



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การกีฬา

วิทยาศาสตร์การกีฬา

สาขา

คณะ

เรื่อง ผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจน  
มากกว่าปกติที่มีผลต่อสมรรถนะด้านแอนแอโรบิกในนักกีฬาประเภททีม

Effect of Repeated Sprints Training in Hypoxic and Hyperoxic Conditions on  
Anaerobic Performance in Team Sports Players

نامผู้วิจัย นายบรรหาร วิชญปิติ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์นิรอมลี มะกาเจ, ป.ด. )

ประธานสาขาวิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ  
ที่มีผลต่อสมรรถนะด้านแอนแอโรบิกในนักกีฬาประเภททีม

Effect of Repeated Sprints Training Hypoxic and Hyperoxic Conditions on Anaerobic  
Performance in Team Sports Players

โดย

นายบรรหาร วิชญ์ปิติ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการกีฬา)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บรรหาร วิชญ์ปิติ 2557: ผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติที่มีผลต่อสมรรถนะด้านแอนแอโรบิกในนักกีฬาประเภททีม  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา  
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์รศ.ดร. เรืองไทย, Ed.D.  
116 หน้า

ผลการวิจัยเมื่อทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่า พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ในกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยปริมาณออกซิเจนที่ต่างกันก็จะกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาในแต่ละด้านที่ต่างกัน โดยพลังสูงสุดนั้นจะมีการพัฒนาที่มากที่สุดจากการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ พลังเฉลี่ยจะมีการพัฒนาที่มากกว่าจากการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน และดัชนีความล้าจะมีการพัฒนาที่มากกว่าจากการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่า พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ระหว่าง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้เห็นว่าความแตกต่างของภาวะอากาศ หรือปริมาณออกซิเจนในอากาศนั้นไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะที่ต่างกัน ดังนั้นผู้ฝึกสอนสามารถใช้ในการฝึกได้ทุกรูปแบบ เพราะแต่ละรูปแบบการฝึกนั้นให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

ผลการวิจัยเมื่อทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่า พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ในกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยปริมาณออกซิเจนที่ต่างกันก็จะกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาในแต่ละด้านที่ต่างกัน โดยพลังสูงสุดนั้นจะมีการพัฒนาที่มากที่สุดจากการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ พลังเฉลี่ยจะมีการพัฒนาที่มากกว่าจากการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน และดัชนีความล้าจะมีการพัฒนาที่มากกว่าจากการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่า พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ระหว่าง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้เห็นว่าความแตกต่างของภาวะอากาศ หรือปริมาณออกซิเจนในอากาศนั้นไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะที่ต่างกัน ดังนั้นผู้ฝึกสอนสามารถใช้ในการฝึกได้ทุกรูปแบบ เพราะแต่ละรูปแบบการฝึกนั้นให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

Bunhan Witchayapiti 2014: Effect of Repeated Sprints Training in Hypoxic and Hyperoxic Conditions on Anaerobic Performance in Team Sports Players. Master of Science (Sports Science), Major Field: Sports Science, Faculty of Sports Science. Thesis Advisor: Assistance Professor Ratree Ruangthai, Ed.D. 116 pages.

The purpose of this research was to study the effect of repeated sprints training in hypoxic and hyperoxic conditions on anaerobic performance in team sports players. Twenty-four male team sports players age between 19-23 years of Faculty of Sports Science Kasetsart University were the subjects of the research. During 6 weeks 2 times per weeks, the subject performed repeated sprints training for 3 set, 7 times per set, in each times included maximum sprint for 5 second separated by active recovery for 55 second, and rest 3 minutes between set. They were divided into 3 groups and training the repeated sprints with the different amount of oxygen in the air (normoxic, hyperoxic and hypoxic). All of the subjects were tested for weight, height, rest heart rate and serum iron before the training and after the sixth week of training. Peak power, mean power and fatigue index were tested before the training and after the third and the sixth week of training. Lactic accumulation were tested after the first training and after the final training. Data were analyzed with One Way Analysis of Variance with Repeated Measures, Two Way Analysis of Variance and Tukey's multiple comparison test at  $p < 0.05$

The results shown that the peak power, mean power, fatigue index and lactic accumulation in repeated sprints training in normoxic, hyperoxic and hypoxic groups before the training and after the third and the sixth week of training were significantly within groups at  $p < 0.05$ . The different in amount of oxygen in the air was improved in different ways. Peak Power was improved the most by repeated sprints training in normoxic group, Mean Power was improved the most by repeated sprints training in hypoxic group and Fatigue Index was improved the most by repeated sprints training in hyperoxic group. However, the comparison of each groups, peak power, mean power, fatigue index and lactic accumulation, were not significantly difference at  $p < 0.05$ . These findings suggested that amount of oxygen different in the air is improved not different. Therefore, the coaches can select the any type for training.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ราตรีเรืองไทยประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและดร.นิรอมลี มะกาเจกรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่เมตตาให้ความรู้คำแนะนำและข้อชี้แนะในการทำวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์และมีคุณค่าทางการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ดร.อภิรักษ์ เทียนทอง อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนอาจารย์นิกร สีแล รองคณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพสถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตชุมพรและอาจารย์ถาวร กมุตศรี รองผู้อำนวยการวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬามหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาได้ช่วยเหลือในการตรวจสอบโปรแกรมในการฝึก ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อแก้ไขเกี่ยวกับโปรแกรมการฝึก

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบบูชาพระคุณคุณพ่อสวัสดิ์และคุณแม่จนิษฐาแซ่ลิมบุพการีผู้ให้กำเนิดอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาตลอดขอบพระคุณคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการและช่วยอบรมจิตใจให้เป็นคนดีของสังคม อีกทั้งขอบคุณรุ่นพี่เพื่อนและน้องวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมา

ประโยชน์จะมีเพียงใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอบแต่ผู้ที่มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมดและที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย

บรรหาร วิชญปิติ

กรกฎาคม 2557

## สารบัญ

|                                                                                                  | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| สารบัญ                                                                                           | (1)  |
| สารบัญตาราง                                                                                      | (3)  |
| สารบัญภาพ                                                                                        | (4)  |
| คำนำ                                                                                             | 1    |
| วัตถุประสงค์                                                                                     | 4    |
| การตรวจเอกสาร                                                                                    | 8    |
| อุปกรณ์และวิธีการ                                                                                | 38   |
| อุปกรณ์                                                                                          | 38   |
| วิธีการ                                                                                          | 39   |
| ผลและวิจารณ์                                                                                     | 47   |
| ผล                                                                                               | 47   |
| วิจารณ์                                                                                          | 65   |
| สรุปและข้อเสนอแนะ                                                                                | 73   |
| สรุป                                                                                             | 73   |
| ข้อเสนอแนะ                                                                                       | 74   |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง                                                                             | 75   |
| ภาคผนวก                                                                                          | 83   |
| ภาคผนวก ก เอกสารชี้แจงข้อมูล                                                                     | 84   |
| ภาคผนวก ข ใบบันทึกผลการทดลอง                                                                     | 88   |
| ภาคผนวก ค แบบสอบถาม                                                                              | 94   |
| ภาคผนวก ง การวัดพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้า                                            | 96   |
| ภาคผนวก จ รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจโปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุด<br>แบบซ้ำในนักกีฬาประเภททีม | 100  |
| ภาคผนวก ฉ โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในนักกีฬาประเภททีม                                | 102  |
| ภาคผนวก ช การอบอุ่นร่างกาย และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ                                             | 104  |

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| ภาคผนวก ช การคลายอุ่น และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 110 |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน                      | 116 |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                   | หน้า |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | ลักษณะการเคลื่อนที่ของกีฬาทิม                                                                                                                                     | 9    |
| 2        | การใช้อัตราการเต้นของหัวใจในการประเมินความหนักในการออกกำลังกาย                                                                                                    | 30   |
| 3        | ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนและหลังการฝึก                                                                  | 48   |
| 4        | ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และธาตุเหล็กของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนและหลังการฝึก                                          | 49   |
| 5        | ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจขณะฝึก และปริมาณออกซิเจนในเลือดขณะฝึก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 6 | 50   |
| 6        | ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก                             | 51   |
| 7        | ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3              | 53   |
| 8        | ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6               | 54   |
| 9        | การเปรียบเทียบภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มของค่าพลังสูงสุด ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม                                                                             | 55   |
| 10       | การเปรียบเทียบ ภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มของค่าพลังเฉลี่ย ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม                                                                            | 57   |
| 11       | การเปรียบเทียบภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มของดัชนีความล้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม                                                                              | 59   |
| 12       | การเปรียบเทียบภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มของการสะสมของกรดแลคติก ของกลุ่ม ตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม                                                                      | 62   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่            |                                                                                                                          | หน้า |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1                 | ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับการใช้พลังงานของระบบต่างๆขณะออกกำลังกาย                                                    | 10   |
| 2                 | ความแตกต่างของวิธีการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน                                                                              | 21   |
| 3                 | กราฟแสดงความต่อเนื่องของเวลา – ระบบพลังงาน                                                                               | 28   |
| 4                 | การตอบสนองของการสร้างเม็ดเลือดแดงในที่ระดับความสูง                                                                       | 35   |
| 5                 | ตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล                                                                                                 | 44   |
| 6                 | ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้า<br>เปรียบเทียบช่วงก่อนฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 | 61   |
| 7                 | ร้อยละการเปลี่ยนแปลงการสะสมของกรดแลคติกเปรียบเทียบภายหลังการเสร็จ<br>สิ้นการฝึกในครั้งแรก และครั้งสุดท้าย                | 64   |
| <b>ภาพผนวกที่</b> |                                                                                                                          |      |
| ง1                | จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ MONARK รุ่น Ergomedic 894E                                                                          | 99   |
| ช1                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 1                                                                        | 105  |
| ช2                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 2                                                                        | 106  |
| ช3                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 3                                                                        | 106  |
| ช4                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 4                                                                        | 107  |
| ช5                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 5                                                                        | 107  |
| ช6                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 6                                                                        | 108  |
| ช7                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 7                                                                        | 108  |
| ช1                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 1                                                                     | 111  |
| ช2                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 2                                                                     | 112  |
| ช3                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 3                                                                     | 112  |
| ช4                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 4                                                                     | 113  |
| ช5                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 5                                                                     | 113  |
| ช6                | การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 6                                                                     | 114  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่                                           | หน้า |
|------------------------------------------------------|------|
| ช7 การขีดเขียนคกลมเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ทำที่ 7 | 114  |
| ช8 การขีดเขียนคกลมเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ทำที่ 8 | 115  |
| ช9 การขีดเขียนคกลมเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ทำที่ 9 | 115  |

# ผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติที่มีผลต่อสมรรถนะด้านแอนแอโรบิก ในนักกีฬาประเภททีม

## Effect of Repeated Sprints Training in Hypoxic and Hyperoxic condition on anaerobic performance in Team-sports players

### คำนำ

กีฬาทีมเป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งการที่จะประสบความสำเร็จในการเล่นกีฬาทีมได้นั้น จะต้องอาศัยความสามารถของผู้เล่นทุกคนภายในทีม ไม่ว่าจะเป็น เทคนิคเฉพาะบุคคล ความสัมพันธ์ภายในทีม และที่ขาดไม่ได้คือนักกีฬาทุกคนจะต้องมีสมรรถภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยรูปแบบการเคลื่อนที่ของกีฬาทีมจะมีทั้ง การเดิน การวิ่ง เบาๆ การวิ่งที่ความหนักต่ำ การวิ่งที่ความหนักปานกลาง การวิ่งที่ความหนักสูง และการสไลด์ เป็นต้น ลักษณะกิจกรรมของกีฬาทีมโดยส่วนมากจะเป็นกิจกรรมที่มีระดับความหนักค่อนข้างสูงและไม่ต่อเนื่อง หรือที่เรียกว่า Intermittent high intensity โดยค่าเฉลี่ยของจำนวนเที่ยวของการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดของกีฬาทีมนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 20-40 เที่ยว ระยะเวลาเฉลี่ยต่อเที่ยวประมาณ 2-3 วินาที และระยะเวลาในการพักระหว่างเที่ยวจะอยู่ที่ประมาณ 50-300 วินาที (bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003; Dawson *et al.*, 2004 and Spencer *et al.*, 2004) ซึ่งรูปแบบการฝึกที่ผู้ฝึกสอนนิยมนำมาใช้ในการฝึกนักกีฬาประเภททีมจะเป็นลักษณะของการฝึกที่ให้นักกีฬารunningด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ หรือที่เรียกว่า Repeated Sprints Training เพราะมีความเชื่อว่าการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำนั้นจะสามารถพัฒนาสมรรถนะของนักกีฬาได้ดีกว่าการฝึกแบบหนักสลับเบาทั่วไป (Bishop *et al.*, 2011)

จากการศึกษาของ Bravo *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาโดยการเปรียบเทียบการฝึกแบบหนักสลับเบา และการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า Yo-Yo Intermittent Recovery Test ในกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ มีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญมากกว่ากลุ่มที่ฝึกแบบหนักสลับเบา เช่นเดียวกับเวลาเฉลี่ยของความสามารถในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ (repeated sprint ability mean time) จะมีการเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ฝึกด้วยความหนักสูงสุดแบบซ้ำเพียงกลุ่มเดียว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Fernandez-Fernandez *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษา

เปรียบเทียบการฝึกแบบหนักสลับเบาที่ความหนักสูง กับการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า จะมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของทั้ง 2 กลุ่ม โดยกลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการทดสอบความอดทนที่เฉพาะเจาะจงของกีฬเทนนิส (tennis-specific endurance) แต่จะมีการพัฒนาที่มากกว่าในกลุ่มที่ฝึกแบบหนักสลับเบาที่ความหนักสูง แต่ความสามารถในการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ (repeated sprints ability) นั้นจะมีการพัฒนาที่มากกว่าในกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำนั้นจะทำให้เกิดการพัฒนาศรรถนะของนักกีฬาทั้งในด้านแอโรบิกและแอนแอโรบิก แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาแล้วยังมีการศึกษาที่น้อยและยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ โดยในอนาคตนั้นยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ทั้งด้าน สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิก การควบคุมธาตุเหล็ก phosphocreatine resynthesis เป็นต้น (Bishop *et al.*, 2011)

การฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนเป็นวิธีการฝึกที่นิยมนำมาใช้เพื่อพัฒนาสมรรถภาพนักกีฬา หรือใช้เพื่อเตรียมตัวก่อนการแข่งขัน ซึ่งลักษณะของการฝึกจะมีวิธีการหลากหลายรูปแบบ เช่น การอยู่ที่สูง ฝึกที่สูง หรือ การอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ หรือ การอยู่ที่ต่ำ ฝึกที่สูง ซึ่งจากการศึกษาของ Meeuwssen *et al.* (2001); Roels *et al.* (2007) and Czuba *et al.* (2011) ได้ทำการเปรียบเทียบการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนกับการฝึกในภาวะปกติ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนสามารถทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นที่มากกว่าของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตราการใช้ออกซิเจน ณ จุด แลคเตท เรชโฮลด์ (lactate threshold) และพลังสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนปกติ และนอกจากนั้นการสัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจนนั้นยังสามารถทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการสะสมของกรดแลคติก อัตราการเต้นของหัวใจ การสร้างเม็ดเลือดแดง รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงของธาตุเหล็ก เป็นต้น (Gore *et al.*, 2008; Czuba *et al.*, 2011; Reynafabje *et al.*, 1959 and Faura *et al.*, 1969)

การฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (hyperoxic Training) การฝึกในลักษณะนี้จะเป็นการฝึกที่ปริมาณของออกซิเจนในอากาศจะมากกว่าร้อยละ 21 ขึ้นไป จากการศึกษาของ Perry *et al.* (2005) ได้ทำการเปรียบเทียบการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (ร้อยละ 60 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) และภาวะออกซิเจนปกติ (ร้อยละ 21 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า พลัง (power output) และ เวลาที่แสดงความสามารถ (Performance time) ในกลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะมีการพัฒนาในระดับสูงกว่าเมื่อเทียบกับภาวะปกติ และนอกจากนั้นที่อัตราการเต้นของหัวใจระดับเดียวกัน กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่า

ปกติจะสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้ในระดับที่ความหนักสูงกว่าด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kilding *et al.* (2010); Bannister and Cunningham (1954) and Plet *et al.* (1992) ที่แสดงให้เห็นว่าในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกตินั้นจะสามารถพัฒนาความสามารถในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกได้ และในระดับอัตราการเต้นของหัวใจระดับเดียวกันนั้นก็จะสามารถฝึกได้ในระดับความหนักที่สูงกว่า จึงเป็นไปได้ว่าการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติอาจจะทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านสรีรวิทยาและสมรรถภาพ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำนั้นจะเป็นรูปแบบการฝึกที่นิยมนำมาใช้ฝึกนักกีฬาประเภททีม ซึ่งมีความสอดคล้องกับกิจกรรมที่นักกีฬาต้องปฏิบัติในขณะแข่งขัน และสามารถพัฒนาสมรรถนะของนักกีฬาได้ แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาไม่มีเพียงการศึกษาที่ทำในภาวะออกซิเจนปกติเท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาใดที่ทำการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนหรือภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนและการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะทำให้เกิดข้อได้เปรียบในการพัฒนาทางด้านสรีรวิทยา ชีวเคมี และสมรรถนะของนักกีฬาเมื่อเปรียบเทียบกับที่ภาวะออกซิเจนปกติ ดังนั้นหากทำการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนและในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ อาจจะทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านสรีรวิทยา ชีวเคมี และสมรรถนะของนักกีฬาได้มากกว่าการฝึกอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนหรือภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ นั้นการศึกษสมรรถนะทางด้านแอนแอโรบิก ยังมีการศึกษาที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการศึกษาทางด้านแอโรบิก

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้คือต้องการศึกษาและเปรียบเทียบการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะปกติที่มีผลต่อตัวแปรทางด้าน สมรรถนะ สรีรวิทยา และชีวเคมี ในนักกีฬาประเภททีม

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างภายในกลุ่มของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะปกติที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะด้านแอนแอโรบิก ระหว่างก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของสมรรถนะด้านแอนแอโรบิก ระหว่างการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะปกติ ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

## สมมุติฐานการวิจัย

1. การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะปกติ ระหว่างก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีผลต่อตัวแปรทางด้านสมรรถนะ สรีรวิทยา และชีวเคมี แตกต่างกัน

2. การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำระหว่างภาวะพร่องออกซิเจน ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะปกติ มีผลต่อตัวแปรทางด้านสมรรถนะ สรีรวิทยา และชีวเคมี แตกต่างกัน

## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อศึกษาผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะปกติ ที่มีต่อสมรรถนะทางด้านแอนแอโรบิก เพื่อใช้ในการพัฒนาความสามารถของนักกีฬา

1. กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้คือ นักกีฬาประเภททีม เพศชาย (ฟุตบอล ฟุตซอล บาสเกตบอล) จำนวน 50 คน มีอายุระหว่าง 19-23 ปี ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

## 2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วย

### 2.1 ตัวแปรอิสระ

รูปแบบการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ แบ่งเป็น 3 แบบ

- การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร้อมออกซิเจน
- การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ
- การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนปกติ

### 2.2 ตัวแปรตาม

#### 1) สมรรถนะ

- พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้า

#### 2) สรีรวิทยา

- อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และการสะสมของกรดแลคติก

#### 3) ชีวเคมี

- ธาตุเหล็ก

## นิยามศัพท์

ภาวะออกซิเจนปกติ หมายถึง ภาวะที่ปริมาณของออกซิเจนในอากาศอยู่ในระดับปกติประมาณร้อยละ 20.9 หรือเทียบเท่าที่ระดับน้ำทะเล

