goodman, C., & Dawson, B. (2005). Effects of high-and moderate-intensity training on metabolism and repeated sprints. *Medicine & Science in Sports & Exercise,* 37(11), 1975-1982.

Elliott, B., & Mester, J. (1998). *Training in sport: applying sport science*: John Wiley & Sons.

Faiss, R., Girard, O., & Millet, G. P. (2013). Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *Br J Sports Med,* 47(Suppl 1), i45-i50.

Faiss, R., Leger, B., Vesin, J. M., Fournier, P. E., Eggel, Y., Deriaz, O., & Millet, G. P. (2013). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *PloS one,* 8(2), e56522. doi:10.1371/journal.pone.0056522

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods,* 39(2), 175-191.

Fleck, S. J., & Kraemer, W. (2014). *Designing Resistance Training Programs,* 4*E*: Human Kinetics.

Frisancho, A. R., Velásquez, T., & Sanchez, J. (1973). Influence of developmental adaptation on lung function at high altitude. *Human biology*, 583-594.

Galvin, H. M., Cooke, K., Sumners, D. P., Mileva, K. N., & Bowtell, J. L. (2013). Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *Br J Sports Med,* 47(Suppl 1), i74-i79.

Gambetta, V. (2007). *Athletic development: The art & science of functional sports conditioning*: New World Library.

Gary, K. (2004). Electromyographic kinesiology. *Research methods in biomechanics. Human Kinetics Publ, Champaign*.

Gatterer, H., Philippe, M., Menz, V., Mosbach, F., Faulhaber, M., & Burtscher, M. (2014). Shuttle-run sprint training in hypoxia for youth elite soccer players: a pilot study. *Journal of sports science & medicine,* 13(4), 731.

Gibala, M. J., Little, J. P., Van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., . . . Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of physiology,* 575(3), 901-911.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports med,* 41(8), 673-694. doi:10.2165/11590550-000000000-00000

Goods, P. S., Dawson, B. T., Landers, G. J., Gore, C. J., & Peeling, P. (2014). Effect of different simulated altitudes on repeat-sprint performance in team-sport athletes. *Int J Sports Physiol Perform,* 9(5), 857-862. doi:10.1123/ijspp.2013-0423

Gorostiaga, E. M., Llodio, I., Ibanez, J., Granados, C., Navarro, I., Ruesta, M., . . . Izquierdo, M. (2009). Differences in physical fitness among indoor and outdoor elite male soccer players. *European Journal of Applied Physiology,* 106(4), 483-491.

Hamilton, A., Nevill, M., Brooks, S., & Williams, C. (1991). Physiological responses to maximal intermittent exercise: Differences between endurance-trained runners and games players. *Journal of sports sciences,* 9(4), 371-382.

Hamlin, M. J., Marshall, H. C., Hellemans, J., & Ainslie, P. N. (2010). Effect of intermittent hypoxia on muscle and cerebral oxygenation during a 20-km time trial in elite athletes: a preliminary report. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism,* 35(4), 548-559.

Harmer, A. R., McKenna, M. J., Sutton, J. R., Snow, R. J., Ruell, P. A., Booth, J., . . . Crameri, R. M. (2000). Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *Journal of applied physiology,* 89(5), 1793-1803.

Hazell, T. J., MacPherson, R. E., Gravelle, B. M., & Lemon, P. W. (2010). 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. *European Journal of Applied Physiology,* 110(1), 153-160.

Hill, D. W., & Smith, J. C. (1992). Calculation of aerobic contribution during high intensity exercise. *Research quarterly for exercise and sport,* 63(1), 85-88.

Hinckson, E. A., & Hopkins, W. G. (2005). Reliability of time to exhaustion analyzed with critical-power and log-log modeling. *Medicine and science in sports and exercise,* 37(4), 696-701.

Hoffman, J. (2014). *Physiological aspects of sport training and performance*: Human Kinetics.

Houglum, P. A., & Bertoti, D. B. (2011). *Brunnstrom's clinical kinesiology*: FA Davis.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kenney, W. L., Wilmore, J., & Costill, D. (2015). *Physiology of Sport and Exercise 6th Edition*: Human kinetics.

Kent, M. (2006). *Oxford dictionary of sports science and medicine* (Vol. 10): Oxford university press.

Little, J. P., Gillen, J. B., Percival, M. E., Safdar, A., Tarnopolsky, M. A., Punthakee, Z., . . . Gibala, M. J. (2011). Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *Journal of applied physiology,* 111(6), 1554-1560.

MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J., & Smith, K. M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of applied physiology,* 84(6), 2138-2142.

Macpherson, R. E., Hazell, T. J., Olver, T. D., Paterson, D. H., & Lemon, P. W. (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Medicine & Science in Sports & Exercise,* 43(1), 115-122.

Makaje, N., Ruangthai, R., Arkarapanthu, A., & Yoopat, P. (2012). Physiological demands and activity profiles during futsal match play according to competitive level. *J Sports Med Phys Fitness,* 52(4), 366-374.

Manimmanakorn, A., Hamlin, M. J., Ross, J. J., Taylor, R., & Manimmanakorn, N. (2013). Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. *Journal of Science and medicine in Sport,* 16(4), 337-342.

Manimmanakorn, A., Manimmanakorn, N., Taylor, R., Draper, N., Billaut, F., Shearman, J. P., & Hamlin, M. J. (2013). Effects of resistance training combined with vascular occlusion or hypoxia on neuromuscular function in athletes. *European Journal of Applied Physiology,* 113(7), 1767-1774.

Mao, T.-Y., Fu, L.-L., & Wang, J.-S. (2011). Hypoxic exercise training causes erythrocyte senescence and rheological dysfunction by depressed Gardos channel activity. *Journal of applied physiology*.

Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude. *Sports medicine,* 38(1), 1-8.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*: Lippincott Williams & Wilkins.

McKay, B. R., Paterson, D. H., & Kowalchuk, J. M. (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O 2 uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *Journal of applied physiology,* 107(1), 128-138.

McLean, B. D., Gore, C. J., & Kemp, J. (2014). Application of 'live low-train high'for enhancing normoxic exercise performance in team sport athletes. *Sports medicine,* 44(9), 1275-1287.

McMahon, S., & Wenger, H. A. (1998). The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *Journal of Science and medicine in Sport,* 1(4), 219-227.

Medbø, J. I., & Burgers, S. (1990). Effect of training on the anaerobic capacity. *Medicine and science in sports and exercise,* 22(4), 501-507.

Medicine, A. C. o. S. (2013). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*: Lippincott Williams & Wilkins.

Meeuwsen, T., Hendriksen, I. J., & Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology,* 84(4), 283-290.

Mendez-Villanueva, A., Hamer, P., & Bishop, D. (2008). Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *European Journal of Applied Physiology,* 103(4), 411-419.

Merletti, R., Rainoldi, A., & Farina, D. (2001). Surface electromyography for noninvasive characterization of muscle. *Exercise and sport sciences reviews,* 29(1), 20-25.

Mills, K. (2005). The basics of electromyography. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry,* 76(suppl 2), ii32-ii35.

Monroe, D. C., Gist, N. H., Freese, E. C., O'Connor, P. J., McCully, K. K., & Dishman, R. K. (2016). Effects of Sprint Interval Cycling on Fatigue, Energy, and Cerebral Oxygenation. *Med Sci Sports Exerc,* 48(4), 615-624. doi:10.1249/MSS.0000000000000809

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Morton, J. P., & Cable, N. T. (2005). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic and anaerobic performance. *Ergonomics,* 48(11-14), 1535-1546.

Neya, M., Enoki, T., Kumai, Y., Sugoh, T., & Kawahara, T. (2007). The effects of nightly normobaric hypoxia and high intensity training under intermittent normobaric hypoxia on running economy and hemoglobin mass. *Journal of applied physiology,* 103(3), 828-834.

Nishimura, A., Sugita, M., Kato, K., Fukuda, A., Sudo, A., & Uchida, A. (2010). Hypoxia increases muscle hypertrophy induced by resistance training. *International journal of sports physiology and performance,* 5(4), 497-508.

Noble, B. J. (1986). *Physiology of exercise and sport*: Times Mirror Magazine.

Norkowski, H., & Hucińki, T. (2007). The influence of interval training on selected indicators of anaerobic efficiency in untrained men. *Journal of human kinetics,* 18, 63-72.

Parra, J., Cadefau, J., Rodas, G., Amigo, N., & Cusso, R. (2000). The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiologica,* 169(2), 157-165.

Peterson, B. J., Fitzgerald, J. S., Dietz, C. C., Ziegler, K. S., Ingraham, S. J., Baker, S. E., & Snyder, E. M. (2015). Aerobic capacity is associated with improved repeated shift performance in hockey. *The Journal of Strength & Conditioning Research,* 29(6), 1465-1472.

Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2013). *Exercise physiology for health fitness and performance*: Lippincott Williams & Wilkins.

Powers, S. K. (1996). *The essentials of total fitness: exercise, nutrition, and wellness*: Allyn & Bacon.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2009). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*. New York: McGraw-Hill.

Prentice, W. (2006). The knee and related structures. *Arnheim's Principles of Athletic Training: A Competency-Based Approach.* 12*th ed: McGraw-Hill*, 601-655.

Pyke, F. S. (2001). *Better coaching: advanced coach's manual*. Australia: Australian Sports Commission.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Rahnama, N., Reilly, T., & Lees, A. (2002). Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *Br J Sports Med,* 36(5), 354-359.

Reilly, T., Secher, N., Snell, P., Williams, C., & Williams, C. (2005). *Physiology of sports*: Routledge.

Robergs, R. A., & Roberts, S. (1997). Exercise physiology. *Exercise, performance, and clinical applications. St. Louis: Mosby-Year Book*.

Roels, B., Bentley, D. J., Coste, O., Mercier, J., & Millet, G. P. (2007). Effects of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology,* 101(3), 359-368.

Sharkey, B. J., & Gaskill, S. E. (2006). *Sport physiology for coaches* (Vol. 10): Human Kinetics.

Shephard, R. J., & Astrand, P.-O. (1992). Endurance in sport. *Medicine & Science in Sports & Exercise,* 24(12), 1413.

Smith, K. J., & Billaut, F. (2010). Influence of cerebral and muscle oxygenation on repeated-sprint ability. *European Journal of Applied Physiology,* 109(5), 989-999. doi:10.1007/s00421-010-1444-4

Smith, K. J., & Billaut, F. (2012). Tissue oxygenation in men and women during repeated-sprint exercise. *Int J Sports Physiol Perform,* 7(1), 59-67.

Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities:specific to field-based team sports. *Sports med,* 35(12), 1025-1044.

Strauss, R. H. (1984). Ergogenic Aids in Sports. *JAMA,* 252(4), 555-555.

Talanian, J. L., Galloway, S. D., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of applied physiology,* 102(4), 1439-1447.

Truijens, M. J., Toussaint, H. M., Dow, J., & Levine, B. D. (2003). Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *Journal of applied physiology,* 94(2), 733-743.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Ventura, N., Hoppeler, H., Seiler, R., Binggeli, A., Mullis, P., & Vogt, M. (2003). The response of trained athletes to six weeks of endurance training in hypoxia or normoxia. *International Journal of Sports Medicine,* 24(03), 166-172.

Vogt, M., Puntschart, A., Geiser, J., Zuleger, C., Billeter, R., & Hoppeler, H. (2001). Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *Journal of applied physiology,* 91(1), 173-182.

Wagner, P. D., Gale, G. E., Moon, R. E., Torre-Bueno, J. R., Stolp, B. W., & Saltzman, H. A. (1986). Pulmonary gas exchange in humans exercising at sea level and simulated altitude. *J Appl Physiol,* 61(1), 260-270.

Wasserman, K., Stringer, W., Casaburi, R., Koike, A., & Cooper, C. (1994). Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. *Zeitschrift fur Kardiologie,* 83, 1-12.

Wathen, D., & Roll, F. (1994). Training methods and modes. *Essentials of Strength Training and Conditioning*, 403-415.

Weineck, J. (1990). *Functional anatomy in sports*: Year Book Medical Pub.

West, J. B. (1996). Prediction of barometric pressures at high altitudes with the use of model atmospheres. *Journal of applied physiology,* 81(4), 1850-1854.

Westerblad, H., Allen, D. G., & Lannergren, J. (2002). Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci,* 17(1), 17-21.

Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and athletic performance*: Human Kinetics.

Wilber, R. L., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (2007). Effect of hypoxic" dose" on physiological responses and sea-level performance. *Medicine and science in sports and exercise,* 39(9), 1590-1599.

Williams, E. (1949). Experimental designs balanced for the estimation of residual effects of treatments. *Australian Journal of Chemistry,* 2(2), 149-168.

Woerlee, G. M. (2005). *Mortal minds: The biology of near death experiences*: Prometheus Books.

