ผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง

พิชยา นพกาล

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา
2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

ผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง

พิชยา นพกาล

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา
2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

The effects of resistance circuit training in hypoxia condition on anaerobic performance, aerobic performance and red blood cell

PICHAYA NOPPAKAL

A DISSERTATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR DOCTOR DEGREE OF PHILOSOPHY
IN EXERCISE AND SPORT SCIENCE
FACULTY OF SPORT SCIENCE
BURAPHA UNIVERSITY
2024

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์และคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ได้พิจารณาดุษฎีนิพนธ์ของ พิชยา นพกาล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัตน์ สนธิ์จันทร์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.สมพร ส่งตระกูล)

(ดร.เสกสรรค์ ทองคำบรรจง)

คณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรอมลี มะกาเจ)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัตน์ สนธิ์จันทร์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร ส่งตระกูล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสฤษฎ์ จำเริญ)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นฤพนธ์ วงศ์จตุรภัทร)

วันที่_____เดือน_____พ.ศ._____

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ้งเอี่ยม)

วันที่_____เดือน_____พ.ศ._____

61810036: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา; ปร.ด. (วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา)

คำสำคัญ: การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้าน, สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ, สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก, สมรรถภาพด้านแอโรบิก, เซลล์เม็ดเลือดแดง

พิชยา นพกาล : ผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพ ด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง. (The effects of resistance circuit training in hypoxia condition on anaerobic performance, aerobic performance and red blood cell) คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์: วิรัตน์ สนธิจันทร์, สมพร ส่งตระกูล, เสกสรรค์ ทองคำบรรจง ปี พ.ศ. 2567.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง (2) เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 และ (3) เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก ได้แก่ นักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล เพศชาย อายุระหว่าง 18-22 ปี คัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 24 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 12 คน ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งฝึกตามโปรแกรมที่กำหนด 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเพื่อการทดสอบสมมติฐานการวิจัย คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบวัดซ้ำ กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการวิจัยพบว่า สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ของกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่ศึกษา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ของกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า พลังสูงสุดแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก ดัชนีความเหนื่อยล้า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดเริ่มล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ของทั้งกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ของกลุ่มทดลองที่ 1 แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากข้อมูลที่ปรากฏสามารถสรุปได้ว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติสามารถพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก ได้เท่าเทียมกัน ในขณะที่การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถพัฒนาเซลล์เม็ดเลือดแดงได้

61810036: MAJOR: EXERCISE AND SPORT SCIENCE; Ph.D. (EXERCISE AND SPORT SCIENCE)
KEYWORDS: RESISTANCE CIRCUIT TRAINING, HYPOXIA CONDITION, ANAEROBIC PERFORMANCE, AEROBIC PERFORMANCE, RED BLOOD CELL

PICHAYA NOPPAKAL : THE EFFECTS OF RESISTANCE CIRCUIT TRAINING IN HYPOXIA CONDITION ON ANAEROBIC PERFORMANCE, AEROBIC PERFORMANCE AND RED BLOOD CELL. ADVISORY COMMITTEE: WIRAT SONCHAN, Ph.D. SOMPORN SONGTRAKUL, Ph.D. SAKESAN TONGKHAMBANCHONG, Ph.D. 2024.

The purposes of this research were (1) to compare the effects of resistance circuit training in hypoxic and normoxic conditions on anaerobic performance, aerobic performance, and red blood cells. (2) to compare the effects of resistance circuit training in hypoxic conditions on anaerobic performance, aerobic performance, and red blood cells before the training phase, after 4 weeks of training phase, and after 8 weeks of training phase and (3) to compare the effects of resistance circuit training in normoxic conditions on anaerobic performance, aerobic performance, and red blood cells before the training, after 4 weeks of training phase, and after 8 weeks of training phase. The samples were male intermittent sport athletes including futsal, basketball, and handball athletes, aged 18-22 years to be participated in this study by using multistage sampling in order to obtain a sample size of 24 people. Participants were divided into two groups: experimental group 1 (n = 12) and experimental group 2 (n = 12). Both groups were followed a specific program of 8 weeks and 3 days per week. Descriptive statistics were used to analyze data including mean, standard deviation and statistics for testing research hypotheses, namely Multivariate analysis of variance (MANOVA) was used in the study. The statistical significance level was defined at the .05. The results showed anaerobic performance, aerobic performance, and red blood cells after 4 weeks of training phase and after 8 weeks of training phase of both groups were different with no statistical significance. However, when analyzing the variables including before training phase, after 4 weeks of training phase and after 8 weeks of training phase of both groups, it showed that anaerobic power, anaerobic capacity, fatigue index, maximum oxygen consumption, and anaerobic threshold after 8 weeks of training phase of both groups were significantly different from before training phase and after 4 weeks of training phase with significantly different at the .05. While, hemoglobin, hematocrit, and red blood cell volume after 8 weeks of training phase of experimental group 1 were statistically significant different from after 4 weeks of training phase. In conclusion, the resistance circuit training with hypoxic and normoxic conditions can equally improve anaerobic performance and aerobic performance, while the resistance circuit training with hypoxic conditions can develop red blood cells.

กิตติกรรมประกาศ

ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัตน์ สนธิ์จันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ดร.สมพร ส่งตระกูล และ ดร.เสกสรรค์ ทองคำบรรจง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เกี่ยวกับงานวิจัยด้วยความละเอียดถี่ถ้วน พร้อมทั้งเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรอมลี มะกาเจ ที่ได้กรุณามาเป็นประธาน และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ราตรี เรืองไทย ที่ได้กรุณามาเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าดุษฎีนิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อภิลักษณ์ เทียนทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไวพจน์ จันทร์เสม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรตระกูล ปานอุทัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ และดร.ภัทราวุธ ขาวสนิท ที่ได้กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาตรวจแก้ไขเครื่องมือวิจัยให้มีคุณภาพ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ชัชพงศ์ รัตนวีระประดิษฐ์ ที่ให้กำลังใจและอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัย รวมทั้งกลุ่มตัวอย่างทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัยเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อชาตรี นพกาล คุณแม่พีระพรรณ คำทองเพิ่ม คุณพ่อสากล และคุณแม่เมทนี ลิ้มกุล คุณโสมพิสุทธิ์ ลิ้มกุล ภรรยา และเด็กชายพิทย์เมธา นพกาล บุตร ตลอดจนพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์ของดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพคณาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

พิชยา นพกาล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

คำถามการวิจัย 4

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

สมมติฐานของการวิจัย 5

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 5

ขอบเขตของการวิจัย 5

ข้อจำกัดของการวิจัย 7

นิยามศัพท์เฉพาะ 7

กรอบแนวคิดการวิจัย 10

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

สรีรวิทยาของกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก 11

สมรรถภาพทางกาย 16

ระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด 40

หลักการฝึกซ้อมกีฬา 54

การฝึกซ้อมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 94
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 107
ประชากร 107
กลุ่มตัวอย่าง 107
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 110
วิธีดำเนินการวิจัย 112
การวิเคราะห์ข้อมูล 126
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 128
สัญลักษณ์ในการวิเคราะห์และแปลผล 128
การนำเสนอข้อมูล 129
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 130
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ 163
อภิปรายผล 163
สรุปผลการวิจัย 170
ข้อเสนอแนะ 170
บรรณานุกรม 171
ภาคผนวก 185
ภาคผนวก ก 186
ภาคผนวก ข 189
ภาคผนวก ค 193
ภาคผนวก ง 195
ภาคผนวก จ 201
ภาคผนวก ฉ 203
ภาคผนวก ช 206

ภาคผนวก ซ 208

ภาคผนวก ฌ 214

ภาคผนวก ญ 228

ประวัติย่อของผู้วิจัย 234

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แหล่งพลังงานในการทำงานของกล้ามเนื้อ 14

ตารางที่ 2-2 การปรับความเร็วและความชันของลู่วิ่งกลทุก 3 นาที 34

ตารางที่ 2-3 ระดับการเกิดของค่าต่าง ๆ โดยวัดจากปริมาณกรดแลคติกในเลือด 36

ตารางที่ 2-4 ลักษณะทางกายภาพของเลือด 44

ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติจำเพาะของเม็ดลือดแดง 48

ตารางที่ 2-6 ลำดับขั้นตอนการวางแผนพัฒนาความพร้อมด้านร่างกาย 66

ตารางที่ 2-7 รายละเอียดการฝึกซ้อมความอดทนแบบใช้ออกซิเจน 74

ตารางที่ 2-8 โปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับเบาที่กำหนดจากระยะเวลาฝึก 75

ตารางที่ 2-9 แนวทางปฏิบัติในการกำหนดโปรแกรมฝึกแบบสถานี 79

ตารางที่ 2-10 การฝึกความแข็งแรงอดทนของกล้ามเนื้อแบบสถานีโดยใช้น้ำหนักตัว 80

ตารางที่ 2-11 แนวทางการฝึกแบบสถานีสำหรับนักกีฬาที่เริ่มเล่นและนักกีฬาที่มีประสบการณ์ 82

ตารางที่ 2-12 การฝึกเพิ่มขนาดกล้ามเนื้อ 85

ตารางที่ 2-13 การฝึกพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ใช้ความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุด 86

ตารางที่ 2-14 การฝึกพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ใช้ความหนักระดับสูงสุด 86

ตารางที่ 2-15 การฝึกพัฒนาพลัง 87

ตารางที่ 2-16 การฝึกพัฒนาพลังอดทนระยะสั้น 88

ตารางที่ 2-17 การฝึกพัฒนาพลังอดทนระยะยาว 89

ตารางที่ 2-18 การฝึกพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะสั้น 90

ตารางที่ 2-19 การฝึกพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลาง 91

ตารางที่ 2-20 การฝึกพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาว 92

ตารางที่ 2-21 องค์ประกอบที่สำคัญของก๊าซในบรรยากาศโลก 95

ตารางที่ 3-1 แบบแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ 112
ตารางที่ 3-2 กำหนดการและรายละเอียดการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง 116
ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างการจัดเรียงลำดับ 1-28 จากคะแนนตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง 120
ตารางที่ 3-4 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 122
ตารางที่ 3-5 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ 123
ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง 130
ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังสูงสุดแอนแอโรบิก 131
ตารางที่ 4-3 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของพลังสูงสุดแอนแอโรบิก 132
ตารางที่ 4-4 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของพลังสูงสุดแอนแอโรบิก 132
ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของพลังสูงสุดแอนแอโรบิก 133
ตารางที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก 134
ตารางที่ 4-7 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของความสามารถในการยืนระยะ 135
ตารางที่ 4-8 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก 135
ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก 136
ตารางที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเหนื่อยล้า 137
ตารางที่ 4-11 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างของดัชนีความเหนื่อยล้า 138
ตารางที่ 4-12 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของดัชนีความเหนื่อยล้า 138
ตารางที่ 4-13 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของดัชนีความเหนื่อยล้า 139
ตารางที่ 4-14 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 140
ตารางที่ 4-15 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด .. 141
ตารางที่ 4-16 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 141
ตารางที่ 4-17 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 142
ตารางที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจุดเริ่มล้า 143
ตารางที่ 4-19 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของจุดเริ่มล้า 144

ตารางที่ 4-20 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของจุดเริ่มล้า 144
ตารางที่ 4-21 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของจุดเริ่มล้า 145
ตารางที่ 4-22 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฮีโมโกลบิน 146
ตารางที่ 4-23 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของปริมาณฮีโมโกลบิน 147
ตารางที่ 4-24 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของปริมาณฮีโมโกลบิน 147
ตารางที่ 4-25 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของฮีโมโกลบิน 148
ตารางที่ 4-26 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฮีมาโตคริต 149
ตารางที่ 4-27 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของปริมาณฮีมาโตคริต 150
ตารางที่ 4-28 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของปริมาณฮีมาโตคริต 150
ตารางที่ 4-29 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของปริมาณฮีมาโตคริต 151
ตารางที่ 4-30 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง 152
ตารางที่ 4-31 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง 153
ตารางที่ 4-32 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง 153
ตารางที่ 4-33 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง 154
ตารางที่ 4-34 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง 155
ตารางที่ 4-35 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง 156
ตารางที่ 4-36 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง 156
ตารางที่ 4-37 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง 157
ตารางที่ 4-38 สรุปผลการเปรียบเทียบตัวแปรที่ศึกษาของกลุ่มทดลองที่ 1 157
ตารางที่ 4-39 สรุปผลการเปรียบเทียบตัวแปรที่ศึกษาของกลุ่มทดลองที่ 2 158
ตารางที่ 4-40 เปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ศึกษาของกลุ่มทดลองที่ 1 159
ตารางที่ 4-41 เปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ศึกษาของกลุ่มทดลองที่ 2 161

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย 10
ภาพที่ 2-1 การเกิดปฏิกิริยา 4 ขั้นตอน ในกระบวนการสร้าง ATP ของระบบแอโรบิก..... 13
ภาพที่ 2-2 สัดส่วนของพลังงานแอนแอโรบิกและแอโรบิกที่ใช้ในกีฬาประเภทต่าง ๆ..... 15
ภาพที่ 2-3 ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่มีความสมดุลกับความต้องการใช้ในขณะออกกำลังกาย 28
ภาพที่ 2-4 จุดแลคเตตเทรชโฮลหรือจุดเริ่มล้าของผู้ที่ได้รับการฝึกและผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก 37
ภาพที่ 2-5 การหาค่าจุดเริ่มล้าโดยการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนก๊าซแบบวีสโลป 38
ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของหัวใจ..... 41
ภาพที่ 2-7 ชนิดของหลอดเลือดที่อยู่ภายในร่างกาย..... 43
ภาพที่ 2-8 องค์ประกอบของเลือด..... 46
ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของฮีโมโกลบิน..... 47
ภาพที่ 2-10 ลำดับการสร้างเม็ดเลือดแดง..... 50
ภาพที่ 2-11 วงรอบของการกำหนดภาระงานในการฝึกทุก 3 สัปดาห์..... 60
ภาพที่ 2-12 แผนการฝึกซ้อมรายปี..... 62
ภาพที่ 2-13 การเพิ่มความหนักของการฝึกสำหรับนักกีฬาที่เริ่มเล่นและนักกีฬาที่มีประสบการณ์... 84
ภาพที่ 2-14 ความสัมพันธ์ระหว่างความกดอากาศและระดับความสูง..... 96
ภาพที่ 2-15 กลไกการเพิ่มปริมาณของเซลล์เม็ดเลือดแดง..... 98
ภาพที่ 2-16 รูปแบบของการฝึกบนพื้นที่สูงหรือในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ..... 101
ภาพที่ 3-1 การจัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มตามที่ผู้วิจัยกำหนดด้วยวิธีเรียงลำดับแบบจัดเข้ากลุ่ม..... 121
ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 126
ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแอนแอโรบิก ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ..... 131
ภาพที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก ก่อนการฝึก หลังการฝึก..... 134

ภาพที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้า ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึก 137
ภาพที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 ... 140
ภาพที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้า ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 143
ภาพที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึก 146
ภาพที่ 4-7 ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริต ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึก 149
ภาพที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 152
ภาพที่ 4-9 ค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 155

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกีฬาทุกประเภทมีการแข่งขันกันมากขึ้น ซึ่งนักกีฬาทุกคนล้วนมีเป้าหมายเดียวกัน คือ ประสบความสำเร็จในการแข่งขัน แต่การที่นักกีฬาคนใดคนหนึ่ง หรือทีมกีฬาทีมใดทีมหนึ่งจะประสบความสำเร็จได้จะต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่างประกอบเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งอภิลักษณ์ เทียนทอง และสุพัชรินทร์ ปานอุทัย (2556) ได้กล่าวว่า องค์ประกอบสำคัญที่ทำให้นักกีฬาประสบความสำเร็จทางการกีฬา มี 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ทักษะกีฬา (Sport skill) สมรรถภาพทางกาย (Physical fitness) และสมรรถภาพทางจิต (Metal fitness) ในแง่ของนักสรีรวิทยาการออกกำลังกายได้ให้ความสำคัญกับองค์ประกอบด้านสมรรถภาพทางกายเป็นอันดับแรกที่มีส่วนช่วยให้นักกีฬาประสบความสำเร็จ ซึ่ง Corbin, Welk, Corbin, and Welk (2019) ได้กล่าวว่า สมรรถภาพทางกายเป็นความสามารถของร่างกายที่จะทำงานหรือประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพ (Health-related physical fitness) เป็นสมรรถภาพทางกายพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับบุคคลทั่วไป มี 5 องค์ประกอบ ได้แก่ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของหัวใจและหลอดเลือด ความอดทนของกล้ามเนื้อ ความอ่อนตัว และองค์ประกอบของร่างกาย ส่วนสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะ (Skill-related physical fitness) เป็นสมรรถภาพทางกายที่สูงกว่าระดับพื้นฐานและจะพบได้ในนักกีฬา มี 6 องค์ประกอบ ได้แก่ พลัง ความคล่องแคล่ว ความเร็ว การทำงานประสานกันของระบบประสาทกับกล้ามเนื้อ เวลาปฏิกิริยาตอบสนอง และการทรงตัว ซึ่งนักกีฬาที่ประสบความสำเร็จนั้นจะต้องมีสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวกับสุขภาพเป็นพื้นฐานที่ดีก่อนแล้วจึงพัฒนาต่อยอดไปสู่การพัฒนาสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวกับทักษะต่อไป นอกจากนั้น Bompa and Buzzichelli (2015) ได้กล่าวว่า การผสมผสานกันระหว่างความแข็งแรงและความอดทนจะเกิดเป็นสมรรถภาพทางกายที่มีความเฉพาะเจาะจง เรียกว่า ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) เป็นความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง โดยที่ความถี่และความเร็วไม่ลดลงหรือกระทำได้นานขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ 1) ความอดทนของกล้ามเนื้อระยะสั้น (Muscular endurance of short duration) เป็นความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อซ้ำ ๆ กันหลายครั้งในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 40 วินาที - 2 นาที เช่น ว่ายน้ำระยะ 100 เมตร วิ่งระยะ 400 เมตร และ พายเรือแคนูระยะ 500 เมตร เป็นต้น 2) ความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลาง (Muscular endurance of medium duration) เป็นความสามารถในการ

ทำงานของกล้ามเนื้อซ้ำ ๆ กันหลายครั้งในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 2-8 นาที เช่น ว่ายน้ำระยะ 200-400 เมตร วิ่งระยะกลาง และพายเรือแคนูระยะ 1,000 เมตร เป็นต้น และ 3) ความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาว (Muscular endurance of long duration) เป็นความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อซ้ำ ๆ กันหลายครั้งในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 8 นาทีขึ้นไป เช่น วิ่งระยะไกล และว่ายน้ำระยะไกล เป็นต้น ดังนั้น ถ้านักกีฬามีความอดทนของกล้ามเนื้ออยู่ในระดับสูงจะช่วยให้ปฏิบัติทักษะทางกีฬาได้อย่างต่อเนื่องและไม่รู้สึกเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้า จึงสรุปได้ว่า สมรรถภาพทางกายเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้นักกีฬาประสบความสำเร็จได้ โดยเฉพาะสมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญต่อกีฬาหลายชนิด

ในการเคลื่อนไหวหรือปฏิบัติทักษะทางกีฬาในกีฬาทุกชนิด ร่างกายจะมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการเคลื่อนไหวในกีฬาชนิดนั้น ๆ เช่น ฟุตซอล ฟุตบอล รักบี้ฟุตบอล ฮอกกี้ บาสเกตบอล กีฬาแร็กเก็ต (แบดมินตัน เทนนิส และเทเบิลเทนนิส) เป็นต้น ซึ่งกีฬาเหล่านี้จะมีลักษณะการแข่งขันแบบหนักสลับพัก (Intermittent sport) และมีรูปแบบการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วระดับสูงและไม่ต่อเนื่องตลอดช่วงของการแข่งขันที่ยาวนาน ซึ่งการเคลื่อนไหวดังกล่าวต้องอาศัยพลังงานทั้งแอนแอโรบิก และแอโรบิก (Baker, Rollo, Stein, & Jeukendrup, 2015; Naser, Ali, & Macadam, 2017) สอดคล้องกับ Rivera-Brown and Frontera (2012) ที่กล่าวว่า กีฬาหลายชนิดจะมีการใช้พลังงานทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิกผสมผสานกันในสัดส่วนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความหนักของงานและระยะเวลาของกิจกรรมที่ใช้ในกีฬาชนิดนั้น ๆ ซึ่งหากต้องการให้ร่างกายของนักกีฬาสามารถสร้างพลังงานได้อย่างเหมาะสมในช่วงการแข่งขัน จำเป็นต้องจำลองรูปแบบการฝึกให้ใกล้เคียงกับการแข่งขันให้มากที่สุด ในปัจจุบันวิธีการฝึกที่นำมาใช้พัฒนาระบบพลังงานแอนแอโรบิกและแอโรบิกมีอยู่หลายวิธี เช่น การฝึกด้วยแรงต้าน (Resistance training) การฝึกแบบหนักสลับพัก (Intermittent training) การฝึกแบบหนักสลับเบา (Interval training) การฝึกพลัยโอเมตริก (Plyometric training) และการฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว เป็นต้น นอกจากนั้น การฝึกแบบสถานี (Circuit training) ก็เป็นการฝึกอีกรูปแบบหนึ่งที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาพลังงานทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิก ด้วยรูปแบบการฝึกที่มีการผสมผสานระหว่างความแข็งแรงกับความอดทน (Strength-Endurance) ความเร็วกับความอดทน (Speed-Endurance) และความเร็วกับความแข็งแรง (Speed-Strength) ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญที่จะนำไปสู่การฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถของนักกีฬาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

จากการทบทวนงานวิจัยที่ที่ผ่านมาพบว่า มีการผสมผสานรูปแบบการฝึกลักษณะต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกันหลายวิธี นอกจากรูปแบบการฝึกที่มีความหลากหลายแล้วยังมีการนำเอาลักษณะของสภาพแวดล้อมไม่ที่ปกติเข้ามาช่วยกระตุ้นให้ร่างกายมีการตอบสนองและปรับตัวในทางที่ดีขึ้น ซึ่งการฝึกที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันก็คือ การฝึกในสภาวะออกซิเจนต่ำ (Hypoxic training) หรือ

เรียกอีกอย่างว่า การฝึกบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล (Altitude training) การฝึกบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลได้ถูกกล่าวถึงเป็นอย่างมากภายหลังจากการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก ในปี ค.ศ. 1968 ณ กรุงเม็กซิโก ประเทศเม็กซิโก เนื่องจากเป็นประเทศที่ตั้งอยู่บนที่สูงเหนือระดับทะเล 2,240 เมตร ส่งผลให้นักกีฬาจากประเทศแถบแอฟริกาตะวันออกที่มีการพักอาศัยและทำการฝึกในสภาพแวดล้อมที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล ทำผลงานและสถิติได้ดีกว่านักกีฬาประเทศอื่น ๆ จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์การกีฬาหันมาสนใจที่จะศึกษาวิธีการฝึกบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลที่มีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของนักกีฬามากขึ้น (McArdle, Katch, & Katch, 2016) ซึ่ง West, Schoene, Luks, and Milledge (2013) กล่าวว่า สภาพแวดล้อมบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลจะทำให้ความกดอากาศ (Air pressure) ลดลง และความกดอากาศที่ลดลงนี้จะทำให้ความดันออกซิเจนในอากาศที่เข้าสู่ปอดลดลงตามไปด้วย สอดคล้องกับ Marieb and Hoehn (2016) ที่กล่าวว่า เมื่อออกซิเจนในเลือดลดลง ไต (Kidney) จะถูกกระตุ้นให้ผลิตฮอร์โมนอีริทโทรโพอิติน (Erythropoietin) เพิ่มขึ้น จากอีริทโทรโพอิตินที่เพิ่มขึ้นจะไปกระตุ้นไขกระดูก (Bone marrow) ให้สร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด โดยฮีโมโกลบินจะทำหน้าที่จับและขนส่งออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ซึ่งจะช่วยเพิ่มการนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายเพื่อใช้ในการสร้างพลังงาน ดังจะเห็นได้จากหลาย ๆ การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา เช่นการศึกษา Rusko, Tikkanen, and Peltonen (2004) ที่พบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ช่วยให้เกิดการตอบสนองและการปรับตัวทางสรีรวิทยา เช่น เพิ่มอัตราการระบายอากาศ เพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง เพิ่มปริมาณฮีโมโกลบิน เพิ่มหลอดเลือดฝอยที่มาเลี้ยงเส้นใยกล้ามเนื้อ เพิ่มความหนาแน่นของไมโตรคอนเดรีย และช่วยให้เอนไซม์ในไมโตรคอนเดรียทำหน้าที่ได้ดีขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Scott, Goods, and Slattery (2016) ที่พบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ช่วยให้เอนไซม์ไกลโคไลติก การสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอทีน และการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อทำงานได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับการศึกษาของ Czuba, Fidos-Czuba, and Płoszczyca et al. (2018) ที่พบว่า การฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ช่วยพัฒนาสมรรถภาพด้านแอโรบิกให้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Alvarez-Herms, Julià-Sánchez, Corbi, Pagès, and Viscor (2016) ที่พบว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ช่วยให้สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ Ambro**ż**y et al. (2020) ที่พบว่า การฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ช่วยให้พลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่งานวิจัยบางส่วนได้มีข้อค้นพบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาด้านใดเลยก็เป็นได้ และไม่สามารถพัฒนานักกีฬาให้มีศักยภาพเพิ่มสูงขึ้น ดังเช่นการวิจัยของ Morton and Cable (2005) ที่ศึกษาผลของการฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกและสมรรถภาพด้านแอโรบิก ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกหนักสลับพักใน

สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 15 ของอากาศทั้งหมด) และกลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (ออกซิเจนร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด) พบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณของงานสูงสุด จุดเริ่มล้า พลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก หลังการฝึก 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม เช่นเดียวกับ Roels, Bentley, Coste, Mercier, and Millet (2007) ที่ศึกษาผลของการฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกและสมรรถภาพด้านแอโรบิก ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (ออกซิเจนร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด) และกลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 14.4 ของอากาศทั้งหมด) พบว่า พลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังการฝึก 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ระหว่างกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม

จากข้อมูลที่ปรากฏจะเห็นได้ว่า มีการใช้สภาพแวดล้อมที่ไม่ปกติเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการฝึกพัฒนาสมรรถภาพทางกายและความสามารถของนักกีฬา และยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ว่ารูปแบบการฝึกใดจะช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายและความสามารถของนักกีฬาได้ดีที่สุด รวมทั้งยังขาดข้อมูลทางวิชาการที่มาช่วยสนับสนุน ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษารูปแบบการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ว่าจะส่งผลอย่างไรต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง

คำถามการวิจัย

การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจะส่งผลต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดงหรือไม่ อย่างไร?

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำและสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง

2. เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8

3. เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8

สมมติฐานของการวิจัย

1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างกัน

2. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างกัน

3. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ของกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างกัน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้การฝึกซ้อมรูปแบบใหม่ ๆ ที่มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายให้กับนักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอลได้ต่อไป

2. ผลการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางให้กับผู้ฝึกสอนกีฬา นักวิทยาศาสตร์การกีฬา และผู้ที่สนใจได้นำไปใช้ในการออกแบบโปรแกรมการฝึกให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับนักกีฬา เพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอลให้มีความพร้อมสมบูรณ์สูงสุดก่อนการแข่งขัน

3. เป็นแนวทางให้แก่ผู้สนใจที่จะศึกษา ค้นคว้า และวิจัยเกี่ยวกับการฝึกซ้อมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำได้ทำการศึกษาวิจัยต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีผู้เข้าร่วมการวิจัยและตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยดังนี้

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง

2. ขอบเขตของประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก ได้แก่ นักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพศชาย อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 50 คน โดยทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multistage sampling) เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ จำนวน 24 คน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองที่ 1 จำนวน 12 คน ได้รับโปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และกลุ่มทดลองที่ 2 จำนวน 12 คน ได้รับโปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยฝึกตามโปรแกรมที่กำหนด 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ เวลา 17.00-18.00 น. (กลุ่มทดลองที่ 1) และเวลา 18.00-19.00 น. (กลุ่มทดลองที่ 2) ณ ห้องจำลองสภาวะที่สูง ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี

3. ขอบเขตของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ประกอบด้วย

3.1 ตัวแปรจัดกระทำ (Treatment variables) ได้แก่

3.1.1 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

3.2.1 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

3.2 ตัวแปรผลลัพธ์ (Outcome variables) ได้แก่

3.2.1 สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก ประกอบด้วย

- พลังสูงสุดแอนแอโรบิก
- ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก
- ดัชนีความเหนื่อยล้า

3.2.2 สมรรถภาพด้านแอโรบิก ประกอบด้วย

- ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด
- จุดเริ่มล้า

3.2.3 เซลล์เม็ดเลือดแดง ประกอบด้วย

- ปริมาณฮีโมโกลบิน
- ปริมาณฮีมาโตคริต
- ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง
- ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

ข้อจำกัดของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมเรื่องการรับประทานอาหาร การพักผ่อนนอนหลับ การใช้ยาขณะเจ็บป่วย และการปฏิบัติกิจกรรมในชีวิตประจำวันของกลุ่มตัวอย่างได้ แต่ได้ชี้แจงและขอความร่วมมือกับกลุ่มตัวอย่างในการปฏิบัติตนให้เป็นไปตามธรรมชาติมากที่สุดและเข้าใจตรงกันระหว่างที่เข้าร่วมการทดลองอย่างถูกต้องตามการวิจัยที่กำหนด

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้าน (Resistance circuit training) หมายถึง การฝึกที่มีการหมุนเวียนตามสถานีที่กำหนดโดยใช้ด้วยแรงต้าน เพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้าน ซึ่งมีทั้งหมดจำนวน 6 สถานี ดังนี้

1.1 สถานี Squat

1.2 สถานี Standing calf raises

1.3 สถานี Bench press

1.4 สถานี Lunge

1.5 สถานี Deadlift

1.6 สถานี Lying leg curls

2. สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic condition) หมายถึง สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศต่ำกว่าร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่มีระดับความหนักร้อยละ 30-40 ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ซึ่งประยุกต์ใช้ตามทฤษฎีการฝึกของ Bompa and Buzzichelli (2015) และกำหนดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ฝึกอยู่ที่ร้อยละ 13.5-14.5 ของอากาศทั้งหมด (ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท) ตามแนวทางการฝึกของภัทราวุธ ขาวสนิท (2560) และโปรแกรมการฝึกในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว

3. สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (Normoxic condition) หมายถึง สภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศเท่ากับร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่มีระดับความหนักร้อยละ 50-60 ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ซึ่งประยุกต์ใช้ตามทฤษฎีการฝึกของ Bompa and Buzzichelli (2015) และกำหนดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ฝึกอยู่ที่ร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด (ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท) ตามแนวทางการฝึกของภัทราวุธ ขาวสนิท (2560) และโปรแกรมการฝึกนี้ได้ผ่านการรับรองคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว

4. นักกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก (Intermittent sport athletes) หมายถึง นักกีฬาที่มีการเคลื่อนไหวเป็นช่วง ๆ ด้วยด้วยความเร็วที่มีระดับความหนักสูง ปานกลาง และต่ำเป็นระยะ ๆ และไม่ต่อเนื่องตลอดช่วงของการแข่งขันที่ยาวนาน ซึ่งการเคลื่อนไหวดังกล่าวนี้ต้องอาศัยความอดทนของกล้ามเนื้อทั้งแอนแอโรบิก และแอโรบิก ในการวิจัยครั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก ได้แก่ นักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี

5. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก (Anaerobic performance) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำงานที่มีระดับความหนักของงานสูงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ โดยพลังงานที่ใช้จะได้มาจากระบบการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ ระบบ ATP-PC system และระบบ Lactic acid system ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การทดสอบด้วยวิธีการวิ่งแบบ The running based anaerobic sprint test และเครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกาย (Kinematic measurement system) เพื่อจับเวลาในการวิ่งโดยมีองค์ประกอบที่ใช้ในการประเมินสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกดังนี้

5.1 พลังสูงสุดแอนแอโรบิก (Anaerobic power) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะปลดปล่อยพลังสูงสุดออกมาในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยระบบ ATP-PC system จะเป็นแหล่งพลังงานหลัก ซึ่งพลังสูงสุดแอนแอโรบิกนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณงานสูงสุดที่ทำได้ในช่วง 3-5 วินาทีแรกของการทดสอบ มีหน่วยวัดเป็น วัตต์ (watts)

5.2 ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะรักษาระดับการทำงานสูงสุดให้คงอยู่ในสภาวะที่ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ โดยระบบ ATP-PC system และระบบ Lactic acid system จะเป็นแหล่งพลังงานหลักซึ่งความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิกนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณงานที่ทำได้ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบ มีหน่วยวัดเป็น วัตต์/วินาที (watts/sec)

5.3 ดัชนีความเหนื่อยล้า (Fatigue index) หมายถึง ค่าที่บ่งบอกถึงความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำงานที่มีความหนักระดับสูงแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีหน่วยวัดเป็น วัตต์/วินาที (watts/sec)

6. สมรรถภาพด้านแอโรบิก (Aerobic performance) หมายถึง ความสามารถสูงสุดของร่างกายในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาได้อย่างต่อเนื่องและยาวนาน โดยพลังงานที่ใช้จะได้มาจากระบบการสร้างพลังงานแบบใช้ออกซิเจน คือ ระบบแอโรบิก (Aerobic system) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การทดสอบด้วยวิธีการ Bruce protocol โดยวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) จากการวิ่งบนลู่วิ่งกล โดยมีองค์ประกอบที่ใช้ในการประเมินสมรรถภาพด้านแอโรบิกดังนี้

6.1 ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum oxygen consumption: VO_2max) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายนำไปใช้ใน 1 นาที มีหน่วยวัดเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min)

6.2 จุดเริ่มล้า (Anaerobic threshold: AT) หมายถึง จุดเริ่มของการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากแบบใช้ออกซิเจนมาเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งทำให้เกิดการเมื่อยล้าและความสามารถในการทำงานของร่างกายลดลง มีหน่วยวัดเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min)

7. เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell: RBC) หมายถึง เซลล์ที่มีรูปร่างกลมแบน ส่วนตรงกลางเว้าเข้าหากัน และมีฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดสีแดงขึ้น โดยเซลล์เม็ดเลือดแดงนี้จะทำหน้าที่นำออกซิเจนส่งไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การทดสอบเซลล์เม็ดเลือดแดงด้วยเครื่องวิเคราะห์เม็ดเลือดอัตโนมัติ (Automated hematology analyzer) ยี่ห้อ Mindray รุ่น CAL 6000 ตามหลักการและวิธีการทางการแพทย์โดยนักเทคนิคการแพทย์ ศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ โดยเจาะเลือดจำนวน 3-4 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cc) จากหลอดเลือดดำบริเวณข้อพับแขน แล้วใส่ในหลอดที่มีสารกันเลือดแข็งตัว เช่น EDTA, Heparin และ Citrate เป็นต้น และนำเลือดส่งตรวจ ณ ศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมงหลังจากการเจาะเลือด เพื่อทำการตรวจวิเคราะห์เซลล์เม็ดเลือดแดงต่อไป ซึ่งมีองค์ประกอบที่ใช้ในการประเมินเซลล์เม็ดเลือดแดงดังนี้

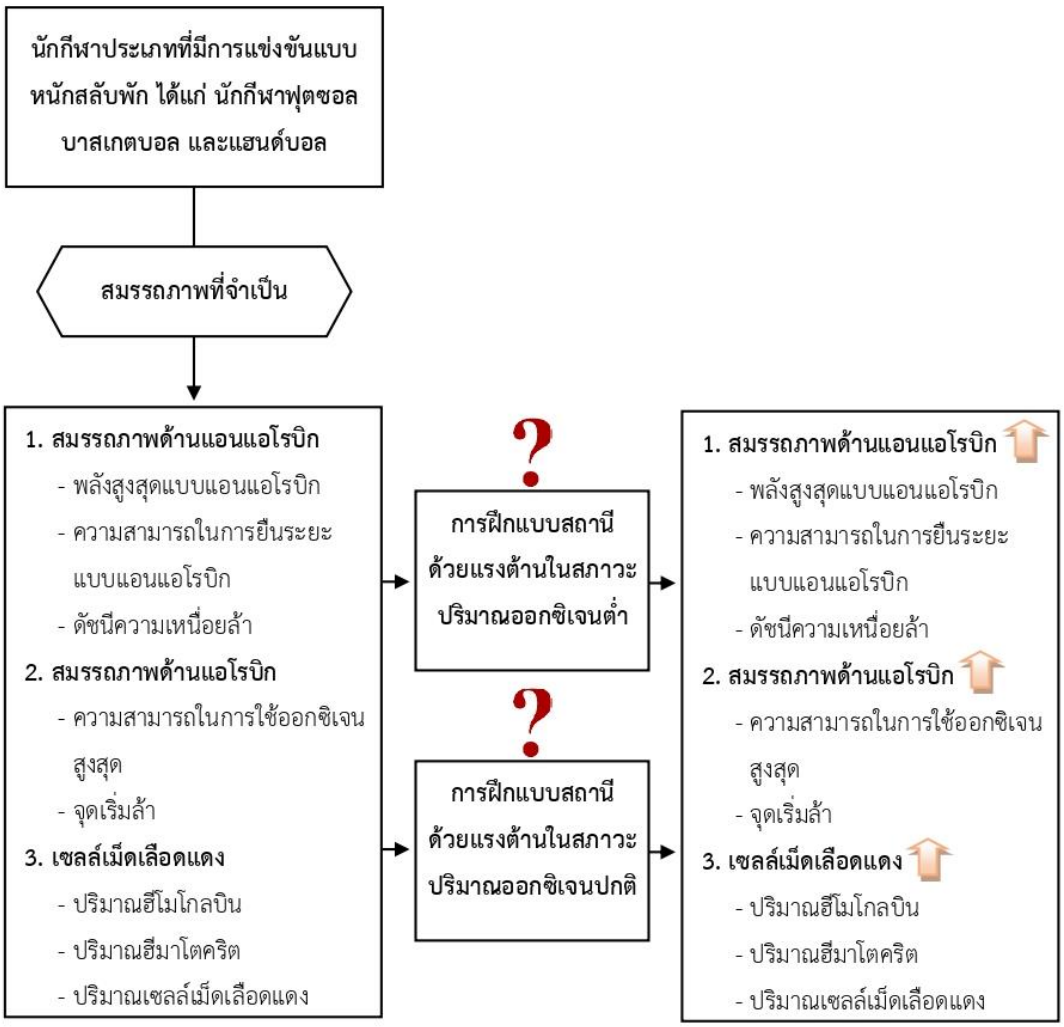
7.1 ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hemoglobin: Hb) หมายถึง ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งฮีโมโกลบินนี้จะทำหน้าที่นำออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย และนำคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์กลับไปฟอกที่ปอด มีหน่วยวัดเป็น กรัม/เดซิลิตร (g/dl)

7.2 ปริมาณฮีมาโตคริต (Hematocrit: Hct) หมายถึง เซลล์เม็ดเลือดแดงที่แยกออกจากพลาสมา (Plasma) หรือปริมาตรของเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Packed cell volume: PCV) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดถึงปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดที่มีอยู่ในเลือด มีหน่วยวัดเป็น ร้อยละ (%)

7.3 ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell count: RBC count) หมายถึง จำนวนของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่มีอยู่ในเลือด ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณฮีโมโกลบินและปริมาณฮีมาโตคริต มีหน่วยวัดเป็น เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร (Cells/mm^3)

7.4 ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular volume: MCV) หมายถึง ค่าเฉลี่ยปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงนี้ได้มาจากผลของการหารระหว่างปริมาณฮีโมโกลบินและปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง มีหน่วยวัดเป็น เฟมโตลิตร (fl)

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

1. สรีรวิทยาของกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก
2. สมรรถภาพทางกาย
3. ระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด
4. หลักการฝึกซ้อมกีฬา
5. การฝึกซ้อมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

สรีรวิทยาของกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก

ในการเคลื่อนไหวหรือปฏิบัติทักษะทางกีฬาในกีฬาทุกชนิด ร่างกายจะมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการเคลื่อนไหวในกีฬาชนิดนั้น ๆ เช่น ฟุตซอล ฟุตบอล รักบี้ฟุตบอล ฮอกกี้ บาสเกตบอล และกีฬาแร็กเก็ต เป็นต้น ซึ่งกีฬาเหล่านี้จะมีลักษณะการแข่งขันแบบหนักสลับพัก (Intermittent sport) และมีรูปแบบการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วระดับสูงและไม่ต่อเนื่องตลอดช่วงของการแข่งขันที่ยาวนาน ซึ่งการเคลื่อนไหวดังกล่าวต้องอาศัยพลังงานทั้งแอนแอโรบิก และแอโรบิก (Baker et al., 2015; Naser et al., 2017) โดยการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องก็จะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากกลุ่มกีฬาประเภทอื่น ๆ ซึ่งมีองค์ประกอบทางสรีรวิทยาที่สำคัญดังนี้

ระบบพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬา

พลังงาน (Energy) มีความสำคัญมาต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งขณะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา กล้ามเนื้อจะมีการดึงอะดีโนซีนไตรฟอสเฟส (Adenosine triphosphate: ATP) และฟอสโฟครีเอทีน (Phosphocreatine: PC) ที่สะสมไว้มาใช้เป็นพลังงานทันที ซึ่งกล้ามเนื้อเองไม่สามารถเก็บสะสม ATP และ PC ไว้ได้จำนวนมาก และที่มีอยู่สามารถใช้ในการหดตัวทำงานของกล้ามเนื้อได้ประมาณ 3-15 วินาที ดังนั้น ร่างกายจึงต้องอาศัยสารพลังงานและปฏิกิริยาอื่น ๆ มาใช้ในการสร้าง ATP ขึ้นมาเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการใช้ของกล้ามเนื้อ Kenney, Wilmore, and Costill (2015) ซึ่ง McArdle et al. (2016) กล่าวว่า แหล่งพลังงานหลักที่ทำหน้าที่สร้างพลังงานสำหรับกล้ามเนื้อเพื่อใช้ในการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬามีอยู่ด้วยกัน 3 ระบบ ดังนี้

1. ระบบเอทีพี-พีซี

ระบบเอทีพี-พีซี (ATP-PC system) หรือระบบฟอสฟาเจน (Phosphagen system) เป็นระบบพลังงานที่สร้าง ATP จากการแตกตัวของ PC ซึ่งผลผลิตที่ได้ก็คือ ฟอสเฟต (Pi) ครีเอทีน (C) และให้พลังงานในทันที โดยพลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ ATP ดังสมการ

$$PC \Rightarrow Pi + C + \text{พลังงาน}$$

$$\text{พลังงาน} + ADP + Pi \Rightarrow ATP$$

เนื่องด้วย PC ที่เก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อมีจำกัด ถ้ามีการใช้ติดต่อกันจะหมดไปในเวลาไม่เกิน 30 วินาที และจะสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที โดยชนิดกีฬาที่จัดอยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้คือ ยกน้ำหนัก วิ่งระยะ 100 เมตร และว่ายน้ำระยะ 50 เมตร เป็นต้น

2. ระบบกรดแลคติก

ระบบกรดแลคติก (Lactic acid system) หรือระบบไกลโคไลติก (Glycolytic system) เป็นระบบพลังงานที่สร้าง ATP จากการสลายกูลโคสหรือไกลโคลเจน โดยที่ไม่มีการใช้ออกซิเจนในกระบวนการสร้างพลังงาน ซึ่งผลผลิตที่ได้ก็คือ ไพรูวิก (Pyruvic) และ ATP โดยพลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในช่วงเวลาสั้น ๆ ดังสมการ

$$\underset{\text{(กลูโคส)}}{C_6H_{12}O_6} + 2ADP + 2Pi \Rightarrow \underset{\text{(ไพรูวิก)}}{2C_3H_4O_3} + 2ATP + \text{พลังงาน}$$

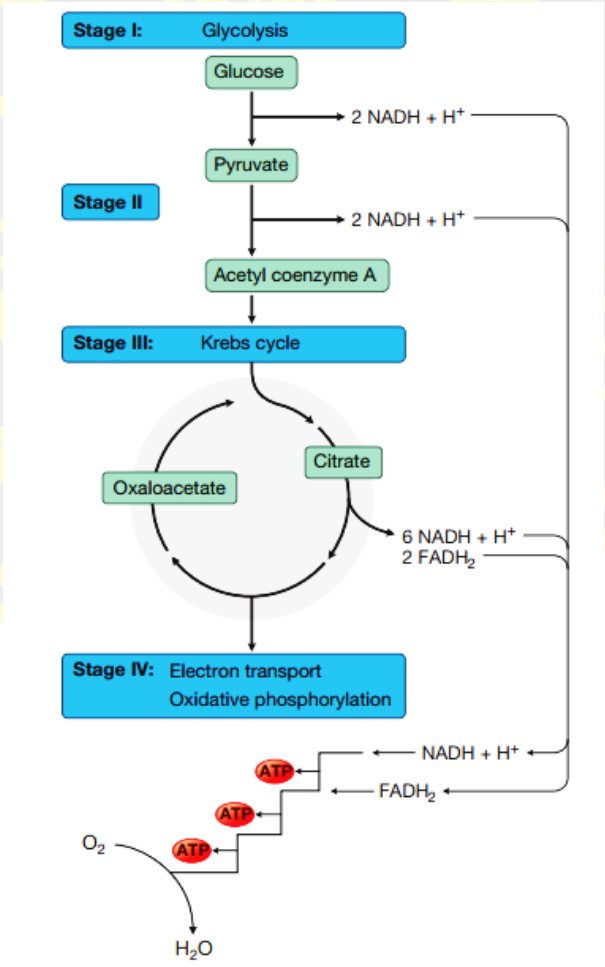
เมื่อกลูโคสได้เปลี่ยนเป็นไพรูวิกและให้พลังงานแล้ว ไพรูวิกนี้ก็จะกลายเป็นแลคติกในทันที เนื่องจากในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการสร้างพลังงานไม่มีออกซิเจนเข้ามารับอิเล็กตรอนไป ซึ่งในกระบวนการนี้ก่อให้เกิดพลังงานและของเสีย (Waste products) คือ กรดแลคติก (Lactic acid) และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) ดังสมการ

$$\underset{\text{(ไพรูวิก)}}{2C_3H_4O_3} \Rightarrow \underset{\text{(แลคติก)}}{H + La + K + HCO_3} \Rightarrow \underset{\text{(คาร์บอนไดออกไซด์)}}{H_2O + CO_2 + K + La}$$

ซึ่งพลังงาน ATP ที่ได้จากระบบพลังงานนี้จะถูกนำไปใช้ในการปฏิบัติทักษะทางกีฬาที่ต้องออกแรงมาก ๆ ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 1-3 นาทีแรกของการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬา โดยชนิดกีฬาที่อยู่จัดในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้คือ ยิมนาสติก วิ่งระยะ 400-800 เมตร และว่ายน้ำระยะ 100-200 เมตร เป็นต้น

3. ระบบแอโรบิก

ระบบแอโรบิก (Aerobic system) หรือระบบออกซิเจน (Oxygen system) เป็นระบบพลังงานที่สร้าง ATP จากการสลายกลูโคสที่ได้มาจากไกลโคลเจน ไขมัน และโปรตีน โดยที่มีการนำออกซิเจนมาใช้ในกระบวนการสร้างพลังงาน ซึ่งผลผลิตที่ได้ก็คือ ATP ที่สามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่องยาวนาน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีที่สำคัญและเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 กลูโคสเปลี่ยนเป็นไพรูวิก ขั้นตอนที่ 2 ไพรูวิกเปลี่ยนเป็น อิซิทิล โคเอนไซม์ เอ ขั้นตอนที่ 3 อิซิทิล โคเอนไซม์ เอ เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ และขั้นตอนที่ 4 การขนส่งอิเล็กตรอน ซึ่งพลังงาน ATP ที่ได้จากระบบพลังงานนี้จะถูกใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมทางกีฬาที่มีความสม่ำเสมอต่อเนื่องและไม่หนักจนเกินไป โดยชนิดกีฬาที่จัดอยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้คือ วิ่งมาราธอน ว่ายน้ำระยะไกล และปั่นจักรยานระยะไกล เป็นต้น



ภาพที่ 2-1 การเกิดปฏิกิริยา 4 ขั้นตอน ในกระบวนการสร้าง ATP ของระบบแอโรบิก (Plowman & Smith, 2017)

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า พลังงาน ATP มีความสำคัญต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ ในขณะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬากล้ามเนื้อจะใช้พลังงาน ATP จากแหล่งพลังงานที่มีอยู่ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบเอทีพี-พีซี ระบบกรดแลคติก และระบบแอโรบิก โดยการใช้พลังงานในการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬาบางชนิดจะมีความต้องการใช้พลังงานทั้ง 3 ระบบ แตกต่างกันขึ้นไปอยู่กับความสอดคล้องของกิจกรรมและความต้องการทางด้านสรีรวิทยาของกีฬานั้น ๆ ซึ่งการกำหนดโปรแกรมการฝึกจะต้องคำนึงถึงรูปแบบการสร้างพลังงานของแต่ละชนิดกีฬา ดังตารางที่ 2-1

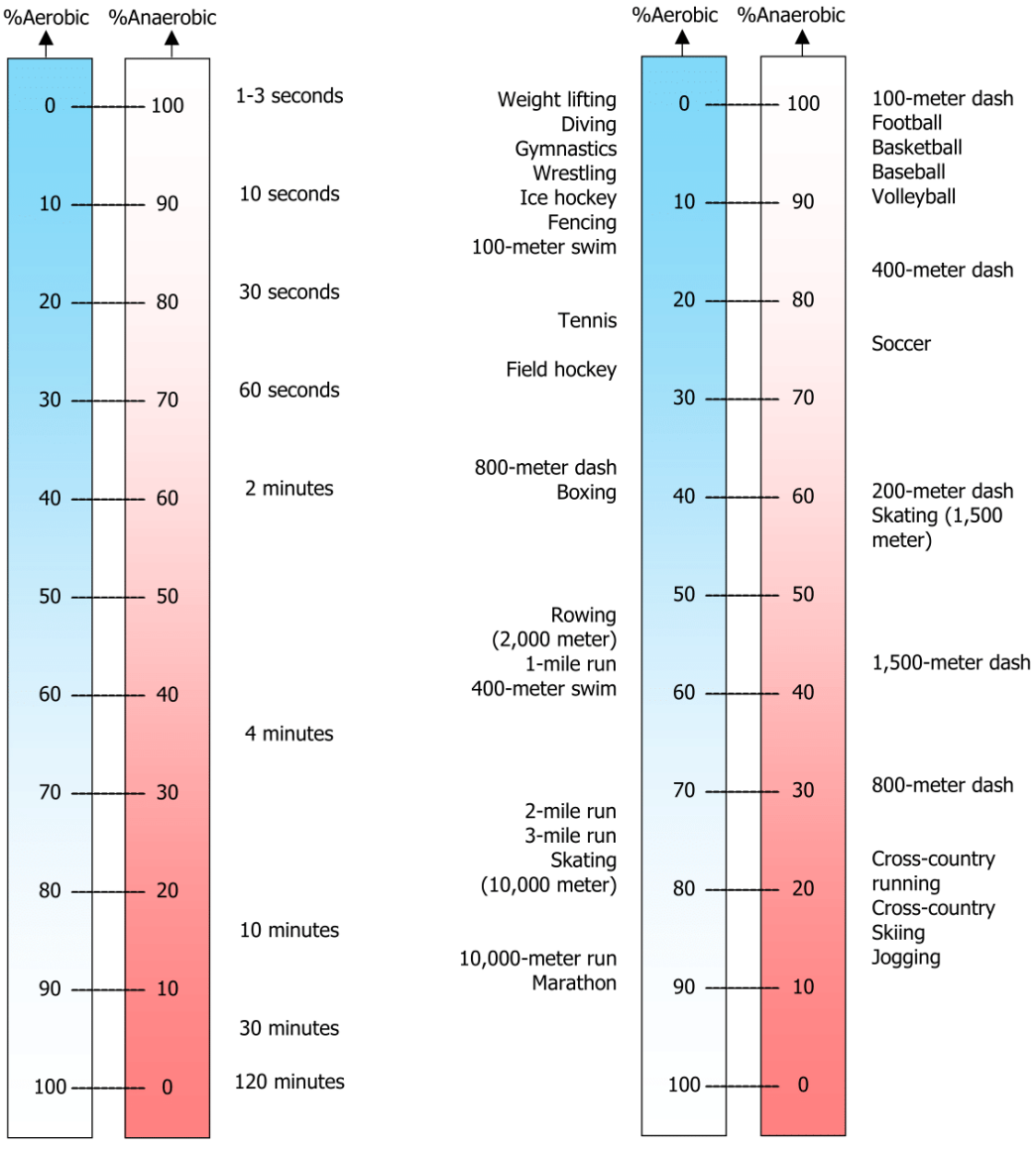
ตารางที่ 2-1 แหล่งพลังงานในการทำงานของกล้ามเนื้อ (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์, 2554)

	ระบบเอทีพี-พีซี	**ระบบกรดแลคติก**	**ระบบแอโรบิก**
1. ชนิดของกระบวนการเมตตาบอลิซึม	ไม่ใช้ออกซิเจน	ใช้ออกซิเจน	ใช้ออกซิเจน
2. ความเร็วของปฏิกิริยา	เร็วมาก	เร็ว	ช้า
3. แหล่งเชื้อเพลิง	Phosphocreatine	Glucose และ Glycogen	Glycogen Fats และ Proteins
4. จำนวน ATP ที่ได้	น้อยมาก	น้อย	มาก
5. ผลผลิตที่ได้	ฟอสเฟต และ ครีเอทีน	กรดแลคติก	คาร์บอนไดออกไซด์ และ น้ำ
6. ระยะเวลา	30 วินาทีแรกของการออกกำลังกาย	1-3 นาทีแรกของการออกกำลังกาย	หลายนาทีจนถึงหลายชั่วโมง
7. กิจกรรมที่ใช้	กิจกรรมที่อาศัยกำลังและความเร็วสูง	กิจกรรมที่ออกแรงมากในระยะเวลาสั้น	กิจกรรมที่ใช้ความอดทนหรือออกแรงน้อย ๆ ในเวลานาน ๆ

จะเห็นได้ว่า กีฬาแต่ละประเภทจะมีความต้องการใช้พลังงานในแต่ละ ๆ ระบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการทางด้านสรีรวิทยาและกิจกรรมที่ใช้ในขณะแข่งขันของกีฬาชนิดนั้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (Powers & Howley, 2018)

1. การเล่นกีฬาที่ใช้พลังงานแอนแอโรบิก ได้แก่ วิ่งระยะสั้น วิ่งระยะกลาง และกีฬาประเภทพุ่ง ทุ่ม ขว้าง เป็นต้น แหล่งพลังงานหลักคือ เอทีพี ฟอสโฟครีเอทีน กลูโคส และไกลโคเจน รองลงมาคือ ไขมัน และโปรตีน โดยการใช้พลังงานรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นในระบบเอทีพี-พีซี และระบบกรดแลคติกเท่านั้น

2. การออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาที่ใช้พลังงานแอโรบิก ได้แก่ วิ่งระยะไกล ว่ายน้ำระยะไกล และไตรกีฬา เป็นต้น แหล่งพลังงานหลักคือ ไกลโคเจน และไขมัน ซึ่งระยะแรกของการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬา พลังงานที่ใช้จะมาจากการสลายไกลโคเจน แต่ในตอนท้ายร่างกายจะใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานหลัก เนื่องจากไกลโคเจนที่เก็บสะสมไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อถูกใช้จนหมดไป โดยการใช้พลังงานรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นในระบบแอโรบิกเท่านั้น



ภาพที่ 2-2 สัดส่วนของพลังงานแอนแอโรบิกและแอโรบิกที่ใช้ในกีฬาประเภทต่าง ๆ (Powers & Howley, 2018)

จากข้อความข้างต้นสรุปได้ว่า ระบบเอทีพี-พีซี ระบบกรดแลคติก และระบบแอโรบิก เป็นระบบพลังงานหลักที่ทำหน้าที่สร้างพลังงานเพื่อให้ร่างกายได้นำไปใช้ในการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬาประเภทต่าง ๆ ซึ่งนักสรีรวิทยาการออกกำลังกายส่วนใหญ่เชื่อว่าการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬาแต่ละประเภทจะอาศัยพลังงานทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิกผสมผสานกัน แต่จะมีอัตราส่วนมากหรือน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความหนักของงานและประเภทของกิจกรรมการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬา โดยเฉพาะกีฬาที่มีการเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่องและปฏิบัติกิจกรรมซ้ำ ๆ ในความหนักของงานระดับสูง ตลอดช่วงการแข่งขันที่ยาวนาน ซึ่งอาจเรียกว่า กีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก (Intermittent sport) เช่น ฟุตซอล ฟุตบอล รักบี้ฟุตบอล บาสเกตบอล ฮอกกี้ และกีฬาแร็กเก็ต ฯลฯ โดยกีฬาเหล่านี้จะมีความต้องการพลังงานทั้งแอนแอโรบิก และแอโรบิก ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ผู้วิจัยนำกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพักเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในศึกษาการวิจัยครั้งนี้

สมรรถภาพทางกาย

นักวิชาการด้านสุขภาพ นักพลศึกษา และนักวิทยาศาสตร์การกีฬาได้ให้ความหมายของสมรรถภาพทางกาย (Physical fitness) ไว้มากมายแตกต่างกันออกไปซึ่งสรุปได้ดังนี้

วรวุฒิ สวัสดิชัย (2551) ให้ความหมายของสมรรถภาพทางกายว่าหมายถึง ความสามารถของบุคคลที่จะประกอบกิจกรรมใด ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นระยะติดต่อกันนาน ๆ โดยไม่แสดงอาการเหน็ดเหนื่อยให้ปรากฏและสามารถฟื้นตัวกลับสู่สภาวะปกติได้ในเวลาอันรวดเร็ว

สนอง แย้มดี (2553) ให้ความหมายของสมรรถภาพทางกายว่าหมายถึง ความสามารถของร่างกายในการทำงานหรือประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ตลอดจนการเล่นกีฬาและการออกกำลังกายได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ได้นาน ๆ โดยไม่เหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้า ยังมีพลังไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน ซึ่งประกอบด้วยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ ความอ่อนตัว ความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ (2554) ให้ความหมายของสมรรถภาพทางกายว่าหมายถึง ความสามารถในการปฏิบัติกิจประจำวันได้อย่างกระฉับกระเฉงและตื่นตัวโดยไม่อ่อนล้า และยังมีพละกำลังเหลือพอ หรือมีพลังงานเพียงพอที่จะทำกิจกรรมในเวลาว่าง และเผชิญกับสถานการณ์ที่คับขัน

สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา (2562) ให้ความหมายของสมรรถภาพทางกายว่าหมายถึง สภาวะของร่างกายที่อยู่ในสภาพที่ดีเพื่อช่วยให้บุคคลสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ บุคคลที่มีสมรรถภาพทางกายดีจะปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันการออกกำลังกาย การเล่นกีฬา และการแก้ไขสถานการณ์ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

จตุรงค์ เหมรา (2561) ให้ความหมายของสมรรถภาพทางกายว่าหมายถึง สภาพร่างกายที่มีสุขภาพที่ดี มีความสมบูรณ์แข็งแรงสามารถปฏิบัติกิจวัตรประจำวันต่าง ๆ ต่อเนื่องกันเป็นเวลานานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่มีอาการเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าจนเกินไป และสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างปกติสุข ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บ และพร้อมที่จะเผชิญต่อปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น

Corbin et al. (2019) ให้ความหมายของสมรรถภาพทางกายว่าหมายถึง ความสามารถของบุคคลในอันที่ประกอบกิจกรรมใด ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นระยะเวลาติดต่อนาน ๆ โดยไม่แสดงอาการเหน็ดเหนื่อยให้ปรากฏและสามารถฟื้นตัวกลับสู่สภาวะปกติได้ในเวลาอันรวดเร็ว

ความสำคัญของสมรรถภาพทางกาย

สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา (2562) ได้กล่าวถึงความสำคัญของสมรรถภาพทางกายไว้ว่า สมรรถภาพทางกายสามารถพัฒนาได้ด้วยการทำให้ร่างกายได้ออกกำลังกายหรือมีการเคลื่อนไหวเท่านั้น สมรรถภาพทางกายเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้และหายไปได้ การที่จะรักษาให้ร่างกายมีคงอยู่เสมอนั้น จำเป็นต้องมีการออกกำลังกายเป็นประจำ เพื่อให้มีสมรรถภาพทางกายที่คงสภาพและเป็นการสร้างเสริมให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วยังเป็นประโยชน์ในด้านการป้องกันโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคที่เกิดจากการขาดการออกกำลังกาย เช่น

1. ลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ
2. เพิ่มพูนประสิทธิภาพของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบหายใจ ระบบการย่อยอาหาร ฯลฯ
3. ทำให้มีรูปร่างและสัดส่วนของร่างกายที่ดี
4. ช่วยควบคุมให้มีน้ำหนักตัวอยู่ในเกณฑ์หรือควบคุมไขมันในร่างกาย
5. ช่วยลดความดันโลหิตสูง
6. ช่วยลดไขมันในเลือด
7. เพิ่มความคล่องตัวและเกิดประสิทธิภาพในการทำงาน

ดังนั้น สมรรถภาพทางกายจึงเป็นสิ่งสำคัญในการช่วยสร้างเสริมให้บุคคลสามารถประกอบภารกิจและดำรงชีวิตอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งทำให้บุคคลปราศจากโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ และมีความแข็งแรง ความอดทน และความคล่องแคล่วว่องไวที่จะประกอบภารกิจประจำวันให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดการพัฒนาทั้งทางด้านจิตใจและอารมณ์ควบคู่กันไปด้วย

ประโยชน์ของสมรรถภาพทางกาย

Corbin et al. (2019) ได้กล่าวถึง ประโยชน์ของการมีสมรรถภาพทางกายที่ดีไว้หลายประการดังนี้

1. ทำให้ร่างกายเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ กล้ามเนื้อต่าง ๆ ของร่างกายเจริญได้ตามสัดส่วนและมีความแข็งแรง ความอดทน สามารถทำงานต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2 ทำให้เป็นผู้ที่มีบุคลิกลักษณะดี สง่าผ่าเผย สามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยความสง่างาม คล่องแคล่ว และกระฉับกระเฉง

3. ทำให้เป็นผู้ที่มีสุขภาพดี ถ้าอยู่ในวัยศึกษาเล่าเรียนจะมีสมาธิในการศึกษาเล่าเรียนได้ดี

4. ทำให้เป็นผู้ที่มีความกระตือรือร้นและมีความเชื่อมั่นในตัวเองสูง

5. สามารถรักษาและควบคุมน้ำหนักตัวได้ดี ซึ่งเป็นผลจากการออกกำลังกายเป็นประจำควบคู่กับการควบคุมอาหารที่รับประทาน

6. ลดความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยและโรคเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรคหลอดเลือดสมองและหัวใจ โรคถุงลมโป่งพอง โรคมะเร็ง โรคความดันโลหิตสูง และโรคอ้วนลงพุง เป็นต้น

7. ทำให้กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายดีด้วย

8. ทำให้เกิดความสนุกสนานเพลิดเพลินกับการใช้เวลาว่าง สามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมีความสุข

9. เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาความสามารถทางกีฬา

10. สามารถจัดการกับระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

11. ป้องกันหรือชะลอภาวการณ์เกิดความดันเลือดสูง

12 สามารถบรรเทาความเครียดหรือรับมือกับความเครียดที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันได้ดี

สรุปได้ว่า การมีสมรรถภาพทางกายที่ดีจะส่งผลดีต่อร่างกาย ทำให้ร่างกายสมบูรณ์แข็งแรง ไม่เป็นโรคอันเนื่องมาจากการขาดการออกกำลังกาย ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายไปกับการรักษา และช่วยลดค่าใช้จ่ายทางการแพทย์แล้วยังสามารถเพิ่มผลผลิตที่สูงขึ้น สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

องค์ประกอบของสมรรถภาพทางกาย

องค์ประกอบของสมรรถภาพทางกาย (Physical fitness component) สามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพ (Health-related physical fitness) และสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะ (Skill-related physical fitness) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2562)

1. สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพ

สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพ หมายถึง สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสุขภาพและเพิ่มความสามารถในการทำงานของร่างกาย ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการลดปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคความดันโลหิตสูง โรคปวดหลังตลอดจนปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดจากการขาดการออกกำลังกาย ซึ่งประกอบด้วย

1.1 ความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด (Cardiovascular endurance) เป็นความสามารถของหัวใจและหลอดเลือดที่จะลำเลียงออกซิเจนและสารอาหารไปยังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการออกแรง ไปยังกล้ามเนื้อขณะทำงาน ให้ทำงานได้เป็นระยะเวลานาน และขณะเดียวกันก็นำสารที่ไม่ต้องการซึ่งเกิดขึ้นภายหลังการทำงานของกล้ามเนื้อออกจากกล้ามเนื้อที่ใช้ในการออกแรง ในการสร้างเสริมหรือพัฒนานั้น จะต้องมีการเคลื่อนไหวร่างกายโดยใช้ระยะเวลาติดต่อกันประมาณ 10-15 นาที ขึ้นไป

1.2 ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะรักษาระดับการใช้แรงปานกลางได้เป็นเวลานาน โดยเป็นการออกแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ หรือหลายครั้งติดต่อกัน ความอดทนของกล้ามเนื้อสามารถเพิ่มได้มากขึ้นโดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการปฏิบัติกิจกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อายุ เพศ ระดับของสมรรถภาพทางกาย และชนิดของการออกกำลังกาย

1.3 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ออกแรงด้วยความพยายามในครั้งหนึ่ง ๆ เพื่อต้านกับแรงต้านทาน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะทำให้เกิดความตึงตัวเพื่อใช้แรงในการยกหรือดึงสิ่งของต่าง ๆ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะช่วยทำให้ร่างกายทรงตัวเป็นรูปร่างขึ้นมาได้ หรือที่เรียกว่า ความแข็งแรง เพื่อรักษาทรวดทรง ซึ่งจะเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่ช่วยให้ร่างกายทรงตัวต้านกับแรงโน้มถ่วงของโลกให้อยู่ได้โดยไม่ล้ม เป็นความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน เช่น การวิ่ง การกระโดด การเขย่ง การกระโจน การกระโดดขาเดียว การกระโดดสลับเท้า เป็นต้น ความแข็งแรงอีกชนิดหนึ่งของกล้ามเนื้อ เรียกว่า ความแข็งแรงเพื่อเคลื่อนไหวในมุมต่าง ๆ ได้แก่ การเคลื่อนไหวแขนและขาในมุมต่าง ๆ เพื่อเล่นเกมกีฬา การออกกำลังกาย หรือการเคลื่อนไหวในชีวิตประจำวัน เป็นต้น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในการเกร็ง เป็นความสามารถของร่างกายหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายในการต้านทานแรงที่มากระทำจากภายนอกโดยไม่ล้มหรือสูญเสียการทรงตัวไป

1.4 ความอ่อนตัว (Flexibility) เป็นความสามารถของข้อต่อต่าง ๆ ของร่างกายที่เคลื่อนไหวได้เต็มช่วงของการเคลื่อนไหว การพัฒนาทางด้านความอ่อนตัวทำได้โดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อและเอ็น หรือการใช้แรงต้านทานในกล้ามเนื้อและเอ็นต้องทำงานมากขึ้น การยืดเหยียดของกล้ามเนื้อทำได้ทั้งแบบอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนที่ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดควรใช้การเหยียดของกล้ามเนื้อในลักษณะอยู่กับที่ เช่น อวัยวะส่วนแขนและขา หรือลำตัวจะต้องเหยียดจนกว่ากล้ามเนื้อจะรู้สึกตึงและจะต้องอยู่ในท่าเหยียดกล้ามเนื้อในลักษณะนี้ประมาณ 10-15 วินาที