ภาวะพร่องออกซิเจน (hypoxia) หมายถึง ภาวะที่ออกซิเจนในอากาศน้อยกว่าปกติในการศึกษาจะใช้เครื่องจำลองภาวะอากาศบนที่สูง (ATS-HP) ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย ในการจำลองปริมาณออกซิเจนในอากาศให้เทียบเท่ากับระดับออกซิเจนในอากาศที่ระดับความสูงจริง โดยใช้เทคนิคการกรองออกซิเจนให้มีปริมาณออกซิเจนในอากาศน้อยลง โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนในอากาศที่ร้อยละ 13

ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (hyperoxia) หมายถึง ภาวะที่ออกซิเจนในอากาศมากกว่าปกติ ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้จะใช้เครื่องจำลองภาวะอากาศบนที่สูง (ATS-HP) ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย ในการจำลองปริมาณออกซิเจนในอากาศให้มีปริมาณมากกว่าปกติ โดยใช้เทคนิคการกรองออกซิเจน โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนในอากาศที่ร้อยละ 40

การอยู่ที่ต่ำฝึกที่สูง (live low-train high) หมายถึงการใช้ชีวิตประจำวันอยู่ในที่ระดับน้ำทะเล แต่จะฝึกในที่ระดับความสูง สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะใช้เครื่องจำลองภาวะอากาศบนที่สูง (ATS-HP) ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย ในการจำลองระดับออกซิเจนในอากาศให้เทียบเท่ากับระดับออกซิเจนในอากาศที่ระดับความสูงจริงเพื่อจำลองเหมือนการฝึกในที่สูง

การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ (repeated sprint training) หมายถึง การฝึกโดยการปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุดซ้ำกันหลายๆเที่ยว โดยแต่ละเที่ยวจะมีช่วงระยะเวลาในการพักระหว่างการปั่นที่ความเร็วสูงสุดครั้งต่อไปค่อนข้างสั้น

การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน (repeated sprint hypoxic training) หมายถึง การฝึกโดยการปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุดซ้ำกันหลายๆเที่ยวในภาวะที่ออกซิเจนในอากาศต่ำกว่าปกติ โดยใช้เครื่องจำลองภาวะอากาศบนที่สูง (ATS-HP) ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย ในการจำลองระดับออกซิเจนในอากาศให้เทียบเท่ากับระดับออกซิเจนใน

อากาศที่ระดับความสูงจริง (ร้อยละ 13 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) โดยใช้เทคนิคการกรองออกซิเจนให้มีปริมาณออกซิเจนในอากาศน้อยลง

การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (repeated sprint hyperoxic training) หมายถึง การฝึกโดยการปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุดซ้ำกันหลายๆเที่ยวในภาวะที่ออกซิเจนในอากาศมากกว่าปกติ (มากกว่าร้อยละ 20.9) โดยใช้เครื่องจำลองภาวะอากาศบนที่สูง (ATS-HP) ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย ในการจำลองระดับออกซิเจนในอากาศให้มีมากกว่าปกติ (ร้อยละ 40 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) โดยใช้เทคนิคการกรองออกซิเจน

### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. กลุ่มตัวอย่างต้องได้รับการอบอุ่นร่างกายก่อนการฝึกในรูปแบบเดียวกัน
2. กลุ่มตัวอย่างต้องไม่มีกิจกรรมการออกกำลังกายอย่างหนักอย่างน้อย 1 วัน ก่อนทำการฝึก
3. โปรแกรมการฝึกจะฝึกทั้งหมด 6 สัปดาห์ โดยฝึกสัปดาห์ละ 2 ครั้ง
  - พักระหว่างการฝึกครั้งต่อไปเป็นเวลา 2 วัน
  - ทำการฝึกวันจันทร์ และวันพฤหัสบดี

## การตรวจเอกสาร

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- รูปแบบการเคลื่อนที่ของนักกีฬาทีม
- การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ
- การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน
- การฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ
- การเปรียบเทียบผลการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ

### รูปแบบการเคลื่อนที่ของนักกีฬาทีม

กีฬาทีมเป็นกีฬาที่มีผู้คนให้ความสนใจมาก ทั้งในประเทศไทยหรือในต่างประเทศโดยกีฬาทีมนั้นเป็นกีฬาที่มีความหนักของกิจกรรมที่ค่อนข้างสูงและไม่คงที่หรือที่เรียกว่าเป็น Intermittent high intensity ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนที่นั้นจะมีทั้ง การเดินการวิ่งเบาๆ การวิ่งที่ความหนักต่ำการวิ่งที่ความหนักสูงการกระโดดหรือแม้แต่การสไลด์ไปทางด้านข้าง เป็นต้น สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของกีฬาทีมนั้นก็คือจะเป็นกีฬาที่มีช่วงของเวลาการพักที่สั้น เพราะเนื่องจากการเล่นหรือแข่งขันกีฬาทีมนี้ผู้เล่นทุกคนจะต้องช่วยกันเล่นเกมรุกและเกมรับที่รวดเร็ว ทำให้นักกีฬาจะต้องวิ่งด้วยความเร็วที่หลากหลายระดับซ้ำๆ กันติดต่อกันหลายๆ เที้ยว จากการศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่า ในกีฬาทีมนี้ นักกีฬาจะต้องมีการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดระหว่าง 1 เกมการแข่งขันประมาณ 20-40 เที้ยว โดยแต่ละเที้ยวนี้ จะใช้เวลาประมาณ 2-3 วินาที และช่วงเวลาพักระหว่างเที้ยวจะอยู่ที่ประมาณ 50-300 วินาที (bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003; Dawson *et al.*, 2004 and Spencer *et al.*, 2004) ซึ่งความแตกต่างของกีฬาทีมแต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันที่ขนาดของสนามแต่ละกีฬาจำนวนผู้เล่นระยะเวลาในการเล่นและทักษะที่ใช้ในการเล่น แต่กีฬาทีมทั้งหมดจะเป็นกิจกรรมที่ความหนักไม่คงที่เช่นเดียวกัน (McInnes, 1993) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นว่าลักษณะของกิจกรรมของกีฬาทีมนี้จะมีลักษณะที่คล้ายกัน แต่อัตราส่วนของกิจกรรมนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามธรรมชาติของกีฬา ดังตารางที่ 1

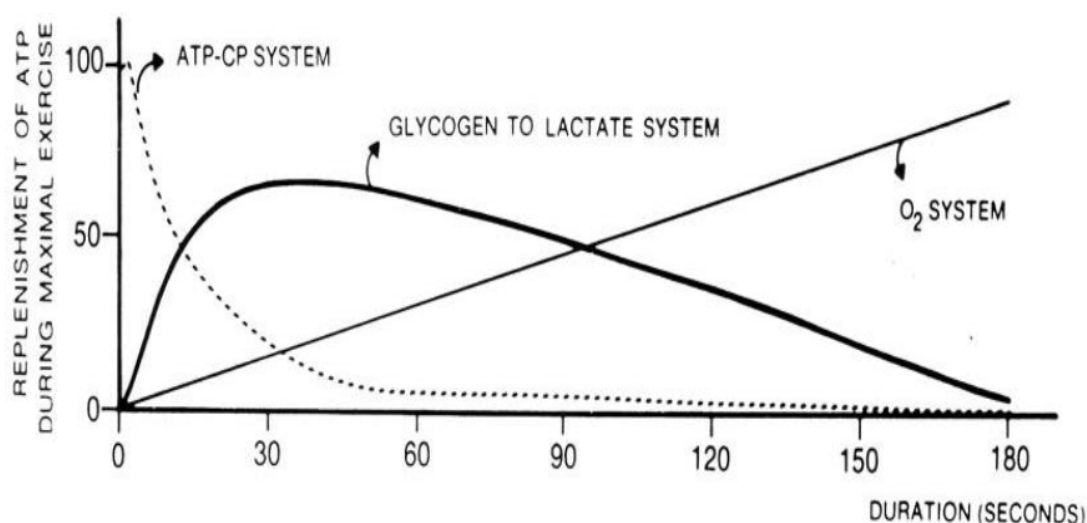
ตารางที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของกีฬาทีม

| Authors(Year)             |             | ลักษณะของการเคลื่อนที่(% ของระยะทางทั้งหมด) |      |          |             |                 |       |
|---------------------------|-------------|---------------------------------------------|------|----------|-------------|-----------------|-------|
|                           |             | ถอยหลัง                                     | เดิน | วิ่งเบาๆ | วิ่งก้าวยาว | วิ่งที่ความเร็ว | อื่นๆ |
| สูงสุด                    |             |                                             |      |          |             |                 |       |
| Soccer                    |             |                                             |      |          |             |                 |       |
| Reilly and Thomas (1976)  |             | 6.7                                         | 24.8 | 36.8     | 20.5        | 11.2            |       |
| Withers et al. (1982)     |             | 2.6                                         | 31.4 | 47.1     | 13.1        | 5.8             |       |
| Van Gool et al. (1988)    |             | -                                           | 43   | 49.5     |             | 7.5             |       |
| Smith (1988)              |             | 11.7                                        | 20.9 | 38.6     | 17.5        | 9.3             | 2     |
| Australian rules football |             |                                             |      |          |             |                 |       |
| Haha et al. (1979)        |             | -                                           | 26   | 55       |             | 19              |       |
| Rugby football            |             |                                             |      |          |             |                 |       |
| Morton (1978)             |             | -                                           | 37   | 29       |             | 34              |       |
| Allen (1989)              |             | -                                           | 25.8 | 65.6     | -           | 8.6             |       |
| Lacrosse                  |             |                                             |      |          |             |                 |       |
| Romas and Isles           | Midfielders | 3                                           | 23   | 45       | 18          | 7               | 4     |
| (1986)                    | attack      | 7                                           | 45   | 29       | 10          | 4               | 5     |

ที่มา: McInnes (1993)

### ระบบพลังงานสำหรับกีฬาทีม

ระบบพลังงานจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือระบบแอนแอโรบิก และระบบแอโรบิก ซึ่งระบบแอนแอโรบิกจะสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือระบบพลังงานแบบไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก หรือที่เรียกว่า ระบบ ATP-PC (adenosine triphosphate – phosphocreatine) และระบบพลังงานที่ก่อให้เกิดกรดแลคติก หรือที่เรียกว่า ระบบไกลโคไลติก (glycolytic system) โดยระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกจะเป็นระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญพลังงาน และระบบแอโรบิกจะเป็นระบบพลังงานที่ใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญพลังงาน (Bompa, 2006) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับการใช้พลังงานของระบบต่างๆ ขณะออกกำลังกาย

ที่มา: Duncan *et al.* (1991)

### 1. แหล่งที่มาของพลังงานแบบแอนแอโรบิก

แอนแอโรบิก หรือ ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน ระบบพลังงานลักษณะนี้การสนับสนุนพลังงานส่วนใหญ่ของระบบนี้จะมาจากการระเบิดของพลังงาน เพื่อต้องการที่จะปฏิบัติกิจกรรมที่มีความเร็วสูง ต้องใช้พลังสูง และการเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็ว โดยระบบพลังงานนี้จะเป็นระบบพลังงานเดียวที่สามารถให้พลังงานได้ในปริมาณที่มากในช่วงเวลาที่สั้น ซึ่งระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิก จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบพลังงานแบบไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก และระบบพลังงานที่ก่อให้เกิดกรดแลคติก (Bompa, 2006)

ระบบพลังงานแบบไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก จะเป็นผลผลิตของพลังงานในทันทีทันใดสำหรับกิจกรรมที่มีความเร็วมากหรือใช้พลังเต็มความสามารถ แต่ระยะเวลาในการปฏิบัตินั้นจะค่อนข้างสั้น โดยระบบพลังงานลักษณะนี้จะไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก

ระบบพลังงานแบบก่อให้เกิดกรดแลคติก ในทางกลับกันจะเป็นการให้พลังงานในช่วงสั้นๆสำหรับกิจกรรมที่เร็วและใช้พลังมากเช่นเดียวกัน แต่สำหรับระบบพลังงานลักษณะนี้จะมี

ระยะเวลาที่นานกว่าโดยจะเพิ่มขึ้นเป็น 20-90 วินาที และในขณะเดียวกันก็จะทำให้เกิดความล้าโดยผลผลิตที่เรียกว่ากรดแลคติก

### 1.1 ระบบพลังงานแบบไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก

กิจกรรมของกีฬาทีมหลายๆประเภทมีความต้องการในผลผลิตของพลังงานในอัตราที่สูงในทันทีทันใด เพื่อที่จะปฏิบัติกิจกรรมที่มีความหนักสูง ในช่วงเวลาสั้นๆ โดยแหล่งพลังงานหลักสำหรับกิจกรรมจะได้มาจากระบบพลังงานที่เรียกว่า ATP-CP (adenosine triphosphate-phosphocreatine) ซึ่งในระบบพลังงานนี้ครีเอทีนฟอสเฟต (CP) จะเป็นสารประกอบที่ให้พลังงานสูงในเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งมีความสามารถในการแยกผลผลิต ฟอสเฟต และ ครีเอทีน โดยฟอสเฟตที่เป็นอิสระจะสามารถไปจับกับ อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (ADP) เพื่อกลับไปเป็น อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (ATP) แต่ว่าการสะสมของ อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต และครีเอทีนฟอสเฟต ในเส้นใยกล้ามเนื้อนั้น จะมีการสะสมในปริมาณที่น้อย ซึ่งระบบพลังงานลักษณะนี้จะสามารถผลิตพลังงานได้ในอัตราที่สูงมาก แต่ระยะเวลาของระบบพลังงานแบบนี้จะอยู่ที่ไม่เกิน 10 วินาที โดยที่ไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก (Bompa, 2006)

#### การชดเชยอะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต

การชดเชยจะเป็นการชดเชยร่างกายของนักกีฬาและการเติมเต็มพลังงานที่สะสมในช่วงก่อนออกกำลังกาย โดยจะเป็นความพยายามของร่างกายที่จะกลับสู่ภาวะปกติทางสรีรวิทยา (homeostasis) โดยการชดเชยของ ATP จะเกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว ในระยะเวลา 30 วินาทีจะสามารถชดเชยได้ประมาณร้อยละ 50 และจะชดเชยได้เต็มที่โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 3 นาที (Bompa, 2006)

### 1.2 ระบบพลังงานแบบก่อให้เกิดกรดแลคติก

ระบบพลังงานแบบก่อให้เกิดกรดแลคติก หรือที่รู้จักกันในชื่อระบบพลังงานแบบ Anaerobic Glycolysis โดยจะเป็นระบบที่ให้พลังงานสำหรับกิจกรรมที่นานกว่า 10 วินาที จนถึง 3 นาที ระบบพลังงานลักษณะนี้จะเป็นการสลายไกลโคเจน (glycogen) ที่เก็บสะสมในเซลล์กล้ามเนื้อและตับ โดยจะได้พลังงานจากการการสังเคราะห์ซ้ำ (resynthesis) ของอะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (ATP)

จาก อะดีโนซีน ไดฟอสเฟต (ADP) และฟอสเฟต(phosphate) โดยไม่ใช้ออกซิเจนในการสลายไกลโคเจนซึ่งระบบพลังงานลักษณะนี้จะก่อให้เกิดกรดแลคติก เมื่อปฏิบัติกิจกรรมที่ความหนักสูงอย่างต่อเนื่องสำหรับช่วงเวลานาน จะทำให้มีการสะสมของกรดแลคติกที่มากในกล้ามเนื้อ ซึ่งกรดแลคติกนี้จะทำให้เกิดความล้าและในที่สุดก็จะทำให้กิจกรรมที่ทำนั้นหยุดลง (Bompa, 2006)

#### การชดเชยของไกลโคเจนและการกำจัดกรดแลคติก

ไกลโคเจนที่สะสมอยู่ในร่างกายจะลดลงภายหลังจากการฝึกซ้อมหรือแข่งขัน สำหรับกิจกรรมที่มีความหนักไม่คงที่ ภายใน 2 ชั่วโมงจะสามารถชดเชยไกลโคเจนได้ประมาณร้อยละ 40 ภายใน 5 ชั่วโมงจะชดเชยได้ร้อยละ 55 และภายใน 24 ชั่วโมงจะสามารถชดเชยได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนในกิจกรรมที่มีความต่อเนื่อง การชดเชยของไกลโคเจนนั้นจะใช้ระยะเวลานานกว่า โดย 10 ชั่วโมงจะสามารถชดเชยได้ร้อยละ 60 และ 48 ชั่วโมงจะสามารถชดเชยได้อย่างสมบูรณ์ โดย การชดเชยของไกลโคเจนนั้นบางครั้งอาจจะต้องใช้ระยะเวลาถึง 2 วันขึ้นอยู่กับรูปแบบของการฝึก และอาหารก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนสำหรับการชดเชยไกลโคเจนเช่นกัน (Bompa, 2006)

การสะสมของกรดแลคติกในเลือดจะทำให้เกิดความล้าต่อนักกีฬา ก่อนที่ร่างกายจะกลับสู่ภาวะปกติร่างกายจะต้องกำจัดกรดแลคติก แต่อย่างไรก็ตามการกำจัดนั้นก็ต้องใช้เวลาเช่นกัน จากงานวิจัยจะแสดงให้เห็นว่า ภายใน 10 นาทีจะสามารถกำจัดกรดแลคติกได้ร้อยละ 25 ภายใน 25 นาทีกำจัดได้ร้อยละ 50 และ 60-75 นาทีจะสามารถกำจัดได้ร้อยละ 95 (Bompa, 2006)

## 2. ระบบพลังงานแบบแอโรบิก

ระบบพลังงานแบบแอโรบิก หรือระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน จะเป็นระบบพลังงานที่ใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงาน ซึ่งระบบพลังงานนี้จะเป็นระบบพลังงานที่มีความสำคัญมากที่สุดสำหรับร่างกาย เพราะว่าเป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับการปฏิบัติกิจกรรมที่มีระยะเวลานานๆ ซึ่งจะสนับสนุนพลังงานสำหรับกิจกรรมที่มีระยะเวลาดั้งแต่ 2 นาที จนถึง 2 ชั่วโมง โดยการเริ่มสนับสนุนของระบบพลังงานนี้จะเริ่มตั้งแต่ 70 วินาที หรือมากกว่า 2 นาที ระบบพลังงานนี้จะใช้ระยะเวลานานในการผลิตพลังงานเนื่องจากร่างกายต้องมีการหายใจเพื่อนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายไปยังกระแสเลือด และขนส่งไปยังกล้ามเนื้อที่ทำงาน ซึ่งระบบพลังงานลักษณะนี้จะสามารถผลิตพลังงานได้ในปริมาณที่มากโดยสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตพลังงานเป็น

อันดับแรกคือ ไกลโคเจน (glycogen) ต่อมาคือ ไขมัน และ โปรตีน ตามลำดับ การผลิตพลังงานของระบบนี้จะไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก โดยการสนับสนุนพลังงานของระบบนี้จะไม่จำกัด แต่อาจจะมีผลมาจากปัจจัยอื่นๆเช่น ของเหลวในร่างกาย หรือความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความล้า (Bompa, 2006)

### ความสำคัญของระบบแอโรบิก

การฝึกแบบแอโรบิกควรจะเป็นการฝึกที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมากในภาพรวมของการฝึก เพราะว่าการมีระบบแอโรบิกที่ดีจะช่วยไ้ระดับของการเกิดกรดแลคติกนั้นเกิดขึ้นในระดับที่น้อยลง ซึ่งนักกีฬาที่มีระบบแอโรบิกที่ดีจะสามารถปฏิบัติกิจกรรมที่มีความหนักและระยะเวลาที่มากกว่า เมื่อเทียบกับนักกีฬาที่มีระบบแอโรบิกไม่ดี และนอกจากนั้นหากนักกีฬามีความสามารถของระบบแอโรบิกที่ดีก็จะสามารถทำให้นักกีฬาปฏิบัติกิจกรรมในระบบแอนแอโรบิกได้ดีด้วยเช่นกัน ดังนั้น การพัฒนาด้านสรีรวิทยาควรจะต้องมีการฝึกระบบแอโรบิกในช่วงของการเตรียมความพร้อมของนักกีฬา (Bompa, 2006)

### การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ

การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ หรือที่เรียกว่า Repeated Sprint Training จะเป็นรูปแบบการฝึกที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการนำมาฝึกนักกีฬาประเภททีม ซึ่งการฝึกในลักษณะนี้นั้นจะเป็นการฝึกที่มีความสอดคล้องกับลักษณะการเล่นหรือแข่งขันของกีฬาประเภททีม เนื่องจากในการเล่นหรือแข่งขันนั้นนักกีฬาจะต้องมีการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดหลายๆเที่ยวซ้ำๆ และเวลาในการพักแต่ละทีวนั้นจะค่อนข้างสั้น จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ในกีฬาทีมนี้นักกีฬาจะต้องมีการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดระหว่าง 1 เกมการแข่งขัน ประมาณ 20-40 เที่ยว โดยแต่ละทีวนั้นจะใช้เวลาประมาณ 2-3 วินาที และช่วงเวลาระหว่างทีวนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 50-300 วินาที (bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003; Dawson *et al.*, 2004 and Spencer *et al.*, 2004)

Bishop *et al.* (2011) กล่าวว่า การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำจะมีความเชื่อที่ว่าจะสามารถช่วยพัฒนาสมรรถภาพได้ดีกว่าการฝึกแบบความหนักไม่คงที่แบบปกติ จากการศึกษาของ Tonnessen *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง 20 คน ซึ่งเป็นนักกีฬาฟุตบอลที่ได้รับการฝึกมาอย่างดี โดยทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มทดลอง 10 คน และกลุ่มควบคุม 10 คน โดยการ

ฝึกจะทำการฝึก 1 ครั้งต่อสัปดาห์ 10 สัปดาห์ โปรแกรมการฝึกจะให้ฝึกโดยการวิ่ง 40 เมตร โดยที่ความหนักและระยะเวลาจะแตกต่างกันออกไปแต่ละสัปดาห์ ผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่ากลุ่มที่ได้รับการฝึกจะมีการเพิ่มขึ้นของการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดระยะ 40 เมตร (-0.06 วินาที) การวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในระยะ 10x40 เมตร (-0.12 วินาที) ความเร็วสูงสุดที่ระยะ 20-40 เมตร (-0.05 วินาที) CMJ (2.7 เซนติเมตร) และกลุ่มควบคุมมีการเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพในการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในระยะ 10x40 เมตร (-0.06 วินาที) เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มจะเห็นได้ว่าในกลุ่มที่ได้รับการฝึกนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ดีกว่าในกลุ่มควบคุมในสมรรถภาพในการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในระยะ 10x40 เมตร (-0.07 วินาที) และความเร็วสูงสุดที่ระยะ 20-40 เมตร (-0.05 วินาที)

จากการศึกษาของ Hunter *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาในนักฟุตบอลแบบออสเตรเลีย (Australian Rules Football) โดยทำการแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มควบคุม 8 คนกลุ่มปริมาณการฝึกครั้งที่ 9 คน และกลุ่มที่ปริมาณการฝึกเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง 12 คน ทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์ กลุ่มปริมาณการฝึกครั้งที่ 9 จะฝึกวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ 10 เทียร์ระหว่างเซตพัก 3 นาที ส่วนกลุ่มที่ฝึกโดยปริมาณการฝึกเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงนั้นจะฝึกวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ 10 เทียร์ในสัปดาห์แรก และจะเพิ่มขึ้น 2 เทียร์ทุกสัปดาห์จนครบ 16 เทียร์ ระหว่างเซตพัก 3 นาที จากการศึกษาพบว่าความเร็วสูงสุดแบบความหนักไม่คงที่ (Intermittent Peak Running Speed) เพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ฝึกโดยปริมาณการฝึกครั้งที่ 9 (ร้อยละ 5.2) และกลุ่มที่ปริมาณการฝึกเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง (ร้อยละ 3.8) ส่วนกลุ่มควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม นอกจากนั้นการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.1 ในกลุ่มที่ปริมาณการฝึกครั้งที่ 9 และสมรรถภาพในการวิ่งไปกลับในระยะ 300 เมตรเพิ่มร้อยละ 2.6 ในกลุ่มที่ปริมาณการฝึกเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง

จากการศึกษาของ Bravo *et al.* (2008) ได้ทำการเปรียบเทียบการฝึกแบบหนักสลับเบากับการฝึกวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ โดยกลุ่มตัวอย่างจะเป็นนักฟุตบอลเพศชาย จำนวน 42 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มกลุ่มที่หนึ่งฝึกแบบหนักสลับเบา (4x4 นาที วิ่งที่ระดับร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด) กลุ่มที่สองฝึกวิ่งที่ความเร็วสูงสุดซ้ำ (3x6 วิ่งไปกลับที่ระยะ 40 เมตร) ทำการฝึก 7 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า Yo-Yo Intermittent Recovery Test เพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ฝึกด้วยการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำมากกว่าในกลุ่มที่ฝึกแบบหนักสลับเบา ค่าเฉลี่ยเวลาของความสามารถในการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำจะเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ฝึกโดยการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแบบซ้ำเพียงกลุ่มเดียว

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการรายงานว่า การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำนั้นจะช่วยเพิ่มในเวลาที่ดีที่สุดในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (best sprint time) และเวลาเฉลี่ยในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด (mean sprint time) เมื่อเปรียบเทียบกับ การฝึกแบบหนักสลับเบาทั่วไป แต่การฝึกแบบหนักสลับเบานั้นจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาของ sprint decrement score (หรือค่าดัชนีความล้า) แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาแล้วยังมีการศึกษาที่น้อยและงานวิจัยในอนาคตยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมในด้านของ การเปลี่ยนแปลงในการควบคุมไอออนความสามารถด้านแอนแอโรบิก phosphocreatine resynthesis ฯลฯ (Bishop *et al.*, 2011)

### การปรับตัวหลังจากการฝึกแบบแอนแอโรบิก

การฝึกสมรรถภาพแบบแอนแอโรบิกนั้น จะเป็นการฝึกที่มีความหนักที่สูง โดยระยะเวลาในการฝึกนั้นจะไม่มากเหมือนการฝึกแบบใช้ออกซิเจน โดยระยะเวลาในการฝึกแบบแอนแอโรบิกนั้นจะอยู่ที่ไม่เกิน 2-3 นาที โดยการฝึกระบบพลังงานลักษณะนี้จะไม่ใช้ออกซิเจนมาใช้ในการเผาผลาญพลังงานและทำให้เกิดความล้าจากการฝึก โดยลักษณะของการฝึกระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิก เช่น การฝึกวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดในระยะเวลาสั้นๆ หรือ อาจจะเป็นการฝึกด้วยแรงต้านเป็นต้น โดยจากธรรมชาติของกีฬาหลายๆชนิดมีความจำเป็นที่จะต้องมีการฝึกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิก เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขัน โดยหลังจากการฝึกระบบพลังงานชนิดนี้นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของร่างกายมากมายไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดระบบกล้ามเนื้อหรือแม้กระทั่งการปรับตัวของระบบต่อมไร้ท่อต่างๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้สมรรถภาพของนักกีฬาส่งขึ้น

#### 1. การปรับตัวของระบบประสาท

Hammill (2010) กล่าวว่า การฝึกแบบแอนแอโรบิกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นระบบประสาทส่วนกลาง หรือแม้กระทั่งการเปลี่ยนแปลงที่ระบบประสาทส่วนปลาย การฝึกแบบแอนแอโรบิกจะทำให้เกิดการกระตุ้นให้มีการทำงานของหน่วยยนต์ (motor unit) ในปริมาณที่มากและถี่มากขึ้น และมีการสั่งการของระบบประสาทมายังที่ประสาทสั่งการ (motor nerves) ได้อย่างรวดเร็วมากขึ้นทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของขนาดของกล้ามเนื้อและเป็นที่ทำให้ประสิทธิภาพของด้านความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น

## 2. การปรับตัวของกล้ามเนื้อ

Hammill (2010) กล่าวว่า ลักษณะของกล้ามเนื้อจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ กล้ามเนื้อ Fast twist fiber (FT) ซึ่งเป็นลักษณะของกล้ามเนื้อที่หดตัวได้เร็ว เกิดความล้าเร็ว และกล้ามเนื้อแบบ Slow twist fiber (ST) ซึ่งเป็นลักษณะของกล้ามเนื้อที่หดตัวช้า เกิดความล้าช้า โดยการฝึกแบบแอนแอโรบิกนั้นจะสามารถทำให้มีการเพิ่มของขนาดกล้ามเนื้อ โดยการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นทั้งกล้ามเนื้อแบบ Fast twist fiber (FT) และ Slow twist fiber (ST) แต่การเพิ่มที่กล้ามเนื้อ Fast twist fiber จะมากกว่าการเพิ่มที่กล้ามเนื้อ Slow twist fiber และจะมีความสามารถในการควบคุมสมดุลกรด-ด่างที่ดีขึ้น รวมถึงจะมีการพัฒนาของการหลังแคลเซียม ซึ่งทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงในการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ พลัง และความอดทนของกล้ามเนื้อ

## 3. การปรับตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

Hammill (2010) กล่าวว่า การฝึกแบบแอนแอโรบิกจะทำให้เกิดการปรับตัวในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน รวมถึง กระดูกเอ็น และพังผืด โดยการฝึกในลักษณะนี้จะเป็นการเพิ่มแรงที่มาทำต่อกระดูก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการพัฒนาในเรื่องของความหนาแน่นของกระดูก ซึ่งลักษณะที่ฝึกแล้วทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นในด้านความแข็งแรงของกระดูกนั้นจะขึ้นอยู่กับ ความหนักของงาน ความเร็วในการทำงาน ทิศทางของแรง และปริมาณของงาน ซึ่งการปรับตัวของเนื้อเยื่อนั้นก็จะเป็นสัดส่วนกันกับความหนักของงานที่ปฏิบัติเช่นกัน

## 4. การปรับตัวของระบบหัวใจไหลเวียนเลือด

Hammill (2010) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกจะทำให้เกิดการปรับตัวของ อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบตัว 1 ครั้ง (stroke volume) ปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัวใน 1 นาที (cardiac output) การไหลเวียนของเลือดที่กล้ามเนื้อ (blood flow) อัตราการใช้ออกซิเจน (oxygen uptake) และแรงดันเลือดขณะที่หัวใจบีบตัว (Systolic) โดยการฝึกแบบแอนแอโรบิกนั้นจะทำให้เกิดการพัฒนากลุ่มของสิ่งต่างๆ เหล่านี้ ไม่ว่าจะเป็นอยู่ในระหว่างพักหรือในระหว่างออกกำลังกายและทำให้ขนาดของหัวใจมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้สมรรถภาพด้านแอนแอโรบิกดีขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการออกกำลังกาย

## การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อภาวะพร่องออกซิเจน

การฝึกในที่สูงเป็นการฝึกเพื่อเตรียมความพร้อมหรือเพิ่มสมรรถนะสำหรับนักกีฬาก่อนการแข่งขัน โดยในอดีตการฝึกในที่สูงนั้นจะใช้เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับนักกีฬาก่อนที่จะไปทำการแข่งขันในที่ระดับความสูง เพื่อที่จะไม่ให้เกิดความเสียเปรียบคู่ต่อสู้ เนื่องจากในภาวะพร่องออกซิเจนนั้นจะทำให้เกิดการลดลงของความดันออกซิเจน ( $O_2$  partial pressure) ในหลอดเลือดแดงใหญ่ และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด จากการลดลงของออกซิเจนในเลือดนั้นก็จะทำให้เกิดการลดลงทางสรีรวิทยาในระยะเฉียบพลัน โดยจะมีผลต่อการขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังกล้ามเนื้อ การลดลงของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดจะไปกระตุ้นที่ตัวรับรู้ทางเคมีส่วนปลายและส่วนกลาง ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันของการระบายอากาศ (ventilation) ในส่วนของ Hypoxic Ventilation Response (HVR) (Whyte, 2006)

การระบายอากาศที่มากกว่าปกติ (hyperventilation) เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด Respiratory Alkalosis เพื่อไปจำกัดการเพิ่มขึ้นของการระบายอากาศในช่วงแรกของการสัมผัสกับระดับความสูง เมื่อสัมผัสกับระดับความสูงหลายๆวันจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการหายใจแบบคาร์บอนด โดยสังเกตจากการชดเชยของ Respiratory Alkalosis โดยดูจากการระบายอากาศขณะพัก และจะเพิ่มสูงสุดภายใน 7-10 วัน การเพิ่มขึ้นของการระบายอากาศจะเป็นการตอบสนองจากกลไกหลักเพื่อพัฒนาความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่ระดับเซลล์ในระหว่างที่เคยชินกับสภาพอากาศ โดยจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของการระบายอากาศ การลดลงของปริมาณพลาสมาร้อยละ 10-20 จากการสังเกตใน 1 ชั่วโมงจากการสัมผัสกับระดับความสูง โดยการลดลงของปริมาณพลาสมา จะมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายของเหลวจากภายในหลอดเลือด (intravascular) ไปยังช่องแคบเล็กๆ ระหว่างเซลล์ (interstitial) และภายในเซลล์ (intracellular) โดยการเคลื่อนย้ายของเหลวจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปัสสาวะ (diuresis) และการลดลงของปริมาณพลาสมาจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน และมีผลต่อความสามารถในการขนส่งออกซิเจนในกรณีที่ไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดเลือดแดง (red cell mass) การลดลงแบบฉับพลันของปริมาณพลาสมาจะนำไปสู่การลดลงของปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัว 1 ครั้ง (stroke volume) ซึ่งการต่อต้านการลดลงของปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัว 1 ครั้ง (stroke volume) ในขณะพักและในขณะออกกำลังกายที่ระดับอัตราการเต้นของหัวใจต่ำกว่าสูงสุด โดยจะเป็นการเพิ่มขึ้นของการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก(Whyte, 2006)

การลดลงของค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการปล่อย ฮอร์โมนที่กระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง (erythropoietin) ที่ไตภายในไม่กี่ชั่วโมง ซึ่งระดับความสูงที่มากกว่า 2,100 เมตร จะส่งผลให้เกิดการปล่อยฮอร์โมนที่กระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง (erythropoietin) (Ri-Li *et al.*, 2001) เพื่อที่จะเพิ่มระดับฮอร์โมนที่กระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง (erythropoietin) ในเลือด ซึ่งการสัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจนเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณพลาสมา และมวลของเม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการขนส่งออกซิเจน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการขนส่งออกซิเจนนั้นจะเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของ เซลล์เม็ดเลือดแดง 2, 3 diphosphoglycerate (2, 3-DPG) ที่ทำให้ O<sub>2</sub>-dissociation curve ขยับไปทางด้านขวา การเพิ่มขึ้นของ ปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัว 1 ครั้ง (Stroke Volume) และการลดลงของการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกในขณะพักและการออกกำลังกายที่ระดับอัตราการเต้นของหัวใจต่ำกว่าสูงสุดต่อค่าที่ระดับน้ำทะเล (Whyte, 2006)

ระดับเนื้อเยื่อจะมีการเพิ่มขึ้นของ ความหนาแน่นของหลอดเลือดฝอย ขนาดและความหนาแน่นของไมโทคอนเดรีย การเปลี่ยนแปลงใน enzymatic pathways โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดจากการสัมผัสภาวะพร่องออกซิเจนเป็นเวลานานซึ่งจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาในอัตราการใช้ออกซิเจน (Whyte, 2006)

จากการศึกษาของ Gore *et al.* (2008) ได้แสดงให้เห็นว่าการสัมผัสกับระดับความสูงนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยามากมาย ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดข้อเสียเปรียบทางด้านสมรรถนะของนักกีฬา จากสถิติที่ผ่านมาการที่นักกีฬาต้องขึ้นไปเพื่อทำการแข่งขันในที่สูงมากๆ เช่น ประเทศโบลิเวีย หรือ โคลอมเบียเป็นต้น จะทำให้ศักยภาพของนักกีฬาลดลงอย่างมากหากไม่มีการเตรียมตัวที่ดี ซึ่งจากงานวิจัยได้ทำการสำรวจการแข่งขันฟุตบอลในรายการ South American World Cup nations (1980–2007) ซึ่งจากผลจะเห็นได้ว่า ทีมอย่างโบลิเวียหรือโคลอมเบียนั้นเมื่อทำการแข่งขันในบ้านจะมีสถิติที่ชนะค่อนข้างมากโดยจากการแข่งขัน 32 และ 33 นัด ตามลำดับ แต่ชนะถึง 18 นัด ซึ่งจะแตกต่างจากการออกไปเยือนคู่ต่อสู้จะแพ้ค่อนข้างมากโดยจากการแข่งขัน 32 และ 33 นัด แต่กลับชนะได้เพียง 2 และ 8 นัด ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่าการที่นักกีฬานั้นขึ้นไปทำการแข่งขันในที่สูงถ้าหากไม่มีการเตรียมความพร้อมที่ดีนั้นโอกาสที่จะชนะหรือประสบความสำเร็จในการแข่งขันนั้นจะมีค่อนข้างยาก

## การตอบสนองทางด้านสมรรถนะของนักกีฬาจากการสัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจน

การฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน (intermittent hypoxic training) วัตถุประสงค์หลักนั้นจะเป็นการฝึกเพื่อเพิ่มสมรรถนะของนักกีฬาไม่ว่าจะเป็นด้านแอโรบิกหรือแอนแอโรบิกหรือใช้เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับนักกีฬา โดยเมื่อวิธีการแบบ อยู่ในที่ต่ำ ฝึกที่สูงได้มีการรายงานว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ออกซิเจนได้ ( $O_2$  Utilization) (Zoll *et al.*, 2006; Ponsot *et al.*, 2005; Vogt *et al.*, 2001; Melissa *et al.*, 1997 and Terrados *et al.*, 1990) การฝึกแบบ อยู่ในที่ต่ำ ฝึกที่สูง จึงได้รับความสนใจอย่างมากในบรรดาผู้ฝึกสอนหรือนักวิทยาศาสตร์การกีฬา สำหรับวิธีการนั้นก็แตกต่างกันออกไปโดยความต้องการของการฝึกจะต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลและโครงสร้างเมื่อกลับมายังที่ระดับน้ำทะเล หรือเพื่อที่จะเพิ่มสมรรถนะของนักกีฬาในการแข่งขัน และนอกจากที่การฝึกแบบ อยู่ในที่ต่ำ ฝึกที่สูง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ออกซิเจน ( $O_2$  Utilization) แล้วยังสามารถทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการควบคุมสมดุลกรด-ด่าง อีกด้วย (Zoll *et al.*, 2006) ซึ่งจากสิ่งต่างๆเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการพัฒนาของสมรรถนะด้านแอโรบิกและแอนแอโรบิก