Wortman, M. D. (2012). *Training variables of the live low-train high training model: a meta-analysis.* (Master thesis in Kinesiology (Exercise Science)), California State University, Sacramento. ,

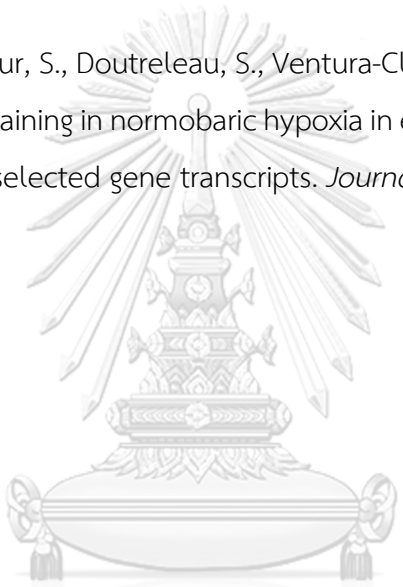
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Zacharogiannis, E., Paradisis, G., & Tziortzis, S. (2004). An evaluation of tests of anaerobic power and capacity. *Med Sci Sports Exerc,* 36(5), S116.

Zacharogiannis, E., Tziortzis, S., & Paradisis, G. (2003). Effects Of Continuous, Interval And Speed Training On Anaerobic Capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise,* 35(5), S372.

Ziemann, E., Grzywacz, T., Luszczyk, M., Laskowski, R., Olek, R. A., & Gibson, A. L. (2011). Aerobic and anaerobic changes with high-intensity interval training in active college-aged men. *The Journal of Strength & Conditioning Research,* 25(4), 1104-1112.

Zoll, J., Ponsot, E., Dufour, S., Doutreleau, S., Ventura-Clapier, R., Vogt, M., . . . Flück, M. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. *Journal of applied physiology,* 100(4), 1258-1266.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ก

## ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยการศึกษาที่ 1

**ชื่อโครงการวิจัย** ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย (ขั้นตอนที่ 1)

**ชื่อผู้วิจัย** นายภัทราวุธ ขาวสนิท

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** Kenneth Graham (Ph.D.)

**สถานที่ติดต่อผู้วิจัย** คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**โทรศัพท์เคลื่อนที่** 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

1. ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบและสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการศึกษาผลฉับพลันของการออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์ถึงระดับปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มความหนักของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนในการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก ซึ่งเป็นสมรรถภาพที่สำคัญนักกีฬาต้องใช้ในการแข่งขันกีฬาฟุตซอลต่อไป

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันที่ความดันบรรยากาศปกติ

4. รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้จากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) รวมทั้งสิ้น 16 คน

**เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย**

**เกณฑ์การคัดเข้า**

1) นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18–22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

3) มีประวัติการฝึกซ้อมกีฬาฟุตซอลอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี

4) ไม่เคยทำการฝึกหรืออยู่อาศัยในที่สูงมากกว่า 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 20%

5) ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง

6) ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสุขภาพแข็งแรงปราศจากโรคหรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมที่จะออกกำลังกาย โดยการประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) โดยต้องตอบว่า “ไม่เคย” ทุกข้อ จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์

7) ไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคเกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูง

**เกณฑ์การคัดออก**

1) ขาดการเข้าร่วมทดสอบ 1 ครั้ง

2) มีอาการบาดเจ็บ จนไม่สามารถฝึกซ้อมได้

3) ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและคำแนะนำในการวิจัย

4) ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

5) มีสัญญาณของอาการขาดออกซิเจน เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน

5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| 1) ดำเนินการหากลุ่มตัวอย่าง | ผู้วิจัยประสานงานกับประธานชมรม และอาจารย์ที่ปรึกษาชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคัดเลือกนักกีฬาเข้าร่วมวิจัย จำนวน 16 คน โดยนักกีฬาทุกคนได้รับทราบรายละเอียดของวิธีปฏิบัติตัวในการทดสอบและการเก็บข้อมูล และลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย |

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| 2) การกรอกข้อมูลเบื้องต้น | ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะต้องทำการกรอกข้อมูลด้านสุขภาพ ประสบการณ์ด้านการเป็นนักกีฬาฟุตซอลและการฝึกซ้อม ประวัติการอยู่อาศัยหรือการฝึกซ้อมในที่สูง ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง วัดเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกาย วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ในการซักถาม วัดองค์ประกอบของร่างกาย และกรอกข้อมูล ใช้เวลาประมาณ 10 นาที |
| 3) ข้อปฏิบัติของผู้เข้าร่วมวิจัย | 1. นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8-10 ชั่วโมง<br>2. ระมัดระวังการกินอาหารที่แตกต่างจากอาหารปกติที่เคยกินเป็นประจำ<br>3. ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 6 – 8 แก้วต่อวัน<br>4. งดเครื่องดื่มและอาหารที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนหรือแอลกอฮอล์ก่อนการทดสอบ 48 ชั่วโมง<br>5. รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง |
| 4) ความปลอดภัยระหว่างการเข้าร่วมวิจัย | 1. ควบคุมความหนักของการฝึกของผู้เข้าร่วมวิจัยให้อยู่ในโซนและเวลาเป้าหมายที่กำหนดในระหว่างการฝึก<br>2. ควบคุมค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย (ไม่ต่ำกว่า 80%) เพื่อควบคุมความปลอดภัยขณะทำการฝึก โดยผู้วิจัยคอยสังเกตเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในเลือดจากเครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse Oximeter)ที่ปลายนิ้ว ทุก 2 นาที<br>3. มีการประเมินระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion: RPE) ซึ่งเป็นการสอบถามความหนักของการออกกำลังกายเพื่อวัดระดับความรู้สึกตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัย ทุก 2 นาที<br>4. มีการตรวจปัสสาวะเพื่อดูความถ่วงจำเพาะ ความเข้มข้นเจือจางและภาวะขาดน้ำ ก่อนการทดลองทุกครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ใส่กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำปัสสาวะ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้เวลาประมาณ 5 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| | 5. มีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยใช้สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Soda lime)<br>6. จัดเตรียมน้ำดื่มให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยตลอดการทดสอบเพื่อดื่มชดเชยการสูญเสียน้ำขณะออกกำลังกาย<br>7. ทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้<br>7.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ลดลงต่ำกว่า 80%<br>7.2 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างฉับพลันของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด<br>7.3 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของอัตราการเต้นหัวใจ<br>7.4 เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่ |
| 5) ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง | 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ครั้งละประมาณ 1 ชั่วโมง |
| 6) ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง | ปริมาณออกซิเจนในอากาศ 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% |
| 7) สถานที่ในการทดลอง | ห้องฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 8) โปรแกรมการออกกำลังกาย | 1. สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำหรือพักก่อนการฝึกเพื่อให้ร่างกายปรับสภาพและเกิดความคุ้นชิน 10 นาที (พักเพื่อให้ร่างกายปรับสภาพและเกิดความคุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้องกรณีที่ใช้ปริมาณออกซิเจน 20.9%)<br>2. อบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ตามด้วยอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที<br>3. ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| | สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง<br>4. ทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนดอีก 10 นาที<br><u>รวมเวลาในการออกกำลังกายใช้เวลา 58 นาที</u> (ดูภาคผนวก ก) |
| 9) การทดสอบ | 1. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สและเครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนออกกำลังกาย โดยต้องใส่ไว้จนสิ้นสุดการทดสอบ (ภาพที่ 1)<br>2. ในการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ จะทำการติดขั้วไฟฟ้าพื้นผิวที่บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า ซึ่งไม่เป็นอันตรายกับผู้เข้าร่วมวิจัย (ภาพที่ 2)<br>3. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการจับเวลาในการวิ่งทุกเที่ยวในแต่ละเซ็ต<br>4. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องทำการทดสอบโดยการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่ทำการฝึกแต่ละวัน จำนวน 5 ครั้ง คือ ก่อนการออกกำลังกาย หลังอบอุ่นร่างกาย หลังเซ็ตที่ 1 2 และ 3 ทำการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้วโดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแลคเตทในเลือด โดยจะระมัดระวังไม่ให้การเจาะเลือดมีการบาดเจ็บกระทบต่อการฝึก |
| 10) การทำลายตัวอย่างเลือดและปัสสาวะ | ตัวอย่างเลือดและปัสสาวะทั้งหมดของผู้วิจัยจะถูกนำไปทำลายโดยผ่านระบบการจัดการความปลอดภัยสารเคมีและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังสิ้นสุดการทดลอง |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่เชิญเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด จนกระทั่งผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยมีความเข้าใจอย่างชัดเจน

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและ ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสร้างเสริมสมรรถภาพทั้งกายและจิต

8. การวิจัยครั้งนี้เพื่อความปลอดภัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย จึงมีการตรวจสอบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ เพื่อมิให้เกิดความเสี่ยงใด ๆ ที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย อาจมีผู้เข้าร่วมวิจัยบางท่านที่มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อขาในขณะทดสอบและหลังทดสอบในแต่ละครั้ง หรือไม่มีกำลังเพียงพอและท้อแท้ในระหว่างทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยา หรือรู้สึกอึดอัด หายใจไม่สะดวกขณะทำการทดสอบการออกกำลังกาย แต่อาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติในเวลาอันสั้น ทั้งนี้ก่อนและหลังการทดสอบทุกครั้งในการออกกำลังกายจะมีการอบอุ่นร่างกาย และผ่อนคลายกล้ามเนื้อเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น

หากพบว่ามีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือมีการบาดเจ็บเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบให้หยุดการทดสอบทันที ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องรีบแจ้งผู้วิจัยทราบโดยเร็ว โดยผู้วิจัยได้มีการเตรียมอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้น เพื่อช่วยในการปฐมพยาบาล ในกรณีที่อาการไม่ดีขึ้น ผู้วิจัยจะทำการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลใกล้เคียง คือ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สำหรับสถานที่ที่ทำการวิจัย คือ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และถ้ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นผู้วิจัยจะเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา

9. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อตัวนักกีฬาเป็นแนวทางในการพัฒนาการฝึกซ้อมเพื่อเตรียมความพร้อมและพัฒนาความสามารถให้แก่นักกีฬาก่อนการแข่งขันและเป็นทางเลือกให้นักกีฬา และผู้ฝึกสอนตลอดจนบุคคลที่สนใจได้สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของท่านเป็นโดยสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ โดยไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อมหาวิทยาลัยและสิทธิประโยชน์ของท่านที่พึงได้รับตามปกติจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัยผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็วเพื่อให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน ยกเว้นได้รับคำยินยอมจากท่าน ข้อมูลของท่านจะถูกเก็บเป็นความลับเฉพาะคณะผู้วิจัย และคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการทำวิจัยในคน หากท่านมีข้อซักถามประการใดสามารถติดต่อ นายภัทราวุธ ขาวสนิท โทรศัพท์เคลื่อนที่ 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

13. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับค่าเบี้ยเลี้ยงในการเดินทางมาเข้าร่วมการวิจัย โดยทำการเฉลี่ยจ่ายเป็นรายครั้ง ครั้งละ 200 บาทต่อคน ขณะที่เข้าร่วมโครงการวิจัย และหากเข้าร่วมทดสอบไม่ครบทั้งหมด 4 ครั้ง จะได้รับเฉพาะครั้งที่เข้าร่วมการทดสอบ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้จัดเตรียมน้ำดื่มและอาหารว่างสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัยทุกครั้งที่ทำการทดสอบ

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-22183202 Email: eccu@chula.ac.th

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**โปรแกรมการฝึกหนักสลับพักความหนักสูงในการศึกษาที่ 1**

**วัตถุประสงค์ในการฝึก** เพื่อศึกษาผลฉับพลันในการตอบสนองทางสรีรวิทยาจากการออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน

**ระดับออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก** 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% สัปดาห์ละ 1 ระดับ

**<u>โปรแกรมการออกกำลังกายสำหรับการศึกษาผลฉับพลันในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ | 1. การเตรียมพร้อม | สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก (พักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้องในกรณีที่ใช้ปริมาณออกซิเจน 20.9%) | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 18 นาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ภาพที่ 1** ภาพประกอบแสดงการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สและเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

**ภาพที่ 2** ภาพประกอบแสดงการติดตั้งขั้วไฟฟ้าพื้นผิวที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

**หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยการศึกษาที่ 1**

ทำที่

.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

**เลขที่** ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

**ชื่อโครงการวิจัย** ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย (ขั้นตอนที่ 1)

**ผู้วิจัย** นายภัทราวุธ ขาวสนิท

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.วันชัย บุญรอด

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** Kenneth Graham (Ph.D.)