1.5 องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) หมายถึง ส่วนต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นน้ำหนักของร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นไขมัน (Fat mass) และส่วนที่ปราศจากไขมัน (Fat-free mass) เช่น กระดูก กล้ามเนื้อ และแร่ธาตุต่าง ๆ ในร่างกาย โดยทั่วไป

องค์ประกอบของร่างกายจะเป็นดัชนีประมาณค่าที่ทำให้ทราบถึงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่เป็นส่วนของไขมันที่มีอยู่ในร่างกาย ซึ่งอาจจะหาคำตอบที่เป็นสัดส่วนกันได้ระหว่างไขมันในร่างกายกับน้ำหนักของส่วนอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบ เช่น ส่วนของกระดูก กล้ามเนื้อ และอวัยวะต่าง ๆ การรักษาองค์ประกอบในร่างกายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมจะช่วยทำให้ลดโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคอ้วน ซึ่งโรคอ้วนนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการเป็นโรคที่เสี่ยงต่ออันตรายต่อไปอีกมากมาย เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจตีบ หัวใจวาย และเบาหวาน เป็นต้น

2. สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะ

สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะ หมายถึง สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องในการสนับสนุนให้เกิดระดับความสามารถและทักษะในการแสดงออกของการเคลื่อนไหว และการเล่นกีฬาที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งนอกจากจะประกอบด้วยสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพแล้วยังประกอบด้วยสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะในด้านต่อไปนี้

2.1 ความเร็ว (Speed) หมายถึง หมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนไหวไปสู่เป้าหมายที่ต้องการโดยใช้ระยะเวลาอันสั้นที่สุด ซึ่งกล้ามเนื้อจะต้องออกแรงหดตัวด้วยความเร็วสูงสุด

2.2 กำลังของกล้ามเนื้อ (Muscle power) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำงานโดยการออกแรงสูงสุด ในช่วงเวลาที่สั้นที่สุด ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความเร็วเป็นองค์ประกอบหลัก

2.3 ความคล่องแคล่วว่องไว (Agility) หมายถึง ความสามารถในการเปลี่ยนทิศทางและตำแหน่งของร่างกายในขณะเคลื่อนไหวโดยใช้ความเร็วได้อย่างเต็มที่ จัดเป็นสมรรถภาพทางกายที่จำเป็น เพื่อนำไปสู่การเคลื่อนไหวสำหรับทักษะในการเล่นกีฬาประเภทต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพ

2.4 การทรงตัว (Balance) หมายถึง ความสามารถในการควบคุมรักษาตำแหน่งและท่าทางของร่างกายให้อยู่ในลักษณะตามที่ต้องการได้ ทั้งขณะที่อยู่กับที่หรือในขณะที่มีการเคลื่อนที่

2.5 เวลาปฏิกิริยาตอบสนอง (Reaction time) หมายถึง ระยะเวลาที่เร็วที่สุดที่ร่างกายเริ่มมีการตอบสนองหลังจากที่ได้รับการกระตุ้น ซึ่งเป็นความสามารถของระบบประสาทเมื่อรับรู้การถูกกระตุ้นจะสั่งการให้อวัยวะที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวให้ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว

2.6 การทำงานที่ประสานกัน (Coordination) หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อในการปฏิบัติกิจกรรมทางกลไกที่สลับซับซ้อนในเวลาเดียวกันได้อย่างราบรื่นและแม่นยำ

สมรรถภาพทางกายในกีฬา

สมรรถภาพทางกายในกีฬา (Physical fitness in sport) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยสนับสนุนให้เกิดการปฏิบัติทักษะกีฬาขั้นสูงและทักษะการเคลื่อนไหวที่มีความซับซ้อนในกีฬาแต่ละชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Martens, 2012) โดยสมรรถภาพทางกายดังกล่าวนี้เป็นความสามารถ

ทางกลไกการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Biomotor ability) ซึ่งประกอบด้วยสมรรถภาพที่สำคัญ 5 ด้าน ดังนี้ เจริญ กระบวนรัตน์ (2561)

1. ความแข็งแรง (Strength) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อที่พยายามจะออกแรงให้ได้มากที่สุดเพื่อเอาชนะแรงต้านทาน ซึ่งความแข็งแรงสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.1 ความแข็งแรงสูงสุด (Maximum strength) คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อในการหดตัวแต่ละครั้งได้แรงมากที่สุด

1.2 ความแข็งแรงยืดหยุ่นหรือกำลัง (Elastic strength/Power) คือ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่สามารถออกแรงเคลือนไหวกระทำกับแรงต้านได้อย่างรวดเร็วคล้ายคุณสมบัติการยืดหยุ่นของยางหรือสปริง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กำลังกล้ามเนื้อ (Muscular power) คือ ความสามารถในการใช้แรงจากการหดตัวของกล้ามเนื้อได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการทำงานผสมผสานกันระหว่างความสามารถในการยืดตัวและหดตัวของกล้ามเนื้อให้ได้แรงมากที่สุดในช่วงระยะเวลาที่จำกัดหรือในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

1.3 ความแข็งแรงอดทน (Strength endurance) ความสามารถของกล้ามเนื้อในการออกแรงเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอในสภาวะที่มีความเมื่อยล้าเพิ่มขึ้น

2. ความอดทน (Endurance) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อในการออกแรงเกือบสูงสุด (Submaximal force) เพื่อเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่อง หรือสามารถปฏิบัติงานซ้ำ ๆ ติดต่อกันได้เป็นเวลายาวนาน ซึ่งความอดทนแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

2.1 ความอดทนแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic endurance) คือ การทำงานของกล้ามเนื้อหรือการเคลื่อนไหวร่างกายที่ใช้ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของการผลิตพลังงานเพื่อให้กล้ามเนื้อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเคลื่อนไหวได้เป็นเวลานาน

2.2 ความอดทนแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic endurance) คือ การทำงานที่กล้ามเนื้อไม่ใช้ออกซิเจนเป็นพลังงานในการเคลื่อนไหว แต่อาศัยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นหลักในการเคลื่อนไหวและเก็บสะสมพลังงาน

3. ความเร็ว (Speed) หมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนไหวร่างกายหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาสั้นที่สุด ซึ่งก็คือ ระยะทางที่เคลื่อนไหวหารด้วยเวลาเป็นอัตราของความเร็ว

4. ความอ่อนตัว (Flexibility) หมายถึง ความสามารถในการทำงานหรือการเคลื่อนไหวของข้อต่อในทุกอิริยาบถจนกระทั่งสิ้นสุดระยะการเคลื่อนไหว ด้วยระยะทางหรือมุมการเคลื่อนไหวที่สามารถกระทำได้

5. การประสานงานการเคลื่อนไหว (Coordination) หมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนไหวที่มีการใช้ร่างกายหลายส่วนประกอบกัน เพื่อให้เกิดผลตามเป้าหมายหรือทักษะตามที่ต้องการ ด้วยการเคลื่อนไหวร่างกายแต่ละส่วนให้เป็นไปตามจังหวะ หรือลำดับขั้นตอนของการเคลื่อนไหวในแต่ละทักษะอย่างสัมพันธ์กัน

จากข้อความดังกล่าวสรุปได้ว่า สมรรถภาพทางกายเป็นความสามารถของร่างกายในการทำงานหรือกิจกรรมต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ซึ่งการทราบถึงความหมายและเข้าใจความสำคัญของสมรรถภาพทางกายในองค์ประกอบด้านต่าง ๆ จะช่วยให้ผู้ฝึกสอนกีฬาสามารถวิเคราะห์และพิจารณาเลือกแบบทดสอบได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสอดคล้องกับกีฬาแต่ละชนิด ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำไปใช้ในการวางแผนและกำหนดโปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาสมรรถภาพสำหรับนักกีฬาได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับความต้องการของกีฬาชนิดนั้น ๆ

สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก

สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก (Anaerobic performance) เป็นความสามารถสูงสุดในการทำงานของกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาที่ใช้ระดับความหนักสูงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ โดยสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกนี้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการผลิต ATP ของระบบเอทีพี-พีซี และระบบกรดแลคติกเป็นหลัก (Martens, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับ Powers and Howley (2018) ที่กล่าวว่า การออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาที่มีระดับความหนักสูงในช่วง 3-5 วินาที กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวทำงานโดยใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยเริ่มจากการใช้ ATP และ PC จากระบบเอทีที-พีซี ก่อนเป็นอันดับแรก เพราะเป็นระบบที่ให้พลังงานทันที (Immediate energy) แต่ด้วย PC ที่เก็บสะสมในกล้ามเนื้อมีจำกัด ถ้ามีการใช้ติดต่อกันจะหมดไป จึงทำให้ระบบพลังงานนี้สนับสนุนการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาที่ใช้ความหนักสูงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 3-15 วินาที และหากยังคงมีการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาต่อไป ร่างกายจะใช้พลังงานที่สร้างจากระบบกรดแลคติก ซึ่งเป็นระบบพลังงาน ATP ถูกสร้างขึ้นมาจากการนำไกลโคเจนที่เก็บสะสมไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อมาเปลี่ยนแปลงให้เป็นกลูโคส โดยกลูโคสนี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้าง ATP ที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน ซึ่งระบบกรดแลคติกนี้จะผลิตพลังงานได้ช้ากว่าระบบเอทีพี-พีซี แต่จะให้พลังงานได้มากกว่าและใช้ได้ยาวนานกว่า จึงทำให้ระบบพลังงานนี้สนับสนุนการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาที่ใช้ความหนักสูงอย่างต่อเนื่องได้ประมาณ 1-3 นาที ในขณะเดียวกันผลที่ได้จากการสังเคราะห์พลังงานในระบบนี้จะก่อให้เกิดการสะสมกรดแลคติกจำนวนมากในเลือดและในเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งกรดแลคติกที่เกิดขึ้นนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้าและทำให้ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง เช่นเดียวกับวิรัตน์ สนธิ์จันทร์ (2555) ที่กล่าวว่า จากรายงานการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์การกีฬาเกี่ยวกับการใช้พลังงานของกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา พบว่า กล้ามเนื้อจะใช้พลังงานอยู่ 2 แบบ คือ พลังงานที่ได้จากฟอสเฟตในกล้ามเนื้อและการแตกตัว

ของไกลโคเจน เรียกว่า พลังงานแอนแอโรบิก และพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน เรียกว่า พลังงานแอโรบิก ซึ่งการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาอย่างหนัก รวดเร็ว และรุนแรง จะมีการใช้พลังงานแอนแอโรบิก (ประมาณ 1-3 นาที) เป็นหลัก แต่การออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาที่ต่อเนื่องกันเป็นเวลานานและมีความหนักปานกลางจะมีการใช้พลังงานแอโรบิก (ประมาณ 10 นาทีขึ้นไป) สอดคล้องกับวรเชษฐ์ จันติยะ (2561) ที่กล่าวว่า สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกเป็นความสามารถในการทำงานของร่างกายโดยปราศจากการใช้ออกซิเจน ซึ่งมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกีฬาหลายชนิดที่แสดงทักษะความสามารถของร่างกายในรูปแบบกิจกรรมที่ต้องใช้ความเร็วสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในระยะเวลาที่สั้นที่สุด เช่น กีฬาประเภทที่ต้องใช้ความสามารถสูงสุดในการทุ่ม พุ่ง ขว้าง ตบ ตี ต่อย เตะ การเร่งความเร็วในการวิ่ง การกระโดด และการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนไหวด้วยเวลาที่น้อยที่สุด ซึ่งการทำงานของกล้ามเนื้อในลักษณะนี้ล้วนเป็นความสามารถของร่างกายที่แสดงถึงสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกทั้งสิ้น

จากข้อมูลที่ปรากฏสรุปได้ว่า สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกเป็นความสามารถในการทำงานของร่างกายโดยไม่ใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงาน ซึ่งสมรรถภาพด้านนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในกีฬาหลายชนิดที่มีรูปแบบของกิจกรรมที่ต้องใช้พลังสูงสุดในระยะเวลาที่สั้นที่สุด เช่น การทุ่ม การพุ่ง การขว้าง การเร่งความเร็ว การกระโดด และการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนไหว เป็นต้น

การทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก

การทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกเป็นการประเมินความสามารถในการสังเคราะห์พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะขบวนการเมตาบอลิซึมในกล้ามเนื้อ (วิรัตน์ สนธิ์จันทร์, 2555) ในปัจจุบันการทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกมีอยู่หลายวิธี ซึ่งในการเลือกแบบทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับประเภทกีฬานั้น ๆ สอดคล้องกับ MacDougall and Sale (2014) ที่กล่าวว่า การประเมินสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการสังเคราะห์พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนของนักกีฬา โดยสามารถจำแนกการทดสอบออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้ 1) การทดสอบระยะสั้น ใช้เวลาไม่เกิน 10 วินาที 2) การทดสอบระยะกลาง ใช้เวลา 10-30 วินาที และ 3) การทดสอบระยะยาว ใช้เวลา 30-90 วินาที ดังนั้น การเลือกใช้แบบทดสอบควรพิจารณาให้มีความสอดคล้องกับชนิดกีฬานั้น ๆ ซึ่งการประเมินสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกนั้นจะมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้ (Inbar, Bar-Or, & Skinner, 1996)

1. พลังสูงสุดแอนแอโรบิก (Anaerobic power) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการที่จะปล่อยพลังงานสูงสุดในช่วงเวลาสั้นที่สุด โดยอาศัยพลังงานจากระบบเอทีพีเป็นหลัก โดยค่าที่ได้จากการประเมินนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณงานสูงสุดที่ทำได้ ซึ่งเรียกว่า พลังสูงสุดที่ทำได้ (Peak power output) มีหน่วยเป็น วัตต์ (watts)

2. ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่ทนต่อการทำงานในสภาวะที่กล้ามเนื้อได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอได้อย่างต่อเนื่องโดยอาศัยพลังงานจากการทำงานรวมกันของระบบฟอสฟาเจนและระบบกรดแลคติกเป็นหลักโดยค่าที่ได้จากการประเมินนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณงานที่ทำได้ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบ ซึ่งเรียกว่า พลังเฉลี่ยที่ทำได้ (Mean power output) มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อวินาที (watts/sec)

3. ดัชนีความเหนื่อยล้า (Fatigue index) เป็นตัวที่บ่งบอกถึงความล้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำงานหนักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งถ้าดัชนีความเหนื่อยล้ามีค่ามาก แสดงว่ากล้ามเนื้อมีความล้าระดับสูงและความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับต่ำ ในทางกลับกันถ้าดัชนีความเหนื่อยล้ามีค่าน้อย แสดงว่ากล้ามเนื้อมีความล้าระดับต่ำและมีความอดทนต่อกรดแลคติกในระดับสูง มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อวินาที (watts/sec)

การทดสอบพลังสูงสุดแอนแอโรบิกและสมรรถนะในการยืนระยะแอนแอโรบิกเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกีฬาที่มีการใช้พลังงานจากระบบเอทีพี-พีซี เช่น วิ่งระยะ 100 เมตร ยกน้ำหนักกระโดดสูง และว่ายน้ำระยะ 50 เมตร และกีฬาที่มีการใช้พลังงานจากระบบกรดแลคติก เช่น วิ่งระยะ 400-800 เมตร ยิมนาสติก และว่ายน้ำระยะ 100-200 เมตร เป็นต้น (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์, 2554) ซึ่งสอดคล้องกับ Gibson, Wagner, and Heyward (2019) ได้กล่าวว่า การทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกสามารถทำการได้ทั้งในห้องปฏิบัติการ (Laboratory test) และภาคสนาม (Field test) โดยผลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้จะให้ผลที่แม่นยำน่าเชื่อถือ เช่น การทดสอบเทรดมิลล์แอนแอโรบิก (Treadmill anaerobic test) และการทดสอบวินเกตแอนแอโรบิก (Wingate anaerobic test) เป็นต้น ส่วนการทดสอบภาคสนามนั้นเป็นการทดสอบที่มีจุดเด่นคือ ประหยัดค่าใช้จ่าย อุปกรณ์ในการทดสอบน้อย กระบวนการทดสอบไม่ยุ่งยาก มีความเที่ยงตรงใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และสามารถทดสอบนักกีฬากลุ่มใหญ่ได้พร้อมกัน เช่น การทดสอบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ (The running-based anaerobic sprint test) และการทดสอบวิ่งเร็วระยะ 40 หลา จำนวน 4 เที่ยว (Four 40 yard sprint test) เป็นต้น สอดคล้องกับ Dardouri et al. (2014) ที่กล่าวว่า การทดสอบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์เป็นแบบทดสอบที่ต้องวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ (Repeated sprint ability) ซึ่งรูปแบบการทดสอบนี้จะมีความสอดคล้องกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวในกีฬาประเภททีม เช่น บาสเกตบอล ฟุตบอล และฟุตซอล เป็นต้น ที่ต้องเคลื่อนไหวด้วยการวิ่งเร็วซ้ำ ๆ กันหลายเที่ยว และมีช่วงเวลาพักสั้น ๆ (Chaouachi et al., 2010; da Silva, Guglielmo, & Bishop, 2010; Dupont, McCall, Prieur, Millet, & Berthoin, 2010)

Luebbers (2001) กล่าวว่า การทดสอบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Draper และ Whyte ในปี ค.ศ. 1997 ณ มหาวิทยาลัยวูฟส์แฮมตัน ประเทศอังกฤษ เพื่อทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกในนักกีฬา ซึ่งการทดสอบนี้จะมีความคล้ายคลึงกับการทดสอบวินเกตแอนแอโรบิกที่สามารถหาพลังสูงสุดแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้าได้เช่นเดียวกัน โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดที่ระยะทาง 35 เมตร จำนวน 6 เที่ยว ในแต่ละเที่ยวจะมีเวลาพัก 10 วินาที ซึ่งจะนำผลที่ได้จากการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดในแต่ละเที่ยวไปคำนวณเพื่อหาพลังงานสูงสุดแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้า ดังนี้

1. พลังสูงสุดแอนแอโรบิก หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

พลังสูงสุดแอนแอโรบิก (วัตต์) = น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) x ระยะทาง^2 (เมตร) ÷ เวลา^3 (วินาที)

2. ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก (วัตต์) = ผลรวมของพลังที่ทำได้ทั้งหมด ÷ 6 เที่ยว

3. ดัชนีความเหนื่อยล้า หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

ดัชนีความเหนื่อยล้า (วัตต์/วินาที) = [(พลังสูงสุด - พลังต่ำสุด) ÷ ผลรวมของเวลาในการวิ่งทั้งหมด 6 เที่ยว]

จากรายงานการศึกของ Zacharogiannis, Paradisis, and Tziortzis (2004) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบวินเกตแอนแอโรบิกกับการทดสอบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ พบว่า พลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก จากการทดสอบทั้ง 2 วิธี มีความสัมพันธ์ระดับสูง โดยมีค่า r เท่ากับ .82 และ .75 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Adamczyk (2011) และ Abbasian, Golzar, Onvani, and Sargazi (2012) ที่พบว่า การทดสอบวินเกตแอนแอโรบิก และการทดสอบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ดังนั้น การทดสอบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ สามารถนำไปใช้ในการทดสอบเพื่อหาตัวแปรที่บ่งชี้ถึงสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก ได้แก่ พลังสูงสุดแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้าได้เช่นเดียวกัน

จากข้อมูลที่ปรากฏสรุปได้ว่า การทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกเป็นการประเมินความสามารถในการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพลังงานที่ใช้ในการหดตัวทำงานของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อ ซึ่งผลที่ได้จากการประเมินนี้จะช่วยให้นักกีฬา ผู้ฝึกสอน รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการฝึกซ้อมนักกีฬา ได้ทราบถึงจุดเด่นและจุดด้อยของนักกีฬา และจะเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปใช้ในการวางแผนและกำหนดโปรแกรมการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกของนักกีฬาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ประกอบกับข้อดีของการทดสอบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ ซึ่งเป็นการทดสอบภาคสนามที่ใช้อุปกรณ์น้อย วิธีการทดสอบไม่ยุ่งยาก มีความเที่ยงตรงใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ประหยัดค่าใช้จ่าย จึงทำให้ผู้วิจัยนำการทดสอบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สมรรถภาพด้านแอโรบิก

สมรรถภาพด้านแอโรบิก (Aerobic performance) เป็นความสามารถในการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจ ในการทำหน้าที่ขนส่งและลำเลียงออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อใช้ในการสร้างพลังงานสำหรับการทำกิจกรรม (Martens, 2012) ซึ่งในขณะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาหากมีออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการแล้วจะทำให้มีการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาได้อย่างต่อเนื่องและยาวนานโดยปราศจากความล้าได้ ซึ่งการที่ร่างกายมีสมรรถภาพด้านแอโรบิกอยู่ในระดับสูงแสดงถึงการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด ระบบหายใจและระบบกล้ามเนื้อ (Hoffman, 2014) ซึ่ง Australian Institute of Sport (2013) ได้นำเสนอว่าสมรรถภาพด้านแอโรบิกสามารถประเมินได้จากตัวแปรทางสรีรวิทยา ดังนี้ 1) ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen uptake: VO_2max) 2) จุดเริ่มล้า (Anaerobic threshold: AT) และ 3) ประสิทธิภาพของการวิ่ง (Running economy: RE)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

คณาจารย์ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล (2548) ได้กล่าวว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption: VO_2max) หมายถึง ปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ไปในเวลา 1 นาที ซึ่งจะเกิดขึ้นในภาวะที่ร่างกายมีการออกกำลังกายจนถึงจุดที่มีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด หมายความว่า

1. กล้ามเนื้อหัวใจทำหน้าที่บีบตัวด้วยแรงสูงสุดและอัตราการเต้นสูงสุด (Maximal contraction and rate) แล้วไม่สามารถเพิ่มการบีบตัวและการเต้นได้อีก

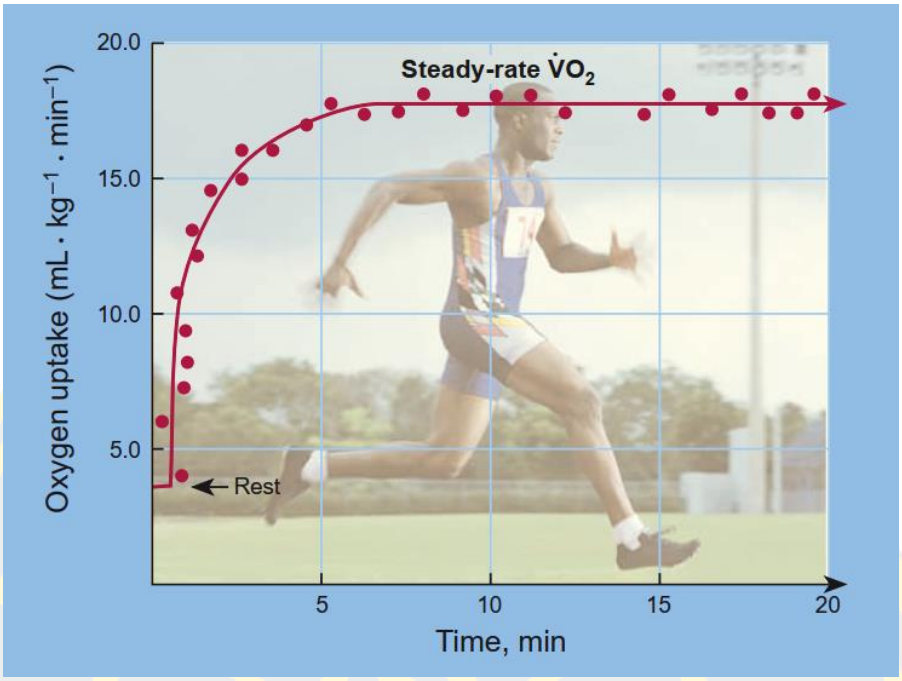
2. อัตราการหายใจและการขยายตัวของปอดถึงจุดสูงสุด ถุงลมทุกถุงเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซด้วยอัตราที่สูงสุดแล้ว (Maximal gas exchange)

3. เม็ดเลือดแดงทุกเม็ดมีโมเลกุลของออกซิเจนมาเกาะอยู่อย่างเต็มที่ครบหมดแล้ว

4. เซลล์กล้ามเนื้อทุกเซลล์สามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้อย่างเต็มที่แล้ว

จึงอาจกล่าวได้ว่า เมื่อใดก็ตามที่มีการออกกำลังกายจนเกิดภาวะทั้ง 4 ประการข้างต้น แสดงว่า ตัวแปรทางสรีรวิทยาเหล่านี้ไม่สามารถให้ออกซิเจนเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของร่างกายได้มากกว่านี้อีกแล้ว ด้วยเหตุนี้ ค่า VO_2max นี้ จึงเป็นดัชนีหลักที่บ่งชี้ถึงขีดสูงสุดที่ร่างกายสามารถสร้างพลังงานแอโรบิก และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดนี้สามารถเรียกได้หลายชื่อ เช่น Maximal oxygen consumption, Aerobic capacity และ Aerobic power (Martens, 2012; Powers & Howley, 2018) ซึ่งสอดคล้องกับ McArdle et al. (2016) ที่กล่าวว่า VO_2max เป็นความสามารถของร่างกายในการขนส่งลำเลียงออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อใช้สร้างพลังงานในปริมาณมากที่สุดต่อนาที และค่า VO_2max นี้ จะเกิดขึ้นจากการทำงานประสานกันของหัวใจ หลอดเลือด และปอด ดังนั้น VO_2max จึงเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้ในการถึงความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจของแต่ละคน ค่า VO_2max สามารถวัดออกมาได้ทั้งหน่วยที่เป็นค่าสมบูรณ์ (Absolute) คือ ลิตร/นาที (l/min) หรือมิลลิลิตร/นาที (ml/min) และหน่วยที่เป็นค่าสัมพันธ์กับน้ำหนักตัว (Relative) คือ มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min) เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนระหว่างบุคคลหน่วยที่ใช้วัดคือ หน่วยที่สัมพันธ์กับน้ำหนักตัว เพราะปริมาณการใช้ออกซิเจนจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของร่างกาย นอกจากนี้ ค่า VO_2max จะแตกต่างกันไปตามสถานะ ได้แก่ อายุ เพศ ขนาดของรูปร่าง และสมรรถภาพทางกาย โดยเพศหญิงจะมีค่าสูงสุดในช่วงอายุ 20-25 ปี และเพศชายจะมีค่าสูงสุดในช่วงอายุ 25-30 ปี จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง

Powers and Howley (2018) กล่าวว่า ขณะพักร่างกายจะมีการใช้ออกซิเจนประมาณ 200-300 มิลลิลิตร/นาที หรือ 3.5 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที แต่ในขณะออกกำลังกายพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไปจะเพิ่มขึ้นมากกว่าขณะพัก 10-20 เท่า ซึ่งปริมาณการใช้ออกซิเจนจะแปรผันตามความหนักของงาน โดยจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วง 2-3 นาทีแรกของการออกกำลังกาย จากนั้นถ้าความหนักของการออกกำลังกายไม่มีการเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนเข้าสู่ภาวะคงที่ (Steady state oxygen uptake) ซึ่งเป็นภาวะที่ปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายที่มีความสมดุลกับปริมาณออกซิเจนที่เซลล์ต้องการใช้ จึงทำให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนมีค่าคงที่ และทำให้ตัวแปรทางสรีรวิทยาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ และปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output: Q) มีค่าคงที่ตามไปด้วย ผู้ที่มีการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอหรือนักกีฬาจะเข้าสู่ภาวะคงที่ในการใช้ออกซิเจนได้เร็วกว่าผู้ที่ขาดการออกกำลังกาย ดังนั้น ปริมาณการใช้ออกซิเจน ณ ระดับความหนักดังกล่าวนี้ จะถือว่าเป็นปริมาณการใช้ออกซิเจนที่มากที่สุดของร่างกายที่สามารถนำไปให้เซลล์ใช้งาน ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่มีความสมดุลกับความต้องการใช้ในขณะออกกำลังกาย (McArdle et al., 2016)

Skattebo, López Calbet, Rud, Capelli, and Hallén (2020) กล่าวว่า ปัจจัยสำคัญทางสรีรวิทยาที่มีผลต่อความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในขณะออกกำลังกายหรือแข่งขันกีฬาจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความสามารถในการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด 2) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของระบบหายใจ และ 3) ความสามารถในการรับออกซิเจนของเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจสูงสุดใน 1 นาที (Maximal cardiac output: Qmax) และความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในเลือดแดงและเลือดดำ (Arterial to mixed venous oxygen difference: a-VO_2 difference) ตามหลักของ Fick's principle ดังสมการต่อไปนี้

$$VO_2max = Qmax \times a\text{-}VO_2 \text{ difference}$$

ซึ่งปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจสูงสุดใน 1 นาที มีหน่วยวัดเป็น ลิตร/นาที หรือ มิลลิลิตร/นาที และสามารถหาได้จากผลคูณระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate: HR) และปริมาตรเลือดที่หัวใจสูบฉีดในแต่ละครั้ง (Stroke volume: SV) ส่วนความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนที่อยู่

ในเลือดแดงและเลือดดำนั้นจะเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของเซลล์ในการนำออกซิเจนไปใช้ ดังนั้น อัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake: VO_2) ของร่างกายที่เพิ่มขึ้นในขณะออกกำลังกายหรือแข่งขันกีฬาจึงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที ส่วนความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในเลือดแดงและเลือดดำจะมีค่าคงที่

การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) เป็นหนึ่งในตัวแปรทางสรีรวิทยาที่ได้รับการยอมรับและนิยมนำไปใช้ในการประเมินสมรรถภาพด้านแอโรบิกในนักกีฬา โดยวิธีการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดนั้น มี 2 วิธี คือ วิธีตรวจวัดทางตรง (Direct measurement method) และวิธีตรวจวัดทางอ้อม (Indirect measurement method) ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้ (Gibson et al. 2019)

1. วิธีตรวจวัดทางตรง

การทดสอบเพื่อหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีตรวจวัดทางตรงจะเป็นการทดสอบที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถวัดค่า VO_2max ได้แม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด และที่เรียกว่าวิธีตรวจวัดทางตรงนั้น เนื่องจากเป็นการหาค่า VO_2max ที่ทำในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) ซึ่งจะคำนวณการแลกเปลี่ยนระหว่างก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจข้า-ออกแต่ละนาที โดยใช้อุปกรณ์ที่สามารถวัดงานในการทดสอบได้ เช่น ลู่วิ่งกล จักรยานวัดงาน และม้าก้าวขึ้น-ลง เป็นต้น ซึ่งอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นที่บริเวณถุงลมปอดโดยที่ความแตกต่างระหว่างก๊าซนั้นจะบอกได้ถึงปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ถูกใช้ไปและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างพลังงาน ซึ่งการทดสอบเพื่อหาค่า VO_2max ด้วยวิธีตรวจวัดทางตรง ผู้ที่เข้ารับการทดสอบต้องออกกำลังกายเต็มที่จนไม่สามารถปฏิบัติต่อไปได้ จึงจะวัดค่า VO_2max ออกมาได้ และในการทดสอบจะใช้วิธีการเพิ่มระดับความหนักของงานขึ้นตามลำดับขั้น (Grade exercise test) มี 2 วิธี คือ การเพิ่มระดับความหนักของงานแบบขั้นบันได (Incremental protocol) ที่ต้องใช้เวลา 2-3 นาที ในการเพิ่มระดับความหนักของงานขึ้นในแต่ละขั้น และการเพิ่มระดับความหนักของงานแบบเส้นตรง (Ramp protocol) ซึ่งจะมีการเพิ่มระดับความหนักของงานขึ้นทุก ๆ นาที ในการเลือกวิธีการทดสอบว่าจะใช้วิธีการใดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพร่างกายของผู้ที่เข้ารับการทดสอบเป็นหลัก ถ้าเป็นนักกีฬาหรือบุคคลที่มีร่างกายแข็งแรงจะใช้วิธีการใดก็ได้ในการทดสอบ แต่สำหรับบุคคลทั่วไปควรใช้วิธีการทดสอบที่มีการเพิ่มระดับความหนักของงานแบบขั้นบันได เพื่อให้ระบบการทำงานของร่างกายที่เกี่ยวข้องได้มีเวลาในการปรับตัวเมื่อมีการเพิ่มระดับความหนักของงานขึ้นในแต่ละขั้นของการทดสอบ ซึ่งค่า VO_2max ที่วัดได้จากการทดสอบทั้ง 2 วิธี มักจะมีค่าไม่ต่างกัน อย่างไรก็ตาม American College of Sports Medicine (2018) ได้กล่าวว่าค่า VO_2max ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดทางตรงอาจจะไม่ใช่ค่าที่แท้จริงเสมอไปก็เป็นได้ เช่น

ผู้ที่เข้ารับการทดสอบได้หยุดทำการทดสอบ เนื่องจากเกิดการปวดเมื่อยขึ้นบริเวณต้นขาทั้งที่ระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจยังทำงานได้เป็นอย่างดีและสามารถทำการทดสอบต่อไปได้อยู่ จึงทำให้การทดสอบนี้ไม่สามารถไปถึงระดับความสามารถสูงสุดได้ ดังนั้น ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่วัดได้จึงไม่ใช้ค่า VO_2max ที่แท้จริง ซึ่งเกณฑ์ที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าในการทดสอบจะได้ค่า VO_2max ที่แท้จริงหรือไม่นั้น มีดังต่อไปนี้

1.1 ปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake) อยู่ในระดับคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 150 มิลลิลิตร/นาที หรือ 2 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ถึงแม้จะมีการเพิ่มระดับความหนักของงานให้มากขึ้นก็ตาม

1.2 ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติก (Lactic acid) ในเลือดภายหลังจากการทดสอบสิ้นสุดลง 4-5 นาที จะมีค่ามากกว่า 8 มิลลิโมล/ลิตร

1.3 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ถึงระดับความหนักร้อยละ 90 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จาก 220 - อายุ

1.4 อัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (Respiratory exchange ratio: RER) มีค่ามากกว่า 1.15

1.5 ระดับการรับรู้ความเหนื่อย (Rating perceived exertion: RPE) มีค่ามากกว่า 17 โดยใช้อัตราการรับรู้ความเหนื่อย Borg scale ที่มีระดับ 6-20 (Borg's RPE 6 to 20 scale) ทั้งนี้สำหรับการทดสอบด้วยวิธีการทางตรงถ้าหากผู้ที่เข้ารับการทดสอบได้หยุดทำการทดสอบลง หรือไม่สามารถทดสอบต่อไปได้ จะทำให้ตัวแปรต่าง ๆ ที่วัดได้ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้างต้น จึงทำให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่วัดได้จากการทดสอบนี้ถูกเรียกว่า ค่าสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_2peak หรือ Peak VO_2) ส่วนใหญ่จะพบค่านี้ได้จากการทดสอบในเด็ก ผู้ที่ขาดการออกกำลังกาย ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายอยู่ในระดับต่ำ

2. วิธีตรวจวัดทางอ้อม

การทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีตรวจวัดทางอ้อมจะเป็นการทดสอบเพื่อหาค่า VO_2max ด้วยวิธีการทำนายจากสมการถดถอยที่สร้างขึ้น โดยนำตัวแปรที่วัดได้จากการทดสอบนี้ไปหาความสัมพันธ์กับค่า VO_2max ที่วัดด้วยวิธีตรวจวัดทางตรง ซึ่ง VO_2max ที่วัดได้นี้จึงไม่ใช่ค่าที่แท้จริง โดยวิธีตรวจวัดทางอ้อมสามารถวัดได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม แต่วิธีการทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจะมีความแตกต่างกัน ถ้าเป็นการทดสอบที่ทำในห้องปฏิบัติการจะใช้การเดินหรือวิ่งบนลู่วิ่งกล ปั่นจักยานวัดงาน และการก้าวขึ้น-ลงบนม้าก้าวขึ้น-ลง เป็นต้น ส่วนการทดสอบภาคสนามนั้นจะใช้การเดินหรือวิ่งเป็นหลัก ซึ่ง Maud and Foster (2006) ได้นำเสนอว่า การทดสอบเพื่อหาค่า VO_2max ด้วยวิธีตรววัดทางอ้อม จะมีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) การทดสอบด้วยการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสุด (Maximal exercise test) 2) การทดสอบ

ด้วยการออกกำลังกายที่ความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal exercise test) และ 3) การทดสอบด้วยวิธีการที่ไม่ใช้การออกกำลังกาย ซึ่งแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การทดสอบด้วยการออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสุด เป็นรูปแบบการทดสอบที่ผู้ที่เข้ารับการทดสอบจะต้องออกกำลังกายอย่างเต็มที่จนไม่สามารถปฏิบัติต่อไปได้ โดยจะมีการเพิ่มระดับความหนักของงานเป็นลำดับขั้น หรืออาจกล่าวได้ว่า มีรูปแบบการทดสอบเหมือนกับการทดสอบด้วยวิธีการทางตรง ซึ่งสมมติฐานของการทดสอบด้วยวิธีการนี้คือ บุคคลที่มีความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจอยู่ในระดับสูงจะสามารถทดสอบด้วยระดับขั้นความหนักที่มากกว่าและใช้เวลาในการทดสอบนานกว่าบุคคลที่มีความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการและนิยมใช้ลู่วิ่งกล และจักยานวัดงาน เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบ โดยจะใช้ระดับความหนักของงานในขั้นสุดท้ายที่ทำได้จากการทดสอบมาใช้ทำนายเพื่อหาค่า VO_2max ทั้งนี้เนื่องจากระดับความหนักของงานที่เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับการใช้ปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวนี้มักจะนำไปใช้ในกลุ่มนักกีฬาและบุคคลที่มีร่างกายแข็งแรงเท่านั้น

2.2 การทดสอบด้วยการออกกำลังกายที่ความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุด เป็นการทดสอบที่ไม่จำเป็นต้องออกกำลังกายที่ความหนักระดับสูงสุด โดยทั่วไปจะทำการทดสอบที่ระดับความหนักไม่เกินร้อยละ 85 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด จากนั้นจะทำนายค่า VO_2max จากค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ ระดับความหนักของงาน ระยะทางที่ทำได้ และระยะเวลาที่ทำได้ เป็นต้น ซึ่งวิธีการทดสอบดังกล่าวนี้ถือเป็นวิธีการที่ประหยัดค่าใช้จ่าย สะดวก ปลอดภัย และให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกับวิธีตรวจวัดทางตรงจากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ สำหรับการทดสอบด้วยการออกกำลังกายที่ความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุดนี้ สามารถวัดได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ซึ่งมีรายละเอียดและสมมติฐานของการทดสอบดังนี้

2.2.1 แบบทดสอบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่จะเป็นการทดสอบที่ใช้ลู่วิ่งกล จักรยานวัดงาน และม้าก้าวขึ้น-ลง เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบ จากนั้นจะนำอัตราการเต้นของหัวใจและระดับขั้นความหนักของงานที่ได้จากการทดสอบไปใช้ในการทำนายเพื่อหาค่า VO_2max ซึ่งจะมีทั้งวิธีการทดสอบที่ใช้ความหนักระดับเดียว (Single stage) และความหนักหลายระดับ (Multistage) โดยสมมติฐานของการทดสอบด้วยวิธีการนี้ก็คือ ในแต่ละระดับที่เพิ่มขึ้นของการทดสอบ อัตราการเต้นของหัวใจจะต้องเข้าสู่ภาวะคงที่ ซึ่งเป็นการคงจังหวะการเต้นของหัวใจไว้อย่างสม่ำเสมอโดยจะมีความแตกต่างกันได้ไม่เกิน ± 5 ครั้ง/นาที ทั้งนี้จากการที่หัวใจเต้นเพื่อสูบฉีดเลือดและนำพาออกซิเจนไปให้เซลล์กล้ามเนื้อใช้ในการสังเคราะห์พลังงานนั้น ถ้าได้รับปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอแล้ว จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจคงที่ โดยที่ไม่มีการเพิ่มระดับความหนักของงานขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่าในขณะที่ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาที่มีความหนักของงานระดับเท่ากัน บุคคลใดที่มีอัตราการเต้นของ

หัวใจเข้าสู่ภาวะคงที่ได้เร็วกว่าก็แสดงถึงการมีประสิทธิภาพในการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจที่ดีกว่านั่นเอง ในส่วนของสมมติฐานอีกประการหนึ่งคือ การทดสอบโดยใช้ลู่วิ่งกลหรือจักรยานวัดงานในกลุ่มบุคคลทั่วไปจะเกิดความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด เช่น บุคคลที่ไม่คุ้นเคยกับการวิ่งบนลู่วิ่ง หรือการปั่นจักรยานวัดงานจะมีอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงกว่าและเข้าสู่ภาวะคงที่ได้ช้ากว่าเมื่อเทียบกับนักกีฬา จึงเป็นผลให้ค่า VO_2max ที่วัดได้ก็จะมีค่าที่ต่ำไปด้วย

2.2.2 แบบทดสอบที่ใช้ในภาคสนาม ส่วนใหญ่จะเป็นการทดสอบที่นิยมใช้การเดิน การวิ่ง และการว่ายน้ำมาเป็นกิจกรรมในการทดสอบ ซึ่งการทดสอบอาจมีการกำหนดระยะทางแล้ววัดเวลาที่ทำได้ หรืออาจมีการกำหนดเวลาแล้ววัดระยะทางที่ทำได้มากที่สุด โดยมีสมมติฐานที่ว่า บุคคลที่มีความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจระดับสูง จะสามารถทำการทดสอบด้วยเวลาที่น้อยกว่าบุคคลที่มีความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจระดับต่ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการกำหนดระยะทางแล้ววัดเวลาที่ทำได้ เช่น ทดสอบวิ่งระยะทาง 1.5 ไมล์ หรือทดสอบเดิน-วิ่งระยะทาง 1 ไมล์ เป็นต้น แต่ในทางกลับกันถ้าเป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดเวลาแล้ววัดระยะทางที่ทำได้มากที่สุด เช่น ทดสอบวิ่ง 5 นาที หรือทดสอบวิ่ง 12 นาที ก็จะพบว่าบุคคลที่มีความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจระดับสูง จะสามารถทำการทดสอบได้ระยะทางที่มากกว่าบุคคลที่มีความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจต่ำ

2.3 การทดสอบด้วยวิธีการที่ไม่ใช้การออกกำลังกาย จะใช้วิธีการประเมินจากตัวแปรต่าง ๆ ทางด้านกายภาพของร่างกาย เช่น อายุ เพศ ส่วนสูง น้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย ประกอบกับข้อมูลทางด้านสุขภาพและประวัติการออกกำลังกาย ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการทำนายเพื่อหาค่า VO_2max โดยวิธีการดังกล่าวมักจะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดสอบได้ อย่างไรก็ตาม วิธีการทดสอบนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมในการนำไปใช้ทดสอบกันมากนัก เนื่องจากค่า VO_2max ที่ได้จากการทดสอบอาจมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าค่าที่แท้จริงก็เป็นได้

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพื่อประเมินความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบหายใจสามารถทดสอบได้หลายวิธี ซึ่งการนำไปใช้จะขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ทดสอบ กิจกรรมที่ใช้มีความสอดคล้องกับผู้ที่เข้ารับการทดสอบ และเป็นแบบทดสอบที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปประยุกต์ใช้พัฒนาโปรแกรมการฝึกให้ดีและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และจากจุดเด่นของการทดสอบด้วยวิธีตรวจวัดทางตรงที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถวัดค่า VO_2max ได้แม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด จึงทำให้ผู้วิจัยนำวิธีการทดสอบด้วยวิธีตรวจวัดทางตรงที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

การทดสอบด้วยวิธีของ Bruce protocol

ในปี ค.ศ. 1949-1950 ดร.โรเบิร์ต บรูช นายแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านหัวใจ ได้ศึกษาผลของการเพิ่มระดับความหนักของงานที่มีต่อการทำงานของหัวใจในขณะออกกำลังกายของผู้ป่วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของหัวใจ ผลจากการศึกษาพบว่าคลื่นไฟหัวใจของผู้ป่วยขณะออกกำลังกายมีความสัมพันธ์กับการทำงานของหัวใจอยู่ในระดับสูง ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลสำคัญที่ถูกนำไปใช้ในการวินิจฉัยโรคเพื่อรักษาผู้ป่วย และเป็นที่มาของแบบทดสอบที่นำไปใช้ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจที่มีชื่อว่า Bruce protocol ซึ่งเป็นต้นแบบของการทดสอบที่มีรูปแบบของการเพิ่มระดับความหนักของงานขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและจุดเริ่มล้าของนักกีฬา โดยสามารถทดสอบได้ด้วยการวิ่งบนลู่วิ่งกล และการปั่นจักรยานวัดงาน (Shah, 2013) ซึ่ง American College of Sports Medicine (2018) ได้นำเสนอ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบแบบ Bruce protocol ไว้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
    1.1 ลู่วิ่งกล
    1.2 นาฬิกาจับเวลา
    1.3 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ
    1.4 สายวัดอัตราการเต้นของหัวใจ
2. วิธีการทดสอบ
    2.1 ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ก๊าซให้กับผู้เข้ารับการทดสอบ
    2.2 ให้ผู้ที่เข้ารับการทดสอบอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินช้า ๆ บนลู่วิ่งกล 3-5 นาที
    2.3 กำหนดค่าเริ่มต้นในการทดสอบให้มีค่าลู่วิ่งกลอยู่ที่ความเร็ว 2.74 กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ 1.7 ไมล์/ชั่วโมง และมีระดับของความชันอยู่ที่ร้อยละ 10 (ขั้นที่ 1)
    2.4 เมื่อเริ่มทดสอบจะมีการปรับความเร็วและความชันเพิ่มขึ้นทุก 3 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2-2
    2.5 บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจทุกครั้งที่มีระดับความหนักของงานเพิ่มขึ้น
    2.6 บันทึกเวลาที่ทำได้และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด
    2.7 จะหยุดทดสอบเมื่อผู้ที่เข้ารับการทดสอบไม่สามารถปฏิบัติกิจกรรมต่อไปได้ ซึ่งพิจารณาจากอาการที่เกิดขึ้นตามข้อใดข้อหนึ่งดังนี้

2.7.1 เมื่อปฏิบัติกิจกรรมจนถึงระดับการใช้ออกซิเจนสูงสุด และไม่มีการเลี่ยนแปลงค่าการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น แม้จะปฏิบัติกิจกรรมต่อไปอีก

2.7.2 เมื่อปฏิบัติกิจกรรมจนอัตราการเต้นของหัวใจถึงระดับสูงสุด

2.7.3 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซเท่ากับหรือสูงกว่า 1.15

2.7.4 ระดับความเข้มข้นของแลคเตตในเลือดสูงกว่า 8 มิลลิโมล/ลิตร

2.7.5 มีอาการสั่นทั้งตัวขณะปฏิบัติกิจกรรม

3. วิธีการคำนวณหาค่า VO_2max หากใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซในการทดสอบค่าที่วัดได้จะแสดงผลจากคอมพิวเตอร์ที่ได้เชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ซึ่งผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซค่อนข้างมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ เพราะเป็นการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซจากลมหายใจของผู้ที่เข้ารับการทดสอบในขณะทำการทดสอบ ซึ่งจะทราบถึงการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ ระยะ แต่ถ้าหากไม่ได้ติดเครื่องวิเคราะห์ก๊าซก็สามารถคำนวณด้วยวิธีการทางอ้อมได้จากเวลาและระดับขั้นที่ทำได้จากการทดสอบ ดังสมการต่อไปนี้

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

ตารางที่ 2-2 การปรับความเร็วและความชันของลู่วิ่งกลทุก 3 นาที

ขั้นที่	ความเร็ว		ความชัน
	กิโลเมตร/ชั่วโมง	ไมล์/ชั่วโมง	(ร้อยละ)
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

จุดเริ่มล้า

จุดเริ่มลา หรืออาจเรียกว่า แอนแอโรบิก เทรชโฮล (Anaerobic threshold: AT) คือ จุดที่ระดับของออกซิเจนที่ร่างกายต้องการใช้สูงกว่าระดับออกซิเจนที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ในการสร้างพลังงานแอโรบิกได้ ร่างกายจึงนำระบบพลังงานแอนแอโรบิกมาช่วยเสริมเพื่อสร้างพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการใช้ของเซลล์ ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้ (Wasserman, Stringer, Casaburi, Koike, & Cooper, 1994)

1. เมื่อระดับความหนักและปริมาณของงานในการออกกำลังกายเพิ่มขึ้น ความต้องการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อที่กำลังหดตัวทำงานจะมีมากกว่าปริมาณออกซิเจนที่ไมโตรคอนเดรียสามารถดึงมาใช้เพื่อสร้างพลังงาน

2. ความไม่สมดุลระหว่างความต้องการการใช้ออกซิเจนและความสามารถในการดึงออกซิเจนไปใช้สร้างพลังงาน ทำให้ร่างกายนำระบบพลังงานแอนแอโรบิกมาช่วยเสริมเพื่อสร้างพลังงานโดยมีการเปลี่ยนไพรูเวท (Pyruvate) ให้เป็นกรดแลคติก ทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติกเพิ่มขึ้นในกล้ามเนื้อ ซึ่งกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นนี้จะถูกทำให้เป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) โดยไบคาร์บอเนต (Bicarbonate: HCO_3) ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น

3. คาร์บอนไดออกไซด์ที่สร้างขึ้นจากกระบวนการบัฟเฟอร์ ส่งผลให้มีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ถูกขนส่งไปยังปอดเพิ่มขึ้น

4. การรบกวนการทำงานของกระบวนการบัฟเฟอร์และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เกิดขึ้นสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงของการแลกเปลี่ยนก๊าซได้

Mcmillan, Helgerud, Macdonald, and Hoff (2005) กล่าวว่า จุด AT เป็นจุดที่เริ่มมีการสะสมของกรดแลคติกในเลือดประมาณ 4 มิลลิโมล/ลิตร จะอยู่ที่ความหนักร้อยละ 85-90 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด หรือร้อยละ 70-80 ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จุด AT นี้ อาจเรียกว่า Onset of blood lactate accumulation (OBLA) หรือ Maximal lactate steady state (MLSS) ซึ่งจุดเริ่มล้านี้จะมีอิทธิพลต่อการทำงานของร่างกายและกระทบต่อการทำงานของระบบการใช้ออกซิเจนของร่างกาย ซึ่งสอดคล้องกับ สนธยา สีละมาด (2560) ที่กล่าวว่า ความหนักที่สูงกว่าจุดเริ่มล้า กล้ามเนื้อจะมีการสะสมกรดแลคติกเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการในการสังเคราะห์พลังงานของร่างกาย ซึ่งการสะสมกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นนี้จะไปรบกวนการหดตัวของกล้ามเนื้อและทำให้การบวนการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตช้าลงซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการสร้างพลังงานของนักกีฬา

ในปัจจุบันได้มีการรายงานค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับจุดเริ่มล้าอยู่หลายค่า ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่จุดเดียวกันก็ตามที ซึ่งจุดต่าง ๆ เหล่านี้จะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกัน เช่น Lactate threshold (LT), Ventilatory threshold (VT), Onset of blood lactate accumulation (OBLA) และ Maximal lactate steady state (MLSS) โดยระดับของกรดแลคติกที่เกิดขึ้นในเลือดจะมีหลายระดับซึ่งแต่ละระดับจะส่งผลต่อร่างกายแตกต่างกัน โดยสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2-3

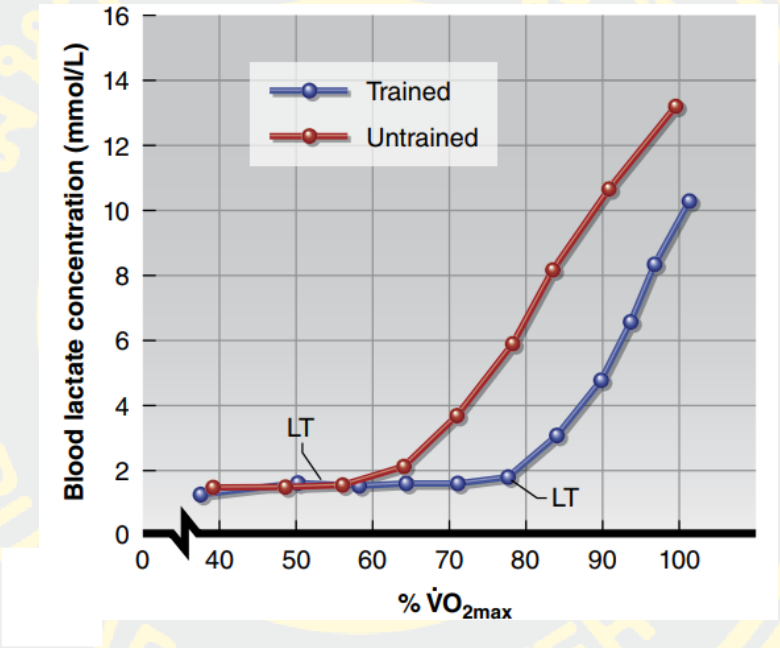
ตารางที่ 2-3 ระดับการเกิดของค่าต่าง ๆ โดยวัดจากปริมาณกรดแลคติกในเลือด (Billat, 1996)

กรดแลคติกในเลือด	คำจำกัดความ	หมายเหตุ
มาตรฐาน +1 มิลลิโมล/ลิตร	Onset of plasma lactate accumulation	มีกรดแลคติกในร่างกายแต่สามารถขจัดได้
2.2 มิลลิโมล/ลิตร	Maximal steady state	
3.5-5 มิลลิโมล/ลิตร	Lactate threshold	จุดเริ่มต้นของการเกิดการสะสมกรดแลคติกส่วนเกินในร่างกาย มักใช้อ้างอิงเป็นจุดเดียวกับ AT
4 มิลลิโมล/ลิตร	Anaerobic threshold and Onset of blood lactate accumulation	

ความสำคัญของจุดเริ่มล้า

ในการรายงานค่า AT ส่วนใหญ่มักนิยมใช้ร้อยละของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ (% of VO_2max) มีหน่วยวัดเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min) ซึ่งค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้อาจไม่สามารถบอกความสำเร็จในการทำงานแอโรบิกไปเสียทั้งหมด ตัวอย่างเช่น นักกีฬา เพศชาย 2 คน มีส่วนสูง น้ำหนักตัว ไขมันในร่างกาย และอายุเท่ากัน นักกีฬาคนที่ 1 มีค่า VO_2max เท่ากับ 70 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ส่วนนักกีฬาคนที่ 2 มีค่า VO_2max เท่ากับ 50 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ถ้าดูจาก VO_2max ในการวิ่งแข่งขัน นักกีฬาคนที่ 1 น่าจะเป็นผู้ที่ได้รับชัยชนะ แต่ในการวิ่งแข่งทุกครั้ง นักกีฬาคนที่ 2 มักเป็นฝ่ายได้รับชัยชนะเสมอ เมื่อทดสอบค่า AT พบว่า นักกีฬาคนที่ 1 มีค่า AT ร้อยละ 50 ของค่า VO_2max ในขณะที่นักกีฬาคนที่ 2 มีค่า AT ร้อยละ 90 ของค่า VO_2max และหาประสิทธิภาพที่แท้จริงในการทำงานของนักกีฬาทั้ง 2 คน ได้โดยนำค่า AT มาคูณกับค่าร้อยละ VO_2max โดยนักกีฬาคนที่ 1 จะมีประสิทธิภาพที่แท้จริงในการทำงานเท่ากับ 70 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที x 50% VO_2max = 35 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที

ในขณะที่นักกีฬาคนที่ 2 จะมีประสิทธิภาพที่แท้จริงในการทำงานของค่า VO_2max เป็น 50 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที x 90% VO_2max = 45 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที นั่นจึงเป็นเหตุผลว่าทำไมนักกีฬาคนที่ 2 จึงได้รับชัยชนะในการแข่งขันเสมอ จากตัวอย่างดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของค่า AT ที่มีต่อค่า VO_2max และส่งผลต่อสมรรถภาพทางกาย อาจกล่าวได้ว่า ค่า AT เป็นสิ่งที่แสดงถึงระยะเวลาในการคงไว้ซึ่งการทำงานที่ระดับสูงสุดของค่า VO_2max โดยผู้ที่มีค่า AT สูงจะสามารถทำงานที่ระดับความหนักได้เป็นเวลานานกว่าผู้ที่มีค่า AT ต่ำ ซึ่งค่า AT นี้ สามารถพัฒนาให้สูงขึ้นได้จากการฝึกความอดทน (วิรัตน์ สนธิ์จันทร์, 2555) ดังปรากฏในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 จุดแลคเตตเทรชโฮลหรือจุดเริ่มล้าของผู้ที่ได้รับการฝึกและผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก (Kenney et al., 2015)

วิธีตรวจวัดจุดเริ่มล้า

วิธีการที่นำมาใช้ในการตรวจวัดจุดเริ่มล้า มี 2 วิธี ดังนี้ (มณินทร รักษ์บำรุง, 2546)

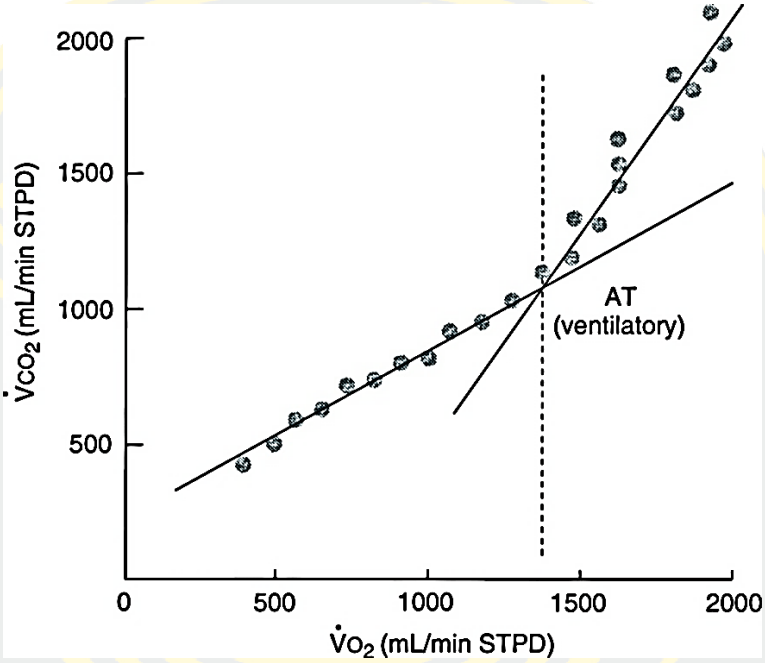
1. วิธีตรวจวัดทางตรง

1.1 การตรวจหาจุดที่เริ่มมีการเพิ่มขึ้นของการสะสมกรดแลคติกในเลือด ซึ่งปกติในร่างกายจะมีกรดแลคติกอยู่ในเลือดประมาณ 1 มิลลิโมล/ลิตร แต่ที่จุด AT จะมีกรดแลคติกอยู่ในเลือดประมาณ 4 มิลลิโมล/ลิตร

1.2 การตรวจหาจุดที่เริ่มมีการลดต่ำลงของค่า HCO_3 และค่า pH ในเลือด

2. วิธีตรวจวัดทางอ้อม

2.1 การตรวจวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนก๊าซแบบวีสโลป (V-Slope method) โดยอาศัยหลักการที่ว่าในระหว่างการทำงานที่ระดับต่ำกว่า AT จะมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง (Linear relation) ระหว่างปริมาตรออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (VO_2) กับปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้น (VCO_2) แต่ที่ระดับ AT กรดแลคติกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อ VCO_2 ให้เพิ่มขึ้น ดังปรากฏในภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 การหาค่าจุดเริ่มล้าโดยการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนก๊าซแบบวีสโลป (Mottram, 2018)

2.2 การตรวจวิเคราะห์สมดุลลมหายใจ (Ventilation equivalent method) วิธีการนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานสำคัญของค่าตัวแปรต่าง ๆ ของลมหายใจ คือ VE/VO_2, VE/VCO_2, End-tidal O_2 tension ($PETO_2$), End-tidal CO_2 tension ($PETCO_2$), RER (อัตราส่วนระหว่าง VCO_2 กับ VO_2) โดยที่จุด AT นั้น ค่าปริมาตรลมหายใจออก (Minute ventilation: VE) จะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของ VE/VO_2, $PETO_2$ และ VCO_2 โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงของ VE/VCO_2 และ $PETCO_2$ เพราะ VE เพิ่มขึ้นอย่างได้สัดส่วนพอเหมาะกับ VCO_2 ในขณะที่กระบวนการชดเชยภาวะ pH ในเลือดลดลง (Metabolic acidosis) และไม่สามารถทำได้ต่อไป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.2.1 เมื่อมีการเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Nonlinear) ของปริมาตรลมหายใจออก (VE)

2.2.2 เมื่อมีการเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้นตรงของปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้น (VCO_2) เพราะที่จุด AT นั้น กรดแลคติกที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกทำให้เป็นกลาง (Buffer) และเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินขึ้นซึ่งสามารถตรวจวัดได้ทันที

2.2.3 เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนในลมหายใจออกช่วงสุดท้าย ($PETO_2$) โดยไม่มีการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออกช่วงสุดท้าย เนื่องจากร่างกายมีการหายใจที่ถี่และลึกมากขึ้น (Hyperventilation) ทำให้ปริมาณออกซิเจนในลมหายใจออกมีมากขึ้น

2.2.4 เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นกับปริมาตรออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (RER) อย่างฉับพลัน

2.2.5 เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาตรลมหายใจออกกับปริมาตรออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (VE/VO_2) โดยที่ไม่มีการเพิ่มขึ้นของ VE/VCO_2 ซึ่งวิธีการนี้พบว่า มีความสัมพันธ์กับค่า AT ที่หาได้จากการวัดปริมาณกรดแลคติกในเลือด สำหรับการตรวจวัด AT โดยวิธีการแลกเปลี่ยนก๊าซวิธีนี้น่าจะเป็นวิธีการตรวจวัดที่ให้ผลดีที่สุด เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มระดับความหนักในการทำงานขึ้นอย่างทันทีทันใด จะพบว่า VE และ VCO_2 จะยังคงเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน ดังนั้น ที่จุด AT ค่า VE/VCO_2 จะยังมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงและเป็นเหตุผลที่ว่าค่า $PETCO_2$ ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงของการกำจัดกรดแลคติก

2.3 การตรวจวิเคราะห์อย่างง่าย โดยใช้สูตร (220 - อายุ) x 0.85 = AT มีหน่วยวัดเป็นครั้ง/นาที (bpm) โดยใช้การทดสอบภาคสนาม เช่น การวิ่งบนลู่วิ่งกล การปั่นจักรยานวัดงาน หรือสามารถทำการวิ่งเองในลู่วิ่งทั่วไปก็ได้

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า สมรรถภาพด้านแอโรบิกเป็นความสามารถของร่างกายในการทำงานที่ต้องใช้พลังงานจากระบบการสร้างพลังงานแอโรบิก ซึ่งสมรรถภาพด้านแอโรบิกนี้จะมีความสำคัญต่อกีฬาหลายชนิดที่มีรูปแบบของกิจกรรมที่ต้องใช้ความอดทนในการปฏิบัติกิจกรรมทางกีฬาที่มีความต่อเนื่องและยาวนาน เช่น วิ่งระยะไกล ว่ายน้ำระยะไกล และปั่นจักรยานระยะไกล เป็นต้น ดังนั้น การทำงานของร่างกายลักษณะดังกล่าวจึงเป็นความสามารถที่แสดงออกถึงความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด ระบบหายใจ และระบบกล้ามเนื้อทั้งสิ้น การทดสอบเพื่อประเมินสมรรถภาพด้านแอโรบิกสามารถทดสอบได้หลายวิธี ซึ่งการนำไปใช้จะขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้เข้ารับการทดสอบ และกิจกรรมที่ใช้มีความสอดคล้องกับผู้ที่เข้ารับการทดสอบ รวมทั้งเป็นแบบทดสอบที่มีความแม่นยำน่าเชื่อถือ โดยผลที่ได้จากการทดสอบนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปประยุกต์ใช้พัฒนาโปรแกรมการฝึกให้ดีและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และจากจุดเด่นของการทดสอบด้วยวิธีตรวจวัดทางตรงที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถวัดค่า VO_2max ได้แม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด จึงทำ

ให้ผู้วิจัยนำวิธีการทดสอบด้วยวิธีตรวจวัดทางตรงที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ เพื่อวัดค่า VO_2max และทำการตรวจวัดค่า AT แบบวีสโลป จากการทดสอบด้วยวิธีการของ Bruce protocol เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด

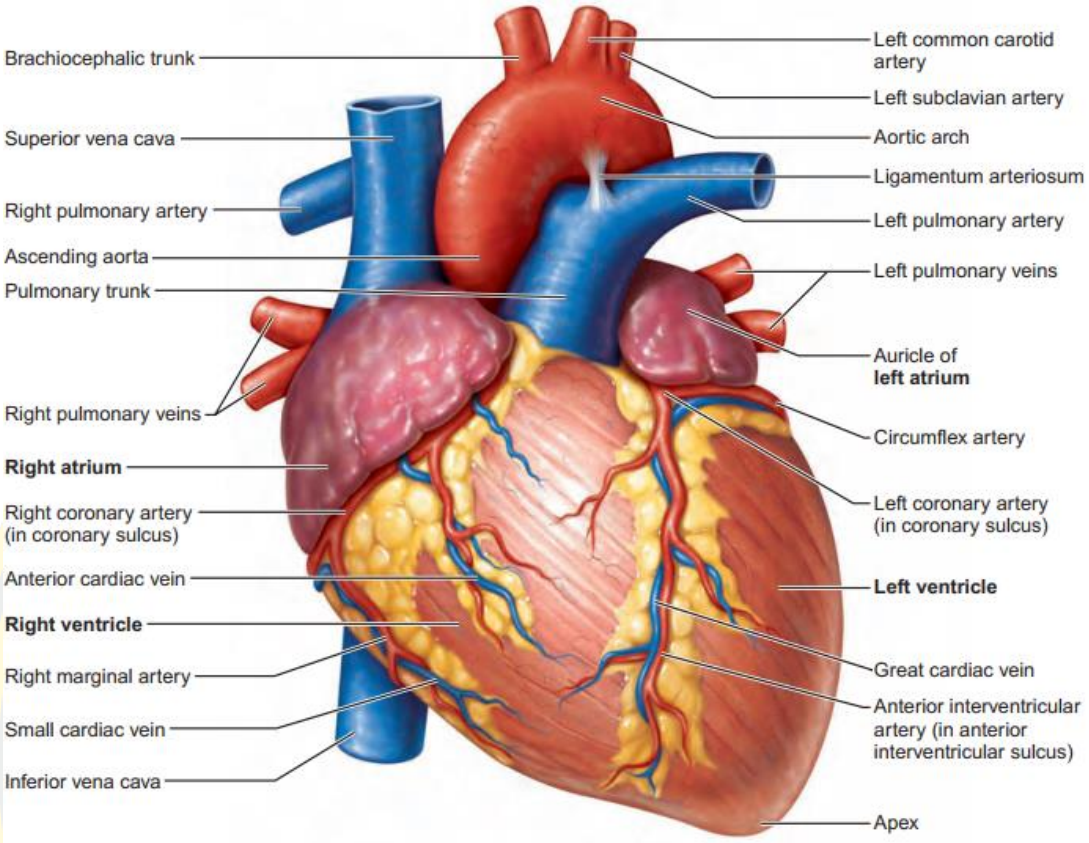
ระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด (Cardiovascular system) เป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งมีอวัยวะสำคัญที่เกี่ยวข้อง 3 ส่วน ดังนี้ (Ratamess, 2012)

1. หัวใจ (Heart) ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดเพื่อไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย

2. หลอดเลือด (Blood vessels) ทำหน้าที่เป็นท่อในการลำเลียงเม็ดเลือดไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกายและกล้ามเนื้อ

3. เม็ดเลือด (Blood cells) ทำหน้าที่เป็นตัวนำออกซิเจนและสารอาหารประเภทต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการดำรงอยู่ของเซลล์ รวมทั้งยังนำของเสียไปกำจัดออกจากร่างกาย

ระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดจะทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย และขนส่งสารต่าง ๆ ที่ละลายในเลือด เช่น ขนส่งสารอาหารที่ถูกดูดซึมจากกระเพาะอาหาร และลำไส้ รวมทั้งขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นที่เซลล์เหล่านั้นกลับไปยังปอด และนำของเสียหรือสารอื่น ๆ จากกระบวนการเมตตาบอลิซึมไปยังไตเพื่อขับถ่ายออกจากร่างกาย นอกจากนี้ ยังช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้ค่อนข้างคงที่ และช่วยขนส่งฮอร์โมนต่าง ๆ จากต่อมไร้ท่อไปยังอวัยวะเป้าหมายเพื่อควบคุมการทำงานของเซลล์ในอวัยวะต่าง ๆ ซึ่งเซลล์จะมีชีวิตหรือสามารถทำงานได้เป็นปกติก็ต่อเมื่อเซลล์อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีปริมาณของสารต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ เซลล์ที่พอเหมาะ รวมทั้งควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่มีความเหมาะสม เนื่องจากเซลล์จะมีการใช้และขับสารต่าง ๆ ตลอดเวลา ซึ่งการจะคงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อเซลล์ดังกล่าวได้นั้น จึงจำเป็นต้องอาศัยการไหลของเลือดผ่านเซลล์ตลอดเวลาเพื่อทดแทนออกซิเจน อาหาร และสิ่งที่มีความจำเป็นให้แก่เซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย พร้อมกับนำของเสียที่เซลล์ขับออกหรือเกินความต้องการออกไปกับกระแสเลือด ด้วยเหตุนี้ ระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดจึงความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตและการทำงานของร่างกายให้เป็นปกติ ซึ่งการไหลเวียนของเลือดจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจในการบีบตัวเพื่อให้เกิดแรงดันซึ่งจะทำให้เลือดไหลไปตามหลอดเลือดต่าง ๆ ที่แตกแขนงไปตามอวัยวะต่าง ๆ ทั่วร่างกาย



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของหัวใจ (Marieb & Hoehn, 2016)

หัวใจ

หัวใจ (Heart) เป็นอวัยวะสำคัญของมนุษย์ที่ตั้งอยู่บริเวณทรวงอกระหว่างปอดทั้งสองข้าง ค่อนไปทางด้านซ้ายและหัวใจจะทำหน้าที่สูบฉีดเลือดให้ไหลเวียนอยู่ในระบบหลอดเลือดทั่วร่างกาย ซึ่งภายในหัวใจมี 4 ห้อง ดังนี้ (บังอร ฉางทรัพย์, 2550; สัญญา ร้อยสมมุติ, 2555)

1. หัวใจห้องบนขวา (Right atrium) ทำหน้าที่รับเลือดดำจากส่วนบนของร่างกายที่ลำเลียงมาทางเส้นเลือดที่ชื่อ ซูพีเรียร์ เวนา คาวา (Superior vena Cava) และรับเลือดดำมาจากส่วนล่างของร่างกายที่ลำเลียงมาทางเส้นเลือดที่ชื่อ อินฟีเรียร์ เวนา คาวา (Inferior vena cava)

2. หัวใจห้องล่างขวา (Right ventricle) ซึ่งเลือดดำจากหัวใจห้องบนขวานี้จะถูกส่งผ่านลงไปสู่หัวใจห้องล่างขวาโดยผ่านลิ้นหัวใจชื่อ ไตรคัสพิด (Tricuspid valve) และเลือดจากหัวใจห้องล่างขวาจะถูกส่งไปยังปอดโดยผ่านลิ้นหัวใจอีกลิ้นที่ชื่อ พัลโมนารี (Pulmonay valve) เข้าสู่หลอดเลือดใหญ่ที่ชื่อ พัลโมนารี อาร์เทอรี (Pulmonay artery) เพื่อนำเลือดไปแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอด

3. หัวใจห้องบนซ้าย (Left atrium) ทำหน้าที่รับเลือดแดงที่ฟอกจากปอดซึ่งภายในเลือดจะมีออกซิเจนสูงลำเลียงมาทางหลอดเลือด พัลโมนารี เวน (Pulmonary vein)

4. หัวใจห้องล่างซ้าย (Left ventricle) ทำหน้าที่รับเลือดแดงจากหัวใจห้องบนซ้ายโดยผ่านทางลิ้นหัวใจซื่อ ไบคัสพิด (Bicuspid valve) และทำการบีบเพื่อส่งเลือดแดงออกไปเลี้ยงทั่วร่างกายโดยผ่านลิ้นหัวใจอีกลิ้นชื่อ เอออร์ติก (Aortic valve) เข้าสู่หลอดเลือดแดงใหญ่ชื่อ เอออร์ต้า (Aorta) ซึ่งจะแตกแขนงเป็นหลอดเลือดแดงขนาดต่าง ๆ ไปจนถึงหลอดเลือดฝอยทั่วร่างกาย

หลอดเลือด

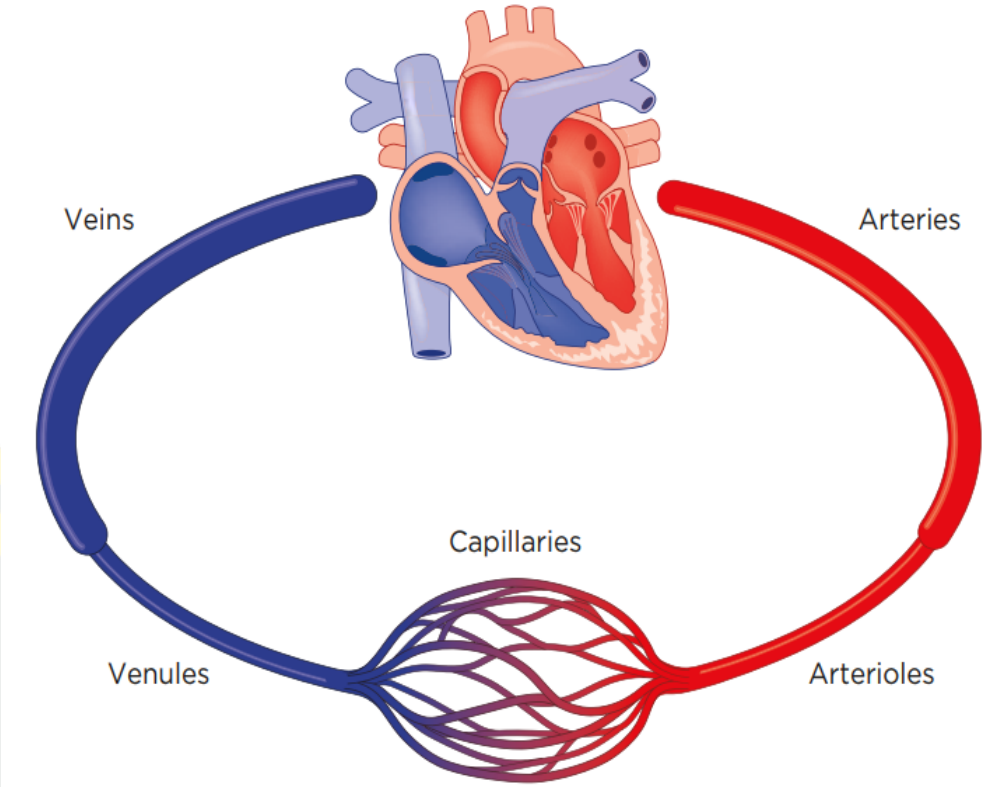
การไหลเวียนของเลือดภายในร่างกายจะเกิดขึ้นในหลอดเลือด (Blood vessels) ซึ่งหลอดเลือดในร่างกาย ประกอบด้วย หลอดเลือดอาร์เทอรี (Artery) จะทำหน้าที่นำเลือดจากหัวใจไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ทั่วร่างกาย หลอดเลือดฝอย (Capillaries) เป็นหลอดเลือดที่มีขนาดเล็กและเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนอาหารและสารต่าง ๆ ระหว่างเลือดกับเซลล์ของเนื้อเยื่อ และหลอดเลือดเวน (Vein) จะทำหน้าที่นำเลือดจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายกลับสู่หัวใจ โดยทั่วไปผนังของหลอดเลือด มี 3 ชั้น ดังนี้ (Martini & Bartholomew, 2013)

1. ชั้นนอกสุด (Tunica externa) ประกอบด้วย ชั้นของเส้นใยเนื้อเยื่อเป็นส่วนใหญ่ ถัดเข้าไปเป็นชั้นของเส้นใยหยุ่น ซึ่งบางส่วนมีกล้ามเนื้อเรียบเรียงตัวตามยาวบ้างเล็กน้อย

2. ชั้นกลาง (Tunica media) ประกอบด้วย กล้ามเนื้อเรียบและเส้นใยยืดหยุ่น

3. ชั้นในสุด (Tunica interna) ประกอบด้วย เยื่อบุเอนโดทีเลียม (Endothelium) เรียงตัวอยู่บนเยื่อเบสเมนท์ (Basement membrane)

การไหลเวียนเลือดภายในร่างกายจะเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วย 2 ระบบที่สำคัญก็คือ ระบบอาร์เทอรี (Arterial system) เป็นระบบที่ขนส่งเม็ดเลือดแดงจากหัวใจห้องล่างซ้ายไปสู่อวัยวะต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ซึ่งเริ่มไหลเวียนผ่านหลอดเลือดที่มีขนาดใหญ่ไปจนถึงหลอดเลือดที่มีขนาดเล็กคือ เอออร์ต้า (Aorta) อาร์เตอรี (Arteries) และอาร์เทอริโอล (Arterioles) ตามลำดับ ส่วนระบบเวน (Venous system) เป็นระบบที่รับเลือดจากหลอดเลือดฝอย (Capillary) กลับเข้าสู่หัวใจ ซึ่งเริ่มต้นไหลเวียนผ่านหลอดเลือดที่มีขนาดเล็กไปถึงหลอดเลือดที่มีขนาดใหญ่ คือ เวนูล (Venules) เวน (Vens) และเวนา คาวา (Vena cava) ตามลำดับ เพื่อนำเลือดกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา และส่งเลือดไปฟอกที่ปอดต่อไป ซึ่งหลอดเลือดดังกล่าวนี้จะมีอยู่ทั่วร่างกาย และจะเชื่อมโยงกับหัวใจและหลอดเลือดฝอยที่อยู่ภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อ นอกจากนั้นหลอดเลือดยังทำหน้าที่เป็นท่อในการลำเลียงสารอาหารที่จำเป็นไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย (Jarvis, 2018) ดังแสดงในภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ชนิดของหลอดเลือดที่อยู่ภายในร่างกาย (Jarvis, 2018)

เลือด

เลือด (Blood) เป็นของเหลวสีแดงที่ไหลเวียนอยู่ในระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด โดยเลือดจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์เนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในร่างกาย ซึ่งการไหลเวียนของเลือดนี้จะช่วยให้เซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายได้รับสภาพแวดล้อมที่คงที่และมีความเหมาะสม พร้อมกับนำพาสารอาหารไปให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกายตลอดเวลา และนำของเสียหรือสารที่หลั่งจากเนื้อเยื่อเหล่านั้นออกไปตามกระแสเลือดไปยังอวัยวะหรือเนื้อเยื่ออื่น ๆ เพื่อนำไปใช้หรือกำจัดออกจากร่างกาย โดยทั่วไปในร่างกายของคนปกติจะมีปริมาณเลือดอยู่ที่ร้อยละ 7-8 ของน้ำหนักตัว หรือ 5-6 ลิตร (คณาจารย์ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2557) ซึ่ง วินเชยชมศรี (ม.ป.ป.) ได้สรุปลักษณะทางกายภาพของเลือด (Physical characteristics of blood) ดังรายละเอียดที่ปรากฏในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ลักษณะทางกายภาพของเลือด (วิน เชยชมศรี, ม.ป.ป.)

ลักษณะทางกายภาพ	ค่า
ความหนืด (Viscosity)	4.5-5.5 (เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ)
อุณหภูมิ (Temperature)	37-38 องศาเซลเซียส
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.35-7.45
องค์ประกอบของโซเดียมคลอไรด์ (Salinity)	0.9%
น้ำหนัก	8% ของน้ำหนักตัว
ปริมาตร	เพศชาย 4-5 ลิตร / เพศหญิง 5-6 ลิตร

หน้าที่ของเลือด

เลือดมีหน้าที่หลักในการขนส่งสารที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น สารอาหาร ฮอร์โมน ก๊าซ และสารที่เป็นของเสียระหว่างเนื้อเยื่อ รักษาสมดุลร่างกาย ตลอดจนป้องกันอันตรายของร่างกายจากการติดเชื้อและการเสียเลือด ซึ่งหน้าที่สำคัญของเลือดมีหลายประการดังนี้ (วิน เชยชมศรี, ม.ป.ป.)

1. การขนส่ง

1.1 การขนส่งอาหาร (Nutrient transportation) ที่ได้จากการย่อยในระบบทางเดินอาหาร และจะดูดซึมสารอาหารเข้าสู่หลอดเลือดฝอยแล้วขนส่งไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย

1.2 การขนส่งก๊าซ (Gaseous transportation) ซึ่งจะอาศัยฮีโมโกลบินที่เป็นโปรตีนในเม็ดเลือดแดงที่มีคุณสมบัติในการจับกับออกซิเจนเรียกว่า ออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นที่ปอด เพื่อนำออกซิเจนไปให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ในขณะเดียวกันฮีโมโกลบินนี้ก็จะจับกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมาและนำไปขับออกจากร่างกายต่อไป

1.3 การขนส่งของเสีย (Waste product transportation) ที่เกิดขึ้นจากขบวนการเมตตาบอลิซึมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ยูเรีย กรดยูริค และครีเอตินิน ฯลฯ รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ จะถูกขนส่งจากเนื้อเยื่อไปขับออกที่ไต ผิวหนัง และอวัยวะอื่น ๆ เพื่อกำจัดออกจากร่างกาย

1.4 การขนส่งฮอร์โมน (Hormone transportation) ฮอร์โมนต่าง ๆ ที่ผลิตได้จากต่อมไร้ท่อ (Endocrine gland) จะถูกขนส่งไปยังเนื้อเยื่อหรืออวัยวะเป้าหมาย (Target organ)

2. การควบคุม

2.1 การควบคุมความเป็นกรด-ด่างของร่างกาย (Regulation of body pH) ขบวนการเมตตาบอลิซึมและปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย รวมทั้งการเผาผลาญอาหารหรือผลจากการได้รับยาหรือสารเคมีต่าง ๆ เข้าไป จะทำให้ความเป็นกรด-ด่างของร่างกายเปลี่ยนแปลงไป

เช่น การเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ และกรแลคติค เป็นต้น ซึ่งเลือดจะทำหน้าที่ช่วยรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างในร่างกายให้คงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

2.2 การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (Regulation of body temperature) เลือดจะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิหรือความร้อนภายในร่างกายด้วยการกระจายความร้อนและการหลั่งเหงื่อ

2.3 การควบคุมน้ำในร่างกาย (Regulation of water balance) เลือดจะทำหน้าที่รักษาสมดุลของของเหลวในกรแสเลือดกับของเหลวในเนื้อเยื่อด้วยการแลกเปลี่ยนของน้ำ

3. การป้องกัน

3.1 การป้องกันการสูญเสียเลือด (Protection of blood loss) เมื่อเกิดบาดแผลขึ้นกับร่างกายไม่ว่าจะเป็นที่ผิวหนังหรืออวัยวะต่าง ๆ ภายในของร่างกาย เลือดจะมีกลไกในการห้ามเลือด ซึ่งอาศัยเกล็ดเลือดเพื่อให้เกิดการแข็งตัวของเลือด ทำให้เกิดการอุดปิดบาดแผล

3.2 การป้องกันสิ่งแปลกปลอม (Protection of foreign body) เลือดจะทำหน้าที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมข้าสู่ร่างกาย เช่น เชื้อโรคต่าง ๆ ตลอดจนสารพิษต่าง ๆ ด้วยกลไกการทำงานของเม็ดเลือดขาว เกล็ดเลือด และแอนติบอดี (Antibodies) ที่ไหลเวียนอยู่ในกระแสเลือด

องค์ประกอบของเลือด

เลือดเป็นของเหลวชนิดหนึ่งในร่างกายที่มีการทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ เพื่อจัดหาปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีพอยู่ได้อย่างปกติและทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้ (Marieb & Hoehn, 2016)

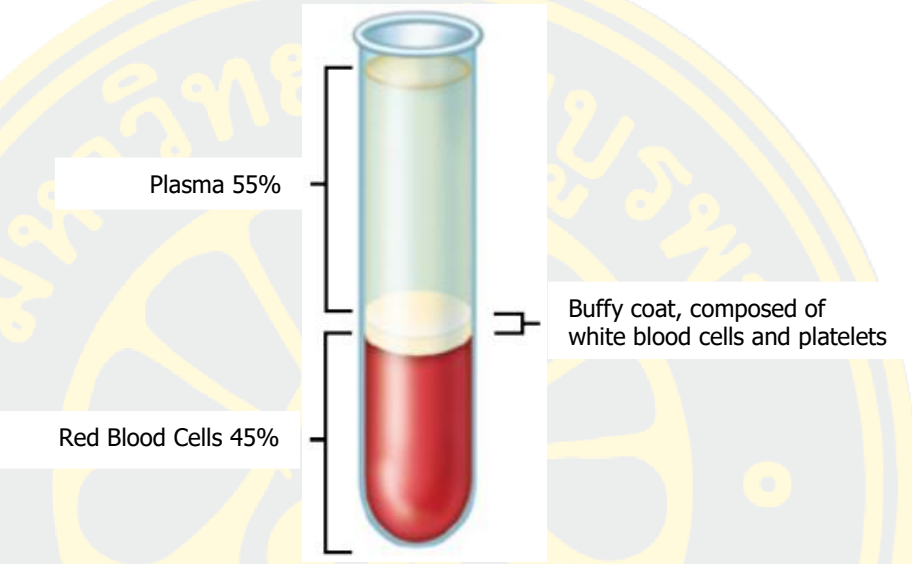
1. ส่วนที่เป็นของเหลว (Liquid) คือ น้ำเลือด หรือ พลาสมา (Plasma) มีสภาวะเป็นด่าง (pH = 7.4) ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นน้ำร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือจะเป็นสารอื่น ๆ ได้แก่ ไอออน กลูโคส กรดอะมิโน และสารเมตาบอไลต์ชนิดต่าง ๆ เช่น ฮอร์โมน เอมไซม์ และโปรตีน เป็นต้น ซึ่งส่วนที่เป็นของเหลวนี้จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 55 ของปริมาตรเลือดทั้งหมด

2. ส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid) คือ เซลล์เม็ดเลือด (Formed elements) จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 45 ของปริมาตรเลือดทั้งหมด ประกอบด้วย

2.1 เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell) หรือเรียกว่า อีริโทรไซต์ (Erythrocyte) มีอายุ 120 วัน มีหน้าที่นำพาออกซิเจนที่รับจากปอดไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย

2.2 เซลล์เม็ดเลือดขาว (White blood cell) หรือเรียกว่า ลูโคไซต์ (Leukocyte) มีอายุ 7-14 วัน มีหน้าที่ทำลายเชื้อโรคต่าง ๆ ที่เข้าสู่ร่างกาย โดยปกติในร่างกายจะมีเม็ดเลือดขาวประมาณ 5,000-10,000 เซลล์/เลือด 1 มิลลิลิตร

2.3 เกล็ดเลือด (Platelet) หรือเรียกว่า ทรอมโบไซต์ (Thrombocyte) มีอายุ 3-4 วัน ซึ่งเกล็ดเลือดนี้ไม่ใช่เซลล์ มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน และไม่มีนิวเคลียส โดยปกติในร่างกายจะมีเกล็ดเลือดประมาณ 150,000-300,000 ชิ้น/เลือด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้ เกล็ดเลือดจะหลั่งสารเคมีที่มีชื่อว่า ไฟบริน (Fibrin) เพื่อช่วยให้เลือดแข็งตัวเมื่อเกิดบาดแผล



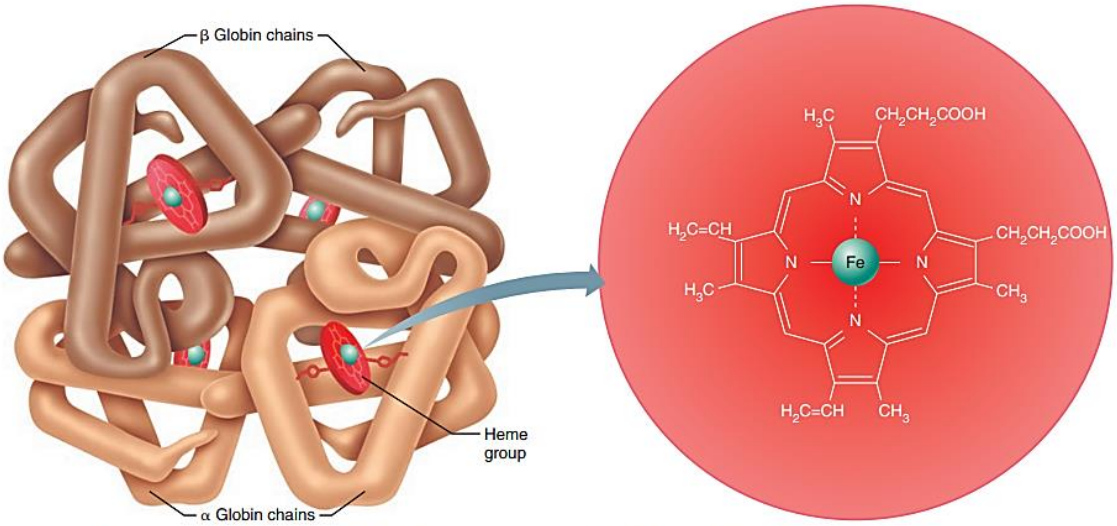
ภาพที่ 2-8 องค์ประกอบของเลือด (Peate & Nair, 2017)

เม็ดเลือดแดง

เม็ดเลือดแดงในร่างกายมนุษย์มีประมาณ 4.5-6 ล้านเซลล์/ไมโครลิตร (4.5-6 x 10^6/µl) และมีอายุอยู่ได้ 120 วัน ซึ่งในแต่ละวันจะมีการสร้างเม็ดเลือดแดงขึ้นมาทดแทนในปริมาณร้อยละ 1 ของปริมาณเม็ดเลือดแดงทั้งหมดต่อวัน โดยเม็ดเลือดแดงที่เต็มวัยจะไม่มีนิวเคลียส และมีขนาดเล็ก ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปในกระแสเลือดได้อย่างรวดเร็ว หากมองภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะเห็นได้ว่าเม็ดเลือดแดงมีรูปร่างคล้ายโดนัท ตรงกลางเว้าเข้าหากันทั้งสองด้าน (Biconcave disc shape) มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดประมาณ 7-8 ไมครอน (µ) น้ำหนักประมาณ 100 พิโคกรัม (pg) ความหนาตรงกลางประมาณ 0.8 ไมครอน ขอบด้านนอกหนาประมาณ 2.6 ไมครอน คิดเป็นพื้นที่ผิวประมาณ 135 ตารางไมโครเมตร (µm^2) และส่วนบุ๋มตรงกลางมีขนาดประมาณ 1/3 ของขนาดเม็ดเลือดแดง ซึ่งภายในเม็ดเลือดแดงมีองค์ประกอบดังนี้ (ตรีทิพย์ รัตนวรชัย, 2555)

1. ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin: Hb) เป็นสารสำคัญในการนำพาออกซิเจนที่รับจากปอดไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย โดยฮีโมโกบิลนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญภายในเม็ดเลือดแดงที่มากที่สุดถึงร้อยละ 90 จะประกอบด้วย ฮีม (Heme) คือส่วนที่เป็นเหล็ก (Iron) และโกลบิน (Globin) คือส่วนที่

เป็นโปรตีน ซึ่งค่าปกติของฮีโมโกลบิน สำหรับชายมีค่า 14-18 กรัม/เดซิลิตร (g/dl) และหญิงมีค่า 12-15 กรัม/เดซิลิตร ส่วนหญิงตั้งครรภ์มีค่า 11-12 กรัม/เดซิลิตร และเด็กมีค่า 14-18 กรัม/เดซิลิตร



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของฮีโมโกลบิน (Marieb & Hoehn, 2016)

2. ฮีมาโตคริต (Hematocrit: Ht) หรืออาจเรียกว่า ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Packed redcell) เป็นอัตราส่วนของเม็ดเลือดแดงต่อปริมาณเลือดทั้งหมด สำหรับชายมีค่า 42-45% และหญิงมีค่า 37-48% ซึ่งค่าฮีมาโตคริตจะสูงผิดปกติในกรณีได้รับสารเหลวน้อยหรือมีการสูญเสียสารเหลวมาก เช่น ภาวะที่ไขกระดูกผลิตเซลล์เม็ดเลือดในจำนวนที่มากผิดปกติ ทำให้เลือดข้น (Polycythemia) ขึ้น โรคปอดและหัวใจ ขึ้นที่สูงว่าระดับน้ำทะเล สูบบุหรี่จัด และมะเร็งตับหรือไต ส่วนค่าฮีมาโตคริตต่ำผิดปกติ เช่น โรคโลหิตจางจากการขาดโฟเลต ขาดวิตามินบี 12 ขาดธาตุเหล็ก เกิดความผิดปกติของเม็ดเลือดแดงรูปแบบต่าง ๆ และเกิดภาวะสูญเสียเลือดเฉียบพลันหรือเรื้อรัง

3. ดัชนีเม็ดเลือดแดง (Red blood cell indices) เป็นค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้บอกลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยขนาดของเม็ดเลือดแดงจะสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยปริมาตรของเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular volume: MCV) ซึ่งคำนวณได้จากค่าฮีมาโตคริตหารด้วยจำนวนเม็ดเลือดแดง มีค่าปกติอยู่ที่ 80-100 เฟมโตลิตร (fl) ถ้าเม็ดเลือดแดงมีขนาดตรงกลางน้อยกว่า 1/3 หรือมีค่า MCV น้อยกว่า 80 เฟมโตลิตร แสดงว่า เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็กผิดปกติ เรียกว่า ไมโครไซต์ (Microcyte) หากขนาดตรงกลางมากกว่า 1/3 หรือ MCV มากกว่า 100 เฟมโตลิตร แสดงว่า เม็ดเลือดแดงมีขนาดใหญ่ผิดปกติ เรียกว่า ไมโครไซต์ (Macrocyte) และภายในเซลล์เม็ดเลือดแดงนั้นจะมีฮิโมโกลบินเป็น

องค์ประกอบมากที่สุด ซึ่งวัดค่าเฉลี่ยของน้ำหนักฮีโมโกลบินได้จากค่าเฉลี่ยปริมาณของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular hemoglobin: MCH) มีค่าปกติอยู่ที่ 27-33 พิโคกรัม/เซลล์ (pg/cell) ถ้าค่า MCH ต่ำกว่าปกติ แสดงว่า เม็ดเลือดแดงมีปริมาณฮีโมโกบินน้อยกว่าปกติ ทำให้เม็ดเลือดแดงติดสีจาง (Hypochromia) พบได้ในกรณีที่เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็ก เช่น โรคโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก ธาลัสซีเมีย พิษของตะกั่ว และโลหิตจางประเภท Sideroblastic anemia ที่มีภาวะเหล็กเกินกว่าปกติ หรือโลหิตจางเรื้อรังจากโรคอื่น ๆ แต่ถ้าค่า MCH สูงว่าปกติ แสดงว่า เซลล์เม็ดเลือดแดงมีปริมาณฮีโมโกลบินมากกว่าปกติ ซึ่งพบในเม็ดเลือดแดงขนาดใหญ่ (Macrocytosis) เช่น โรคโลหิตจางประเภท Hemochromatosis ที่มีภาวะเหล็กเกินกว่าปกติ นอกจากนี้ มีการวัดค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular hemoglobin concentration: MCHC) ที่สามารถคำนวณจากค่า MCH/MCV หรือ Hb/Hct ซึ่งจะมีค่าปกติอยู่ที่ 33-36 กรัม/เดซิลิตร (g/dl)

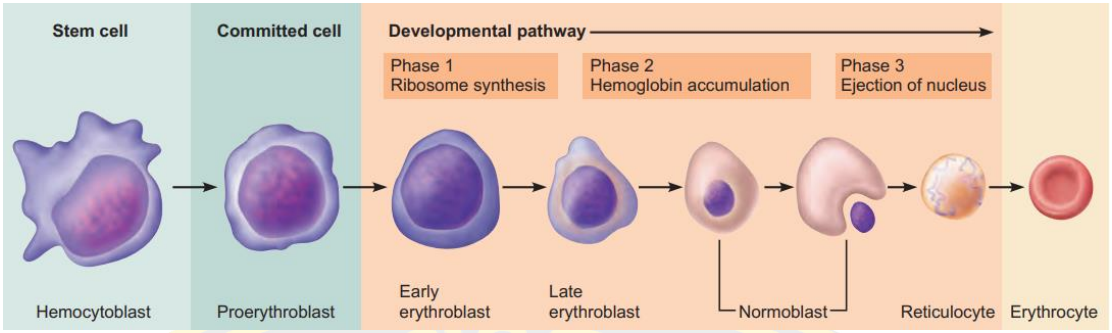
ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติจำเพาะของเม็ดลือดแดง (ตรีทิพย์ รัตนวรชัย, 2555)

องค์ประกอบของเม็ดเลือดแดง	เพศชาย	เพศหญิง
- ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin: Hb)	13-16 g/dl	11-15 g/dl
- ปริมาณเม็ดเลือดแดง (Red blood cell: RBC count)	4.2-5.4×10^6/µl	3.6-4.5×10^6/µl
- ฮีมาโตคริต (Hematocrit: Hct)	38-48%	32-43%
- ค่าเฉลี่ยปริมาตรของเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular volume: MCV)	82-96 fl	80-98 fl
- ค่าเฉลี่ยปริมาณเฉลี่ยของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular hemoglobin: MCH)	28-33 pg	27-34 pg
- ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular hemoglobin concentration: MCHC)	32-36 g/dl	32-36 g/dl
- เรติคูโลไซต์ (Reticulocyte)	10-100×10^3 cell/mm^3	10-100×10^3 cell/mm^3

การสร้างเม็ดเลือดแดง

การสร้างเม็ดเลือดแดง (Erythropoiesis) จะถูกควบคุมจากระดับออกซิเจนในกระแสเลือด หากมีระดับลดลง จะไปกระตุ้นไต (Kidney) ให้หลั่งฮอร์โมนอิริทโทรโพอิติน (Erythropoietin: EPO) ออกมา แล้วจึงเข้าสู่ไขกระดูกส่วนที่มีสีแดง (Red bone marrow) เพื่อไปกระตุ้นให้มีการสร้างเม็ดเลือดแดงจากเซลล์ต้นกำเนิด (Stem cell) สำหรับทารกที่อยู่ในครรภ์ ช่วงแรก ๆ การสร้างเม็ดเลือด

แดงจะเกิดขึ้นที่เซลล์เนื้อเยื่อตัวอ่อน (Mesodermal cell) ภายในถุงไข่แดง (Yolk sac) เมื่ออายุครรภ์ได้ประมาณ 3-4 เดือน การสร้างเม็ดเลือดแดงจะเปลี่ยนไปอยู่ที่ม้ามและตับ หลังจากอายุครรภ์ 7 เดือนไปแล้ว การสร้างเม็ดเลือดแดงจะเกิดขึ้นที่ไขกระดูกเพียงแหล่งเดียว ซึ่งทารกและเด็กเล็กการสร้างเม็ดเลือดแดงจะเกิดขึ้นในไขกระดูกของกระดูกทุกชิ้น ต่อมาการสร้างเม็ดเลือดแดงจะถูกจำกัดในกระดูกบางชิ้น เช่น กระดูกแขน กระดูกขา กระดูกเชิงกราน และกระดูกหน้าอก ฯลฯ อย่างไรก็ตาม ในคนที่เป็นโรคเลือดบางชนิดการสร้างเม็ดเลือดแดงอาจกลับมาสร้างที่ม้ามและตับได้อีกครั้ง เรียกว่า การสร้างเม็ดเลือดแดงนอกไขกระดูก (Extramedullary erythropoiesis) ในการสร้างเม็ดเลือดแดงจากเซลล์ต้นกำเนิดจะมีเม็ดเลือดแดงตัวอ่อนในการสร้างคือ โพรอิริทโทรบลาสต์ (Proerythroblast) ขนาด 14-19 ไมครอน มีอายุประมาณ 0.5 วัน แล้วแบ่งตัวแบบไมโทซีส (Mitosis) ได้เป็นเบโซฟิลิกอิริกโทรบลาสต์ (Basophilic erythroblast) ขนาด 12-17 ไมครอน มีอายุประมาณ 0.8 ซึ่งในระยะโพรอิริทโทรบลาสต์และระยะเบโซฟิลิกอิริโทรบลาสต์ เซลล์นิวเคลียสจะมีปริมาตรประมาณ 900 เฟมโตลิตร โดยร้อยละ 70 ของน้ำหนักทั้งหมดจะเป็นน้ำหนักของนิวเคลียส จากนั้นจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ระยะโพลีโครมาโทรฟิลิกอิริทโทรบลาสต์ (Polychromatophilic erythroblast) ขนาด 12-15 ไมครอน มีอายุประมาณ 1.3 วัน ในระยะนี้จะเริ่มเห็นสีที่ปรากฏขึ้นของฮีโมโกลบิน เรียกว่า ออโทโครมาติกอิริทโทรบลาสต์ (Orthochromatic erythroblast) ขนาด 8-12 ไมครอน มีอายุประมาณ 2 วัน เป็นการแบ่งตัวแบบไมโทซีส 4 ครั้ง ใช้เวลาในการแบ่งตัวประมาณ 12-20 ชั่วโมง และจะมีการหยุดพักระหว่างไมโทซีส 20 นาที ดังนั้น โพรอิริทโทรบลาสต์ 1 ตัว จะมีการแบ่งตัวได้เป็นออโทโครมาติกอิริทโทรบลาสต์ถึง 16 ตัว หลังจากนี้จะไม่มีการแบ่งตัวอีก แต่จะมีการเจริญเติบโตและเปลี่ยนแปลงรูปร่าง พร้อมทั้งมีการปลดปล่อยนิวเคลียส ไมโตรคอนเดรีย ไรโบโซม และกอลไจแอพพาราตัสออกไปได้เป็นเซลล์เม็ดเลือดแดงอ่อน เรียกว่า เรติคูโลไซต์ (Reticulocyte) ขนาด 7-10 ไมครอน ซึ่งจะมีอาร์เอ็นเอ (RNA) ค้างอยู่และจะติดเป็นสีน้ำเงิน บางทีเรียกว่า โพลีโครมาเซีย (Polychromasia) ซึ่งเซลล์เม็ดเลือดแดงอ่อนจะอยู่ไขกระดูกประมาณ 1-2 วัน ก่อนปล่อยสู่กระแสเลือดและอยู่ได้ประมาณ 1-2 วัน แล้วจึงเจริญต่อเป็นเม็ดเลือดแดงที่โตเต็มวัย (Mature red blood cell) ขนาด 7-8 ไมครอน รวมระยะเวลาในการสร้าง 7-10 วัน ซึ่งเม็ดเลือดแดงที่โตเต็มวัยจะไม่มีทั้งนิวเคลียส ไมโตรคอนเดรีย ไรโบโซม ไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้อีก ไม่มีการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน และไม่มีกระบวนการของวัฏจักรเครบส์ ในคนปกติเม็ดเลือดแดงจะมีอายุ 120 วัน หลังจากนั้นจะถูกทำลายโดยระบบ Reticuloendothelial system ที่ม้าม ตับ และ ไขกระดูก (ตรีทิพย์ รัตนวรชัย, 2555)



ภาพที่ 2-10 ลำดับการสร้างเม็ดเลือดแดง (Marieb & Hoehn, 2016)

การทำลายเม็ดเลือดแดง

ในภาวะปกติเม็ดเลือดแดงจะมีอายุเฉลี่ยประมาณ 120 วัน ในระหว่างการเคลื่อนที่อยู่ในหลอดเลือดเม็ดเลือดแดงจะมีการเสียดสีกับหลอดเลือดและสัมผัสกับสารเคมีต่าง ๆ ที่มีผลทำให้เม็ดเลือดแดงเสื่อม ซึ่งปกติอัตราการสร้างเม็ดเลือดแดงจะเท่ากับอัตราการทำลาย (ประมาณร้อยละ 1 ของปริมาณเม็ดเลือดแดงทั้งหมดต่อวัน) ถ้าอัตราการสร้างเม็ดเลือดแดงสูงกว่าอัตราการทำลายมีผลทำให้ปริมาณเม็ดเลือดแดงสูงขึ้นและมีความหนาแน่นมาก (Polycythemia) แต่ถ้าอัตราการสร้างต่ำกว่าอัตราการทำลายจะมีผลให้เกิดภาวะโลหิตจาง (Anemia) เม็ดเลือดแดงที่มีอายุมากจะถูกทำลายในระบบเอนโดทีเลียลและส่วนใหญ่ถูกทำลายที่ม้าม โดยฮีโมโกลบินจะแตกตัวออกเป็นฮีมและโกลบิน ซึ่งฮีมจะถูกเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารชื่อ บิลิเวอร์ดิน (Biliverdin) ต่อมาเปลี่ยนเป็นสารชื่อ บิลิรูบิน (Bilirubin) และเข้าสู่ตับแล้วออกมากับน้ำดีสู่ลำไส้เล็ก ซึ่งบางส่วนถูกดูดซึมกลับเข้าสู่กระแสเลือดแล้วถูกขับออกที่ไตปนออกมากับปัสสาวะ (ตรีทิพย์ รัตนวรชัย, 2555)

การตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด

การตรวจวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (Compete blood count: CBC) จะเป็นการตรวจเพื่อคัดกรองสุขภาพ ติดตามผลการรักษา และวินิจฉัยโรค โดยเฉพาะโรคทางโลหิตวิทยาหรือโรคที่จะมีการเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยา ซึ่งปัจจุบันมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดด้วยเครื่องวิเคราะห์เลือดอัตโนมัติ (Automatic blood analyzer) ที่วัดได้จากความต้านทานไฟฟ้า (Electrical impedance) และการกระจายของแสง (Light scattering) ซึ่งสามารถทำการทดสอบรายการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเม็ดเลือด ได้แก่ จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell count) จำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว (White blood cell count) ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ปริมาณฮีมาโตคริต (Hematocrit) และดัชนีเม็ดเลือดแดง (Red blood cell indices) เป็นต้น การตรวจวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดทำให้ทราบถึงสภาวะสุขภาพความเสี่ยงต่อการเกิดโรค ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ ในการเก็บเลือดเพื่อตรวจสามารถทำได้ด้วยการ

เจาะเลือดจากเส้นเลือดดำบริเวณข้อแขนหรือข้อมือ จำนวนเลือด 2.5-3 มิลลิลิตร และเก็บเลือดไว้ในหลอดที่บรรจุสารกันเลือดแข็งตัวที่เรียกว่า อีดีทีเอ (EDTA) ตามสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นนำเลือดที่เก็บได้ไปตรวจวิเคราะห์ ซึ่งปัจจุบันนี้การตรวจวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีการดังนี้ (สิงห์คำ ธิมา, 2552)

1. วิธีการตรวจโดยนำเลือดมาตรวจบนแผ่นสไลด์แล้วทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจวิเคราะห์และนำเลือดบางส่วนมาปั่นเพื่อหาค่าความเข้มข้นของเลือด (ปริมาณฮีโมโกลบินหรือเม็ดเลือดแดงอัดแน่น) ส่วนการตรวจเม็ดเลือดขาวก็นำมาผ่านกรรมวิธีทำลายเม็ดเลือดแดงก่อนแล้วจึงเอามาใส่แผ่นสไลด์แล้วทำการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจวิเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะมีข้อดีคือเป็นวิธีที่ยอมรับกันในวงการแพทย์ทั่วโลก ส่วนข้อเสียคือ ใช้เวลาในกรณีที่ต้องตรวจเป็นจำนวนมาก เช่น ในการตรวจสุขภาพประจำปีเป็นหมู่คณะ เป็นต้น

2. วิธีตรวจด้วยการประมาณ เป็นวิธีที่ใช้หลักการเดียวกับวิธีที่ 1 แต่ตัดขั้นตอนที่ละเอียดและใช้เวลาน้อยลง โดยการนำเลือดมาปั่นหาค่าความเข้มข้นของเลือดและดูจากแผ่นสไลด์เท่านั้น ซึ่งปริมาณเม็ดเลือดขาวที่ได้ก็เป็นการประมาณการค่า ซึ่งจะมีข้อดีคือ ประหยัดค่าใช้จ่าย ส่วนข้อเสียคือ ไม่สามารถเป็นตัววินิจฉัยหรือคัดกรองได้ และมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดได้หากตรวจเป็นจำนวนมาก และยังไม่มีหลักฐานว่าเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์

3. วิธีตรวจด้วยเครื่องวิเคราะห์เลือดอัตโนมัติ เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อรองรับ การตรวจการตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดที่มีตัวอย่างเลือดจำนวนมากที่ต้องการตรวจ ซึ่งจะมีข้อดีคือ สามารถรายงานค่าองค์ประกอบของเลือดได้ละเอียดมาก 18-22 ค่า แต่ก็ยังมีข้อจำกัดถ้ามีผลการตรวจที่ผิดปกติต้องตรวจซ้ำโดยวิธีที่ 1 เพราะการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูรูปร่าง ลักษณะการติดสีของเม็ดเลือดนั้น คอมพิวเตอร์ยังไม่สามารถทำแทนมนุษย์ได้ ส่วนข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีการที่ 1 และวิธีการที่ 2

ข้อพิจารณาอย่างหนึ่งในการตรวจวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดคือ การตรวจจะต้องทำให้เสร็จสิ้นไม่เกิน 24 ชั่วโมง หลังเจาะเลือดมาแล้ว แม้จะมีการใส่สารกันเลือดแข็งตัวมาแล้วก็ตาม เนื่องจากเม็ดเลือดที่ออกมานอกร่างกายจะค่อย ๆ เล็กลงและแตกสลายไป

การตรวจความสมบูรณ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเม็ดเลือดแดง

การตรวจวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดแดงเป็นประโยชน์อย่างมากทางการแพทย์ ซึ่งการตรวจวิเคราะห์และการแปลผลค่าข้อมูลที่ถูกต้องจะช่วยให้สามารถวินิจฉัยแยกสาเหตุ และภาวะของโรคต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี โดยทำการทดสอบรายการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเม็ดเลือดแดงดังนี้ (นภชาญ เอื้อประเสริฐ และจันทนา ผลประเสริฐ, 2560)

1. การวิเคราะห์นับจำนวนเม็ดเลือดแดง (Red blood cell count: RBC count) เป็นการตรวจวิเคราะห์นับจำนวนเม็ดเลือดแดงในร่างกายว่ามีจำนวนเท่าไร ซึ่งผลที่ได้จะนำมาใช้ในการวินิจฉัยว่าเป็นโรค หรือใช้ติดตามการรักษาได้ อาทิเช่น โรคโลหิตจากธาลัสซีเมีย การขาดธาตุเหล็ก เป็นต้น นอกจากนี้ การตรวจนับจำนวนเม็ดเลือดแดงสามารถบอกได้ว่าร่างกายมีการสร้างหรือมีการทำลายเม็ดเลือดแดงมากขึ้นหรือน้อยลงได้

2. การตรวจหาปริมาณฮีมาโตคริต (Hematocrit: Hct) เป็นการตรวจวิเคราะห์ว่าร่างกายมีเม็ดเลือดแดงเพียงพอหรือไม่ หากไม่เพียงพอก็จะก่อให้เกิดภาวะโลหิตจาง เช่น ในภาวะช็อค หรือขาดน้ำอย่างรุนแรง ซึ่งค่าฮีมาโตคริตจะเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่มีการสร้างเม็ดเลือดแดงน้อยลง หรือมีการแตกสลายของเม็ดเลือดแดงที่น้อยลง ค่าฮีมาโตคริตจะน้อยลงด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณฮีมาโตคริตไม่ได้บอกสาเหตุของโรค แต่บอกเพียงความผิดปกติของปริมาณเม็ดเลือดแดง

3. การตรวจหาปริมาณฮีโมโกลบิน (Hemoglobin: Hb) เป็นตรวจวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง โดยปกติฮีโมโกลบินจะทำหน้าที่นำออกซิเจนจากปอดไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย และนำคาร์บอนไดออกไซด์กลับไปฟอกที่ปอด หากพบว่าปริมาณฮีโมโกลบินลดลงอาจแสดงถึงภาวะโลหิตจาง การเสียเลือดในปริมาณสูง หรือการสลายของเม็ดเลือดแดง เป็นต้น

4. การคำนวณค่าดัชนีเม็ดเลือดแดง (Red blood cell indices: RBC indices) เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยของขนาด ปริมาณ และความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน จากตรวจวิเคราะห์ด้วยการนับค่าจำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีมาโตคริต และฮีโมโกลบิน ในปัจจุบันการตรวจด้วยเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติจะมีการคำนวณและรายงานค่าต่าง ๆ ดังนี้ (มัณณพร ทิพย์ปาละ, 2560)

4.1 ค่าเฉลี่ยปริมาตรของเม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular volume: MCV) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$MCV\ (fl) = Hct\ (\%) \times 10 \div RBC\ count \times (10^{12}/l)$$

4.2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของฮีโมโกลบิน (Mean corpuscular hemoglobin: MCH) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$MCH\ (pg) = Hb\ (g/dl) \times 10 \div RBC\ count \times (10^{12}/l)$$

4.3 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Mean corpuscular hemoglobin concentration: MCHC) จากสมการดังต่อไปนี้

MCHC (g/dl) = Hb (g/dl) x 100 ÷ Hct (%)

เม็ดเลือดแดงกับการออกกำลังกายและการฝึกซ้อม

ในผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำและนักกีฬาที่ฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอ จะช่วยให้เม็ดเลือดแดงและปริมาณฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้น ซึ่งฮีโมโกลบินเป็นโปรตีนสำคัญของเม็ดเลือดแดงในการขนส่งและลำเลียงออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อ (Lundby, Montero, & Joyner, 2017) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Montero and Lundby (2019) และ Prommer et al. (2018) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกความอดทนที่มีต่อฮีโมโกลบินในนักกีฬาเยาวชน ผลการศึกษาพบว่า นักกีฬาเยาวชนที่ได้รับการฝึกความอดทนมากกว่า 4 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ จะมีปริมาณฮีโมโกลบินมากกว่าเยาวชนที่ไม่ได้รับการฝึกร้อยละ 7-10 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Montero et al. (2015) ที่ได้ศึกษาผลของการฝึกความอดทนที่ความหนักระดับปานกลาง กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัคร เพศชาย อายุ 25 ปี โดยทำการฝึกด้วยการปั่นจักรยานวัดงาน 60 นาที ที่ความหนักร้อยละ 65 ของพลังสูงสุดที่ทำได้ (Peak power output) ฝึก 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกความอดทนที่ความหนักระดับปานกลาง (ความหนักร้อยละ 65 ของพลังสูงสุดที่ทำได้) ช่วยพัฒนาให้พลังสูงสุดที่ทำได้ ค่าสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที ค่าความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในเลือดแดงและเลือดดำ ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง ปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต ความหนาแน่นของไมโตรคอนเดรีย และการแตกแขนงของหลอดเลือดฝอยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม Hu and Lin (2012) ได้กล่าวว่า การฝึกความอดทนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง (Anemia) ขึ้นในนักกีฬา โดยฉพาะกีฬาที่ต้องใช้ความอดทนสูงในขณะฝึกซ้อมและแข่งขัน เช่น วิ่งระยะไกล ว่ายน้ำระยะไกล และปั่นจักรยานระยะไกล เป็นต้น ซึ่ง Eichner (2018) ได้กล่าวว่า ภาวะโลหิตจางพบได้บ่อยในนักกีฬาประเภทอดทน เนื่องจากนักกีฬาต้องการออกซิเจนจำนวนมาก ทำให้ร่างกายปรับตัวด้วยการดึงน้ำในร่างกายมาเก็บไว้ในกระแสเลือดเพื่อช่วยให้ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด สามารถขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อทำการตรวจวัดความสมบูรณ์เม็ดเลือดแดงจะพบว่ามีขนาดปกติ แต่ค่าความเข้มข้นของเลือดจะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Liu et al. (2018) ที่ได้ศึกษาภาวะเลือดข้นและภาวะโลหิตจางหลังจากการวิ่งอัลตร้ามาราธอน 24 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาอัลตร้ามาราธอนที่ลงทำการแข่งขันวิ่ง Taipei 24 hours Ultra Marathon festival 2015 ผลการศึกษาพบว่า การวิ่งอัลตร้ามาราธอน

ทำให้ปริมาณเฮพโตโกลบิน เม็ดเลือดแดง ปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของเนื้อฮีโมโกลบินในแต่ละเซลล์ของเม็ดเลือดแดง และปริมาณน้ำเลือดในร่างกายลดลงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ภาวะเลือดข้น และปริมาณพลาสมาเฟอร์ริตินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น กีฬาที่ต้องใช้ความอดทนสูงในขณะแข่งขันอาจก่อให้เกิดภาวะเลือดข้นและภาวะโลหิตจางในนักกีฬาได้ ซึ่ง Lippi and Sanchis-Gomar (2019) ได้กล่าวว่า การวิ่งมาราธอนเป็นกีฬาหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการวิ่งกระแทกเท้า (Foot strike) อย่างแรงกับพื้น ทำให้หลอดเลือดฝอยที่เท้าต้องรับแรงกระแทกนี้ด้วย ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของเม็ดเลือดแดง และถ้าเม็ดเลือดแดงแตกตัวมากจะพบการขับฮีโมโกลบินออกมาทางปัสสาวะด้วย

จากข้อมูลสรุปได้ว่า ผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำและนักกีฬาที่ฝึกซ้อมสม่ำเสมอด้วยระดับความหนักของงานที่เหมาะสมจะช่วยพัฒนาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเม็ดเลือดแดงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเม็ดเลือดแดงนี้จะทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อในขณะฝึกซ้อมและแข่งขัน ดังนั้น เม็ดเลือดแดงจึงเป็นตัวบ่งชี้สำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถของนักกีฬา โดยเฉพาะกีฬาที่ต้องใช้ความอดทนสูงในขณะฝึกซ้อมและแข่งขัน หากนักกีฬาคนใดมีความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดแดงอยู่ในระดับสูงย่อมได้เปรียบคู่แข่งขัน

หลักการฝึกซ้อมกีฬา

หลักการฝึกซ้อมกีฬา (Principles of training) เป็นหลักการสำคัญทางด้านสรีรวิทยา (Physiological principles) ที่บรรดาผู้ฝึกสอนและนักกีฬาทั่วไปควรทำความเข้าใจ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมและการพัฒนาความสามารถให้กับนักกีฬาอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งช่วยลดปัญหาความเจ็บป่วย (Illness) และการบาดเจ็บ (Injury) ของนักกีฬา เนื่องจากหลักการ (Principles) คือ รากฐานขององค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า ทดลอง และวิจัย (Research studies) จนเกิดความเข้าใจอย่างถ่องแท้ลึกซึ้ง (Insights) ของบรรดาผู้ฝึกสอนกีฬาที่มีความรู้ความสามารถและผ่านประสบการณ์ในการฝึกปฏิบัติจนประสบความสำเร็จ (Successful coaches) ด้วยเหตุนี้ ผู้ฝึกสอนกีฬาและนักกีฬาที่ปรารถนาจะประสบผลสำเร็จจึงควรตระหนักถึงความสำคัญโดยนำหลักการต่าง ๆ มาเป็นบรรทัดฐานในการปรับปรุงความสามารถเพื่อเพิ่มศักยภาพให้กับตนเอง ตลอดจนช่วยแนะนำผู้อื่นให้เกิดความรู้ความเข้าใจตรงกัน โดยมุ่งเน้นไปสู่การพัฒนาปรับปรุงแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลง (Adaptation) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการตอบสนองต่อการฝึกของนักกีฬาให้มีมาตรฐานสูงขึ้นเป็นรายบุคคล(Individual response of training) ซึ่งประกอบด้วยหลักการฝึกซ้อมที่สำคัญดังต่อไปนี้ (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

1. หลักของความพร้อมในการฝึก (Principle of readiness)

ประโยชน์หรือคุณค่าของการฝึกจะเกิดขึ้นและได้ผลมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความพร้อมทางด้านร่างกายและจิตใจของนักกีฬาแต่ละบุคคลที่เข้ารับการฝึก เนื่องจากความพร้อมของร่างกายเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตเต็มที่ของร่างกาย (Maturation) นักกีฬาที่เป็นเด็กหรือเยาวชนจะมีสภาพร่างกายที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ดังนั้น ความพร้อมในการตอบสนองต่อการฝึกของร่างกายจึงไม่สามารถบังเกิดผลได้อย่างสมบูรณ์ การฝึกที่หนักมากเกินวัยหรือหนักเกินกว่าที่ร่างกายจะรับได้นอกจากไม่ช่วยพัฒนาความสามารถในระยะยาวแล้ว ยังยับยั้งพัฒนาการและการเจริญเติบโตของร่างกายด้วย หลักการของความพร้อมในที่นี้ ยังหมายความรวมไปถึงความจำเป็นของร่างกายที่ต้องได้รับสารอาหารจากการรับประทานอาหารที่มีคุณภาพและการพักผ่อนอย่างเพียงพอ เพื่อให้บังเกิดประโยชน์สูงสุดต่อร่างกาย ด้วยเหตุนี้ ผู้ฝึกสอนกีฬาที่ดีจึงจำเป็นต้องศึกษา เรียนรู้ พัฒนาการและการเจริญเติบโตของร่างกายในนักกีฬาเด็กหรือเยาวชนแต่ละวัย เพื่อจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับพัฒนาการและความเปลี่ยนแปลงของเด็กในแต่ละวัย

2. หลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพร่างกายในการฝึก (Principle of adaptation)

การฝึกมีอิทธิพลเหนี่ยวนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของร่างกายที่ละเอียดซับซ้อน ขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการฝึกซ้อมว่า ต้องการให้ร่างกายเกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงในด้านใด ในทุก ๆ วันของการฝึกซ้อมหรือออกกำลังกายจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่มองด้วยตาไม่เห็นและไม่สามารถที่จะวัดผลได้ จนกระทั่งเวลาผ่านไปเป็นสัปดาห์ เป็นเดือน หรือแม้กระทั่งเป็นปี ซึ่งเป็นการรอคอยด้วยความคาดหวังเพื่อต้องการที่จะวัดผลสำเร็จของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับร่างกายว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการหรือไม่ หากผู้ฝึกสอนกีฬาต้องการเร่งรัดที่จะให้ปรากฏผลหรือการเปลี่ยนแปลงต่อร่างกายโดยเร็วด้วยการฝึกซ้อมอย่างหนักหรือหักโหมมากเกินไป นักกีฬายอมมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดการเจ็บป่วยหรือเกิดการบาดเจ็บ หรือเกิดขึ้นทั้งสองอย่างในเวลาเดียวกันได้ หลักการของการเปลี่ยนแปลงสภาพร่างกาย จะคอยบอกหรือเตือนให้ผู้ฝึกสอนกีฬาตระหนักไว้เสมอว่าไม่ควรเร่งรัดหรือหักโหมทำการฝึกซ้อมหนักและมากเกินไป (Rush training) หรือพยายามรวบรัดทำทุกสิ่งทุกอย่างในวลาเดียวกัน ซึ่งจะเป็นผลเสียหรือก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพและการบาดเจ็บที่เป็นอันตรายกับนักกีฬามากกว่าผลดี ด้วยเหตุนี้ การฝึกซ้อมจึงควรเริ่มจากง่ายไปยาก จากเบาไปหนัก หรือจากน้อยไปมาก และค่อยเป็นค่อยไปตามลำดับของขั้นตอนการฝึก เพื่อให้ร่างกายได้มีเวลาในการพัฒนา สร้างเสริม ซ่อมแซม และฟื้นฟูศักยภาพความสามารถให้กับตนเอง

3. หลักของการตอบสนองต่อการฝึกในแต่ละบุคคล (Principle of individual response)

ร่างกายนักกีฬาหรือคนแต่ละคนมีการตอบสนองต่อการฝึกสิ่งเดียวกันแตกต่างกัน เหตุผลที่ทำให้การตอบสนองในแต่ละบุคคลต่อการฝึกเกิดความต่างกันก็คือ พันธุกรรม วุฒิภาวะหรือความพร้อมของร่างกาย ปัจจัยทางด้านสรีรวิทยา โภชนาการ การพักผ่อน การนอนหลับ ระดับสมรรถภาพทางกาย อายุการฝึก ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม ความเจ็บป่วย การบาดเจ็บ แรงจูงใจในการฝึกซ้อม และวิถีการดำรงชีวิตของแต่ละบุคคล ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล เป็นผลให้การตอบสนองของร่างกายต่อการฝึกสิ่งเดียวกันแตกต่างกัน อาทิเช่น นักกีฬาที่มีสัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Fast-twitch muscle fibers) มากกว่า จะแสดงให้เห็นถึงผลของความเปลี่ยนแปลงหรือประโยชน์ที่ได้รับจากการฝึกความแข็งแรงด้วยน้ำหนัก (Weight training) ชัดเจนมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการฝึกความอดทน ในขณะเดียวกันนักกีฬาที่มีสัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดช้า (Slow-twitch muscle fibers) มากกว่า จะแสดงให้เห็นถึงผลของความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการฝึกความอดทน (Endurance training) ชัดเจนมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการฝึกความแข็งแรง เป็นต้น

นักกีฬาบางคนอาจจะมีการตอบสนองต่อการฝึกด้านความอดทนดีกว่านักกีฬาคนอื่น ถึงกระนั้นก็ไม่มีอะไรเป็นสิ่งที่จะยืนยันหรือรับรองได้ว่า ผู้ที่ได้รับการฝึกความอดทนมาเป็นอย่างดี จะก้าวไปสู่การเป็นผู้ที่มีความสามารถสูงสุง (Best performance) ดังนั้น ผู้ฝึกสอนกีฬาจะต้องเป็นผู้คอยชี้แนะแนวทางในการฝึกและการปฏิบัติตนให้กับนักกีฬาด้วยความพิถีพิถันรอบรู้ และเตรียมการวางแผน จัดทำโปรแกรมการฝึกซ้อมให้ครอบคลุมและเหมาะสมกับจุดมุ่งหมาย และระดับความสามารถของนักกีฬาแต่ละบุคคล

เนื่องจากความสามารถในการตอบสนองต่อการฝึกของนักกีฬาแต่ละคนจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับระดับสมรรถภาพทางกาย และลักษณะเฉพาะทางด้านสรีวิทยาของแต่ละบุคคล (Physiological characteristics) ตั้งแต่เริ่มแรกที่ทำการฝึกซ้อม ซึ่งเป็นที่รู้กันในหมู่ผู้ฝึกสอนกีฬาที่มีความรู้ความสามารถว่า การเปลี่ยนแปลงความสามารถของนักกีฬาจะเกิดขึ้นอย่างมากเมื่อพื้นฐานสมรรถาพทางกายของนักกีฬาอยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้ นักกีฬาบางคนต้องการเวลาในการพักฟื้นสภาพร่างกาย หลังการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันอย่างหนักมากกว่านักกีฬาคนอื่น โดยเฉพาะนักกีฬาที่มีอายุมาก ด้วยเหตุนี้ ผู้ฝึกสอนกีฬาจึงควรตระหนักถึงหลักการของข้อนี้ ด้วยการลดความหนักในการฝึกลงหรือเพิ่มระยะเวลาพักให้นานขึ้นสำหรับนักกีฬาที่ยังมีอาการเมื่อยล้าสะสม

4. หลักของความหนักในการฝึกมากกว่าปกติ (Principle of overload)

การฝึกซ้อมจะต้องกำหนดจุดมุ่งหมายหรือความต้องการที่จะให้บังเกิดผลการพัฒนาเปลี่ยนแปลงร่างกายอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะระบบไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ ระบบกล้ามเนื้อ ระบบประสาท และระบบพลังงาน เพื่อให้เกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการ (Desired adaptation) ดังนั้น จุดเริ่มต้นของการฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกาย ผู้ฝึกสอนกีฬาจะต้องกระตุ้นให้นักกีฬาออกแรงเคลื่อนไหวมากเกินกว่าที่เคยปฏิบัติในกิจวัตรประจำวัน เพราะเหตุว่าร่างกายจะเกิดการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงความก้าวหน้าขึ้นต่อเมื่อมีการเพิ่มความหนักหรือภาระงานในการฝึกมากกว่าปกติ อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอและเป็นระบบ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือการพัฒนา ด้วยปัจจัยที่มีควาวมสัมพันธ์ต่อการนำไปสู่ความก้าวหน้าในการฝึกซ้อม 4 ประการ ดังนี้

4.1 ความสม่ำเสมอหรือความถี่ของการฝึกซ้อม (Frequency)

4.2 ความหนักหรือความเข้มข้นของการฝึกซ้อม (Intensity)

4.3 ระยะเวลาหรือความยาวนานของการฝึกซ้อม (Time/Duration)

4.4 รูปแบบหรือประเภทของการออกกำลังกาย (Type of exercise)

ซึ่งปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการกระตุ้นและกดดันร่างกายดังกล่าว เรียกโดยย่อว่า ฟิต (FITT) ที่เรามักจะนำมาใช้พูดเปรียบเทียบถึงความพร้อมทางร่างกายหรือด้านสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาแต่ละบุคคล เพราะถ้าหากการฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกายที่กระทำอยู่เป็นประจำยังคงกระทำเหมือนเดิมสิ่งที่ได้รับจากการฝึกซ้อมก็ยังคงเหมือนเดิม ดังนั้น ในการพัฒนาเพื่อสร้างเสริมให้เกิดความก้าวหน้าหรือมีศักยภาพสูงมากขึ้น ผู้ฝึกสอนกีฬาที่มีความรู้ความสามารถจะต้องมีการปรับเพิ่มความถี่ และความหนักในการฝึก หรือปรับเพิ่มระยะเวลาในการฝึก และปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการฝึกซ้อมหรือประเภทของการออกกำลังกาย (Type of exercise) ให้มีความหลากหลายและเหมาะสมกับระดับความสามารถของนักกีฬาในแต่ละช่วงเวลาของการฝึกซ้อม เพื่อกระตุ้นหรือกดดันให้ร่างกายเกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุประสงค์ หรือเป้าหมายของการฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกายตามที่ต้องการ

5. หลักของความก้าวหน้าในการฝึก (Principle of progression)

การเปลี่ยนแปลงที่ทำให้บรรลุผลสำเร็จนั้น เป็นผลจากการใช้หลักความหนักในการฝึกมากกว่าปกติ และถ้าจะให้การฝึกหรือการออกกำลังกายประสบผลสำเร็จมากยิ่งขึ้น ผู้ฝึกสอนกีฬาที่ดีจะต้องรู้จักการใช้หลักของความก้าวหน้าในการฝึกควบคู่กันไปด้วย อาทิเช่น ถ้าหากปรับเพิ่มความหนักในการฝึกซ้อมมาก หรือเร็วเกินไปโดยที่ร่างกายยังไม่ทันได้ปรับตัว แทนที่จะเกิดผลดีต่อร่างกายกลับทำให้เกิดความล้มเหลว (Breaks down) และมีโอกาสเสี่ยงต่อการตกอยู่ในสภาวะของการฝึกหนักมากเกินไป (Overtraining) หรือใช้ร่างกายมากเกินไป (Overuse) ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บหรือเกิดอาการเจ็บป่วยขึ้นกับนักกีฬา ด้วยเหตุนี้ ผู้ฝึกสอนกีฬาจึงต้องสังเกตุพัฒนาการความเปลี่ยนแปลง

หรือความก้าวหน้าจากการฝึกของนักกีฬาในแต่ละช่วงเวลาของการฝึกซ้อม หรือสังเกตจากการปรับเพิ่มความถี่หรือความบ่อยครั้งในการฝึกซ้อมต่อวัน ต่อสัปดาห์ ต่อเดือน หรือต่อปี การปรับเพิ่มความหนักหรือภาระงานในการฝึกซ้อม (Training load) ต่อวัน ต่อสัปดาห์ ต่อเดือน หรือต่อปี ตลอดจนการปรับเพิ่มระยะเวลา หรือความยาวนานในการฝึกซ้อมเป็นกี่ชั่วโมงต่อวัน ต่อสัปดาห์ ต่อเดือน หรือต่อปี ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำไปสู่การวางแผนและกำหนดโปรแกรมการฝึกซ้อม เพื่อสร้างเสริมพัฒนาสมรรถภาพและศักยภาพความสามารถให้กับนักกีฬาทีละน้อยตามลำดับอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ ในทางตรงกันข้ามการปรับเพิ่มความหนักหรือระยะเวลาในการฝึกซ้อมที่ไม่เหมาะสม มากหรือน้อยเกินไป ยิ่งเวลาผ่านไปนานพัฒนาการหรือความเปลี่ยนแปลงความก้าวหน้าที่เกิดจากการฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกายยิ่งลดลง

6. หลักของการฝึกเฉพาะเจาะจง (Principle of specificity)

การออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมแต่ละอย่างมีคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะที่มีความพิเศษในตัวเองแตกต่างกันไป เมื่อเริ่มทำการฝึกจะเกิดขึ้นการเปลี่ยนแปลงภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fibers) ที่ถูกใช้ออกแรงเพื่อการเคลื่อนไหวในระหว่างออกกำลังกาย การเปลี่ยนแปลงของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการฝึกความอดทน จะมีความเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากการฝึกความแข็งแรง ด้วยเหตุนี้ การกำหนดภาระงานในการฝึกหรือการนำรูปแบบการฝึกใดมาใช้ฝึกให้กับนักกีฬาจะต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งการฝึกแบบเฉพาะเจาะจงจะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่มีความเฉพาะเจาะจง หรือการตอบสนองเฉพาะส่วนที่ได้รับการฝึก (Specific results) เช่น การฝึกความแข็งแรงหรือความอดทนของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) ผลลัพธ์จะเกิดขึ้นเฉพาะกลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า หรือการฝึกทักษะการยิงประตู ผลที่เกิดขึ้นคือ ทักษะในการยิงประตู เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หากผู้ฝึกสอนกีฬามีความเข้าใจในหลักการดังกล่าวนี้อย่างถ่องแท้ ก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมได้อย่างหลากหลายไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งหลักการฝึกเฉพาะเจาะจงมิได้หมายความว่า ห้ามฝึกในสิ่งที่ตรงข้ามกัน หรือหลีกเลี่ยง มิให้กระทำการฝึกในสิ่งที่มีความสัมพันธ์หรือใกล้เคียงกัน ดังนั้น ผู้ฝึกสอนกีฬาจึงควรทำการฝึกกล้ามเนื้อส่วนอื่น หรือกลุ่มกล้ามเนื้อตรงกันข้ามนอกเหนือจากการฝึกกล้ามเนื้อหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการเคลื่อนไหวโดยตรง เพื่อหลีกเลี่ยงความแข็งแรงที่ไม่สมดุลของกล้ามเนื้อที่จะนำสู่ปัญหาในการเคลื่อนไหวและการบาดเจ็บของร่างกาย ด้วยเหตุนี้ ผู้ฝึกสอนกีฬาสามารถทำการฝึกกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่มีส่วนสัมพันธ์หรือเกี่ยวข้องกัน เพื่อสร้างเสริมให้เกิดการพัฒนาและช่วยสนับสนุนให้การทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อหลัก (Primary muscle fibers) สามารถทำงานได้อย่างมีคุณภาพและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม หลักของการฝึกเฉพาะเจาะจงจะสามารถให้ประโยชน์และบังเกิดประสิทธิภาพสูงสุดก็ต่อเมื่อการฝึกมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับกลุ่มกล้ามเนื้อหลัก ทักษะการเคลื่อนไหว (Movement) และระบบพลังงานของกีฬาประเภทนั้น ๆ นอกจากนี้ ภาระงานในการฝึกจะต้องหนัก

พอที่จะทำให้เกิดผลการพัฒนาเปลี่ยนแปลงต่อสมรรถภาพทางกายแต่ละด้านที่จำเป็นสำหรับนักกีฬา ด้วยการกำหนดระดับความหนัก ความเร็ว ระยะทาง รูปแบบการเคลื่อนไหว และการปฏิบัติซ้ำ ๆ ให้เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการใช้ในการแข่งขันของกีฬาแต่ละประเภทนั้น ๆ