### 1. สมรรถนะด้านแอโรบิกภายหลังจากการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน

การฝึกในรูปแบบ อยู่ในที่ต่ำ ฝึกที่สูงโดยวิธีการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน (intermittent hypoxic training) ที่ส่งผลต่อสมรรถนะด้านแอโรบิก จะมีการศึกษาที่แพร่หลายสำหรับผลทางด้านสมรรถนะด้านแอโรบิกไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการฝึกโดยใช้จักรยาน (Czuba *et al.*, 2011 and Morton and Cable, 2005) หรือการฝึกโดยใช้การว่ายน้ำ (Truijens *et al.*, 2003) โดยการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน (intermittent hypoxic training) จากการศึกษที่ผ่านมาจะมีการรายงานว่าสามารถทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะด้านแอโรบิกได้จากการศึกษาของ Czuba *et al.* (2011) ได้ทำการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด และอัตราการใช้ออกซิเจน ณ จุด แลกเตทเธเรชโฮลด์ (lactate threshold) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Meeuwssen *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาในนักไตรกีฬาเป็นเวลา 10 วัน วันละ 2 ชั่วโมง ฝึกที่ความสูง 2500 เมตรผลการศึกษาพบว่าการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนนั้นจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในทางตรงกันข้าม การศึกษาของ Truijens *et al.* (2003) พบว่า การฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน (Intermittent hypoxic

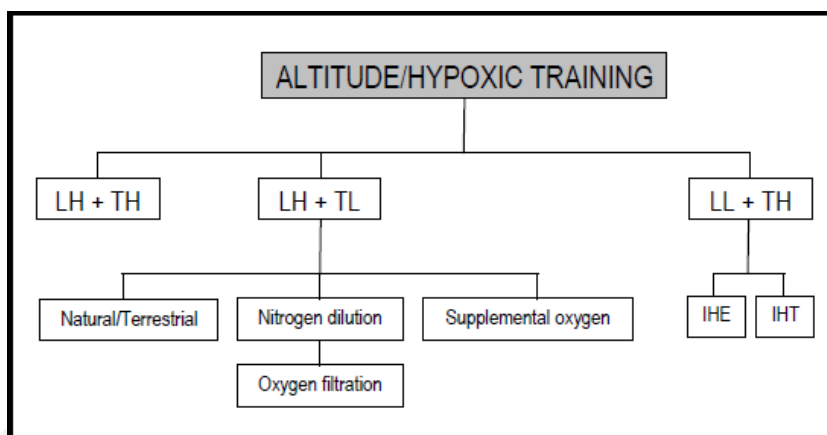
training) เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ด้วยความหนักในการฝึกที่สูง ไม่ได้ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักกีฬาว่ายน้ำ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Morton and Cable (2005) ได้ทำการฝึกแบบหนักสลับเบาในภาวะพร่องออกซิเจน ที่ความสูง 2750 เมตร 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดหลังจากการฝึกทั้ง 2 ภาวะ แต่ไม่มีความแตกต่างกัน โดยจากการศึกษาที่ผ่านมานี้อาจจะเป็นเพราะความแตกต่างในด้านของ รูปแบบการฝึกความสูงที่สัมผัสหรือระยะเวลา เป็นต้น ที่ทำให้ผลที่ได้นั้นแตกต่างกัน

## 2. สมรรถนะด้านแอนแอโรบิกภายหลังการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน

การฝึกแบบ อยู่ต่ำ ฝึกที่สูงด้วยวิธีการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน (intermittent hypoxic training) ที่มีผลต่อสมรรถนะด้านแอนแอโรบิกนั้นยังมีการศึกษาที่น้อย โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาจะพบว่าการฝึกที่ให้ผลล้นเหลือที่ค่อนข้างมาก ซึ่งจากการศึกษานั้นจะไม่มีผลที่แตกต่างกันสำหรับกลุ่มทดลองเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จากการศึกษาของ Morton and Cable (2005) พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของพลังสูงสุด (Peak Power) และ ค่าเฉลี่ยพลัง (Mean Power) ระหว่างการทดสอบด้วย วินเกตเทส (Wingate test) แต่ไม่มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Truijens *et al.* (2003) พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะด้านแอนแอโรบิกเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมจากการทดสอบการว่ายน้ำ 100 เมตร (100m freestyle time trial) ในทางตรงกันข้ามจากการศึกษาของ Meeuwsen *et al.* (2001) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของพลังสูงสุดและค่าเฉลี่ยพลังร้อยละ 5 และ Time to Peak จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 37 แต่จากข้อมูลในปัจจุบันนั้นไม่สามารถที่จะสรุปได้ว่าการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน (intermittent hypoxic training) จะทำให้เกิดการพัฒนาของสมรรถนะด้านแอนแอโรบิก (Zoll *et al.*, 2006)

## ความแตกต่างของวิธีการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน

รูปแบบการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนนั้นจะมีวิธีการในการฝึกที่แตกต่างกันออกไป โดยจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการฝึก โดยลักษณะการฝึกนั้นจะประกอบไปด้วยการอยู่ที่สูง ฝึกที่สูง การอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำและ การอยู่ที่ต่ำ ฝึกที่สูง (ดังภาพที่ 2) โดยแต่ละวิธีจะมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2 ความแตกต่างของวิธีการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน

ที่มา: Wilber (2011)

### 1. การฝึกแบบอยู่ที่สูง ฝึกที่สูง

ลักษณะของการฝึกแบบ อยู่ที่สูง ฝึกที่สูง แบบดั้งเดิมจะเป็นการอยู่ และฝึกในที่ระดับความสูงปานกลาง ซึ่งระดับความสูงนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 1,500–4,000 เมตรโดยวัตถุประสงค์ของการฝึกนั้นจะเป็นการฝึกเพื่อเพิ่มสมรรถนะด้านแอโรบิก เช่น ปริมาณของเม็ดเลือดแดง อัตราการใช้ ออกซิเจนสูงสุด หรือสมรรถนะด้านความอดทน และในปัจจุบันยังคงใช้วิธีการลักษณะนี้เช่นกัน โดยการฝึกที่ระดับความสูงจะเป็นการฝึกที่อยู่ในช่วงเวลาหนึ่งของการฝึกตลอดปีของนักกีฬา แต่ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งของการ อยู่ที่สูง ฝึกที่สูง จะทำให้การฝึกของนักกีฬานั้นไม่สามารถฝึกได้ในระดับของความหนักที่เท่ากับการฝึกที่ระดับน้ำทะเล เช่น ความเร็วในการวิ่ง เป็นต้น

(Wilber, 2011)

### 2. การฝึกแบบอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ

การฝึกแบบอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาด้านของ ความหนักของการฝึกที่ถูกจำกัด ของการฝึกแบบอยู่ที่สูง ฝึกที่สูง โดยรูปแบบการฝึกแบบอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ นั้นถูกพัฒนาขึ้นโดย Drs. Benjamin Levine and James Stray-Gundersen ชาวสหรัฐอเมริกา โดย สมมุติฐานของการฝึกลักษณะนี้คือการอยู่ที่สูงนั้นเพื่อที่จะทำให้นักกีฬานั้นเคยชินกับ

สภาพแวดล้อมเพื่อกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดเลือดแดง ส่วนการฝึกในที่ต่ำจะเป็นการรักษาระดับของความหนักในการฝึกและการไหลของออกซิเจน (Oxygen flux) ให้มีระดับเทียบเท่ากับระดับน้ำทะเล เพื่อจะกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการเผาผลาญพลังงานและการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทกล้ามเนื้อ โดยการอยู่ในที่สูงนั้นจะใช้ความสูงที่ประมาณ 2000-3000 เมตร และการฝึกจะใช้ความสูงที่ต่ำกว่า 1500 เมตร (Wilber, 2011)

## 2.1 อยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ จากระดับความสูงธรรมชาติ

การอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ ลักษณะนี้จะเป็นการอยู่และฝึก ในที่ระดับความสูงตามธรรมชาติ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม อยู่ที่ต่ำ ฝึกที่ต่ำ อยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ และอยู่ที่สูง ฝึกที่สูง โดยทำการศึกษาในนักวิ่งจำนวน 39 คน เพศหญิงและชาย ซึ่งภายหลังจากการศึกษาจะพบว่า กลุ่มที่อยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเม็ดเลือดแดง ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ที่ใกล้เคียงกับการฝึกแบบ อยู่ที่สูง ฝึกที่สูง และนอกจากนั้นการอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ จะมีการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการวิ่ง 5,000 เมตร เมื่อกลับมาอยู่ที่ระดับน้ำทะเล กลุ่มอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำนั้น จะแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาทั้งด้านอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด และความสามารถในการวิ่ง 5,000 เมตร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดนั้นจะเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยาจากการที่นักกีฬาอาศัยอยู่ในที่ระดับความสูง และการเปลี่ยนแปลงในความสามารถในการวิ่ง 5,000 เมตรนั้นเกิดมาจากการที่นักกีฬาฝึกในที่ต่ำซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาในการเผาผลาญพลังงานและการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Wilber, 2011)

## 2.2 อยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ จากการละลายไนโตรเจน (via nitrogen dilution)

การจำลองโดยการละลายไนโตรเจน (via nitrogen dilution) จะเป็นการลดสัดส่วนของความเข้มข้นของออกซิเจน โดยการดึงเอาอากาศปกติ(ออกซิเจนประมาณร้อยละ 20.9 และไนโตรเจนประมาณร้อยละ 79) และก๊าซที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนร้อยละ 100 เข้ามาพร้อมกัน ซึ่งจะเป็นผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศนั้นลดลงโดยการจำลองในลักษณะนี้ถูกพัฒนามาจาก Dr. Heikki Rusko ชาวฟินแลนด์ ในปี 1990 (Wilber, 2011)

### 2.3 อยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ จากการกรองออกซิเจน (hypoxic filtration)

วิธีการจะมีลักษณะที่คล้ายกันกับการละลายไนโตรเจน (via nitrogen dilution) โดยวิธีการนี้จะใช้เชื้อหุ้มในการกรองออกซิเจน เพื่อที่จะช่วยลดความเข้มข้นของโมเลกุลของออกซิเจนในอากาศ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาโดยการจำลองภาวะพร่องออกซิเจนจากการกรองออกซิเจนนั้น ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านโลหิตวิทยาและการเปลี่ยนแปลงทางด้านสมรรถนะทางกาย (Wilber, 2011)

### 2.4 อยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำ จากการเสริมออกซิเจน

การฝึกแบบอยู่ที่สูง ฝึกที่ต่ำโดยการเสริมออกซิเจน จะเป็นการที่นักกีฬาจะอยู่ในที่ระดับความสูงธรรมชาติ แต่ในขณะที่ฝึกนั้นจะเป็นการจำลองภาวะที่ระดับน้ำทะเลโดยผ่านการเสริมออกซิเจน โดยระดับความสูงจะทำให้ความดันบรรยากาศลดลง และทำให้ความดันออกซิเจน ( $O_2$  partial pressure) ที่หายใจเข้าลดลงด้วย แต่ในขณะที่ทำการฝึกนั้นจะมีการกระตุ้นโดยการเสริมสัดส่วนของออกซิเจนที่หายใจเข้าให้เทียบเท่ากับที่ระดับน้ำทะเล เพื่อที่จะทำให้สามารถฝึกได้ในระดับที่ความหนักที่สูงเท่ากับที่ระดับน้ำทะเล (Wilber, 2011)

## 3. การฝึกแบบอยู่ต่ำ ฝึกที่สูง

การฝึกแบบอยู่ต่ำ ฝึกที่สูง จะเป็นการฝึกที่ให้นักกีฬาอาศัยอยู่ในที่ระดับน้ำทะเล แต่ในขณะที่ฝึกนั้นนักกีฬาจะฝึกที่ภาวะพร่องออกซิเจน โดยขณะฝึกจะเป็นการสัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจนเพียงระยะสั้นๆ ประมาณ 5-180 นาที ซึ่งลักษณะของการจำลองภาวะพร่องออกซิเจนสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็น การละลายไนโตรเจน (via nitrogen dilution) การกรองออกซิเจน (hypoxic filtration) หรือ การกระตุ้นภาวะพร่องออกซิเจน (inspiration of hypoxic gas) ซึ่งลักษณะของการฝึกแบบอยู่ต่ำ ฝึกที่สูงนั้น จะสามารถทำได้ทั้งการสัมผัสในขณะพัก (intermittent hypoxic exposure) และการสัมผัสขณะออกกำลังกาย (intermittent hypoxic training) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาของการฝึกแบบ อยู่ต่ำ ฝึกที่สูง จะเห็นได้ว่าจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ serum erythropoietin ปริมาณของเม็ดเลือดแดง ความหนาแน่นของไมโทคอนเดรีย ปริมาณของเส้นเลือดฝอย เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการฝึกในลักษณะนี้จะทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านสมรรถนะของ

นักกีฬาในหลายๆด้าน และจากความสะดวกสบายของวิธีนี้ทำให้วิธีการฝึกแบบ อยู่ต่ำ ฝึกที่สูง นั้นนิยมใช้ในการฝึกนักกีฬา (Wilber, 2011)

### การฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ

การฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (Hyperoxic Training) คือภาวะที่ความเข้มข้นของออกซิเจนในเนื้อเยื่อและอวัยวะมากกว่าปกติ(มากกว่าที่ระดับน้ำทะเล หรือมากกว่าร้อยละ 21 ของความเข้มข้นของออกซิเจน) โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศที่ใช้ฝึกจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 40-100 โดยการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกตินั้นจะสามารถพัฒนาความสามารถในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกได้ และในระดับอัตราการเต้นของหัวใจระดับเดียวกันนั้นก็จะสามารถฝึกได้ในระดับความหนักที่สูงกว่า (Kilding *et al.*, 2010; Bannister and Cunningham, 1954 and Plet *et al.*, 1992) จึงเป็นไปได้ว่าการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติอาจจะทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านสรีรวิทยาและสมรรถนะของนักกีฬาแต่ยังไม่มี ความชัดเจนว่าในการเพิ่มการกระตุ้นการฝึกจะทำให้เกิดการตอบสนองที่มากขึ้นของความสามารถในการเผาผลาญพลังงานโดยใช้ออกซิเจนของไมโทคอนเดรีย (mitochondrial oxidative capacity) หรือ ความสามารถในการออกกำลังกายเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ (Perry *et al.*, 2007) ซึ่ง สอดคล้องกับ Chick *et al.* (1993) ได้กล่าวว่า การฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกตินั้นจะสามารถเพิ่มความหนักในการฝึกไปยังระดับที่ไม่สามารถทำได้ในสภาวะปกติ

โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา Perry *et al.* (2005) ได้ศึกษาในนักกีฬา 9 คนโดยทำการฝึก 3 ครั้ง ต่อสัปดาห์ 1 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยใช้จักรยาน โดยจะแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (ร้อยละ 60 ของออกซิเจนในอากาศ) และกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ (ร้อยละ 21 ของออกซิเจนในอากาศ) ลักษณะการฝึกจะเป็นการฝึกแบบหนักสลับเบาโดยให้ปั่นจักรยาน 10 เที้ยว เที้ยวละ 4 นาที ที่ระดับร้อยละ 90 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลาพักระหว่างเที้ยว 2 นาที ทำการทดสอบในภาวะปกติผลการศึกษาพบว่า พลัง (Power output) จะสูงขึ้นร้อยละ 8.1 ในกลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ ทั้งสองกลุ่มจะมีการเพิ่มขึ้นของ Performance time แต่ในกลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกตินั้นจะเพิ่มขึ้นมากกว่า

ในทางตรงกันข้าม จากการศึกษาของ Perry *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาใน กลุ่มตัวอย่าง 9 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (ร้อยละ 60 ของออกซิเจนในอากาศ) และกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ (ร้อยละ 21 ของออกซิเจนในอากาศ) ทำการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ลักษณะการฝึกจะฝึกแบบหนักสลับเบา โดยให้ปั่นจักรยาน 10 เที้ยว เที้ยวละ 4 นาที ที่ระดับร้อยละ 90 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระยะเวลาพักระหว่างเที้ยว 2 นาที ผลการศึกษาพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด และเวลาจนกว่าจะหมดแรง (Time to exhaustion) ของทั้ง 2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม แต่พลัง (Power output) ในกลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 17 วัตต์ (ร้อยละ 8) ตลอดเวลาการฝึก ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาอันนี้ยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ว่าการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกตินั้นจะสามารถช่วยในการพัฒนาสมรรถนะของนักกีฬาได้มากกว่าการฝึกในภาวะออกซิเจนปกติ

#### **ผลของการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ**

การฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนและในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ จากการศึกษาที่ผ่านมา มีการศึกษามากมายที่ทำการเปรียบเทียบการฝึกในภาวะปกติกับภาวะพร่องออกซิเจน หรือการเปรียบเทียบการฝึกในภาวะปกติกับภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และมีเพียงไม่กี่การศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนกับภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ ซึ่งผลการศึกษาที่ผ่านมาอันนี้มีทั้งการศึกษาที่เห็นผลและไม่เห็นผลการศึกษาที่เห็นผลและเปลี่ยนแปลง ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการฝึกทั้ง 3 ภาวะ ซึ่งตัวแปรที่ศึกษานั้นประกอบไปด้วย

#### **สมรรถนะด้านแอนแอโรบิค**

สมรรถนะด้านแอนแอโรบิค หมายถึง ความสามารถที่จะรักษาระดับความพยายามสูงสุดในการทำงานในช่วงเวลาที่สั้น เช่น การวิ่งที่ความเร็วสูงสุดซึ่งต้องใช้ความพยายามทั้งหมดส่วนใหญ่ มาจากความสามารถด้านแอนแอโรบิค (Malina, 1997) การทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะด้านแอนแอโรบิคจากการศึกษาในครั้งนี้จะใช้การทดสอบวินเกต แอนแอโรบิคเทสต์ (Wingate anaerobic test) โดยตัวแปรที่วัดเพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะด้านแอนแอโรบิค ประกอบไปด้วย

### 1. พลังสูงสุด (peak power)

พลังสูงสุด (peak power) คือ พลังที่แสดงออกมากที่สุด(แรง เวลา ระยะทาง หารถด้วย เวลา) ระหว่างช่วงเวลาที่สูงมากในการทำงาน(5 วินาที หรือน้อยกว่า) โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

พลังสูงสุด ( $\text{kgm} \cdot 5\text{sec}^{-1}$ ) = จำนวนรอบที่มากที่สุดใน 5 วินาที x ระยะทางของวงล้อต่อรอบ (เมตร) x แรงที่ดึงค่า(กิโลกรัม)

หรือ พลังสูงสุด = จำนวนรอบ (มากที่สุด)ใน 5 วินาที x ระยะทางต่อรอบ x แรง

พลังสูงสุดมีความคิดดั้งเดิมที่คิดว่าพลังสูงสุดเป็นผลสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการเผาผลาญพลังงานแบบไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติกเพียงอย่างเดียว (alactic anaerobic capacity) แต่อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยภายหลังได้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อซึ่งจะเพิ่มขึ้นหากมีการทำงานที่ความหนักสูงโดยระยะเวลาที่ใกล้เคียง 10 วินาที ซึ่งระบุได้ว่าขบวนการไกลโคไลติกจะเกิดขึ้นแทบจะพร้อมกันกับการสลาย ATP-PC (adenosine triphosphate –phosphocreatine) ดังนั้นพลังสูงสุดจึงไม่สามารถตีความได้ว่าเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากขบวนการแบบไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติกเพียงอย่างเดียว (Bar-Or, 1987)

### 2. พลังเฉลี่ย (mean power)

พลังเฉลี่ย (mean power) คือ ค่าเฉลี่ยของพลังที่แสดงออก (แรง เวลา ระยะทาง หารถด้วย เวลา) ระหว่างช่วงเวลาที่สูงในการทำงาน หรือค่าเฉลี่ยของพลังที่สามารถรักษาไว้ได้ตลอดทั้ง 30 วินาทีของการปั่น โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

ค่าเฉลี่ยพลัง (กิโลกรัม x 30 วินาที<sup>-1</sup>) = จำนวนทั้งหมดของรอบที่ปั่นใน 30 วินาที x ระยะทางของวงล้อต่อรอบ (เมตร) x แรงที่ดึงค่า (กิโลกรัม)