**สถานที่ติดต่อผู้วิจัย** คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**โทรศัพท์เคลื่อนที่** 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

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

ข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอม เข้ารับการทดสอบการออกกำลังกายโดยใช้โปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะออกซิเจนที่แตกต่างกันโดยมีความดันบรรยากาศปกติเป็นเวลา 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน ใช้เวลาในการทดสอบออกกำลังกาย 58 นาที ต่อ 1 ครั้ง โดยมีการเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ก่อนการทดสอบใช้เวลาประมาณ 5 นาที และในขณะเข้าร่วมการวิจัยจะเข้ารับการทดสอบโดยการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่ทำการฝึกแต่ละวัน จำนวน 5 ครั้ง ตลอด 4 สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 20 ครั้ง และหลังสิ้นสุดการวิจัย ผู้วิจัยจะทำลายตัวอย่างเลือดและปัสสาวะทั้งหมดของข้าพเจ้า การทดสอบจะถูกจัดขึ้นในวัน และช่วงเวลาเดียวกันตลอดทั้ง 4 สัปดาห์ ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้าพเจ้ามีสิทธิ**ถอนตัว**ออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อทางมหาวิทยาลัยและสิทธิประโยชน์ต่อข้าพเจ้าที่พึงได้รับตามปกติจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัย**จะเก็บรักษาเป็นความลับ** โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

**หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย** ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี1 ชั้น 2 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-22183202 Email: eccu@chula.ac.th

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยและสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

| | |
|---|---|
| ลงชื่อ..... | ลงชื่อ..... |
| (นายภัทราวุธ ขาวสนิท) | (.....) |
| ผู้วิจัยหลัก | ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย |
| ลงชื่อ..... | ลงชื่อ..... |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด) | (.....) |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | พยาน |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยการศึกษาที่ 2
## (สำหรับกลุ่มทดลอง)

**ชื่อโครงการวิจัย** ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย (ขั้นตอนที่ 2)

**ชื่อผู้วิจัย** นายภัทราวุธ ขาวสนิท

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** Kenneth Graham (Ph.D.)

**สถานที่ติดต่อผู้วิจัย** คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**โทรศัพท์เคลื่อนที่** 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

1. ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบและสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการศึกษาผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและสภาวะออกซิเจนปกติ ในการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก ซึ่งเป็นสมรรถภาพสำคัญที่นักกีฬาต้องใช้ในการแข่งขันกีฬาฟุตซอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

4. รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 15 คน จำนวน 2 กลุ่ม รวมทั้งสิ้น 30 คน

**เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย**

**เกณฑ์การคัดเข้า**

1) นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

3) มีประวัติการฝึกซ้อมกีฬาฟุตซอลอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี

4) ไม่เคยทำการฝึกหรืออาศัยในที่สูงมากกว่า 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 20% หากเป็นนักกีฬาที่เข้าร่วมการศึกษาที่ 1 ต้องมีช่วงพัก (Wash out period) โดยไม่ทำการสัมผัสกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำอย่างน้อย 4 สัปดาห์ก่อนการทดลอง เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับการวิจัย

5) ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง

6) ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสุขภาพแข็งแรงปราศจากโรคหรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมที่จะออกกำลังกายโดยการประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) โดยต้องตอบว่า“ไม่เคย”ทุกข้อจึงถือว่าผ่านเกณฑ์

7) ไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคเกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูง

**เกณฑ์การคัดออก**

1) ขาดการเข้าร่วมฝึกซ้อมมากกว่า 1 ครั้งจาก 18 ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 90 ของช่วงระยะเวลาในการฝึกซ้อม

2) มีอาการบาดเจ็บ จนไม่สามารถฝึกซ้อมได้

3) ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและคำแนะนำในการวิจัย

4) ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

5) มีสัญญาณของอาการขาดออกซิเจน เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน

5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| 1) ดำเนินการหากลุ่มตัวอย่าง | คัดเลือกนักกีฬาเข้าร่วมวิจัยตามเกณฑ์ที่กำหนด จำนวน 30 คน โดยนักกีฬาทุกคนได้รับทราบรายละเอียดของวิธีปฏิบัติตัวในการทดสอบและการเก็บข้อมูล และลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย หลังจากนั้นจึงทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม จำนวนกลุ่มละ 15 คน |

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| 2) การกรอกข้อมูลเบื้องต้น | ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะต้องทำการกรอกข้อมูลด้านสุขภาพ ประสบการณ์ด้านการเป็นนักกีฬาฟุตซอลและการฝึกซ้อม ประวัติการอยู่อาศัยหรือการฝึกซ้อมในที่สูง ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง วัดเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกาย วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ในการซักถาม วัดองค์ประกอบของร่างกาย และกรอกข้อมูล ใช้เวลาประมาณ 10 นาที |
| 3) ข้อปฏิบัติของผู้เข้าร่วมวิจัย | 1. นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8-10 ชั่วโมง<br>2. ระมัดระวังการกินอาหารที่แตกต่างจากอาหารปกติที่เคยกินเป็นประจำ<br>3. ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 6 – 8 แก้วต่อวัน<br>4. งดเครื่องดื่มและอาหารที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนหรือแอลกอฮอล์ก่อนการทดสอบ 48 ชั่วโมง<br>5. รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง |
| 4) ความปลอดภัยระหว่างการเข้าร่วมวิจัย | 1. ควบคุมความหนักของการฝึกของผู้เข้าร่วมวิจัยให้อยู่ในโซนและเวลาเป้าหมายที่กำหนดในระหว่างการฝึก<br>2. ควบคุมค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย (ไม่ต่ำกว่า 80%) เพื่อควบคุมความปลอดภัยขณะทำการฝึก โดยผู้วิจัยคอยสังเกตเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในเลือดจากเครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse Oximeter)ที่ปลายนิ้ว ทุก 2 นาที<br>3. มีการประเมินระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion: RPE) ซึ่งเป็นการสอบถามความหนักของการออกกำลังกายเพื่อวัดระดับความรู้สึกตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัย ทุก 2 นาที<br>4. มีการตรวจปัสสาวะเพื่อดูความถ่วงจำเพาะ ความเข้มข้นเจือจางและภาวะขาดน้ำ ก่อนการฝึกทุกครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ใส่กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำปัสสาวะ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้เวลาประมาณ 5 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| | 5. มีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยใช้สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Soda lime)<br>6. จัดเตรียมน้ำดื่มให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยตลอดการฝึกเพื่อดื่มชดเชยการสูญเสียน้ำขณะออกกำลังกาย<br>7. ทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้<br>7.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ลดลงต่ำกว่า 80%<br>7.2 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างฉับพลันของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด<br>7.3 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของอัตราการเต้นหัวใจ<br>7.4 เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่ |
| 5) ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก | 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 1 ชั่วโมง |
| 6) ออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก | ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ |
| 7) สถานที่ในการทดลอง | ห้องฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 8) โปรแกรมการออกกำลังกาย | 1. สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึกเพื่อให้ร่างกายปรับสภาพและเกิดความคุ้นชิน 10 นาที<br>2. อบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ตามด้วยอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที<br>3. ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| | ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้งโดยสัปดาห์ที่ 1-2 ปฏิบัติเซ็ตละ 6 เที่ยว สัปดาห์ที่ 3-4 ปฏิบัติเซ็ตละ 8 เที่ยว และ สัปดาห์ที่ 5-6 ปฏิบัติเซ็ตละ 10 เที่ยว<br>4. ทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนดอีก 10 นาที<br>5. รวมเวลาในการออกกำลังกายสัปดาห์ที่ 1-2 ใช้ 58 นาที สัปดาห์ที่ 3-4 ใช้ 61 นาที และสัปดาห์ที่ 5-6 ใช้ 64 นาที (ดูภาคผนวก ก) |
| 9) จำนวนครั้งในการทดสอบ | ทำการทดสอบ 2 ครั้ง คือ ก่อนเข้ารับการฝึก และหลังสิ้นสุดการฝึก |
| 10) การทดสอบ | 1. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก จากการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยให้วิ่งและเพิ่มความเร็วขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดแรง ใช้เวลาประมาณ 15 นาที<br>2. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ด้วยแบบทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ ทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดระยะทาง 35 เมตร จำนวน 6 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ใช้เวลาประมาณ 10 นาที<br>3. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความอดทนแบบหนักสลับพัก ด้วยแบบทดสอบโยโยอินเตอร์มิทเทนท์รันนิ่ง โดยทำการวิ่งไปกลับตามสัญญาณเสียงจนกว่าจะวิ่งไม่ทัน ใช้เวลาประมาณ 10 นาที<br>4. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือเพื่อทดสอบความล้าจากการออกกำลังกายควบคู่กับการทดสอบความอดทนแบบหนักสลับพัก โดยบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.9 % ทำการเจาะเลือดจำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ ก่อนการทดสอบ ทันทีหลังการทดสอบ เจาะหลังการทดสอบผ่านไป 5 นาที ทำการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้วโดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ เพื่อนำไปวิเคราะห์ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| | หาปริมาณแลคเตทในเลือด โดยจะระมัดระวังไม่ให้การเจาะเลือดมีการบาดเจ็บกระทบต่อการฝึก<br>5. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความคล่องแคล่วว่องไวด้วยแบบทดสอบความคล่องแคล่วว่องไวของอิลลินอยส์ โดยการวิ่งเปลี่ยนทิศทาง ในสภาวะออกซิเจนปกติ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที<br>6. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความเร็วและความไวด้วยแบบทดสอบการวิ่งสปริ๊นท์ 20 เมตร โดยการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด โดยบันทึกเวลาที่ระยะ 5 เมตร และ 20 เมตร ในสภาวะออกซิเจนปกติ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที |
| 11) การทำลายตัวอย่างเลือดและปัสสาวะ | ตัวอย่างเลือดและปัสสาวะทั้งหมดของผู้วิจัยจะถูกนำไปทำลายโดยผ่านระบบการจัดการความปลอดภัยสารเคมีและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังสิ้นสุดการทดลอง |

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่เชิญเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด จนกระทั่งผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยมีความเข้าใจอย่างชัดเจน

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและ ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสร้างเสริมสมรรถภาพทั้งกายและจิต และปรึกษากับผู้ฝึกสอนกีฬาฟุตซอลของผู้เข้าร่วมการวิจัย เพื่อส่งต่อการดูแลรักษากับแพทย์ผู้เชี่ยวชาญต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8. การวิจัยครั้งนี้เพื่อความปลอดภัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย จึงมีการตรวจสอบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ เพื่อมิให้เกิดความเสี่ยงใด ๆ ที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย อาจมีผู้เข้าร่วมวิจัยบางท่านที่มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อขาในขณะทดสอบและหลังทดสอบในแต่ละครั้ง หรือไม่มีกำลังเพียงพอและท้อแท้ในระหว่างทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยา หรือรู้สึกอึดอัด หายใจไม่สะดวกขณะทำการทดสอบการออกกำลังกาย แต่อาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติในเวลาอันสั้น ทั้งนี้ก่อนและหลังการทดสอบทุกครั้งในการออกกำลังกายจะมีการอบอุ่นร่างกาย และผ่อนคลายกล้ามเนื้อเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น หากพบว่ามีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือมีการบาดเจ็บเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบให้หยุดการทดสอบทันที ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องรีบแจ้งผู้วิจัยทราบโดยเร็ว โดยผู้วิจัยได้มีการเตรียมอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้น เพื่อช่วยในการปฐมพยาบาล ในกรณีที่อาการไม่ดีขึ้น ผู้วิจัยจะทำการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลใกล้เคียง คือ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สำหรับสถานที่ที่

ทำการวิจัย คือ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และถ้ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นผู้วิจัยจะเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา

9. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อตัวนักกีฬาเป็นแนวทางในการพัฒนาการฝึกซ้อมเพื่อเตรียมความพร้อมและพัฒนาความสามารถให้แก่นักกีฬาก่อนการแข่งขันและเป็นทางเลือกให้นักกีฬา และผู้ฝึกสอนตลอดจนบุคคลที่สนใจได้สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของท่านเป็นโดยสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ โดยไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อมหาวิทยาลัยและสิทธิประโยชน์ของท่านที่พึงได้รับตามปกติจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัยผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็วเพื่อให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน ยกเว้นได้รับคำยินยอมจากท่าน ข้อมูลของท่านจะถูกเก็บเป็นความลับเฉพาะคณะผู้วิจัย และคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการทำวิจัยในคน หากท่านมีข้อซักถามประการใดสามารถติดต่อ นายภัทราวุธ ขาวสนิท โทรศัพท์เคลื่อนที่ 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

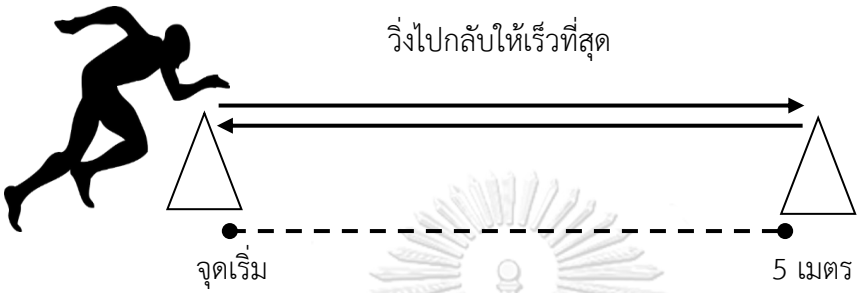
13. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับค่าเบี้ยเลี้ยงในการเดินทางมาเข้าร่วมการวิจัย โดยทำการเฉลี่ยจ่ายเป็นรายครั้ง ครั้งละ 100 บาทต่อคน ขณะที่เข้าร่วมโครงการวิจัย และหากเข้าร่วมการฝึกและทดสอบไม่ครบทั้งหมด 20 ครั้ง จะได้รับเฉพาะครั้งที่เข้าร่วมการฝึกและทดสอบ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้จัดเตรียมน้ำดื่มและอาหารว่างสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัยทุกครั้งที่เข้าร่วมการวิจัย

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี1 ชั้น 2 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-22183202 Email: eccu@chula.ac.th

**โปรแกรมการฝึกหนักสลับพักความหนักสูงในการศึกษาที่ 2 (สำหรับกลุ่มทดลอง)**

**วัตถุประสงค์ในการฝึก** เพื่อพัฒนาความสามารถที่แสดงทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก

**ระดับออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก** สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติ




**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 1-2</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 18 นาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 3-4</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 21 นาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดด | 10 นาที |
| | รวม | | 61 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 5-6**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 8 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 21 นาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดด | 10 นาที |
| | รวม | | 61 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ภาพที่ 1** ภาพประกอบแสดงการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊ส

**ภาพที่ 2** ภาพประกอบแสดงการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สขณะทำการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ

**หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยการศึกษาที่ 2 (สำหรับกลุ่มทดลอง)**

ทำที่

.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

**เลขที่** ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

**ชื่อโครงการวิจัย** ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย (ขั้นตอนที่ 2)

**ผู้วิจัย** นายภัทราวุธ ขาวสนิท

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.วันชัย บุญรอด

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** Kenneth Graham (Ph.D.)