7. หลักของความหลากหลายในการฝึก (Principle of variation)

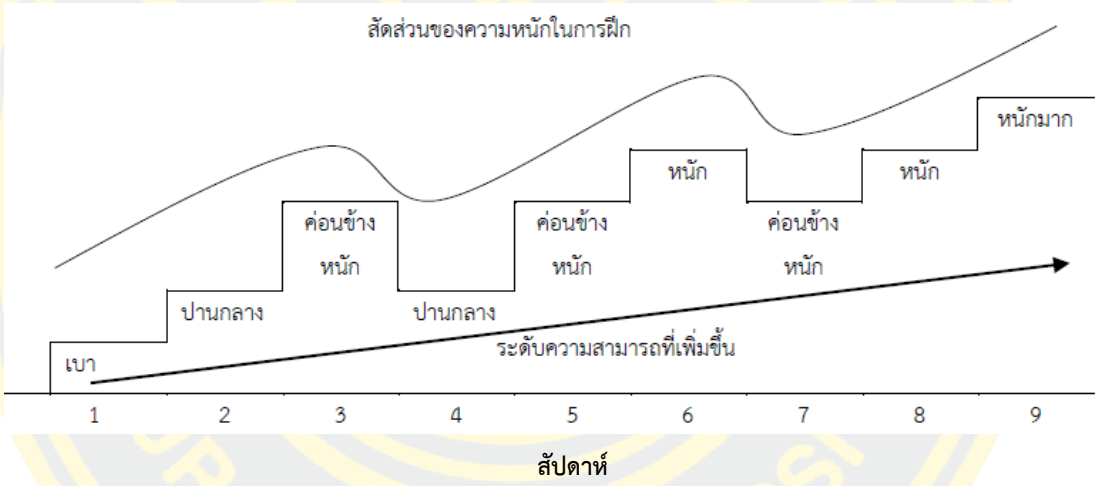
ผู้ฝึกสอนกีฬาควรจัดเตรียมรูปแบบวิธีการฝึกซ้อมไว้อย่างหลากหลาย เพื่อป้องกันความเบื่อหน่ายจากความจำเจซ้ำซากในการฝึกซ้อม ช่วยดึงดูดความสนใจ และสร้างแรงจูงใจให้กับนักกีฬา โดยหลักของความหลากหลายในการฝึกมีองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการ คือ ภาระงานในการฝึกและระยะเวลาในการพัก ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวนี้จะต้องมีสัดส่วนสัมพันธ์กัน เพื่อให้เกิดการชดเชยและสร้างเสริมอย่างเพียงพอ อาทิเช่น การฝึกหนักวันเว้นวัน หรือสัปดาห์เว้นสัปดาห์ เป็นต้น นอกจากนี้ การปรับเปลี่ยนสถานที่ฝึก สภาพแวดล้อมในการฝึก เวลาในการฝึก และวิธีการฝึก ฯลฯ ล้วนแต่มีผลต่อร่างกายแตกต่างกันไป ซึ่งการพัฒนาเปลี่ยนแปลงร่างกายนั้นจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาพักภายหลังเสร็จสิ้นการฝึกหรือการออกกำลังกาย หรือในช่วงของการฝึกซ้อมเบา (Easy) หลังจากผ่านการฝึกซ้อมหนักมาแล้ว (Hard) อย่างไรก็ตาม ความล้มเหลวของการฝึกสามารถสังเกตุได้จากอาการที่เกิดขึ้น หรืออาการที่ปรากฏแก่นักกีฬา เช่น เกิดความเบื่อหน่ายในการฝึก ความสามารถลดลงหรือไม่ได้รับการพัฒนา ขาดสมาธิ เฉื่อยชา ไม่กระตือรือร้น และขาดความมุ่งมั่นทุ่มเทให้กับการฝึก เป็นต้น

การฝึกซ้อมอย่างหนักจะประสบผลสำเร็จมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับนักกีฬาว่ามีช่วงเวลาพักระหว่างการฝึกซ้อมและช่วงเวลาของการพักฟื้นสภาพร่างกายเพียงพอหรือไม่ ซึ่งการใช้หลักของความหลากหลายในการฝึกจะช่วยลดความน่าเบื่อหน่ายหรือความจำเจซ้ำซาก อีกทั้งยังช่วยผ่อนคลายและสร้างแรงจูงใจที่ท้าทายให้กับนักกีฬา รวมทั้งช่วยลดความเครียดความกดดันในการทำงานของร่างกายและจิตใจจากการฝึกซ้อมอย่างหนัก ด้วยเหตุนี้ เมื่อออกแบบโปรแกรมการฝึกหรือกำหนดรูปแบบการฝึกซ้อม ผู้ฝึกสอนกีฬาจะต้องพิจารณารายละเอียดของทักษะทั้งหมดตลอดจนการเคลื่อนไหวที่สำคัญและจำเป็นสำหรับกีฬาประเภทนั้น ๆ ซึ่งทักษะกีฬาและทักษะการเคลื่อนไหวแต่ละทักษะต้องการูปแบบวิธีการฝึกที่หลากหลายและแตกต่างกัน เพื่อสร้างเสริมพัฒนาทักษะความสามารถของนักกีฬาให้ก้าวหน้า หรือบรรลุผลสำเร็จตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

8. หลักของการกำหนดช่วงเวลาหรือวงรอบการฝึกซ้อม (Principle of periodization)

การบรรลุความสำเร็จหรือความสามารถขั้นสูงสุด (Optimal performance) ผู้ฝึกสอนกีฬาควรใช้วิธีการฝึกซ้อมหลากหลายรูปแบบอย่างเป็นระบบ (Training systematically) ด้วยการกำหนดช่วงเวลา หรือวงรอบการฝึกซ้อม (Periodization) ซึ่งจะต้องระบุแผนการดำเนินงานของกระบวนการในการฝึกซ้อม ความหลากหลายของรูปแบบวิธีการที่จะนำมาจัดทำเป็นระบบการฝึกซ้อมในระยะเวลาใดเวลาหนึ่งของวงรอบการฝึกซ้อม ซึ่งผู้ฝึกสอนกีฬาที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ จะสามารถดำเนินการวางแผนจัดทำโปรแกรมการฝึกซ้อมได้หลากหลายรูปแบบ วิธีการ

และหลากหลายระดับความหนักเบาในการฝึกแต่ละวัน แต่ละสัปดาห์ แต่ละเดือน และในแต่ละช่วงเวลาของการฝึกหรือตลอดช่วงอายุของการเป็นนักกีฬา อนึ่งในช่วงระยะเวลาของการฝึกซ้อมวันต่อวันจะมีความกดดันหรือความหนักเบาหลากหลายแตกต่างกัน จากวันที่ฝึกซ้อมเบาไปสู่วันที่ฝึกซ้อมหนัก และในระหว่างช่วงของการฝึกสัปดาห์ต่อสัปดาห์ จะมีการวางแผนการฝึกซ้อมแต่ละสัปดาห์ที่หลากหลายแตกต่างกัน ซึ่งแผนการฝึกซ้อมส่วนใหญ่นิยมใช้วงรอบของการฝึกทุกช่วง 3 สัปดาห์ เช่น สัปดาห์ที่ 1 เริ่มด้วยความหนักหรือภาระงานในการฝึกที่ระดับค่อนข้างเบาถึงปานกลาง สัปดาห์ที่ 2 ปรับความหนักเพิ่มขึ้นที่ระดับปานกลางถึงค่อนข้างหนัก และในสัปดาห์ที่ 3 เป็นช่วงปรับความหนักสู่ระดับสูงสุดของวงรอบ ส่วนสัปดาห์ที่ 4 เข้าสู่วงรอบใหม่ ควรปรับลดระดับความหนักลงเพื่อให้นักกีฬาได้พักฟื้นสภาพร่างกายจากความเมื่อยล้า ดังปรากฏในภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 วงรอบของการกำหนดภาระงานในการฝึกทุก 3 สัปดาห์ (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

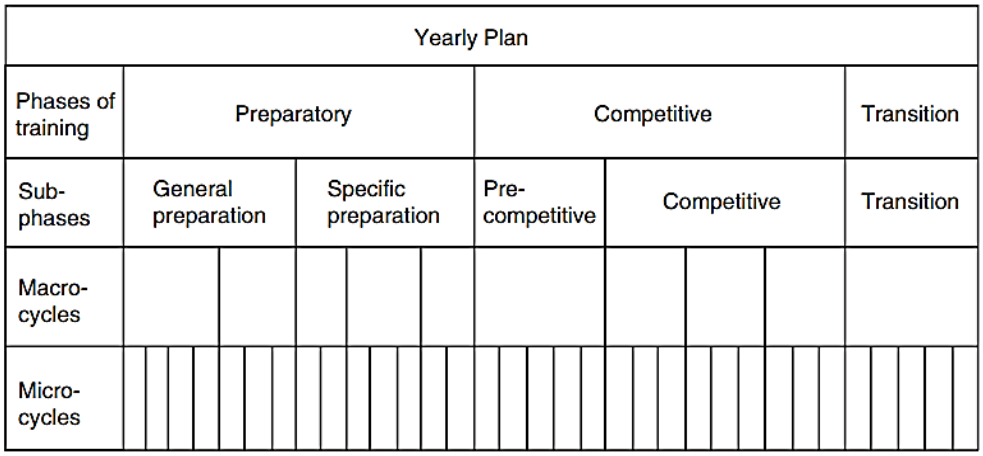
9. หลักของการอบอุ่นและคลายอุ่นร่างกาย (Principle of Warm-Up and Cool-Down)

การอบอุ่นร่างกายเป็นสิ่งที่ควรนำมาปฏิบัติก่อนการฝึกซ้อมหรือก่อนการออกกำลังกายที่ค่อนข้างหนักหรือการออกกำลังกายที่ต้องใช้กำลังความแข็งแรงมาก (Strenuous activity) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของร่างกาย เพิ่มการหายใจ และเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ รวมทั้งช่วยป้องกันอาการตึงตัวของกล้ามเนื้อ เอ็นกล้ามเนื้อ และเอ็นข้อต่อมากเกินไป ในการอบอุ่นร่างกายควรประกอบด้วยการบริหารกาย (Calisthenics) โดยมีการปรับเพิ่มความหนักในการเคลื่อนไหวหรือการออกกำลังกายมากขึ้นตามลำดับทีละน้อยอย่างเป็นระบบจากช้าไปเร็ว รวมทั้งการยืดเหยียดกล้ามเนื้อด้วยรูปแบบวิธีการที่หลากหลาย ซึ่งการยืดเหยียดกล้ามเนื้อจะบังเกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเมื่อกระทำภายหลังจากที่

ได้มีการอบอุ่นร่างกายพร้อมแล้ว อย่างไรก็ตาม การหยุดออกกำลังกายอย่างหนักทันที โดยมิได้มีการคลายอุ่นร่างกายหรือการเคลื่อนไหวเบา ๆ ต่อไปอีกช่วงเวลาหนึ่ง จะนำไปสู่ภาวะของการขาดเลือดไหลเวียนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ เนื่องจากการทำงานของระบบไหลเวียนจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้การเคลื่อนย้ายของเสียออกจากร่างกายเป็นไปอย่างเชื่องช้า ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเป็นตะคริว ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ (Soreness) ตลอดจนปัญหาต่าง ๆ ที่ตามมาอีกมากมาย นอกจากนี้ ระดับของฮอร์โมน Norepinephrine ซึ่งเป็นตัวนำส่งกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทส่วนปลายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก มีผลทำให้การบีบตัวของหัวใจเพิ่มขึ้นผิดปกติ การคลายอุ่นร่างกายด้วยกิจกรรมการเคลื่อนไหวเบา ๆ ประมาณ 5-10 นาที และตามด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ จะช่วยขับถ่ายเคลื่อนย้าย หรือกำจัดฮอร์โมน Norepinephrine และปรับลดอุณหภูมิร่างกายลง พร้อมทั้งสูบฉีดเลือดดำออกจากกล้ามเนื้อ ช่วยให้เกิดการไหลเวียนและการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย ทำให้ร่างกายสามารถฟื้นตัวจากความเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าได้เร็วขึ้น

10. หลักของการฝึกซ้อมระยะยาว (Principle of Long-Term training)

การเปลี่ยนแปลงผลของการฝึกซ้อม เกิดจากการปรับเพิ่มภาระงานในการฝึกซ้อมขึ้นทีละน้อยอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ นำไปสู่การกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงหรือสร้างเสริมระดับความสามารถของนักกีฬาให้บรรลุผลได้ตามเป้าหมาย ที่สำคัญการเปลี่ยนแปลงของร่างกายหรือการยกระดับความสามารถของร่างกายให้มีศักยภาพสูงมากขึ้น ต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกซ้อมต่อเนื่องยาวนานเป็นปี หรือหลายปี โดยการฝึกซ้อมระยะยาวนี้จะช่วยให้เกิดการเจริญเติบโตและการพัฒนาโครงร่างรวมทั้งระบบการทำงานของอวัยวะระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายให้ก้าวหน้าขึ้นเป็นลำดับ ส่งผลให้เกิดการพัฒนาด้านทักษะ เทคนิค และการเรียนรู้กลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้เทคนิคของเกมการแข่งขัน ช่วยให้นักกีฬาได้รับประสบการณ์ ความรู้ และความเข้าใจในสภาวะความกดดันแต่ละเหตุการณ์ที่เป็นธรรมชาติของกีฬาประเภทนั้น ๆ อย่างชัดเจน ดังนั้น การเร่งรีบรวบรัดหรือข้ามขั้นตอนด้วยการหักโหมฝึกซ้อมอย่างหนักมากเกินไป ใช้ช่วงระยะเวลาในการฝึกซ้อมสั้นหรือกระชั้นชิดกับการแข่งขันมากเกินไป จะเป็นสาเหตุให้ร่างกายและจิตใจได้รับการบีบคั้นกดดันจนเกิดความรู้สึกอ่อนล้า หมดแรง ท้อแท้ หมดกำลังใจ จนในที่สุดนักกีฬาต้องเลิกเล่นกีฬาก่อนวัยอันควร (Burn out) ด้วยเหตุนี้ ความยอดเยี่ยมหรือความเป็นเลิศของนักกีฬาจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อนักกีฬามีการฝึกซ้อมระยะยาว มีความเพียร มีความพยายาม มีความอดทนอดกลั้น มีความมุ่งมั่นตั้งใจสนุกสนาน และรู้สึกท้าทายกับการฝึกซ้อมที่มีรูปแบบ หลักการ และวิธีการที่หลากหลายในการดำเนินการไปสู่เป้าหมายอย่างชัดเจน มีการวางแผนการฝึกซ้อมที่ดีและมีโปรแกรมการฝึกซ้อมระยะยาวที่ช่วยกระตุ้นส่งเสริมและท้าทายความสามารถให้นักกีฬาได้ทำการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องและเป็นระบบ ดังปรากฏในภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 แผนการฝึกซ้อมรายปี (Bompa & Buzzichelli, 2015)

11. หลักของการย้อนกลับหรือการกลับสู่สภาพเดิม (Principle of reversibility)

ความสำเร็จหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับนักกีฬา ส่วนมากเป็นผลมาจากการทุ่มเทให้กับการฝึกซ้อมอย่างหนักเป็นเวลาหลายเดือน ซึ่งผลการฝึกซ้อมดังกล่าวในที่สุดก็จะย้อนกลับสู่สภาพเดิมหากหยุดการฝึกซ้อม โดยปกติการฝึกความอดทน จะบังเกิดผลตามเป้าหมายที่ต้องการจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกซ้อมยาวนานกว่าระยะเวลาที่ร่างกายสูญเสียความอดทน ในกรณีที่หยุดการฝึกซ้อมโดยที่ไม่มีกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายหรือการออกกำลังกาย สมรรถภาพด้านความอดทนจะลดลงในอัตราเฉลี่ยประมาณร้อยละ 9-10 ต่อสัปดาห์ และถ้าหากหยุดการฝึกซ้อมหรือหยุดการเคลื่อนไหวติดต่อกันนาน 3 สัปดาห์ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดลดลงร้อยละ 25 และต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกอย่างน้อย 4-6 สัปดาห์ เพื่อฟื้นสภาพร่างกายให้กลับคืนมาเหมือนเดิม ที่สำคัญการฝึกความอดทน หากจะให้ได้ผลสมบูรณ์จะต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกประมาณ 5 เดือน ขณะเดียวกัน หากนักกีฬาหยุดทำการฝึกซ้อมภายในระยะเวลา 6-8 สัปดาห์ ความอดทนที่ได้รับการฝึกมาเป็นอย่างดีจะสูญหายไปหมด ในขณะที่การเสื่อมสภาพทางด้านความแข็งแรงจะเสื่อมสภาพหรือลดลงช้ากว่าความอดทน ซึ่งการหยุดการฝึกซ้อมหรือการขาดการใช้งานกล้ามเนื้อเป็นเวลานาน ในที่สุดจะเป็นสาเหตุทำให้กล้ามเนื้อฝ่อลีบหรือเล็กลง (Atrophy) ถึงแม้จะมีการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไว้เป็นอย่างดีก่อนหน้านี้แล้วก็ตาม ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวนี้ การรักษาสภาพร่างกายให้คงไว้ด้วยการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมตลอดปี (Year-round program) โดยการกำหนดให้มีช่วงระยะเวลาของการฝึกหนักและช่วงเวลาพักอย่างเหมาะสมสัมพันธ์กัน จะช่วยรักษาสมรรถภาพทางกายที่ดีของนักกีฬาให้คงไว้ ด้วยเหตุนี้ ผู้ฝึกสอนกีฬาจึงควรตระหนักไว้เสมอว่า การสร้างเสริม

สมรรถภาพทางกายนักกีฬาเป็นผลโดยตรงที่เกิดจากการกำหนดความหนักหรือภาระงานในการฝึกกับช่วงเวลาพักฟื้นสภาพร่างกายได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสัมพันธ์กัน

12. หลักของความพอประมาณหรือพอควรในการฝึก (Principle of moderation)

หลักของความพอประมาณหรือพอเหมาะพอควรในการฝึก สามารถนำมาประยุกต์ได้กับการดำเนินชีวิตทุกด้าน การทุ่มเทให้กับการกระทำสิ่งหนึ่งสิ่งใดมากเกินไป ย่อมเกิดผลเสียต่อสุขภาพร่างกาย ดังนั้น ความรับผิดชอบด้วยการอุทิศตนทุ่มเทให้กับการฝึกซ้อมอย่างเหมาะสมเพียงพอ หรือพอประมาณกับตนเองย่อมก่อให้เกิดผลดีทั้งต่อร่างกายและจิตใจ แต่ถ้าหากการฝึกซ้อมกระทำหนักมากเกินไปด้วยความเคร่งเครียดหรือความกดดันมากเกินไป ฝึกแต่ละครั้งนานมากเกินไป หรือเร่งรัดการฝึกเร็วเกินไป ร่างกายจะไม่ได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้า แต่จะเริ่มเสื่อมสภาพและความสามารถของนักกีฬาจะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ การปฏิบัติทุกอย่างด้วยหลักการของความพอประมาณ พอเหมาะ พอควร พอดี และพอเพียง เมื่อนำมาผสมผสานเข้ากับหลักของความหลากหลายในการฝึกด้วยวิธีการฝึกซ้อมแบบหนักสลับเบาวันเว้นวัน หรือสองวันเว้นหนึ่งวัน หรือสัปดาห์เว้นสัปดาห์ จะช่วยให้นักกีฬาประสบความสำเร็จและลดโอกาสเสี่ยงต่อการบาดเจ็บในช่วงก่อนการแข่งขัน ทั้งนี้ทั้งนั้นยังขึ้นอยู่กับประสบการณ์และระดับความสามารถของนักกีฬาแต่ละบุคคล ตลอดจนความรู้และความเชี่ยวชาญของผู้ฝึกสอนกีฬาในการวางแผนและกำหนดความหนักเบาของโปรแกรมการฝึกซ้อมได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับนักกีฬาในแต่ละช่วงระยะเวลาของการฝึกซ้อมหรือไม่

13. หลักของความเป็นไปได้ในการฝึก (Principle of potential)

คนเราทุกคนล้วนมีศักยภาพความสามารถสูงสุดอยู่ในตนเอง แต่ส่วนใหญ่ไม่ค่อยได้กระทำการฝึกปฏิบัติ เพราะไม่รู้หรือไม่ค่อยได้รับการกระตุ้นให้ใช้ความสามารถสูงสุดที่มีอยู่ในตนเอง โดยปกติการมีส่วนร่วมในการฝึกซ้อมหรือการปฏิบัติกิจกรรมทางกาย (Physical activity) จะช่วยกระตุ้นและกดดันให้ร่างกายได้มีโอกาสเคลื่อนไหวและใช้ความสามารถที่มีอยู่ในตนเองช่วยให้เกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงและยกระดับคุณภาพชีวิตให้มีคุณค่าและมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ยิ่งกิจกรรมการคลื่อนไหวหรือการฝึกซ้อมออกกำลังกายมีการกำหนดรูปแบบวิธีการ และความหนักเบาไว้อย่างเหมาะสมเป็นขั้นตอน ด้วยโปรแกรมการฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกายที่มีเป้าหมายชัดเจนในแต่ละช่วงเวลา ยิ่งมีความเป็นไปได้สูงที่จะช่วยกระตุ้นและพัฒนาศักยภาพความสามารถของร่างกายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้น หลักการสำคัญของความเป็นไปได้ คือ การได้ลงมือกระทำหรือฝึกปฏิบัติอย่างถูกต้อง ซึ่งจะช่วยกระตุ้นและพัฒนาความสามารถสูงสุดที่มีอยู่ในตนเอง

14. หลักของการมีส่วนร่วมปฏิบัติในการฝึก (Principle of active involvement)

ความสำเร็จของนักกีฬาเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการทำงานร่วมกัน (Combination) กับผู้ฝึกสอนกีฬาที่มีทักษะ มีประสบการณ์ และมีความรู้ความสามารถ หากขาดซึ่งหลักของการมีสวนร่วมในการฝึก ความสำเร็จของโปรแกรมการฝึกซ้อมย่อมไม่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้ โปรแกรมการ

ฝึกซ้อมจะบังเกิดผลสำเร็จสูงสุดต่อเมื่อนักกีฬาลงมือในการฝึกซ้อมแต่ละครั้งด้วยการทำงานร่วมกันภายใต้บทบาทซึ่งอยู่ในการควบคุมดูแลแนะนำของผู้ฝึกสอนกีฬาที่มีทักษะ ความรู้ ความสามารถในการพยายามพัฒนาส่งเสริม และกระตุ้นให้นักกีฬาเกิดการเรียนรู้การปรับตัวให้เหมาะสมกับบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบ และสอดคล้องกับการดำเนินชีวิตของแต่ละบุคคล เพื่อให้บรรลุผลสำเร็จตามศักยภาพและความสามารถของแต่ละบุคคล

การฝึกสมรรถภาพทางกายนักกีฬา

การฝึกสมรรถภาพทางกาย (Physical training) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญที่สุดสำหรับนักกีฬาเพื่อความเป็นเลิศหรือนักกีฬาระดับอาชีพ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ดังนี้ 1) การเพิ่มศักยภาพทางด้านสรีวิทยาหรือการพัฒนาประสิทธิภาพในการทำงานของอวัยวะระบบต่าง ๆ ภายในร่างกาย และ 2) สนับสนุนการสร้างเสริมความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหว (Biomotor abilities) ให้มีขีดความสามารถในระดับมาตรฐานสูงสุด ซึ่งการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อม (Training program) ให้ได้มาตรฐานสำหรับนักกีฬาที่มุ่งสู่ระดับการแข่งขันเพื่อความเป็นเลิศหรือระดับอาชีพนั้น จำเป็นต้องมีการวางรากฐานการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายอย่างเป็นระบบ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนในการฝึกที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ดังนี้ (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

1. การฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไป (General physical training)

วัตถุประสงค์หลักของการฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไป เพื่อพัฒนาระบบโครงสร้างและความสามารถในการทำงานของร่างกาย ตลอดจนศักยภาพโดยรวมของร่างกายให้มีประสิทธิภาพและความสามารถสูงขึ้นทำให้ร่างกายและจิตใจได้รับการกระตุ้นให้มีการปรับตัวอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบตามความต้องการหรือตามวัตถุประสงค์ของการฝึก ด้วยเหตุนี้ หากสมรรถภาพทางกายได้รับการฝึกและมีการพัฒนาความก้าวหน้าเพิ่มสูงขึ้นมากเท่าใด การส่งเสริมความสามารถทางกลไกลการเคลื่อนไหวของนักกีฬาย่อมมีโอกาสพัฒนาความก้าวหน้าได้สูงมากยิ่งขึ้นเท่านั้น ดังนั้น การฝึกสมรรถภาพทางกายในนักกีฬาระดับเยาวชน จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องมีการสร้างรากฐานความแข็งแกร่งให้กับนักกีฬาเพื่อรองรับการฝึกซ้อมที่หนักและมากยิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป การฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไปในระดับเด็กหรือเยาวชนส่วนใหญ่ จะเน้นหรือกระตุ้นให้ฝึกซ้อมในรูปแบบที่คล้ายกับการเล่นกีฬาประเภทนั้น ๆ แต่ในกลุ่มนักกีฬาที่มีฝีมือหรือมีการพัฒนาทักษะดีแล้ว การฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไปจะต้องมีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงกับการฝึกสมรรถภาพทางกายเฉพาะประเภทกีฬาที่จำเป็นหรือต้องการนำไปใช้ในการแข่งขันของแต่ละประเภทกีฬา รวมทั้งมีความสอดคล้องเหมาะสมกับความแตกต่างหรือความสามารถที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว หรือเป็นเอกลักษณ์ของนักกีฬาแต่ละบุคคล (Individual characteristics)

2. การฝึกสมรรถภาพทางกายแบบเฉพาะเจาะจง (Specific physical training)

การฝึกสมรรถภาพทางกายแบบเฉพาะเจาะจงนั้นเป็นการพัฒนาต่อยอดมาจากการฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไป โดยวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการฝึกในขั้นนี้ก็คือ ต้องการพัฒนาส่งเสริมการฝึกสมรรถภาพทางกายแบบเฉพาะด้านที่สำคัญให้กับนักกีฬา ไม่ว่าจะเป็นทางด้านสรีรวิทยา หรือความสามารถในการทำงานของอวัยวะระบบต่าง ๆ ภายในร่างกาย รวมทั้งการพัฒนารูปแบบการฝึกซ้อมให้มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกลมกลืนกับธรรมชาติของการเคลื่อนไหวในแต่ละประเภทกีฬา ซึ่งการฝึกซ้อมในขั้นนี้จะมีการทดสอบสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาในแต่ละด้านเป็นระยะ ๆ เพื่อประเมินความก้าวหน้าและระดับความสามารถในการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายที่ต้องการจะพัฒนาไปสู่ความสมบูรณ์และความพร้อมขั้นสูงสุดในช่วงการแข่งขัน (Successful competitions) นอกจากนี้ ความสามารถทางด้านสรีรวิทยาที่จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาส่งเสริมให้ก้าวหน้ามากยิ่งขึ้นจากการฝึกซ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบไหลเวียนเลือดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะช่วยให้นักกีฬาสามารถฟื้นสภาพร่างกายจากความเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าได้เร็วขึ้น ที่สำคัญหากนักกีฬาได้รับการเตรียมความพร้อมทางด้านร่างกายในช่วงฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไปให้มีความสมบูรณ์พร้อมมากเท่าใดการพัฒนาในช่วงการฝึกสมรรถภาพทางกายแบบเฉพาะจะจงของแต่ละประเภทกีฬาจะสามารถสร้างเสริมให้นักกีฬามีศักยภาพความสามารถและความก้าวหน้าได้สูงมากยิ่งขึ้นเท่านั้น

3. การฝึกความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหวขั้นสูง (High level of biomotor abilities)

ในการพัฒนาสมรรถภาพทางกลไกให้สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริงของกีฬาแต่ละชนิด ผู้ฝึกสอนต้องทำความเข้าใจเสียก่อนว่าการออกกำลังกายแต่ละชนิดจะมีผลที่เฉพาะเจาะจงกล่าวคือ เมื่อการออกกำลังกายที่มีความหนักของงานระดับสูง การออกกำลังกายนั้น เรียกว่า ความแข็งแรง (Strength exercise) เมื่อการออกกำลังกายนั้นมีการปฏิบัติอย่างรวดเร็วและมีความถี่สูง การออกกำลังกายนั้น เรียกว่า ความเร็ว (Speed exercise) เมื่อการออกกำลังกายมีระยะทาง ระยะเวลา หรือจำนวนครั้งสูง การออกกำลังกายนั้น เรียกว่า ความอดทน (Endurance exercise) และเมื่อการออกกำลังกายมีระดับความซับซ้อนสูง การออกกำลังกายนั้นจะเรียกว่า ความสัมพันธ์ของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Coordination exercise) อย่างไรก็ตาม ในการฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกายไม่ใคร่จะมีความเฉพาะเจาะจงด้านสมรรถภาพใดสมรรถภาพหนึ่ง ถ้าจะพูดให้ถูก ความจริงก็คือการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่จะเป็นผลของการผสมผสานกันของสมรรถภาพทางกลไก เช่น ในนักกีฬาประเภทกระโดด ทุ่ม พุ่ง ขว้าง หรือการตบวอลเลย์บอล จะเป็นผลของพลัง (Power) ที่เกิดจากการผสมผสานกันระหว่างความอดทนกับความแข็งแรงจะเกิดเป็นความแข็งแรงอดทน (Strength endurance) ขณะที่ผลของการผสมผสานกันระหว่างความอดทนและความเร็วจะเกิดเป็นความเร็ว

อดทน (Speed endurance) ในขณะที่กีฬาบางประเภทจะอาศัยความว่องไว (Agility) ซึ่งจะเป็นการผสมผสานกันของความเร็ว พลัง และความสัมพันธ์ของระบบประสาทกล้ามเนื้อ เมื่อความว่องไวและความอ่อนตัวรวมเข้าด้วยกันจะเกิดเป็นความสามารถในการเคลื่อนไหว (Mobility) หรือคุณภาพของการปฏิบัติการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว ใช้เวลาน้อย และมีความสัมพันธ์กันตลอดช่วงการเคลื่อนไหว (สนธยา สีละมาด, 2560)

ดังนั้น นักกีฬาทุกประเภทจึงควรได้รับการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายทั่วไป และสมรรถภาพทางกายแบบเฉพาะเจาะจงในช่วงเตรียมความพร้อมด้านร่างกาย (Preparatory phase) ให้มีความสมบูรณ์สูงสุด เพื่อสร้างรากฐานของร่างกายให้แข็งแกร่งมั่นคงไว้รองรับการฝึกหนักในแต่ละระดับขั้นของความสามารถที่ต้องการพัฒนาให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไป ส่วนการฝึกความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหวขั้นสูงจะเป็นการฝึกเพื่อนำความสามารถในแต่ละด้านมาผสมผสานกันระหว่างความสามารถในการเคลื่อนไหวกับสมรรถภาพทางกายเฉพาะประเภทกีฬาที่ได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้นจากช่วงเตรียมความพร้อมด้านร่างกาย และช่วงรักษาระดับความสามารถของสมรรถภาพทางกายที่สมบูรณ์ให้คงไว้ เพื่อมุ่งเน้นไปสู่การพัฒนาศักยภาพความสามารถทางด้านทักษะและกลไกการเคลื่อนไหวเฉพาะประเภทกีฬา หรือการฝึกเฉพาะเทคนิคทางกีฬาขั้นสูงในการฝึกซ้อมช่วงการแข่งขัน (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561) ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ลำดับขั้นตอนการวางแผนพัฒนาความพร้อมด้านร่างกาย (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

ช่วงการฝึกซ้อม (Training phase)	**ช่วงเตรียมความพร้อมด้านร่างกาย (Preparatory phase)**		**การฝึกช่วงการแข่งขัน (Competitive phase)**
ช่วงของการพัฒนา (Development)	ช่วงที่ 1 (Phase 1)	ช่วงที่ 2 (Phase 2)	ช่วงที่ 3 (Phase 3)
ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก (Duration : Weeks)	อย่างน้อย 3 สัปดาห์	อย่างน้อย 6 สัปดาห์	อย่างน้อย 4 สัปดาห์
วัตถุประสงค์ (Objective)	- ฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไป	- ฝึกสมรรถภาพทางกายเฉพาะกีฬา - ฝึกทักษะและความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหวเฉพาะกีฬา	- ฝึกความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหวเฉพาะกีฬาขั้นสมบูรณ์

การฝึกเพื่อพัฒนาระบบพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬา

ระบบพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬามีอยู่ด้วยกัน 3 ระบบ ดังนี้ ระบบฟอสเฟต (Phosphate system) ระบบแลกเตต (Lactate system) และระบบออกซิเจน (Oxygen system) ซึ่งการที่ผู้ฝึกสอนกีฬาและนักกีฬามีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบพลังงานในร่างกาย และสามารถประยุกต์ใช้ระบบพลังงานในการวางแผนการฝึกซ้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยส่งผลให้การฝึกซ้อมและการเล่นกีฬาของนักกีฬามีโอกาสประสบผลสำเร็จสูง โดยกีฬาทุกประเภทจะมีวิธีการฝึกซ้อมที่เฉพาะเจาะจง (Specific training) ดังเช่น การฝึกซ้อมสำหรับนักวิ่งมาราธอนจะแตกต่างกับนักวิ่งระยะสั้น การวางแผนการฝึกซ้อมสำหรับนักวิ่งมาราธอนมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน ส่วนนักวิ่งระยะสั้นจะวางแผนพัฒนาระบบฟอสเฟต เพื่อเพิ่มปริมาณฟอสเฟต (Phosphate) ในกล้ามเนื้อของนักกีฬา ในขณะที่นักวิ่งระยะกลางจะวางแผนพัฒนาระบบพลังงานทั้ง 3 ระบบ และต้องเรียนรู้การลดกรดแลกติกในกล้ามเนื้อและความล้าที่เกิดขึ้นจากการฝึกซ้อม โดยเฉพาะนักวิ่ง 400 เมตร 800 เมตร และ 1,500 เมตร จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาความสามารถในการทำงานทั้งระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic capacity) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic capacity) อย่างเต็มที่ ในการฝึกซ้อมกีฬาส่วนใหญ่จะมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มการพัฒนาระบบพลังงานของร่างกายทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งสามารถสรุปแนวทางในการฝึกได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (Sharkey & Gaskill, 2006)

1. การฝึกเพื่อพัฒนาระบบฟอสเฟต (Training the phosphate system)

เมื่อทำการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดนักกีฬาจะได้รับการพัฒนาระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือเรียกว่า ระบบพลังงานแอนแอโรบิก (Anaerobic) และไม่เกิดแลกติก (Alactic) โดยกล้ามเนื้อจะใช้พลังงานระบบฟอสเฟตหมดไปภายในช่วงระยะเวลาไม่กี่วินาที เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ด้วยเหตุนี้ จึงควรใช้วิธีการฝึกในลักษณะหนักสลับเบา (Interval) โดยมีจำนวนครั้งของการกระทำซ้ำมาก ความหนักของการฝึกอยู่ในระดับสูงสุด (Maximal) หรือเกือบสูงสุด (Submaximal) โดยการฝึกที่กำหนดให้นักกีฬาวิ่งด้วยความเร็วเต็มที่ จะใช้ระยะเวลาประมาณ 6-8 วินาที หรือระยะทางประมาณ 40-60 เมตร ส่วนการฝึกที่กำหนดให้นักกีฬาวิ่งเร็วเกือบเต็มที่ ใช้ระยะเวลาประมาณ 15-25 วินาที หรือระยะทางประมาณ 150-200 เมตร เป้าหมายหลักคือ การเติมเต็มพลังงานระบบฟอสเฟตให้ร่างกายได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่มีการสะสมกรดแลกติก ในขณะที่การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 4-6 วินาที ระยะทางอย่างน้อยประมาณ 30-50 เมตร การพักระหว่างการวิ่งแต่ละเที่ยวจะต้องนานพอที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์ฟอสเฟตกลับมาอย่างครบถ้วน ถ้าช่วงเวลาพักสั้นจะมีการใช้พลังงานระบบแลกเตตซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการสะสมกรดแลกติก และทำให้ความเร็วลดลง ช่วงเวลาพักที่เหมาะสมคือ 3-5 นาที ขึ้นอยู่กับสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาแต่ละคน อย่างไรก็ตาม ในขณะพักควรใช้วิธีการพักแบบหยุดนิ่งอยู่กับที่โดยไม่ควรให้นักกีฬาทำ

กิจกรรมใด ๆ (Passive rest) เพราะการสร้างพลังงาน ATP และ CP จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อร่างกายได้พักโดยไม่มีการเคลื่อนไหว ส่วนการออกกำลังกายเบา ๆ ขณะพักจะทำให้การสร้าง ATP และ CP ไม่สมบูรณ์ ทำให้มีปริมาณ ATP และ CP ไม่พียงพอสำหรับการวิ่งเที่ยวที่สอง จึงมีการใช้พลังงานจากระบบแลคเตต จึงเกิดการสะสมกรดแลก (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

สนธยา สีละมาด (2560) กล่าวว่า การฝึกเพื่อพัฒนาระบบเอทีพี-ซีพี นักกีฬาสามารถพัฒนาได้ด้วยการเพิ่มสารประกอบฟอสเฟตพลังงานสูง (High energy phosphates) เช่น ATP และ PC ไว้ในกล้ามเนื้อให้มากขึ้นด้วยการทำงานหรือการฝึกซ้อมที่มีความหนักระดับสูง (ร้อยละ 90-100 ของความสามารถสูงสุด) และมีระยะเวลาในการปฏิบัติประมาณ 4-7 วินาที โดยการฝึกในแต่ละครั้ง (Training session) ควรปฏิบัติตามข้อแนะนำดังต่อไปนี้

1.1 การพัฒนาระบบเอทีพี-ซีพี ด้วยการฝึกซ้อมด้านความเร็วควรปฏิบัติเมื่อนักกีฬาไม่มีความรู้สึกเมื่อยล้าและความเบื่อหน่าย

1.2 นักกีฬาจะต้องมีเวลาพักไม่น้อย 24-36 ชั่วโมง

1.3 การฝึกซ้อมจำนวน 3-4 เที่ยวต่อเซต และการฟื้นสภาพ 2-3 นาที ระหว่างเที่ยว และ 8-10 นาที ระหว่างเซต จัดเป็นความหนักของงานที่ดีและเหมาะสำหรับใช้ในการฝึกซ้อม

1.4 ช่วงระยะเวลาพัก (Rest interval) นานเพียงพอที่จะสร้าง ATP และ PC กลับคืน และนานเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติก

1.5 การฝึกซ้อมจำนวน 4 เซต ด้วยระยะทางรวมของการฝึกซ้อมในแต่ละครั้งเท่ากับ 600 เมตร จัดว่าเป็นความเพียงพอสำหรับการกระตุ้นให้ระบบเอทีพี-ซีพีเกิดการพัฒนาขึ้น

ตัวอย่าง การพัฒนาระบบเอทีพี-ซีพี ด้วยการฝึกซ้อมความเร็ว

- ความหนักร้อยละ 95-100 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด
- ระยะทางต่อเที่ยว 20-60 เมตร
- จำนวนเที่ยวต่อเซต 3-4 เที่ยว
- การฟื้นสภาพต่อเที่ยว 1.30-3 นาที
- จำนวนเซตที่ทำการฝึกทั้งหมด 3-4 เซต
- การฟื้นสภาพต่อเซต 8-10 นาที
- ระยะทางรวมต่อเซต 80-120 เมตร
- ระยะทางรวมในการฝึกซ้อมแต่ละครั้ง 400-600 เมตร

2. การฝึกเพื่อพัฒนาระบบแลคเตต (Training the lactate system)

ในการฝึกซ้อมมีรูปแบบหลากหลายที่ถูกนำมาใช้ฝึกความอดทนต่อการเกิดแลกเตต (Lactate tolerance training) ซึ่งการฝึกเพื่อพัฒนาความอดทนระบบนี้ถือเป็นการฝึกที่หนักมาก

(Intensive) เป็นการฝึกเพื่อพัฒนาระบบพลังงานแอนแอโรบิก เมื่อใดก็ตามที่การฝึกซ้อมมีการเพิ่มระยะทางการวิ่งเร็วมากขึ้น จะมีการใช้ระบบพลังงานแบบแลกเตตเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกัน ความเร็วสูงสุดในการวิ่งจะปรับลดลงเป็นระดับเกือบสูงสุด (Submaximal) ซึ่งในการวิ่งระยะ 400-800 เมตร จะทำให้เกิดแลกเตตในระดับสูงสุด

การออกกำลังกายอย่างหนัก (Intensive exercise) ในช่วงระยะเวลา 1-3 นาที จะทำให้เกิดการใช้พลังงานจากระบบแลกเตตมากที่สุดและทำให้หมดแรง ซึ่งการฝึกระบบแลกเตตนี้จะได้ผลดีเมื่อทำการฝึกแบบหนักสลับเบาหรือฝึกแบบหนักเป็นช่วง ๆ (Interval workout) เช่นเดียวกับที่ใช้ในการฝึกระบบฟอสเฟต แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการพักฟื้นร่างกายไม่ควรนาน ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของกรดแลกติกในเลือดลดลงอย่างรวดเร็ว สำหรับช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการพักฟื้นสภาพร่างกายจะอยู่ที่ประมาณ 30 วินาที ถึง 3 นาที และควรกำหนดให้มีการเคลื่อนไหวแบบเบา ๆ ในขณะพัก (Active rest) อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาในการพักจะขึ้นอยู่กับสภาพร่างกายของนักกีฬาแต่ละคน (Recovery periods)

การฝึกพลังงานระบบแลกเตตที่ดีที่สุด ควรกระทำในช่วงเตรียมความพร้อมทางด้านความเร็ว หรือช่วงฝึกความเร็วอย่างหนัก (Preparatory race or Intensive race) อย่างไรก็ตาม การฝึกความอดทนต่อการเกิดกรดแลกติกอย่างหนัก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ อาจทำให้เกิดการสะสมกรดแลกติกมากเกินไป ดังนั้น เมื่อมีการฝึกซ้อมอย่างหนัก (Heavy exercise) ควรมีการเคลื่อนไหวร่างกายหรือออกกำลังกายเบา ๆ ต่อไปอีกช่วงระยะเวลาหนึ่งทั้งในระหว่างช่วงการฝึกซ้อม และในระหว่างช่วงการฟื้นสภาพร่างกาย (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

ตัวอย่าง การพัฒนาระบบแลคเตต ด้วยการฝึกซ้อมแบบหนักสลับเบา

- ความหนักร้อยละ 95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด
- ระยะเวลาที่ใช้ฝึกต่อเซต 30-180 วินาที
- ปริมาณแลคเตตอยู่ในระดับสูง
- การฟื้นสภาพต่อเที่ยว 2-3 นาที
- จำนวนเที่ยวต่อเซต 5-10 เที่ยว
- จำนวนเซตที่ทำการฝึกทั้งหมด 3-4 เซต

National Strength and Conditioning Association (2016) ได้กล่าวว่า การฝึกเพื่อสร้างเสริมและพัฒนาระบบพลังงานแอนแอโรบิกมีอยู่มากมาย เช่น การฝึกวิ่งสปรินท์ การฝึกวิ่งขึ้นบันได และการฝึกพลัยโอเมตริก ฯลฯ โดยเฉพาะการฝึกวิ่งสปรินท์ และการฝึกพลัยโอเมตริก จะมีวัตถุประสงค์ที่มุ่งพัฒนาระบบเอทีพี-พีซี โดยจะใช้ระยะเวลาฝึกน้อยกว่า 10 วินาทีต่อเที่ยว และมีการพักอย่างเต็มที่โดยจะใช้เวลา 5-10 นาที จึงทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในปริมาณที่น้อย และ

นักกีฬาสามารถฝึกที่ความหนักสูงสุดได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ferley, Scholten, and Vukovich (2020) ที่ศึกษาผลของการฝึกผสมผสานระหว่างการฝึกวิ่งสปริ๊นท์ การฝึกพลัยโอเมตริก และการฝึกความแข็งแรงที่มีต่อความเร็ว ความแข็งแรง พลังสูงสุด ความสามารถในการวิ่งเปลี่ยนทิศทาง และสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตบอล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอล อายุ 13-18 ปี ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกผสมผสานด้วยการฝึกความเร็วบนลู่วิ่งกลที่มีแนวพื้นลาดเอียง ฝึกด้วยแรงต้าน และฝึกพลัยโอเมตริก กลุ่มที่ 2 ฝึกผสมผสานด้วยการฝึกความเร็วบนลู่วิ่งกลที่มีความชันปกติ ฝึกด้วยแรงต้าน และฝึกพลัยโอเมตริก และกลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า การฝึกผสมผสานด้วยการฝึกความเร็วบนลู่วิ่งกลที่มีแนวพื้นลาดเอียง ฝึกด้วยแรงต้าน และฝึกพลัยโอเมตริก ช่วยพัฒนาความเร็ว ความแข็งแรง พลัง ความสามารถในการวิ่งเปลี่ยนทิศทาง และสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการศึกษาของวรเชษฐ์ จันติยะ (2561) ที่ศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริกแนวพื้นลาดเอียง แนวพื้นราบ และแบบผสมผสานที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก อัตราการเร่งความเร็ว และความสามารถในการกระโดด กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่มีสุขภาพดี เพศชาย อายุ 18-22 ปี ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกพลัยโอเมตริกแนวพื้นลาดเอียง กลุ่มที่ 2 ฝึกพลัยโอเมตริกแนวพื้นราบ และกลุ่ม 3 ฝึกพลัยโอเมตริกแบบผสมผสาน ผลการศึกษาพบว่า การฝึกพลัยโอเมตริกแนวพื้นลาดเอียงและแนวพื้นราบ ช่วยพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก อัตราการเร่งความเร็ว และความสามารถในการกระโดดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ การศึกษาของ Czuba, Wilk, and Karpi**ń**ski et al. (2017) ที่พบว่า การฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สามารถพัฒนาได้ด้วยการฝึกแบบหนักสลับพัก (Intermittent training) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sylta, Tønnessen, and Seiler (2014) ที่ศึกษาผลของการฝึกแบบสลับพักที่มีความหนักระดับสูงในนักกีฬาจักรยาน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักจักรยาน ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก พลังสูงสุดแอนแอโรบิก และค่าสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_2 peak) เพิ่มขึ้นร้อยละ 5-10 สอดคล้องกับการศึกษาของอภิรมย์ จามพฤกษ์ (2561) ที่ศึกษาผลของการฝึกอินเทอร์วาลแบบแอนแอโรบิก การฝึกอินเทอร์วาลแบบแอโรบิก และการฝึกอินเทอร์วาลแบบผสมผสานที่มีต่อสมรรถภาพแอนแอโรบิก และความสามารถในการวิ่งระยะทาง 400 เมตร ในนักเรียนชาย อายุ 15 ปี ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกอินเทอร์วาลแบบแอนแอโรบิก กลุ่มที่ 2 ฝึกอินเทอร์วาลแบบแอโรบิก และกลุ่มที่ 3 ฝึกอินเทอร์วาลแบบผสมผสาน ทำการฝึกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการฝึกทั้ง 3 รูปแบบ สามารถพัฒนาให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก และความสามารถในการวิ่งระยะทาง 400 เมตร เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ซึ่งสรุปได้ว่า วิธีการฝึกเพื่อพัฒนาระบบพลังงานแอนแอโรบิกมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น การฝึกความเร็ว การฝึกพลัยโอเมตริก และการฝึกแบบหนักสลับพัก เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้วิธีการฝึกให้เหมาะสมนั้นต้องคำนึงถึงรูปแบบของกิจกรรมที่ใช้ในการแข่งขันจริงเป็นสำคัญ เช่น การฝึกระบบเอทีพี-พีซี จะใช้เวลาในช่วงสั้น ๆ (น้อยกว่า 10 วินาที) และให้มีการพักอย่างเต็มที่ (5-10 นาที) ส่วนการฝึกระบบแลคติกจะใช้เวลาในการฝึกที่นานกว่า (20-60 วินที) แต่จะมีระยะเวลาในการพักที่สั้นกว่าการฝึกระบบเอทีพี-พีซี ซึ่งการฝึกเพื่อพัฒนาระบบพลังงานแอนแอโรบิกจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาทั้งระบบเอทีพี-ซีพี และระบบกรดแลคติกควบคู่กันไป

3. การฝึกเพื่อพัฒนาระบบออกซิเจน (Training the oxygen system)

การฝึกเพื่อพัฒนาระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน สามารถทำได้โดยการออกกำลังกายเป็นเวลานานด้วยความหนักระดับเกือบสูงสุด ซึ่งเป้าหมายหลักที่สำคัญประการหนึ่งของการฝึก คือ ยกระดับสมรรถภาพการทำงานแบบใช้ออกซิเจนให้มีศักยภาพสูงขึ้น เพื่อเก็บรักษาแหล่งพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic energy) ที่มีอยู่จำกัดไว้ใช้ในกรณีที่ปรับเพิ่มความหนักสูงสุด ในขณะที่การฝึกเพื่อพัฒนาระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนนั้นสามารถพัฒนาด้วยการฝึกความอดทนที่ระดับความหนักต่างกัน ซึ่งมีวิธีการฝึกที่เฉพาะเจาะจง 4 รูปแบบ ดังนี้ (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

3.1 การฝึกความอดทนระดับหนักหรือเข้มข้น (Intensive endurance training) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

3.1.1. การฝึกความอดทนระดับหนักช่วงสั้น (Short intensive endurance training) รูปแบบและวิธีการฝึกที่ควรนำมาใช้ก็คือ การฝึกแบบหนักสลับเบา (Interval training) มีระยะเวลาฝึก 2-8 นาที ที่ความหนักร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ซึ่งการฝึกที่ระดับความหนักนี้จะมีการใช้ระบบออกซิเจนอย่างสมบูรณ์และเป็นความหนักที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าจุดเบี่ยงเบน (Deflection point) โดยที่ปริมาณกรดแลกติกจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 5-6 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งร่างกายสามารถรับได้ การฝึกด้วยความหนักระดับนี้จะอยู่ระหว่างกาฝึกระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนกับไม่ใช้ออกซิเจนเวลาในการพักฟื้นสภาพร่างกายประมาณ 4-6 นาที จำนวนการปฏิบัติซ้ำ 5-8 ครั้ง การฝึกลักษณะดังกล่าวนี้ไม่ควรทำมากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์

ตัวอย่าง การพัฒนาระบบออกซิเจน ด้วยการฝึกความอดทนระดับหนักช่วงสั้น

- ความหนักร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด
- ระยะเวลาที่ใช้ฝึกต่อเซต 2-8 นาที
- ปริมาณแลคเตต 5-6 มิลลิโมลต่อลิตร
- การฟื้นสภาพต่อเที่ยว 4-6 นาที
- จำนวนเที่ยวต่อเซต 5-8 เที่ยว
- จำนวนเซตที่ทำการฝึกทั้งหมด 3-4 เซต

3.1.2. การฝึกความอดทนระดับหนักช่วงยาว (Long intensive endurance training) รูปแบบและวิธีการฝึกที่ควรนำมาใช้ก็คือ การฝึกแบบหนักสลับเบา มีระยะเวลาฝึก 8-15 นาที ที่ความหนักร้อยละ 85-90 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด โดยที่ปริมาณกรดแลกติกจะเพิ่มขึ้น 3-4 มิลลิโมลต่อลิตร เวลาในการพักฟื้นสภาพร่างกายประมาณ 5 นาที จำนวนการปฏิบัติซ้ำ 4-5 ครั้ง ควรทำการฝึก 1 หรือ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งประสิทธิภาพของการฝึกความอดทนระดับหนักหรือแบบเข้มข้นจะเกิดผลสูงสุดเมื่อนักกีฬาได้รับการพักผ่อนอย่างเพียงพอเท่านั้น ถ้าหากนักกีฬาพบว่าตนเองเกิดอาการล้าที่ขาควรหยุดฝึกซ้อม เพื่อมิให้ตกอยู่ในสภาวะหมดแรง หรือฝึกซ้อมหนักเกินไป

ตัวอย่าง การพัฒนาระบบออกซิเจน ด้วยการฝึกความอดทนระดับหนักช่วงสั้น

- ความหนักร้อยละ 85-90 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด
- ระยะเวลาที่ใช้ฝึกต่อเซต 8-15 นาที
- ปริมาณแลคเตต 3-4 มิลลิโมลต่อลิตร
- การฟื้นสภาพต่อเที่ยว 5 นาที
- จำนวนเที่ยวต่อเซต 4-5 เที่ยว
- จำนวนเซตที่ทำการฝึกทั้งหมด 3-4 เซต

3.2 การฝึกความอดทนระดับปานกลาง (Intermediate endurance training)

การฝึกความอดทนระดับปานกลางนิยมฝึกในนักจักรยานทางไกล และนักวิ่งมาราธอน เป็นต้น โดยจะใช้ความหนักระดับปานกลาง ซึ่งไม่มีการสะสมกรดแลกติก พลังงานที่ใช้ได้มาจากการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรต มีอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 160 ครั้งต่อนาที หรือที่ความหนักประมาณร้อย 80-85 ของอัตราเต้นหัวใจสูงสุด ซึ่งจะมีการเผาผลาญไขมันจำนวนมากเพื่อใช้เป็นพลังงาน โดยระยะเวลาหรือความยาวนานในการฝึกขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการแข่งขันแต่ละประเภทกีฬาและควรใช้ระยะทางฝึกเกินกว่าระยะทางแข่งขันอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง

3.3 การฝึกความอดทนระดับเบา (Extensive endurance training)

การฝึกในขั้นนี้เน้นความอดทนอย่างแท้จริง โดยไม่มีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง สำหรับนักจักรยาน จะทำการฝึกโดยการปั่นจักรยานระยะทาง 100-200 กิโลเมตร ส่วนนักวิ่งมาราธอน จะทำการฝึกวิ่งระยะทาง 30 กิโลเมตร อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยอยู่ที่ 150 ครั้งต่อนาที หรือที่ความหนักประมาณร้อยละ 70-80 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด โดยร่างกายมีการเผาผลาญไขมันจำนวนมาก เป็นการฝึกที่ผสมผสานระหว่างความอดทนระดับปานกลางกับความอดทนระดับเบา ซึ่งการฝึกในลักษณะดังกล่าว มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นเป็นการฝึกให้ร่างกายเผาผลาญไขมัน (Training oxidation of fats) และประหยัดคาร์โบไฮเดรตไว้ใช้ในระยะเวลาหรือในโอกาสต่อไป

ดังนั้น เมื่อถึงช่วงการออกกำลังกายที่จำเป็นต้องปรับเพิ่มความเร็วหรือความหนักมากขึ้น จึงทำให้นักกีฬาสามารถออกกำลังกายได้นานขึ้นหรือไม่หมดแรง

3.4 การออกกำลังกายเพื่อพักฟื้นสภาพร่างกาย (Recovery workout)

การออกกำลังกายเพื่อพักฟื้นสภาพร่างกายเป็นส่วนประกอบสำคัญด้านหนึ่งของการฝึกที่มักจะมีการจัดให้ออกกำลังกายเบา ๆ ในช่วงพักฟื้นสภาพร่างกายแทนที่จะเป็นการพักด้วยการนั่งอยู่เฉย ๆ ความหนักของการฝึกในช่วงพักฟื้นสภาพร่างกายนี้จะค่อนข้างเบามาก (Intensity low) อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยอยู่ที่ 140 ครั้งต่อนาที หรือน้อยกว่าร้อยละ 70 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ซึ่งการออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นสภาพร่างกายจะไม่สามารถใช้พัฒนาระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน เช่น นักวิ่งระยะไกลให้ออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นสภาพร่างกายด้วยความหนักระดับเบาเป็นเวลา 30-40 นาที นักจักรยานให้ออกกำลังกายในช่วงพักฟื้นสภาพร่างกายด้วยความหนักระดับเบา เป็นเวลา 30-90 นาที ในกรณีที่มีความล้าเกิดขึ้น (True fatigue) อันเนื่องมาจากไกลโคเจนถูกใช้ไปหมด (Glycogen depletion) ดังจะพบเห็นได้จากนักวิ่งมาราธอนที่ไม่สามารถวิ่งถึงเส้นชัย อาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการพักฟื้นสภาพร่างกายอย่างน้อย 2-5 วัน ไปจนถึง 2 สัปดาห์ เพื่อให้ร่างกายสามารถฟื้นคืนสภาพได้สมบูรณ์ โดยทั่วไปกระบวนการในการพักฟื้นสภาพร่างกายภายหลังการฝึกซ้อมหรือออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจนจะใช้ระยะเวลาในการพักฟื้นสภาพร่างกายประมาณ 1-4 ชั่วโมง ทั้งนี้ ยังขึ้นอยู่กับความหนัก ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม รวมทั้งการรับประทานอาการในแต่ละมื้อก่อนและหลังการฝึกซ้อมหรือออกกำลังกาย

สนธยา สีละมาด (2560) กล่าวว่า การฝึกเพื่อพัฒนาความอดทนแบบใช้ออกซิเจน (Training methods for aerobic endurance) เป็นวิธีการที่สนับสนุนให้มีการสร้างเสริมและพัฒนาของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด ความสามารถในการเผาผลาญอาหารของกล้ามเนื้อ การทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และมีความเฉพาะเจาะจงกับชนิดกีฬา จึงกล่าวได้ว่า วิธีการฝึกความอดทนแบบใช้ออกซิเจนนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสร้างเสริมและพัฒนาระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนหรือสมรรถภาพด้านแอโรบิกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Martens (2012) ที่กล่าวว่า การฝึกเพื่อเพิ่มการพัฒนาสมรรถภาพด้านแอโรบิก โดยทั่วไปจะหมายถึงการฝึกความอดทน ซึ่งการฝึกให้เกิดความอดทนของร่างกายจะเน้นเรื่องการออกแรงในสภาวะที่ไม่หนักมากแต่จะต้องปฏิบัติกิจกรรมซ้ำ ๆ โดยใช้จำนวนครั้งหรือระยะเวลาที่ยาวนาน เพื่อให้ระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบกล้ามเนื้อให้ได้มีการทำงานอย่างต่อเนื่อง จนร่างกายมีอาการเมื่อยล้าเกิดขึ้นทีละน้อยสะสมเรื่อย ๆ โดยเป็นการฝึกให้ทำงานภายใต้สภาวะที่มีอาการเมื่อยล้า แต่ร่างกายยังเคลื่อนไหวและออกแรงต่อไปได้ ซึ่งปัจจุบันวิธีการฝึกความอดทนแบบใช้ออกซิเจนมีอยู่มากมายหลายวิธีดังนี้

1. การฝึกแบบต่อเนื่อง (Continuous training) เป็นวิธีการฝึกที่มีการปฏิบัติกิจกรรมอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องโดยไม่มีช่วงหยุดพักจนกระทั่งสิ้นสุดการฝึก เช่น การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการว่ายน้ำ ตั้งแต่ 30 นาทีขึ้นไป ถึง 2 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับระดับความสามารถของแต่ละคนและจุดมุ่งหมายของการฝึก ซึ่งนักกีฬาแต่ละคนจะเลือกใช้ระยะทางหรือระยะเวลาเป็นตัวกำหนดความหนักของงานเพื่อเพิ่มการพัฒนาความอดทนแบบใช้ออกซิเจน (ดังตารางที่ 2-7) อย่างไรก็ตาม ด้วยรูปแบบการทำงานที่มีลักษณะต่อเนื่องนี้จะถูกจำกัดด้วยความหนักของงานซึ่งส่วนใหญ่การปฏิบัติกิจกรรมที่มีความต่อเนื่องกันจะมีความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุด แต่ถ้านักกีฬาต้องการปฏิบัติกิจกรรมที่มีความหนักระดับสูงขึ้นระยะเวลาในการปฏิบัติกิจกรรมก็จะลดลง และในทางกลับกันถ้านักกีฬาต้องการปฏิบัติกิจกรรมให้ได้ระยะเวลานานขึ้นความหนักของงานที่ทำก็จะลดลง (สนธยา สีละมาด, 2560)

ตารางที่ 2-7 รายละเอียดการฝึกซ้อมความอดทนแบบใช้ออกซิเจน (สนธยา สีละมาด, 2560)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	งาน
ความหนัก	- ร้อยละ 85-90 ของชีพจรสูงสุด - ร้อยละ 80-85 ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง - อัตราการเต้นของหัวใจที่ต่ำกว่าพอดี หรือสูงกว่าอัตราการของหัวใจที่ตำแหน่งแลคเตต เทรชโฮล (Lactate threshold)
ความบ่อยครั้ง	- 4 ถึง 6 วันต่อสัปดาห์
จำนวนครั้งต่อวัน	- 1 ถึง 2 ครั้งต่อวัน
ระยะเวลาของโปรแกรม	- อย่างน้อย 8 วันต่อสัปดาห์
ระยะเวลาต่อครั้ง	- 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง

2. การฝึกแบบหนักสลับเบา (Interval training) เป็นวิธีการฝึกอย่างเป็นระบบที่ประกอบด้วยการฝึกซ้อมที่เป็นชุด สลับกับช่วงเวลาของการพัก ซึ่งในช่วงเวลาของการพักจะมีการออกกำลังกายเบา ๆ โดยในอดีตนั้นเรียกรูปแบบการฝึกนี้ว่า Controlled interval method ซึ่งสิ่งสำคัญที่จะต้องกำหนดไว้ในการฝึกก็คือ ระยะทาง (Distance) ช่วงเวลา (Interval) จำนวนเที่ยว (Repetition) และจำนวนรอบ (Time) ซึ่งเขียนเป็นคำย่อว่า DIRT การฝึกแบบหนักสลับเบา จะมีข้อได้เปรียบและแตกต่างไปจากการฝึกความอดทนโดยทั่วไป คือ ทำให้ร่างกายได้มีโอกาสพัฒนาระบบการสร้างและใช้พลังงานที่เหมาะสมกับประเภทกีฬาอย่างเต็มที่ นอกจากนี้ ยังช่วยให้ร่างกายได้พักเพิ่มเติมพลัง ขจัดของเสียและความร้อนจากกล้ามเนื้อเข้าสู่ระบบไหลเวียน เป็นการลดความเหนื่อย

ชะลอจุดแห่งความล้า มีความอดทนมากขึ้น และทำให้ร่างกายทำงานได้มากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปแนวทางในการออกแบบโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับเบาได้ดังนี้ (ประทุม ม่วงมี, 2532)

2.1 วิเคราะห์ว่ากีฬาหรือการออกกำลังกายนั้นใช้ระบบพลังงานประเภทใดเป็นหลัก

2.2 ใช้หลักการเพิ่มปริมาณหรือความหนัก (Overload principle) คือ การค่อย ๆ ให้ร่างกายได้เผชิญกับงานที่ทำโดยการกำหนดความเร็วหรือเวลา เช่น จากช้าไปเร็ว และกำหนดความเข้มข้น เช่น จากน้อยไปมาก จากต่ำไปสูง หรือจากที่ทำได้มากครั้งไปสู่ที่ทำได้น้อยครั้ง

2.3 สร้างโปรแกรมการฝึกที่สอดคล้องกับสภาพของผู้ที่เข้ารับการฝึก ดังนั้น ก่อนที่จะออกแบบโปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับเบาได้อย่างเหมาะสมจึงต้องมีการทดสอบความสามารถก่อน และเมื่อฝึกแบบหนักสลับเบาไปได้ 2-3 สัปดาห์ ควรมีการทดสอบอีกครั้งว่าโปรแกรมการฝึกนั้นควรมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

2.4 การฝึกแบบหนักสลับเบาที่มุ่งเน้นการรักษาระดับของสมรรถภาพทางกายให้คงอยู่จะได้ประโยชน์เมื่อใช้ระยะเวลาการฝึกระหว่าง 6-8 สัปดาห์

2.5 สร้างโปรแกรมที่มีลักษณะวันเว้นวัน เพื่อให้ร่างกายได้พัก

ตารางที่ 2-8 โปรแกรมการฝึกแบบหนักสลับเบาที่กำหนดจากระยะเวลาฝึก (ประทุม ม่วงมี, 2532)

กิจกรรม	ระบบพลังงาน	เวลา (นาที : วินาที)	จำนวนเซต	อัตราส่วน งาน : ช่วงพัก	กิจกรรม ช่วงพัก
1	ATP-PC	0:10	50	1:3	Rest-relief
		0:15	45	1:3	Rest-relief
		0:20	40	1:3	Rest-relief
		0:25	32	1:3	Rest-relief
2	ATP-PC + LA	0:30	25	1:3	Work-relief
		0:40-0:50	20	1:3	Work-relief
		1:00-1:10	15	1:2	Work-relief
		1:20	10	1:2	Work-relief
3	LA + O_2	1:30-2:00	8	1:2	Work-relief
		2:10-2:40	6	1:1	Work-relief
		2:50-3:00	4	1:1	Rest-relief
4	O_2	3:00-4:00	4	1:1	Rest-relief
		4:00-5:00	3	1:0.5	Rest-relief

หมายเหตุ: Rest-relief = เดินหรือยืดกล้ามเนื้อ และ Work-relief = เดินเร็วหรือออกกำลังกายเบา ๆ

3. การฝึกแบบสถานี (Circuit training) เป็นวิธีการฝึกที่มีการปฏิบัติกิจกรรมที่ผสมผสานกันระหว่างการฝึกความแข็งแรงและความอดทนเข้าไว้ด้วยกัน โดยปกติจะใช้การฝึกด้วยแรงต้านแบบหมุนเวียนสถานีเพื่อสลับกลุ่มกล้ามเนื้อในการฝึก ซึ่งแบ่งออกเป็น 8-12 สถานี โดยแต่ละสถานีกำหนดให้มีการฝึกสลับกลุ่มกล้ามเนื้อ และจะปฏิบัติกิจกรรม 8-10 ครั้งต่อสถานี ที่ความหนักร้อยละ 50-60 ของความแข็งแรงสูงสุด และการพักระหว่างสถานีจะด้วยการมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวในช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 1-3 นาที ก่อนที่จะไปยังสถานีถัดไป การฝึกลักษณะดังกล่าวถูกออกแบบมาเพื่อช่วยพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และสมรรถภาพด้านแอโรบิก ซึ่งความหลากหลายของสถานีจะช่วยให้เกิดความท้าทายและทำให้ความสนใจของนักกีฬาคงอยู่ตลอดช่วงของการฝึก (ธีระศักดิ์ อาภาวัฒนาสกุล, 2552)

เจริญ กระบวนรัตน์ (2561) กล่าวว่า การฝึกแบบสถานีเป็นวิธีการฝึกที่จะช่วยพัฒนาความสามารถในการคลื่อนไหวของร่างกายและข้อต่อ (Mobility) และสมรรถภาพด้านความแข็งแรง (Strength) หรือความแข็งแกร่งอดทนของร่างกาย (Stamina) ได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปการฝึกแบบสถานีสำหรับนักกีฬาที่ยังไม่มีประสบการณ์หรือนักกีฬาฝึกหัดใหม่ (Novices) ควรกำหนดให้มีสถานีฝึกประมาณ 6-8 สถานี ส่วนนักกีฬาที่มีประสบการณ์ ควรกำหนดให้มีสถานฝึกประมาณ 8-12 สถานี ในกรณีที่ต้องการพัฒนาสมรรถภาพทางกายแบบผสมผสาระหว่างความแข็งแรงอดทน (Strength endurance) กำลังอดทน (Power endurance) หรือความเร็วอดทนควบคู่ไปกับระบบไหลเวียนเลือด (Cardiovascular system) สถานีฝึกสามารถปรับเพิ่มเป็น 12-18 สถานีต่อการฝึก 1 รอบ โดยผู้ฝึกสอนกีฬาสามารถที่จะเลือกหรือกำหนดจำนวนสถานีฝึกให้เหมาะสมสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายที่ต้องการพัฒนา ซึ่งกิจกรรมการฝึกที่นักกีฬาต้องปฏิบัติในแต่ละเซตและในแต่ละสถานีฝึก จะใช้การกำหนดเวลา (Set time) หรือจำนวนครั้งในการปฏิบัติ (Number of repetitions) เป็นตัวกำหนดค่าความหนัก โดยช่วงเวลาพักระหว่างเปลี่ยนสถานีฝึก (Rest between stations) จะใช้ช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 30-90 วินาที ส่วนช่วงเวลาพักระหว่างรอบ (Rest between circuits) จะใช้ช่วงระยะเวลาประมาณ 3-5 นาที จำนวนรอบที่ทำหนดให้นักกีฬาฝึกในแต่ละครั้ง (Number of circuits) ประมาณ 2-5 รอบ ขึ้นอยู่กับระดับความสามารถและประสบการณ์ของนักกีฬาที่เข้ารับการฝึกอยู่ในขั้นใด (ขั้นฝึกหัด ขั้นพัฒนา หรือขั้นก้าวหน้า) และอยู่ในช่วงเวลาใดของการฝึกซ้อม เช่น ช่วงเตรียมความพร้อมร่างกาย (Preparation period) หรือช่วงการแข่งขัน (Competition period) และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการฝึกซ้อมเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถสรุปแนวทางในการออกแบบโปรแกรมการฝึกแบบสถานีได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การวางแผนการฝึกแบบสถานี (Planning circuit)