หรือ พลังเฉลี่ย = จำนวนรอบ (ทั้งหมด)ใน 30 วินาที x ระยะทางต่อรอบ x แรง

พลังเหลื้ออาจจะกล่าวได้ถึงความสามารถของระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ก่อให้เกิดกรดแลคติก (lactic anaerobic capacity) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ได้รับการพิสูจน์ (Bar-Or, 1987) ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้านี้มีการแสดงให้เห็นว่าใน 30 วินาทีนั้น จะมีการสนับสนุนพลังงานจากระบบแอโรบิคประมาณร้อยละ 20 ดังภาพที่ 4 (Plowman and Smith, 2003)

### 3. ดัชนีความล้า (fatigue index)

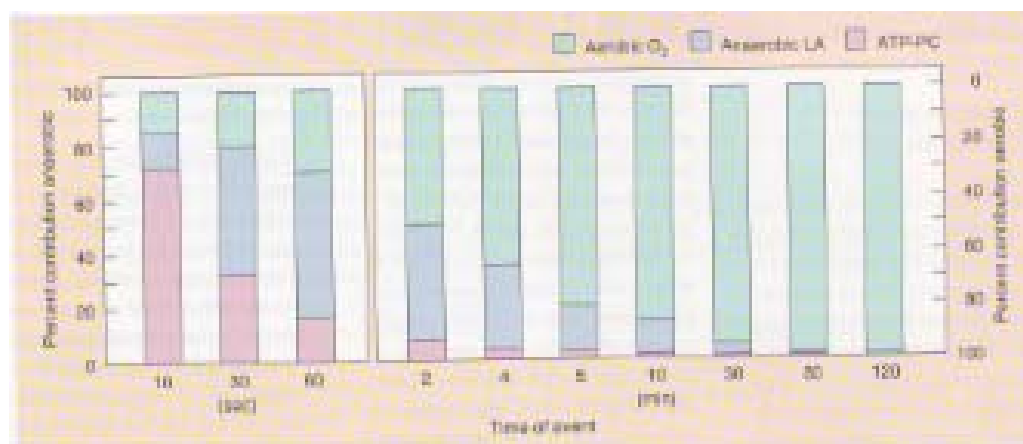
Bar-Or (1987) ได้กล่าวไว้ว่า ค่าดัชนีความล้า (fatigue index) คือ เปอร์เซนต์ของค่าพลังสูงสุดที่ลดลงระหว่างการทำงานที่ความหนักสูงในช่วงเวลาที่สั้น

ค่าดัชนีความล้า (fatigue index) คือ ค่าที่บอกถึงความล้าที่เกิดขึ้นภายในกล้ามเนื้อภายหลังจากการทำงานเต็มตามที่แบบทดสอบกำหนด ซึ่งค่าดัชนีความล้าสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ดัชนีความล้า (fatigue index)} = [1 - (\text{พลังต่ำสุด} \times 5 \text{ วินาที}^{-1}) / (\text{พลังสูงสุด} \times 5 \text{ วินาที}^{-1})] \times 100$$

$$\text{หรือ ดัชนีความล้า} = \left[ 1 - \left( \frac{\text{พลังต่ำสุด}}{\text{พลังสูงสุด}} \right) \right] \times 100$$

หากค่าดัชนีความล้ามีค่าที่มากนั้นจะแสดงว่าความล้าที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อมาก แสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อสามารถทนกับกรดแลคติกที่เกิดขึ้นได้ในระดับที่ต่ำ ในทางกลับกันหากค่าดัชนีความล้ามีค่าน้อยนั้นจะแสดงว่าความล้าที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อน้อย แสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อสามารถทนกับกรดแลคติกที่เกิดขึ้นได้ในระดับที่มาก (ยุทธนา, 2549)



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความต่อเนื่องของเวลา-ระบบพลังงาน

ที่มา: Plowman and Smith (2003)

#### ภาวะพร่องออกซิเจนที่มีผลต่อพลังของกล้ามเนื้อ

Roel *et al.* (2007) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาจักรยานและนักไตรกีฬา ทั้งหมด 19 คน ทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน และกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ โดยลักษณะการฝึกจะทำการฝึกแบบหนักสลับเบา 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และฝึกแบบต่อเนื่อง 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า พลังสูงสุดเมื่อทดสอบในภาวะปกติจะมีการเพิ่มขึ้นทั้ง 2 กลุ่ม แต่ไม่มีความแตกต่างเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม แต่เมื่อทำการทดสอบในภาวะพร่องออกซิเจนนั้นจะพบว่าการเพิ่มขึ้นของพลังสูงสุดในกลุ่มที่ฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจนเพียงกลุ่มเดียว โดยกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกตินั้นจะไม่มีเปลี่ยนแปลง และจากการทดสอบในภาวะออกซิเจนปกติจะมีการเพิ่มขึ้นของพลังเฉลี่ยในกลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนปกติเพียงกลุ่มเดียว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Morton and Cable (2005) ได้ทำการศึกษาในนักกีฬาประเภททีม 16 คน ซึ่งทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน (2750 เมตร) และกลุ่มที่ฝึกที่ระดับน้ำทะเล ทำการฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า พลังสูงสุดและพลังเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นทั้งสองกลุ่มหลังจากการฝึก แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

#### ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติที่มีผลต่อพลังของกล้ามเนื้อ

จากการศึกษาของ Sperlich *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาในเพศชายสุขภาพดี 10 คน โดยจะทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่สัมผัสกับภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (ร้อยละ 60 ของ

ปริมาณออกซิเจนในอากาศ)และกลุ่มที่สัมผัสกับภาวะปกติ(ร้อยละ 21 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกายเป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยการสัมผัสกับภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ หรือภาวะปกติประมาณ 2 นาที หลังจากนั้นจะให้ทำการทดสอบ 15 วินาทีที่ความสามารถสูงสุดผลการศึกษพบว่าพลังสูงสุดของทั้ง 2 กลุ่มจะไม่มี ความแตกต่างกัน ซึ่งพลังสูงสุดของทั้งสองกลุ่มจะสูงที่สุดที่ 3.5 วินาที ค่าเฉลี่ยของพลังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกลุ่มที่สัมผัสกับภาวะออกซิเจนมากกว่าปกตินั้นจะมีแนวโน้มที่มากกว่าของพลัง (power output) ในช่วงแรกของการทดสอบ

### ตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาจากการศึกษาในครั้งนี้จะใช้การทดสอบจากการวัด อัตราการเต้นของหัวใจขณะทำการฝึก และการสะสมของกรดแลคติกภายหลังจากการฝึกในครั้งแรก และครั้งสุดท้าย

#### 1. อัตราการเต้นของหัวใจ

อัตราการเต้นของหัวใจ คือ ปริมาณการเต้นของหัวใจต่อหน่วยเวลา ซึ่งมักจะแสดงออกในรูปหน่วยนาฬิกา(ครั้งต่อนาที) โดยอัตราการเต้นของหัวใจนั้นจะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับความต้องการออกซิเจนของร่างกายหรือความต้องการในการนำคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย ซึ่งความแตกต่างนี้นั้นจะเกิดขึ้นมาจากกิจกรรมที่ทำ เช่น ในขณะที่ออกกำลังกาย กับขณะนอน ร่างกายจะมีความต้องการในการใช้ออกซิเจนที่แตกต่างกัน

Robergs and Landwehr (2002) ได้กล่าวไว้ว่าอัตราการเต้นของหัวใจจะเป็นค่าที่ใช้วัดระบบหัวใจไหลเวียนเลือดอย่างง่าย เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัว 1 ครั้ง (stroke volume) และ ปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัวใน 1 นาที(cardiac output) ดังนั้นการวัดอัตราการเต้นของหัวใจจะมีการใช้เป็นประจำเพื่อประเมินการตอบสนองของหัวใจในขณะที่ออกกำลังกาย หรือการฟื้นฟูภายหลังจากการออกกำลังกาย เช่นเดียวกันอัตราการเต้นของหัวใจยังสามารถที่จะใช้ในการกำหนดความหนักในการออกกำลังกายด้วยเช่นกัน (ดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การใช้อัตราการเต้นของหัวใจในการประเมินความหนักในการออกกำลังกาย

| %อัตราการใช้ออกซิเจน | %อัตราการเต้นของหัวใจ | %อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| สูงสุด               | สูงสุด                | พัก                         |
| 40                   | 63                    | 40                          |
| 50                   | 69                    | 50                          |
| 60                   | 76                    | 60                          |
| 70                   | 82                    | 70                          |
| 80                   | 89                    | 80                          |
| 90                   | 95                    | 90                          |

ที่มา: (Robergs and Landwehr, 2002)

### การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจจากการฝึกในที่ระดับความสูง

จากการศึกษาของ Adamos et al. (2008) ได้ศึกษาผลของภาวะพร่องออกซิเจนที่มีต่อการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาในระดับปานกลาง กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายสุขภาพดีจำนวน 6 คน โดยให้ทำการทดสอบแบบความหนักจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยใช้จักรยาน 3 เซท เซทละ 5 นาทีที่ระดับน้ำทะเล โดยระหว่างเซทจะทำการขึ้นด้วยการพัก 5 นาที โดยขึ้นอยู่กับว่าพักอยู่ในภาวะปกติหรือภาวะพร่องออกซิเจน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัวใน 1 นาที (cardiac output) และอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นมากกว่าในภาวะพร่องออกซิเจนเมื่อเปรียบเทียบกับภาวะปกติ ซึ่งจะมีความแตกต่างทั้งในระหว่างพักและระหว่างออกกำลังกาย

จากการศึกษาของ Gore et al. (2008) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจเมื่อสัมผัสกับระดับความสูง โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นได้แสดงเป็น 2 ระยะ คือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระยะเฉียบพลัน และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระยะที่สัมผัสกับระดับความสูงเป็นเวลานาน

### การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระยะเฉียบพลัน

- อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัว 1 ครั้ง (Stroke Volume) ภายหลังจากสัมผัสกับระดับความสูงเป็นเวลาหลายวัน

- ปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัวใน 1 นาที (Cardiac output) จะลดลงระหว่างการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุด โดยเกี่ยวข้องกับ การลดลงของปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัว 1 ครั้ง (Stroke Volume) และการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจ

- อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดจะลดลงที่ความสูงมากกว่า 3500 เมตรในระยะเฉียบพลัน จะลดลง 2 ครั้ง/นาที/1000 เมตรของระดับความสูงระหว่าง 300-2800 เมตร

### การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกับระดับความสูงเป็นเวลานาน

- ปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัวใน 1 นาที (Cardiac output) ในขณะออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุดจะลดลง

- ปริมาณของเลือดที่หัวใจบีบตัวใน 1 นาที (Cardiac output) ในขณะออกกำลังกายที่ระดับสูงสุดจะลดลง

### การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจจากการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ

ในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจากการศึกษาของ Perry *et al.* (2007) ได้กล่าวไว้ว่าการสัมผัสกับภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะสามารถเพิ่มสมรรถภาพด้านแอโรบิกในระยะเฉียบพลันได้ ซึ่งจะส่งผลให้ในระดับอัตราการเต้นของหัวใจระดับเดียวกันการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะสามารถฝึกได้ในระดับที่ความหนักมากกว่าเมื่อเทียบกับการฝึกในภาวะออกซิเจนปกติจากการศึกษาของ Perry *et al.* (2005) ได้ศึกษาในนักกีฬา 9 คน ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (ร้อยละ 60 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) และกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ (ร้อยละ 21 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) ทำการฝึก 1 ชั่วโมงต่อวัน 3 วัน ต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจในระดับเดียวกัน

พลัง (power output) ในกลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะมีค่าที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ

## 2. การสะสมของกรดแลคติกในเลือด

สุพัชรินทร์ (2549) ได้กล่าวไว้ว่ากรดแลคติก (lactic acid) หมายถึงของเสียที่เกิดจากการเผาผลาญพลังงาน ซึ่งเกิดจากการเผาผลาญกลูโคสแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญ หรือปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกภายในกล้ามเนื้อ ซึ่งการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อและในเลือดนั้นจะส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ และจะทำให้เกิดความเมื่อยล้า โดยระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความหนักในการออกกำลังกาย คือเมื่อความหนักในการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้การสะสมของกรดแลคติกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

### การสะสมของกรดแลคติกที่ระดับความสูง

จากการศึกษาของ Gore *et al.* (2008) ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของกรดแลคติกในเลือด ระหว่างการสัมผัสกับระดับความสูงในระยะเฉียบพลัน และการสัมผัสกับระดับความสูงเป็นระยะเวลานาน

### การสัมผัสกับระดับความสูงในระยะเฉียบพลัน

- กรดแลคติกในเลือดเพิ่มขึ้นในระหว่างการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุด
- กรดแลคติกในเลือดสูงสุดไม่มีการเปลี่ยนแปลง

### การสัมผัสกับระดับความสูงเป็นระยะเวลานาน

- กรดแลคติกในเลือดลดลงในระหว่างการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุด
- กรดแลคติกในเลือดสูงสุดลดลง

- การตอบสนองของกรดแลคติกในระยะจับพลาสมาเทียบกับระยะนานในภาวะพร่องออกซิเจน อาจจะเหมือนกัน ถ้ามวลของกล้ามเนื้อถูกรักษาไว้ด้วยการฝึกในระดับสูง

การสะสมของกรดแลคติกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ

จากการศึกษาของ Stellingwerff *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาโดยการเปรียบเทียบผลของภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (ร้อยละ 60 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) กับสภาวะปกติ (ร้อยละ 21 ของปริมาณออกซิเจนในอากาศ) ในขณะปั่นจักรยานที่ระดับร้อยละ 70 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทำการฝึก 35 นาที ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 20 นาทีในขณะพัก และ 15 นาทีในขณะปั่นจักรยานที่ระดับร้อยละ 70 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผลการศึกษาพบว่ากรดแลคติกในเลือดจะต่ำกว่าในนาทีที่ 15 ในขณะออกกำลังกาย และการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อสุทธีจะลดลงจากนาทีที่ 1 ถึง 15 ของการออกกำลังกายในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติเมื่อเปรียบเทียบกับภาวะปกติ

### ตัวแปรทางด้านชีวเคมี

ตัวแปรทางด้านชีวเคมีจากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการวัดระดับของธาตุเหล็กในเลือด โดยจะทำการวัดก่อนการฝึก และหลังการฝึก เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของระดับธาตุเหล็กในเลือด

### ธาตุเหล็ก

เหล็กเป็นองค์ประกอบหลักของร่างกาย โดยเหล็กส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่สำคัญ ได้แก่ ฮีโมโกลบิน และไมโอโกลบิน ซึ่งฮีโมโกลบินจะทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนในกระแสเลือดตลอดทั้งร่างกาย ส่วนไมโอโกลบินนั้นจะทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ร้อยละ 70 ของเหล็กในร่างกายจะอยู่ในระบบขนส่งออกซิเจน ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 30 จะถูกเก็บสะสม ธาตุเหล็กที่ร่างกายได้รับในแต่ละวันนั้นส่วนมากจะได้มาจากอาหารที่รับประทานเป็นหลัก ประมาณ 1-2 มิลลิกรัม และเหล็กที่ร่างกายสูญเสียไปนั้นจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับเหล็กที่ร่างกายได้รับต่อวัน ดังนั้นเหล็กในร่างกายจะอยู่ในภาวะสมดุล โดยเหล็กที่ใช้สร้างเม็ดเลือดแดงใหม่นั้นจะได้มาจากการสลายเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุ แต่หากมีการสูญเสียเหล็กมากกว่าปกติจะทำให้ความสามารถในการฝึกจะลดลง เนื่องจากเมื่อร่างกายมีระดับเหล็กที่ต่ำร่างกายจะไม่สามารถ

สร้างฮีโมโกลบินได้ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อระดับฮีโมโกลบินต่ำนั้นจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการใช้ออกซิเจน และการขนส่งออกซิเจนของเนื้อเยื่อของร่างกายและกล้ามเนื้อจะลดลง โดยความไม่เพียงพอของเหล็กจะเป็นตัวที่จำกัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตพลังงาน จึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของกล้ามเนื้อแบบแอโรบิก (วิปรี, 2552 และ Ryan, 2004) แต่นอกจากนี้เหล็กยังมีบทบาทในระบบการขนส่งออกซิเจนแล้ว ธาตุเหล็กยังมีบทบาทอื่นด้วยเช่นกัน (Banerjee, 2005)

#### บทบาทของธาตุเหล็ก

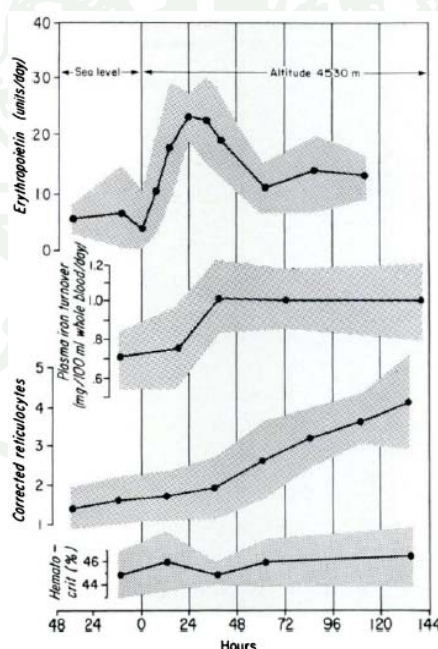
1. เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์มากมาย รวมถึงมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาของเซลล์
2. เป็นองค์ประกอบของกลุ่มการทำงานในการขนส่งออกซิเจนโดย ฮีโมโกลบินและไมโอโกลบิน
3. ธาตุเหล็กทำหน้าที่ในการขนส่งอิเล็กตรอน
4. มีความสามารถในการย้อนกลับวงจรระหว่างธาตุเหล็กในเลือดและธาตุเหล็กที่สะสมซึ่งมีความสำคัญในปฏิกิริยาออกซิเดชัน

#### การตอบสนองของธาตุเหล็กจากการสัมผัสภาวะพร่องออกซิเจนในที่ระดับความสูง

การสัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจนในที่ระดับความสูงภายในไม่กี่ชั่วโมงจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการย้อนกลับของธาตุเหล็ก (iron turnover) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของการย้อนกลับของธาตุเหล็กจะชี้ให้เห็นถึงความพยายามเพื่อที่จะชดเชยภาวะที่พร่องออกซิเจนโดยเป็นการเพิ่มการขนส่งออกซิเจน จากการศึกษาก่อนหน้านี้ได้มีการตั้งสมมุติฐานบนพื้นฐานการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮีโมโกลบินที่ควบคุมการสร้างเม็ดเลือดแดงที่ขาดธาตุเหล็ก (erythroporphyrins) ที่พบในระหว่างการสัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจนในช่วงแรก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความต้องการธาตุเหล็กของอวัยวะที่สร้างเม็ดเลือดแดง (erythropoietic organ) ไม่เพียงพอซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Reynafabje *et al.* (1959) พบว่า ความเร็วของธาตุเหล็กที่ออกมาจากพลาสมาไปยังอวัยวะที่สร้างเม็ดเลือดแดงไม่ได้รับการชดเชยด้วยความเร็วที่เท่ากันจากการสนับสนุนจากแหล่งสะสม ณ เวลานั้น ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าภายหลังการสัมผัสกับระดับความสูง 2 ชั่วโมงจะส่งผลให้ปริมาณความ

เนื้อของเหล็ก (inert iron) ในพลาสมาจะลดลง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสมดุลที่ติดลบชั่วคราวระหว่างการสนับสนุนและการดูดซึมของธาตุเหล็ก จากที่กล่าวมาจะสามารถบอกได้ว่าเหล็กที่สะสมนั้นจะต้องใช้เวลาค่อนข้างนานที่จะเข้าสู่พลาสมา โดยเหล็กที่ใช้ในขณะที่สัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจนในช่วงแรกนั้นจะมาจาก labile pool ซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากการทำลาย erythrocytic