**สถานที่ติดต่อผู้วิจัย** คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**โทรศัพท์เคลื่อนที่** 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

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

ข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมเข้ารับการทดสอบ และการฝึกโดยใช้โปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำโดยมีความดันบรรยากาศปกติ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน ใช้เวลาในการฝึกแต่ละครั้งในสัปดาห์ที่ 1-2 เป็นเวลา 58 นาที สัปดาห์ที่ 3-4 เป็นเวลา 61 นาที และสัปดาห์ที่ 5-6 เป็นเวลา 64 นาที โดยมีการเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ก่อนการฝึกแต่ละครั้งก่อนการทดสอบ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที ในขณะเข้าร่วมการวิจัยจะเข้ารับการทดสอบสมรรถภาพทางกายก่อนการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0) และหลังการทดลอง (สัปดาห์ที่ 6) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมดทุกรายการรวมครั้งละไม่เกิน 2 ชั่วโมง และมีการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ จำนวน 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง และหลัง

สิ้นสุดการวิจัย ผู้วิจัยจะทำลายตัวอย่างเลือดและปัสสาวะทั้งหมดของข้าพเจ้า การฝึกจะถูกจัดขึ้นในวันจันทร์ พุธ และศุกร์ ในช่วงเวลาเดียวกันตลอดทั้ง 6 สัปดาห์ ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้าพเจ้ามีสิทธิถอนตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อทางมหาวิทยาลัยและสิทธิประโยชน์ต่อข้าพเจ้าที่พึงได้รับตามปกติจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่าผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะเก็บรักษาเป็นความลับ โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี1 ชั้น 2 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-22183202 Email: eccu@chula.ac.th

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยและสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

| | |
|---|---|
| ลงชื่อ..... | ลงชื่อ..... |
| (นายภัทราวุธ ขาวสนิท) | (.....) |
| ผู้วิจัยหลัก | ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| ลงชื่อ..... | ลงชื่อ..... |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด) | (.....) |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | พยาน |

## ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยการศึกษาที่ 2

## (สำหรับกลุ่มควบคุม)

**ชื่อโครงการวิจัย** ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย (ขั้นตอนที่ 2)

**ชื่อผู้วิจัย** นายภัทราวุธ ขาวสนิท

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** Kenneth Graham (Ph.D.)

**สถานที่ติดต่อผู้วิจัย** คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**โทรศัพท์เคลื่อนที่** 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

1. ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบและสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการศึกษาผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติและสภาวะออกซิเจนปกติ ในการพัฒนาความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก ซึ่งเป็นสมรรถภาพสำคัญที่นักกีฬาต้องใช้ในการแข่งขันกีฬาฟุตซอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติกับการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

4. รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 15 คน จำนวน 2 กลุ่ม รวมทั้งสิ้น 30 คน

**เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย**

**เกณฑ์การคัดเข้า**

1) นักกีฬาฟุตซอล เพศชาย อายุ 18 – 22 ปี ที่ฝึกซ้อมกับชมรมฟุตซอล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) สมัครใจเข้าร่วมในการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

3) มีประวัติการฝึกซ้อมกีฬาฟุตซอลอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี

4) ไม่เคยทำการฝึกหรืออาศัยในที่สูงมากกว่า 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 20% หากเป็นนักกีฬาที่เข้าร่วมการศึกษาที่ 1 ต้องมีช่วงพัก (Wash out period) โดยไม่ทำการสัมผัสกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำอย่างน้อย 4 สัปดาห์ก่อนการทดลอง เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบกับการวิจัย

5) ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการทดลอง

6) ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสุขภาพแข็งแรงปราศจากโรคหรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมที่จะออกกำลังกาโดยการประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) โดยต้องตอบว่า“ไม่เคย”ทุกข้อจึงถือว่าผ่านเกณฑ์

7) ไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคเกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูง

**เกณฑ์การคัดออก**

1) ขาดการเข้าร่วมฝึกซ้อมมากกว่า 1 ครั้งจาก 18 ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 90 ของช่วงระยะเวลาในการฝึกซ้อม

2) มีอาการบาดเจ็บ จนไม่สามารถฝึกซ้อมได้

3) ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงและคำแนะนำในการวิจัย

4) ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมวิจัยอีกต่อไป

5) มีสัญญาณของอาการขาดออกซิเจน เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ อาเจียน

5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| 1) ดำเนินการหากลุ่มตัวอย่าง | คัดเลือกนักกีฬาเข้าร่วมวิจัยตามเกณฑ์ที่กำหนด จำนวน 30 คน โดยนักกีฬาทุกคนได้รับทราบรายละเอียดของวิธีปฏิบัติตัวในการทดสอบและการเก็บข้อมูล และลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย หลังจากนั้นจึงทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม จำนวนกลุ่มละ 15 คน |

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| 2) การกรอกข้อมูลเบื้องต้น | ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะต้องทำการกรอกข้อมูลด้านสุขภาพ ประสบการณ์ด้านการเป็นนักกีฬาฟุตซอลและการฝึกซ้อม ประวัติการอยู่อาศัยหรือการฝึกซ้อมในที่สูง ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง วัดเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกาย วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ในการซักถาม วัดองค์ประกอบของร่างกาย และกรอกข้อมูล ใช้เวลาประมาณ 10 นาที |
| 3) ข้อปฏิบัติของผู้เข้าร่วมวิจัย | 1. นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8-10 ชั่วโมง<br>2. ระมัดระวังการกินอาหารที่แตกต่างจากอาหารปกติที่เคยกินเป็นประจำ<br>3. ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 6 – 8 แก้วต่อวัน<br>4. งดเครื่องดื่มและอาหารที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนหรือแอลกอฮอล์ก่อนการทดสอบ 48 ชั่วโมง<br>5. รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง |
| 4) ความปลอดภัยระหว่างการเข้าร่วมวิจัย | 1. ควบคุมความหนักของการฝึกของผู้เข้าร่วมวิจัยให้อยู่ในโซนและเวลาเป้าหมายที่กำหนดในระหว่างการฝึก<br>2. ควบคุมค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย (ไม่ต่ำกว่า 80%) เพื่อควบคุมความปลอดภัยขณะทำการฝึก โดยผู้วิจัยคอยสังเกตเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในเลือดจากเครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse Oximeter)ที่ปลายนิ้ว ทุก 2 นาที<br>3. มีการประเมินระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion: RPE) ซึ่งเป็นการสอบถามความหนักของการออกกำลังกายเพื่อวัดระดับความรู้สึกตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัย ทุก 2 นาที<br>4. มีการตรวจปัสสาวะเพื่อดูความถ่วงจำเพาะ ความเข้มข้นเจือจางและภาวะขาดน้ำ ก่อนการฝึกทุกครั้ง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ใส่กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำปัสสาวะ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้เวลาประมาณ 5 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| | 5. มีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยใช้สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Soda lime)<br>6. จัดเตรียมน้ำดื่มให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยตลอดการฝึกเพื่อดื่มชดเชยการสูญเสียน้ำขณะออกกำลังกาย<br>7. ทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้<br>4.1 ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ($SpO_2$) ลดลงต่ำกว่า 80%<br>4.2 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างฉับพลันของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด<br>4.3 มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของอัตราการเต้นหัวใจ<br>4.4 เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้ หรือขอยุติการฝึก<br>4.5 เวียนหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก หรือมีภาวะหายใจถี่ |
| 5) ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก | 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 1 ชั่วโมง |
| 6) ออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก | ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.9% |
| 7) สถานที่ในการทดลอง | ห้องฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 8) โปรแกรมการออกกำลังกาย | 1. พักเพื่อให้ร่างกายปรับสภาพและเกิดความคุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้องฝึก 10 นาที<br>2. อบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที ตามด้วยอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที<br>3. ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็น |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| | จุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้งโดยสัปดาห์ที่ 1-2 ปฏิบัติเซ็ตละ 6 เที่ยว สัปดาห์ที่ 3-4 ปฏิบัติเซ็ตละ 8 เที่ยว และ สัปดาห์ที่ 5-6 ปฏิบัติเซ็ตละ 10 เที่ยว<br>4. ทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนดอีก 10 นาที<br>5. รวมเวลาในการออกกำลังกายสัปดาห์ที่ 1-2 ใช้ 58 นาที สัปดาห์ที่ 3-4 ใช้ 61 นาที และสัปดาห์ที่ 5-6 ใช้ 64 นาที (ดูภาคผนวก ก) |
| 9) จำนวนครั้งในการทดสอบ | ทำการทดสอบทุกรายการ 2 ครั้ง คือ ก่อนเข้ารับการฝึก และหลังสิ้นสุดการฝึกสัปดาห์สุดท้าย |
| 10) การทดสอบ | 1. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก จากการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยให้วิ่งและเพิ่มความเร็วขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดแรง ใช้เวลาประมาณ 15 นาที<br>2. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ด้วยแบบทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์ ทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดระยะทาง 35 เมตร จำนวน 6 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ใช้เวลาประมาณ 10 นาที<br>3. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความอดทนแบบหนักสลับพัก ด้วยแบบทดสอบโยโยอินเตอร์มิทเทนท์รันนิ่ง โดยทำการวิ่งไปกลับตามสัญญาณเสียงจนกว่าจะวิ่งไม่ทัน ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ใช้เวลาประมาณ 10 นาที<br>4. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือเพื่อทดสอบความล้าจากการออกกำลังกายควบคู่กับการทดสอบความอดทนแบบหนักสลับพัก โดยบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.9 % ทำการเจาะเลือดจำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ ก่อนการทดสอบ ทันทีหลังการทดสอบ เจาะหลังการทดสอบผ่านไป 5 นาที ทำการเก็บตัวอย่างเลือดที่ปลายนิ้วโดยนักเทคนิคการแพทย์วิชาชีพ เพื่อนำไปวิเคราะห์หา |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| กระบวนการ | รายละเอียด |
|---|---|
| | ปริมาณแลคเตทในเลือด โดยจะระมัดระวังไม่ให้การเจาะเลือดมีการบาดเจ็บกระทบต่อการฝึก<br>5. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความคล่องแคล่วว่องไวด้วยแบบทดสอบความคล่องแคล่วว่องไวของอิลลินอยส์ โดยการวิ่งเปลี่ยนทิศทาง ในสภาวะออกซิเจนปกติ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที<br>6. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะได้รับการทดสอบความเร็วและความไว ด้วยแบบทดสอบการวิ่งสปริ๊นท์ 20 เมตร โดยการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด โดยบันทึกเวลาที่ระยะ 5 เมตร และ 20 เมตร ในสภาวะออกซิเจนปกติ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที |
| 11) การทำลายตัวอย่างเลือดและปัสสาวะ | ตัวอย่างเลือดและปัสสาวะทั้งหมดของผู้วิจัยจะถูกนำไปทำลายโดยผ่านระบบการจัดการความปลอดภัยสารเคมีและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังสิ้นสุดการทดลอง |

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่เชิญเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด จนกระทั่งผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยมีความเข้าใจอย่างชัดเจน

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าและ ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสร้างเสริมสมรรถภาพทั้งกายและจิต และปรึกษากับผู้ฝึกสอนกีฬาฟุตซอลของผู้เข้าร่วมการวิจัย เพื่อส่งต่อการดูแลรักษากับแพทย์ผู้เชี่ยวชาญต่อไป