ในการวางแผนการฝึกความแข็งแรงแบบสถานี ผู้ฝึกสอนกีฬาควรกำหนดให้นักกีฬาทำการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบสถานี 3-4 รอบ โดยเจาะจงกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีบทบาทสำคัญต่อการเคลื่อนไหวและสอดคล้องกับประเภทกีฬานั้น ๆ ประมาณ 6-12 สถานี โดยพิจารณาให้เหมาะสมกับนักกีฬาและวัตถุประสงค์ของการฝึกเป็นหลัก ที่สำคัญต้องแน่ใจว่า ไม่มีกิจกรรมหรือการฝึกกล้ามเนื้อกลุ่มเดียวกันฝึกติดต่อกันสองสถานี เช่น ไม่ควรทำการฝึกกล้ามเนื้อไหล่และบ่าด้วยท่า Shoulder press และสถานีต่อไป ฝึกกล้ามเนื้อไหล่และบ่าด้วยทำ Upright row ซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกันจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการฝึกหรือการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง ทำให้ไม่ได้ผลตามเป้าหมายที่ต้องการ วิธีการจัดลำดับในการฝึกกล้ามเนื้อแบบสถานีที่ดี ควรฝึกกลุ่มกล้ามเนื้อเป็นลำดับ สลับหมุนเวียนกันในแต่ละส่วนของร่างกาย เช่น ฝึกกล้ามเนื้อรวมส่วน (Total Body) ฝึกกล้ามเนื้อส่วนบน (Upper body) ฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางและลำตัว (Core and Trunk) ฝึกกล้ามเนื้อส่วนล่าง (Low body) และวนกลับมาเริ่มที่การฝึกกล้ามเนื้อรวมส่วนต่อไป หรือสลับกลุ่มกล้ามเนื้อในการฝึกระหว่างกล้ามเนื้อร่างกายส่วนบนกับกล้ามเนื้อร่างกายส่วนล่างหรือสลับท่าออกกำลังกาย ระหว่างท่าที่ออกแรงผลัก (Pushing) กับออกแรงดึง (Pulling) เป็นต้น แต่ละสถานีควรมีแผ่นป้ายบอกลำดับที่ของสถานีฝึกไว้อย่างชัดเจน พร้อมระบุท่าฝึกกล้ามเนื้อหรือกิจกรรมที่ใช้ฝึก ตลอดจนวิธีการฝึกปฏิบัติ ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก หรือจำนวนครั้งที่ปฏิบัติ และช่วงเวลาพักให้นักกีฬาทราบ ที่สำคัญจะต้องเน้นให้นักกีฬาทำการอบอุ่นร่างกายก่อนที่จะเริ่มทำการฝึกซ้อมแต่ละครั้ง และคลายอุ่นร่างกายภายหลังเสร็จสิ้นการฝึกซ้อมทุกครั้ง ซึ่งท่าฝึกกล้ามเนื้อในแต่ละส่วนของร่างกายที่นำมาแสดงไว้เป็นตัวอย่างนี้ ผู้ฝึกสอนกีฬาสามารถเลือกนำมาใช้ในการจัดโปรแกรมการฝึกให้กับนักกีฬาในการฝึกแต่ละครั้งได้ (Circuit training session) ดังนี้ (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

- ท่าฝึกกล้ามเนื้อส่วนบน ได้แก่ Bench press, Shoulder press, Seated row, Incline press, Upright row, Fly, Bent-over, Lateral raise, Bent-over row, Bent-arm pull over, Push-up, Arm curls, Triceps extension, Pull up, การรับ-ส่งเมดิซินบอลสองมือระดับหน้าอก และการรับ-ส่งเมดิซินบอลสองมือเหนือศีรษะ เป็นต้น

- ท่าฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางและลำตัว ได้แก่ Sit-up, Crunches, Back Extension, Lat-Pull down, Twist sit-up, V-Sit, Side Bridge, บิดลำตัวซ้าย-ขวา รับ-ส่งเมดิซินบอล เป็นต้น

- ท่าฝึกกล้ามเนื้อส่วนล่าง ได้แก่ Front lunge, Side lunge, Squat, Dead lift, Leg press, Leg extension, Leg curl, Step up, Split squat, Hip abduction และ Hip adduction เป็นต้น

- ท่าที่ใช้ในการฝึกกล้ามเนื้อรวมส่วน ได้แก่ Squat thrust, Burpees, High pull, Power clean, Power snatch, Plank และ Side plank เป็นต้น

1. การจัดโปรแกรมฝึกกล้ามเนื้อแบบสถานี

1.1 ท่าที่ใช้ฝึกกล้ามเนื้อแบบสถานี 6 สถานี ประกอบด้วย ท่าที่ 1 Plank, ท่าที่ 2 Shoulder press, ท่าที่ 3 Squat, ท่าที่ 4 Sit up, ท่าที่ 5 Squat thrust และท่าที่ 6 Push up

1.2 ท่าที่ใช้ฝึกกล้ามเนื้อแบบสถานี 8 สถานี ประกอบด้วย ท่าที่ 1 Plank, ท่าที่ 2 Shoulder press, ท่าที่ 3 Squat, ท่าที่ 4 Sit up, ท่าที่ 5 Squat thrust, ท่าที่ 6 Push up, ท่าที่ 7 Back Extension และท่าที่ 8 Lunge

1.3 ท่าที่ใช้ฝึกกล้ามเนื้อแบบสถานี 10 สถานี ประกอบด้วย ท่าที่ 1 Plank, ท่าที่ 2 Shoulder press, ท่าที่ 3 Squat, ท่าที่ 4 Sit up, ท่าที่ 5 Squat thrust, ท่าที่ 6 Push up, ท่าที่ 7 Back Extension, ท่าที่ 8 Lunge, ท่าที่ 9 High pull และท่าที่ 10 Seated-row

4. ระยะวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี ระยะเวลาพักระหว่างสถานี และระหว่างรอบ

4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี 15-30 วินาที

4.2 ระยะเวลาพักระหว่างสถานี 30 วินาที

4.3 ระยะเวลาพักระหว่างรอบ 3 นาที

การกำหนดระยะเวลาในการฝึกแต่ละสถานีหรือการกำหนดจำนวนครั้งที่ปฏิบัติในแต่ละท่ากายบริหาร ควรให้นักกีฬาทำการฝึกโดยใช้หลักการพิจารณาจากความสามารถสูงสุดที่สามารถปฏิบัติได้ (Maximum effort) ภายในระยะเวลา 60 วินาที โดยใช้ระยะเวลาหรือจำนวนครั้งเพียงครึ่งหนึ่ง (ร้อยละ 50) หรือประมาณเศษ 1 ส่วน 3 ของความสามารถสูงสุดที่ทำได้ กำหนดเป็นความหนักให้นักกีฬาฝึกในแต่ละสถานี ขณะเดียวกัน ควรทำการทดสอบความสามารถสูงสุดของนักกีฬาทุก ๆ 4 สัปดาห์ เพื่อประเมินผลการฝึกซ้อมหรือตรวจสอบพัฒนาการความก้าวหน้าของนักกีฬาโดยใช้หลักการเดียวกัน คือ ความสามารถสูงสุดที่นักกีฬาปฏิบัติได้ภายในระยะเวลา 60 วินาที ในแต่ละท่ากายบริหารที่ฝึกแต่ละสถานี เพื่อใช้กำหนดเป็นความหนักของการฝึกซ้อมในวงรอบต่อไป (Cycle) สำหรับการจัดโปรแกรมฝึกโดยใช้วงรอบ 4 สัปดาห์ แต่ละสัปดาห์จะกำหนดความหนักที่ใช้ในการฝึกแตกต่างกัน ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 ความหนักระดับเบา สัปดาห์ที่ 2 ความหนักระดับปานกลาง สัปดาห์ที่ 3 ความหนักระดับค่อนข้างหนักถึงหนักมาก ส่วนสัปดาห์ที่ 4 ทำการทดสอบสมรรถภาพทางกายและพักฟื้นสภาพร่างกายนักกีฬาก่อนที่จะเข้าสู่วงรอบการฝึกซ้อมช่วงต่อไป

5. การปรับภาระงานในการฝึกแต่ละสัปดาห์ สามารถกระทำได้หลากหลายวิธีการ ดังนี้

5.1 ปรับเพิ่มกิจกรรมหรือจำนวนสถานีฝึก (Number of exercises)

5.2 ปรับเพิ่มระยะเวลาในการฝึกแต่ละสถานี (Duration)

5.3 ปรับเพิ่มจำนวนรอบหรือจำนวนเซต (Sets)

5.4 ปรับเพิ่มจำนวนครั้งที่ปฏิบัติในแต่ละเซต (Repetitions)

5.5 ปรับลดช่วงเวลาพักให้น้อยลง (Recovery time)

6. ข้อแนะนำในการฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไปด้วยการฝึกแบบสถานี

ในการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมแบบสถานี ถึงแม้จะสามารถประยุกต์ใช้ในการฝึกได้หลากหลายรูปแบบ แต่สิ่งที่เป็นเอกลักษณ์หรือโครงสร้างหลักของการฝึกแบบสถานียังคงเหมือนเดิมไม่เคยเปลี่ยนแปลงไป ดังจะสังเกตุเห็นได้จากปัจจัยหลักที่ใช้เป็นแนวทางและหลักการในการกำหนดการออกแบบโปรแกรมฝึกแต่ละครั้ง (Design training) ดังตารางที่ 2-9 (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

ตารางที่ 2-9 แนวทางปฏิบัติในการกำหนดโปรแกรมฝึกแบบสถานี (เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

ภาระงานในการฝึก	ตัวแปรที่สำคัญ
จำนวนท่ากายบริหารที่ใช้ฝึก	8-12 ท่า
ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	30-90 วินาที
จำนวนรอบที่กำหนดให้ฝึกแต่ละครั้ง	1-3 รอบ
ช่วงเวลาพักระหว่างสถานีหรือเซต	30-90 วินาที
ช่วงเวลาพักระหว่างรอบ	3-5 นาที
ความเร็วในการปฏิบัติ	ปานกลาง-เร็วสุด
ความบ่อยครั้งในการฝึกต่อสัปดาห์	2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

ด้วยเหตุนี้ ผู้ฝึกสอนกีฬาแต่ละประเภท สามารถนำหลักการที่เป็นโครงสร้างของการฝึกแบบสถานีดังกล่าวนี้ ไปใช้ในการออกแบบหรือจัดทำโปรแกรมการฝึกซ้อมแบบสถานี เพื่อสร้างเสริมและพัฒนาสมรรถภาพทักษะการเคลื่อนไหว และทักษะกีฬา หรือประยุกต์ใช้ในการฝึกแบบผสมผสานของแต่ละประเภทกีฬาได้อย่างมีคุณภาพ และมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

ตัวอย่าง การฝึกความแข็งแรงอดทนของกล้ามเนื้อแบบสถานีโดยใช้วงรอบ 6 สัปดาห์ ในการฝึกแบบสถานีนั้นผู้ฝึกสอนกีฬาสามารถนำอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่หลากหลายมาใช้ประกอบในการฝึก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฝึกให้กับนักกีฬา เช่น ดัมเบล เมดิซินบอล ถุงทราย ยางยืด บันได เชือก รั้ว และกล่อง เป็นต้น ดังตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 การฝึกความแข็งแรงอดทนของกล้ามเนื้อแบบสถานีโดยใช้น้ำหนักตัว
(เจริญ กระบวนรัตน์, 2561)

	สัปดาห์ที่ 1	**สัปดาห์ที่ 2**	**สัปดาห์ที่ 3**	**สัปดาห์ที่ 4**	**สัปดาห์ที่ 5**	**สัปดาห์ที่ 6**
ความหนัก						
Squat jump	30 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	60 วินาที
Push up	30 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	60 วินาที
Lunge	30 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	60 วินาที
Crunch	30 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	60 วินาที
Burpee	30 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	60 วินาที
Bench dip	30 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	60 วินาที
Squat thrust	30 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	60 วินาที
Superman	30 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	45 วินาที	60 วินาที	60 วินาที
พักระหว่างสถานี	60 วินาที	60 วินาที	60 วินาที	60 วินาที	60 วินาที	45 วินาที
พักระหว่างรอบ	3 นาที	3 นาที	3 นาที	3 นาที	3 นาที	3 นาที
จำนวนรอบที่ฝึก	2 รอบ	2 รอบ	2 รอบ	2 รอบ	2 รอบ	2 รอบ

7. ข้อดีและข้อเสียของการฝึกแบบสถานี

7.1 ข้อดีของการฝึกแบบสถานี (Advantages of circuit training) คือ

7.1.1 ช่วยพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด

7.1.2 สามารถปรับรูปแบบการฝึกให้เหมาะสมกับกีฬาแต่ละประเภทได้

7.1.3 สามารถปรับรูปแบบการฝึกให้เหมาะกับอายุ (Age) สมรรถภาพ (Fitness) และสุขภาพของนักกีฬา (Health) ได้

7.1.4 กิจกรรมการฝึกสามารถปรับระดับความยากง่ายหรือความหนักเบาให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับนักกีฬา ทำให้นักกีฬาเกิดความรู้สึกว่าสามารถทำได้ครบหรือประสบความสำเร็จได้ไม่ยาก

7.1.5 สามารถเลือกใช้กิจกรรมการฝึกหรือออกแบบการฝึกได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งช่วยกระตุ้นให้นักกีฬาเกิดความกระตือรือร้น (Enthusiasm) ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการฝึกซ้อม

7.2 ข้อเสียของการฝึกแบบสถานี (Disadvantages of circuit training) คือ

7.2.1 กิจกรรมการฝึกจำนวนมากต้องการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือฝึกเฉพาะด้าน ทำให้เกิดปัญหาความยุ่งยากในการจัดหาและเตรียมการ

7.2.2 ความต้องการหลากหลายในการฝึก ทำให้ขอบข่ายในการจัดกิจกรรมและอุปกรณ์การฝึกทำได้ยาก โดยทั่วไปการฝึกแบบสถานีจะสามารถกระทำได้เป็นอย่างดีต่อเมื่อมีสถานที่ อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกพร้อม หากขาดสิ่งใดสิ่งหนึ่งไปจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการฝึกซ้อมของนักกีฬาลดลง

7.2.3 ต้องใช้อุปกรณ์หรือสิ่งอำนวยความสะดวกให้มีความเหมาะสมกับสุขภาพหรือสภาพร่างกายของนักกีฬาแต่ละคน เพื่อความปลอดภัยและช่วยป้องกันอัตรายแก่นักกีฬาหรือผู้เข้ารับการฝึก ซึ่งสร้างความลำบากยุ่งยากในการจัดหาและเตรียมการ

จากข้อมูลที่ปรากฏจะเห็นได้ว่า การฝึกด้วยน้ำหนักหรือแรงต้านแบบสถานีเป็นวิธีการฝึกที่สามารถนำมาใช้ในการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาโดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อพัฒนาและยกระดับสมรรถภาพทางกายด้านกำลัง ความแข็งแรง และความอดทนให้กับนักกีฬาได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การฝึกแบบสถานียังสามารถออกแบบการจัดโปรแกรมการฝึกได้หลากหลายรูปแบบช่วยทำให้เกิดแรงจูงใจ และกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกกระตือรือร้นกับกิจกรรมการฝึกในแต่ละสถานีที่ท้าท้ายความสามารถและความพยายามของนักกีฬา

เจริญ กระบวนรัตน์ (2561) กล่าวว่า การฝึกแบบสถานีเป็นวิธีการฝึกรูปแบบหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบกล้ามเนื้ออย่างเป็นระบบด้วยรูปแบบการฝึกที่ได้มีการผสมผสานระหว่างความแข็งแรงกับความอดทน (Strength-Endurance) ความเร็วกับความอดทน (Speed-Endurance) และความเร็วกับความแข็งแรง (Speed-Strength) ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญที่จะนำไปสู่การยกระดับวิธีการฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถของนักกีฬาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Schmidt, Anderson, Graff, and Strutz (2016) ที่ศึกษาผลของการฝึกแบบสถานีที่ความหนักระดับสูงที่มีต่อสมรรถภาพทางกาย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบสถานี และกลุ่มที่ 2 กลุ่มควบคุม ทำการฝึกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกแบบสถานีช่วยพัฒนาให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และสมรรถภาพด้านแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ James (2018) ที่ศึกษาผลของการฝึกแบบสถานีที่มีต่อความอดทนของกล้ามเนื้อในนักศึกษา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา เพศชาย อายุ 18-22 ปี ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบสถานี และกลุ่มที่ 2 กลุ่มควบคุม ทำการฝึกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกแบบสถานีสามารถพัฒนาให้ความอดทนของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Hasan (2020) ที่ศึกษาผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรง

ต้านที่มีต่อความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำ และเคยได้รับการฝึกด้วยแรงต้าน อายุระหว่าง 20-25 ปี ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านสามารถพัฒนาให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น รูปแบบและวิธีการฝึกด้วยแรงต้านหรือน้ำหนักแบบสถานีจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้ฝึกสอนกีฬาสามารถนำไปใช้ในการฝึกเพื่อสร้างเสริมและพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อของนักกีฬาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ซึ่งสรุปได้ว่า จากจุดเด่นของการฝึกแบบสถานีที่ผสมผสานการฝึกความแข็งแรงและความอดทนเข้าไว้ด้วยกันอย่างเป็นระบบโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และระบบกล้ามเนื้อ ด้วยรูปแบบการฝึกซ้อมที่ทำให้เกิดผลได้หลากหลาย เพราะเป็นการนำเอากิจกรรมที่มีความแตกต่างมารวมไว้ด้วยกัน ขณะเดียวกันยังสามารถปรับระดับความหนักของงานและรูปแบบของกิจกรรมที่นำมาใช้ในการฝึกให้มีสอดคล้องกับกีฬาชนิดต่าง ๆ ซึ่งความหลากหลายของสถานีที่ใช้ในการฝึกจะช่วยให้เกิดความท้าทายและทำให้ความสนใจของนักกีฬาคงอยู่ตลอดช่วงของการฝึก ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ผู้วิจัยนำวิธีการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

การวางแผนการฝึกเพื่อพัฒนากล้ามเนื้อ

การวางแผนการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนากล้ามเนื้อ สามารถแบ่งออกเป็นช่วงของการฝึกซ้อมตามรูปแบบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้ (สนธยา สีละมาด, 2560)

1. การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาโครงสร้างร่างกาย (Anatomically adaptation training)

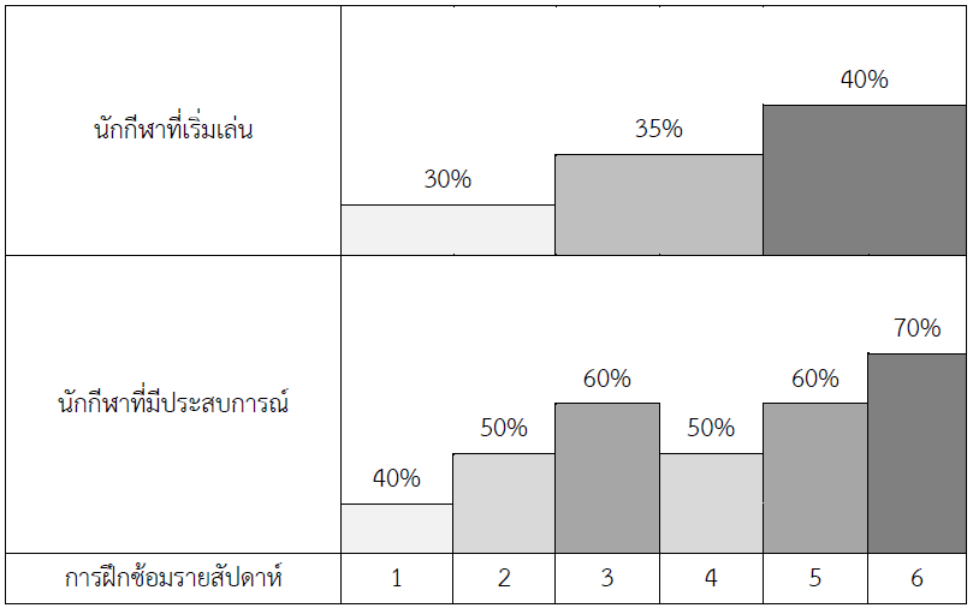
การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาโครงสร้างร่างกายเป็นการฝึกเพื่อก่อให้เกิดการพัฒนากล้ามเนื้อ เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และกระดูก ซึ่งวิธีการฝึกที่ง่ายที่สุดจะเป็นการฝึกแบบสถานี เพราะการฝึกแบบสถานีจะช่วยพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไปพร้อมกับการพัฒนาความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด โดยใช้เวลาฝึก 8-10 สัปดาห์ สำหรับนักกีฬาที่เพิ่งเริ่มเล่น (Novice athletes) และ 3-5 สัปดาห์สำหรับนักกีฬาที่มีประสบการณ์ (Experienced athletes) มาแล้ว (Bompa and Buzzichelli, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับ สนธยา สีละมาด (2560) กล่าวว่า การฝึกซ้อมแบบสถานีสามารถนำมาใช้ได้ตั้งแต่สัปดาห์แรกของการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาโครงสร้างร่างกาย แต่ก่อนที่จะทำการฝึกผู้ฝึกสอนกีฬาต้องทดสอบความสามารถของนักกีฬาด้วยการหาค่าความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1 Repetition maximum: 1RM) ก่อน เพื่อใช้ในการคำนวณหาความหนักที่ใช้ในการฝึก สำหรับนักกีฬาวัยเยาว์ควรเริ่มออกกำลังกายโดยใช้น้ำหนักของตนเองก่อน และเมื่อมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นสามารถใช้อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ดัมเบล และบาร์เบล เพื่อเพิ่มความหนักต่อไป

ตารางที่ 2-11 แนวทางการฝึกแบบสถานีสำหรับนักกีฬาที่เริ่มเล่นและนักกีฬาที่มีประสบการณ์

(สนธยา สีละมาด, 2560)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	นักกีฬาที่เริ่มเล่น	นักกีฬาที่มีประสบการณ์
ระยะเวลาการฝึกซ้อม	8-10 สัปดาห์	3-5 สัปดาห์
ความหนัก	30-40% of 1RM	40-60% of 1RM
จำนวนสถานีต่อรอบการฝึก	9-12 (15) สถานี	6-9 สถานี
จำนวนรอบการฝึกต่อครั้ง	2-3 รอบ	3-5 รอบ
ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	20-25 นาที	30-40 นาที
ระยะเวลาพักระหว่างสถานี	90 วินาที	60 วินาที
ระยะเวลาพักระหว่างรอบ	2-4 นาที	1-3 นาที
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2-3 ครั้งต่อสัปดาห์	3-4 ครั้งต่อสัปดาห์

จากตารางที่ 2-11 การฝึกซ้อมของนักกีฬาที่เริ่มเล่นและนักกีฬาที่มีประสบการณ์จะมีความแตกต่างกัน โดยระยะเวลาการฝึกซ้อมที่ยาวนานกว่า (8-10 สัปดาห์) จะก่อให้เกิดความรู้สึกที่ดีสำหรับนักกีฬาที่เริ่มเล่น และเป็นการเตรียมพื้นฐานที่ดีสำหรับการฝึกซ้อมในอนาคต ในทางตรงกันข้ามนักกีฬาที่มีประสบการณ์ระยะเวลาในการฝึกที่ยาวนานกว่า 3-5 สัปดาห์ อาจจะไม่เกิดการพัฒนาด้านโครงสร้างของร่างกายให้เพิ่มมากขึ้นอีกต่อไป นอกจากนี้ การกำหนดจำนวนสถานีต่อรอบการฝึกซ้อมสำหรับนักกีฬาที่เพิ่งเริ่มเล่นต้องได้รับการพัฒนากล้ามเนื้อหลายกลุ่ม เวลาที่ใช้ต่อรอบการฝึกซ้อมจึงยาวนานกว่า ขณะที่นักกีฬาที่มีประสบการณ์จะลดจำนวนสถานีในการฝึกซ้อมลงและมุ่งเน้นการฝึกพัฒนากล้ามเนื้อในกลุ่มที่ทำหน้าที่หลักในการเคลื่อนไหวที่สอดคล้องกับการปฏิบัติกิจกรรมทางการกีฬาประเภทนั้น ๆ (สนธยา สีละมาด, 2560) ซึ่งสอดคล้องกับ Bompa and Carrera (2005) กล่าวว่า ความต้องการทางด้านกายภาพโดยรวมต่อการฝึกซ้อมแบบสถานีจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นให้สอดคล้องและเหมาสมกับแต่ละบุคคล ซึ่งความหนักของงานที่ใช้ในการฝึกแบบสถานีสำหรับนักกีฬาที่เริ่มเล่นและนักกีฬาที่มีประสบการณ์จะมีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยนักกีฬาที่เริ่มเล่นต้องการการพัฒนาที่ดีกว่า เพาะฉะนั้น ระดับความหนักต้องคงไว้ 2 สัปดาห์ แต่สำหรับนักกีฬาที่มีประสบการณ์ระดับความหนักสามารถเปลี่ยนแปลงได้สัปดาห์ต่อสัปดาห์ และในการที่จะทราบถึงการปรับปรุงและการคิดคำนวณความหนักที่ใช้ในการฝึกซ้อมนั้น นักกีฬาสามารถใช้การทดสอบความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1RM) ทุก 3 สัปดาห์ ซึ่งจะเกิดในสัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 4 และช่วงท้ายของสัปดาห์ที่ 6 ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 การเพิ่มความหนักของการฝึกสำหรับนักกีฬาที่เริ่มเล่นและนักกีฬาที่มีประสบการณ์ (Bompa & Carrera, 2005)

2. การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาขนาดของกล้ามเนื้อ (Muscle hypertrophy training)

การเข้าสู่โปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อเพิ่มขนาดกล้ามเนื้อควรเริ่มต้นด้วยการทดสอบความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง เพื่อนักกีฬาจะได้ใช้ความหนักร้อยละ 70-80 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง หรือความหนักที่ยอมให้นักกีฬาปฏิบัติได้ถึง 6 ครั้ง และเมื่อนักกีฬามีการพัฒนาถึงความหนักที่ใช้นักกีฬาจะสามารถปฏิบัติได้จำนวนครั้งมากขึ้น แต่เมื่อนักกีฬาสามารถปฏิบัติได้ถึง 12 ครั้ง ความหนักควรเพิ่มขึ้นอีกครั้งเพื่อทำให้นักกีฬาสามารถปฏิบัติได้ 6 ครั้ง โดยการฝึกซ้อมส่วนใหญ่จะสนับสนุนให้นักกีฬาสามารถปฏิบัติขึ้นไปถึงจำนวนครั้งสูงสุดได้ในแต่ละเซตและนักกีฬาจะก้าวไปถึงระดับความอ่อนล้าเสมอ ซึ่งจะเห็นได้จากการที่นักกีฬาไม่สามารถปฏิบัติได้อย่างสมบูรณ์ในการปฏิบัติครั้งสุดท้ายของแต่ละเซตเว้นแต่ว่านักกีฬาจะใช้แรงพยายามสูงสุด อย่างไรก็ตาม กุญแจสำคัญของการฝึกซ้อมเพื่อเพิ่มขนาดกล้ามเนื้อนักกีฬาไม่จำเป็นที่จะต้องกระทำจนอ่อนล้าในแต่ละเซต เพราะการสะสมผลของความอ่อนล้าจากการปฏิบัติในแต่ละเซตจะกระตุ้นกระบวนการเผาผลาญของโปรตีน (Protein metabolism) ในร่างกาย ส่งผลให้เกิดการขยายใหญ่ขึ้นของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งสามารถสรุปแนวทางในการฝึกซ้อมเพื่อเพิ่มขนาดกล้ามเนื้อได้ (สนธยา สีละมาด, 2560) ดังตารางที่ 2-12

ตารางที่ 2-12 การฝึกเพิ่มขนาดกล้ามเนื้อ (สนธยา สีละมาด, 2560)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	งาน
ระยะเวลาการฝึกซ้อม	4-6 สัปดาห์
ความหนัก	ร้อยละ 70-80 ของ 1RM
จำนวนท่าที่ใช้ฝึก	6-9 ท่า
จำนวนครั้งต่อเซต	6-12 ครั้งต่อเซต
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	4-6 (8) เซต
ระยะเวลาพักต่อเซต	3-5 นาที
จังหวะหรือความเร็วของการปฏิบัติ	ช้า-ปานกลาง
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2-4 ครั้งต่อสัปดาห์

3. การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความแข็งแรงสูงสุด (Maximum strength training)

กีฬาเกือบทุกประเภทล้วนแต่ต้องการความแข็งแรงของกล้ามเนื้อซึ่งจะมีความต้องการมากหรือน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกีฬานั้น ๆ โดยความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักดังต่อไปนี้ (Bompa & Buzzichelli, 2015)

3.1 เส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter) หรือพื้นที่หน้าตัด (Cross-section) ของกล้ามเนื้อ

3.2 ความสามารถในการระดมจำนวนเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว

3.3 ความสามารถในการประสานสัมพันธ์กันของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวของกับการทำงาน

ดังนั้น การจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมความแข็งแรงสูงสุดจึงต้องออกแบบให้ครอบคลุมทั้งการเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยไมโอซิน (Myosin filaments) ขณะเดียวกันก็ต้องสนับสนุนให้มีการระดมเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมาใช้ในการทำงานพร้อมทั้งพัฒนการทำงานอย่างประสานสัมพันธ์กันของกลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงานไปพร้อม ๆ กัน ด้วยเหตุนี้ การฝึกซ้อมความแข็งแรงสูงสุดและพลังของนักกีฬาจึงควรเป็นการฝึกที่สนับสนุนการเรียนรู้การประสานสัมพันธ์ของกล้มเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวให้ดีขึ้น ขณะเดียวกันก็ต้องเป็นการฝึกซ้อมที่มีความหนักที่สามารถระดมจำนวนเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วมาใช้ในการทำงานได้จำนวนสูง ซึ่งจะเป็นผลให้นักกีฬามีการพัฒนาความแข็แรงสูงสุด (สนธยา สีละมาด, 2560) ซึ่ง Bompa and Buzzichelli (2015) ได้สรุปแนวทางในการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ใช้ความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุด (Submaximum load method: MxS-I) และความหนักระดับสูงสุด (Maximum load method: MxS-II) ดังตารางที่ 2-13 และตารางที่ 2-14

ตารางที่ 2-13 การฝึกพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ใช้ความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุด (Bompa & Buzzichelli, 2015)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	งาน
ความหนัก	ร้อยละ 70-80 ของ 1RM
จำนวนท่าที่ใช้ฝึก	2-5 ท่า
จำนวนครั้งต่อเซต	2-6 ครั้งต่อเซต
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	3-8 เซต
ระยะเวลาพักต่อเซต	2-3 นาที
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2-4 ครั้งต่อสัปดาห์

ตารางที่ 2-14 การฝึกพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ใช้ความหนักระดับสูงสุด (Bompa & Buzzichelli, 2015)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	งาน
ความหนัก	ร้อยละ 80-90 ของ 1RM
จำนวนท่าที่ใช้ฝึก	2-5 ท่า
จำนวนครั้งต่อเซต	1-3 ครั้งต่อเซต
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	3-8 เซต
ระยะเวลาพักต่อเซต	3-5 นาที
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2-4 ครั้งต่อสัปดาห์

4. การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดไปสู่พลัง (Conversion to power)

จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงไปเป็นพลังจะเป็นการถ่ายโอนความแข็งแรงสูงสุดจากการฝึกไปเป็นพลังที่มีความเฉพาะเจาะจง ซึ่ง สนธยา สีละมาด (2560) ได้กล่าวว่า พลัง คือ ความสามารถของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ในการที่จะก่อให้เกิดแรงมากที่สุดในช่วงระยะเวลาที่สั้นที่สุด หรือการเอาชนะแรงต้านทานได้ด้วยการหดตัวทำงานของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว จึงอาจกล่าวได้ว่า พลังเป็นผลของแรงจากกล้ามเนื้อ และความเร็วของการเคลื่อนไหว เพราะฉะนั้น พลังจึงเป็นผลที่เกิดขึ้นจากแรงคูณด้วยความเร็ว ($P = F \times V$) โดยการเพิ่มขึ้นของพลังจึงเป็นผลที่เกิดจากการพัฒนาความแข็งแรงหรือความเร็วอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่างไปพร้อมกัน โดยต้องมี

การฝึกซ้อมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อก่อนแล้วจึงค่อยเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลัง ซึ่งการฝึกความแข็งแรงสูงสุดจะมีการใช้ความหนักสูงสุดหรือสูงกว่าสูงสุด ดังนั้น การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาพลังจึงมีการกำหนดระดับความหนักของการฝึกอยู่ระหว่างร้อยละ 30 - 80 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง สำหรับชนิดกีฬาที่ใช้พลังอย่างต่อเนื่อง (Cyclic motion) เช่น การวิ่งระยะสั้น ระดับความหนักของการฝึกจะอยู่ที่ร้อยละ 30-50 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง แต่สำหรับกีฬาที่ใช้พลังไม่ต่อเนื่อง (Acyclic motion) เช่น กีฬาประเภท พุ่ง ทุ่ม ขว้าง ยกน้ำหนัก ระดับความหนักของการฝึกจะอยู่ที่ร้อยละ 50-80 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง สิ่งสำคัญในการพัฒนาพลังคือ จังหวะและความเร็วของการปฏิบัติ ซึ่งการพัฒนาพลังการเคลื่อนไหวควรปฏิบัติด้วยความเร็วสูงสุด โดยการออกแรงอย่างรวดเร็วกระทำกับน้ำหนักตลอดช่วงของการเคลื่อนไหว ซึ่งสามารถสรุปแนวทางในการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดไปเป็นพลัง ดังตารางที่ 2-15

ตารางที่ 2-15 การฝึกพัฒนาพลัง (สนธยา สีละมาด, 2560)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	งาน
ความหนัก	
- กีฬาที่ใช้พลังต่อเนื่อง	ร้อยละ 30-50 ของ 1RM
- กีฬาที่ใช้พลังไม่ต่อเนื่อง	ร้อยละ 50-80 ของ 1RM
จำนวนท่าที่ใช้ฝึก	2-4 (5) ท่า
จำนวนครั้งต่อเซต	4-10 ครั้งต่อเซต
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	3-6 เซต
ระยะเวลาพักต่อเซต	2-6 นาที
จังหวะหรือความเร็วของการปฏิบัติ	ต่อเนื่องหรือเร็ว
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

5. การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดไปสู่พลังอดทนของกล้ามเนื้อ (Conversion to power endurance)

กีฬาประเภทที่อาศัยความอดทนของกล้ามเนื้อเป็นสมรรถภาพทางกายหลัก ผู้ฝึกสอนกีฬาควรสนับสนุนให้นักกีฬามีการฝึกพัฒนาความแข็งแรงกล้ามเนื้อก่อน โดยการพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อจะมีประโยชน์สำหรับการฝึกซ้อมความอดทนของกล้ามเนื้อ เมื่อความแข็งแรงสูงสุดเพิ่มขึ้น จะทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีความสามารถในการทำงานสูง ซึ่งการปฏิบัติทักษะในหลายชนิดกีฬาพบว่า นักกีฬามีความต้องการใช้พลังไม่ใช่เพียงแค่ครั้งเดียวแต่จะมีความต้องการใช้พลังงาน

ซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เช่น การวิ่งช่วงสั้น ๆ ในกีฬาหลายชนิด ซึ่งต้องอาศัยพลังระเบิดในการวิ่งหรือการวิ่งระยะ 100 เมตร ที่ใช้ระยะเวลา 10-12 วินาที นักกีฬาส่วนใหญ่มีความเข้าใจผิดคิดว่าความอดทนเป็นสิ่งที่ไม่มีความสำคัญ แต่ความจริงแล้วในช่วงเวลาดังกล่าวการทำงานอย่างเต็มกำลังของกล้ามเนื้อขาจะไม่เกิดขึ้นเพียงแค่ครั้งเดียวในขณะที่ออกตัว หรือการก้าว 6-8 ก้าวแรกของการวิ่ง แต่การทำงานอย่างเต็มกำลังของกล้ามเนื้อขาจะเกิดขึ้นตลอดระยะทางการวิ่ง และในการแข่งขันวิ่ง 100 เมตร นักกีฬาส่วนมากจะมีการก้าวเท้าประมาณ 48-54 ก้าว และในขณะที่แข่งขันเท้าของนักกีฬาจะสัมผัสพื้นข้างละ 24-27 ครั้ง ซึ่งการที่เท้าสัมผัสพื้นแต่ละครั้งนักกีฬาจะมีการใช้แรงประมาณ 3-4.5 เท่าของน้ำหนักตัว เพื่อผลักดันร่างกายให้พ้นจากพื้นพร้อมกับเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เพราะฉะนั้น นักกีฬาที่มีการทำงานลักษณะดังกล่าวไม่ได้ต้องการพลังในการปฏิบัติทักษะเพียงแค่ครั้งหรือสองครั้ง แต่ต้องการพลังในการปฏิบัติซ้ำที่มากกว่า 20-30 ครั้ง ซึ่งบ่อยครั้งที่นักกีฬา ที่มีการวิ่งด้วยความเร็วระดับสูงจำนวนหลายเที่ยว เช่น ฟุตบอล และบาสเกตบอล จะไม่สามารถรักษาอัตราของความเร็วในการปฏิบัติทักษะไว้ได้ เพราะนักกีฬาไม่ได้ต้องการเพียงพลังระดับสูงแต่ยังรวมถึงความสามารถในการใช้พลังได้ซ้ำหลายครั้ง ดังนั้น นักกีฬาจึงต้องการใช้พลังอดทนเพื่อปฏิบัติทักษะ (สนธยา สีละมาด, 2560) ซึ่ง Bompa and Buzzichelli (2015) ได้กล่าวว่า การฝึกพัฒนาพลังอดทนจะมีความหนักร้อยละ 30-50 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ซึ่งการปฏิบัติในแต่ละครั้งจะต้องปฏิบัติด้วยพลังระเบิด (Explosive) อย่างต่อเนื่อง 20-30 ครั้ง เพื่อพัฒนาเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วให้มีพลังเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถสรุปแนวทางในการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาพลังอดทนระยะสั้น (Power endurance short) และพลังอดทนระยะยาวได้ (Power endurance long) ดังตารางที่ 2-16 และตารางที่ 2-17

ตารางที่ 2-16 การฝึกพัฒนาพลังอดทนระยะสั้น (Bompa & Buzzichelli, 2015)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	**งาน**
ระยะเวลาของการฝึก	4-6 สัปดาห์
ความหนัก	ร้อยละ 30-50 ของ 1RM
จำนวนท่าทีใช้ฝึก	2-5 ท่า
จำนวนครั้งต่อเซต	5-6 ครั้งต่อเซต
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	3-6 เซต
ระยะเวลาพักต่อเซต	5-20 วินาที
ระยะเวลาพักต่อรอบของการฝึก	3-5 นาที
จังหวะหรือความเร็วของการปฏิบัติ	พลังระเบิด
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2 ครั้งต่อสัปดาห์

ตารางที่ 2-17 การฝึกพัฒนาพลังอดทนระยะยาว (Bompa & Buzzichelli, 2015)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	งาน
ระยะเวลาของการฝึก	4-6 สัปดาห์
ความหนัก	ร้อยละ 30-50 ของ 1RM
จำนวนท่าที่ใช้ฝึก	2-5 ท่า
จำนวนครั้งต่อเซต	12-30 ครั้งต่อเซต
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	2-3 เซต
ระยะเวลาพักต่อเซต	5-20 วินาที
ระยะเวลาพักต่อรอบของการฝึก	3-8 นาที
จังหวะหรือความเร็วของการปฏิบัติ	พลังระเบิด
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

6. การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดไปสู่ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Conversion to Muscular endurance)

ความแข็งแรงอดทน (Strength endurance) เกิดจากการผสมผสานกันระหว่างความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ ซึ่งความอดทนของกล้ามเนื้อเป็นสมรรถภาพที่สำคัญต่อนักกีฬาที่มีการปฏิบัติกิจกรรมการกีฬาที่มีความหนักสูงตลอดช่วงเวลาที่ยาวนาน เช่น นักกีฬาว่ายน้ำ นักวิ่งระยะกลาง และนักกีฬาเรือพาย เป็นต้น ซึ่งในการปฏิบัติกิจกรรมทางกีฬานั้นความแข็งแรงสูงสุดหรือพลังกล้ามเนื้อจะไม่ได้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุด แต่สิ่งที่มีความสำคัญจะเป็นความสามารถ (ความอดทน) ที่จะใช้ความแข็งแรงสูงสุดหรือพลังกล้ามเนื้อได้อย่างยาวนาน ซึ่งการผสมผสานกันระหว่างความแข็งแรงและความอดทนจะก่อให้เกิดเป็นสมรรถภาพทางกลไกที่มีความเฉพาะเจาะจงกับชนิดกีฬา ได้แก่ ความอดทนของกล้ามเนื้อระยะสั้น (Muscular endurance of short duration) ความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลาง (Muscular endurance of short medium) และความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาว (Muscular endurance of long duration) (สนธยา สีละมาด, 2560) ซึ่ง Bompa and Buzzichelli (2015) ได้สรุปแนวทางในการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะสั้น ความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลาง และความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาวไว้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

6.1 การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะสั้น (Muscular endurance of short duration training method)

การแข่งขันกีฬาหลายประเภทที่ใช้เวลาการแข่งขันระหว่าง 30 วินาที - 2 นาที เช่น กรีฑา ว่ายน้ำ เรือแคนู หรือการปฏิบัติทักษะที่มีความหนักในช่วงเวลา 30 วินาที - 2 นาที ของกีฬาประเภททีม เช่น ฟุตบอล และบาสเกตบอล เป็นต้น จะมีความต้องการทั้งความสามารถสูงสุดในการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic power) และความอดทนแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic endurance) ทั้งนี้ในการปฏิบัติกิจกรรมที่มีความหนักในช่วงเวลาดังกล่าวจะมีการสร้างกรดแลกติกขึ้นระดับสูง เพราะฉะนั้น ควรออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมให้สอดคล้องกับความต้องการทางด้านสรีรวิทยาที่มีความสำคัญต่อการแสดงความสามารถทางการกีฬา โดยเฉพาะการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาให้นักกีฬามีความสามารถในการอดทนต่อผลของกรดแลกติกที่เกิดขึ้นจำนวนมาก (สนธยา สีละมาด, 2560) ซึ่งสอดคล้องกับ Bompa and Buzzichelli (2015) ได้กล่าวว่า การฝึกซ้อมความอดทนของกล้ามเนื้อระยะสั้นควรมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาความสามารถในการอดทนต่อความเมื่อยล้าและการเพิ่มขึ้นของกรดแลกติกของนักกีฬา โดยระดับความหนักของการฝึกซ้อมจะอยู่ระหว่างร้อยละ 40-60 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง โดยสามารถสรุปแนวทางในการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะสั้นได้ ดังที่ปรากฏในตารางที่ 2-18

ตารางที่ 2-18 การฝึกพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะสั้น (Bompa & Buzzichelli, 2015)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	**งาน**
ระยะเวลาของการฝึก	4-6 สัปดาห์
ความหนัก	ร้อยละ 40-60 ของ 1RM
จำนวนท่าที่ใช้ฝึก	2-6 ท่า
ระยะเวลาของการฝึกต่อเซต	30-120 วินาทีต่อเซต
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	3-4 เซต
ระยะเวลาพักต่อเซต	3-8 นาที
จังหวะหรือความเร็วของการปฏิบัติ	พลังระเบิด
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2 ครั้งต่อสัปดาห์

6.2 การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลาง (Muscular endurance of short medium training method)

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการฝึกซ้อมความอดทนของกล้ามเนื้อจะเป็นการเพิ่มความสามารถของนักกีฬาในการทำงานภายใต้สภาพความเมื่อยล้าในขณะที่ทำงานเป็นเวลานาน เพราะฉะนั้น การฝึกความอดทนของกล้ามเนื้อควรมีจำนวนการปฏิบัติมากเพื่อช่วยให้นักกีฬามีการพัฒนาทั้งความอดทนแบบไม่ใช้ออกซิเจนและใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เนื่องจากการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องหลายครั้งในช่วงแรกของแต่ละเซตพลังงานที่สนับสนุนจะมาจาระบบแอนแอโรบิก (Anaerobic system) เมื่อระดับกรดแลกติกเพิ่มขึ้นจะก่อให้เกิดปัญหากับนักกีฬาในการที่จะปฏิบัติกิจกรรมต่อไป แต่ถ้านักกีฬาสามารถเอาชนะและทำงานต่อไปได้พลังงานที่มาสนับสนุนจะมาจากระบบแอโรบิก (Anaerobic system) ดังนั้น การฝึกความอดทนของกล้ามเนื้ออย่างสม่ำเสมอจะทำให้เกิดการพัฒนาที่มีความเฉพาะเจาะจงกับระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด และการสร้างพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (สนธยา สีละมาด, 2560) ซึ่งสอดคล้องกับ Bompa and Buzzichelli (2015) ที่กล่าวว่า การฝึกเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลางจะมีระดับความหนักอยู่ที่ร้อยละ 30-50 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ซึ่งระดับความหนักดังกล่าวจะช่วยพัฒนาความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อให้ได้ยาวนานขึ้น โดยการฝึกซ้อมที่ระดับความหนักต่ำจะทำให้มีเพียงหน่วยยนต์ที่เกี่ยวข้องเท่านั้นที่เข้ามามีบทบาทในการทำงาน ส่วนหน่วยยนต์อื่น ๆ จะอยู่ในภาวะพักและจะเข้ามามีบทบาทก็ต่อเมื่อเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าเกิดการหดตัวและมีการเมื่อยล้า โดยสามารถสรุปแนวทางในการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลางได้ ดังที่ปรากฏในตารางที่ 2-19

ตารางที่ 2-19 การฝึกพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลาง (Bompa & Buzzichelli, 2015)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	**งาน**
ระยะเวลาของการฝึก	8-10 สัปดาห์
ความหนัก	ร้อยละ 30-50 ของ 1RM
จำนวนท่าที่ใช้ฝึก	4-8 ท่า
ระยะเวลาของการฝึกต่อเซต	2-8 นาทีต่อเซต
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	3-4 เซต
ระยะเวลาพักต่อเซต	2-3 นาที
จังหวะหรือความเร็วของการปฏิบัติ	เร็ว-ปานกลาง
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2 ครั้งต่อสัปดาห์

6.3 การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาว

ในการที่จะเพิ่มความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาวการฝึกซ้อมจะต้องใช้จำนวนการปฏิบัติซ้ำสูงมากเท่าที่จะสามารถทำได้ ด้วยการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง และมีช่วงเวลาการพักสั้นไม่สนับสนุนให้มีการฟื้นสภาพอย่างสมบูรณ์ โดยการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาวจะมีระดับความหนักของการฝึกซ้อมอยู่ระหว่างร้อยละ 30-40 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ซึ่งระดับความหนักดังกล่าวจะช่วยพัฒนาความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยสามารถสรุปแนวทางในการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาวได้ (Bompa & Carrera, 2005) ดังที่ปรากฏในตารางที่ 2-20

ตารางที่ 2-20 การฝึกพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อระยะยาว (Bompa & Buzzichelli, 2015)

ตัวแปรของการฝึกซ้อม	**งาน**
ระยะเวลาของการฝึก	8-12 สัปดาห์
ความหนัก	ร้อยละ 30-40 ของ 1RM
จำนวนท่าที่ใช้ฝึก	4-6 ท่า
จำนวนครั้งที่ใช้ฝึกต่อเซต	สูงมาก
จำนวนเซตที่ใช้ในการฝึกต่อครั้ง	2-4 เซต
ระยะเวลาพักต่อเซท	1-2 นาที
จังหวะหรือความเร็วของการปฏิบัติ	ปานกลาง
ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์	2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า รูปแบบการฝึกเพื่อสร้างเสริมและพัฒนากล้ามเนื้อด้วยแรงต้านมีพื้นฐานสำคัญในการฝึก 6 รูปแบบ ดังนี้ 1) การฝึกพัฒนาโครงสร้างร่างกาย 2) การฝึกเพื่อพัฒนาขนาดของกล้ามเนื้อ 3) การฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงสูงสุด 4) การฝึกเพื่อพัฒนาพลัง 5) การฝึกเพื่อพัฒนาพลังอดทนของกล้ามเนื้อ และ 6) การฝึกเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อ ซึ่งสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบโปรแกรมการฝึกคือ ระดับความหนักที่ใช้ฝึก ท่าที่ใช้ฝึก จำนวนครั้งที่ใช้ฝึกต่อเซต จำนวนเซตที่ใช้ฝึก ระยะเวลาที่ใช้ฝึกแต่ละครั้ง และระยะเวลาพักระหว่างเซต เป็นต้น ดังนั้นผู้ฝึกสอนกีฬาจึงจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจถึงความต้องการทางด้านสรีรวิทยาและกิจกรรมที่ใช้ในขณะแข่งขันของกีฬาประเภทต่าง ๆ จะทำให้สามารถออกแบบโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านได้อย่างสอดคล้องและเหมาะสมกับนักกีฬา

เจริญ กระบวนรัตน์ (2561) กล่าวว่า วิธีการฝึกที่นำมาใช้ในการพัฒนาความความอดทนจะต้องเป็นวิธีการฝึกที่ช่วยให้มีการพัฒนาทั้งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อและความอดทนของระบบหัวใจและหลอดเลือดอย่างเป็นระบบและเหมาะสม โดยการฝึกความแข็งแรงอดทนด้วยน้ำหนักแบบสถานี ก็เป็นการฝึกอีกรูปแบบหนึ่งที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาความอดทนทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิก ด้วยรูปแบบการฝึกที่ได้มีการผสมผสานกันระหว่างความแข็งแรงกับความอดทน ความเร็วกับความอดทน และความเร็วกับความแข็งแรง ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญที่จะนำไปสู่การยกระดับการฝึกเพื่อพัฒนาความสามารถของนักกีฬาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นสอดคล้องกับ Bompa and Buzzichelli (2015) ได้นำเสนอว่า การออกแบบโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านต้องคำนึงถึงตัวแปรหลายตัว เช่น ระดับความหนักที่ใช้ฝึก ท่าที่ใช้ฝึก จำนวนครั้งที่ใช้ฝึกต่อเซต ระยะเวลาฝึกในแต่ละครั้ง และระยะเวลาพักระหว่างเซต เป็นต้น จึงทำให้ในการศึกษาวิจัยที่ผ่านมานั้นมีรูปแบบการฝึกที่มีความแตกต่างและหลากหลาย เช่น การศึกษาของ Ratamess et al. (2016) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านแบบไอโซคิเนติกที่มีต่อความแข็งแรงกล้ามเนื้อและความอดทนของกล้ามเนื้อกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่มีสุขภาพดี เพศหญิง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกด้วยแรงต้านแบบไอโซคิเนติกที่ความหนักร้อยละ 75-85 ของความแข็งแรงสูงสุด มีท่าที่ใช้ฝึก 12 ท่า จำนวนครั้งที่ใช้ฝึก 6-10 ครั้งต่อเซต พักระหว่างเซต 2 นาที ฝึกทั้งหมด 5 เซต ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และกลุ่มที่ 2 กลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า การฝึกด้วยแรงต้านแบบไอโซคิเนติก ช่วยให้ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Assuncao et al. (2016) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำและระดับความหนักสูงที่มีต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักสูง มีท่าที่ใช้ฝึก 8 ท่า จำนวนครั้งที่ใช้ฝึก 4-6 ครั้งต่อเซต พักระหว่างเซต 60 วินาที พักระหว่างท่าที่ใช้ฝึก 120 วินาที ฝึกทั้งหมด 3 เซต กลุ่มที่ 2 ฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักต่ำ มีท่าที่ใช้ฝึก 8 ท่า จำนวนครั้งที่ใช้ฝึก 12-15 ครั้งต่อเซต พักระหว่างเซต 60 วินาที พักระหว่างท่าที่ใช้ฝึก 120 วินาที ฝึกทั้งหมด 3 เซต ซึ่งกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 9 สัปดาห์ และกลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า การฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักต่ำและระดับความหนักสูงสามารถพัฒนาให้สมรรถภาพของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Coratella and Schena (2016) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านแบบเอกเซนตริกที่มีต่อความแข็งของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และขนาดของกล้ามเนื้อ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา เพศชาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกด้วยแรงต้านแบบเอกเซนตริกที่ร้อยละ 120 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1RM) มีท่าที่ใช้ฝึก 12 ท่า จำนวนครั้งที่ใช้ฝึก 6 ครั้งต่อเซต พักระหว่างเซต 3 นาที ฝึกทั้งหมด 5 เซต กลุ่มที่ 2 ฝึกด้วยแรงต้านแบบเอกเซนตริกที่ร้อยละ 85 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง มีท่าที่ใช้ฝึก 12 ท่า จำนวนครั้งที่ใช้ฝึก 7 ครั้งต่อเซต

พักระหว่างเซต 3 นาที ฝึกทั้งหมด 6 เซต กลุ่มที่ 3 ฝึกด้วยแรงต้านแบบผสมผสานเอกเซนตริกและคอนเซนตริกที่ร้อยละ 90 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง มีท่าที่ใช้ฝึก 12 ท่า จำนวนครั้งที่ใช้ฝึก 5 ครั้งต่อเซต พักระหว่างเซต 3 นาที ฝึกทั้งหมด 4 เซต ซึ่งกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ และกลุ่มที่ 4 กลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า การฝึกด้วยแรงต้านแบบเอกเซนตริกช่วยพัฒนาความแข็งของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และขนาดของกล้ามเนื้อได้ดีที่สุด นอกจากนี้ ยังมีการใช้สภาพแวดล้อมที่ไม่ปกติเข้ามาเป็นตัวแปรหนึ่งในการออกแบบโปรแกรมการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของนักกีฬา เช่นการศึกษาของ Martínez-Guardado et al. (2019) ที่ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นประสาทหลังจากการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่มีความหนักระดับสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่เคยได้รับการฝึกด้วยแรงต้านเพศชาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 15.5 ของอากาศทั้งหมด) และกลุ่มที่ 2 ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (ออกซิเจนร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด) ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า เส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นประสาททั้ง 2 กลุ่ม มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากข้อมูลที่กล่าวมาประกอบกับข้อดีของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านช่วยที่ช่วยให้มีการพัฒนาทั้งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และความอดทนของระบบหัวใจและหลอดเลือดอย่างเป็นระบบและเหมาะสม จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษารูปแบบการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ว่าจะส่งผลอย่างไรต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง

การฝึกซ้อมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

ในการศึกษาเกี่ยวกับการฝึกซ้อมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Hypoxic training) หรือการฝึกซ้อมบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล (Altitude training) ที่นำมาใช้ในการพัฒนาความสามารถของนักกีฬานั้นมีแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

สภาพแวดล้อมของพื้นที่สูง

ในช่วงแรก ๆ ของการศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่สูงนั้นจะศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของสภาพอากาศที่หนาวเย็นมากกว่าสภาพความกดอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อขึ้นไปอยู่บนพื้นที่สูง ซึ่งต่อมาการศึกษาเรื่องของสภาพความกดอากาศได้ปรากฏเด่นชัดขึ้น ในช่วงปี ค.ศ. 1644 เมื่อมีการพัฒนาเครื่องมือวัดความกดอากาศด้วยการใช้ปรอทมาแทนที่การใช้น้ำ ทำให้การวัดความกดอากาศมีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งเครื่องมือนี้เรียกว่า บารอมิเตอร์ (Barometer) โดยปกติความกดอากาศ

หรือความดันบรรยากาศจะมีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) ซึ่งเป็นค่าความกดอากาศบนพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเล โดยเมื่อกล่าวถึงสภาพร่างกายหรือสภาพทางสรีรวิทยาของร่างกายที่เปลี่ยนแปลงในขณะที่อยู่หรือทำกิจกรรมใด ๆ จะหมายถึงพื้นที่ใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเล (ความกดอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท) แต่เมื่อความกดอากาศหรือความดันบรรยากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เช่น การขึ้นไปอยู่บนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลจะทำให้ความดันย่อยของก๊าซแต่ละชนิดเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยฉพาะเมื่อความดันย่อยของก๊าซออกซิเจนจะลดต่ำลง จะส่งผลให้ความสามารถในการทำงานถูกจำกัดลงด้วย (Kenney et al., 2015)

บรรยากาศ

บรรยากาศ (Atmosphere) คือ อากาศที่อยู่รอบตัวเราและห่อหุ้มโลกไว้ทั้งหมด ซึ่งอากาศจะมีสถานะเป็นก๊าซ จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในชั้นบรรยากาศอย่างรวดเร็ว ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมีทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ซึ่งปัจจัยภายใน ได้แก่ การหมุนรอบตัวเองของโลก พื้นดิน พื้นน้ำ และสิ่งมีชีวิต ส่วนปัจจัยภายนอก ได้แก่ พลังงานจากดวงอาทิตย์ และวงโคจรของโลก ซึ่งบรรยากาศนี้จะประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ หลายชนิดในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (Rohli & Vega, 2018) ดังปรากฏในตารางที่ 2-21

ตารางที่ 2-21 องค์ประกอบที่สำคัญของก๊าซในบรรยากาศโลก (Rohli & Vega, 2018)

ก๊าซ	ปริมาณร้อยละ
ไนโตรเจน (Nitrogen)	78.08
ออกซิเจน (Oxygen)	20.93
อาร์กอน (Argon)	0.93
คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)	0.039
ก๊าซอื่น ๆ (All others)	0.003

ความกดอากาศบนพื้นที่สูง

ความกดอากาศ (Air pressure) หรือความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) คือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของมวลอากาศที่กดลงบนพื้นโลกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความกดอากาศเกิดจากน้ำหนักของอากาศที่รวมตัวกันเป็นบรรยากาศโลก ส่งผลให้อากาศมีน้ำหนักมากกดลงสู่พื้นผิวโลก โดยความกดอากาศนี้จะมีค่ามากเมื่ออยู่ในระดับที่ใกล้กับพื้นผิวโลก และจะมีค่าลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นเหนือพื้นผิวโลก เพราะว่าบริเวณใกล้พื้นผิวโลกจะมีมวลอากาศที่หนาแน่นมากกว่าและมีชั้นอากาศทับถมกันอยู่หนาแน่นกว่าบริเวณพื้นผิวที่อยู่สูงขึ้นไปจากพื้นผิวโลก ทำให้ค่าความกด

อากาศที่บริเวณพื้นผิวโลกและมหาสมุทรมีมากกว่าบริเวณยอดเขาสูง ซึ่ง ความกดอากาศสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือที่มีชื่อว่า บารอมิเตอร์ (Barometer) แบบปรอท แล้วระบุค่าความกดอากาศจากการเทียบกับค่าความกดอากาศมาตรฐาน ณ ระดับน้ำทะเลปานกลาง ทั้งนี้ค่าความกดอากาศ ณ ระดับน้ำทะเลปานกลางที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะมีค่าเท่ากับ 1,013.25 มิลลิบาร์ (Millibar) ซึ่งเป็นค่าบรรยากาศมาตรฐาน แต่บางครั้งอาจเทียบหน่วยกับความยาวของปรอท ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29.92 นิ้ว (Inch) หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท (Tarbuck, Lutgens, & Tasa, 2015)

ความสัมพันธ์ระหว่างความกดอากาศและระดับความสูง

ที่ระดับน้ำทะเล (Sea level) ความกดอากาศจะมีค่าเท่ากับความลึกของน้ำ 10 เมตร ที่กดลงบนร่างกายตลอดเวลา แต่เมื่อขึ้นไปบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลในชั้นบรรยากาศก็จะมีอากาศน้อยลง ซึ่งผลจากการลดของความกดอากาศจะทำให้ปริมาตรของอากาศมีจำนวนโมเลกุลเบาบางลง (ความกดอากาศลดลง) แต่โมเลกุลของออกซิเจนก็ยังคงเป็นร้อยละ 20.93 เท่าเดิม (Kenney et al., 2015) ดังภาพที่ 2-14

Altitude (ft) (m)	0 (sea level) 0	5,202 1,610	7,251 2,210	14,108 4,300	29,028 8,048
Barometric pressure P_b (mmHg)	760	631	585	430	253
% O_2 in the air	20.93	20.93	20.93	20.93	20.93
Partial pressure of oxygen PO_2 (mmHg) in the air	159	132	122	90	53
Typical temperature (°C) (°F)	15 59	9 47	2 36	−11 12	−43 −46

ภาพที่ 2-14 ความสัมพันธ์ระหว่างความกดอากาศและระดับความสูง (Kenney et al., 2015)

อุณหภูมิและความชื้นในอากาศบนพื้นที่สูง

ความสูงที่เพิ่มขึ้นอุณหภูมิก็จะลดต่ำลง ซึ่งระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น 150 เมตร อุณหภูมิก็จะลดลง 1 องศเซลเซียส ส่วนความชื้นในอากาศบนพื้นที่สูงพบว่า จะมีอากาศที่แห้งและมีความชื้นในอากาศต่ำ ทำให้มีโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนและออกซิเจนเบาบาง (West et al., 2013)

การตอบสนองและการปรับตัวของร่างกายเมื่อขึ้นไปอยู่บนพื้นที่สูง

เมื่อร่างกายสัมผัสกับอากาศบนที่สูงหรืออยู่ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจะมีการตอบสนองที่เกิดขึ้นทันทีและมีการปรับตัวที่เกิดขึ้นระยะยาวเมื่อร่างกายเกิดความเคยชินต่อการอยู่ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำดังนี้ (West et al., 2013)

1 การตอบสนองที่เกิดขึ้นทันที

1.1 การหายใจถี่ขึ้น (Hyperventilation) ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วง 2-3 สัปดาห์แรก และอาจจะมีการหายใจถี่ขึ้นอยู่นานเป็นปีเมื่อยังอยู่บนพื้นที่สูง ซึ่งเกิดจากการที่ปริมาณออกซิเจนลดลง ทำให้เคโมรีเซปเตอร์ (Chemoreceptors) ไปกระตุ้นให้มีการหายใจเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในถุงลมปอด ซึ่งการเพิ่มความดันออกซิเจนในถุงลมพร้อมกับการระบายอากาศจะทำให้ออกซิเจนในปอดเพิ่มขึ้น

1.2 การสูญเสียน้ำ (Fluid loss) ร่างกายอาจเกิดการสูญเสียน้ำจากทางเดินหายใจ ด้วยการระเหย ทำให้ร่างกายขาดน้ำ ปากและคอแห้ง โดยเฉพาะผู้ที่ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาก็จะยิ่งเสียน้ำเพิ่มขึ้นจากการหลั่งเหงื่อเพื่อระบายความร้อน จึงควรให้มีการตรวจสอบน้ำหนักร่างกายและดื่มน้ำชดเชยอยู่เสมอ

1.3 ระบบไหลเวียนเลือดตอบสนองเพิ่มขึ้น ซึ่งในระยะแรกอัตราการเต้นหัวใจ (Heart rate) และปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output) จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 แต่ปริมาตรเลือดที่หัวใจสูบฉีดในแต่ละครั้ง (Stoke volume) ยังไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น การไหลเวียนของเลือดจะเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยภาวะที่เลือดมีออกซิเจนลดต่ำลง

1.4 การเจ็บป่วยอย่างเฉียบพลันเมื่อขึ้นไปอยู่บนพื้นที่สูง 3,048 เมตร หรือพื้นที่ที่สูงกว่า โดยเริ่มต้นมีอาการปวดศีรษะเนื่องจากหลอดเลือดในสมองขยายตัวและตามด้วยคลื่นไส้ อาเจียน ตามัว นอนไม่หลับ อ่อนเพลีย และมักมีการเบื่ออาหารจนทำให้ได้รับพลังงานจากอาหารลดลงมีผลให้น้ำหนักตัวลด อาการคล้ายปอดบวม ซึ่งการเจ็บป่วยเหล่านี้สามารถป้องกันได้โดยให้มีการปรับตัวจนชินต่อสภาพอากาศที่มีความสูงต่ำกว่า 3,048 เมตร เสียก่อนแล้วจึงค่อยไปอยู่ยังพื้นที่ที่สูงกว่า

2 การปรับตัวที่เกิดขึ้นระยะยาว

2.1 การปรับสมดุลกรด-ด่าง เมื่อร่างกายสัมผัสกับอากาศบนที่สูงหรือในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจะมีการขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจำนวนมาก ทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะเป็นด่าง

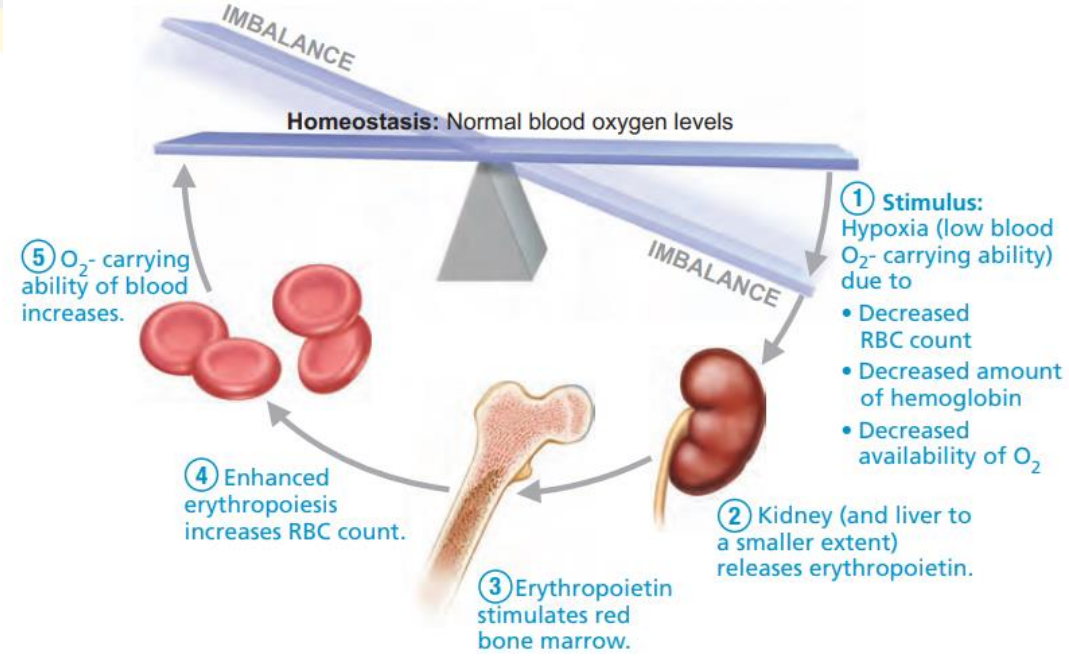
ร่างกายจึงมีการขับด่างผ่านไตทำให้ค่าด่างสำรอง (Alkaline reserve) ลดลง เพื่อปรับสมดุลกรด-ด่างในร่างกายให้อยู่ในระดับปกติ

2.2 การปรับตัวของเซลล์ด้วยการกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองและปรับตัวทางสรีรวิทยา ได้แก่ เพิ่มการแตกแขนงหลอดเลือดฝอยที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อลาย เพิ่มขึ้นสาร 2-3 Diphosphoglycerate (2-3 DPG) ในขบวนการ Glycolysis เพิ่มไมโตรคอนเดรีย เพิ่มเอนไซม์ที่ใช้ในการบวนการสร้างพลังงานแอโรบิก และเพิ่มไมโอโกลบิน