ภายหลังจากการสัมผัสกับระดับความสูงในช่วงแรกจะพบว่าธาตุเหล็กที่มาสนับสนุนส่วนใหญ่จะได้มาจากการดูดซึมธาตุเหล็กที่เพิ่มขึ้นในลำไส้ และจากอวัยวะที่สะสม โดยจะมีผลตั้งแต่ 3-20 วันของการสัมผัสกับภาวะพร่องออกซิเจนในที่สูง ระดับของพลาสมาจะถูกรักษาไว้ไว้แม้จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากของการย้อนกลับของธาตุเหล็กและการดูดซึมสำหรับการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน เป็นที่คาดกันว่าในช่วง 3-20 วันจะเป็นช่วงที่อัตราการย้อนกลับของธาตุเหล็กจะเพิ่มขึ้นสูงที่สุด โดยการเปลี่ยนแปลงของแต่ละบุคคลในการตอบสนองต่อภาวะพร่องออกซิเจนในที่สูงชั่วคราวจะแตกต่างกันออกไป แต่ทุกคนจะมีการแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของการผลิตเซลล์เม็ดเลือดแดง (red cell) ที่แสดงเป็น มิลลิกรัมของธาตุเหล็กต่อน้ำหนักตัวของอัตราการย้อนกลับของธาตุเหล็กของเซลล์เม็ดเลือดแดง (milligrams of iron per body weight of the red cell iron turnover rate) (Reynafabje et al., 1959)



ภาพที่ 4 การตอบสนองของการสร้างเม็ดเลือดแดงในที่ระดับความสูง

ที่มา: Faura et al. (1969)

จากการศึกษาของ Faura *et al.* (1969) แสดงให้เห็นว่า ฮอร์โมนที่ควบคุมการสร้างเม็ดเลือดแดงในปัสสาวะ (Urinary erythropoietin) เพิ่มขึ้นภายใน 12 ชั่วโมงจากการสัมผัสกับระดับความสูง และจะเพิ่มสูงสุดภายใน 24 ชั่วโมง การย้อนกลับของธาตุเหล็กในพลาสมา (plasma iron turnover) จะเพิ่มขึ้นสูงสุดภายใน 24 ชั่วโมงจากการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนที่ควบคุมการสร้างเม็ดเลือดแดง (erythropoietin) และจะไม่มี的增加ขึ้นอีกใน 4 วัน เม็ดเลือดแดงอ่อน (reticulocyte) จะเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า แต่ครั้งหนึ่งของการเพิ่มขึ้นนั้นจะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่นานขึ้น ค่าฮีมาโทคริตจะคงตัวในระยะเวลา 7 วัน (ดังภาพที่ 5)

## สรุป

การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในการใช้ฝึกนักกีฬาประเภททีม เนื่องจากลักษณะของการฝึกนั้นมีความสอดคล้องกับธรรมชาติของกีฬาทیم เนื่องจากการเล่นหรือแข่งขันนั้น นักกีฬาจะต้องทำการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดหลายๆเที่ยวซ้ำๆ และเวลาพักในแต่ละเที่ยวจะค่อนข้างสั้น ซึ่งทำให้การฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำนั้นได้รับความนิยมในการนำไปใช้ฝึกนักกีฬาประเภททีม จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำนั้นช่วยเพิ่มสมรรถนะของนักกีฬาได้ในหลายๆด้านไม่ว่าจะเป็น สมรรถนะด้านแอโรบิก เช่น Yo-Yo Intermittent Recovery Test สมรรถนะด้านแอนแอโรบิก เช่น พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย CMJ เป็นต้น

การฝึกในที่สูงหรือการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน เป็นอีกวิธีที่ได้รับความนิยมค่อนข้างสูงในกลุ่มของผู้ฝึกหรือนักวิทยาศาสตร์การกีฬา ซึ่งในอดีตนั้นการฝึกในที่สูงหรือในภาวะพร่องออกซิเจนนั้นจะนิยมใช้ฝึกเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของนักกีฬาก่อนที่จะทำการแข่งขันในระดับความสูง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดข้อเสียเปรียบคู่ต่อสู้ แต่ต่อมาปัจจุบันการฝึกในที่สูงหรือในภาวะพร่องออกซิเจนได้รับความนิยมในการฝึกไม่ใช้แค่เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนที่จะไปแข่งขันในระดับความสูงเท่านั้น แต่ถูกนำมาใช้ฝึกเพื่อให้เกิดการพัฒนาของสมรรถนะของนักกีฬา เพื่อให้เกิดข้อได้เปรียบในการแข่งขันในระดับปกติ โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการฝึกในที่ระดับความสูงจะสามารถกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะด้านแอโรบิกและแอนแอโรบิก ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มขึ้นของ ฮีโมโกลบิน การเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดเลือดแดง การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นเลือดฝอย หรือแม้กระทั่งการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการควบคุมสมดุลกรด-ด่าง

ซึ่งด้วยเหตุผลนี้เองที่ทำให้การฝึกในที่สูงหรือการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

นอกจากการฝึกในที่สูงหรือการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน การฝึกในภาวะที่ปริมาณออกซิเจนในอากาศมากกว่าปกติก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจเช่นกัน โดยลักษณะของการฝึกนี้นักกีฬาจะได้รับออกซิเจนในขณะที่ฝึกในปริมาณที่มากกว่าปกติ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการได้รับออกซิเจนมากกว่าปกติในขณะที่ฝึกนั้นจะสามารถทำให้นักกีฬาฝึกได้ในระดับความหนักของงานที่มากกว่า หรือในระดับความหนักเดียวกันนั้น การฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะสามารถฝึกได้ในระดับความหนักที่มากกว่าเช่นกัน ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวทำให้การฝึกในลักษณะนี้เป็นที่น่าสนใจเช่นกัน จากการศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกตินั้นจะสามารถกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะด้านพลังสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาแล้วยังมีการศึกษาที่ค่อนข้างน้อย และยังไม่ชัดเจนในผลของการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำสามารถทำให้เกิดการพัฒนาของสมรรถนะของนักกีฬาได้อย่างชัดเจน และลักษณะของการฝึกมีความสอดคล้องกับธรรมชาติ หรือลักษณะของกีฬาประเภททีม แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบเพียงการศึกษาที่ทำการศึกษาในภาวะปกติ ยังไม่มีการศึกษาใดที่ทำการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนหรือภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ ซึ่งการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน และการฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ จากการศึกษามาก่อนจะเห็นได้ว่าปริมาณออกซิเจนในอากาศนั้นมีส่วนช่วยในการกระตุ้นทำให้เกิดการพัฒนาของสมรรถนะของนักกีฬาได้เช่นกัน การศึกษาในครั้งนี้จึงต้องการศึกษา ผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติที่มีผลต่อตัวแปรทางด้าน สมรรถนะ สรีรวิทยา และชีวเคมี ในนักกีฬาประเภททีม

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. นาฬิกาจับเวลา Casio รุ่น HS-30W
2. จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ MONARK รุ่น Ergomedic894 E
3. เครื่องจำลองภาวะอากาศบนที่สูง ATS-HP ประเทศออสเตรเลีย
4. เครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ( $\text{SaO}_2$ ) ยี่ห้อ Nonin รุ่น  $\text{GO}_2$  ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจยี่ห้อ Polar รุ่น S 625X ประเทศฟินแลนด์
6. เครื่องวิเคราะห์แลคเตทแบบพกพา Lactate Scout ประเทศเยอรมัน
7. เข็มฉีดยา ยี่ห้อ Nipro ขนาด 22 x 1"
8. ไซริงพลาสติก ยี่ห้อ Nipro ขนาด 5 ซีซี
9. หลอดเก็บเลือดฟาสีแดง ขนาด 16x100 มิลลิเมตร
10. สำลี
11. สายรัดแขน
12. ใบบันทึกผล

## วิธีการ

### ประชากร

กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้คือ นักกีฬาประเภททีม เพศชาย (ฟุตบอล ฟุตซอล บาสเกตบอล) จำนวน 50 คน ซึ่งมีอายุระหว่าง 19-23 ปี ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนเป็นผู้ที่มีสุขภาพดีไม่มีปัญหาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เป็นอุปสรรคต่อการทดลอง

### กลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬาประเภททีม เพศชาย (ฟุตบอล ฟุตซอล บาสเกตบอล) จำนวน 24 คน ซึ่งมีอายุระหว่าง 19-23 ปี ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) จากกลุ่มประชากรโดยมีวิธีการดังนี้

1. รวบรวมรายชื่อของนักกีฬาของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่เงื่อนไขกำหนด
2. คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) โดยใช้การจับฉลาก (lottery) ให้เหลือกลุ่มตัวอย่าง 24 คน

### เกณฑ์คัดเข้า

- มีสุขภาพสมบูรณ์ แข็งแรง ปราศจากโรคอันเป็นอุปสรรคต่อการทดลอง
- สมัครใจว่าจะเข้าร่วมการวิจัย

### เกณฑ์คัดออก

-มีการบาดเจ็บที่ไม่สามารถเข้าทำการฝึกได้

-มีโรคประจำตัวที่ไม่สามารถออกกำลังกายอย่างหนักได้

3. นำกลุ่มตัวอย่างมาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มกลุ่มละ 8 คน โดยแต่ละกลุ่มจะไม่มี ความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญของค่าพลังเฉลี่ย (mean power) โดยใช้วิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling)

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน (repeated sprinthypoxic training) ที่ระดับออกซิเจนในอากาศเท่ากับร้อยละ 13
2. โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (repeatedsprint hyperoxic training) ที่ระดับออกซิเจนในอากาศเท่ากับร้อยละ 40
3. โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนปกติ (repeated sprint training) โดยระดับออกซิเจนในอากาศเท่ากับร้อยละ 20.9

### ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการจากเอกสาร ตำรา งานวิจัย วิธีการและ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
2. จัดเตรียมสถานที่อุปกรณ์ไบบิ้นที่ผลการทดลองและเอกสารอธิบายรายละเอียดของ โครงการวิจัย
3. ก่อนทำการฝึก 3 วัน จะทำการทดสอบก่อนการฝึกซึ่งประกอบด้วย

3.1 ทำการบันทึกข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งประกอบไปด้วย น้ำหนัก ส่วนสูง อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก

3.2 ทำการตรวจสอบปริมาณธาตุเหล็กในเลือด โดยการเจาะเลือดที่ข้อพับแขนบริเวณ antecubital vein จำนวน 5 มิลลิลิตร โดยใช้ syringe ชนิดที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง หลังจากถอดเข็มออกแล้ว ฟันเลือดลงในหลอดเก็บตัวอย่างที่ไม่มีสารกันการแข็งตัวของเลือด แล้วนำเลือดส่งวิเคราะห์ ปริมาณธาตุเหล็ก ที่กลุ่มงานพยาธิวิทยาคลินิกโรงพยาบาลศูนย์นครปฐม ภายใน 6 ชม

3.3 ทำการทดสอบสมรรถนะด้าน พลังสูงสุด (peak power) พลังเฉลี่ย (mean power) และดัชนีความล้า (fatigue index) โดยใช้แบบทดสอบ วินเกต แอนแอโรบิกเทสต์ (Wingate anaerobic test) ของ Bar-Or (1987) โดยลักษณะการทดสอบจะให้ปั่นจักรยานโดยมีแรงต้านที่ความสามารถสูงสุดเป็นเวลา 30 วินาที ระหว่างการทดสอบจะทำการบันทึกจำนวนรอบการปั่น ทุกๆ 5 วินาที ซึ่งแรงต้านของแต่ละคนที่ใช้ในการทดสอบจะคำนวณจากสูตร แรงต้าน = น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)  $\times$  0.075

4. นำค่าพลังเฉลี่ยที่ได้มาแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 8 คน โดยค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มจะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5. ให้ตัวแทนกลุ่มจับฉลากเพื่อเลือกโปรแกรมฝึก โดยการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling)

6. ทำการฝึกตามโปรแกรมฝึกดังนี้

6.1 กลุ่มที่ 1 โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน (repeated sprint hypoxic training) ที่ระดับออกซิเจนในอากาศเท่ากับร้อยละ 13

6.2 กลุ่มที่ 2 โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (repeated sprint hyperoxic training) โดยระดับออกซิเจนในอากาศเท่ากับ ร้อยละ 40

6.3 กลุ่มที่ 3 โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนปกติ (repeated sprint training) โดยระดับออกซิเจนในอากาศเท่ากับร้อยละ 20.9

7. การฝึกทั้ง 3 รูปแบบจะทำการฝึก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์

8. การฝึกจะฝึกทั้งหมด 3 เซต เซตละ 7 รอบ แต่ละรอบจะประกอบด้วย การปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุด 5 วินาทีสลับกับการฟื้นตัวแบบมีการเคลื่อนไหว 55 วินาที ระหว่างเซตพัก 3 นาที

9. ในขณะที่ฝึกนั้นกลุ่มตัวอย่างจะต้องทำการปั่นที่ความสามารถสูงสุดในทุกรอบ

10. ก่อนการฝึกจะทำการอบอุ่นร่างกายเป็นเวลา 15 นาที และหลังจากฝึกเสร็จสิ้นจะทำการคลายอุ่นเป็นเวลา 25 นาทีซึ่งรูปแบบการอบอุ่นร่างกายและการคลายอุ่นนั้นจะใช้รูปแบบเดียวกันและทำในภาวะปกติ

11. ในขณะที่ทำการฝึกให้กลุ่มตัวอย่างสวมเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบดิจิทัลเพื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงของการฝึกและสวมเครื่องวัดออกซิเจนในเลือด ( $\text{SaO}_2$ ) เพื่อวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ( $\text{SaO}_2$ ) ในช่วงของการฝึก โดยการบันทึกจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงประกอบด้วย

11.1 ก่อนการปฏิบัติในแต่ละเซต จะทำการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจและค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด

11.2 ระหว่างการปฏิบัติในแต่ละเซตจะทำการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจและค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดทันทีหลังจากปั่นที่ความเร็วสูงสุด 5 วินาทีในทุกๆ เที้ยว และการบันทึกทุกๆ 10 วินาทีในช่วงระยะฟื้นตัว ของแต่ละเที้ยว

11.3 ช่วงพักระหว่างเซต จะทำการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณออกซิเจนในเลือดทุกๆ 1 นาที

12. การสะสมของกรดแลคติก จะทำการตรวจสอบทันทีภายหลังจากที่ทำการฝึกเสร็จสิ้นในครั้งแรกของการฝึก ภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้นในครั้งที่ 6 (สัปดาห์ที่ 3) และภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้นในครั้งที่ 12 (สัปดาห์ที่ 6) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แลคเตทแบบพกพา (Lactate Scout) การตรวจสอบจะทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้ว และนำเลือดมาหยดลงในแผ่นทดสอบด้านปลายสุด และเครื่องจะทำการวิเคราะห์ ภายในระยะเวลา 10 วินาที

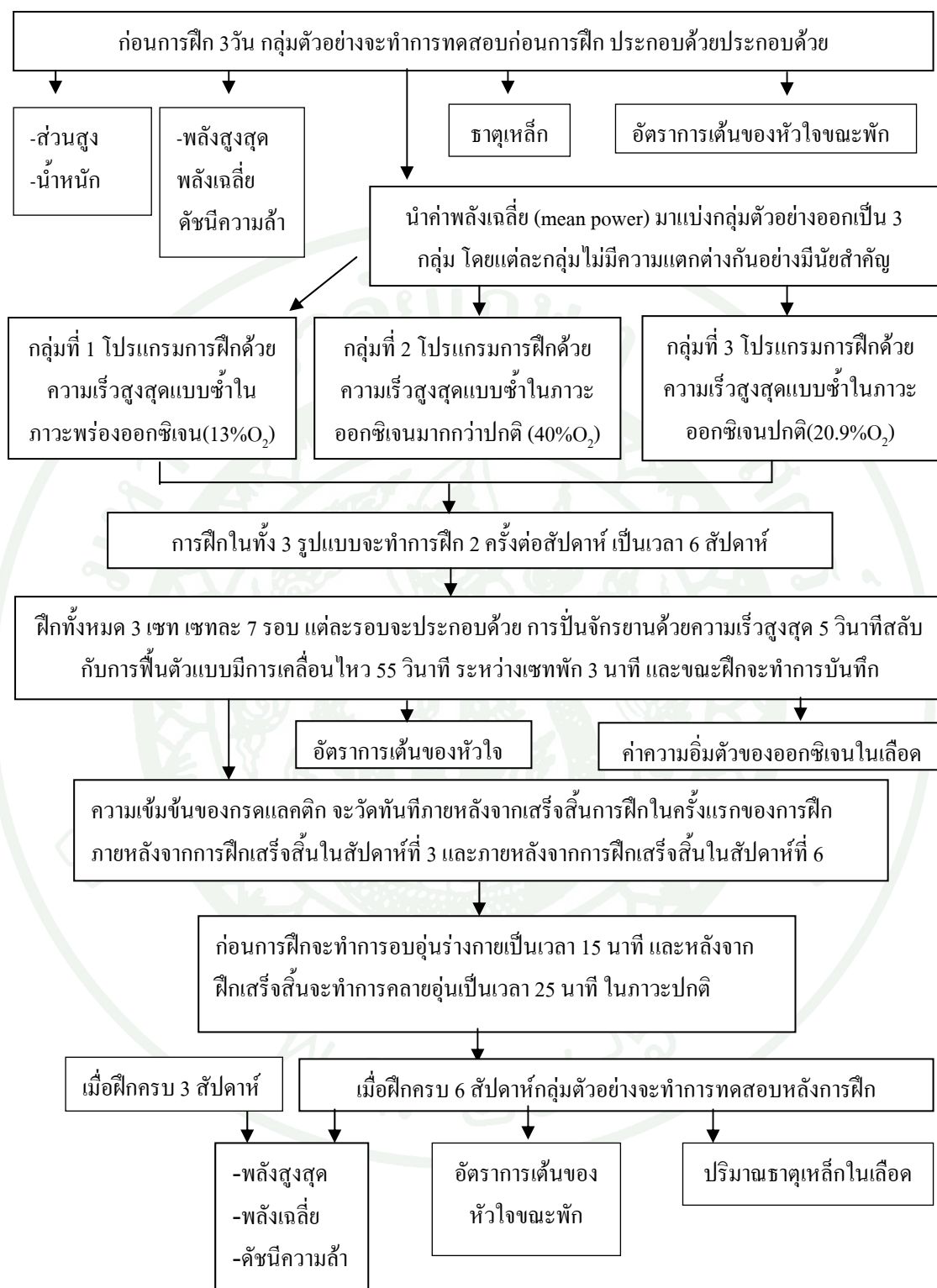
13. เมื่อฝึกครบ 3 สัปดาห์ จะทำการทดสอบภายหลังการฝึก ประกอบด้วย

13.1 ทดสอบพลังสูงสุดพลังเฉื่อย และ ดัชนีความล้าโดยใช้แบบทดสอบวินเกต แอนแอโรบิกเทสต์ (Wingate anaerobic test) ของ Bar-Or (1987)

14. เมื่อฝึกครบ 6 สัปดาห์ จะทำการทดสอบภายหลังการฝึก ประกอบด้วย

14.1 หลังจากเสร็จสิ้นการฝึกเป็นเวลา 3 วัน จะทำการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และทดสอบพลังสูงสุด พลังเฉื่อย และ ดัชนีความล้าโดยใช้แบบทดสอบวินเกต แอนแอโรบิกเทสต์ (Wingate anaerobic test) ของ Bar-Or (1987)