8. การวิจัยครั้งนี้เพื่อความปลอดภัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย จึงมีการตรวจสอบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ เพื่อมิให้เกิดความเสี่ยงใด ๆ ที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย อาจมีผู้เข้าร่วมวิจัยบางท่านที่มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อขาในขณะทดสอบและหลังทดสอบในแต่ละครั้ง หรือไม่มีกำลังเพียงพอและท้อแท้ในระหว่างทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยา หรือรู้สึกอึดอัด หายใจไม่สะดวกขณะทำการทดสอบการออกกำลังกาย แต่อาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติในเวลาอันสั้น ทั้งนี้ก่อนและหลังการทดสอบทุกครั้งในการออกกำลังกายจะมีการอบอุ่นร่างกาย และผ่อนคลายกล้ามเนื้อเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น หากพบว่ามีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือมีการบาดเจ็บเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบให้หยุดการทดสอบทันที ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องรีบแจ้งผู้วิจัยทราบโดยเร็ว โดย

ผู้วิจัยได้มีการเตรียมอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้น เพื่อช่วยในการปฐมพยาบาล ในกรณีที่อาการไม่ดีขึ้น ผู้วิจัยจะทำการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลใกล้เคียง คือ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สำหรับสถานที่ที่ทำการวิจัย คือ ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และถ้ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นผู้วิจัยจะเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา

9. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อตัวนักกีฬาเป็นแนวทางในการพัฒนาการฝึกซ้อมเพื่อเตรียมความพร้อมและพัฒนาความสามารถให้แก่นักกีฬาก่อนการแข่งขันและเป็นทางเลือกให้นักกีฬา และผู้ฝึกสอนตลอดจนบุคคลที่สนใจได้สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของท่านเป็นโดยสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ โดยไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อมหาวิทยาลัยและสิทธิประโยชน์ของท่านที่พึงได้รับตามปกติจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัยผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็วเพื่อให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับท่านจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน ยกเว้นได้รับคำยินยอมจากท่าน ข้อมูลของท่านจะถูกเก็บเป็นความลับเฉพาะคณะผู้วิจัย และคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการทำวิจัยในคน หากท่านมีข้อซักถามประการใดสามารถติดต่อ นายภัทราวุธ ขาวสนิท โทรศัพท์เคลื่อนที่ 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

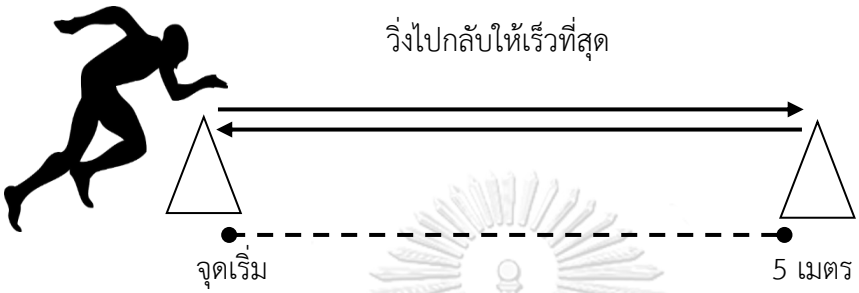
13. ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับค่าเบี้ยเลี้ยงในการเดินทางมาเข้าร่วมการวิจัย โดยทำการเฉลี่ยจ่ายเป็นรายครั้ง ครั้งละ 100 บาทต่อคน ขณะที่เข้าร่วมโครงการวิจัย และหากเข้าร่วมการฝึกและทดสอบไม่ครบทั้งหมด 20 ครั้ง จะได้รับเฉพาะครั้งที่เข้าร่วมการฝึกและทดสอบ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้จัดเตรียมน้ำดื่มและอาหารว่างสำหรับผู้เข้าร่วมวิจัยทุกครั้งที่เข้าร่วมการวิจัย

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี1 ชั้น 2 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-22183202 Email: eccu@chula.ac.th

**โปรแกรมการฝึกหนักสลับพักความหนักสูงในการศึกษาที่ 2 (สำหรับกลุ่มควบคุม)**

**วัตถุประสงค์ในการฝึก** เพื่อพัฒนาความสามารถที่แสดงทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก

**ระดับออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก** สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 20.9%




**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 1-2</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | พักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้อง | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 18 นาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

**โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 3-4**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | พักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้อง | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 21 นาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดด | 10 นาที |
| | รวม | | 61 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 5-6**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | พักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้อง | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 8 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 21 นาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดด | 10 นาที |
| | รวม | | 61 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ภาพที่ 1** ภาพประกอบแสดงการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊ส

**ภาพที่ 2** ภาพประกอบแสดงการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สขณะทำการทดสอบด้วยวิธีของบรูซ

**หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัยการศึกษาที่ 2 (สำหรับกลุ่มควบคุม)**

ทำที่

.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

**เลขที่** ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้ ขอแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

**ชื่อโครงการวิจัย** ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย (ขั้นตอนที่ 2)

**ผู้วิจัย** นายภัทราวุธ ขาวสนิท

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.วันชัย บุญรอด

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** Kenneth Graham (Ph.D.)

**สถานที่ติดต่อผู้วิจัย** คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**โทรศัพท์เคลื่อนที่** 089-1737098 E-mail: pattarawut.k@gmail.com

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

ข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ตามที่ระบุในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมเข้ารับการทดสอบ และการฝึกโดยใช้โปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวในสภาวะออกซิเจนปกติ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน ใช้เวลาในการฝึกแต่ละครั้งในสัปดาห์ที่ 1-2 เป็นเวลา 58 นาที สัปดาห์ที่ 3-4 เป็นเวลา 61 นาที และสัปดาห์ที่ 5-6 เป็นเวลา 64 นาที โดยมีการเก็บตัวอย่างปัสสาวะประมาณ 30 - 50 ซี.ซี. ก่อนการฝึกแต่ละครั้งก่อนการทดสอบ ใช้เวลาประมาณ 5 นาที ในขณะเข้าร่วมการวิจัยจะเข้ารับการทดสอบสมรรถภาพทางกายก่อนการทดลอง (สัปดาห์ที่ 0) และหลังการทดลอง (สัปดาห์ที่ 6) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมดทุกรายการรวมครั้งละไม่เกิน 2 ชั่วโมง และมีการเจาะเลือดจากปลายนิ้วมือบีบให้ได้หยดเลือดขนาดเท่าหัวเข็มหมุด (ประมาณ 1-3 ไมโครลิตร) ใน

สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ จำนวน 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง และหลังสิ้นสุดการวิจัย ผู้วิจัยจะทำลายตัวอย่างเลือดและปัสสาวะทั้งหมดของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้ามีสิทธิ**ถอนตัว**ออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ตามความประสงค์ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อทางมหาวิทยาลัยและสิทธิประโยชน์ต่อข้าพเจ้าที่พึงได้รับตามปกติจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อข้าพเจ้าตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้า ผู้วิจัย**จะเก็บรักษาเป็นความลับ** โดยจะนำเสนอข้อมูลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวข้าพเจ้า

**หากข้าพเจ้าไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย** ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี1 ชั้น 2 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์/โทรสาร 0-22183202 Email: eccu@chula.ac.th

ข้าพเจ้าได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยและสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

| | |
|---|---|
| ลงชื่อ..... | ลงชื่อ..... |
| (นายภัทราวุธ ขาวสนิท) | (.....) |
| ผู้วิจัยหลัก | ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| ลงชื่อ..... | ลงชื่อ..... |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย บุญรอด) | (.....) |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | พยาน |

# ภาคผนวก ข

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจสอบประเมินเครื่องมือวิจัย

| | |
|---|---|
| 1. รองศาสตราจารย์ พันตรี ดร.รุ่งชัย ชวนไชยะกูล | อาจารย์วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ | อาจารย์คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| 3. อาจารย์ ดร.นิรอมลี มะกาเจ | อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 4. อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย | อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 5. อาจารย์ ดร.เบญจพล เบญจพลากร | อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ค

## การประเมินความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือวิจัย โดยวิธีหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC: Item-Objective Congruence Index)

**เกณฑ์การให้คะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ**

กำหนดเป็น 3 ระดับ คือ +1 หมายถึง เห็นด้วยว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา

-1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยว่าเครื่องมือวิจัยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา

**วิธีการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง**

$IOC = \Sigma R / N$ เมื่อ IOC คือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง

$\Sigma R$ คือ ผลรวมคะแนนจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ

- เครื่องมือวิจัยจะต้องมีค่า IOC ≥ 0.6 จึงจะถือได้ว่ามีความตรงเชิงเนื้อหาในระดับดี สามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลได้

- หากมีค่าต่ำกว่า 0.6 ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลการประเมินความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือวิจัยการศึกษาที่ 1**

| การออกแบบโปรแกรม ที่ใช้ในการทดลองของผู้วิจัย | ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ | | | ค่าดัชนีความสอดคล้อง |
|---|---|---|---|---|
| | +1 (เห็นด้วย) | 0 (ไม่แน่ใจ) | -1 (ไม่เห็นด้วย) | |
| **1. สภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันในการออกกำลังกาย** ทำการศึกษาผลฉับพลันของการออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีสัดส่วนของปริมาณออกซิเจนในอากาศ = 0.125 0.135 และ 0.145 กับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ = 0.209 ที่ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท | 5 | 0 | 0 | 1 |
| **2. ขั้นตอนการออกกำลังกาย** | | | | |
| **2.1 การอบอุ่นร่างกาย** | | | | |
| 2.1.1 สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึกเพื่อให้ร่างกายปรับสภาพและเกิดความคุ้นชิน 10 นาที | 4 | 1 | 0 | 0.8 |
| 2.1.2 อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที | 5 | 0 | 0 | 1 |
| 2.1.3 อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด 10 นาที | 5 | 0 | 0 | 1 |
| **2.2 ช่วงออกกำลังกาย** | | | | |
| 2.2.1 รูปแบบการฝึกออกกำลังกายแบบหนักสลับพักความหนักสูงด้วยรูปแบบการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ ระยะ 10 เมตร (2x5 เมตร) คิดเป็น 1 เที่ยว จากนั้นพักแบบมีกิจกรรมด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที | 3 | 2 | 0 | 0.6 |
| 2.2.2 ฝึกจำนวน 6 เที่ยว คิดเป็น 1 เซ็ต ทำซ้ำ 3 เซ็ต | 3 | 2 | 0 | 0.6 |
| 2.2.3 ระหว่างเซ็ต พักแบบมีกิจกรรมด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 5 นาที | 4 | 1 | 0 | 0.8 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| เนื้อหา | ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ | | | ค่าดัชนีความสอดคล้อง |
|---|---|---|---|---|
| | +1 (เห็นด้วย) | 0 (ไม่แน่ใจ) | -1 (ไม่เห็นด้วย) | |
| **3. ระยะเวลาของการทดลอง** 4 สัปดาห์ | 4 | 1 | 0 | 0.8 |
| **4. ความถี่ของการทดลอง** 1 วัน/สัปดาห์ | 3 | 2 | 0 | 0.6 |
| **5. วันและเวลาที่ทำการทดลอง**: นักกีฬาจะต้องเข้ารับการทดลองโดยทำการออกกำลังกายในวัน และช่วงเวลาเดียวกันตลอดทั้ง 4 ครั้ง | 4 | 1 | 0 | 0.8 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**แบบประเมินความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือวิจัยการศึกษาที่ 2**

| เนื้อหา | ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ | | | ค่าดัชนีความสอดคล้อง |
|---|---|---|---|---|
| | +1 (เห็นด้วย) | 0 (ไม่แน่ใจ) | -1 (ไม่เห็นด้วย) | |
| **1. การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน** ทำการฝึกในสภาวะที่มีสัดส่วนของออกซิเจนในอากาศที่ผ่านการพิจารณาว่าเหมาะสมที่จะใช้ในการฝึกจากการทดลองในการศึกษาที่ 1 กับสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ = 0.209 ที่ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท | 4 | 1 | 0 | 0.8 |
| **2. ขั้นตอนการฝึก** | | | | |
| **2.1 การอบอุ่นร่างกาย** | | | | |
| 2.1.1 สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึกเพื่อให้ร่างกายปรับสภาพและเกิดความคุ้นชิน 10 นาที | 5 | 0 | 0 | 1 |
| 2.1.2 อบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ 10 นาที | 5 | 0 | 0 | 1 |
| 2.1.3 อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนัก 55- 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด 10 นาที | 5 | 0 | 0 | 1 |
| **2.2 ช่วงออกกำลังกาย** | | | | |
| 2.2.1 รูปแบบการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูง (High-Intensity Intermittent Training) ด้วยรูปแบบการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว (Shuttle Repeated Sprint) ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ ระยะ 10 เมตร (2x5 เมตร) คิดเป็น 1 เที่ยว จากนั้นพักแบบมีกิจกรรมด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที | 3 | 2 | 0 | 0.6 |
| 2.2.2 ฝึกจำนวน 6-10 เที่ยว คิดเป็น 1 เซ็ต ทำซ้ำ 3 เซ็ต โดยทำการเพิ่มจำนวนเที่ยว 2 เที่ยวในแต่ละเซ็ตทุก 2 สัปดาห์ | 3 | 2 | 0 | 0.6 |
| 2.2.3 ระหว่างเซ็ต พักแบบมีกิจกรรมด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 5 นาที | 3 | 2 | 0 | 0.6 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| เนื้อหา | ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ | | | ค่าดัชนีความสอดคล้อง |
|---|---|---|---|---|
| | +1 (เห็นด้วย) | 0 (ไม่แน่ใจ) | -1 (ไม่เห็นด้วย) | |
| **2.3 ช่วงคลายอุ่นร่างกาย** คลายอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนัก 55-60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด 10 นาที | 4 | 1 | 0 | 0.8 |
| **3. ระยะเวลาของการฝึก** 6 สัปดาห์ | 4 | 0 | 1 | 0.6 |
| **4. ความถี่ของการฝึก** 3 วัน/สัปดาห์ | 4 | 0 | 1 | 0.6 |
| **5. วันและเวลาที่ทำการฝึก**: นักกีฬาจะต้องเว้นช่วงเพื่อพักในการทำการฝึกแต่ละครั้ง 2 วัน และทำการฝึกในเวลาเดียวกันตลอดระยะเวลาของการฝึก | 5 | 0 | 0 | 1 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ง