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางเลือด มีการเพิ่มความสามารถในการนำออกซิเจนจากการเพิ่มขึ้นของปริมาตรเม็ดเลือดแดงและฮีโมโกบิน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในเลือดที่ลดต่ำลง ทำให้ไต (kidney) หลั่งฮอร์โมนอีริทโทรโพอิติน (Erythropoietin: EPO) เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มระดับของฮอร์โมนอีริทโทรโพตินนี้จะช่วยกระตุ้นให้ไขกระดูกสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น

กลไกการเพิ่มปริมาณของเซลล์เม็ดเลือดแดง

เมื่อระดับออกซิเจนในเลือดลดลงจากการที่ร่างกายสัมผัสกับอากาศบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลหรืออยู่ในสภาวะที่ปริมาณออกซิเจนในอากาศลดลง จะกระตุ้นให้ไตผลิตฮอร์โมนอีริทโทรโพอิติน (Erythropoietin: EPO) เพิ่มขึ้นซึ่งการเพิ่มระดับของอีริททรโพอิตินนี้จะกระตุ้นให้ไขกระดูกสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น เพื่อรักษาระดับของออกซิเจนในร่างกายให้เกิดความสมดุล (Marieb & Hoehn, 2016) ดังปรากฏในภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 กลไกการเพิ่มปริมาณของเซลล์เม็ดเลือดแดง (Marieb & Hoehn, 2016)

รูปแบบการฝึกบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลหรือการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

การฝึกบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลเป็นที่กล่าวถึงอย่างมากภายหลังจากการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก ในปี ค ศ.1968 ที่จัดขึ้น ณ กรุงเม็กซิโก ประเทศเม็กซิโก เนื่องจากเม็กซิโกเป็นประเทศที่ตั้งอยู่บนพื้นที่สูงเหนือระดับทะเล 2,240 เมตร และเป็นครั้งแรกที่มีการจัดการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกขึ้นบนพื้นที่สูง ทำให้นักกีฬาที่มาจากประเทศในแถบแอฟริกาตะวันออกที่มีการพักอาศัยและทำฝึกอยู่ในสภาพแวดล้อมที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล สามารถทำผลงานได้ดีกว่านักกีฬาจากประเทศอื่น ๆ และยังสร้างสถิติใหม่ขึ้นในการแข่งขันหลายรายการ จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์การกีฬาหันมาสนใจที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการฝึกซ้อมบนพื้นที่สูงที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของนักกีฬามากขึ้น (McArdle et al., 2016) ซึ่ง Sinex and Chapman (2015) และ Kenney et al. (2015) กล่าวว่า การฝึกบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลเป็นวิธีการฝึกที่นำลักษณะของสภาพแวดล้อมที่ไม่ปกติมาช่วยกระตุ้นให้ร่างกายของนักกีฬาเกิดการตอบสนองขณะทำการฝึก ซึ่งระดับความสูงที่นำมาใช้ในการฝึกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

1. ความสูงที่ใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเล (Near sea-level) จะมีความสูงน้อยกว่า 500 เมตร จากระดับน้ำทะเล โดยมีปริมาณออกซิเจนในอากาศร้อยละ 19.8-20.9 ของอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นระดับออกซิเจนปกติ

2. ความสูงระดับต่ำ (Low altitude) จะมีความสูง 500-2,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล โดยมีปริมาณออกซิเจนในอากาศร้อยละ 16.7-19.8 ของอากาศทั้งหมด ซึ่งที่ระดับความสูงนี้พบว่าความสามารถด้านแอโรบิกจะลดลงเล็กน้อย

3. ความสูงระดับปานกลาง (Moderate altitude) จะมีความสูง 2,000-3,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล โดยปริมาณออกซิเจนในอากาศร้อยละ 14.8-16.7 ของอากาศทั้งหมด ซึ่งที่ระดับความสูงนี้พบว่า จะเริ่มมีอาการแพ้ความสูง (Mountain sickness) เกิดขึ้น

4. ความสูงระดับสูง (High altitude) จะมีความสูง 3,000-5,500 เมตร จากระดับน้ำทะเล โดยมีปริมาณออกซิเจนในอากาศร้อยละ 10.9-14.8 ของอากาศทั้งหมด ซึ่งที่ระดับความสูงนี้พบว่าจะมีอาการแพ้ความสูงและประสิทธิภาพในการทำงานของร่างกายจะลดลงอย่างมาก

5. ความสูงระดับสูงสุด (Extreme altitude) จะมีความสูงมากกว่า 5,500 เมตร จากระดับน้ำทะเล มีปริมาณออกซิเจนในอากาศน้อยกว่าร้อยละ 10.9 ของอากาศทั้งหมด

ซึ่งจากรายงานการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ความสูงที่ใช้ในการฝึกซ้อมบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของนักกีฬาคือ ความสูงตั้งแต่ 1,500 เมตร ขึ้นไป

Wilber (2011) กล่าวว่า รูปแบบของการฝึกบนพื้นที่สูงหรือการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่นิยมนำมาใช้ในการฝึก มี 3 วิธี ดังนี้

1. การอยู่บนที่สูงและฝึกซ้อมบนที่สูง (Live high-Train high: LHTH) เป็นการอยู่และฝึกที่ความสูงระดับปานกลาง-ระดับสูง (1,500-4,000 เมตร) ตลอดระยะเวลาการฝึก ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมรรถภาพด้านแอโรบิก เช่น ปริมาณของเม็ดเลือดแดง ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือสมรรถภาพด้านความอดทน ในปัจจุบันยังคงใช้วิธีการฝึกลักษณะนี้เช่นกัน แต่ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งของการอยู่บนที่สูงแลฝึกซ้อมบนที่สูงนี้จะทำให้การฝึกของนักกีฬานั้นไม่สามารถฝึกได้ในระดับความหนักที่เท่ากับการฝึกที่ระดับน้ำทะเล

2. การอยู่บนที่สูงและฝึกซ้อมในที่ต่ำ (Live high-Train low: LHTL) เป็นวิธีการฝึกที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาด้านความหนักของการฝึกที่ถูกจำกัด ซึ่งสมมุติฐานของการฝึกลักษณะนี้ก็คือการอยู่บนที่สูงนั้นเพื่อที่จะทำให้นักกีฬานั้นเคยชินกับสภาพแวดล้อมเพื่อกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดเลือดแดง ส่วนการฝึกในที่ต่ำจะเป็นการรักษาระดับความหนักในการฝึกและการไหลเวียนของออกซิเจน (Oxygen flux) ให้เทียบเท่ากับระดับน้ำทะเล เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านการเผาผลาญพลังและการเปลี่ยนแปลของระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อ ซึ่งการอยู่บนที่สูงนั้นจะใช้ความสูง 2,000-3,000 เมตร และการฝึกจะใช้ความสูงที่ต่ำกว่า 1,500 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งการฝึกลักษณะนี้ออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

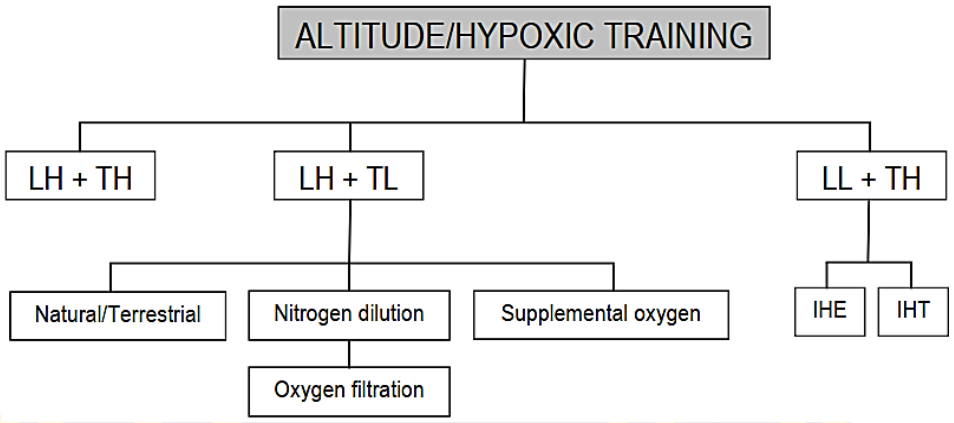
2.1 การใช้ความสูงตามธรรมชาติ (Natural/Terrestrial)

2.2 การละลายไนโตรเจน (Nitrogen dilution) เพื่อลดปริมาณออกซิเจนในอากาศลง

2.3 การกรองออกซิเจน (Hypoxic filtration) เพื่อลดปริมาณออกซิเจนในอากาศลง

2.4 การเสริมออกซิเจน (Supplemental oxygen) เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในอากาศ

3. การอยู่ในที่ต่ำและฝึกซ้อมบนที่สูง (Live low-Train high: LLTH) เป็นการฝึกซ้อมที่ให้นักกีฬาอาศัยอยู่ในระดับเดียวกับน้ำทะเล แต่ในขณะฝึกนั้นนักกีฬาจะฝึกที่ภาวะพร่องออกซิเจน ซึ่งขณะฝึกจะเป็นการสัมผัสกับภาวะพร่องออกกซิเจนเพียงระยะสั้น ๆ ประมาณ 5-180 นาที ซึ่งลักษณะของการจำลองภาวะพร่องออกซิเจนนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การละลายไนโตรเจน การกรองออกซิเจน และการกระตุ้นภาวะพร่องออกซิเจน (Inspiration of hypoxic gas) โดยลักษณะของการอยู่ในที่ต่ำและฝึกซ้อมบนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลนั้นสามารถทำได้ทั้งการสัมผัสในขณะพัก (Intermittent hypoxic exposure IHE) และการสัมผัสในชณะฝึก (Intermittent hypoxic training: IHT) และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ภายหลังจากการฝึกจะเกิดการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนอีริทโทรโพอิติน ปริมาณของเม็ดเลือดแดง ความหนาแน่นของไมโตรคอนเดรีย และปริมาณของหลอดเลือดฝอยที่แตกแขนง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการฝึกลักษณะนี้ทำให้เกิดการพัฒนาด้านสมรรถะของนักกีฬาในหลายด้าน จึงทำให้วิธีการฝึกนี้ได้รับความนิยมและถูกมาใช้ในการฝึกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของนักกีฬากันอย่างแพร่หลาย



ภาพที่ 2-16 รูปแบบของการฝึกบนพื้นที่สูงหรือในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (Wilber, 2011)

การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีความดันบรรยากาศปกติ (Normobaric hypoxic training) ก็เป็นวิธีการฝึกอีกรูปแบบหนึ่งที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในอากาศลดต่ำลงจากระดับปกติที่ร้อยละ 20.93 ของอากาศทั้งหมด แต่ยังให้ความดันบรรยากาศคงอยู่ในระดับปกติที่ 760 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) ซึ่งปริมาณออกซิเจนในอากาศที่ลดลงอย่างฉับพลัน จะส่งผลให้การหายใจขณะทำการฝึกทำได้ลำบากขึ้น ส่งให้ความหนักของการฝึกเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (Pinilla, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับ (Wilber, 2011) และ (Lundby, Millet, Calbet, Bärtsch, & Subudhi, 2012) ได้กล่าวว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศปกตินี้เป็นวิธีการฝึกที่พัฒนามาจากหลักการฝึกแบบอยู่ในที่ต่ำและฝึกบนที่สูง (LLTH) ซึ่งเป็นการฝึกร่างกายของนักกีฬาในสภาวะที่อากาศมีออกซิเจนน้อยกว่าปกติ โดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการฝึกในภูมิประเทศที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลในระดับสูง (High altitude training) แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการจำสองสภาวะอากาศบนที่สูง (Stimulated altitude training) มาใช้ในการฝึกนักกีฬาเพื่อให้ได้ภาวะที่ใกล้เคียงกับการฝึกบนพื้นที่สูงคือ สภาวะที่มีออกซิเจนในอากาศ (Fraction of inspired oxygen: FIO) ต่ำเทียบเท่ากับสภาวะของออกซิเจนบนพื้นที่สูง ซึ่งเป็นวิธีการที่จะต้องพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ แต่ทำการฝึกซ้อมที่มีการสัมผัสกับสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำและมีความดันบรรยากาศปกติ หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ความดันบรรยากาศต่ำเป็นเวลาต่อเนื่องไม่เกิน 180 นาที จำนวน 25 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งลักษณะการอยู่ในที่ต่ำและฝึกบนที่สูงนี้สามารถทำได้ทั้งการสัมผัสในขณะพัก และการสัมผัสในขณะฝึก

ปัจจุบันการฝึกบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลหรือการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำเป็นวิธีการฝึกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากด้วยรูปแบบการฝึกที่กระตุ้นให้ร่างกายเกิดการตอบสนองและปรับตัวทางสรีรวิทยา เช่น เพิ่มการระบายอากาศ เพิ่มจำนวนเม็ดเลือดแดง เพิ่มปริมาณ

ฮีโมโกลบิน เพิ่มหลอดเลือดฝอยที่มาเลี้ยงเส้นใยกล้ามเนื้อ เพิ่มความหนาแน่นของไมโตรคอนเดรีย และช่วยให้เอนไซม์ในไมโตรคอนเดรียทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งการตอบสนองและปรับตัวนี้จะทำให้ร่างกายเกิดการปรับตัวจนเข้า สู่สภาวะสมดุลและก่อให้เกิดความเคยชินกับสภาวะทีมีปริมาณออกซิเจนต่ำได้ (Millet & Brocherie, 2020; Rusko et al., 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Faiss et al. (2013) ที่พบว่า การฝึกซ้อมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำสามารถพัฒนาปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด เอนไซม์ไกลโคไลติค การขนส่งกลูโคส และความสามารถในการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของร่างกายได้เป็นอย่างดี เช่นการศึกษาของ Scott et al. (2016)ที่พบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ สามารถพัฒนาเอนไซม์ไกลโคไลติก การสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอทีน การใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ และการหดตัวของกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Nakamoto et al. (2016) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอโรบิกในนักวิ่งระยะไกล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งระยะไกล ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบหนักสลับพักและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 16 ของอากาศทั้งหมด) กลุ่มที่ 2 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 16 ของอากาศทั้งหมด) และพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (ออกซิเจนร้อยละ 20.93 ของอากาศทั้งหมด) และกลุ่ม 3 ฝึกแบบหนักสลับพักและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (ออกซิเจนร้อยละ 20.93 ของอากาศทั้งหมด) ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฮีโมโกลบิน ทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึกและหลังการฝึกไม่แตกต่างกัน แต่ในกลุ่มที่ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ มีจุดเริ่มล้า ค่าประสิทธิภาพในการวิ่ง ปริมาณการระบายอากาศต่อนาที และความสามารถในการใช้ออกซิเจนหลังการฝึกมากกว่ากลุ่มที่ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังสรุปได้ว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำเป็นตัวกระตุ้นสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาขึ้นของสมรรถภาพด้านแอโรบิก

Czuba, Fidos-Czuba, ane Płoszczyca et al. (2018) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำและสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอโรบิกและสมรรถนะทางการกีฬาในนักกีฬาจักรยาน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาจักรยานเสือภูเขา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 16.3 ของอากาศทั้งหมด) กลุ่ม 2 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ และกลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุม ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำและสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติช่วยพัฒนาให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตราการใช้ออกซิเจน ปริมาณงานที่ทำได้สูงสุด และอัตราเฉลี่ยของปริมาณงานที่ทำได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง ปริมาณ

ฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต และร้อยละของปริมาณเม็ดเลือดแดงตัวอ่อนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่ทำการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำเท่านั้น ดังนั้น การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจะช่วยพัฒนาตัวแปรที่เกี่ยข้องกับเม็ดเลือดแดงในนักกีฬาจักรยานได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งช่วยให้เกิดการพัฒนาสมรรถภาพด้านแอโรบิกขึ้น

Czuba, Wilk, and Karpiński et al. (2017) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อการพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกในนักกีฬาว่ายน้ำ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาว่ายน้ำ เพศชาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ15.5 ของอากาศทั้งหมด) กลุ่ม 2 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (ออกซิเจนร้อยละ 20.93 ของอากาศทั้งหมด) ทำการฝึกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ สามารถพัฒนาให้พลังสูงสุดแอนแอโรบิก ระดับกรดแลคติก ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความสามารถในการว่ายน้ำระยะ 100-200 เมตร เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า การฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำช่วยพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโบิกและความสามารถในการว่ายน้ำของนักกีฬาได้เป็นอย่างดี

Alvarez-Herms et al. (2016) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งระยะ 400 เมตร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ความสูง 3,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล) และกลุ่มที่ 2 ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ทำ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำช่วยให้สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังสรุปได้ว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ สามารถพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Domingo J Ramos-Campo et al. (2019) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นประสาทภายหลังการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่มีความหนักระดับสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่เคยได้รับการฝึกด้วยแรงต้าน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 15.5 ของอากาศทั้งหมด) และฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด) ทำการฝึก 2 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า กล้ามเนื้อและเส้นประสาททั้ง 2 กลุ่ม มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันภายหลังจากการฝึก จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่มีระดับความหนักของงานสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

สามารถพัฒนาเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นประสาทได้เช่นเดียวกับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่มีความหนักระดับสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

ในขณะที่การศึกษาวิจัยบางส่วนได้มีข้อค้นพบว่า การฝึกบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลหรือการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำอาจไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาด้านใดเลยก็เป็นได้ และไม่สามารถพัฒนาความสามารถของนักกีฬาให้เพิ่มสูงขึ้น เช่นการศึกษาของ Morton and Cable (2005) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอโรบิกและสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาประเภททีม ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 15 ของอากาศทั้งหมด) และกลุ่มที่ 2 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณงานที่ทำได้สูงสุด ค่าจุดเริ่มล้า พลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิกก่อนทำการฝึกและหลังการฝึก ภายในกลุ่มตัวอย่างและระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม หลังการฝึกไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้น การฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ไม่ช่วยพัฒนาสมรรถภาพด้านแอโรบิกและสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกให้เพิ่มขึ้นได้

Neya, Enoki, Kumai, Sugoh, and Kawahara (2007) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนจนต่ำและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ความหนักระดับสูงที่มีต่อประสิทธิภาพในการวิ่งและปริมาณฮีโมโกลบิน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งระยะกลางและระยะไกล ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ เป็นเวลา 12 วัน (ออกซิเจนร้อยละ 14.4 ของอากาศทั้งหมด) กลุ่มที่ 2 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ เป็นเวลา 12 วัน (ออกซิเจนร้อยละ 14.4 ของอากาศทั้งหมด) และพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ และกลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุม ทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ปริมาณฮีโมโกลบิน และระยะที่เกิดความเมื่อยล้า ในกลุ่มที่ทำการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และกลุ่มที่ทำการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ภายในกลุ่มตัวอย่างและระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม หลังการฝึกไม่แตกต่างกันทางสถิติ จึงสรุปได้ว่า การฝึกแบบหนักสลับพักและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 12 วัน ไม่ช่วยให้เกิดการพัฒนาขึ้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

Roels et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อความสามารถในการปั่นจักรยานของนักกีฬา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ และกลุ่มที่ 2 ฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 14 4 ของอากาศทั้งหมด) และให้ความดันบรรยากาศ 100 มิลลิเมตรปรอท ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และพลังสูงสุดแอนแอโรบิก ก่อนการฝึกและหลังการฝึกภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า การฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำและให้ความดันบรรยากาศ 100 มิลลิเมตรปรอท ไม่สามารถพัฒนาให้สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก และสมรรถภาพด้านแอโรบิกเพิ่มสูงขึ้น

Ho, Kuo, Liu, Dong, and Tung (2014) ได้ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อและองค์ประกอบของร่างกาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 15 ของอากาศทั้งหมด) และกลุ่มที่ 2 ฝึกด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจน (ออกซิเจนร้อยละ 21 ของอากาศทั้งหมด) ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ มวลกล้ามเนื้อ และมวลไขมัน ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ภายหลังการฝึกไม่แตกต่างกันทางสถิติ จะเห็นได้ว่า การฝึกด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ไม่ช่วยให้ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อและองค์ประกอบของร่างกายเกิดการพัฒนาขึ้น

Czuba, Maszczyk, and Gerasimuk et at. (2014) ได้ศึกษาผลของสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อการสร้างเม็ดเลือดแดงความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดและพลังงานที่ใช้ในขณะออกกำลังกายของนักกีฬาไบแอธลอน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาไบแอธลอน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ฝึกความอดทนในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ความสูง 3,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล) และกลุ่มที่ 2 ฝึกความอดทนและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ทำการฝึก 9 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ฝึกความอดทนในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติและพักอาศัยในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ไม่ช่วยให้เกิดการพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดขึ้น

Stickford, Wilhite, and Chapman (2017) ได้ศึกษาผลของการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อประสิทธิภาพในการวิ่งของนักวิ่งระยะไกล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่งระยะไกล ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ระดับความสูง 2,150 เมตร จากระดับน้ำทะเล) ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นในขณะวิ่ง ระยะเวลาในการเหวี่ยงเท้า และความเร็วในการวิ่งและความยาวของช่วงในก้าวขา ก่อนการฝึกและหลังการฝึก ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำไม่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพในการวิ่งของนักวิ่งระยะไกลได้

จากรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำของ McLean, Gore, and Kemp (2014) และ Sinex and Chapman (2015) พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการฝึกซ้อมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจะมีตั้งแต่ร้อยละ 12-16 ของออกซิเจนทั้งหมด ซึ่งปริมาณออกซิเจนดังกล่าวนี้จะช่วยเพิ่มการกระตุ้นให้ร่างกายของนักกีฬามีการตอบสนองทางสรีวิทยาขณะทำการฝึกซ้อม และไม่เป็นอันตรายต่อนักกีฬา จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อต้องอาศัยการฝึกที่มุ่งเน้นการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นพื้นฐานให้อยู่ในระดับสูงก่อนแล้วจึงต่อยอดไปสู่การพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อต่อไป โดยที่นักกีฬาต้องได้รับการฝึกความอดทนทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิกควบคู่กัน เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อให้สูงขึ้นและทำงานภายใต้สภาพความเมื่อยล้าได้เป็นเวลานาน รวมทั้งสามารถสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกและแอโรบิกของนักกีฬาให้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งวิธีการฝึกซ้อมที่ใช้เพื่อพัฒนาความอดทนนั้นมีอยู่หลายวิธี และวิธีการฝึกที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบันก็คือ การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศตั้งแต่ร้อยละ 12-16 ของอากาศทั้งหมด นอกจากนี้ การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำยังมีการผสมผสานการฝึกลักษณะต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อพัฒนาความสามารถของนักกีฬาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ยังเป็นที่ถกเถียงกันในเรื่องวิธีการฝึกและผลการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำว่าวิธีการใดจะช่วยเพิ่มความสามารถของนักกีฬาได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม การวางแผนและการจัดโปรแกรการฝึกซ้อมในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำหากมีตัวแปรสำคัญที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองทางด้านสรีวิทยา เช่น วิธีการฝึกซ้อม ระดับความหนักที่ใช้ในการฝึก ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก และระดับออกซิเจนในอากาศที่เหมาะสม จะช่วยพัฒนาความอดทนทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิกเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งช่วยพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกและสมรรถภาพด้านแอโรบิกของนักกีฬาให้เพิ่มสูงขึ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งได้ดำเนินการวิจัยดังนี้

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก ได้แก่ นักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพศชาย อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 50 คน

กลุ่มตัวอย่าง

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก ได้แก่ นักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพศชาย อายุระหว่าง 18-22 ปี จำนวน 24 คน ซึ่งได้มาจากการคัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multistage random sampling) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 หน่วยการสุ่มที่ 1 จากการบริหารราชการของมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติที่ได้แบ่งออกเป็น 4 ภาค ประกอบด้วย มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติประจำภาคเหนือ, มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติประจำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติประจำภาคกลาง และมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติประจำภาคใต้ จึงคัดเลือกมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติประจำภาคต่าง ๆ โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) มา 1 ภาค คือ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติประจำภาคกลาง ประกอบด้วย วิทยาเขตกรุงเทพ, วิทยาเขตชลบุรี, วิทยาเขตสมุทรสาคร, วิทยาเขตสุพรรณบุรี และวิทยาเขตอ่างทอง

1.2 หน่วยการสุ่มที่ 2 คัดเลือกมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติประจำภาคกลาง ประกอบด้วย วิทยาเขตกรุงเทพ, วิทยาเขตชลบุรี, วิทยาเขตสมุทรสาคร, วิทยาเขตสุพรรณบุรี และวิทยาเขตอ่างทอง โดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่ายมา 1 วิทยาเขต คือ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี

1.3 หน่วยการสุ่มที่ 3 คัดเลือกประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จากกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี โดยวิธีการสุ่ม อย่างง่าย มา 3 ชนิดกีฬา คือ ฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล ซึ่งจากหน่วยการสุ่มที่ 3 พบว่า นักกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก ได้แก่ นักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพศชาย อายุ 18-22 ปี มีจำนวนทั้งหมด 50 คน

1.4 หน่วยการสุ่มที่ 4 คัดกรองผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ในเกณฑ์การคัดเข้าของกลุ่มตัวอย่าง เมื่อได้ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยตามคุณสมบัติตามที่กำหนดแล้ว จึงคัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายเพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

2. เกณฑ์การคัดเข้าของกลุ่มตัวอย่าง (Inclusion criteria)

2.1 สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยและยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

2.2 เป็นผู้ที่มีสุขภาพดี โดยผ่านการตรวจสุขภาพร่างกายและมีหนังสือรับรองสุขภาพ (ใบรับรองแพทย์) จากแพทย์ของศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ (ใบอนุญาตเลขที่ 72107000156) ซึ่งค่าใช้จ่ายในการตรวจสุขภาพร่างกายและหนังสือรับรองสุขภาพ (ใบรับรองแพทย์) ของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด

2.3 ไม่มีโรคประจำตัวและไม่มีปัญหาการบาดเจ็บใด ๆ ที่จะเป็นอุปสรรคในการทำวิจัย

2.4 ไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคที่เกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูงหรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

2.5 มีประสบการณ์ในการฝึกความแข็งแรงด้วยแรงต้านอย่างน้อย 1 ปี

2.6 เป็นนักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล เพศชาย อายุ 18-22 ปี มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี โดยมีประวัติการฝึกซ้อมสัปดาห์ละ 3 วัน ๆ ละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี

2.7 ไม่เคยทำการฝึกหรืออยู่อาศัยในที่สูงมากกว่า 500 เมตร หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศต่ำกว่าร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด

2.8 ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการวิจัย

3. เกณฑ์การคัดออกของกลุ่มตัวอย่าง (Exclusion criteria)

3.1 กลุ่มตัวอย่างมีสิทธิ์ขอถอนตัวออกจากการวิจัยได้ตลอดเวลา

3.2 หากตรวจพบความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดง ได้แก่ ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณของเซลล์เม็ดเลือดแดง และขนาดของเซลล์เม็ดเลือดแดง

3.3 กลุ่มตัวอย่างมีอาการแสดงถึงภาวะการขาดออกซิเจน เช่น ปวดหัว คลื่นไส้อาเจียน เป็นต้น

3.4 เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยต่อไปได้ เช่น อุบัติเหตุที่ทำให้กระดูกหัก หรือไข้หวัดใหญ่ เป็นต้น

3.5 กลุ่มตัวอย่างไม่ให้ความร่วมมือ เช่น ไม่สามารถปฏิบัติตามข้อตกลงและคำแนะนำในการวิจัย หรือขาดการเข้าร่วมการฝึกซ้อมมากกว่า 2 ครั้ง จากการฝึกซ้อมทั้งหมด 24 ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 90 ของช่วงระยะเวลาในการฝึกซ้อมทั้งหมด เป็นต้น

4. จากการคัดกรองผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย หากพบว่าผู้นั้นไม่ผ่านคุณสมบัติที่กำหนดไว้ในเกณฑ์การคัดเข้าของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการเสริมสร้างสมรรถภาพทั้งด้านร่างกายและด้านจิตใจให้แก่ผู้ที่ไม่ผ่านคุณสมบัติที่กำหนด

5. เมื่อได้ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยตามคุณสมบัติตามที่กำหนดแล้ว จึงคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย โดยวิธีการจับสลาก (Lottery method) ตัวอย่างเช่น มีผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยที่ผ่านการคัดกรองและมีคุณสมบัติตามที่กำหนดทั้งหมด 45 คน จากนั้น ทำสลาก 45 หมายเลข พร้อมทั้งระบุหมายเลขแก่ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยทั้งหมดลงในกระดาษ แล้วจับสลากที่ระบุหมายเลขไว้ในกระดาษทีละใบแบบสุ่มด้วยวิธีการเลือกหน่วยตัวอย่างแบบไม่มีการแทนที่ใส่คืน (Sampling without replacement) จนครบตามขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด

6. กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ด้วยวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างจากโปรแกรม G*Power version (3.1.9.7) โดยมีขั้นตอนดังนี้ (บุญใจ ศรีสถิตย์นรากูร, 2563)

6.1 การใส่ข้อมูลกลุ่มของสถิติ (Test family) เลือกเป็น F test

6.2 สถิตที่ใช้ในการทดสอบ (Statistical test) เลือกเป็น MANOVA: Repeated measures, between factors

6.3 การคำนวณขนาดตัวอย่าง (Type of power analysis) เลือกเป็น A Priori: Compute required sample size-given α, power, and effect size

6.4 การใส่ค่าพารามิเตอร์ (Input parameters) ที่กำหนด ประกอบด้วย

6.4.1 ค่าขนาดอิทธิพล (Effect size f) เท่ากับ 0.50 (Cohen, 1988)

6.4.2 ค่าความมีนัยสำคัญที่ระดับ (α err prob) เท่ากับ 0.05

6.4.3 ค่าอำนาจการทดสอบ (Power 1-β error prob) เท่ากับ 0.80

6.4.4 จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง (Number of groups) เท่ากับ 2

6.4.5 จำนวนครั้งในการวัดตัวแปรตาม (Number of measurements) เท่ากับ 3

6.4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามของการวัดแต่ละครั้ง (Corr among rep measures) เท่ากับ 0.5

6.5 กดปุ่ม Calculate

6.6 ผลลัพธ์ค่าพารามิเตอร์ (Output parameters) ดังนี้

6.6.1 Noncentrality parameter λ เท่ากับ 9.0000000

6.6.2 Critical F เท่ากับ 4.3009495

6.6.3 Numerator df เท่ากับ 1.0000000

6.6.4 Denominator df เท่ากับ 22.0000000

6.6.5 Total sample size เท่ากับ 24

6.6.6 Actual power เท่ากับ 0.8177652

6.6.7 Pillai V เท่ากับ 0.2727273

6.6.8 ขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้ทั้งหมด 24 โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 12 คน

7. จากการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการคำนวณจากโปรแกรม G*Power version (3.1.9.7) ทำให้ได้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด 24 โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 12 คน คือ กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 และเพื่อป้องกันการสูญหาย (Drop out) ของกลุ่มตัวอย่างที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการวิจัย จึงได้คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างสำรองไว้ร้อยละ 20 หรือเท่ากับ 4 คน ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 กลุ่มละ 2 คน เมื่อรวมทั้งหมดได้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 28 คน ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างสำรองจะได้รับสิ่งจัดกระทำหรือสิ่งทดลองเหมือนกันในแต่ละกลุ่ม (ในกรณีที่ไม่มีกลุ่มตัวอย่างถอนตัวออก หรือถูกคัดออกจากโครงการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถใช้กลุ่มตัวอย่างจริง จำนวน 24 คน ในการวิเคราะห์ข้อมูลตามที่ได้ระบุไว้เบื้องต้น หรือสามารถใช้กลุ่มตัวอย่างสำรองทั้ง 4 คน มาทำการวิเคราะห์รวมกับกลุ่มตัวอย่างจริงได้เช่นกัน ซึ่งจะทำให้ความเชื่อมั่นในเชิงสถิติสูงขึ้น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1.1 ห้องจำลองสภาวะที่สูง (Altitude room) ระบบเอทีเอส 5 เคเอชพี 750 (ATS-5 KHP 750 SYSTEM) ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย

1.2 สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide absorbent) ยี่ห้อ Dragersorb 800 Plus ผลิตจากประเทศเยอรมันนี

1.3 สายวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ยี่ห้อ Polar รุ่น S710i ผลิตจากประเทศฟินแลนด์

1.4 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และโปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ได้ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ซึ่งค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Object Congruence: IOC) ที่คำนวณได้ต้องมากกว่า 0.50 (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2560)

1.5 เครื่องฝึกกล้ามเนื้อเฉพาะส่วน (Machine weight) ในท่า Lying leg curls ยี่ห้อ STRIVE รุ่น S-106 Prone leg curl ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

1.6 อุปกรณ์ฝึกกล้ามเนื้อเฉพาะส่วน (Free weight) ได้แก่ บาร์เบล (Barbell) และแผ่นน้ำหนัก (Bumper plate) ยี่ห้อ MAXXFiT รุ่น Crossfit Series ผลิตจากประเทศไทย

1.7 แบบบันทึกผลการตรวจร่างกายจากแพทย์ (จิรวัฒน์ ทองเอี่ยม, 2558)

1.8 แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

1.9 แบบบันทึกผลการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ประกอบด้วย

2.1 เครื่องมือวัดความดันโลหิต (ดิจิตอล) ยี่ห้อ Omron รุ่น HEM-7130 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น มีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตรปรอท (mmHg)

2.2 เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (ดิจิตอล) ยี่ห้อ Omron รุ่น HEM-7130 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น มีหน่วยวัดเป็น ครั้ง/นาที (Beat/min)

2.3 เครื่องมือชั่งน้ำหนักตัว (ดิจิตอล) ยี่ห้อ Tanita รุ่น DC-360 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น มีหน่วยวัดเป็น กิโลกรัม (kilogram)

2.4 เครื่องมือวัดค่าพลังสูงสุดแอนแอโรบิก ซึ่งสามารถวัดได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวิ่งแบบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ มีหน่วยวัดเป็น วัตต์ (watts)

2.5 เครื่องมือวัดค่าความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก ซึ่งสามารถวัดได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวิ่งแบบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ มีหน่วยวัดเป็น วัต/วินาที (watts)

2.6 เครื่องมือวัดค่าดัชนีความเหนื่อยล้า ซึ่งสามารถวัดได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวิ่งแบบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ มีหน่วยวัดเป็น วัต/วินาที (watts/sec)

2.7 เครื่องมือวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกาย (Kinematic Measurement System) ยี่ห้อ Fitness technology รุ่น Version 1 ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย เพื่อจับเวลาของการวิ่งแบบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ มีหน่วยวัดเป็น วินาที (sec)

2.8 เครื่องมือวัดค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อ Cortex CPET รุ่น MetaLyzer 3B ผลิตจากประเทศอิตาลี เพื่อวัดค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จากการทดสอบด้วยวิธีการของ Bruce protocol โดยวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) จากการวิ่งบนลู่วิ่งกล มีหน่วยวัดเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min)

2.9 เครื่องมือวัดค่าจุดเริ่มล้า ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อ Cortex CPET รุ่น MetaLyzer 3B ผลิตจากประเทศอิตาลี เพื่อวัดค่าจุดเริ่มล้าแบบวีสโลป (V-Slope method) ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบด้วยวิธีการของ Bruce protocol โดยวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) จากการวิ่งบนลู่วิ่งกล มีหน่วยวัดเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min)

2.10 เครื่องมือวัดปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์เม็ดเลือดอัตโนมัติ ยี่ห้อ Mindray รุ่น CAL 6000 ผลิตจากประเทศจีน มีหน่วยวัดเป็น กรัม/เดซิลิตร (g/dl)

2.11 เครื่องมือวัดปริมาณฮีมาโตคริตในเลือด ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์เม็ดเลือดอัตโนมัติ ยี่ห้อ Mindray รุ่น CAL 6000 ผลิตจากประเทศจีน มีหน่วยวัดเป็น ร้อยละ (%)

2.12 เครื่องมือวัดปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์เม็ดเลือดอัตโนมัติ ยี่ห้อ Mindray รุ่น CAL 6000 ผลิตจากประเทศจีน มีหน่วยวัดเป็น เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร (cells/mm^3)

2.13 เครื่องมือวัดขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์เม็ดเลือดอัตโนมัติ ยี่ห้อ Mindray รุ่น CAL 6000 ผลิตจากประเทศจีน มีหน่วยวัดเป็น เฟมโตลิตร (fl)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบบแผนการทดลอง

1.1 แบบแผนของการทดลอง (Experimental design) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ การทดลองที่ศึกษากลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 โดยการสุ่มและทำการวัดซ้ำ (Randomized groups repeated measures design) ซึ่งมีแบบแผนการทดลองตามตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แบบแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

Group	Pre-test	Treatment	Post-test1	Treatment	Post-test2
E_1	O_1	X	O_2	X	O_3
E_2	O_1	X	O_2	X	O_3

1.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบแผนการทดลองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

E แทน กลุ่มทดลอง

O แทน การวัดตัวแปรผลลัพธ์

X แทน ตัวแปรจัดกระทำ

2. วิธีดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ดังนี้

2.1 การดำเนินการวิจัยระยะที่ 1 ก่อนการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 เสนอเค้าโครงดุษฎีนิพนธ์ต่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลักและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

2.1.2 แต่งตั้งคณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์

2.1.3 แต่งตั้งคณะกรรมการสอบและอนุมัติเค้าโครงดุษฎีนิพนธ์

2.1.4 สอบเค้าโครงดุษฎีนิพนธ์

2.1.5 ตรวจสอบความตรงของเครื่องมือวิจัย

2.1.6 ขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

2.17 ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เลขที่ IRB3-101/2564 เมื่อวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2564

2.2 การดำเนินการวิจัยระยะที่ 2 ระหว่างการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา ไปยังรองอธิการบดี มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพื่อขอความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

2.2.1.1 สถานที่ที่ใช้ในการวิจัย คือ ห้องจำลองสภาวะที่สูง และห้องเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา

2.2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย คือ บาร์เบลและแผ่นน้ำหนัก

2.2.1.3 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักกีฬาประเภทที่มีการแข่งขันแบบหนักสลับพัก ได้แก่ นักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล เพศชาย อายุระหว่าง 18-22 ปี

2.2.2 ประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยครั้งนี้ด้วยการติดประกาศเชิญชวนเพื่อรับสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ณ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี ซึ่งได้ระบุข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัย เช่น สิทธิที่จะได้รับสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ประโยชน์ที่จะได้รับสำหรับผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย คุณสมบัติของผู้สมัครเข้าร่วมโครงการวิจัย และการเข้าร่วมโครงการวิจัยครั้งนี้ไม่มีผลต่อการเรียนของนักศึกษาที่เข้าร่วมโครงการวิจัย เป็นต้น

2.2.3 รับสมัครผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยเพื่อเข้าร่วมการวิจัย พร้อมทั้งชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยและข้อตกลงต่าง ๆ ในระหว่างการเข้าร่วมโครงการวิจัย และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด จนกระทั่งผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยมีความเข้าใจอย่างชัดเจน

2.2.4 คัดกรองผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ในเกณฑ์การคัดเข้าของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเกณฑ์การคัดเข้าและการคัดออกของกลุ่มตัวอย่าง มีรายละเอียดดังนี้

2.2.4.1 เกณฑ์การคัดเข้าของกลุ่มตัวอย่าง (Inclusion criteria)

- สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยและยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
- เป็นผู้ที่มีสุขภาพดี โดยผ่านการตรวจร่างกายจากแพทย์ของศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ (ใบอนุญาตเลขที่ 72107000156) และมีหนังสือรับรองสุขภาพ (ใบรับรองแพทย์) ซึ่งค่าใช้จ่ายในการตรวจสุขภาพร่างกายและหนังสือรับรองสุขภาพ (ใบรับรองแพทย์) ของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด
- ไม่มีโรคประจำตัวและไม่มีปัญหาการบาดเจ็บใด ๆ ที่จะเป็นอุปสรรคในการทำวิจัย
- ไม่มีประวัติและอาการแสดงของโรคที่เกี่ยวกับการเจ็บป่วยฉับพลันจากความสูง หรือสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ
- มีประสบการณ์ในการฝึกความแข็งแรงด้วยแรงต้านอย่างน้อย 1 ปี
- เป็นนักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอล เพศชาย อายุ 18-22 ปี มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี มีประวัติการฝึกสัปดาห์ละ 3 วัน ๆ ละ 60 นาที ไม่น้อยกว่า 2 ปี)
- ไม่เคยทำการฝึกหรืออยู่อาศัยในพื้นที่สูงกว่า 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล หรือสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด
- ไม่เข้าร่วมโปรแกรมการแข่งขันใด ๆ ตลอดช่วงของการวิจัย

2.2.4.2 เกณฑ์การคัดออกของกลุ่มตัวอย่าง (Exclusion criteria)

- กลุ่มตัวอย่างมีสิทธิขอถอนตัวออกจากการวิจัยได้ตลอดเวลา
- หากตรวจพบความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดง ได้แก่ ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณของเซลล์เม็ดเลือดแดง และขนาดของเซลล์เม็ดเลือดแดง
- กลุ่มตัวอย่างมีอาการแสดงถึงภาวะขาดออกซิเจน เช่น ปวดหัว คลื่นไส้อาเจียน เป็นต้น
- เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อไปได้ เช่น อุบัติเหตุที่ทำให้กระดูกหัก หรือไข้หวัดใหญ่ เป็นต้น
- กลุ่มตัวอย่างไม่ให้ความร่วมมือ เช่น ไม่สามารถปฏิบัติตามข้อตกลงและคำแนะนำในการวิจัย หรือขาดการเข้าร่วมการฝึกซ้อมมากกว่า 2 ครั้ง จากการฝึกซ้อมทั้งหมด 24 ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 90 ของช่วงระยะเวลาในการฝึกซ้อมทั้งหมด เป็นต้น

2.2.5 จากการคัดกรองผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย หากพบว่าผู้นั้นไม่ผ่านคุณสมบัติที่กำหนดไว้ในเกณฑ์การคัดเข้าของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจะให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการเสริมสร้างสมรรถภาพทั้งด้านร่างกายและด้านจิตใจให้แก่ผู้ที่ไม่ผ่านคุณสมบัติที่กำหนด

2.2.6 นัดหมายกลุ่มตัวอย่างทั้ง 28 คน ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพื่อชี้แจงข้อตกลงเบื้องต้นก่อนเก็บข้อมูลวิจัยและวิธีปฏิบัติตนในการเข้าร่วมการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.6.1 ข้อตกลงเบื้องต้นก่อนเก็บข้อมูลการวิจัย

- เข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจและให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจ
- การเก็บข้อมูลทุกครั้งกระทำโดยผู้วิจัยชุดเดียวกันและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน
- อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ฝึกซ้อมมีสภาพและมาตรฐานเดียวกัน
- ก่อนทำการทดสอบ 1 วัน กลุ่มตัวอย่างงดออกกำลังกาย หรือแข่งขันกีฬาทุกประเภท เพื่อไม่ให้กล้ามเนื้อเกิดอาการล้า และให้กลุ่มตัวอย่างได้พักผ่อนอย่างเต็มที่
- งดรับประทานอาหารทุกชนิดในระหว่างที่กำลังทำการทดสอบ

2.2.6.2 วิธีปฏิบัติตนในการเข้าร่วมการวิจัย

- เข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจและให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจ
- นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อยวันละ 8-10 ชั่วโมง
- ดื่มน้ำให้เพียงพออย่างน้อย 6-8 แก้วต่อวัน
- ระมัดระวังการกินอาหารที่แตกต่างจากอาหารปกติที่เคยกินเป็นประจำ
- รับประทานอาหารก่อนการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

2.2.7 กลุ่มตัวอย่างลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

2.2.8 กลุ่มตัวอย่างทั้ง 28 คน เข้ารับการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 วัน แต่ละวันมีระยะเวลาห่างกัน 48 ชั่วโมง เพื่อให้ร่างกายได้มีการพักและขจัดของเสียออกจากร่างกาย เช่น กรดแลคติกที่แพร่กระจายอยู่ทั่วร่างกาย เป็นต้น ซึ่งรวมระยะเวลาในการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลองทั้งหมด 1 สัปดาห์ โดยมีกำหนดการและรายละเอียดการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลองที่ได้ปรากฏในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 กำหนดการและรายละเอียดการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง

วันที่	เวลา	รายละเอียดการดำเนินการ
วันที่ 1	08.00-12.00 น.	- นัดหมายกลุ่มตัวอย่างทั้ง 28 คน ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพื่อตรวจสุขภาพร่างกาย บันทึกลักษณะทางกายภาพ และทดสอบเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ - ตรวจสุขภาพร่างกายและมีหนังสือรับรองสุขภาพ (ใบรับรองแพทย์) จากแพทย์ของศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ (ใบอนุญาตเลขที่ 72107000156) - บันทึกลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง ความดันโลหิตขณะพัก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ดัชนีมวลกาย และชนิดกีฬา - ทดสอบเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (1) เจาะเลือดตามหลักการและวิธีการทางการแพทย์ โดยนักเทคนิคการแพทย์ของศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ โดยเจาะเลือดจำนวน 3-4 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cc) จากหลอดเลือดดำบริเวณข้อพับแขน แล้วใส่ในหลอดที่มีสารกันเลือดแข็งตัวเช่น EDTA Heparin และ Citrate เป็นต้น และนำเลือดส่งตรวจ ณ ศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง หลังเจาะเลือด เพื่อตรวจวิเคราะห์เซลล์เม็ดเลือดแดงต่อไป ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีองค์ประกอบที่ใช้ในการประเมินความสมบูรณ์ของเซลล์เม็ดเลือดแดง คือ 1) ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) มีหน่วยวัดเป็น กรัม/เดซิลิตร (g/dl), 2) ปริมาณฮีมาโตคริต (Hematocrit) มีหน่วยวัดเป็นร้อยละ (%), 3) ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell count) มีหน่วยวัดเป็น เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร (Cells/mm^3) และ 4) ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง (Mean corpuscular volume) มีหน่วยวัดเป็น เฟมโตลิตร (fl)

ตารางที่ 3-2 กำหนดการและรายละเอียดการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง (ต่อ)

วันที่	เวลา	รายละเอียดการดำเนินการ
วันที่ 1	08.00-12.00 น.	(2) รายงานผลการทดสอบเซลล์เม็ดเลือดแดงโดยแพทย์ของศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ ในกรณีที่พบความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดง เช่น ภาวะโลหิตจาง (Anemia) มีภาวะเกล็ดเลือดต่ำ (Thrombocytopenia) เป็นต้น แพทย์จะเป็นผู้แนะนำให้กลุ่มตัวอย่างที่มีความผิดปกติของเซลล์ เม็ดเลือดแดงไปพบแพทย์เฉพาะทางด้านโลหิตวิทยา (Hematology) เพื่อตรวจวินิจฉัย และทำการรักษาต่อไป (3) ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดงและไม่สามารถเข้าร่วมโครงการวิจัยได้ ผู้วิจัยจะนำส่งไปรักษายังโรงพยาบาลที่กลุ่มตัวอย่างมีสิทธิในการรักษาพยาบาล เช่น สิทธิสวัสดิการการรักษาพยาบาลของข้าราชการ สิทธิประกันสังคม และสิทธิประกันสุขภาพถ้วนหน้า (บัตรทอง) เป็นต้น (4) ค่าใช้จ่ายในการรับบริการทางการแพทย์ของศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ ได้แก่ ค่าตรวจสุขภาพร่างกาย ค่าหนังสือรับรองสุขภาพ (ใบรับรองแพทย์) และค่าทดสอบเซลล์เม็ดเลือดแดง ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด (5) ผู้วิจัยมิใช่ผู้เชี่ยวชาญการปฐมพยาบาลหรือการประคองชีพ จึงได้ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์เจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาล (พยาบาลวิชาชีพ) เวชภัณฑ์ทางการแพทย์ และรถพยาบาลในการทำวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา ไปยังผู้อำนวยการโรงพยาบาลเจ้าพระยายมราช ที่อยู่ 950 ถนนพระพันวษา ตำบลท่าพี่เลี้ยง อำเภอเมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี 72000 เพื่อให้การปฐมพยาบาลหรือการประคองชีพแก่กลุ่มตัวอย่างระหว่างที่ทำการเจาะเลือด

ตารางที่ 3-2 กำหนดการและรายละเอียดการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง (ต่อ)

วันที่	เวลา	รายละเอียดการดำเนินการ
วันที่ 1	08.00-12.00 น.	(6) ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินกับกลุ่มตัวอย่างระหว่างที่ทำการเจาะเลือด ผู้วิจัยได้จัดเตรียมรถพยาบาล เวชภัณฑ์ทางการแพทย์ และเจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาล (พยาบาลวิชาชีพ) เพื่อให้การปฐมพยาบาลหรือการประคองชีพ และนำส่งโรงพยาบาลเจ้าพระยายมราช เพื่อทำการรักษาต่อไป โดยเจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาล (พยาบาลวิชาชีพ) พนักงานขับรถพยาบาล และรถพยาบาล ประจำอยู่ ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ ตามวันและเวลาที่กำหนดให้มีการทดสอบตัวแปรที่ศึกษา คือ ก่อนการทดลอง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 (ตั้งแต่เริ่มดำเนินการวิจัยจนกระทั่งสิ้นสุดการวิจัย) ทั้งนี้ค่าตอบแทนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาล (พยาบาลวิชาชีพ) และพนักงานขับรถพยาบาล ค่าเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ และ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด
	13.30-16.30 น.	- นัดหนัดหมายกลุ่มตัวอย่างทั้ง 28 คน ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพื่อทดสอบ หาความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1 Repetition maximum) โดยวิธีการทำนายของ Baechle and Earle (2008) ในท่าที่ใช้ในการฝึก คือ Back squat, Standing calf raises, Barbell bench press, Barbell lunge, Deadlift และ Lying leg curls ตามลำดับ

ตารางที่ 3-2 กำหนดการและรายละเอียดการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง (ต่อ)

วันที่	เวลา	รายละเอียดการดำเนินการ
วันที่ 2	08.00-12.00 น.	- นัดหมายกลุ่มตัวอย่างทั้ง 28 คน ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพื่อทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก โดยใช้วิธีการวิ่งแบบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์ (Running-based anaerobic sprint test) ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีองค์ประกอบที่ใช้ในการประเมินสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก คือ 1) พลังสูงสุดแอนแอโรบิก (Anaerobic power) มีหน่วยวัดเป็น วัตต์ (watts), 2) ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) วัตต์/วินาที (watts/sec) และ 3) ดัชนีความเหนื่อยล้า (Fatigue index) มีหน่วยวัดเป็น วัตต์/วินาที (watts/sec)
วันที่ 3	06.30-18.30 น.	- นัดหมายกลุ่มตัวอย่างทั้ง 28 คน ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เพื่อเดินทางด้วยรถตู้ส่วนบุคคลไปยังห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ เพื่อทดสอบสมรรถภาพด้านแอโรบิก โดยการทดสอบด้วยวิธีการของ Bruce protocol และวิเคราะห์ก๊าซในขณะวิ่งด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีองค์ประกอบที่ใช้ในการประเมินสมรรถภาพด้านแอโรบิก คือ 1) ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum oxygen consumption: $\dot{V}O_2max$) มีหน่วยวัดเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min) และ 2) จุดเริ่มล้า (Anaerobic threshold: AT) มีหน่วยวัดเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min) ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการดังกล่าวนี้ประกอบด้วย 1) ค่าเช่าบริการรถตู้ส่วนบุคคล, 2) ค่าบริการในการใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์การกีฬาและห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย และ 3) ค่าชดเชยการเสียเวลาของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด

2.2.9 นำผลที่ได้จากการทดสอบตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง ได้แก่ สมรรถนะในการยืนระยะแอนแอโรบิกซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการประเมินสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการประเมินสมรรถภาพด้านแอโรบิก มาแปลเป็นคะแนน แล้วนำคะแนนที่ได้มาจัดลำดับที่ 1-28 จากนั้นนำลำดับที่ได้มาจัดเรียงเข้ากลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างการจัดเรียงลำดับ 1-28 จากคะแนนตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง

กลุ่มตัวอย่าง	ลำดับที่ (Anaerobic capacity)	ลำดับที่ ($\dot{V}O_2max$)	รวมลำดับที่ทำได้ (Anaerobic capacity + $\dot{V}O_2max$)	ลำดับที่
หมายเลข 01	ลำดับที่ 10	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 11	5
หมายเลข 02	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 2	ลำดับที่ 4	1
หมายเลข 03	ลำดับที่ 4	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 7	3
หมายเลข 04	ลำดับที่ 1	ลำดับที่ 4	ลำดับที่ 5	2
หมายเลข 05	ลำดับที่ 5	ลำดับที่ 5	ลำดับที่ 10	4
หมายเลข 06	ลำดับที่ 6	ลำดับที่ 6	ลำดับที่ 12	6
หมายเลข 07	ลำดับที่ 9	ลำดับที่ 7	ลำดับที่ 16	9
หมายเลข 08	ลำดับที่ 7	ลำดับที่ 8	ลำดับที่ 15	8
หมายเลข 09	ลำดับที่ 8	ลำดับที่ 9	ลำดับที่ 17	10
หมายเลข 10	ลำดับที่ 3	ลำดับที่ 10	ลำดับที่ 13	7
หมายเลข 11	ลำดับที่ 11	ลำดับที่ 11	ลำดับที่ 22	11
หมายเลข 12	ลำดับที่ 12	ลำดับที่ 12	ลำดับที่ 24	12
หมายเลข 13	ลำดับที่ 14	ลำดับที่ 13	ลำดับที่ 27	13
หมายเลข 14	ลำดับที่ 20	ลำดับที่ 14	ลำดับที่ 29	14
หมายเลข 15	ลำดับที่ 15	ลำดับที่ 15	ลำดับที่ 30	15
หมายเลข 16	ลำดับที่ 16	ลำดับที่ 16	ลำดับที่ 32	16
หมายเลข 17	ลำดับที่ 19	ลำดับที่ 17	ลำดับที่ 36	19
หมายเลข 18	ลำดับที่ 17	ลำดับที่ 18	ลำดับที่ 35	18
หมายเลข 19	ลำดับที่ 23	ลำดับที่ 19	ลำดับที่ 42	21
หมายเลข 20	ลำดับที่ 13	ลำดับที่ 20	ลำดับที่ 33	17

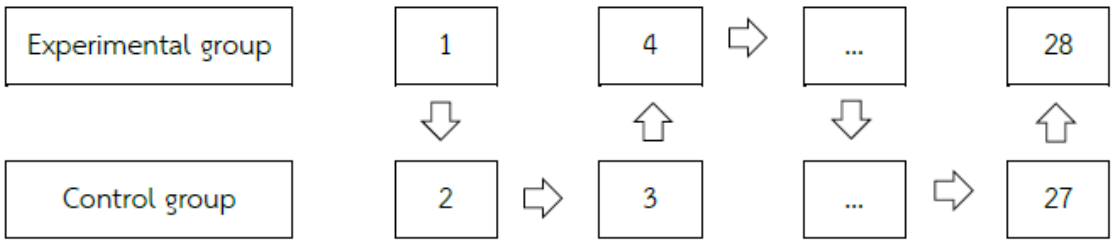
ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างการจัดเรียงลำดับ 1-28 จากคะแนนตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลอง (ต่อ)

กลุ่มตัวอย่าง	ลำดับที่ (Anaerobic capacity)	ลำดับที่ (VO_2max)	รวมลำดับที่ทำได้ (Anaerobic capacity + VO_2max)	ลำดับที่
หมายเลข 21	ลำดับที่ 24	ลำดับที่ 21	ลำดับที่ 45	23
หมายเลข 22	ลำดับที่ 18	ลำดับที่ 22	ลำดับที่ 40	20
หมายเลข 23	ลำดับที่ 21	ลำดับที่ 23	ลำดับที่ 44	22
หมายเลข 24	ลำดับที่ 22	ลำดับที่ 24	ลำดับที่ 46	24
หมายเลข 25	ลำดับที่ 25	ลำดับที่ 25	ลำดับที่ 50	25
หมายเลข 26	ลำดับที่ 28	ลำดับที่ 26	ลำดับที่ 54	27
หมายเลข 27	ลำดับที่ 27	ลำดับที่ 28	ลำดับที่ 55	28
หมายเลข 28	ลำดับที่ 26	ลำดับที่ 27	ลำดับที่ 53	26

2.2.10 จัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มตามที่ผู้วิจัยกำหนดด้วยวิธีเรียงลำดับแบบจัดเข้ากลุ่ม ซึ่งจะได้กลุ่มตัวอย่างดังนี้

2.2.10.1 กลุ่มทดลองที่ 1 จำนวน 14 คน ประกอบด้วย ผู้ที่มีคะแนนตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลองลำดับที่ 1, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 16, 17, 20, 21, 24, 25 และ 28

2.2.10.2 กลุ่มทดลองที่ 2 จำนวน 14 คน ประกอบด้วย ผู้ที่มีคะแนนตัวแปรที่ศึกษาก่อนการทดลองลำดับที่ 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 26 และ 27



ภาพที่ 3-1 การจัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มตามที่ผู้วิจัยกำหนดด้วยวิธีเรียงลำดับแบบจัดเข้ากลุ่ม

2.2.11 เมื่อได้กลุ่มตัวอย่างตามที่กำหนดด้วยวิธีเรียงลำดับแบบจัดเข้ากลุ่มแล้ว จากนั้นนำผลการทดสอบตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตัวแปรที่ศึกษาก่อน การทดลอง หากพบความแตกต่างกันทางสถิติ ให้จัดกลุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มใหม่และทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติอีกครั้ง แต่ถ้าไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติให้ดำเนินการวิจัยต่อไป

2.2.12 กลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม ฝึกตามโปรแกรมที่กำหนด 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ เวลา 17.00-18.00 น. (กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ) และเวลา 18.00-19.00 น. (กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ) ณ ห้องจำลองสภาวะที่สูง ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี ซึ่งมีรายละเอียดที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-4 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

โปรแกรมการฝึก	**สัปดาห์ที่ 1-4**	**สัปดาห์ที่ 5-8**
ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก	14.5%	13.5%
ระดับความหนักที่ใช้ในการฝึก	30% of 1RM	40% of 1RM
จำนวนสถานีที่ใช้ในการฝึก	6 สถานี	6 สถานี
จำนวนรอบที่กำหนดให้ฝึก	3 รอบ	3 รอบ
จำนวนครั้งที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	15 ครั้ง	15 ครั้ง
ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	20 วินาที	20 วินาที
ระยะเวลาที่ใช้ในการพักระหว่างสถานี	30 วินาที	30 วินาที
ระยะเวลาพักระหว่างรอบการฝึก	3 นาที	3 นาที
จังหวะที่ใช้ฝึก	จังหวะปานกลาง-เร็ว	จังหวะปานกลาง-เร็ว

หมายเหตุ: ท่าที่ใช้ในฝึก ประกอบด้วย Back squat, Standing calf raises, Barbell bench press, Barbell lunge, Deadlift และ Lying leg curls ตามลำดับ

ตารางที่ 3-5 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

โปรแกรมการฝึก	สัปดาห์ที่ 1-4	สัปดาห์ที่ 5-8
ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก	20.9%	20.9%
ระดับความหนักที่ใช้ในการฝึก	50% of 1RM	60% of 1RM
จำนวนสถานีที่ใช้ในการฝึก	6 สถานี	6 สถานี
จำนวนรอบที่กำหนดให้ฝึก	3 รอบ	3 รอบ
จำนวนครั้งที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	15 ครั้ง	15 ครั้ง
ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	20 วินาที	20 วินาที
ระยะเวลาที่ใช้ในการพักระหว่างสถานี	30 วินาที	30 วินาที
ระยะเวลาพักระหว่างรอบการฝึก	3 นาที	3 นาที
จังหวะที่ใช้ฝึก	จังหวะปานกลาง-เร็ว	จังหวะปานกลาง-เร็ว

หมายเหตุ: ท่าที่ใช้ในฝึก ประกอบด้วย Back squat, Standing calf raises, Barbell bench press, Barbell lunge, Deadlift และ Lying leg curls ตามลำดับ

2.3 การดำเนินการวิจัยระยะที่ 3 หลังการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 นำค่าข้อมูลตัวแปรที่ศึกษาที่ได้มาจัดกระทำข้อมูลทางสถิติ

2.3.2 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิจัยในรูปแบบของตารางและภาพพร้อมคำบรรยายประกอบ

3. ข้อตกลงเบื้องต้นก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย

3.1 กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจและให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจ

3.2 การเก็บข้อมูลทุกครั้งทำโดยผู้วิจัยชุดเดียวกันและสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน

3.3 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ฝึกมีสภาพและมาตรฐานเดียวกัน

3.4 ก่อนทำการทดลอง 1 วัน ให้กลุ่มตัวอย่างงดออกกำลังกายหรือแข่งขันกีฬาทุกประเภท เพื่อไม่ให้กล้ามเนื้อเกิดอาการล้า และให้กลุ่มตัวอย่างได้พักผ่อนอย่างเต็มที่

3.5 งดรับประทานอาหารทุกชนิดในระหว่างที่กำลังทำการทดลอง

3.6 ความปลอดภัยระหว่างการเข้าร่วมวิจัยของกลุ่มตัวอย่างมีดังนี้

3.6.1 มีการควบคุมความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Oxygen saturation: SpO_2) ของกลุ่มตัวอย่างให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของออกซิเจนในเลือด) โดยผู้วิจัยคอยสังเกตความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดจากเครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Pulse oximeter) ที่ปลายนิ้วมือทุก 2 นาที (Brown, Knowlton, Sanjabi, & Szurgot, 1993)

3.6.2 มีการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำให้อยู่ในระดับที่มีความปลอดภัย โดยใช้สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide absorbent) ยี่ห้อ Dragersorb 800 Plus ผลิตจากประเทศเยอรมันนี

3.6.3 มีการเตรียมความพร้อมทางด้านร่างกายให้แก่กลุ่มตัวอย่างเมื่อต้องอยู่ภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำด้วยการพักสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึกซ้อม 10 นาที เพื่อให้ได้ร่างกายได้มีการปรับสภาพและเกิดความคุ้นชิน

3.6.4 มีการจัดเตรียมน้ำดื่มให้กลุ่มตัวอย่างในช่วงของการฝึกซ้อม เพื่อดื่มชดเชยและป้องกันการสูญเสียน้ำขณะที่ทำการฝึกซ้อมตลอดช่วงของการวิจัย

3.6.5 ทำการหยุดการทดลองในทันทีเมื่อกลุ่มตัวอย่างเกิดสถานการณ์ดังต่อไปนี้

- ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดลดลงต่ำกว่าร้อยละ 80
- ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างฉับพลัน
- มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติของอัตราการเต้นหัวใจ
- เหนื่อยจนไม่สามารถทำการฝึกต่อไปได้หรือขอยุติการฝึก
- เวียนศีรษะหรือปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก และมีภาวะหายใจถี่

3.7 ผู้วิจัยได้จัดเตรียมอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้นตลอดช่วงของการวิจัย ซึ่งมีทั้งหมด 25 รายการ ดังนี้

3.7.1 ยาพาราเซตามอล 500 มิลลิกรัม จำนวน 100 เม็ด

3.7.2 เกลือแร่ 3.3 กรัม จำนวน 20 ซอง

3.7.3 ยาถ่านชาร์โคล 250 มิลลิกรัม จำนวน 20 เม็ด

3.7.4 แอมโมเนีย 30 มิลลิลิตร จำนวน 1 ขวด

3.7.5 แอลกอฮอล์ล้างแผล 70% มิลลิลิตร 60 จำนวน 5 ขวด

3.7.6 น้ำเกลือล้างแผล 100 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด

3.7.7 โพวิโดน ไอโอดีน มิลลิลิตร 30 จำนวน 3 ขวด

3.7.8 ยาทาแบคตาซิน 15 กรัม จำนวน 3 หลอด

3.7.9 คาลาไมน์โลชั่น 60 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด

3.7.10 ยาทาบรรเทาปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ 100 กรัม จำนวน 5 หลอด

3.7.11 ยาทาบรรเทาปวดอักเสบเอ็นและข้อต่อ 25 กรัม จำนวน 5 หลอด

3.7.12 สเปรย์บรรเทาปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 กระป๋อง

3.7.13 ผ้าก๊อซพันแผล ขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว อย่างละ 3 ม้วน

3.7.14 ผ้าก๊อซปิดแผล ขนาด 2 x 2 นิ้ว, 3 x 3 นิ้ว และ 4 x 4 นิ้ว อย่างละ 30 ชิ้น

3.7.15 สำลีก้านยาว ชนิดปลอดเชื้อ จำนวน 100 ก้าน

3.7.16 สำลีก้อน ชนิดปลอดเชื้อ จำนวน 3 แพค

3.7.17 ถุงมือ ชนิดปลอดเชื้อ จำนวน 10 คู่

3.7.18 ผ้าพันเคล็ด ขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว อย่างละ 3 ม้วน

3.7.19 แผ่นปิดแผล ชนิดกันน้ำ ขนาด 60 x 80 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น

3.7.20 เทปปิดผ้าก๊อซ ขนาด 0.5 นิ้ว จำนวน 3 ม้วน

3.7.21 พลาสเตอร์ยา ขนาด 2.5 x 5.6 เซนติเมตร จำนวน 30 แผ่น

3.7.22 กรรไกร จำนวน 1 อัน

3.7.23 ผ้าสามเหลี่ยม ขนาด 103 x 103 x 145 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น

3.7.24 เจลประคบเย็น ขนาด 110 x 260 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น

3.7.25 กล่องสำหรับใส่อุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้น จำนวน 1 กล่อง

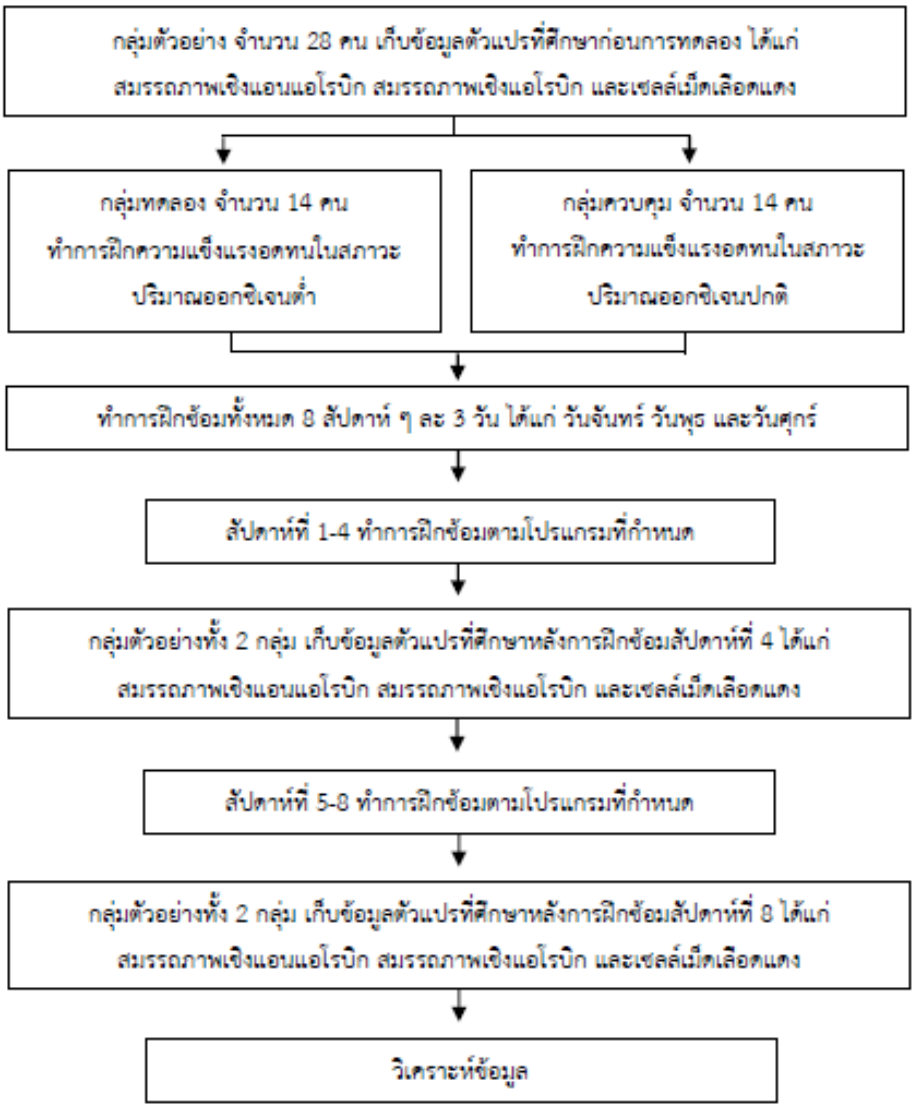
3.8 ผู้วิจัยมิใช่ผู้เชี่ยวชาญการปฐมพยาบาลหรือการประคองชีพ จึงได้ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์เจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาล (พยาบาลวิชาชีพ) เวชภัณฑ์ทางการแพทย์ รถพยาบาล และพนักงานขับรถพยาบาล เพื่อการทำวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา ไปยังผู้อำนวยการโรงพยาบาลเจ้าพระยายมราช ที่อยู่ 950 ถนนพระพันวษา ตำบลท่าพี่เลี้ยง อำเภอเมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี 72000 เพื่อให้การปฐมพยาบาลหรือการประคองชีพแก่กลุ่มตัวอย่างระหว่างที่ทำการเจาะเลือดและทำการฝึกซ้อม