14.2 หลังจากเสร็จสิ้นการฝึกเป็นเวลา 5 วัน ทำการตรวจสอบปริมาณธาตุเหล็กในเลือด โดยการเจาะเลือดที่บริเวณข้อพับแขนบริเวณ antecubital vein จำนวน 5 มิลลิลิตร โดยใช้ syringe ชนิดที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง หลังจากถอดเข็มออกแล้ว ฟันเลือดลงในหลอดเก็บตัวอย่างที่ไม่มีสารกันการแข็งตัวของเลือด แล้วนำเลือดส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก ที่กลุ่มงานพยาธิวิทยาคลินิก โรงพยาบาลศูนย์นครปฐม ภายใน 6 ชม



ภาพที่ 5 ตารางการเก็บรวบรวมข้อมูล

## การใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปจากคอมพิวเตอร์ดังนี้

1. การคำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าพลังสูงสุด ค่าพลังเฉลี่ย ค่าดัชนีความล่า การสะสมของกรดแลคติกอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และระดับของธาตุเหล็กในเลือด
2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One Way Analysis of Variance with Repeated Measures) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างภายในกลุ่ม ของค่าพลังสูงสุด ค่าพลังเฉลี่ย ค่าดัชนีความล่า การสะสมของกรดแลคติกระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม
3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two Way Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ของค่าพลังสูงสุด ค่าพลังเฉลี่ย ค่าดัชนีความล่า การสะสมของกรดแลคติก
4. เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยวิธีการของ Tukey เมื่อพบว่าค่าเฉลี่ยของพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล่า และการสะสมของกรดแลคติก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายหลังการวิเคราะห์การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One Way Analysis of Variance with Repeated Measures)
5. การทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

### สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ระยะเวลาในการทำวิจัยตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2557

### ประโยชน์ที่จะได้รับ

ผลการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับผู้ฝึกสอน หรือนักวิทยาศาสตร์การกีฬาในการใช้เพื่อพัฒนาสมรรถนะ หรือใช้เพื่อเตรียมความพร้อมให้กับนักกีฬาก่อนการแข่งขัน

## ผลและวิจารณ์

### ผล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาประเภททีม (ฟุตบอล ฟุตซอล บาสเกตบอล) เพศชายจำนวน 30 คน ซึ่งมีอายุระหว่าง 19-23 ปี ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นผู้ที่มีความสุขดีไม่มีปัญหาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เป็นอุปสรรคต่อการทดลอง ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะ สรีรวิทยา และชีวเคมี ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ด้านสมรรถนะ ประกอบไปด้วย พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้า ด้านสรีรวิทยาประกอบไปด้วย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก การสะสมของกรดแลคติก และด้านชีวเคมี ประกอบไปด้วย ธาตุเหล็ก ผลการวิจัยนำเสนอเป็น 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของลักษณะทางกายภาพ สรีรวิทยา และชีวเคมี ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนและหลังการฝึก

ตอนที่ 2 การศึกษาและเปรียบเทียบ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า อัตราการใช้ ออกซิเจนสูงสุด และการสะสมของกรดแลคติก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ สรีรวิทยา และชีวเคมี ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนและหลังการฝึก

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะทางกายภาพ ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนและหลังการฝึก

| กลุ่ม                   | อายุ<br>(ปี) | น้ำหนัก<br>(กิโลกรัม) | ส่วนสูง<br>(เซนติเมตร) |
|-------------------------|--------------|-----------------------|------------------------|
| ภาวะปกติ                | 21.1±0.9     | 68.0±9.9              | 171.0±5.8              |
| ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ | 20.7±0.8     | 63.8±7.0              | 171.5±4.8              |
| ภาวะพร่องออกซิเจน       | 21.1±0.6     | 62.3±8.3              | 170.7±8.2              |

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ )

ตารางที่ 3 พบว่า กลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ มีอายุมีค่าเฉลี่ย 21.1±0.9 ปี น้ำหนักมีค่าเฉลี่ย 68.0±9.9 กิโลกรัม ส่วนสูงมีค่าเฉลี่ย 171.0±5.8 เซนติเมตร ตามลำดับ

กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ มีอายุมีค่าเฉลี่ย 20.7±0.8 ปี น้ำหนักมีค่าเฉลี่ย 63.8±7.0 กิโลกรัม ส่วนสูงมีค่าเฉลี่ย 171.5±4.8 เซนติเมตร ตามลำดับ

กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน มีอายุมีค่าเฉลี่ย 21.1±0.6 ปี น้ำหนักมีค่าเฉลี่ย 62.3±8.3 กิโลกรัม ส่วนสูงมีค่าเฉลี่ย 170.7±8.2 เซนติเมตร ตามลำดับ

**ตารางที่ 4** ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และธาตุเหล็กของกุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กุ่ม ก่อนและหลังการฝึก

| กุ่ม                    | อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก<br>(ครั้ง/นาที) |           | ปริมาณธาตุเหล็กในเลือด<br>(มิลลิกรัม) |            |
|-------------------------|--------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|------------|
|                         | ก่อน                                       | หลัง      | ก่อน                                  | หลัง       |
| ภาวะปกติ                | 78.1±8.9                                   | 76.2±10.2 | 98.9±20.8                             | 110.8±59.1 |
| ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ | 72.5±5.2                                   | 69.1±9.8  | 117.9±48.4                            | 110.7±37.6 |
| ภาวะพร่องออกซิเจน       | 72.2±7.8                                   | 68.8±10.8 | 96.0±20.3                             | 107.7±25.5 |

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ )

ตารางที่ 4 พบว่า กุ่มที่ฝึกในภาวะปกติอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการฝึกมีค่าเฉลี่ย 78.1±8.9 และ 76.2±10.2 ครั้ง/นาที ตามลำดับ ปริมาณธาตุเหล็กในเลือดก่อนและหลังการฝึกมีค่าเฉลี่ย 98.9±20.8 และ 110.8±59.1 มิลลิกรัม ตามลำดับ

กุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการฝึกมีค่าเฉลี่ย 72.5±5.2 และ 69.1±9.8 ครั้ง/นาที ตามลำดับ ปริมาณธาตุเหล็กในเลือดก่อนและหลังการฝึกมีค่าเฉลี่ย 117.9±48.4 และ 110.7±37.6 มิลลิกรัม ตามลำดับ

กุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการฝึกมีค่าเฉลี่ย 72.2±7.8 และ 68.8±10.8 ครั้ง/นาที ตามลำดับ ปริมาณธาตุเหล็กในเลือดก่อนและหลังการฝึกมีค่าเฉลี่ย 96.0±20.3 และ 107.7±25.5 มิลลิกรัม ตามลำดับ

**ตารางที่ 5** ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเดินของหัวใจขณะฝึก และค่าความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดขณะฝึก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 6

|                         | อัตราการเดินของหัวใจขณะฝึก<br>(ครั้ง/นาที) |              |              | ค่าความอึดตัวของออกซิเจนในเลือด<br>(เปอร์เซ็นต์) |              |              |
|-------------------------|--------------------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------------------------|--------------|--------------|
|                         | สัปดาห์ที่ 1                               | สัปดาห์ที่ 3 | สัปดาห์ที่ 6 | สัปดาห์ที่ 1                                     | สัปดาห์ที่ 3 | สัปดาห์ที่ 6 |
| ภาวะปกติ                | 163.7±12.9                                 | 156.8±6.5    | 157.3±11.2   | 96.8±0.8                                         | 96.7±1.1     | 94.9±5.1     |
| ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ | 157.1±6.3                                  | 156.6±10.1   | 154.3±8.5    | 98.1±0.9                                         | 98.9±0.5     | 98.4±1.2     |
| ภาวะพร่องออกซิเจน       | 163.4±12.2                                 | 159.0±6.4    | 160.1±12.4   | 82.7±2.6                                         | 84.3±2.0     | 85.9±3.0     |

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ )

ตารางที่ 5 พบว่า กลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติอัตราการเดินของหัวใจขณะฝึกในช่วงก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 6 มีค่าเฉลี่ย 163.7±12.9 156.8±6.5 และ 157.3±11.2 ครั้ง/นาที ตามลำดับ ค่าความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 6 มีค่าเฉลี่ย 96.8±0.8 96.7±1.1 และ 94.9±5.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติอัตราการเดินของหัวใจขณะฝึกในช่วงก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 6 มีค่าเฉลี่ย 157.1±6.3 156.6±10.1 และ 154.3±8.5 ครั้ง/นาที ตามลำดับ ค่าความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 6 มีค่าเฉลี่ย 98.1±0.9 98.9±0.5 และ 98.4±1.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน อัตราการเดินของหัวใจขณะฝึกในช่วงก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 6 มีค่าเฉลี่ย 163.4±12.2 159.0±6.4 และ 160.1±12.4 ครั้ง/นาที ตามลำดับ ค่าความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ 6 มีค่าเฉลี่ย 82.7±2.6 84.3±2.0 และ 85.9±3.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตอนที่ 2 การศึกษาและเปรียบเทียบ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสม ของกรดแลคติกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ก่อนการฝึก

|                         | ก่อนการฝึก            |                       |                     | การสะสมของ<br>กรดแลคติก<br>(มิลลิโมล/ลิตร) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------------|
|                         | พลังสูงสุด<br>(วัตต์) | พลังเฉลี่ย<br>(วัตต์) | ดัชนีความล้า<br>(%) |                                            |
| ภาวะปกติ                | 362.0±52.5            | 1722.0±226.2          | 43.0±10.1           | 17.7±3.2                                   |
| ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ | 362.0±44.5            | 1719.0±177.4          | 41.0±5.0            | 19.8±6.2                                   |
| ภาวะพร่องออกซิเจน       | 352.0±64.0            | 1678.0±251.4          | 42.0±9.5            | 18.9±6.0                                   |

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ )

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังสูงสุดก่อนการฝึกของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 362.0±52.5 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 362.0±44.5 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 352.0±64.0 วัตต์

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังเฉลี่ยก่อนการฝึกของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 1722.0±226.2 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 1719.0±177.4 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 1678.0±251.4 วัตต์

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความล้าก่อนการฝึกของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 43.0±10.1% กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 41.0±5.0% กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 42.0±9.5%

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสะสมของกรดแลคติกก่อนการฝึกของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย  $17.7 \pm 3.2$  มิลลิโมล/ลิตร กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย  $19.8 \pm 6.2$  มิลลิโมล/ลิตร กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย  $18.9 \pm 6.0$  มิลลิโมล/ลิตร



ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการ  
สะสมของกรดแลคติก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3

|                         | ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 |                       |                     |                                            |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------------|
|                         | พลังสูงสุด<br>(วัตต์)     | พลังเฉลี่ย<br>(วัตต์) | ดัชนีความล้า<br>(%) | การสะสมของกรด<br>แลคติก<br>(มิลลิโมล/ลิตร) |
| ภาวะปกติ                | 443.0±54.4                | 1727.0±216.3          | 58.0±7.8            | 13.6±5.3                                   |
| ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ | 426.0±41.2                | 1709.0±183.5          | 57.0±4.7            | 13.7±5.7                                   |
| ภาวะพร่องออกซิเจน       | 422.0±72.4                | 1739.0±214.5          | 57.0±6.1            | 15.7±4.8                                   |

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ )

จากตารางที่ 7 พบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังสูงสุดภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 443.0±54.4 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 426.0±41.2 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 422.0±72.4 วัตต์

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังเฉลี่ยภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 1727.0±216.3 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 1709.0±183.5 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 1739.0±214.5 วัตต์

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความล้าภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 58.0±7.8% กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 57.0±4.7% กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 57.0±6.1%

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสะสมของกรดแลคติกภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 13.6±5.3 มิลลิโมล/ลิตร กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 13.7±5.7 มิลลิโมล/ลิตร กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 15.7±4.8 มิลลิโมล/ลิตร

**ตารางที่ 8** ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการ  
สะสมของกรดแลคติก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6

|                         | ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 |                       |                     |                                            |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------------|
|                         | พลังสูงสุด<br>(วัตต์)     | พลังเฉลี่ย<br>(วัตต์) | ดัชนีความล้า<br>(%) | การสะสมของ<br>กรดแลคติก<br>(มิลลิโมล/ลิตร) |
| ภาวะปกติ                | 459.0±91.2                | 1906.0±386.5          | 61.0±8.7            | 14.0±3.8                                   |
| ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ | 498.0±64.6                | 1862.0±235.6          | 59.0±7.6            | 12.9±5.3                                   |
| ภาวะพร่องออกซิเจน       | 480.0±91.1                | 1900.0±266.1          | 56.0±6.4            | 13.4±2.0                                   |

หมายเหตุ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ )

จากตารางที่ 8 พบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังสูงสุดภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 459.0±91.2 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 498.0±64.6 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 480.0±91.1 วัตต์

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังเฉลี่ยภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 1906.0±386.5 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 1862.0±235.6 วัตต์ กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 1900.0±266.1 วัตต์

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีความล้าภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 61.0±8.7% กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 59.0±7.6% กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 56.0±6.4%

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสะสมของกรดแลคติกภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย 14.0±3.8 มิลลิโมล/ลิตร กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติมีค่าเฉลี่ย 12.9±5.3 มิลลิโมล/ลิตร กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 13.4±2.0 มิลลิโมล/ลิตร

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มของค่าพลังสูงสุด ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

| พลังสูงสุด<br>(วัตต์)         | ก่อนการฝึก<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) | ภายหลังจากการฝึก<br>สัปดาห์ที่ 3<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) | ภายหลังจากการฝึก<br>สัปดาห์ที่ 6<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| - ภาวะปกติ                    | 362.0 $\pm$ 52.5                     | 442.0 $\pm$ 54.4**                                         | 512.0 $\pm$ 91.2**/††                                      |
| - ภาวะออกซิเจนมากกว่า<br>ปกติ | 357.0 $\pm$ 44.5                     | 422.0 $\pm$ 41.2**                                         | 485.0 $\pm$ 64.6**/†                                       |
| - ภาวะพร่องออกซิเจน           | 352.0 $\pm$ 64.0                     | 422.0 $\pm$ 72.4**                                         | 480.0 $\pm$ 91.1**/†                                       |

หมายเหตุ \*\*มีความแตกต่างกับช่วงก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

†มีความแตกต่างกับช่วงภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

††มีความแตกต่างกับช่วงภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 9 เมื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่า กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดในภาวะปกติ พบว่าพลังสูงสุดในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ พบว่าพลังสูงสุดในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ ก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แต่ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดในภาวะพร่องออกซิเจน พบว่าพลังสูงสุดในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ ก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แต่ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าค่าพลังสูงสุดของกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน ในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบ ภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มของค่าพลังเฉลี่ย ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

| พลังเฉลี่ย<br>(วัตต์)     | ก่อนการฝึก<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) | ภายหลังจากการฝึก<br>สัปดาห์ที่ 3<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) | ภายหลังจากการฝึก<br>สัปดาห์ที่ 6<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| - ภาวะปกติ                | 1722.0 $\pm$ 226.2                   | 1727.0 $\pm$ 216.3                                         | 1906.0 $\pm$ 386.5                                         |
| - ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ | 1719.0 $\pm$ 177.4                   | 1709.0 $\pm$ 183.5                                         | 1862.0 $\pm$ 235.6†                                        |
| - ภาวะพร่องออกซิเจน       | 1678.0 $\pm$ 251.4                   | 1739.0 $\pm$ 214.5                                         | 1900.0 $\pm$ 266.1*/†                                      |

หมายเหตุ \*มีความแตกต่างกับช่วงก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

†มีความแตกต่างกับช่วงภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 10 เมื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดในภาวะปกติ พบว่าพลังเฉลี่ยในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ พบว่าพลังเฉลี่ยในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ในช่วงภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดในภาวะพร่องออกซิเจน พบว่าพลังเฉลี่ยในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าค่าพลังเฉลี่ยของกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน ในช่วงก่อนการฝึกกับ ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มของดัชนีความล้า ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

| ดัชนีความล้า<br>(เปอร์เซ็นต์) | ก่อนการฝึก<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) | ภายหลังจากการฝึก<br>สัปดาห์ที่ 3<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) | ภายหลังจากการฝึก<br>สัปดาห์ที่ 6<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| - ภาวะปกติ                    | 43.0 $\pm$ 10.1                      | 58.0 $\pm$ 7.8*                                            | 61.0 $\pm$ 8.7**                                           |
| - ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ     | 41.0 $\pm$ 5.0                       | 57.0 $\pm$ 4.7**                                           | 59.0 $\pm$ 7.6**                                           |
| - ภาวะพร่องออกซิเจน           | 42.0 $\pm$ 9.5                       | 57.0 $\pm$ 6.1**                                           | 56.0 $\pm$ 6.4**                                           |

หมายเหตุ \*มีความแตกต่างกับช่วงก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

\*\*มีความแตกต่างกับช่วงก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

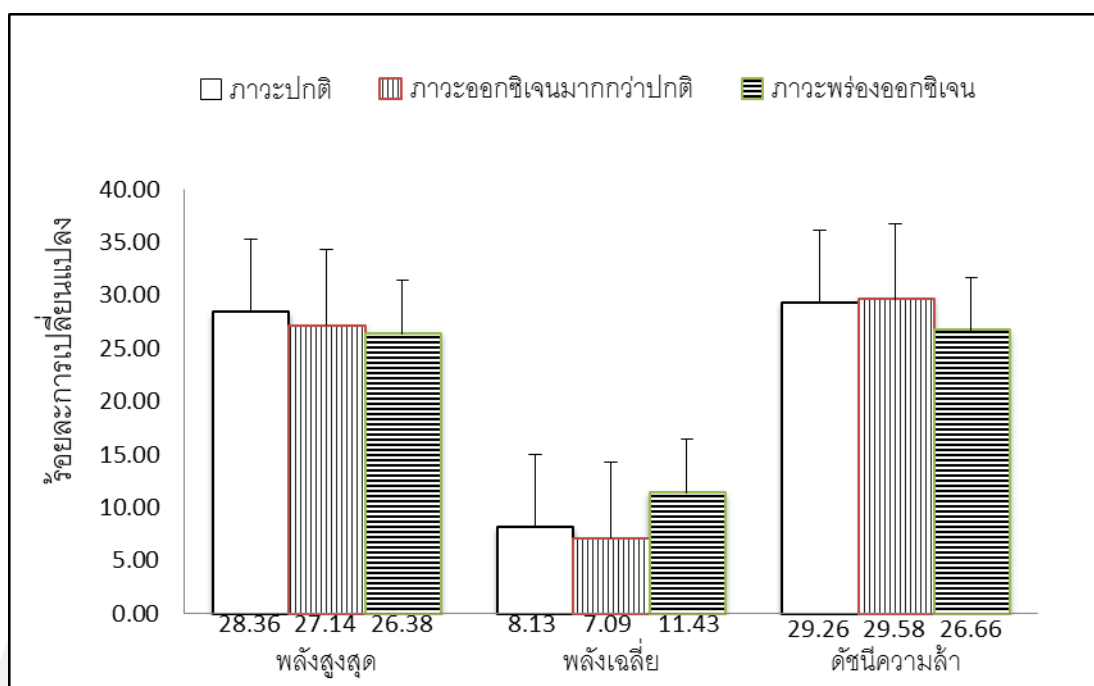
จากตารางที่ 11 เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบ พบว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ พบว่าดัชนีความล้าในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แต่ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ พบว่าดัชนีความล้าในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แต่ในช่วงภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน พบว่าดัชนีความล้าในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ ก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แต่ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าค่าดัชนีความถี่ของกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน ในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05





ภาพที่ 6 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้า เปรียบเทียบช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

จากภาพที่ 6 พบว่าพลังสูงสุดจะมีแนวโน้มการพัฒนามากกว่าจากการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบช้าในภาวะปกติ ส่วนพลังเฉลี่ยและดัชนีความล้าจะมีแนวโน้มการพัฒนามากกว่าจากการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบช้าในภาวะพร่องออกซิเจน