## โปรแกรมการฝึกหนักสลับพักความหนักสูงในการศึกษาที่ 1

**วัตถุประสงค์ในการฝึก** เพื่อศึกษาผลฉับพลันในการตอบสนองทางสรีรวิทยาจากการออกกำลังกายในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน

**ระดับออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก** 20.9% 14.5% 13.5% และ 12.5% สัปดาห์ละ 1 ระดับ

**<u>โปรแกรมการออกกำลังกายสำหรับการศึกษาผลฉับพลันในสภาวะปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกัน</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดเป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 18 นาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะหรือเดินในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก จ

## โปรแกรมการฝึกหนักสลับพักความหนักสูงในการศึกษาที่ 2 (สำหรับกลุ่มทดลอง)

**วัตถุประสงค์ในการฝึก** เพื่อพัฒนาความสามารถที่แสดงทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก

**ระดับออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก** สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ได้จากการศึกษาที่ 1

**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 1-2</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 16 นาที 30 วินาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 3-4</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 8 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 16 นาที 30 วินาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 5-6</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | สัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 16 นาที 30 วินาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

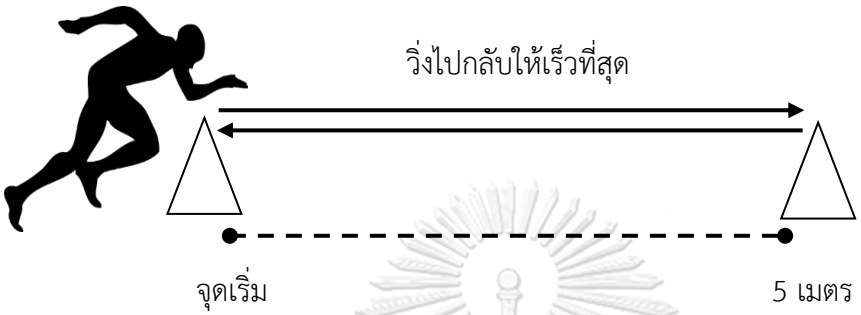
โปรแกรมการฝึกปรับปรุงจาก: แกทเตอร์เรอร์และคณะ (Gatterer et al., 2014)
และ โบรเชอร์รี่และคณะ (Brocherie et al., 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## โปรแกรมการฝึกหนักสลับพักความหนักสูงในการศึกษาที่ 2 (สำหรับกลุ่มควบคุม)

**วัตถุประสงค์ในการฝึก** เพื่อพัฒนาความสามารถที่แสดงทางแอโรบิกและแอนแอโรบิก

**ระดับออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก** สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ




**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 1-2</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | พักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้อง | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 16 นาที 30 วินาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 3-4</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | พักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้อง | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 16 นาที 30 วินาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**<u>โปรแกรมการฝึกสัปดาห์ที่ 5-6</u>**

| วัน | กิจกรรม | รายละเอียดของกิจกรรม | ระยะเวลา |
|---|---|---|---|
| จันทร์ พุธ ศุกร์ | 1. การเตรียมพร้อม | พักเพื่อปรับสภาพร่างกายให้คุ้นชินกับอุณหภูมิภายในห้อง | 10 นาที |
| | 2. การอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | อบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ | 5 นาที |
| | | ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 5 นาที |
| | | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | 3. การฝึกหนักสลับพักความหนักสูง | ทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวจำนวน 3 เซ็ต เซ็ตละ 6 เที่ยว กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละ 10 วินาที ด้วยความเร็วสูงสุดที่ทำได้ สลับกับการพักด้วยการเดินในพื้นที่ที่กำหนด 20 วินาที และพักระหว่างเซ็ต 5 นาทีด้วยการวิ่งเหยาะหรือเดินที่ความหนักอยู่ในช่วง 55 - 60% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดในพื้นที่ที่กำหนด ระยะทางในการวิ่ง 5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องเอามือแตะกรวยก่อนหมุนตัวกลับทุกครั้ง | 16 นาที 30 วินาที |
| | 4. การคลายอุ่นร่างกาย | วิ่งเหยาะในพื้นที่ที่กำหนด ที่ระดับความหนัก 55 - 60% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด | 10 นาที |
| | รวม | | 58 นาที |

โปรแกรมการฝึกปรับปรุงจาก: แกทเตอร์เรอร์และคณะ (Gatterer et al., 2014)
และ โบรเชอร์รี่และคณะ (Brocherie et al., 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ภาคผนวก ฉ

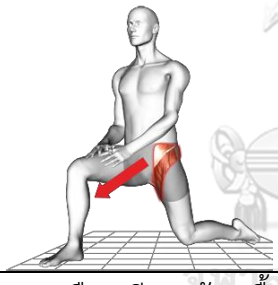
## การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

| ท่าฝึก | กล้ามเนื้อ | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 1. ท่ายืนยืดเหยียดกล้ามเนื้อไหล่ | Shoulders | ข้างละ 15 วินาที |
| 2. ท่ายืนยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลังและไหล่ | Triceps, Shoulders | ข้างละ 15 วินาที |
| 3. ท่ายืนยืดเหยียดกล้ามเนื้อหน้าอกและไหล่ | Chest, Shoulders | 15 วินาที |
| 4. ท่ายืนยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านหลัง | Lats | 15 วินาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ท่าฝึก | กล้ามเนื้อ | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 5. ท่ายืนยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัวด้านข้าง | Obliques | ข้างละ 15 วินาที |
| 6. ท่ายืนยืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า | Quadriceps | ข้างละ 15 วินาที |
| 7. ท่ายืนก้มตัว | Hamstrings, Lower Back | 15 วินาที |
| 8. ท่ายืนยืดเหยียดกล้ามเนื้อขาด้านข้าง | Iliotibial band | ข้างละ 15 วินาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
.ONGKORN UNIVERSITY

| ท่าฝึก | กล้ามเนื้อ | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 9. ท่านั่งไขว่ห้างก้มตัว | Gluteal, Abductors | ข้างละ 15 วินาที |
| 10. ท่ายืดเหยียดกล้ามเนื้อน่องกับผนัง | Soleus, Gastrocnemius | ข้างละ 15 วินาที |
| 11. ท่าก้าวย่อยืดเหยียดกล้ามเนื้อช่วงสะโพก  | Hip flexors, Rectus femoris, Iliopsoas | ข้างละ 15 วินาที |
| 12. ท่าแยกขายืดเหยียดกล้ามเนื้อต้นขาด้านใน | Adductors, Groin | 15 วินาที |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**แหล่งที่มา** : RAMfitness. “Strethching” [Online]. [Cited 20 April 2015].

Available from: https://www.ramfitness.com/stretching.html

# ภาคผนวก ช

## การทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก

**การทดสอบด้วยแบบทดสอบรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์**
**(Running-based Anaerobic Sprint Test: RAST)** (Draper and Whyte, 1997)

**วัตถุประสงค์**

เพื่อประเมินพลังแบบแอนแอโรบิก พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ดัชนีความล้า และเปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า

**อุปกรณ์**

1. ลู่วิ่ง หรือ สนามที่มีระยะทางยาว 35 เมตร เป็นเส้นตรง
2. เครื่องมือในการจับเวลา ยี่ห้อ สวิฟท์ เพอฟอร์มานซ์ (Swift Performance) รุ่น Speedlight Dual BeamTiming Gates
3. กรวย 2 อัน ใช้สำหรับจุดเริ่มต้นวิ่งและจุดสิ้นสุด ระยะห่าง 35 เมตร
4. นกหวีด 1 ตัว
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. แบบบันทึก

**วิธีการทดสอบ**

1. ชั่งน้ำหนักของผู้ทดสอบก่อนการทดสอบและอธิบายวิธีการทดสอบ
2. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่ง เพื่อทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
3. ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งโดยใช้ความพยายามสูงสุดเหมือนการทดสอบจริง 1 เที่ยว หลังการอบอุ่นร่างกายให้พัก 5 นาที ก่อนเริ่มการทดสอบ
4. ให้นักกีฬาที่เข้ารับการทดสอบเตรียมตัวที่จุด A เมื่อได้รับสัญญาณให้นักกีฬาวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด จากจุด A ไปยังจุด B (35 เมตร) ทำการพักระหว่างเที่ยว 10 วินาที โดยให้ผู้เข้ารับการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทดสอบพักที่เส้น 35 เมตร (ไม่ต้องกลับมายังจุด A) จากนั้นในเที่ยวต่อไปเมื่อได้รับสัญญาณให้นักกีฬาวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด จากจุด B ไปยังจุด A (35 เมตร) ทำการวิ่งระยะ 35 เมตรจนครบ 6 เที่ยว เมื่อครบตามจำนวนถือว่าสิ้นสุดการทดสอบเข้ารับการทดสอบ ผู้ทดสอบเริ่มวิ่งจากท่ายืน ย่อตัว หรือ ก็ได้ และในการวิ่งทุกเที่ยวผู้ทดสอบจำเป็นที่จะต้องวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดตลอดทั้งระยะทาง 35 เมตร

5. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งประมาณ 5 นาที เพื่อทำการคลายอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

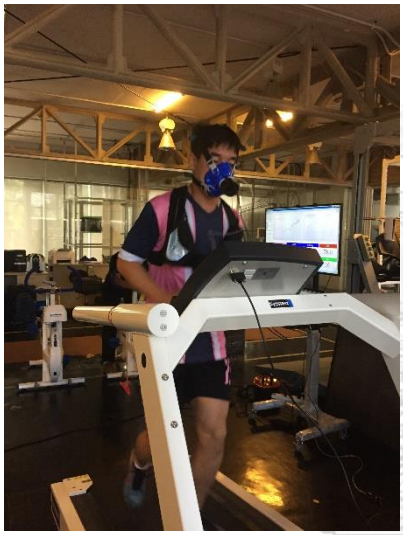
6. บันทึกผลเวลาที่วิ่งในแต่ละ 35 เมตร จำนวน 6 เที่ยว นำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังแบบแอนแอโรบิก พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพันธ์ ดัชนีความล้า และเปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ซ
# การทดสอบความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก

**การทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซ โดยวิธีวิเคราะห์ก๊าซจากการวิ่งโดยลู่กล**
**(Bruce Incremental Treadmill Protocol with Respiratory Gas Analysis)**
(Kenny, Wilmore, and Costill, 2012)



**วัตถุประสงค์** เพื่อประเมินความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก

**อุปกรณ์**

1. ลู่วิ่งกล (Treadmill)
2. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Portable Cardiopulmonary Gas Exchange System)
3. สายวัดอัตราการเต้นของหัวใจ โพลาร์ รุ่น เอส710 ไอ (Polar S710i)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ
(Portable Cardiopulmonary Gas Exchange System)

ลู่วิ่งกล (Treadmill)

**วิธีการทดสอบ**

1. ติดเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและสายวัดอัตราการเต้นของหัวใจให้กับผู้เข้ารับการทดสอบ

2. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบทำการอบอุ่นร่างกาย โดยการเดินช้า ๆบนลู่วิ่งกล

3. ผู้ช่วยทดสอบตั้งค่าลู่วิ่งกลที่ความเร็ว 2.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความชันที่ 10 % (ระดับที่ 1) โดยออกคำสั่งว่า “เริ่ม” พร้อมกับเริ่มจับเวลา จากนั้นทุกๆ 3 นาที ปรับความเร็วและความชัน ตามตารางต่อนี้

| Stage | Speed (km/hr) | Speed (mph) | Gradient (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 2.74 | 1.7 | 10 |
| 2 | 4.02 | 2.5 | 12 |
| 3 | 5.47 | 3.4 | 14 |
| 4 | 6.76 | 4.2 | 16 |
| 5 | 8.05 | 5.0 | 18 |
| 6 | 8.85 | 5.5 | 20 |
| 7 | 9.65 | 6.0 | 22 |
| 8 | 10.46 | 6.5 | 24 |
| 9 | 11.26 | 7.0 | 26 |
| 10 | 12.07 | 7.5 | 28 |