3.9 ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินกับกลุ่มตัวอย่างระหว่างที่ทำการเจาะเลือดและฝึกซ้อม ผู้วิจัยได้จัดเตรียมเจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาล (พยาบาลวิชาชีพ) เวชภัณฑ์ทางการแพทย์ รถพยาบาล และพนักงานขับรถพยาบาล เพื่อให้การปฐมพยาบาลหรือการประคองชีพ และนำส่งโรงพยาบาลเจ้าพระยายมราช เพื่อทำการรักษาต่อไป โดยเจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาล (พยาบาลวิชาชีพ) รถพยาบาล และพนักงานขับรถพยาบาลประจำอยู่ ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ ตามวัน เวลา และสถานที่ที่กำหนดไว้ในการวิจัยครั้งนี้ ทั้งนี้ค่าตอบแทนในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาล (พยาบาลวิชาชีพ) และพนักงานขับรถพยาบาล รวมทั้งค่าเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ และค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด

4. สถานที่ที่เก็บข้อมูล

4.1 ห้องจำลองสภาวะที่สูง และห้องเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี เลขที่ 1 หมู่ 4 ถนนมาลัยแมน ตำบลรั้วใหญ่ อำเภอเมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี 72000

4.2 ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาการกีฬาและการออกกำลังกาย ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ที่อยู่ 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต-นครนายก คลอง 16 ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย

1. สถิติพื้นฐานเชิงบรรยาย คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

2. สถิติเพื่อการทดสอบสมมติฐานการวิจัย คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบวัดซ้ำ (Multivariate analysis of variance: MANOVA) ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบสมมติฐานการวิจัยนั้น จะทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นที่สำคัญของการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบวัดซ้ำ ดังนี้ (สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2559)

2.1 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry หมายถึง ระดับความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดความสัมพันธ์เท่า ๆ กัน (Equal correlation) และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน โดยใช้ Mauchly's test of sphericity พิจารณาค่านัยสำคัญของค่าสถิติ Mauchly's W และสถิติไคสแควร์ ซึ่งกำหนดสมมติฐานของการทดสอบ ดังนี้

H_0: ความแปรปรวนมีลักษณะเป็น Compound symmetry

H_1: ไม่เป็น Compound symmetry

หากความแปรปรวนมีลักษณะเป็น Compound symmetry จึงสามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Repeated measurement ได้

2.2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects) เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตัวแปรผลลัพธ์ ในกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม ใน 3 ช่วงเวลาของการวัดว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Repeated measures) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หากพบความแตกต่างทางสถิติจึงดำเนินการทดสอบความแตกต่างรายคู่เป็นลำดับถัดไปด้วยวิธีของ Post Hoc comparisons

2.3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects) เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบนัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงผลการวัด ได้แก่ สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ในกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม ว่าแตกต่างกันหรือไม่ มีพัฒนาการเป็นอย่างไร โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Repeated measures) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผลการวัดตัวแปรผลลัพธ์ในแต่ละช่วงว่าแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งพิจารณาจากค่าสถิติต่าง ๆ ได้แก่ ค่าแลมด้า (Lambda: Λ) ค่าขนาดอิทธิพลของสิ่งทดลอง (Effect size: Partial η^2) และค่านัยสำคัญของการทดสอบ (p-value) และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่แบบ Paired samples t-test

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์ในการวิเคราะห์และแปลผล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมายผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

n	แทน	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
$\overline{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ย (Mean)
SD	แทน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
t	แทน	ค่าสถิติที่ใช้ในการแจกแจงค่าที (t-distribution)
F	แทน	ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการแจกแจงค่าเอฟ (F-distribution)
SS	แทน	ผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนแต่ละตัวยกกำลังสอง (Sum squares)
MS	แทน	ค่าความแปรปรวน (Mean squares)
df	แทน	องศาแห่งความเป็นอิสระ (Degrees of freedom)
Λ	แทน	ค่าสถิติ Wilks' Lambda
partial η^2	แทน	ค่าขนาดอิทธิพลของการทดลอง (Effect size)
p	แทน	ค่าความน่าจะเป็นในการทดสอบสมมติฐาน (Probability)
*	แทน	การมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
Test	แทน	การทดสอบ
Pre	แทน	การทดสอบก่อนการฝึก
Post1	แทน	การทดสอบหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4
Post2	แทน	การทดสอบหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8
Group	แทน	วิธีการฝึก แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม
EXP_G1	แทน	กลุ่มทดลองที่ 1
EXP_G2	แทน	กลุ่มทดลองที่ 2
Test* Group	แทน	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก

สัญลักษณ์แทนตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

Anaerobic	แทน	สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก
Max_pow	แทน	พลังสูงสุดแอนแอโรบิก
Capacity	แทน	ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก
Fatigue	แทน	ดัชนีความเหนื่อยล้า
Aerobic	แทน	สมรรถภาพด้านแอโรบิก
VO_2max	แทน	ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด
AT	แทน	จุดเริ่มล้า
Blood	แทน	เซลล์เม็ดเลือดแดง
HB	แทน	ปริมาณฮีโมโกลบิน
HCT	แทน	ปริมาณฮีมาโตคริต
RBC count	แทน	ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง
MCV	แทน	ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

การนำเสนอข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

2. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects) เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตัวแปรผลลัพธ์ ได้แก่ สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ในกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม ใน 3 ช่วงเวลาของการวัดว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Repeated measures) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หากพบความแตกต่างทางสถิติ จึงดำเนินการทดสอบความแตกต่างรายคู่เป็นลำดับถัดไปด้วยวิธีของ Post Hoc comparisons

3. วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects) เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบนัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงของผลการวัดที่ได้จากการฝึก ได้แก่ สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง ในแต่ละกลุ่มว่าแตกต่างกันหรือไม่ มีพัฒนาการเป็นอย่างไร โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Repeated measures) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง

ของผลการวัดตัวแปรในแต่ละช่วงว่าแตกต่างกันอย่างไร โดยพิจารณาจากค่าสถิติต่าง ๆ ได้แก่ ค่าแลมด้า (Lambda: Λ) ค่าขนาดอิทธิพลของสิ่งทดลอง (Effect size: Partial η^2) และค่านัยสำคัญของการทดสอบ (p-value) และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่แบบ Paired samples test

4. การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว และส่วนสูง

4.2 สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก ได้แก่ พลังสูงสุดแอนแอโรบิกความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้า

4.3 สมรรถภาพด้านแอโรบิก ได้แก่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดเริ่มล้า

4.4 เซลล์เม็ดเลือดแดง ได้แก่ ปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง และขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่ม	อายุ (ปี)		น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)		ส่วนสูง (เซนติเมตร)	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	18.92	0.86	68.92	10.86	175.69	8.90
กลุ่มทดลองที่ 2	18.83	0.83	64.08	8.37	172.75	7.41
รวม	18.88	0.85	66.50	9.62	174.22	8.16

จากตารางที่ 4-1 เมื่อพิจารณาโดยรวมจะเห็นได้ว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 18.88 ปี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.85 ในขณะที่น้ำหนักตัวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.50 กิโลกรัม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.62 และส่วนสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 174.22 เซนติเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.16

2. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก

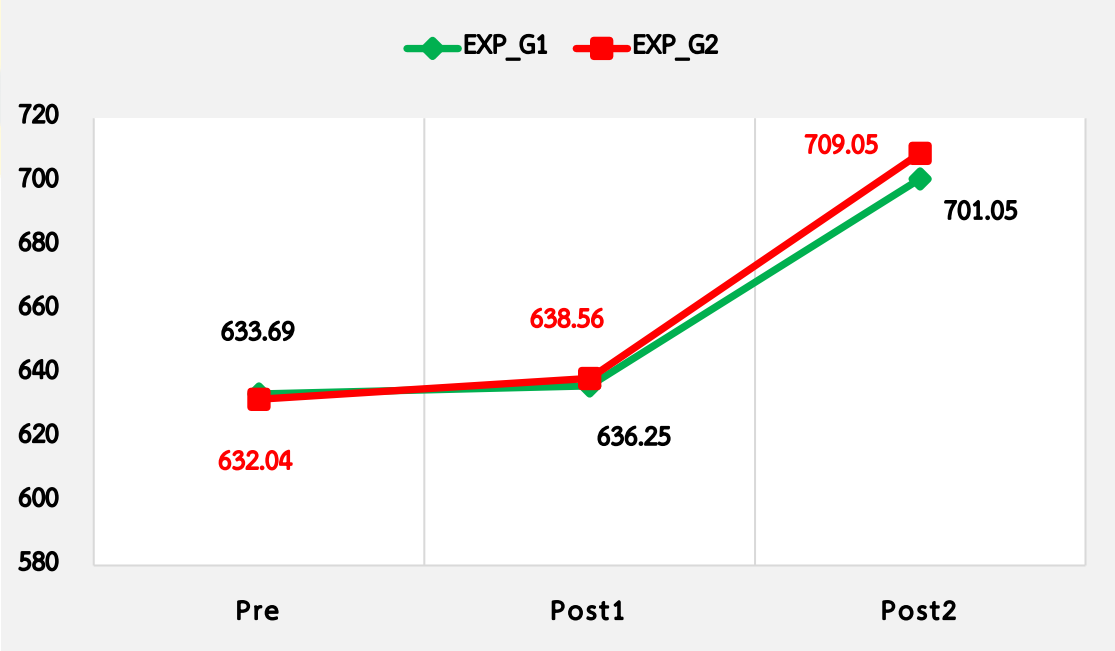
2.1 พลังสูงสุดแอนแอโรบิก

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังสูงสุดแอนแอโรบิก

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	633.69	26.46	636.25	25.28	701.05	17.54
กลุ่มทดลองที่ 2	632.04	28.95	638.56	28.32	709.05	17.72

จากตารางที่ 4-2 พบว่า ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแอนแอโรบิก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแอนแอโรบิก ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-3 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของพลังสูงสุดแอนแอโรบิก

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	10405072.72	1	10405072.72	26093.95	0.00*	1.00
Group	50.02	1	50.02	0.13	0.73	0.01
Error	8772.59	22	398.75			

*p < .05

จากตารางที่ 4-3 ผลการเปรียบเทียบพลังสูงสุดแอนแอโรบิกระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.73 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่าวิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อพลังสูงสุดแอนแอโรบิก

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-4 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของพลังสูงสุดแอนแอโรบิก

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	78457.48	2	39228.74	129.90	0.00*	0.13	0.86
Test*Group	282.75	2	141.38	0.47	0.63	0.94	0.02
Error (Test)	13287.74	44	301.99				

*p < .05

จากตารางที่ 4-4 พบว่า พลังสูงสุดแอนแอโรบิก ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างน้อย 1 คู่ ของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.00) (Λ = 0.13) (Partial η^2 = 0.86) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.63) (Λ = 0.94) (Partial η^2 = 0.02)

จากการทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มของระยะการทดสอบ พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ภายในกลุ่มของพลังสูงสุดแอนแอโรบิกในแต่ละวิธีการฝึก โดยใช้วิธีการทดสอบ Paired samples test

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของพลังสูงสุดแอนแอโรบิก

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
EXP_G1	633.69	636.25	701.05	2.56	1.42	0.18	67.36	7.41	0.00*	64.80	7.61	0.00*
EXP_G2	632.04	638.56	709.05	6.52	1.91	0.08	77.01	9.50	0.00*	70.49	8.68	0.00*

*p < .05

จากตารางที่ 4-5 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของพลังสูงสุดแอนแอโรบิกในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า แตกต่างกัน 2 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า แตกต่างกัน 2 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

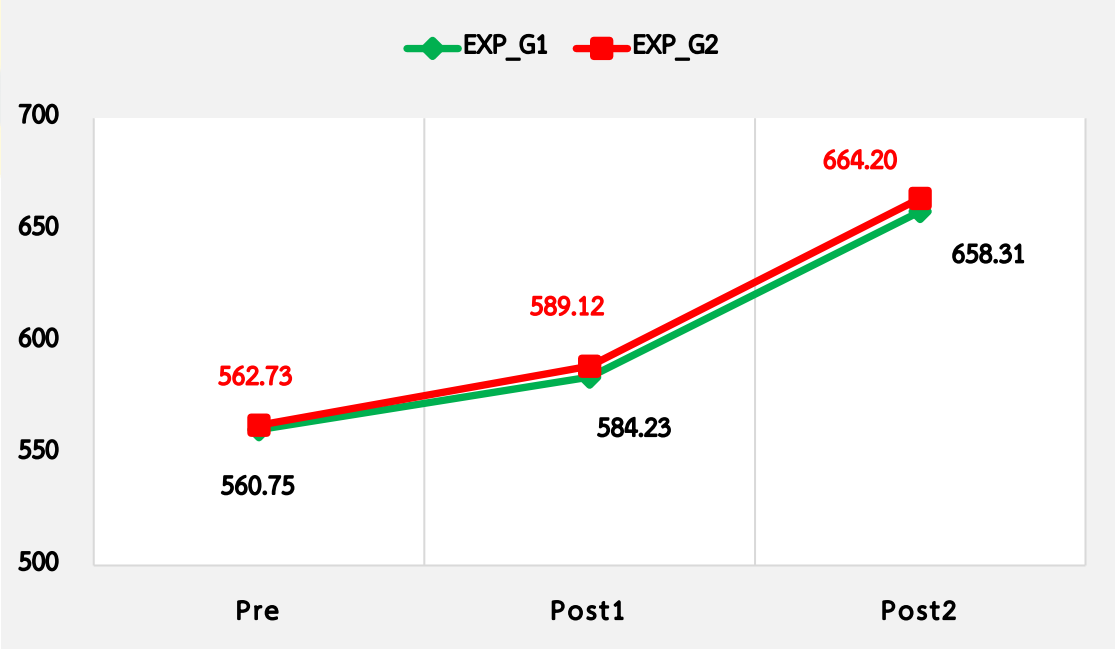
2.2 ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	560.75	24.76	584.23	23.19	658.31	21.83
กลุ่มทดลองที่ 2	562.73	25.43	589.12	30.90	664.20	21.42

จากตารางที่ 4-6 พบว่า ค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-7 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	8733025.06	1	8733025.06	21910.03	0.00*	1.00
Group	108.55	1	108.55	0.27	0.61	0.01
Error	8768.88	22	398.59			

*p < .05

จากตารางที่ 4-7 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.61 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่า วิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-8 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	128689.54	2	64344.77	198.66	0.00*	0.07	0.90
Test*Group	49.58	2	24.79	0.08	0.93	0.98	0.01
Error (Test)	14251.06	44	323.89				

*p < .05

จากตารางที่ 4-8 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างน้อย 1 คู่ ของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.00) (Λ = 0.07) (Partial η^2 = 0.90) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.93) (Λ = 0.98) (Partial η^2 = 0.01)

จากการทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มของระยะการทดสอบ พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ภายในกลุ่มของค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิกในแต่ละวิธีการฝึก โดยใช้วิธีการทดสอบ Paired samples test

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
EXP_G1	560.75	584.23	658.31	23.48	9.87	0.00*	97.56	10.25	0.00*	74.08	9.16	0.00*
EXP_G2	562.73	589.12	664.20	26.40	6.19	0.00*	101.47	12.37	0.00*	75.07	8.56	0.00*

*p < .05

จากตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก ในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า แตกต่างกัน 3 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า แตกต่างกัน 3 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

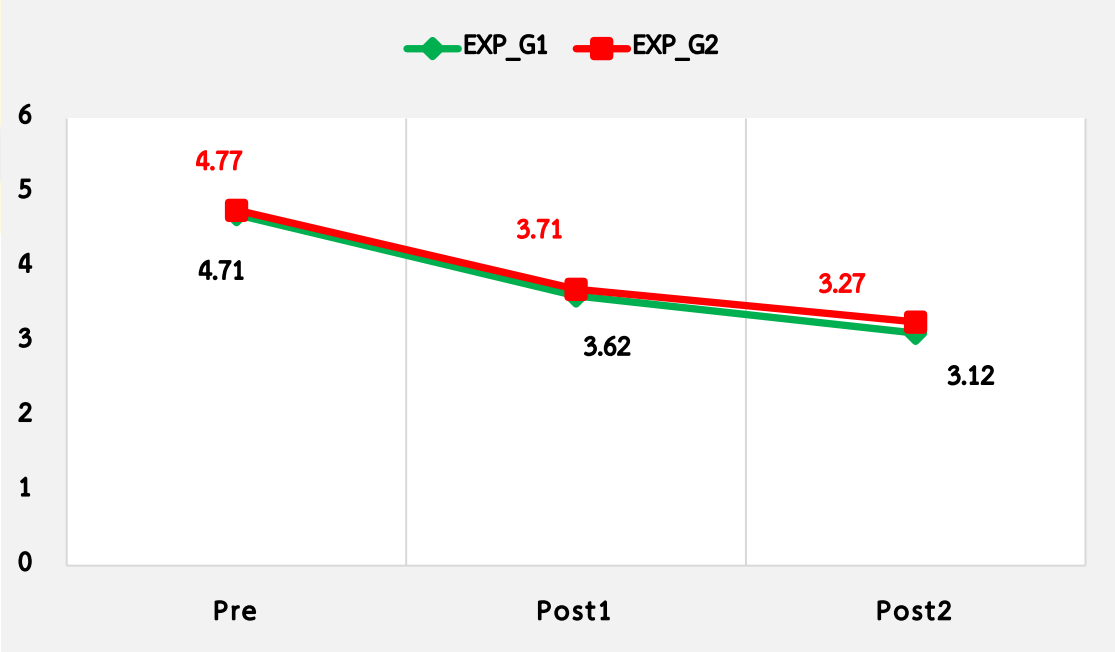
2.3 ดัชนีความเหนื่อยล้า

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-10 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเหนื่อยล้า

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	4.71	0.46	3.62	0.22	3.12	0.26
กลุ่มทดลองที่ 2	4.77	0.52	3.71	0.25	3.27	0.40

จากตารางที่ 4-10 พบว่า ค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้า ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-11 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างของดัชนีความเหนื่อยล้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	358.67	1	358.67	7271.25	0.00*	1.00
Group	0.06	1	0.06	1.28	0.27	0.06
Error	1.09	22	0.05			

*p < .05

จากตารางที่ 4-11 ผลการเปรียบเทียบดัชนีความเหนื่อยล้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.27 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.06 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่าวิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อดัชนีความเหนื่อยล้า

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-12 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของดัชนีความเหนื่อยล้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	29.96	2	14.98	115.65	0.00*	0.11	0.84
Test*Group	0.03	2	0.01	0.10	0.90	0.99	0.00
Error (Test)	5.70	44	0.13				

*p < .05

จากตารางที่ 4-12 ผลการเปรียบเทียบดัชนีความเหนื่อยล้า ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างน้อย 1 คู่ ของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.00) (Λ = 0.11) (Partial η^2 = 0.84) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.90) (Λ = 0.99) (Partial η^2 = 0.00)

จากการทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มของระยะการทดสอบ พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ภายในกลุ่มของค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้าในแต่ละวิธีการฝึก โดยใช้วิธีการทดสอบ Paired samples test

ตารางที่ 4-13 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของดัชนีความเหนื่อยล้า

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
G1_Exp	4.71	3.62	3.12	1.09	8.36	0.00*	1.59	12.82	0.00*	0.50	6.38	0.00*
G2_Exp	4.77	3.71	3.27	1.06	5.61	0.00*	1.50	7.63	0.00*	0.44	3.33	0.01*

*p < .05

จากตารางที่ 4-13 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของดัชนีความเหนื่อยล้าในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า แตกต่างกัน 3 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า แตกต่างกัน 3 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. สมรรถภาพด้านแอโรบิก

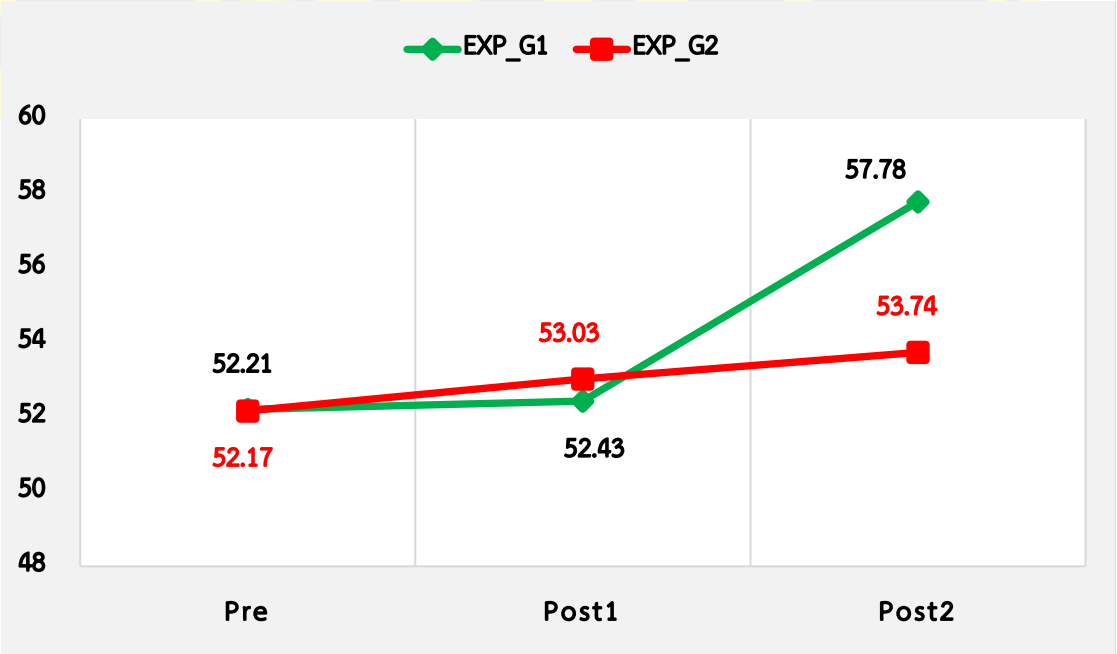
3.1 ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-14 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	52.21	4.79	52.43	4.88	57.78	4.37
กลุ่มทดลองที่ 2	52.17	4.43	53.03	4.33	53.74	4.31

จากตารางที่ 4-14 พบว่า ค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-15 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	68843.88	1	68843.88	3651.79	0.00*	0.99
Group	8.01	1	8.01	0.42	0.52	0.02
Error	414.75	22	18.85			

*p < .05

จากตารางที่ 4-15 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.52 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.02 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่า วิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-16 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	177.76	2	88.88	36.74	0.00*	0.33	0.63
Test*Group	75.80	2	37.90	15.67	0.00*	0.51	0.42
Error (Test)	106.44	44	2.42				

*p < .05

จากตารางที่ 4-16 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างน้อย 1 คู่ ของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.00) (Λ = 0.33) (Partial η^2 = 0.63) และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.00) (Λ = 0.51) (Partial η^2 = 0.42)

จากการทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มของระยะการทดสอบ พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ภายในกลุ่มของค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละวิธีการฝึก โดยใช้วิธีการทดสอบ Paired samples test

ตารางที่ 4-17 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
EXP_G1	52.21	52.43	57.78	0.22	2.36	0.04*	5.57	5.85	0.00*	5.35	5.34	0.00*
EXP_G2	52.17	53.03	53.74	0.87	1.71	0.12	1.58	3.35	0.01*	0.71	4.71	0.00*

*p < .05

จากตารางที่ 4-17 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า แตกต่างกัน 3 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า แตกต่างกัน 2 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

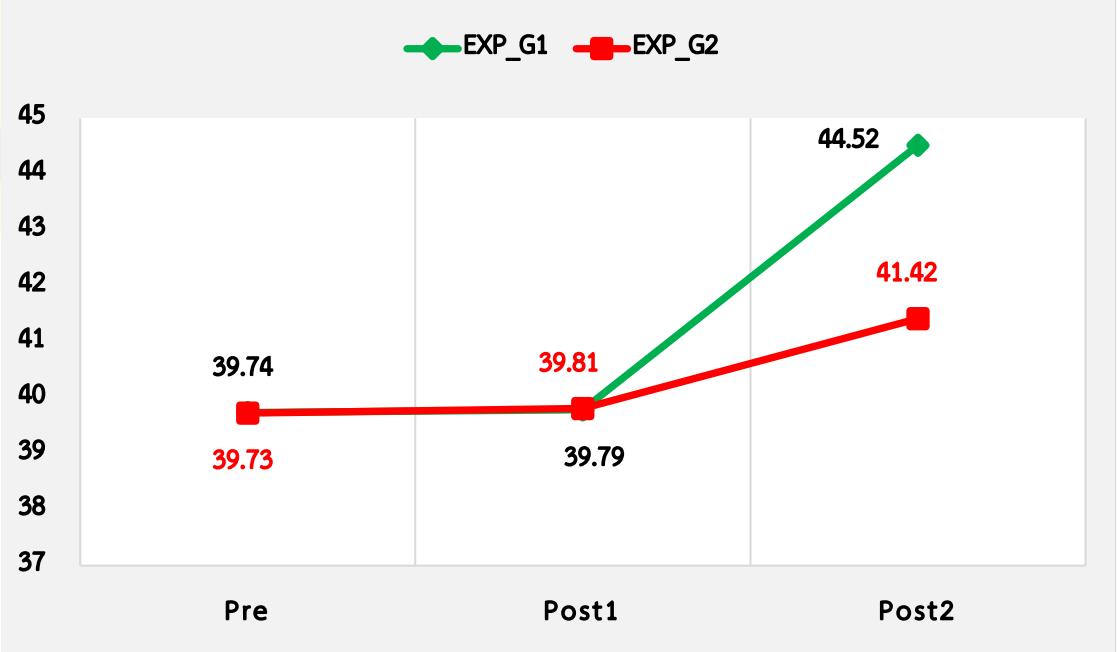
3.2 จุดเริ่มล้า

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจุดเริ่มล้า

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	39.73	2.65	39.81	2.56	41.42	2.58
กลุ่มทดลองที่ 2	39.74	2.11	39.79	2.13	44.52	2.51

จากตารางที่ 4-18 พบว่า ค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้า ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-19 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของจุดเริ่มล้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	40016.67	1.00	40016.67	7200.12	0.00*	1.00
Group	6.41	1.00	6.41	1.15	0.29	0.05
Error	122.27	22.00	5.56			

*p < .05

จากตารางที่ 4-19 ผลการเปรียบเทียบจุดเริ่มล้าระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.29 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.05 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่า วิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อจุดเริ่มล้า

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-20 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของจุดเริ่มล้า

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	163.89	2	81.95	153.37	0.00*	0.12	0.87
Test*Group	38.44	2	19.22	35.97	0.00*	0.38	0.62
Error (Test)	23.51	44	0.53				

*p < .05

จากตารางที่ 4-20 ผลการเปรียบเทียบจุดเริ่มล้า ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างน้อย 1 คู่ ของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.00) (Λ = 0.12) (Partial η^2 = 0.87) และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.00) (Λ = 0.38) (Partial η^2 = 0.62)

จากการทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มของระยะการทดสอบ พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ภายในกลุ่มของค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้า ในแต่ละวิธีการฝึก โดยใช้วิธีการทดสอบ Paired samples test

ตารางที่ 4-21 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของจุดเริ่มล้า

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
EXP_G1	39.74	39.79	44.52	0.05	1.20	0.26	4.78	10.07	0.00*	4.73	9.94	0.00*
EXP_G1	39.73	39.81	41.42	0.08	1.82	0.10	1.69	8.52	0.00*	1.61	8.00	0.00*

*p < .05

จากตารางที่ 4-21 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของจุดเริ่มล้า ในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า แตกต่างกัน 2 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า แตกต่างกัน 2 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. เซลล์เม็ดเลือดแดง

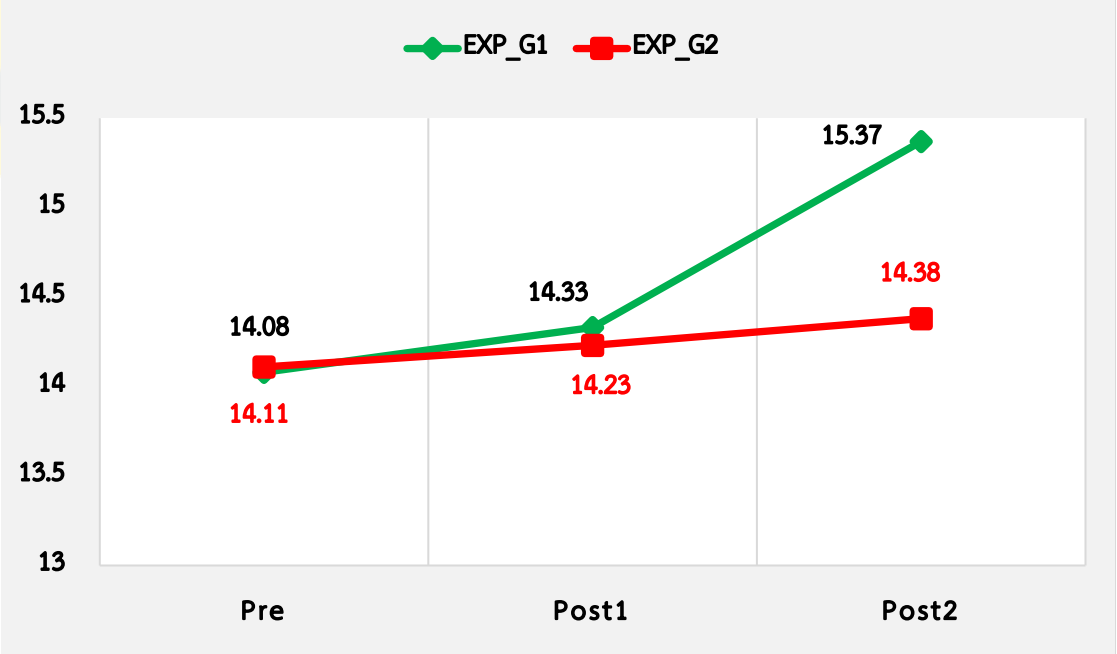
4.1 ปริมาณฮีโมโกลบิน

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-22 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฮีโมโกลบิน

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	14.08	0.65	14.33	0.70	15.37	0.76
กลุ่มทดลองที่ 2	14.11	0.56	14.23	0.88	14.38	0.85

จากตารางที่ 4-22 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-23 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของปริมาณฮีโมโกลบิน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	4986.24	1	4986.24	14081.49	0.00*	1.00
Group	0.76	1	0.76	2.14	0.16	0.09
Error	7.79	22	0.35			

*p < .05

จากตารางที่ 4-23 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฮีโมโกลบินระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.16 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.09 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่า วิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณฮีโมโกลบิน

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-24 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของปริมาณฮีโมโกลบิน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	7.90	2.00	3.95	13.47	0.00*	0.45	0.38
Test*Group	3.69	2.00	1.84	6.29	0.00*	0.66	0.22
Error (Test)	12.91	44.00	0.29				

*p < .05

จากตารางที่ 4-24 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฮีโมโกลบิน ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างน้อย 1 คู่ ของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.00) (Λ = 0.45) (Partial η^2 = 0.38) และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.00) (Λ = 0.66) (Partial η^2 = 0.22)

จากการทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มของระยะการทดสอบ พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ภายในกลุ่มของค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบินในแต่ละวิธีการฝึก โดยใช้วิธีการทดสอบ Paired samples test

ตารางที่ 4-25 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของฮีโมโกลบิน

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
EXP_G1	14.08	14.33	15.37	0.24	1.15	0.27	1.28	11.74	0.00*	1.04	5.56	0.00*
EXP_G2	14.11	14.23	14.38	0.12	0.77	0.46	0.27	0.95	0.36	0.15	0.47	0.65

*p < .05

จากตารางที่ 4-25 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ปริมาณฮีโมโกลบิน ในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า แตกต่างกัน 2 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า ในแต่ละระยะของการฝึกไม่แตกต่างกันทางสถิติ

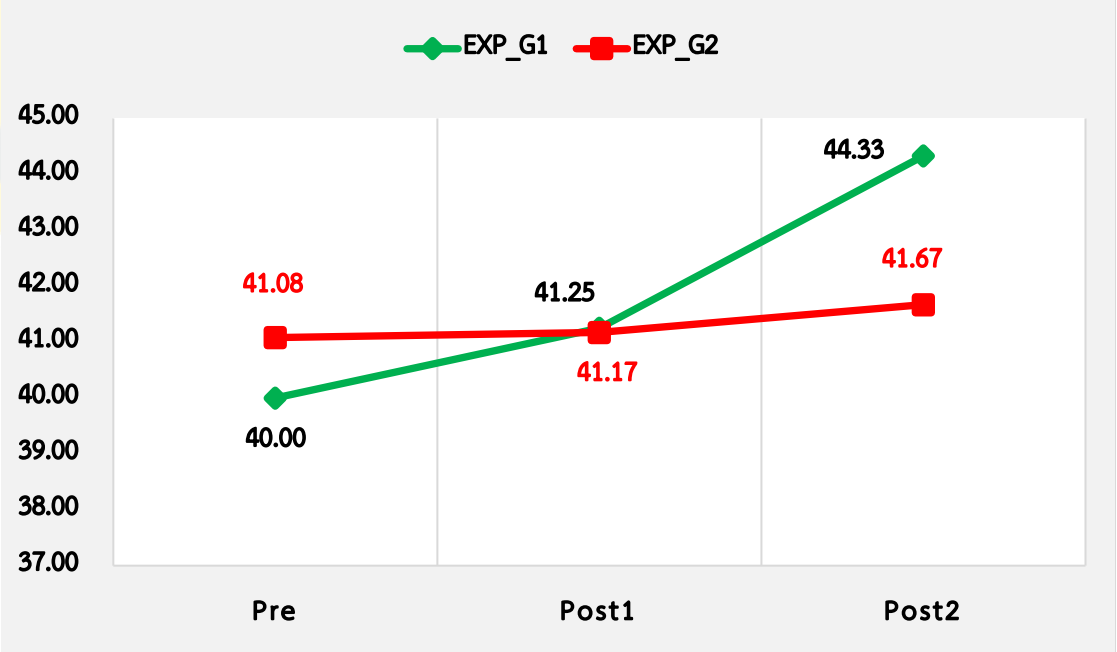
4.2 ปริมาณฮีมาโตคริต

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-26 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฮีมาโตคริต

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	40.00	1.76	41.25	1.96	44.33	1.72
กลุ่มทดลองที่ 2	41.08	1.16	41.17	1.85	41.67	1.92

จากตารางที่ 4-26 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริต หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-7 ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริต ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-27 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของปริมาณฮีมาโตคริต

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	41500.17	1	41500.17	25064.67	0.00*	1.00
Group	1.85	1	1.85	1.12	0.30	0.05
Error	36.43	22	1.66			

*p < .05

จากตารางที่ 4-27 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฮีมาโตคริตระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.30 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.05 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่า วิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณฮีมาโตคริต

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-28 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของปริมาณฮีมาโตคริต

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	77.58	2.00	38.79	18.38	0.00*	0.38	0.46
Test*Group	44.19	2.00	22.10	10.47	0.00*	0.51	0.32
Error (Test)	92.89	44.00	2.11				

*p < .05

จากตารางที่ 4-28 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฮีมาโตคริต ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างน้อย 1 คู่ ของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.00) (Λ = 0.38) (Partial η^2 = 0.46) และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.00) (Λ = 0.51) (Partial η^2 = 0.32)

จากการทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มของระยะการทดสอบ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ภายในกลุ่มของค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริตในแต่ละวิธีการฝึก โดยใช้วิธีการทดสอบ Paired samples test

ตารางที่ 4-29 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของปริมาณฮีมาโตคริต

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
EXP_G2	40.00	41.25	44.33	1.25	1.88	0.09	4.33	7.14	0.00*	3.08	4.27	0.00*
EXP_G2	41.08	41.17	41.67	0.08	0.22	0.83	0.58	1.05	0.32	0.50	0.88	0.40

*p < .05

จากตารางที่ 4-29 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของปริมาณฮีมาโตคริต ในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า แตกต่างกัน 2 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า ในแต่ละระยะของการฝึกไม่แตกต่างกันทางสถิติ

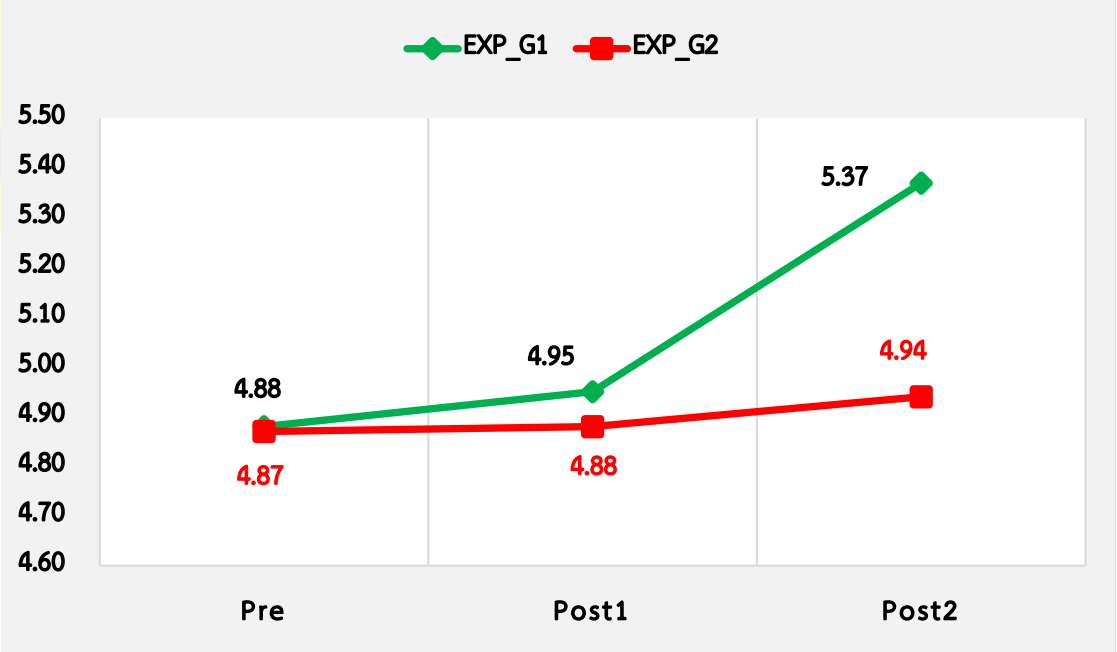
4.3 ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-30 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	4.88	0.28	4.95	0.32	5.37	0.36
กลุ่มทดลองที่ 2	4.87	0.29	4.88	0.31	4.94	0.42

จากตารางที่ 4-30 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-31 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	595.31	1	595.31	14241.23	0.00*	1.00
Group	0.17	1	0.17	4.05	0.06	0.16
Error	0.92	22	0.04			

*p < .05

จากตารางที่ 4-31 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.06 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.16 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่าวิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-32 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	1.08	2.00	0.54	5.14	0.01*	0.73	0.19
Test*Group	0.62	2.00	0.31	2.96	0.06	0.82	0.12
Error (Test)	4.60	44.00	0.10				

*p < .05

จากตารางที่ 4-32 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างน้อย 1 คู่ ของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.01) (Λ = 0.73) (Partial η^2 = 0.19) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.06) (Λ = 0.82) (Partial η^2 = 0.12)

จากการทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มของระยะการทดสอบ พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ภายในกลุ่มของค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงในแต่ละวิธีการฝึก โดยใช้วิธีการทดสอบ Paired samples test

ตารางที่ 4-33 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
EXP_G1	4.88	4.95	5.37	0.08	0.59	0.57	0.49	3.41	0.01*	0.41	2.74	0.02*
EXP_G2	4.87	4.88	4.94	0.00	0.03	0.98	0.06	0.46	0.65	0.06	0.48	0.64

*p < .05

จากตารางที่ 4-33 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่า แตกต่างกัน 2 คู่ ได้แก่ 1) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า ในแต่ละระยะของการฝึกไม่แตกต่างกันทางสถิติ

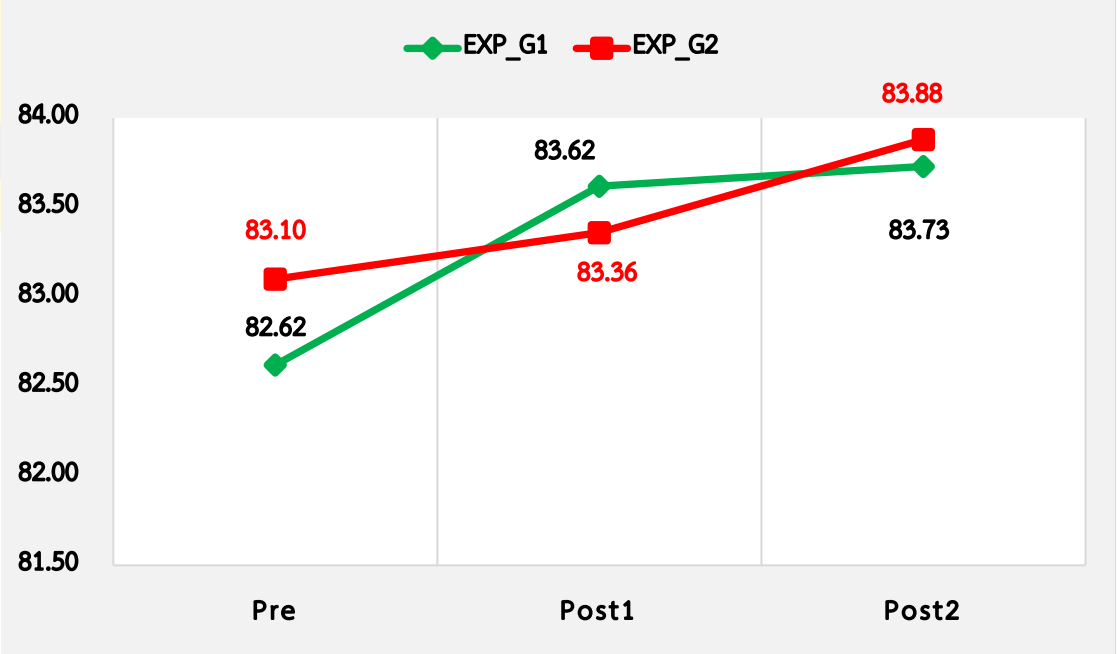
4.4 ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

ตารางที่ 4-34 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

กลุ่ม	ก่อนการฝึก		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4		หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8	
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD
กลุ่มทดลองที่ 1	82.62	6.53	83.62	5.45	83.73	5.11
กลุ่มทดลองที่ 2	83.10	6.58	83.36	7.16	83.88	5.63

จากตารางที่ 4-34 พบว่า ค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-9 ค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Test of between-subject effects)

ตารางที่ 4-35 วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	partial η^2
Between-subjects						
Intercept	166866.73	1	166866.73	7205.37	0.00*	1.00
Group	0.09	1	0.09	0.00	0.95	0.00
Error	509.49	22	23.16			

*p < .05

จากตารางที่ 4-35 ผลการเปรียบเทียบขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีการฝึกทั้ง 2 วิธี ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.95 และค่าขนาดอิทธิพลของวิธีการฝึก (Effect size: Partial η^2) เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่า วิธีการฝึกไม่มีอิทธิพลต่อขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่ม (Test of within-subject effects)

ตารางที่ 4-36 วิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p	Λ	partial η^2
Within-subjects							
Test	11.13	2	5.56	0.26	0.77	0.98	0.01
Test*Group	1.65	2	0.83	0.04	0.96	0.99	0.00
Error (Test)	943.28	44	21.44				

จากตารางที่ 4-36 ผลการเปรียบเทียบขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันของการทดสอบในการฝึกทั้ง 3 ระยะ (p = 0.77) (Λ = 0.98) (Partial η^2 = 0.01) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครั้งที่ทดสอบและวิธีการฝึก (p = 0.96) (Λ = 0.99) (Partial η^2 = 0.00)

ตารางที่ 4-37 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

Group	Mean			Paired samples test								
				Post1 - Pre			Post2 - Pre			Post2 - Post1		
	Pre	Post1	Post2	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p	Mean Diff	t	p
EXP_G1	82.62	83.62	83.73	1.00	0.39	0.70	1.12	0.55	0.59	0.12	0.09	0.93
EXP_G2	83.10	83.36	83.88	0.26	0.67	0.52	0.77	0.38	0.71	0.52	0.23	0.82

จากตารางที่ 4-37 การเปรียบเทียบขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงของกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่า ในแต่ละระยะการฝึกไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4-38 สรุปผลการเปรียบเทียบตัวแปรที่ศึกษาของกลุ่มทดลองที่ 1 ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8

ตัวแปรที่ศึกษา	กลุ่มทดลองที่ 1 (n = 12)		
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4	หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 8
1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก			
พลังสูงสุดแอนแอโรบิก (วัตต์)	633.69±26.46	636.25±25.28	701.05±17.54*#
ความสามารถสูงสุดในการยืนระยะแอนแอโรบิก (วัตต์/วินาที)	560.75±24.76	584.23±23.19*	658.31±21.83*#
ดัชนีความเหนื่อยล้า (วัตต์/วินาที)	4.71±0.46	3.62±0.22*	3.12±0.26*#
2. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก			
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	52.21±4.79	52.43±4.88*	57.78±4.37*#
จุดเริ่มล้า (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	39.74±2.11	39.79±2.13	44.52±2.51*#
3. เซลล์เม็ดเลือดแดง			
ปริมาณฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	14.08±0.65	14.33±0.70	15.37±0.76*#
ปริมาณฮีมาโตคริต (ร้อยละ)	40.00±1.76	41.25±1.96	44.33±1.72*#
ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	4.88±0.28	4.95±0.32	5.37±0.36*#
ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง (เฟมโตลิตร)	82.62±6.53	83.62±5.45	83.73±5.11

*p < .05 แตกต่างจากก่อนการฝึก

#p < .05 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4

จากตารางที่ 4-38 พบว่า ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแอนแอโรบิก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริต ค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 4-39 สรุปผลการเปรียบเทียบตัวแปรที่ศึกษาของกลุ่มทดลองที่ 2 ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8

ตัวแปรที่ศึกษา	กลุ่มทดลองที่ 2 (n = 12)		
	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4	หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 8
1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก			
พลังสูงสุดแอนแอโรบิก (วัตต์)	632.04±28.95	638.56±28.32*	709.05±17.72*#
ความสามารถสูงสุดในการยืนระยะแอนแอโรบิก (วัตต์/วินาที)	562.73±25.43	589.12±30.90*	664.20±21.42*#
ดัชนีความเหนื่อยล้า (วัตต์/วินาที)	4.77±0.52	3.71±0.25*	3.27±0.40*#
2. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก			
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	52.17±4.43	53.03±4.33	53.74±4.31*#
จุดเริ่มล้า (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	39.73±2.65	39.81±2.56	41.42±2.58*#
3. เซลล์เม็ดเลือดแดง			
ปริมาณฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	14.11±0.56	14.23±0.88	14.38±0.85
ปริมาณฮีมาโตคริต (ร้อยละ)	41.08±1.16	41.17±1.85	41.67±1.92
ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	4.87±0.29	4.88±0.31	4.94±0.42
ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง (เฟมโตลิตร)	83.10±6.58	83.36±7.16	83.88±5.63

*p < .05 แตกต่างจากก่อนการฝึก

#p < .05 แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4

จากตารางที่ 4-39 พบว่า ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแอนแอโรบิก ค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบิน ค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริต ค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง และขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง ไม่แตกต่างกันทั้งก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8

ตารางที่ 4-40 เปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ศึกษาของกลุ่มทดลองที่ 1

ตัวแปรที่ศึกษา	กลุ่มทดลองที่ 1 (n = 12)					
	ก่อนการฝึก (Pre)	หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 (Post1)	หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 (Post2)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (Post1-Pre)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (Post2-Pre)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (Post2- Post1)
1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก						
พลังสูงสุดแอนแอโรบิก (วัตต์)	633.69±26.46	636.25±25.28	701.05±17.54	0.40	10.63	10.18
ความสามารถสูงสุดในการยืนระยะแอนแอโรบิก (วัตต์/วินาที)	560.75±24.76	584.23±23.19	658.31±21.83	4.19	17.40	12.68
ดัชนีความเหนื่อยล้า (วัตต์/วินาที)	4.71±0.46	3.62±0.22	3.12±0.26	-23.14	-33.76	-13.81
2. สมรรถภาพด้านแอโรบิก						
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	52.21±4.79	52.43±4.88	57.78±4.37	0.42	10.67	10.20
จุดเริ่มล้า (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	39.74±2.11	39.79±2.13	44.52±2.51	0.13	12.03	11.89
3. เซลล์เม็ดเลือดแดง						
ปริมาณฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	14.08±0.65	14.33±0.70	15.37±0.76	1.78	9.16	7.26
ปริมาณฮีมาโตคริต (ร้อยละ)	40.00±1.76	41.25±1.96	44.33±1.72	3.13	10.83	7.47
ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	4.88±0.28	4.95±0.32	5.37±0.36	1.43	10.04	8.48
ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง (เฟมโตลิตร)	82.62±6.53	83.62±5.45	83.73±5.11	1.21	1.34	0.13

จากตารางที่ 4-40 พบว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก ได้แก่ พลังสูงสุดแอนแอโรบิก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.40 และ10.63 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และความสามารถสูงสุดในการยืนระยะแอนแอโรบิก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.19 และ 17.40 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และดัชนีความเหนื่อยล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ลดลงร้อยละ -23.14 และ -33.76 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

การเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพด้านแอโรบิก ได้แก่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.42 และ 10.67 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และจุดเริ่มล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.13 และ 12.03 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

การเปลี่ยนแปลงเซลล์เม็ดเลือดแดง ได้แก่ ปริมาณฮีโมโกลบิน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.78 และ 9.16 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และปริมาณฮีมาโตคริต หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.13 และ 10.83 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.43 และ 10.04 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.21 และ 1.34 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

ตารางที่ 4-41 เปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ศึกษาของกลุ่มทดลองที่ 2

ตัวแปรที่ศึกษา	กลุ่มทดลองที่ 1 (n = 12) ก่อนการฝึก (Pre)	หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 (Post1)	หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 (Post2)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (Post1-Pre)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (Post2-Pre)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (Post2- Post1)
1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก						
พลังสูงสุดแอนแอโรบิก (วัตต์)	632.04±	638.56±	709.05±	1.03	12.18	11.04
ความสามารถสูงสุดในการยืนระยะแอนแอโรบิก (วัตต์/วินาที)	562.73±	589.12±	664.2±	4.69	18.03	12.74
ดัชนีความเหนื่อยล้า (วัตต์/วินาที)	4.77±0.52	3.71±0.25	3.27±0.40	-22.22	-31.45	-11.86
2. สมรรถภาพด้านแอโรบิก						
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	52.17±4.43	53.03±4.33	53.74±4.31	1.65	3.01	1.34
จุดเริ่มล้า (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	39.73±2.65	39.81±2.56	41.42±2.58	0.20	4.25	4.04
3. เซลล์เม็ดเลือดแดง						
ปริมาณฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)	14.11±0.56	14.23±0.88	14.38±0.85	0.85	1.91	1.05
ปริมาณฮีมาโตคริต (ร้อยละ)	41.08±1.16	41.17±1.85	41.67±1.92	0.22	1.44	1.21
ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	4.87±0.29	4.88±0.31	4.94±0.42	0.21	1.44	1.23
ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง (เฟมโตลิตร)	83.10±6.58	83.36±7.16	83.88±5.63	0.31	0.94	0.62

จากตารางที่ 4-41 พบว่า กลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ มีการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก ได้แก่ ค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแอนแอโรบิกหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.03 และ12.18 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และความสามารถสูงสุดในการยืนระยะแอนแอโรบิกหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.69 และ 18.03 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และดัชนีความเหนื่อยล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ลดลงร้อยละ -22.22 และ -31.45 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

การเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพด้านแอโรบิก ได้แก่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.65 และ 3.01 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และจุดเริ่มล้า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.20 และ 4.25 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เม็ดเลือดแดง ได้แก่ ปริมาณฮีโมโกลบิน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.85 และ 1.91 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และปริมาณฮีมาโตคริต หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.22 และ 1.44 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.21 และ 1.44 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก และขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.31 และ 0.94 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก

บทที่ 5
อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยมีการอภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

อภิปรายผล

1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า พลังสูงสุดแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 และเมื่อทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีพลังสูงสุดแอนแอโรบิก แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ส่วนหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 และ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีดัชนีความเหนื่อยล้า แตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีดัชนีความเหนื่อยล้าแตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ทั้งนี้อาจจะมีเหตุผลมาจากระดับความหนักของงานที่ใช้ในการฝึกของกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม ในการวิจัยครั้งนี้มีความหนักร้อยละ 30-60 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ซึ่งกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม ต้องทำงานที่มีความหนักต่ำถึงปานกลาง ทำให้พลังสูงสุดแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้าพัฒนาในทางที่ดีขึ้น โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาก็คือ การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่มีความหนักต่ำถึงปานกลาง ซึ่งการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกจำเป็นต้องใช้การฝึกด้วยแรงต้าน

เข้ามาประกอบด้วย เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของกล้ามเนื้อในการสร้างพลังงานแอนแอโรบิก โดยการฝึกเพื่อพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกจะมีลักษณะการฝึกสลับกับการพักเป็นช่วง ๆ เช่น การฝึกหนักสลับพัก การฝึกความเร็ว การฝึกพลัยโอเมตริก และการฝึกด้วยแรงต้าน ฯลฯ (Haff & Triplett, 2015) ในการวิจัยครั้งนี้ประยุกต์ใช้ตามทฤษฎีและแนวทางการฝึกของ Bompa and Buzzichelli (2015) ที่อาศัยแรงต้านมาช่วยกระตุ้นการพัฒนาความสามารถของกล้ามเนื้อในการสร้างพลังงานแอนแอโรบิก โดยมีรูปแบบการฝึกความอดทนของกล้ามเนื้อระยะกลาง (Muscular endurance of medium duration training) หรือเรียกโดยย่อว่า MEM training ที่มีความหนักร้อยละ 30-50 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง จำนวนเซตที่ใช้ฝึกต่อครั้ง 3-4 เซต ระยะเวลาที่ใช้ฝึกต่อเซต 2-8 นาที ระยะเวลาพักต่อเซต 2-3 นาที จังหวะที่ใช้ฝึกปานกลาง-เร็ว ความถี่ที่ใช้ฝึกต่อสัปดาห์ 2 ครั้ง และช่วงเวลาที่ฝึก 8-10 สัปดาห์ ซึ่งผลการฝึกรูปแบบดังกล่าวนี้จะช่วยให้การสะสมสารพลังงาน เช่น Adenosine triphosphate Creatine phosphate และ Glycogen ในกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานแอนแอโรบิก เช่น Myokinase Phosphofructokinase และ Creatine phosphokinase ทำหน้าที่ได้ดีขึ้น และยังช่วยให้ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ การทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อพัฒนา (Fleck & Kraemer, 2014; Pignanelli et al., 2020) อย่างไรก็ตาม Centner, Wiegel, Gollhofer, and König (2019) ให้ข้อเสนอว่า การฝึกด้วยแรงต้านที่มีระดับความหนักสูง (ความหนักร้อยละ 70-85 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง) มักนำมาใช้ฝึกเพื่อเพิ่มสมรรถภาพในกลุ่มของนักกีฬา เช่น นักยกน้ำหนัก และนักกีฬาประเภทที่ต้องการความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมาก แต่การฝึกด้วยแรงต้านที่มีความหนักสูงมากเช่นนี้อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อ เอ็น และข้อต่อ และยากลำบากต่อการฝึกปฏิบัติทั้งกลุ่มนักกีฬาและคนทั่วไป ทำให้ปัจจุบันได้มีการนำการฝึกด้วยแรงต้านที่มีความหนักต่ำถึงปานกลางมาผสมผสานกับสภาวะออกซิเจนต่ำ (Hypoxic condition) มาใช้แทนการฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักสูง เพื่อพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โดยไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บแต่ยังคงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักสูง เช่นการศึกษาของ Thuwakum et al. (2017) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักร้อยละ 30-50 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนร้อยละ 14 ของอากาศทั้งหมด ที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อ พบว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และพลังสูงสุดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นได้เช่นเดียวกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักร้อยละ 80 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Namboonlue et al. (2020) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักร้อยละ 50 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนออกซิเจนร้อยละ 13.6-15.8 ของอากาศทั้งหมด ที่มีต่อความแข็งแรงของ

กล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และความหนาของกล้ามเนื้อ พบว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และความหนาของกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้นได้ใกล้เคียงกับการฝึกด้วยแรงต้านที่ระดับความหนักร้อยละ 80 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการฝึกรูปแบบต่าง ๆ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ เช่น การฝึกด้วยแรงต้าน การฝึกแบบสถานี การฝึกหนักสลับพัก การฝึกพลัยโอเมตริก และการฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว ฯลฯ ซึ่งช่วยพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Eroğlu and Aydın (2021) ที่พบว่า การฝึกหนักสลับพักด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนร้อยละ 12-15 ของอากาศทั้งหมด และสภาวะปริมาณออกซิเจนร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด ช่วยให้พลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ Ambroż**ż**y et al. (2020) ที่ศึกษาผลของการฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อพลังสูงสุดแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้า พบว่า การฝึกหนักสลับพักที่ความหนักร้อยละ 50 ของความหนักสูงสุดในสภาวะปริมาณออกซิเจนร้อยละ 12.9 ของอากาศทั้งหมด ช่วยให้พลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้น ส่วนดัชนีความเหนื่อยล้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Breda et al. (2022) ที่พบว่า การฝึกเชิงซ้อนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ความสูง 2,500 เมตร จากระดับน้ำทะเล) ช่วยให้สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้น รวมทั้งการศึกษาของ Ma, Tan, Li, Li, and Gao (2023) ที่พบว่า การฝึกเชิงซ้อนในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ความสูง 1,500 เมตร จากระดับน้ำทะเล) ช่วยให้พลังสูงสุดแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การวิจัยบางส่วนได้มีข้อค้นพบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ช่วยให้ความสามารถของนักกีฬาเพิ่มสูงขึ้นได้เช่นกัน เช่นเดียวกับศึกษาของ Camacho-Cardenosa et al. (2020) ที่ศึกษาผลของการฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อพลังสูงสุดแอนแอโรบิก พบว่า การฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยวในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ช่วยให้พลังสูงสุดแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับ Coşkun (2019) ที่ศึกษาผลของการฝึกพลัยโอเมตริกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อพลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิก ซึ่งพบว่า การฝึกพลัยโอเมตริกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ สามารถพัฒนาพลังสูงสุดแอนแอโรบิก และความสามารถในการยืนระยะแอนแอโรบิกให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. สมรรถภาพด้านแอโรบิก

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดเริ่มล้า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 และเมื่อทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดเริ่มล้า แตกต่างจากหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ทั้งนี้อาจจะมาจากประสิทธิภาพของโปรแกรมการฝึกทั้ง 2 รูปแบบ มีตัวแปรทางด้านความหนัก ระยะเวลา ความถี่ และรูปแบบของการฝึกที่เหมาะสม ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ทำให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดเริ่มล้าพัฒนาในทางที่ดีขึ้น ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาก็คือ การออกแบบโปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านให้มีความสอดคล้องและเหมาะสม เพื่อกระตุ้นการพัฒนาความสามารถของกล้ามเนื้อให้หดตัวได้นานขึ้นและอดทนต่อความเมื่อยล้าได้ดีขึ้น รวมทั้งช่วยพัฒนาความสามารถของกล้ามเนื้อในการสร้างพลังงานแอโรบิกให้เพิ่มสูงขึ้น (Bompa & Buzzichelli, 2015) ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่มีระดับความหนักร้อยละ 30-60 ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง จำนวนครั้งที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี 15 ครั้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานีไม่เกิน 20 วินาที ระยะเวลาที่ใช้ในการพักระหว่างสถานี 30 วินาที ระยะเวลาที่ใช้ในการพักระหว่างรอบการฝึก 3 นาที ใช้จังหวะปานกลาง-เร็วแบบซ้ำ ๆ กัน อย่างต่อเนื่อง และฝึกทั้งหมด 3 รอบ การฝึกด้วยรูปแบบดังกล่าวนี้ทำให้มีการสะสมไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ช่วยให้ความสามารถในการทำงานของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกาย การกระจายของเส้นเลือดฝอยที่ไปเลี้ยงเส้นใยกล้ามเนื้อ ความหนาแน่นของไมโตรคอนเดรียเพิ่มขึ้น และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานแอโรบิก เช่น Myokinase และ Creatine phosphokinase พัฒนาดีขึ้น (Mesquita et al., 2020; Parry, Roberts, & Kavazis, 2020; Domingo Jesus Ramos-Campo, Andreu Caravaca, Martinez-Rodriguez, & Rubio-Arias, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา Islam, Bonafiglia, Granata, and Gurd (2020) ที่พบว่า การฝึกด้วยรูปแบบที่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบซ้ำ ๆ กันอย่างต่อเนื่องยาวนาน จะทำให้ Mitochondrial markers ในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นและเกิดกระบวนการ Mitochondria biogenesis เพื่อเผาผลาญพลังงาน ซึ่งต้องใช้ออกซิเจนจำนวนมาก จึงส่งผลให้สมรรถภาพด้านแอโรบิกพัฒนาดีขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Myers, Schneider, Schmale, and Hazell (2015) ที่พบว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านมีส่วนช่วยให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจน

สูงสุดเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 และเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Piras, Persiani, Damiani, Perazzolo, and Raffi (2015) ที่พบว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านช่วยให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดพัฒนาเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับ Kukeli and Skenderi (2018) ที่พบว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้าน ช่วยให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งการศึกษาวิจัยของ Yuniana et al. (2023) และ Prieto-González and Sedlacek (2022) ที่พบว่า การฝึกด้วยแรงต้านช่วยพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดเริ่มล้าได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Yuyongsin et al. (2022) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านภายใต้สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ซึ่งแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักร้อยละ 50 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 15.8 ของอากาศทั้งหมด) กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกแอโรบิกที่มีระดับความหนักร้อยละ 60 ของช่วงอัตราการเต้นของหัวใจ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 15.8 ของอากาศทั้งหมด) และกลุ่มที่ 3 ฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักร้อยละ 50 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ร่วมกับการฝึกแอโรบิกที่ความหนักร้อยละ 60 ของช่วงอัตราการเต้นของหัวใจ ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกทั้ง 3 รูปแบบช่วยให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Törpel, Peter, and Schega (2020) และ Eroğlu and Aydın (2021) ที่พบว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านที่ความหนักต่ำในสภาวะปริมาณออกซิเจนในเลือดร้อยละ 80-85 และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ช่วยให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นได้ไม่ต่างกัน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Wróbel et al. (2021) และ Ramadan, Xirouchaki, Mustafa, Saad, and Benite-Ribeiro (2021) ที่พบว่า การฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักร้อยละ 50-80 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ทั้งในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ช่วยให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดเริ่มล้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้เช่นเดียวกัน

3. เซลล์เม็ดเลือดแดง

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง และขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ทั้งในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 และเมื่อทดสอบความแตกต่างภายในกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง แตกต่างจากก่อนการฝึก และหลังการฝึก

สัปดาห์ที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ส่วนปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง และขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง ในกลุ่มทดลองที่ 2 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากโปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ มีตัวแปรด้านความหนักของงาน และระดับออกซิเจนที่ใช้ฝึกมีความเหมาะสม จึงช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงในทางที่ดีขึ้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีระดับความหนักที่ใช้ฝึกร้อยละ 30-60 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง และมีระดับออกซิเจนที่ใช้ฝึกอยู่ที่ร้อยละ 13.5-14.5 ของอากาศทั้งหมด ซึ่งมีรูปแบบการฝึกที่นักกีฬาจะพักอาศัยอยู่ในระดับน้ำทะเล แต่ในขณะฝึกนักกีฬาจะต้องฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีการสัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจนเพียงระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 5-180 นาที ในห้องจำลองสภาวะที่สูง โดยการฝึกรูปแบบนี้เรียกว่า Live low-train high (LLTH) ซึ่งเป็นการฝึกที่มีลักษณะการจำลองสภาวะที่สูง เช่น การขึ้นไปบนภูเขาที่มีความดันย่อยของก๊าซออกซิเจน และอากาศชนิดอื่น ๆ ในบรรยากาศลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น โดยการลดลงของก๊าซออกซิเจนบนพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลนี้จะทำให้ออกซิเจนที่เข้าสู่ปอด หรือความดันย่อยของออกซิเจนในปอด (Partial pressure of oxygen in lungs: PAO_2) ลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ความดันย่อยของออกซิเจนในกระแสเลือด (Partial pressure of oxygen in blood: PaO_2) ลดลงด้วยเช่นกัน (Durand & Raberin, 2021; Forrer et al., 2023) ด้วยเหตุนี้ การอยู่ในภาวะขาดออกซิเจนระดับน้อย ๆ (แต่ไม่ถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย) เป็นเวลานานมากพอจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น การเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดเลือดแดง ทำให้มีการขนส่งออกซิเจนของร่างกายดีขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้เกิดจากออกซิเจนในอากาศ (Partial pressure of inspired oxygen; PIO_2) และออกซิเจนในปอดลดลง ทำให้ออกซิเจนในเลือดที่จะเข้าสู่ไตลดลงด้วย ไตจึงหลั่งฮอร์โมน Erythropoietin (EPO) ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นไขกระดูก (Bone mallow) ให้เพิ่มการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงมากขึ้น เพื่อรักษาสมดุลของระดับออกซิเจนในร่างกาย ช่วยให้เลือดจับกับออกซิเจนได้ดีขึ้น ส่งผลให้กล้ามเนื้อได้รับออกซิเจนมากขึ้นในขณะออกกำลังกาย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างพลังงานแอโรบิกของกล้ามเนื้อ (Kenney et al. 2015) ดังจะเห็นได้จากหลาย ๆ การศึกษาที่ผ่านมา เช่นการศึกษา Albertus-Cámara, Ferrer-López, and Martínez-González-Moro (2022) และการศึกษาของ Millet and Brocherie (2020) ที่พบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น อัตราการระบายอากาศ ปริมาณเม็ดเลือดแดง ปริมาณฮีโมโกลบิน หลอดเลือดฝอยที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อ ความหนาแน่นของไมโตรคอนเดรียเพิ่มขึ้น และช่วยให้เอนไซม์ในไมโตรคอนเดรียทำงานได้ดีขึ้น รวมทั้งความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เอนไซม์ไกลโคไลติค การขนส่งกลูโคส และการควบคุมความเป็นกรด-ด่างในร่างกายพัฒนาได้ดีขึ้น

สอดคล้องกับการศึกษาของ Anh, Duy, and Tien (2019) ที่พบว่า การฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ช่วยให้ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริตเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Halawa (2019) และ Weng et al. (2021) ซึ่งพบว่า การฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ช่วยพัฒนาให้ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริตเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังสรุปได้ว่า การฝึกหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ช่วยให้ฮีโมโกลบินเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.5 และฮีมาโตคริตเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.1 ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Guardado et al. (2020) ที่ศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีต่อตัวแปรทางโลหิตวิทยา โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักร้อยละ 65-80 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ (ออกซิเจนร้อยละ 13 ของอากาศทั้งหมด) และกลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนักร้อยละ 65-80 ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ (ออกซิเจนร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด) ผลการศึกษาพบว่า ฮีโมโกลบิน และ ฮีมาโตคริต ในกลุ่มทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองที่ 2 นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงภายในกลุ่มทดลองทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอาจจะมีเหตุผลมาจากการฝึกทั้ง 2 รูปแบบ มีลักษะของกิจกรรมการฝึกปฏิบัติที่ประกอบด้วยการฝึกเป็นชุดสลับกับการพักเป็นช่วง ๆ จึงทำให้มีช่วงเวลาที่ระดับความหนักของงานลดลง ทำให้ร่างกายไม่ต้องทำงานหนักอย่างต่อเนื่องติดต่อกันเป็นเวลานาน ส่งผลให้ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงทั้ง 2 กลุ่ม ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่ง Schop et al. (2021) กล่าวว่า ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้บอกลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดง จะมีค่าปกติอยู่ที่ 80-100 เฟมโตลิตร ถ้าหากมีค่าน้อยกว่า 80 เฟมโตลิตร แสดงว่า เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็กผิดปกติ เรียกว่า ไมโครไซต์ (Microcyte) หรือมีค่ามากกว่า 100 เฟมโตลิตร แสดงว่า เม็ดเลือดแดงมีขนาดใหญ่ผิดปกติ เรียกว่ามาโครไซต์ (Macrocyte) ซึ่งอาจจะมาจากภาวะโลหิตจาง (Anemia) ที่เกิดขึ้นจากโรคธาลัสซีเมีย ภาวะขาดธาตุเหล็ก ภาวะขาดวิตามินบี 12 ภาวะขาดโฟเลต และภาวะที่มีการแตกสลายของเม็ดเลือดจากการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมกีฬาที่มีความต่อเนื่องและยาวนาน เป็นต้น (Damian et al., 2021) สอดคล้องกับการศึกษาของ Teległów et al. (2022) ที่พบว่า การฝึกแบบหนักสลับพักในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ไม่ทำให้ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Carin et al. (2023) ที่พบว่า การฝึกที่ระดับความหนักของงานเกือบสูงสุด (Submaximal) ในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้แสดงให้เห็นว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ สามารถพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก และสมรรถภาพด้านแอโรบิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังพบว่า การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ สามารถพัฒนาสมรรถภาพด้านแอโรบิกได้เป็นอย่างดี หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ และการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำมีส่วนช่วยในการพัฒนาเซลล์เม็ดเลือดแดงได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. สำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 สามารถนำโปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านทั้ง 2 รูปแบบ ไปใช้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดงในนักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอลได้

1.2 สามารถเลือกระดับความหนัก ระยะเวลา และความถี่ที่ใช้ในการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านทั้ง 2 รูปแบบ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ไปประยุกต์ใช้ให้อยู่ในช่วงแรกเริ่มของการฝึก เพื่อช่วยกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก สมรรถภาพด้านแอโรบิก และเซลล์เม็ดเลือดแดงในนักกีฬาฟุตซอล บาสเกตบอล และแฮนด์บอลได้เร็วขึ้น และลดระยะเวลาที่ใช้ในการฝึก

2. สำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และความหนักของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง ในหลาย ๆ ระดับ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงที่อาจจะแตกต่างกันในแต่ละตัวแปรที่ศึกษา

2.2 ควรทำการศึกษาการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ และสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ โดยใช้ลักษณะอื่น ๆ ในการฝึก เช่น การฝึกหนัก สลับพัก การฝึกพลัยโอเมตริก และการฝึกวิ่งสปริ๊นท์แบบซ้ำเที่ยว เป็นต้น

2.3 ควรทำการศึกษาถึงตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณแลคเตทในเลือด ระดับฮอร์โมนอิริทโทรโพอิติน อัตราการเผาผลาญพลังงาน อัตราการใช้คาร์โบไฮเดรต และอัตราการใช้ไขมัน เพื่อที่จะสามารถอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นจากการฝึกทั้ง 2 รูปแบบ ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

เจริญ กระบวนรัตน์. (2561). วิทยาศาสตร์การฝึกสอนกีฬา กรุงเทพฯ: บริษัท สินธนาก๊อปปี้ เซ็นเตอร์ จำกัด.