4. ค่าที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซทุกๆ 5 วินาที ได้แก่

- อัตราการเต้นของหัวใจ (HR)
- ความสามารถในการใช้ออกซิเจน ($VO_2$)
- ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ($VCO_2$)
- ความสามารถในทางการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$)
- ปริมาณอากาศที่หายใจออก (VE)
- อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (RER)

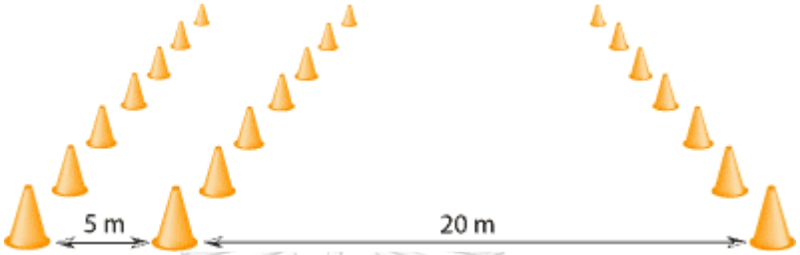
6. หยุดจับเวลาเมื่อผู้รับการทดสอบไม่สามารถปฏิบัติกิจกรรมต่อไปได้ โดยพิจารณาจากผู้ทดสอบปฏิบัติถึงระดับการใช้ออกซิเจนสูงสุด, เมื่อปฏิบัติจนถึงระดับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Respiratory Exchange Ratio) เท่ากับหรือสูงกว่า 1.15 และอาการสั่นทั้งตัวขณะปฏิบัติ จากนั้นจึงบันทึกเวลาที่ทำได้ และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

7. ค่าจุดกั้นแอนแอโรบิก (Anaerobic Threshold: AT) เป็นจุดหรือระดับที่ร่างกายเริ่มมีการเปลี่ยนการใช้พลังงานแบบแอโรบิก ไปเป็นระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิก ซึ่งหาได้โดยใช้ค่าระบายอากาศ (Ventilatory Threshold) โดยหาได้จาก ค่าวี – สโลป (V-slope method) โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของอัตราส่วนระหว่าง $VE/VO_2$ (Wasserman, 1983)

# ภาคผนวก ณ

## การทดสอบความอดทนแบบหนักสลับพัก (Intermittent Endurance)

**แบบทดสอบ โยโย่ (Yo-Yo intermittent recovery test level 1)** (Bangsbo et al., 2008)




**แหล่งที่มา** : Topendsport. “Yo-Yo Intermittent Recovery Test Levels” [Online]. [Cited 8 May 2015]. Available from: http://www.topendsports.com/testing/yo-yo-intermittent-levels.htm

**วัตถุประสงค์** เพื่อทดสอบความสามารถด้านความอดทนแบบหนักสลับพัก (Intermittent endurance performance)

**อุปกรณ์**

ซอฟท์แวร์บอกจังหวะ (Team beep test software) เทปวัดระยะ กรวย กระดาษบันทึก

**วิธีการ**

1. ตั้งกรวย 3 จุด กรวยที่ 1 เป็นจุดเริ่มต้น กรวยที่ 2 ห่างจากจุดเริ่มต้น 20 เมตร และกรวยที่ 3 ห่างจากกรวยที่ 2 ระยะ 5 เมตร

2. เริ่มต้นทดสอบผู้ถูกทดสอบยืนหลังจุดเริ่มต้นและออกวิ่งเมื่อได้ยินเสียงสัญญาณดังขึ้น โดยวิ่งอย่างรวดเร็วในระยะ 20 เมตรไปยังกรวยที่ 2 เมื่อผ่านกรวยที่ 2 .ลดความเร็วและวิ่งเหยาะต่ออีก 5 เมตรอ้อมกรวยที่ 3 กลับมายังกรวยที่ 2 (เวลา 10 วินาที) และจะออกวิ่งอย่างรวดเร็วในทันทีไปยังกรวยที่ 1 เมื่อได้ยินเสียงสัญญาณดังขึ้น ปฏิบัติเช่นเดิมไป-กลับเรื่อย ๆ จะได้รับการเตือนหากการปฏิบัติไม่สมบูรณ์ โดยไม่สามารถวิ่งกลับมายังจุดเริ่มต้นได้ทันก่อนเสียงสัญญาณดัง และจะหยุดปฏิบัติทันทีเมื่อการปฏิบัติทำได้ไม่สมบูรณ์เป็นครั้งที่ 2 ความเร็วในการวิ่งจะเพิ่มขึ้นในทุกรอบการวิ่งตลอดการทดสอบ

3. นำผลรวมของระยะทางที่วิ่งได้สมบูรณ์บันทึกไว้ ส่วนการวิ่งที่ทำไว้ก่อนหน้าที่ไม่สมบูรณ์จะตัดทิ้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ญ

**แบบสอบถามความพร้อมในการออกกำลังกาย (PAR-Q)**

*หมายเลขผู้เข้ารับการทดสอบ/ผู้เข้าร่วมการวิจัย* .....

อายุ.....ปี.....เดือน

แบบสอบถามนี้ใช้สำหรับบุคคลที่มีอายุระหว่าง 15-69 ปี มีคำถามทั้งสิ้น 7 ข้อ

| ใช่ | ไม่ | กรุณาทำเครื่องหมายถูกหน้าข้อที่เกิดขึ้น |
|---|---|---|
| | | 1. แพทย์เคยพูดถึงปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวกับหัวใจ หรือเคยได้รับคำแนะนำจากแพทย์ในเรื่องดังกล่าวหรือไม่ |
| | | 2. คุณเคยเจ็บหน้าอกขณะออกกำลังกายหรือไม่ |
| | | 3. ใน 1 เดือนที่ผ่านมา คุณเคยเจ็บหน้าอก แม้ไม่ได้ออกกำลังกายหรือไม่ |
| | | 4. คุณเคยเสียการทรงตัว เพราะสาเหตุมาจากการเวียนศรีษะหรือเคยหมดสติหรือไม่ |
| | | 5. คุณเคยมีปัญหาเรื่องข้อกระดูก (เช่น ปวดหลัง, ปวดเข่า, ปวดสะโพก) หรือไม่ ถ้าเคยมีปัญหาดังกล่าว สาเหตุมาจากการออกกำลังกายหรือไม่ |
| | | 6. แพทย์เคยให้ยาที่ใช้สำหรับลดความดัน หรือยาที่เกี่ยวข้องกับการรักษาอาการโรคหัวใจหรือไม่ |
| | | 7. คุณทราบเหตุผลอื่นๆที่จะทำให้คุณไม่ควรออกกำลังกายหรือไม่ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

ภาคผนวก ฎ

แบบวัดระดับรับรู้ความเหนื่อย (Rating of perceived exertion; RPE) (Borg, 1982)

# ภาคผนวก ฏ

## การตรวจปัสสาวะ

**เครื่องมือที่ใช้**

แผ่นทดสอบวัดค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ กล่องพลาสติกบรรจุน้ำปัสสาวะ

**วิธีทดสอบ**

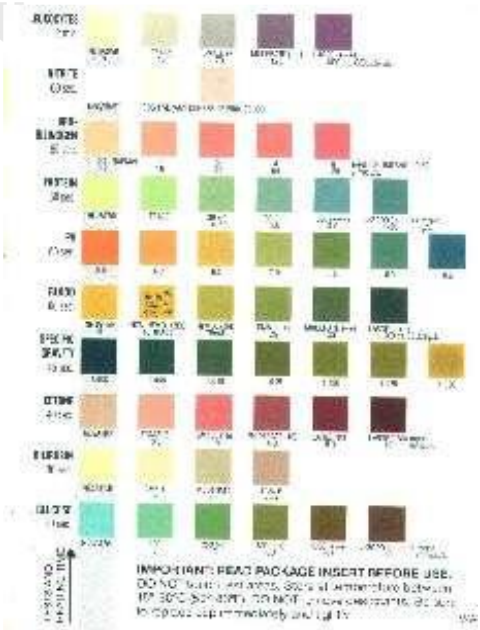
1. เก็บตัวอย่างปัสสาวะที่ใช้ทำการทดสอบใส่ลงในภาชนะที่แห้งและสะอาดประมาณ 30 - 50 ซี.ซี.
2. ดึงแถบตรวจออกจากขวด ระวังอย่าให้มือไปสัมผัสถูกบริเวณแถบทดสอบที่ติดอยู่ที่แถบตรวจ เพราะจะทำให้แถบทดสอบเสียได้ รีบปิดขวดให้สนิทตามเดิม เพราะความชื้นในอากาศทำให้แถบตรวจเสื่อมได้
3. จุ่มแถบตรวจลงไปในปัสสาวะที่จะใช้ทำการทดสอบ โดยให้แถบทดสอบสัมผัสถูกปัสสาวะ ดึงแถบตรวจขึ้น วางไว้ในแนวราบ รอเวลาประมาณ 45-60 วินาที จึงเริ่มเทียบสีกับตารางเทียบสีมาตรฐาน เพื่อทราบ ปริมาณของสารที่พบ

**การแปลผลการทดสอบ Specific gravity (ความถ่วงจำเพาะ)**

เป็นตัวบ่งชี้แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ

- โดยระดับปกติจะอยู่ในช่วง 1.010 – 1.025
- ในภาวะขาดน้ำจะมีระดับความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# ภาคผนวก ฐ

# การศึกษานำร่อง (Pilot Study)

**วัตถุประสงค์** เพื่อตรวจสอบการใช้อุปกรณ์คือเครื่องวิเคราะห์แก๊สแบบพกพาร่วมกับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อกับลักษณะของโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับพักด้วยการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวว่าสามารถทำได้จริงหรือไม่ และเกิดการเปลี่ยนแปลงในเบื้องต้นอย่างไร

**อุปกรณ์**

1. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ยี่ห้อ คอเท็กซ์ ซีพีอีที (Cortex CPET) รุ่น เมตาไลเซอร์ 3 บี (MetaLyzer 3B) ประเทศอิตาลี
2. เครื่องทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ยี่ห้อ Delsys EMG works 3.6 ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Signal acquisition and analysis software)
4. คอมพิวเตอร์ประมวลผล
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

**วิธีการ**

1. กำหนดปริมาณออกซิเจนต่ำความดันบรรยากาศปกติไว้ที่ 12.5% ให้อาสาสมัครทำการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สแบบพกพาร่วมกับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อโดยติดขั้วไฟฟ้าพื้นผิวที่กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส (Vastus Lateralis)

2. ทดลองวิ่งตามลักษณะของโปรแกรมการฝึกที่ทำการปรับปรุงจากครั้งที่ 1 แล้ว ทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนักอยู่ในช่วง 50-60%ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 10 นาที จากนั้นจึงทำการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยวระยะทาง 2x5 เมตร โดยการวิ่งจากกรวยที่ 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นไปยังกรวยที่ 2 โดยต้องทำการเอามือแตะกรวยแล้วจึงวิ่งกลับมายังจุดเริ่มต้น กำหนดให้ใช้เวลาเที่ยวละไม่เกิน 5 วินาที สลับกับการพักด้วยการเดินบริเวณจุดเริ่มต้น 20 วินาที จำนวน 6 เที่ยว คิดเป็น 1 เซ็ต ทำซ้ำจำนวน 3 เซ็ต เมื่อสิ้นสุดการวิ่งสปริ๊นท์เที่ยวสุดท้าย จึงทำการคลายอุ่นด้วยการวิ่งเหยาะที่ความหนักอยู่ในช่วง 50-60%ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดอีก 10 นาที

3. ทำการบันทึกผลด้วยมือและคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนี้
   - ความสามารถในการใช้ออกซิเจน ($VO_2$)
   - ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$)

- ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ($VCO_2$)
- อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ (RER)
- ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที (VE)
- ความถี่การหายใจต่อนาที (BF)
- อัตราการเต้นของหัวใจ (HR)
- ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองจากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Root Mean Square: RMS from electromyography)
- เวลาในการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแต่ละเที่ยว

**ผลการศึกษานำร่อง**

| **ตัวแปร** | **ช่วง** | | |
|---|---|---|---|
| | **Warm up** | **Repeated Sprint** | **Cool down** |
| **$VO_2$ (L/min)** | 0.47-2.50 | 1.44-2.63 | 1.08-2.47 |
| **$VCO_2$(L/min)** | 0.45-2.61 | 1.28-2.86 | 1.41-2.59 |
| **$VO_2$max (ml/min/kg)** | 3-36 | 18-37 | 15-35 |
| **VE (L/min)** | 15.8-52.5 | 29.5 –63.9 | 22.0-60.2 |
| **RER** | 0.87-1.00 | 1.00-1.18 | 0.78-1.04 |
| **HR (bpm)** | 101-146 | 146 - 158 | 142-137 |
| **BF** | 16-28 | 14-47 | 16-41 |