คณาจารย์ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2557). สรีรวิทยา. กรุงเทพ: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

คณาจารย์ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล. (2548). วิทยาศาสตร์การกีฬา = *Sports Science*. นครปฐม: มีเดีย เพรส.

จตุรงค์ เหมรา. (2561). หลักการและการปฏิบัติ: การทดสอบสมรรถภาพทางกาย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิรวัฒน์ ทองเอี่ยม. (2558). ความสัมพันธ์ของสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกระหว่างการทดสอบด้วยวิธีของวินเกตแอนแอโรบิกรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์และการวิ่งเร็ว *40* หลา *4* เที่ยว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา, คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยบูรพา. .

ตรีทิพย์ รัตนวรชัย. (2555). ชีวเคมีของเลือดเชิงบูรณาการ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์. (2554). สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2560). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย *SPSS* และ *AMOS* (พิมพ์ครั้งที่ 17 ed.). กรุงเทพฯ บิสซิเนสอาร์แอนด์ดี.

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

นภชาญ เอื้อประเสริฐ และจันทนา ผลประเสริฐ. (2560). *Chulalongkorn hematology handbook*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บังอร ฉางทรัพย์. (2550). กายวิภาคศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 3 ed.). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญใจ ศรีสถิตย์นรากูร. (2563). ขนาดอิทธิพล การวิเคราะห์อำนาจ การคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมโดยโปรแกรม *G*Power*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประทุม ม่วงมี. (2532). อินเทอร์วาลเทรนนิ่ง. กรุงเทพฯ: ศิลปาบรรณาคาร.

ภัทราวุธ ขาวสนิท. (2560). ผลของการฝึกแบบหนักสลับพักความหนักสูงในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่อ

ความดันบรรยากาศปกติที่มีต่อความสามารถที่แสดงออกทางแอโรบิกและแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตซอลระดับมหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มณินทร รักษ์บำรุง. (2546). ผลของการฝึกวิ่งแบบต่อเนื่องควบคู่กับการฝึกวิ่งแบบอินเทอร์วาลที่มีต่อแอนแอโรบิคเทรชโฮล ปริมาณฮีมาโตคริต และความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา, คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยบูรพา.

มัณณพร ทิพย์ปาละ. (2560). การศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีมวลกายและดัชนีเม็ดเลือดในผู้ที่มีภาวะอ้วน. วิทยานิพนธ์เทคนิคการแพทยมหาบัณฑิต, คณะสหเวชศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วรเชษฐ์ จันติยะ. (2561). ผลของการฝึกพลัยโอเมตริกแนวพื้นลาดเอียง แนวพื้นราบ และแบบผสมผสานที่มีต่อตัวแปรเชิงแอนแอโรบิก การเร่งความเร็ว และความสามารถในการกระโดด. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา, คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วรวุฒิ สวัสดิชัย. (2551). สมรรถภาพทางกายของนักศึกษามหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ชั้นปีที่ *1* ปีการศึกษา *2550.* วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพลศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วิน เชยชมศรี. (ม.ป.ป.). โลหิตวิทยา.

วิรัตน์ สนธิ์จันทร์. (2555). ผลของการฝึกแบบอินเทอร์วาลในระดับความหนักและระยะเวลาต่างกันที่มีต่อความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ปริมาณฮีโมโกลบิน สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก และแอนแอโรบิกเทรชโฮล. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา, คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สนธยา สีละมาด. (2560). หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา (พิมพ์ครั้งที่ 5 ed.). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สนอง แย้มดี. (2553). สมรรถภาพทางกายของนักศึกษาสถาบันการพลศึกษาในเขตภาคเหนือปีการศึกษา *2551.* วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพลศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สัญญา ร้อยสมมุติ. (2555). หัวใจและการไหลเวียนเลือด. ขอนแก่น: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สายชล สินสมบูรณ์ทอง. (2559). การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวโดยใช้ *SPSS* และ *Minitab = Multivariate analysis by SPSS and Minitab*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2562). คู่มือแบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของเด็ก เยาวชน และประชาชนไทย. กรุงเทพฯ: บริษัท เวิลด์ เอ็กซ์เพิร์ท จำกัด.

สิงห์คำ ธิมา. (2552). การตรวจความสมบูรณ์ของเลือด. จุลสารสภาเทคนิคการแพทย์, *1*(4), 7-11.

อภิรมย์ จามพฤกษ์. (2561). ผลของการฝึกอินเทอร์วาลแบบแอนแอโรบิก แบบแอโรบิก และแบบผสมผสานที่มีต่อตัวแปรเชิงแอนแอโรบิก แอโรบิก และความสามารถในการวิ่งระยะทาง *400* เมตร. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา, คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยบูรพา.

อภิลักษณ์ เทียนทอง และสุพัชรินทร์ ปานอุทัย. (2556). องค์ประกอบความสามารถของนักกอล์ฟเยาวชนสมัครเล่น: ความสัมพันธ์ระหว่างแต้มต่อทักษะกีฬา สมรรถภาพทางกาย และสมรรถภาพทางจิต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา, *13*(2), 31-43.

Abbasian, S., Golzar, S., Onvani, V., & Sargazi, L. (2012). The predict of RAST Test from WANT test in Elite Athletes. *Res J Recent Sci, 1*(3), 72-75.

Adamczyk, J. (2011). The estimation of the RAST test usefulness in monitoring the anaerobic capacity of sprinters in athletics. *Polish Journal of Sport and Tourism, 18*(3), 214-218.

Albertus-Cámara, I., Ferrer-López, V., & Martínez-González-Moro, I. (2022). The Effect of Normobaric Hypoxia in Middle-and/or Long-Distance Runners: Systematic Review. *Biology, 11*(5), 689.

Alvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., Corbi, F., Pagès, T., & Viscor, G. (2016). A program of circuit resistance training under hypobaric hypoxia conditions improves the anaerobic performance of athletes. *Science & Sports, 31*(2), 78-87.

Ambro**ż**y, T., Maciejczyk, M., Klimek, A. T., Wiecha, S., Stanula, A., Snopkowski, P., . . . Rydzik, Ł. (2020). The effects of intermittent hypoxic training on anaerobic and aerobic power in boxers. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(24), 9361.

American College of Sports Medicine. (2018). *ACSMs Guidelines for exercise testing and prescription* (10th ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer.

Anh, L. T., Duy, N. K., & Tien, N. T. (2019). Physiological Energy and Body Composition Reaction After 6 Weeks of Training at 2500m Hypoxia Chamber of Male Sprint.

Journal of Sports Research, 6(1), 39-43.

Assuncao, A. R., Bottaro, M., Ferreira-Junior, J. B., Izquierdo, M., Cadore, E. L., & Gentil, P. (2016). The chronic effects of low-and high-intensity resistance training on muscular fitness in adolescents. *PloS one, 11*(8), e0160650.

Australian Institute of Sport. (2013). *Physiological tests for elite athletes* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Baker, L. B., Rollo, I., Stein, K. W., & Jeukendrup, A. E. (2015). Acute effects of carbohydrate supplementation on intermittent sports performance. *Nutrients, 7*(7), 5733-5763.

Billat, L. V. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports medicine, 22*(3), 157-175.

Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. (2015). *Periodization training for sports* (3rd ed.). United States: Human Kinetics.

Bompa, T. O., & Carrera, M. C. (2005). *Periodization training for sports: science-based strength and conditioning plans for 17 sports* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Breda, F. L., Manchado-Gobatto, F. B., de Barros Sousa, F. A., Beck, W. R., Pinto, A., Papoti, M., . . . Gobatto, C. A. (2022). Complex networks analysis reinforces centrality hematological role on aerobic–anaerobic performances of the Brazilian Paralympic endurance team after altitude training. *Scientific Reports, 12*(1), 1148.

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. *British Journal of Sports Medicine, 27*(3), 167-170.

Camacho-Cardenosa, A., Camacho-Cardenosa, M., Brazo-Sayavera, J., Timón, R., González-Custodio, A., & Olcina, G. (2020). Repeated sprint in hypoxia as a time-metabolic efficient strategy to improve physical fitness of obese women. *European journal of applied physiology, 120*, 1051-1061.

Carin, R., Deglicourt, G., Rezigue, H., Martin, M., Nougier, C., Boisson, C., . . . Connes, P. (2023). Effects of a Maximal Exercise Followed by a Submaximal Exercise Performed in Normobaric Hypoxia (2500 m), on Blood Rheology, Red Blood Cell

Senescence, and Coagulation in Well-Trained Cyclists. *Metabolites, 13*(2), 179.

Centner, C., Wiegel, P., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine, 49*, 95-108.

Chaouachi, A., Manzi, V., Wong, D. P., Chaalali, A., Laurencelle, L., Chamari, K., & Castagna, C. (2010). Intermittent endurance and repeated sprint ability in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 24*(10), 2663-2669.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). United states: Lawrence Erlbaum Associates.

Coratella, G., & Schena, F. (2016). Eccentric resistance training increases and retains maximal strength, muscle endurance, and hypertrophy in trained men. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 41*(11), 1184-1189.

Corbin, C. B., Welk, G. J., Corbin, W. R., & Welk, K. A. (2019). *Concepts of fitness and wellness: A comprehensive lifestyle approach* (12th ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Coşkun, B. (2019). The Effects of plyometric training in normobaric hypoxia on body composition, anaerobic performance, strength, and explosive power.

Czuba, Fidos-Czuba, & Płoszczyca et al. (2018). Comparison of the effect of intermittent hypoxic training vs. the live high, train low strategy on aerobic capacity and sports performance in cyclists in normoxia. *Biology of Sport, 35*(1), 39.

Czuba, Maszczyk, A., & Gerasimuk et at. (2014). The effects of hypobaric hypoxia on erythropoiesis, maximal oxygen uptake and energy cost of exercise under normoxia in elite biathletes. *Journal of Sports Science & Medicine, 13*(4), 912.

Czuba, Wilk, & Karpiński et al. (2017). Intermittent hypoxic training improves anaerobic performance in competitive swimmers when implemented into a direct competition mesocycle. *PloS one, 12*(8), e0180380.

da Silva, J. F., Guglielmo, L. G., & Bishop, D. (2010). Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 24*(8), 2115-2121.

Damian, M.-T., Vulturar, R., Login, C. C., Damian, L., Chis, A., & Bojan, A. (2021). Anemia in

sports: a narrative review. *Life, 11*(9), 987.

Dardouri, W., Selmi, M. A., Sassi, R. H., Gharbi, Z., Rebhi, A., Yahmed, M. H., & Moalla, W. (2014). Relationship between repeated sprint performance and both aerobic and anaerobic fitness. *Journal of human kinetics, 40*(1), 139-148.

Dupont, G., McCall, A., Prieur, F., Millet, G. P., & Berthoin, S. (2010). Faster oxygen uptake kinetics during recovery is related to better repeated sprinting ability. *European journal of applied physiology, 110*(3), 627-634.

Durand, F., & Raberin, A. (2021). Exercise-induced hypoxemia in endurance athletes: consequences for altitude exposure. *Frontiers in Sports and Active Living, 3*, 663674.

Eichner, E. R. (2018). Anemia in Athletes, News on Iron Therapy, and Community Care During Marathons. *Current sports medicine reports, 17*(1), 2-3.

Eroğlu, A., & Aydın, T. (2021). Effect of intermittent hypoxic intervention on aerobic and anaerobic performance of the elite athletes. *Medical Science and Discovery, 8*(8), 460-464.

Faiss, R., Léger, B., Vesin, J.-M., Fournier, P.-E., Eggel, Y., Dériaz, O., & Millet, G. P. (2013). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *PloS one, 8*(2), e56522.

Ferley, D. D., Scholten, S., & Vukovich, M. D. (2020). Combined Sprint Interval, Plyometric, and Strength Training in Adolescent Soccer Players: Effects on Measures of Speed, Strength, Power, Change of Direction, and Anaerobic Capacity. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 34*(4), 957-968.

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

Forrer, A., Gaisl, T., Sevik, A., Meyer, M., Senteler, L., Lichtblau, M., . . . Furian, M. (2023). Partial Pressure of Arterial Oxygen in Healthy Adults at High Altitudes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Network Open, 6*(6), e2318036-e2318036.

Gibson, A. L., Wagner, D. R., & Heyward, V. H. (2019). *Advanced fitness assessment and exercise prescription* (8th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Guardado, I., Ureña, B., Cardenosa, A., Cardenosa, M., Camacho, G., & Andrada, R. (2020).

Effects of strength training under hypoxic conditions on muscle performance, body composition and haematological variables. *Biology of Sport, 37*(2), 121-129.

Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2015). *Essentials of strength training and conditioning 4th edition*: Human kinetics.

Halawa, N. I. (2019). Effect of 4-Weeks Hypoxic Training on Some Physiological and Biochemical Parameters of Athletes. *Age (yr), 22*(1.1), 22.21-21.25.

Hasan, M. F. (2020). *The Effect of Circuit Weight Training on VO2Max.* Paper presented at the 4th International Conference on Sport Science, Health, and Physical Education (ICSSHPE 2019).

Ho, J.-Y., Kuo, T.-Y., Liu, K.-L., Dong, X.-Y., & Tung, K. (2014). Combining normobaric hypoxia with short-term resistance training has no additive beneficial effect on muscular performance and body composition. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 28*(4), 935-941.

Hoffman, J. (2014). *Physiological aspects of sport training and performance* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Hu, M., & Lin, W. (2012). Effects of exercise training on red blood cell production: implications for anemia. *Acta haematologica, 127*(3), 156-164.

Inbar, O., Bar-Or, O., & Skinner, J. S. (1996). *The Wingate Anaerobic Test*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Islam, H., Bonafiglia, J. T., Granata, C., & Gurd, B. J. (2020). Exercise-Induced Mitochondrial Biogenesis: Molecular Regulation, Impact of Training, and Influence on Exercise Performance. In *The Routledge Handbook on Biochemistry of Exercise* (pp. 143-161): Routledge.

James, A. (2018). Effect of aerobic circuit training on muscular endurance among men students. *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR), 7*(2), 783-787.

Jarvis, S. (2018). Vascular system 1: anatomy and physiology. *Nursing Times, 114*(4), 40–44.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2015). *Physiology of sport and exercise* (6th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Kukeli, R., & Skenderi, D. (2018). THE IMPACT OF FORCE EXERCISES ON VO2MAX

INDICATORS AND IMPROVEMENT THROUGH DIFFERENT EXERCISE PROGRAM THROUGH CIRCUIT WEIGHT TRAINING. *European Journal of Physical Education and Sport Science*.

Lippi, G., & Sanchis-Gomar, F. (2019). Epidemiological, biological and clinical update on exercise-induced hemolysis. *Annals of Translational Medicine, 7*(12).

Liu, C.-H., Tseng, Y.-F., Lai, J.-I., Chen, Y.-Q., Wang, S.-H., Kao, W.-F., . . . Chang, W.-H. (2018). The changes of red blood cell viscoelasticity and sports anemia in male 24-hr ultra-marathoners. *Journal of the Chinese Medical Association, 81*(5), 475-481.

Luebbers, P. E. (2001). *An examination of the relationship among three tests of anaerobic capacity.* Master's thesis, Graduate Studies and Research, Emporia State University.

Lundby, C., Millet, G. P., Calbet, J. A., Bärtsch, P., & Subudhi, A. W. (2012). Does 'altitude training'increase exercise performance in elite athletes?. *British Journal of Sports Medicine, 46*(11), 792-795.

Lundby, C., Montero, D., & Joyner, M. (2017). Biology of VO2max: looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica, 220*(2), 218-228.

Ma, T., Tan, J., Li, R., Li, J., & Gao, B. (2023). Effects of six weeks of sub-plateau cold environment training on physical functioning and athletic ability in elite parallel giant slalom snowboard athletes. *PeerJ, 11*, e14770.

MacDougall, J. D., & Sale, G. D. (2014). *The physiology of training for high performance*. New York: Oxford University Press.

Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2016). *Human anatomy & physiology* (10th ed.). Harlow: Pearson Education.

Martens, R. (2012). *Successful coaching* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Martínez-Guardado, I., Ramos-Campo, D. J., Olcina, G. J., Rubio-Arias, J. A., Chung, L. H., Marín-Cascales, E., . . . Timón, R. (2019). Effects of high-intensity resistance circuit-based training in hypoxia on body composition and strength performance. *European journal of sport science, 19*(7), 941-951.

Martini, F. H., & Bartholomew, E. F. (2013). *Essentials of anatomy & physiology* (6th ed.). Boston: Pearson.

Maud, P. J., & Foster, C. (2006). *Physiological assessment of human fitness* (2nd ed.). United States: Human Kinetics.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2016). *Essentials of exercise physiology* (8th ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer.

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.

Mcmillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R., & Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine, 39*(5), 273-277.

Mesquita, P. H., Lamb, D. A., Parry, H. A., Moore, J. H., Smith, M. A., Vann, C. G., . . . Huggins, K. W. (2020). Acute and chronic effects of resistance training on skeletal muscle markers of mitochondrial remodeling in older adults. *Physiological reports, 8*(15), e14526.

Millet, G. P., & Brocherie, F. (2020). Hypoxic training is beneficial in elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 52*(2), 515-518.

Montero, D., Cathomen, A., Jacobs, R. A., Flück, D., de Leur, J., Keiser, S., . . . Lundby, C. (2015). Haematological rather than skeletal muscle adaptations contribute to the increase in peak oxygen uptake induced by moderate endurance training. *The Journal of physiology, 593*(20), 4677-4688.

Montero, D., & Lundby, C. (2019). Arterial oxygen content regulates plasma erythropoietin independent of arterial oxygen tension: a blinded crossover study. *Kidney international, 95*(1), 173-177.

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

Mottram, C. D. (2018). *Ruppel's manual of pulmonary function testing* (11th ed.). Maryland Heights: Elsevier.

Myers, T. R., Schneider, M. G., Schmale, M. S., & Hazell, T. J. (2015). Whole-body aerobic resistance training circuit improves aerobic fitness and muscle strength in sedentary young females. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 29*(6), 1592-1600.

Nakamoto, F. P., Ivamoto, R. K., Andrade, M. d. S., de Lira, C. A., Silva, B. M., & da Silva, A. C. (2016). Effect of intermittent hypoxic training followed by intermittent hypoxic exposure on aerobic capacity of long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research, 30*(6), 1708-1720.

Namboonlue, C., Hamlin, M. J., Sirasaporn, P., Manimmanakorn, N., Wonnabussapawich, P., Thuwakum, W., . . . Manimmanakorn, A. (2020). Optimal degree of hypoxia combined with low-load resistance training for muscle strength and thickness in athletes. *Journal of Physical Education and Sport, 20*(2), 828-838.

Naser, N., Ali, A., & Macadam, P. (2017). Physical and physiological demands of futsal. *Journal of Exercise Science & Fitness, 15*(2), 76-80.

National Strength and Conditioning Association. (2016). *Essentials of strength training and conditioning* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

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.

Parry, H. A., Roberts, M. D., & Kavazis, A. N. (2020). Human skeletal muscle mitochondrial adaptations following resistance exercise training. *International journal of sports medicine, 41*(06), 349-359.

Peate, I., & Nair, m. (2017). *Fundamentals of anatomy and physiology: For nursing and healthcare students* (2nd ed.). United States: John Wiley & Sons.

Pignanelli, C., Petrick, H. L., Keyvani, F., Heigenhauser, G. J., Quadrilatero, J., Holloway, G. P., & Burr, J. F. (2020). Low-load resistance training to task failure with and without blood flow restriction: muscular functional and structural adaptations. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 318*(2), R284-R295.

Pinilla, O. C. V. (2014). Exercise and training at altitudes: physiological effects and protocols. *Revista Ciencias de la Salud, 12*(1), 115-130.

Piras, A., Persiani, M., Damiani, N., Perazzolo, M., & Raffi, M. (2015). Peripheral heart action (PHA) training as a valid substitute to high intensity interval training to improve resting cardiovascular changes and autonomic adaptation. *European*

journal of applied physiology, 115, 763-773.

Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2017). *Exercise physiology for health, fitness, and performance* (5th ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer.

Prieto-González, P., & Sedlacek, J. (2022). Effects of Running-Specific Strength Training, Endurance Training, and Concurrent Training on Recreational Endurance Athletes' Performance and Selected Anthropometric Parameters. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(17), 10773.

Prommer, N., Wachsmuth, N., Thieme, I., Wachsmuth, C., Mancera-Soto, E. M., Hohmann, A., & Schmidt, W. F. (2018). Influence of endurance training during childhood on total hemoglobin mass. *Frontiers in physiology, 9*, 251.

Ramadan, W., Xirouchaki, C. E., Mustafa, R., Saad, A., & Benite-Ribeiro, S. A. (2021). Effect of wearing an elevation training mask on physiological adaptation. *Journal of Physical Education and Sport, 21*(3), 1337-1345.

Ramos-Campo, D. J., Andreu Caravaca, L., Martinez-Rodriguez, A., & Rubio-Arias, J. Á. (2021). Effects of resistance circuit-based training on body composition, strength and cardiorespiratory fitness: a systematic review and meta-analysis. *Biology, 10*(5), 377.

Ramos-Campo, D. J., Martínez-Guardado, I., Rubio-Arias, J. A., Freitas, T. T., Othalawa, S., Andreu, L., . . . Alcaraz, P. E. (2019). Muscle Architecture and Neuromuscular Changes After High-Resistance Circuit Training in Hypoxia. *Journal of Strength and Conditioning Research*.

Ratamess, N. A. (2012). *ACSM's foundations of strength training and conditioning*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.

Ratamess, N. A., Beller, N. A., Gonzalez, A. M., Spatz, G. E., Hoffman, J. R., Ross, R. E., . . . Kang, J. (2016). The effects of multiple-joint isokinetic resistance training on maximal isokinetic and dynamic muscle strength and local muscular endurance. *Journal of Sports Science & Medicine, 15*(1), 34.

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

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.

Rohli, R. V., & Vega, A. J. (2018). *Climatology* (4th ed.). United States: Jones & Bartlett Learning.

Rusko, H., Tikkanen, H., & Peltonen, J. (2004). Altitude and endurance training. *Journal of sports sciences, 22*(10), 928-945.

Schmidt, D., Anderson, K., Graff, M., & Strutz, V. (2016). The effect of high-intensity circuit training on physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness, 56*(5), 534-540.

Schop, A., Stouten, K., Riedl, J. A., van Houten, R. J., Leening, M. J., Bindels, P. J., & Levin, M.-D. (2021). The accuracy of mean corpuscular volume guided anaemia classification in primary care. *Family Practice, 38*(6), 735-739.

Scott, B. R., Goods, P. S., & Slattery, K. M. (2016). High-intensity exercise in hypoxia: Is increased reliance on anaerobic metabolism important?. *Frontiers in physiology, 7*, 637.

Shah, B. N. (2013). On the 50th anniversary of the first description of a multistage exercise treadmill test: re-visiting the birth of the 'Bruce protocol'. In: BMJ Publishing Group Ltd and British Cardiovascular Society.

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

Sinex, J. A., & Chapman, R. F. (2015). Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science, 4*(4), 325-332.

Skattebo, Ø., López Calbet, J. A., Rud, B., Capelli, C., & Hallén, J. (2020). Contribution of oxygen extraction fraction to maximal oxygen uptake in healthy young men. *Acta Physiologica*.

Stickford, A. S., Wilhite, D. P., & Chapman, R. F. (2017). No change in running mechanics with ive lhigh-train low altitude training in elite distance runners. *International journal of sports physiology and performance, 12*(1), 133-136.

Sylta, Ø., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2014). From heart-rate data to training quantification: a comparison of 3 methods of training-intensity analysis. *International journal of sports physiology and performance, 9*(1), 100-107.

Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. G. (2015). *Earth science* (14th ed.). Boston:

Pearson Higher Education.

Teleg**ł**ów, A., Mardyła, M., Myszka, M., Pałka, T., Maciejczyk, M., Bujas, P., . . . Marchewka, J. (2022). Effect of Intermittent Hypoxic Training on Selected Biochemical Indicators, Blood Rheological Properties, and Metabolic Activity of Erythrocytes in Rowers. *Biology, 11*(10), 1513.

Thuwakum, W., Hamlin, M., Manimmanakorn, N., Leelayuwat, N., Wonnabussapawich, P., Boobpachat, D., & Manimmanakorn, A. (2017). Low-load resistance training with hypoxia mimics traditional strength training in team sport athletes.

Törpel, A., Peter, B., & Schega, L. (2020). Effect of resistance training under normobaric hypoxia on physical performance, hematological parameters, and body composition in young and older people. *Frontiers in physiology, 11*, 335.

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.

Weng, X., Lin, J., Yuan, Y., Lin, B., Huang, W., Tin, H. T., . . . Chen, H. (2021). Intermittent hypoxia exposure helps to restore the reduced hemoglobin concentration during intense exercise training in trained swimmers. *Frontiers in physiology*, 2040.

West, J. B., Schoene, R. B., Luks, A. M., & Milledge, J. S. (2013). *High altitude medicine and physiology* (5th ed.). New York: CRC Press.

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

Wróbel, M., Rokicka, D., Goła**ś**, A., Drozd, M., Nowowiejska-Wiewióra, A., Pyka, Ł., . . . Strojek, K. (2021). Combined Aerobic and Resistance Training Performed under Conditions of Normobaric Hypoxia and Normoxia Has the Same Impact on Metabolic Control in Men with Type 1 Diabetes. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(24), 13058.

Yuniana, R., Tomoliyus, B., Nasrulloh, A., Pratama, K. W., Rosly, M. M., Karakauki, M., & Ali, S. K. S. (2023). The Effectiveness of the Weight Training Method and Rest Interval on VO2 max, Flexibility, Muscle Strength, Muscular Endurance, and Fat

Percentage in Students. *Journal of Human Movement and Sports Sciences, 11*(1), 213-223.

Yuyongsin, S., Namboonlue, C., Labantao, K., Saengjan, W., Manimmanakorn, A., & Muangritdech, N. (2022). Five Weeks of Low-Load Resistance and Light-Aerobic Training Combined with Hypoxia Improved Muscular Performance, Oxygen Consumption, and Body Composition in Overweight Men. *Journal of Exercise Physiology Online, 25*(5).

Zacharogiannis, E., Paradisis, G., & Tziortzis, S. (2004). An evaluation of tests of anaerobic power and capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 36*(5), S116.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมการฝึกสำหรับการวิจัย

โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

1. ระยะการฝึก จำนวน 8 สัปดาห์
2. ช่วงเวลาฝึก ทำการฝึกตามโปรแกรมในวันจันทร์ พุธ และศุกร์ เวลา 17.00-18.00 น.

ขั้นตอนการฝึก

1. เตรียมความพร้อมร่างกาย พักสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก ใช้เวลา 10 นาที
2. ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ ใช้เวลา 5 นาที
3. อบอุ่นร่างกาย อบอุ่นร่างกายทั่วไป ด้วยการก้าวขึ้น-ลงบนม้าก้าวที่มีความสูง 25 เซนติเมตร ที่ระดับความหนักร้อยละ 55-60 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และอบอุ่นร่างกายเฉพาะเจาะจง ด้วยกิจกรรมที่มีความใกล้เคียงกับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้าน 1 รอบ ใช้เวลา 10 นาที
4. การฝึก ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ใช้เวลา 20 นาที ซึ่งมีรายละเอียดที่กำหนดให้ฝึก ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก-1
5. คลายอุ่นร่างกาย คลายอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ ๆ หรือเดิน ที่ระดับความหนัก 55-60 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ใช้เวลา 5 นาที

ตารางภาคผนวก ก-1 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ

โปรแกรมการฝึก	สัปดาห์ที่ 1-4	สัปดาห์ที่ 5-8
ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก	14.5%	13.5%
ระดับความหนักที่ใช้ในการฝึก	30% of 1RM	40% of 1RM
จำนวนสถานีที่ใช้ในการฝึก	6 สถานี	6 สถานี
จำนวนรอบที่กำหนดให้ฝึก	3 รอบ	3 รอบ
จำนวนครั้งที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	15 ครั้ง	15 ครั้ง
ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	20 วินาที	20 วินาที
ระยะเวลาที่ใช้ในการพักระหว่างสถานี	30 วินาที	30 วินาที
ระยะเวลาพักระหว่างรอบการฝึก	3 นาที	3 นาที
จังหวะที่ใช้ฝึก	จังหวะปานกลาง-เร็ว	จังหวะปานกลาง-เร็ว

โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

1. ระยะการฝึก จำนวน 8 สัปดาห์
2. ช่วงเวลาฝึก ทำการฝึกตามโปรแกรมในวันจันทร์ พุธ และศุกร์ เวลา 18.00-19.00 น.

ขั้นตอนการฝึก

1. ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ ใช้เวลา 5 นาที
2. อบอุ่นร่างกาย อบอุ่นร่างกายทั่วไป ด้วยการก้าวขึ้น-ลงบนม้าก้าวที่มีความสูง 25 เซนติเมตร ที่ระดับความหนักร้อยละ 55-60 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และอบอุ่นร่างกายเฉพาะเจาะจง ด้วยกิจกรรมที่มีความใกล้เคียงกับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้าน 1 รอบ ใช้เวลา 10 นาที
3. การฝึก ฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ใช้เวลา 20 นาที ซึ่งมีรายละเอียดที่กำหนดให้ฝึก ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก-2
4. คลายอุ่นร่างกาย คลายอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ ๆ หรือเดิน ที่ระดับความหนัก 55-60 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ใช้เวลา 5 นาที

ตารางภาคผนวก ก-2 โปรแกรมการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ

โปรแกรมการฝึก	**สัปดาห์ที่ 1-4**	**สัปดาห์ที่ 5-8**
ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการฝึก	20.9%	20.9%
ระดับความหนักที่ใช้ในการฝึก	50% of 1RM	60% of 1RM
จำนวนสถานีที่ใช้ในการฝึก	6 สถานี	6 สถานี
จำนวนรอบที่กำหนดให้ฝึก	3 รอบ	3 รอบ
จำนวนครั้งที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	15 ครั้ง	15 ครั้ง
ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี	20 วินาที	20 วินาที
ระยะเวลาที่ใช้ในการพักระหว่างสถานี	30 วินาที	30 วินาที
ระยะเวลาพักระหว่างรอบการฝึก	3 นาที	3 นาที
จังหวะที่ใช้ฝึก	จังหวะปานกลาง-เร็ว	จังหวะปานกลาง-เร็ว

ภาคผนวก ข

ภาพแสดงการสาธิตวิธีการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านสำหรับการวิจัย

ภาพภาคผนวก ก-1 การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในท่า Back squat (Brown, 2017)

ภาพภาคผนวก ก-2 การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในท่า Standing calf raises (Brown, 2017)

ภาพภาคผนวก ก-3 การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในท่า Barbell bench press (Brown, 2017)

ภาพภาคผนวก ก-4 การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในท่า Barbell lunge (Brown, 2017)

ภาพภาคผนวก ก-5 การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในท่า Deadlift (Brown, 2017)

ภาพภาคผนวก ก-6การฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในท่า Lying leg curls (Brown, 2017)

ภาคผนวก ค

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบความตรงของเครื่องมือวิจัย

1. รองศาสตราจารย์ ดร.อภิลักษณ์ เทียนทอง	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการพัฒนากีฬา คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ	อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไวพจน์ จันทร์เสม	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสมุทรสาคร
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรตระกูล ปานอุทัย	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตสุพรรณบุรี
5. ดร.ภัทราวุธ ขาวสนิท	อาจารย์ประจำแขนงวิชาการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การประเมินความตรงของเครื่องมือวิจัยโดยวิธีการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item-Objective congruence index: IOC)

1. เกณฑ์การให้คะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิมีดังนี้

+1 หมายถึง เห็นด้วยว่าเครื่องมือวิจัยนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย

-1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยว่าเครื่องมือวิจัยนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าเครื่องมือวิจัยนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย

2. ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$IOC = \Sigma R/N$

เมื่อ IOC คือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง

ΣR คือ ผลรวมคะแนนจากผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละข้อ

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

เครื่องมือวิจัยที่ได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้วจะต้องมีค่า IOC ≥ 0.5 จึงจะถือได้ว่ามีความตรงเชิงเนื้อหาอยู่ในระดับดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ หากเครื่องมือวิจัยมีค่า < 0.5 ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ผลการประเมินความตรงของเครื่องมือวิจัย

เนื้อหา	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)
	+1	0	-1	
1. โปรแกรมการฝึกที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้				
1.1 สภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่ใช้ในการฝึก มีรายละเอียดดังนี้				
- สัปดาห์ที่ 1-4 ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศร้อยละ 14.5 ของอากาศทั้งหมด (เทียบเท่ากับความสูงระดับปานกลางจากระดับของน้ำทะเล) และมีความดันบรรยากาศปกติเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท - สัปดาห์ที่ 5-8 ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศร้อยละ 13.5 ของอากาศทั้งหมด (เทียบเท่ากับความสูงระดับสูงจากระดับของน้ำทะเล) และมีความดันบรรยากาศปกติเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท - หมายเหตุ: ปฏิบัติเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 1	5	0	0	1
1.2 สภาวะปริมาณออกซิเจนปกติที่ใช้ในการฝึก มีรายละเอียดดังนี้				
- สัปดาห์ที่ 1-8 ทำการฝึกในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำที่มีปริมาณออกซิเจนในอากาศร้อยละ 20.9 ของอากาศทั้งหมด (เทียบเท่ากับความสูงที่ใกล้เคียงกับระดับของน้ำทะเล) และมีความดันบรรยากาศปกติเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท - หมายเหตุ: ปฏิบัติเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 2	5	0	0	1
1.3 ระดับความหนักที่ใช้ในการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านสำหรับกลุ่มทดลองที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้				
- สัปดาห์ที่ 1-4 ทำการฝึกที่ระดับความหนักร้อยละ 30 ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง - สัปดาห์ที่ 5-8 ทำการฝึกที่ระดับความหนักร้อยละ 40 ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง - หมายเหตุ: ปฏิบัติเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 1	5	0	0	1

เนื้อหา	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)
	+1	0	-1	
1.4 ระดับความหนักที่ใช้ในการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านสำหรับกลุ่มทดลองที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้				
- สัปดาห์ที่ 1-4 ทำการฝึกที่ระดับความหนักร้อยละ 50 ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง - สัปดาห์ที่ 5-8 ทำการฝึกที่ระดับความหนักร้อยละ 60 ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง - หมายเหตุ: ปฏิบัติเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 2	5	0	0	1
1.4 ท่าและจำนวนสถานีที่ใช้ในการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้าน มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการฝึก 6 สถานี ประกอบด้วย 1) สถานีที่ 1 ฝึกในท่า Back squat 2) สถานีที่ 2 ฝึกในท่า Standing calf raises 3) สถานีที่ 3 ฝึกในท่า Barbell bench press 4) สถานีที่ 4 ฝึกในท่า Barbell lunge 5) สถานีที่ 5 ฝึกในท่า Deadlift 6) สถานีที่ 6 ฝึกในท่า Lying leg curls - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
1.5 จำนวนรอบที่กำหนดให้ฝึกแต่ละครั้ง มีรายละเอียดดังนี้				
- สัปดาห์ที่ 1-8 ทำการฝึก 3 รอบ/ครั้ง - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
1.6 จำนวนครั้งที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี มีรายละเอียดดังนี้				
- สัปดาห์ที่ 1-8 ทำการฝึก 15 ครั้ง/สถานี - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
1.7 ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกแต่ละสถานี มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการฝึกแต่ละสถานีไม่เกินเวลา 20 วินาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
1.8 ระยะเวลาที่ใช้ในการพักระหว่างสถานี มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการพักระหว่างสถานี 30 วินาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
1.9 ระยะเวลาพักระหว่างรอบการฝึก มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการพักระหว่างรอบการฝึก 3 นาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1

เนื้อหา	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)
	+1	0	-1	
1.10 จังหวะที่ใช้ในการฝึก มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการฝึกในจังหวะปานกลาง-เร็ว - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
1.11 ความถี่ของการฝึกต่อสัปดาห์ มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการฝึก 3 ครั้ง/สัปดาห์ - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
1.12 ระยะเวลาทั้งหมดในช่วงการฝึก มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการฝึกทั้งหมด 8 สัปดาห์ - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
2. การเตรียมความพร้อม การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และการอบอุ่นร่างกายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้				
2.1 การเตรียมความพร้อมด้วยการพักสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำก่อนการฝึก มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการพักสัมผัสสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ 10 นาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเฉพาะกลุ่มทดลองที่ 1	5	0	0	1
2.2 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ 5 นาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
2.3 การอบอุ่นร่างกายทั่วไป มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการก้าวขึ้น-ลงบนม้าก้าว (ความสูง 25 เซนติเมตร) ที่ระดับความหนักร้อยละ 55-60 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด 5 นาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
2.4 การอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจง มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการอบอุ่นร่างกายเฉพาะเจาะจง 6 สถานี ประกอบด้วย 1) สถานีที่ 1 ฝึกในท่า Squat 2) สถานีที่ 2 ฝึกในท่า Deadlift 3) สถานีที่ 3 ฝึกในท่า Bench press 4) สถานีที่ 4 ฝึกในท่า Lunge 5) สถานีที่ 5 ฝึกในท่า Lying leg curls 6) สถานีที่ 6 ฝึกในท่า Standing calf raises - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1

เนื้อหา	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)
	+1	0	-1	
2.5 ระดับความหนักที่ใช้ในการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจง มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจงที่ระดับความหนักร้อยละ 30 ของความสามารถสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
2.6 จำนวนรอบที่ใช้ในการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจง มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจง 1 รอบ - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
2.7 จำนวนครั้งที่ใช้ในการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจงแต่ละสถานี มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจงสถานีละ 15 ครั้ง - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
2.8 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจงแต่ละสถานี มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจงแต่ละสถานีภายในเวลา 20 วินาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
2.9 ระยะเวลาที่ใช้ในการพักระหว่างสถานี มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการพักระหว่างสถานี 30 วินาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
2.10 จังหวะที่ใช้ในการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจง มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจงในจังหวะปานกลาง-เร็ว - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1
3. การคลายอุ่นร่างกายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้				
3.1 การคลายอุ่นร่างกาย มีรายละเอียดดังนี้				
- ทำการคลายอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งเหยาะ ๆ หรือเดินที่ระดับความหนักร้อยละ 55-60 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 5 นาที - หมายเหตุ: ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม	5	0	0	1

ภาคผนวก จ

การทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก

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

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก ได้แก่ พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้า

อุปกรณ์

1. ลู่วิ่งกล หรือสนามที่มีระยะทางยาว 35 เมตร เป็นเส้นตรง
2. เครื่องมือจับเวลา ยี่ห้อ Fitness technology รุ่น Version I ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย
3. กรวย 2 อัน ใช้สำหรับจุดเริ่มต้นการวิ่ง และจุดสิ้นสุดการวิ่ง
4. นกหวีด 1 ตัว
5. แบบบันทึกผลการทดสอบ

วิธีการทดสอบ

1. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบอบอุ่นร่างกาย ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
2. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด จำนวน 1 เที่ยว หลังการอบอุ่นร่างกายให้พัก 5 นาที ก่อนเริ่มการทดสอบ
3. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบเตรียมตัวที่จุด A (จุดเริ่มต้น) เมื่อได้รับสัญญาณให้วิ่งด้วยความเร็วสูงสุดจากจุด A ไปยังจุด B (จุดสิ้นสุด) ระยะทาง 35 เมตร และพักระหว่างเที่ยว 10 วินาที โดยให้พักที่เส้น 35 เมตร (ไม่ต้องกลับมายังจุด A) จากนั้นในเที่ยวต่อไปเมื่อได้รับสัญญาณให้วิ่งด้วยความเร็วสูงสุดจากจุด B ไปยังจุด A ซึ่งจะทำการวิ่งจำนวน 6 เที่ยว เมื่อครบตามจำนวนถือว่าสิ้นสุดการทดสอบ
4. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่ง 5 นาที เพื่อคลายอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
5. บันทึกผลเวลาที่วิ่ง 6 เที่ยว นำผลที่ได้ไปค่านวณหาค่าพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก และดัชนีความเหนื่อยล้า

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบสมรรถภาพด้านแอโรบิก

การทดสอบด้วยวิธีของบรู๊ซโดยวิธีวิเคราะห์ก๊าซจากการวิ่งโดยลู่กล

(Bruce incremental treadmill protocol with respiratory gas analysis)

(Kenny, Wilmore, & Costill, 2015)

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินสมรรถภาพด้านแอโรบิก ได้แก่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และจุดเริ่มล้า

อุปกรณ์

1. ลู่วิ่งกล
2. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ยี่ห้อ Cortex CPET รุ่น MetaLyzer 3B ผลิตจากประเทศอิตาลี
3. สายวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ยี่ห้อ Polar รุ่น S710i ผลิตจากประเทศฟินแลนด์

วิธีการทดสอบ

1. ติดเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและสายวัดอัตราการเต้นของหัวใจให้กับผู้เข้ารับการทดสอบ
2. ให้ผู้ที่เข้ารับการทดสอบอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินช้า ๆ บนลู่วิ่งกล 3-5 นาที
3. กำหนดค่าเริ่มต้นในการทดสอบให้มีค่าลู่วิ่งกลอยู่ที่ความเร็ว 2.74 กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ 1.7 ไมล์/ชั่วโมง และระดับของความชันอยู่ที่ร้อยละ 10 (ขั้นที่ 1)

4 เมื่อทำการทดสอบจะมีการปรับความเร็วและความชันเพิ่มขึ้นทุก ๆ 3 นาที ดังแสดงในตารางภาคผนวก ฉ-1

ตารางภาคผนวก ฉ-1 การปรับความเร็วและความชันของลู่วิ่งกลทุก 3 นาที

ขั้นที่	ความเร็ว		ความชัน
	กิโลเมตร/ชั่วโมง	ไมล์/ชั่วโมง	(ร้อยละ)
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

5. บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจทุกครั้งที่มีระดับความหนักของงานเพิ่มขึ้น

6. บันทึกเวลาที่ทำได้และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

7. จะหยุดทดสอบเมื่อผู้ที่เข้ารับการทดสอบไม่สามารถวิ่งต่อไปได้ โดยพิจารณาจากอาการที่เกิดขึ้นตามข้อใดข้อหนึ่งดังนี้

2.7.1 เมื่อปฏิบัติกิจกรรมจนถึงระดับการใช้ออกซิเจนสูงสุด และไม่มีการเลี่ยนแปลงค่าการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น แม้จะปฏิบัติกิจกรรมต่อไปอีก

2.7.2 เมื่อปฏิบัติกิจกรรมจนอัตราการเต้นของหัวใจถึงระดับสูงสุด

2.7.3 อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซเท่ากับหรือสูงกว่า 1.15

2.7.4 ระดับความเข้มข้นของแลคเตตในเลือดสูงกว่า 8 มิลลิโมล/ลิตร

2.7.5 มีอาการสั่นทั้งตัวขณะปฏิบัติกิจกรรม

ภาคผนวก ช

การทดสอบเซลล์เม็ดเลือดแดง

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินเซลล์เม็ดเลือดแดง ได้แก่ ปริมาณฮีโมโกลบิน ปริมาณฮีมาโตคริต ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง และขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

อุปกรณ์

1. เข็มฉีดยา เบอร์ 22
2. กระบอกฉีดยา (Syringe) ขนาด 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. หลอด (Tube) ใส่เลือดที่มีสารกันเลือดแข็งตัว
4. ตะแกรงวางหลอดใส่เลือด
5. ถุงมือสะอาด
6. สายยางรัดแขน (Tourniquet)
7. สำลีแอลกอฮอล์ (Cotton ball)
8. เทปกาวปิดแผล (Transpore)
9. เทปเยื่อกระดาษปิดแผล (Micropore)
10. กรรไกร
11. กล่องทิ้งเข็ม
12. ถังขยะ

วิธีการทดสอบ

1. ให้ผู้ที่เข้ารับการทดสอบนั่งพัก 3-5 นาที
2. วัดความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก
3. ทำการเจาะเลือดตามหลักการและวิธีการทางการแพทย์ โดยนักเทคนิคการแพทย์จากศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ (ใบอนุญาตเลขที่ 72107000156) โดยทำการเจาะเลือดจำนวน 3-4 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cc) จากหลอดเลือดดำ (Vein) บริเวณข้อพับแขน แล้วใส่ในหลอดที่มีสารกันเลือดแข็งตัว เช่น EDTA Heparin และ Citrate เป็นต้น
4. นำเลือดส่งตรวจวิเคราะห์ ณ ศูนย์แล็บสุพรรณบุรี คลินิกเทคนิคการแพทย์ เลขที่ 8/14 ถนนขุนแผน ตำบลท่าพี่เลี้ยง อำเภอเมืองสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี 72000 ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมงหลังเจาะเลือด เพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เม็ดเลือดอัตโนมัติ (Automated hematology analyzer) ยี่ห้อ Mindray รุ่น CAL 6000 ผลิตจากประเทศจีน

ภาคผนวก ซ

แบบบันทึกข้อมูลสำหรับการวิจัย

แบบบันทึกข้อมูลลักษณะทางกายภาพ

รหัสกลุ่มตัวอย่าง .....

อายุ ..... ปี น้ำหนัก ..... กิโลกรัม ส่วนสูง ..... เซนติเมตร

ชนิดกีฬา .....

ตัวแปรที่วัด	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4	หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 8
1. อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)			
2. ความดันโลหิต (มิลลิเมตรปรอท)			

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบตัวแปรที่ศึกษา

รหัสกลุ่มตัวอย่าง .....

อายุ ..... ปี น้ำหนัก ..... กิโลกรัม ส่วนสูง ..... เซนติเมตร

ชนิดกีฬา .....

ตัวแปรที่วัด	ก่อนการฝึก	หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 4	หลังการฝึก สัปดาห์ที่ 8
1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก (Anaerobic performance)			
- พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (วัตต์)			
- ความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก (วัตต์/วินาที)			
- ดัชนีความเหนื่อยล้า (วัตต์/วินาที)			
2. สมรรถภาพด้านแอโรบิก (Aerobic performance)			
- ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)			
- จุดเริ่มลา (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)			
3. เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell)			
- ปริมาณฮีโมโกลบิน (กรัม/เดซิลิตร)			
- ปริมาณฮีมาโตคริต (ร้อยละ)			
- ปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (เซลล์/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)			
- ขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง (เฟมโตลิตร)			

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง

รหัสกลุ่มตัวอย่าง .....

อายุ ..... ปี น้ำหนัก ..... กิโลกรัม ส่วนสูง ..... เซนติเมตร

ชนิดกีฬา .....

ตัวแปรที่วัด	ก่อนการฝึก
ความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1 Repetition maximum)	
1. Back squat (กิโลกรัม)	
2. Standing calf raises (กิโลกรัม)	
3. Barbell bench press (กิโลกรัม)	
4. Barbell Lunge (กิโลกรัม)	
5. Deadlift (กิโลกรัม)	
6. Lying leg curls (กิโลกรัม)	

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพด้านแอโรบิก

การทดสอบด้วยวิธีการของ Bruce protocol โดยวิเคราะห์ก๊าซจากการวิ่งบนลู่วิ่งกล

รหัสกลุ่มตัวอย่าง .....

อายุ ..... ปี น้ำหนัก ..... กิโลกรัม ส่วนสูง ..... เซนติเมตร

ชนิดกีฬา .....

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

ขั้นที่	ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ความเร็ว (ไมล์/ชั่วโมง)	ความชัน (ร้อยละ)	เวลา (นาที)	เวลาที่ทำได้ (นาที)	VO_2max (ml/kg/min)
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		

- ขั้นที่ทำได้ ..... เวลาที่ทำได้ ..... นาที
- อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ..... ครั้ง/นาที
- อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ..... ครั้ง/นาที
- ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยวิธีวิเคราะห์ก๊าซ ..... มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที
- จุดเริ่มล้า โดยวิธีวิเคราะห์ก๊าซ ..... มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบสมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก
โดยวิธีการวิ่งแบบรันนิ่งเบสท์แอนแอโรบิกสปริ๊นท์

รหัสกลุ่มตัวอย่าง .....

อายุ ..... ปี น้ำหนัก ..... กิโลกรัม ส่วนสูง ..... เซนติเมตร

ชนิดกีฬา .....

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

เที่ยว	**เวลาที่ทำได้ (วินาที)**	**พลัง (วัตต์) = น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) x ระยะทาง (เมตร)^2 ÷ เวลา (วินาที)^3**
1		
2		
3		
4		
5		
6		
รวม		

- พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (พลังสูงสุด) ..... วัตต์
- ความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก (ผลรวมของพลังทั้งหมด ÷ 6 เที่ยว) ..... วัตต์
- ดัชนีความเหนื่อยล้า [(พลังสูงสุด - พลังต่ำสุด) ÷ ผลรวมของเวลาในการวิ่งทั้งหมด] ..... วัตต์

ภาคผนวก ฌ

การวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก

1.1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก

ตารางภาคผนวก ฌ-1 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
	Pre	12	633.69	26.46	0.55	-0.24	0.89	0.13
EXP_G1	Post1	12	636.25	25.28	0.35	-0.08	0.94	0.54
	Post2	12	701.05	17.54	0.42	-0.75	0.94	0.52
	Pre	12	632.04	28.95	-0.17	-0.49	0.92	0.29
EXP_G2	Post1	12	638.56	28.32	-0.16	-0.90	0.95	0.70
	Post2	12	709.05	17.72	-0.81	-0.28	0.89	0.13

จากตารางภาคผนวก ฌ-1 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 633.69 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 26.46 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.24 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.89 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.13 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 636.25 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 25.28 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.35 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.08 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.54 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่าง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 701.05 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 17.54 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.42 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.75 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.52 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 632.04 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 28.95 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.17 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.49 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.29 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 638.56 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 28.32 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.16 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.90 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.70 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 709.05 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 17.72 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.81 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.28 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.13 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

1.2 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก

ตารางภาคผนวก ฌ-2 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
EXP_G1	Pre	12	560.75	24.76	0.49	-0.27	0.91	0.23
	Post1	12	584.23	23.19	-0.07	-0.07	0.95	0.70
	Post2	12	658.31	21.83	0.20	0.50	0.97	0.92
EXP_G2	Pre	12	562.73	25.43	0.22	0.05	0.99	0.99
	Post1	12	589.12	30.90	-0.28	-0.49	0.95	0.64
	Post2	12	664.20	21.42	-0.70	-0.09	0.93	0.34

จากตารางภาคผนวก ฌ-2 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 560.75 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 24.76 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.49 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.27 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.23 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 584.23 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 23.19 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.07 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.07 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.70 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 658.31 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 21.83 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.20 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.50 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.92 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 562.73 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 25.43 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.22 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.05 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.99 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 589.12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 30.90 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.28 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.49 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.64 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิกเท่ากับ 664.20 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 21.42 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.70 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.09 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.34 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

1.3 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของดัชนีความเหนื่อยล้า

ตารางภาคผนวก ฌ-3 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของดัชนีความเหนื่อยล้าก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
EXP_G1	Pre	12	4.71	0.46	0.22	-0.44	0.96	0.78
	Post1	12	3.62	0.22	-0.76	-0.08	0.93	0.42
	Post2	12	3.12	0.26	0.68	-0.59	0.88	0.09
EXP_G2	Pre	12	4.77	0.52	0.83	0.16	0.94	0.50
	Post1	12	3.71	0.25	-0.43	0.40	0.87	0.06
	Post2	12	3.27	0.40	0.35	-0.37	0.91	0.25

จากตารางภาคผนวก ฌ-3 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้าเท่ากับ 4.71 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.22 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.44 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.78 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้าเท่ากับ 3.62 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.22 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.76 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.08 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.42 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้าเท่ากับ 3.12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.26 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.68 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.59 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.09 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้าเท่ากับ 4.77 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.83 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.16 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.50 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้าเท่ากับ 3.71 ค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐานเท่ากับ 0.25 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.43 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.40 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.06 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยดัชนีความเหนื่อยล้าเท่ากับ 3.27 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.35 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.37 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.25 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

2. สมรรถภาพด้านแอโรบิก

2.1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ตารางภาคผนวก ณ-4 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
	Pre	12	52.21	4.79	-0.05	-0.86	0.96	0.80
EXP_G1	Post1	12	52.43	4.88	-0.05	-0.06	0.96	0.78
	Post2	12	57.78	4.37	0.11	-0.41	0.88	0.09
	Pre	12	52.17	4.43	-0.32	-0.09	0.95	0.69
EXP_G2	Post1	12	53.03	4.33	-0.27	-0.43	0.96	0.84
	Post2	12	53.74	4.31	-0.40	-0.66	0.95	0.59

จากตารางภาคผนวก ณ-4 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 52.21 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.79 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.05 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.86 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.80 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 52.43 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.88 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.05 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.06 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.78 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

เท่ากับ 57.78 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.37 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.11 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.41 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.09 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 52.17 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.43 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.32 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.09 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.69 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 53.03 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.33 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.27 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.43 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.84 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 53.74 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.31 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.40 ความโด่งเท่ากับ -0.66 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.59 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

2.2 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของจุดเริ่มล้า

ตารางภาคผนวก ฌ-5 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของจุดเริ่มล้า ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
	Pre	12	39.73	2.65	0.12	-0.74	0.98	0.97
EXP_G1	Post1	12	39.81	2.56	0.17	-0.86	0.97	0.87
	Post2	12	41.42	2.58	0.11	-0.08	0.95	0.69
	Pre	12	39.74	2.11	0.01	-0.71	0.99	1.00
EXP_G2	Post1	12	39.79	2.13	0.07	-0.82	0.98	0.97
	Post2	12	44.52	2.51	0.38	-0.49	0.88	0.09

จากตารางภาคผนวก ฌ-5 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้าเท่ากับ 39.74 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.11 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.01 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.71 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 1.00 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่าง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้าเท่ากับ 39.79 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.13 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.07 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.82 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.97 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้าเท่ากับ 44.52 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.51 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.38 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.49 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.09 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการ แจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้าเท่ากับ 39.73 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.65 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.12 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.74 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.97 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้า เท่ากับ 39.81 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.56 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.17 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.86 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.87 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้าเท่ากับ 41.42 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.58 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.11 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.08 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.69 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

3. เซลล์เม็ดเลือดแดง

3.1 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของปริมาณฮีโมโกลบิน

ตารางภาคผนวก ฌ-6 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของปริมาณฮีโมโกลบิน ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
	Pre	12	14.08	0.65	-0.48	0.39	0.93	0.37
EXP_G1	Post1	12	14.33	0.70	0.74	0.40	0.95	0.70
	Post2	12	15.37	0.76	0.59	0.36	0.92	0.30
	Pre	12	14.11	0.56	-0.16	-0.98	0.95	0.66
EXP_G2	Post1	12	14.23	0.88	0.92	0.81	0.92	0.28
	Post2	12	14.38	0.85	-0.34	0.67	0.79	0.06

จากตารางภาคผนวก ฌ-6 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบินเท่ากับ 14.08 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.48 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.39 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.37 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบินเท่ากับ 14.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.70 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.74 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.40 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.70 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบินเท่ากับ 15.37 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.76 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.59 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.36 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.30 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบินเท่ากับ 14.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.16 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.98 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.66 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญ ทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบินเท่ากับ 14.23 ค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐานเท่ากับ 0.88 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.92 ความโด่งเท่ากับ 0.81 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.28 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีโมโกลบินเท่ากับ 14.38 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.85 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.34 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.67 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.06 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

3.2 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของปริมาณฮีมาโตคริต

ตารางภาคผนวก ฌ-7 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของปริมาณฮีมาโตคริต ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
	Pre	12	40.00	1.76	0.00	-0.89	0.89	0.10
EXP_G1	Post1	12	41.25	1.96	0.19	-0.17	0.97	0.90
	Post2	12	44.33	1.72	-0.24	-0.19	0.90	0.15
	Pre	12	41.08	1.16	-0.60	-0.52	0.87	0.06
EXP_G2	Post1	12	41.17	1.85	0.33	0.74	0.97	0.90
	Post2	12	41.67	1.92	-0.81	-0.66	0.86	0.06

จากตารางภาคผนวก ฌ-7 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริตเท่ากับ 40.00 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.76 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.00 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.89 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.10 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริตเท่ากับ 41.25 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.96 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.19 ค่าความโด่ง เท่ากับ -0.17 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.90 แสดงถึงความแตกต่าง จากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 (Post2) มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริตเท่ากับ 44.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.72 ค่าความเบ้ (Skewness) เท่ากับ -0.24 ค่าความโด่ง (Kurtosis) เท่ากับ -0.19 และการทดสอบการแจกแจงปกติ

Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.15 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริตเท่ากับ 41.08 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.16 ค่าความเบ้เท่ากับ-0.60 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.52 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.06 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริตเท่ากับ 41.17 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.85 ค่าความเบ้เท่ากับ0.33 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.74 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-Wilk test มีค่า p = 0.90 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยปริมาณฮีมาโตคริตเท่ากับ 41.67 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.92 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.81 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.66 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.06 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

3.3 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง

ตารางภาคผนวก ฌ-8 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
EXP_G1	Pre	12	4.88	0.28	0.03	-0.07	0.98	0.98
	Post1	12	4.95	0.32	0.90	0.88	0.94	0.48
	Post2	12	5.37	0.36	-0.01	-0.41	0.93	0.39
EXP_G2	Pre	12	4.87	0.29	0.16	2.14	0.90	0.15
	Post1	12	4.88	0.31	0.09	0.83	0.90	0.16
	Post2	12	4.94	0.42	0.06	-0.65	0.98	0.96

จากตารางภาคผนวก ฌ-8 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 4.88 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.03 ความโด่งเท่ากับ -0.07 และการทดสอบการ

แจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.98 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 4.95 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.32 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.90 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.88 และการทดสอบการ แจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.48 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 5.37 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.36 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.01 ค่าความโด่งเท่ากับ-0.41 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.39 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 4.87 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.29 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.16 ค่าความโด่งเท่ากับ 2.14 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.15 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 4.88 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.09 ค่าความโด่งเท่ากับ 0.83 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.16 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 (Post2) มีค่าเฉลี่ยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 4.94 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.42 ค่าความเบ้เท่ากับ0.06 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.65 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.96 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

3.4 ผลการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง

ตารางภาคผนวก ณ-9 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และการแจกแจงปกติของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2

กลุ่ม	ระยะ	n	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk	p
G1_Exp	Pre	12	82.62	6.53	-0.76	-0.86	0.87	0.07
	Post1	12	83.62	5.45	-0.01	-0.58	0.88	0.06
	Post2	12	83.73	5.11	0.01	-0.08	0.96	0.76
G2_Exp	Pre	12	83.10	6.58	-0.84	-0.78	0.86	0.05
	Post1	12	83.36	7.16	-0.76	-0.98	0.86	0.06
	Post2	12	83.88	5.63	-0.24	-0.96	0.93	0.39

จากตารางภาคผนวก ณ-9 พบว่า ในกลุ่มทดลองที่ 1 ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนต่ำ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 82.62 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.53 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.76 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.86 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.07 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 3.62 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.45 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.01 ค่าความโด่ง เท่ากับ -0.58 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.06 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 83.73 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.11 ค่าความเบ้เท่ากับ 0.01 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.08 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.76 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการฝึกแบบสถานีด้วยแรงต้านในสภาวะปริมาณออกซิเจนปกติ ก่อนการฝึก มีค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 83.10 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.58 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.84 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.78 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.05 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 83.36 ค่า

เบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.16 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.76 ค่าความโด่งเท่ากับ -0.98 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.06 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่ามีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเฉลี่ยขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดงเท่ากับ 83.88 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.63 ค่าความเบ้เท่ากับ -0.24 ความโด่งเท่ากับ -0.96 และการทดสอบการแจกแจงปกติ Shapiro-wilk test มีค่า p = 0.39 แสดงถึงความแตกต่างจากศูนย์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่า มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ

ภาคผนวก ญ

การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้น

1. สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก

1.1 ผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก

ตารางภาคผนวก ญ-1 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
Max_pow	0.78	5.37	2	0.07	0.80	0.59	0.50

จากตารางภาคผนวก ญ-1 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.78 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 5.37 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.07 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

1.2 ผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก

ตารางภาคผนวก ญ-2 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของความสามารถในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
Capacity	0.81	4.75	2	0.10	0.82	0.64	0.50

จากตารางภาคผนวก ญ-2 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.81 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 4.75 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.10 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

1.3 ผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของดัชนีความเหนื่อยล้า

ตารางภาคผนวก ญ-3 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของดัชนีความเหนื่อยล้า โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
Fatigue	0.79	4.97	2	0.08	0.83	0.93	0.50

จากตารางภาคผนวก ญ-3 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.79 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 4.97 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.08 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

2. สมรรถภาพด้านแอโรบิก

2.1 ผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ตารางภาคผนวก ญ-4 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
VO_2max	0.77	6.14	2	0.06	0.81	0.63	0.50

จากตารางภาคผนวก ญ-4 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.77 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 6.14 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.06 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

2.2 ผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของจุดเริ่มล้า

ตารางภาคผนวก ญ-5 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของจุดเริ่มล้า โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
AT	0.82	4.16	2	0.13	0.80	0.60	0.50

จากตารางภาคผนวก ญ-5 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.82 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 4.16 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.13 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

3. เซลล์เม็ดเลือดแดง

3.1 ผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของปริมาณฮีโมโกลบิน

ตารางภาคผนวก ญ-6 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของปริมาณฮีโมโกลบิน โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
HB	0.76	6.07	2	0.05	0.81	0.86	0.50

จากตารางภาคผนวก ญ-6 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.76 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 6.07 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.05 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

3.2 ผลการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของปริมาณฮีมาโตคริต

ตารางภาคผนวก ญ-7 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของปริมาณฮีมาโตคริต โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
HCT	0.85	3.60	2	0.16	0.87	0.93	0.50

จากตารางภาคผนวก ญ-7 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.82 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 4.16 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.16 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

ตารางภาคผนวก ญ-8 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
RBC count	0.88	2.74	2	0.25	0.90	0.97	0.50

จากตารางภาคผนวก ญ-8 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.88 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 2.74 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.25 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

ตารางภาคผนวก ฌ-9 การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับ Compound symmetry ของขนาดเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยใช้ Mauchly's test of sphericity

Within-subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	p	Epsilon		
					Greenhouse-geisser	Huynh-feldt	Lower-bound
MCV	0.98	0.47	2	0.79	0.98	1.00	0.50

จากตารางภาคผนวก ฌ-9 พบว่า ค่าสถิติ Mauchly’s W มีค่าเท่ากับ 0.98 และสถิติไคสแควร์เท่ากับ 0.47 ซึ่งค่า p-value เท่ากับ 0.79 ผลคือ ยอมรับ H_0 หมายความว่า ความสัมพันธ์ของการวัดแต่ละครั้ง และความแปรปรวนของการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่า ๆ กัน รวมทั้งมีลักษณะเป็น Compound symmetry ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายพิชยา นพกาล
วัน เดือน ปี เกิด	26 พฤศจิกายน 2529
สถานที่เกิด	จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	777/9 หมู่ที่ 9 หมู่บ้านโชคชัย 5 ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 20180
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	อาจารย์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี (2558-2561) อาจารย์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตอ่างทอง (2562-ปัจจุบัน)
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา 2552 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา 2557
รางวัลหรือทุนการศึกษา	ทุนสนับสนุนการทำวิจัย สำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565