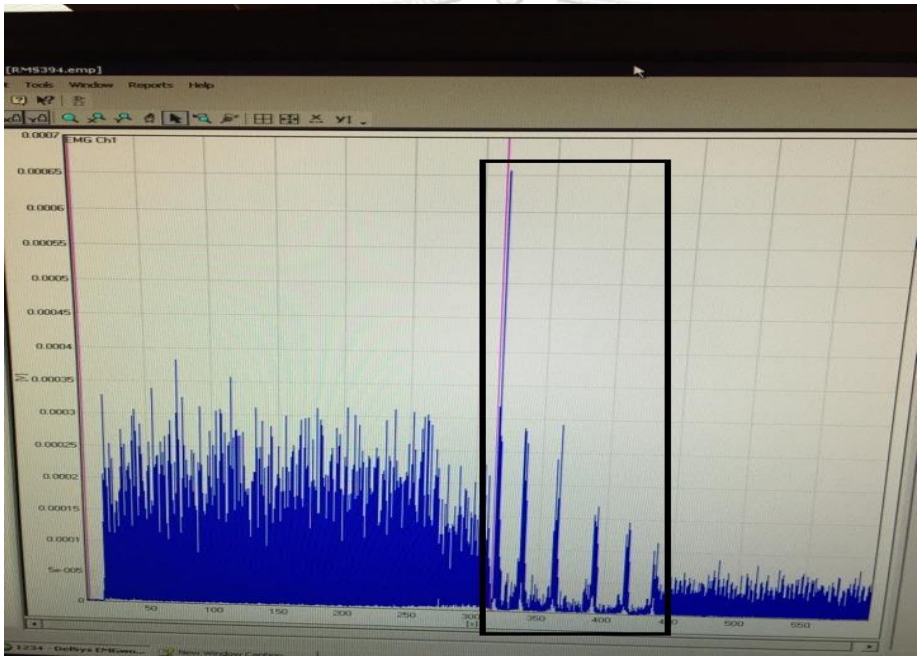
**เวลาในการวิ่งสปริ๊นท์ไปกลับแต่ละเที่ยว**

| เที่ยวที่ 1 | เที่ยวที่ 2 | เที่ยวที่ 3 | เที่ยวที่ 4 | เที่ยวที่ 5 | เที่ยวที่ 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.47 | 3.39 | 3.56 | 3.72 | 3.93 | 4.16 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**หน้าจอแสดงค่าการทำงานของห้องจำลองสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ**

**กราฟแสดงค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) จากการทดสอบคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ**

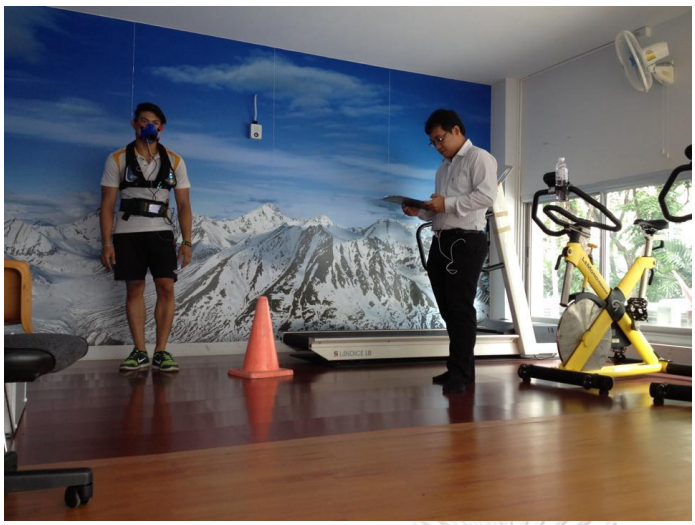
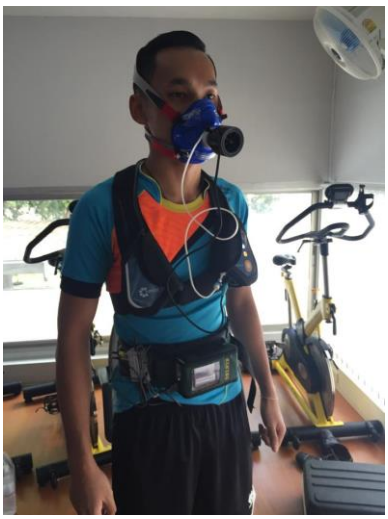


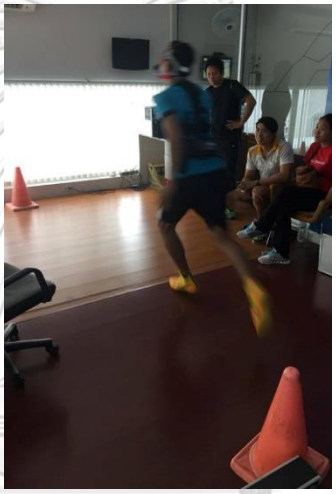
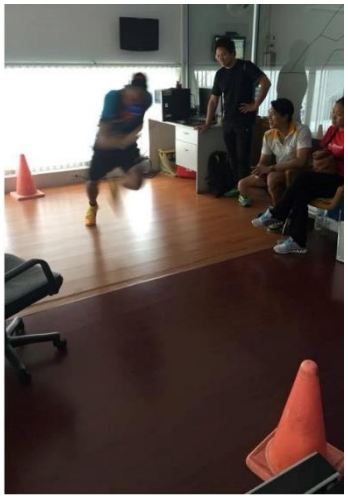

ภายในกรอบสี่เหลี่ยมแสดงกราฟค่า RMS จากการวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว 6 เที่ยว

ภาพแสดงการติดขั้วไฟฟ้าแบบพื้นผิวในการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่กล้ามเนื้อวาสตัส แลเทอราลิส

ภาพแสดงการสวมใส่อุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์แก๊สและเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อก่อนการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพแสดงการทดสอบวิ่งสปรินท์ไปกลับแบบซ้ำเที่ยว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ภาคผนวก ฑ

### แบบบันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยาทั่วไป การศึกษาที่ 1

รหัสนักกีฬา .....

อายุ.....ปี น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม.

บันทึกสุขภาพ หรือความเจ็บป่วย ..... โรคประจำตัว .....

| ตัวแปรที่วัด | สัปดาหที่ 1 | สัปดาหที่ 2 | สัปดาหที่ 3 | สัปดาหที่ 4 |
|---|---|---|---|---|
| อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที) | | | | |
| ความดันโลหิต (มิลลิเมตรปรอท) | | | | |
| ดัชนีมวลกาย (BMI) (น้ำหนักตัว (กก.)/ส่วนสูง (ม.)$^2$) | | | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ภาคผนวก ฒ

## แบบบันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยาทั่วไป การศึกษาที่ 2

รหัสนักกีฬา .....

อายุ.....ปี น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม.

บันทึกสุขภาพ หรือความเจ็บป่วย ..... โรคประจำตัว .....

| ตัวแปรที่วัด | ก่อนการฝึก | หลังการฝึก 6 สัปดาห์ |
|---|---|---|
| อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที) | | |
| ความดันโลหิต (มิลลิเมตรปรอท) | | |
| ดัชนีมวลกาย (BMI) (น้ำหนักตัว (กก.)/ส่วนสูง (ม.)$^2$) | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ภาคผนวก ณ

### แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย การศึกษาที่ 1

รหัสนักกีฬา .....

อายุ.....ปี น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม. ความดันโลหิต.....

บันทึกสุขภาพ หรือความเจ็บป่วย ..... โรคประจำตัว .....

สัปดาห์ที่.....ปริมาณออกซิเจนที่ใช้.....

| ตัวแปรที่วัด | ช่วงของการออกกำลังกาย | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ก่อนออกกำลังกาย | หลังอบอุ่นร่างกาย | หลังเซ็ตที่ 1 | หลังเซ็ตที่ 2 | หลังเซ็ตที่ 3 |
| อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที) | | | | | |
| ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (ลิตร/นาที) | | | | | |
| ความสามารถในการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ (ลิตร/นาที) | | | | | |
| อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ | | | | | |
| ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที (ลิตร/นาที) | | | | | |
| RPE | | | | | |
| $SpO_2$ | | | | | |
| ระดับกรดแลคติกในเลือด (มิลลิโมล/ลิตร) | | | | | |

ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการออกกำลังกายที่กล้ามเนื้อวาสตัสแลทเทอราลิส

โดยใช้ข้อมูลจากโปรแกรมวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (ไมโครโวลต์)

| เซ็ตที่ \ เที่ยวที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

จำนวนการวิ่งสปรินท์ที่สำเร็จ

| เซ็ตที่ \ เที่ยวที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

## ภาคผนวก ด

### แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย การศึกษาที่ 2

รหัสนักกีฬา .....

อายุ.....ปี น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม.

บันทึกสุขภาพ หรือความเจ็บป่วย ..... โรคประจำตัว .....

| ตัวแปรที่วัด | ก่อนการฝึก | หลังการฝึก 6 สัปดาห์ |
|---|---|---|
| ความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิก (Bruce Protocol test) | | |
| ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที) | | |
| ความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก (Running-based Anaerobic Sprint Test: RAST) | | |
| พลังแบบแอนแอโรบิก (วัตต์) | | |
| ความสามารถสูงสุดทางแอนแอโรบิก (วัตต์) | | |
| เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า (เปอร์เซ็นต์) | | |
| ความอดทนแบบหนักสลับพัก (Yo-Yo Intermittent Recovery Test) | | |
| ระยะทาง (เมตร) | | |

**ระดับกรดแลคติกในเลือด (มิลลิโมล/ลิตร)**

| | ก่อนทดสอบ Yo-Yo | หลังทดสอบ Yo-Yo | หลังการทดสอบ Yo-Yo 5 นาที |
|---|---|---|---|
| **ก่อนการฝึก** | | | |
| **หลังการฝึก 6 สัปดาห์** | | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ภาคผนวก ต

## แบบบันทึกความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกด้วยวิธีการทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ช (Bruce Incremental Treadmill Protocol) โดยเครื่องวิเคราะห์แก๊สจากการวิ่งโดยลู่กล

รหัสนักกีฬา .....

อายุ.....ปี น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม.

บันทึกสุขภาพ หรือความเจ็บป่วย ..... โรคประจำตัว .....

การทดสอบครั้งที่.....วัน/เดือน/ปี ที่ทำการทดสอบ.....

| ระดับ | ความเร็ว (km/hr) | ความเร็ว (mph) | ความชัน (%) | เวลา (นาที) | เวลาที่ทำได้ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.74 | 1.7 | 10 | 3 | |
| 2 | 4.02 | 2.5 | 12 | 6 | |
| 3 | 5.47 | 3.4 | 14 | 9 | |
| 4 | 6.76 | 4.2 | 16 | 12 | |
| 5 | 8.05 | 5.0 | 18 | 15 | |
| 6 | 8.85 | 5.5 | 20 | 18 | |
| 7 | 9.65 | 6.0 | 22 | 21 | |
| 8 | 10.46 | 6.5 | 24 | 24 | |
| 9 | 11.26 | 7.0 | 26 | 27 | |
| 10 | 12.07 | 7.5 | 28 | 30 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระดับที่ทำได้.....เวลาที่ทำได้ .....นาที

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก.....ครั้งต่อนาที

อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด.....ครั้งต่อนาที

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยวิธีวิเคราะห์แก๊ส.....มิลลิลิตร ต่อ กิโลกรัม ต่อ นาที

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จากการประมาณค่า.....มิลลิลิตร ต่อ กิโลกรัม ต่อ นาที

# ภาคผนวก ถ

## แบบบันทึกความสามารถที่แสดงออกทางแอนแอโรบิก ด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิกสปริ๊นท์

รหัสนักกีฬา .....

อายุ.....ปี น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม.

บันทึกสุขภาพ หรือความเจ็บป่วย ..... โรคประจำตัว .....

การทดสอบครั้งที่.....วัน/เดือน/ปี ที่ทำการทดสอบ.....

ระยะทางในการทดสอบ คือ 35 เมตร

| **เวลาในการวิ่งแต่ละเที่ยว (วินาที)** | **พลัง (วัตต์)** $\frac{\text{น้ำหนักตัว} \times \text{ระยะทาง}^2}{\text{เวลา}^3}$ |
|---|---|
| 1. | |
| 2. | |
| 3. | |
| 4. | |
| 5. | |
| 6. | |

| **ตัวแปร** | **ค่าที่ได้ (หน่วย)** |
|---|---|
| พลังแบบแอนแอโรบิก | .....วัตต์ |
| พลังแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ | .....วัตต์/กิโลกรัม |
| ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิก | .....วัตต์ |
| ความสามารถสูงสุดแบบแอนแอโรบิกสัมพัทธ์ | .....วัตต์/กิโลกรัม |
| ดัชนีความล้า | .....วัตต์/วินาที |
| เปอร์เซ็นต์ดัชนีความล้า | .....เปอร์เซ็นต์ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภัทราวุธ ขาวสนิท

เกิดวันที่ 3 กรกฎาคม พุทธศักราช 2528 ภูมิลำเนาจังหวัดนครศรีธรรมราช

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดนครศรีธรรมราช ปีการศึกษา 2546

สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551

สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554

เข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต แขนงวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University