**ตารางที่ 12** การเปรียบเทียบภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มของการสะสมของกรดแลคติก ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

| การสะสมของกรดแลคติก       | ก่อนการฝึก<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) | ภายหลังจากการฝึก<br>สัปดาห์ที่ 3<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) | ภายหลังจากการฝึก<br>สัปดาห์ที่ 6<br>( $\bar{X} \pm S.D.$ ) |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| - ภาวะปกติ                | 17.7 $\pm$ 3.2                       | 13.6 $\pm$ 5.3                                             | 14.0 $\pm$ 3.8                                             |
| - ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ | 19.8 $\pm$ 6.2                       | 13.7 $\pm$ 5.7                                             | 12.9 $\pm$ 5.3*                                            |
| - ภาวะพร่องออกซิเจน       | 18.9 $\pm$ 6.0                       | 15.7 $\pm$ 4.8                                             | 13.4 $\pm$ 2.0                                             |

**หมายเหตุ** \*มีความแตกต่างกับช่วงก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

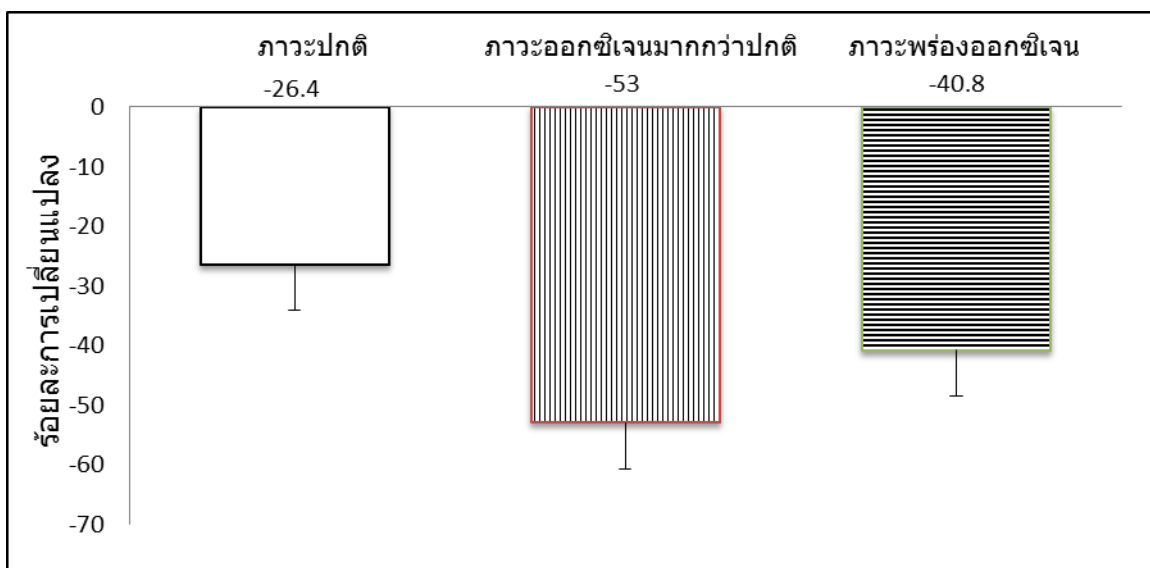
จากตารางที่ 12 เมื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ พบว่าการสะสมของกรดแลคติกในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ พบว่าการสะสมของกรดแลคติกในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน พบว่าการสะสมของกรดแลคติกในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าการสะสมของกรดแลคติกของกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน ในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05





ภาพที่ 7 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงการสะสมของกรดแลคติกเปรียบเทียบภายหลังจากเสร็จสิ้นการฝึกในครั้งแรก และครั้งสุดท้าย

จากภาพที่ 6 พบว่าการสะสมของกรดแลคติกจะมีการลดลงมากที่สุดในกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ รองลงมาจะเป็นกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน และกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ตามลำดับ

## วิจารณ์

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน โดยรูปแบบของการฝึกนั้นจะทำการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำเช่นเดียวกัน แต่จะมีความแตกต่างกันที่ปริมาณของออกซิเจนในอากาศ โดยกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ ปริมาณออกซิเจนในอากาศจะมีค่าเท่ากับ 20.9% กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ ปริมาณออกซิเจนในอากาศจะมีค่าเท่ากับ 40% และกลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะมีปริมาณออกซิเจนในอากาศเท่ากับ 13%

จากการศึกษาผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติที่มีผลต่อสมรรถนะด้านแอนแอโรบิกในนักกีฬาประเภททีม โดยทำการฝึก 6 สัปดาห์ และทำการทดสอบ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และปริมาณธาตุเหล็กในเลือดนั้นจะทำการทดสอบในช่วงก่อนการฝึก และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และอัตราการเต้นของหัวใจขณะฝึกและค่าความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดจะทำการบันทึกในขณะที่ทำการฝึก นำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ซึ่งการวิจารณ์ผลการวิจัยมีดังต่อไปนี้

### พลังสูงสุด

พลังสูงสุดของกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน เมื่อทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่า ค่าพลังสูงสุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 ก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าค่าพลังสูงสุดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 (ตารางที่ 9)

จากการศึกษาผลที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในทั้ง 3 ภาวะ จะมีความแตกต่างกันภายในกลุ่ม แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มนั้นไม่พบความแตกต่าง

ระหว่างกลุ่ม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมาจากลักษณะของการฝึกที่เป็นการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบช้า เพราะรูปแบบการฝึกจะเป็นลักษณะการฝึกแบบแอนแอโรบิกและมีแรงต้าน ซึ่งลักษณะของการฝึกที่มีแรงต้านเข้ามาเกี่ยวข้อง จะทำให้เกิดการพัฒนาของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ พลังของกล้ามเนื้อ และความอดทนของกล้ามเนื้อ และนอกจากนั้นการฝึกที่มีแรงต้านจะทำให้เกิดการพัฒนาของกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (fast twist fiber) และกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (slow twist fiber) (Hammill *et al.* 2010) ส่วนการฝึกแบบแอนแอโรบิกจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารตั้งต้นในการผลิตพลังงานไม่ว่าจะเป็น ATP CP และ ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ และนอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อความล้าที่เกิดขึ้นได้ในระดับที่ดีขึ้น (Plowman *et al.* 1988 and William *et al.* 2000)

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 (ภาพที่ 6) จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบช้าในภาวะปกติและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ จะมีการพัฒนาในระดับที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบช้าในภาวะพร่องออกซิเจน เนื่องจากในขณะทำการฝึกนั้นกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ ในช่วงระยะเวลาฟื้นตัวจะสามารถทำได้ดีกว่ากลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจน ซึ่งจะสังเกตได้จากค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำการฝึก ซึ่งจะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงที่สุด และค่าความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดขณะทำการฝึก จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะมีค่าความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด (ตารางที่ 5) จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้กลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ จะสามารถทำการฝึกในรอบต่อไปหรือในเซตต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งต่างจากกลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนในช่วงระยะฟื้นตัวจะทำได้ไม่ดีเท่ากับอีก 2 กลุ่ม ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้การปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุดในรอบต่อไป หรือในเซตต่อไปไม่สามารถทำได้ที่ระดับความหนักสูงเหมือนกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้กลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ และภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติเกิดการพัฒนาของพลังสูงสุดในระดับที่มากกว่า

แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบในภาวะปกติเพียงอย่างเดียวจึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในอากาศไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่าพลังสูงสุด ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Roel *et al.* (2007) ได้ศึกษาผลของการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจน โดยการฝึกจะทำการฝึกแบบหนักสลับเบา 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และฝึก

แบบต่อเนื่อง 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า พลังสูงสุดเมื่อทดสอบในภาวะปกติจะมีการเพิ่มขึ้นทั้ง 2 กลุ่ม แต่ไม่มีความแตกต่างเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม แต่เมื่อทำการทดสอบในภาวะพร่องออกซิเจนนั้นจะพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของพลังสูงสุดในกลุ่มที่ฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจนเพียงกลุ่มเดียว โดยกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกตินั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

### พลังเฉลี่ย

จากการศึกษาการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน ค่าพลังเฉลี่ยเมื่อทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่มของทั้ง 3 กลุ่ม พบว่ากลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนปกติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ทั้งในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่า ค่าพลังเฉลี่ยของทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 10)

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสามารถบอกได้ว่าลักษณะของการฝึกที่แตกต่างกันมีผลต่อระดับการพัฒนาของพลังเฉลี่ย ซึ่งพบว่ากลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะมีการพัฒนาที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ เนื่องจากในขณะที่ทำการฝึกกลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนในช่วงของการฟื้นตัวระหว่างเที่ยวหรือระหว่างเซตจะทำได้ไม่ดีเท่ากับอีก 2 กลุ่ม และในขณะที่ทำการฝึกนั้นปริมาณออกซิเจนในอากาศที่น้อยลงจะเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความหนักของการฝึกสูงขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะฝึกที่มีค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด (ตารางที่ 5) ซึ่งการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกรดแลคติก และการลดลงของความเป็นกรด-ด่างในกล้ามเนื้อและในเลือด จากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนทำให้เกิดความล้าสะสมในขณะที่ทำการฝึกในเที่ยวต่อไปหรือในเซตต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับ Robert et al. (2004) ได้กล่าวไว้ว่าเมื่อออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง

การแลกเปลี่ยนก๊าซจะไม่เพียงพอต่อความต้องการพลังงานของร่างกาย จึงทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการเผาผลาญพลังงานแบบแอโรบิก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติก และการคั่งของคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เข้าสู่ภาวะที่เลือดมีความเป็นกรดมากกว่าปกติ (acidosis) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุดในที่ขยับต่อไป กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะไม่สามารถทำได้ในระดับความหนักที่สูงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ แต่อย่างไรก็ตามการฝึกในภาวะที่เลือดมีความเป็นกรดมากกว่าปกติ (acidosis) จะทำให้เกิดการพัฒนาในด้านการทนต่อความล้าที่เกิดขึ้นได้ในระดับที่ดีขึ้น (Plowman *et al.* 1988 and William *et al.* 2000) และทำให้เกิดการพัฒนาของความสามารถในการควบคุมสมดุลกรด-ด่างของกล้ามเนื้อ (Edge *et al.* 2006) จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นสิ่งที่ทำให้กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนนั้นมีการพัฒนาในด้านพลังเฉลี่ยที่มากกว่ากลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ

แต่อย่างไรก็ตามหากระยะเวลาในการฝึกมีระยะเวลานานมากขึ้น อาจทำให้การพัฒนาที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้ เนื่องจากการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะใช้ช่วงระยะเวลาในการปรับตัวที่นานกว่าเมื่อเทียบกับการฝึกในภาวะออกซิเจนปกติ ซึ่งจากการศึกษาของ Vogt and Hoppeler *et al.* (2010) พบว่าภายหลังจากการฝึกแบบ อยู่ต่ำ-ฝึกที่สูง ความสามารถสูงสุดจะแสดงออกภายหลังจาก 7-10 วัน หลังจากสิ้นสุดการฝึก ส่วนการปรับตัวนั้นจะหายไปในระยะเวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Meeuwssen *et al.* (2001) ซึ่งได้ทำการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจนเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าเมื่อทำการทดสอบในช่วงก่อนการฝึกและภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้น 2 วัน ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดสอบภายหลังจากเสร็จสิ้นการฝึกเป็นเวลา 9 วัน พบว่า พลังสูงสุดและพลังเฉลี่ย จากการทดสอบด้วยวิธีการของ Wingate anaerobic test มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้นเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับตัวของกลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะยังไม่ใช้การพัฒนาที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

### ดัชนีความล้า

จากการศึกษาการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน ค่าดัชนีความล้าเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างภายในกลุ่มของทั้ง

3 กลุ่ม พบว่าค่าดัชนีความล้าของทั้ง 3 กลุ่ม ในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ส่วนช่วงภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มของทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 11)

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสามารถบอกได้ว่ากลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนจะทำให้เกิดการพัฒนาด้าน ดัชนีความล้าในระดับที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ ซึ่งการพัฒนาของดัชนีความล้าหมายถึงความแตกต่างของความสามารถสูงสุดกับความสามารถต่ำสุดที่ทำได้ในขณะทำการทดสอบด้วยวิธีการของ Wingate Anaerobic Test ในช่วง 0-30 วินาที ให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด จากการศึกษาในครั้งนี้กลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนในขณะทดสอบจะมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด จากที่กล่าวไว้ข้างต้นกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนจะทำให้เกิดการพัฒนาด้านพลังเฉลี่ยในระดับที่มากที่สุด เนื่องจากการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะทำให้เกิดการพัฒนาด้านการทนต่อความล้าที่เกิดขึ้นได้ในระดับที่ดีขึ้น (Plowman et al. 1988 and William et al. 2000) และทำให้เกิดการพัฒนาของความสามารถในการควบคุมสมดุลกรด-ด่างของกล้ามเนื้อ (Edge et al. 2006) ซึ่งการพัฒนาของพลังเฉลี่ยจะบ่งบอกถึงความอดทนของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความอดทนของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้ในขณะทำการทดสอบด้วยวิธีการของ Wingate Anaerobic Test กลุ่มตัวอย่างจะสามารถรักษาระดับความเร็วในการปั่นตลอด 30 วินาทีได้ในระดับที่ดี ส่งผลให้ความแตกต่างของความเร็วในการปั่นจักรยานในช่วงแรกๆ กับช่วงท้ายมีความแตกต่างที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติ และภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ดัชนีความล้าของกลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนในขณะทดสอบมีค่าที่ต่ำที่สุด

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงจะเห็นได้ว่าการฝึกในแต่ละรูปแบบนั้นจะทำให้เกิดการพัฒนาด้านที่แตกต่างกันออกไป แต่ไม่สามารถทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่มซึ่งอาจจะเนื่องมาจากระยะเวลาในการสัมผัสกับภาวะต่างๆมีระยะเวลาที่สั้นไปในแต่ละครั้งของการฝึกหรือจำนวนครั้งในการฝึกที่สั้นเกินไป ปัญหาในการควบคุมกิจวัตรประจำวันของกลุ่มตัวอย่าง และระยะเวลาระหว่างการทดสอบภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้นที่น้อยเกินไป จึงทำให้การพัฒนาของกลุ่มที่ฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนยังไม่ใช้การพัฒนาที่

ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงทำให้เห็นว่าความแตกต่างของภาวะอากาศ หรือปริมาณออกซิเจนในอากาศนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะที่ต่างกัน ดังนั้นการเลือกรูปแบบการฝึกแต่ละอย่างไปใช้ในการฝึกนั้นผู้ฝึกสอนควร จะเลือกรูปแบบการฝึกที่เหมาะสมต่อธรรมชาติของชนิดกีฬา หรือความต้องการของชนิดกีฬานั้นๆ โดยลักษณะของการฝึกที่แตกต่างกันย่อมให้ผลการพัฒนาของสมรรถนะที่แตกต่างกันเช่นกัน

### การสะสมของกรดแลคติก

จากการศึกษาการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติ ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะพร่องออกซิเจน การสะสมของกรดแลคติกเมื่อทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่ากลุ่มที่ ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะปกติและภาวะพร่องออกซิเจน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ การสะสมของกรดแลคติก ในช่วงก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ก่อนการฝึกกับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 กับภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มของทั้ง 3 ภาวะ พบว่าการสะสมของกรดแลคติกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตาราง 12)

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสามารถบอกได้ว่าปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่แตกต่างกันในขณะที่ทำการฝึกมีผลต่อการสะสมของกรดแลคติกในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งจากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่าในช่วงภายหลังจากการฝึกในสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะมีการสะสมของกรดแลคติกในระดับที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะพร่องออกซิเจน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศที่มากกว่าจะทำให้ในขณะที่ทำการฝึกที่ระดับความหนักเดียวกันการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนต่อความต้องการพลังงานของร่างกายทำได้ในระดับที่ดีกว่า ซึ่งทำให้ระดับการเผาผลาญพลังงานแบบแอโรบิกในกลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติจะมีระดับที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะพร่องออกซิเจน โดยการเผาผลาญพลังงานแบบแอโรบิกในระดับที่มากกว่าจะทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติก และการคั่งของคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับที่สูงขึ้น จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้กลุ่มที่ฝึกในภาวะปกติและภาวะพร่องออกซิเจนมีระดับการสะสมของกรดแลคติกในขณะที่ทำการฝึกที่สูงกว่ากลุ่มที่ฝึกในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ (Robert *et al.* 2004)

## ปริมาณธาตุเหล็กในเลือด

จากการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก (Serum Iron) เพื่อเป็นการยืนยันว่าการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกตินั้นไม่ก่อให้เกิดอันตรายจากภาวะขาดธาตุเหล็ก โดยธาตุเหล็กจะเป็นองค์ประกอบหลักของร่างกาย โดยเหล็กส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่สำคัญ ได้แก่ ฮีโมโกลบิน และ ไมโอโกลบิน ซึ่งฮีโมโกลบินจะทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนในกระแสเลือดตลอดทั้งร่างกาย ส่วนไมโอโกลบินนั้นจะทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนในกล้ามเนื้อร้อยละ 70 ของเหล็กในร่างกายจะอยู่ในระบบขนส่งออกซิเจน ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 30 จะถูกเก็บสะสม โดยเหล็กที่ใช้สร้างเม็ดเลือดแดงใหม่นั้นจะได้มาจากการสลายเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุ แต่หากมีการสูญเสียเหล็กมากกว่าปกติจะทำให้การลดลงของสมรรถนะทางกาย เนื่องจากเมื่อร่างกายมีระดับเหล็กที่ต่ำร่างกายจะไม่สามารถสร้างฮีโมโกลบินได้ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อระดับฮีโมโกลบินต่ำนั้นจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการใช้ออกซิเจน และการขนส่งออกซิเจนของเนื้อเยื่อของร่างกายและกล้ามเนื้อจะลดลง โดยความไม่เพียงพอของเหล็กจะเป็นตัวที่จำกัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตพลังงาน จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพพลังงานแบบแอโรบิก (วิปร, 2552 และ Ryan, 2004)

ซึ่งผลจากการทดสอบ กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดในภาวะปกติมีค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุเหล็กในเลือดก่อนการฝึกและหลังการฝึกเท่ากับ  $98.91 \pm 20.8$  และ  $110.86 \pm 59.1$  มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ กลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติก่อนฝึกและหลังฝึกมีค่าเท่ากับ  $117.92 \pm 48.4$  และ  $110.70 \pm 37.6$  มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ และกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนก่อนฝึกและหลังฝึกมีค่าเท่ากับ  $96.02 \pm 20.3$  และ  $107.75 \pm 25.5$  มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ ซึ่ง serum iron คือปริมาณของเหล็กที่จับอยู่กับ transferrin โดยจะมีค่าปกติเท่ากับ 50-175 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (Beutler *et al.*, 2003) จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุเหล็กเฉลี่ยนั้นอยู่ในเกณฑ์ปกติ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติและภาวะพร่องออกซิเจนนั้นไม่ก่อให้เกิดอันตรายจากภาวะขาดธาตุเหล็ก และการฝึกในระดับที่ปริมาณออกซิเจนในอากาศแตกต่างกันนั้นไม่ก่อให้เกิดข้อได้เปรียบหรือเสียเปรียบในการฝึก

## สรุปผล

เมื่อทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่ม ในช่วงก่อนฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 พบว่าพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้ง 3 กลุ่ม

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มในช่วงก่อนฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และ ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 พบว่าพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากในขณะที่ทำการฝึกนั้นผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมกิจวัตรประจำวันของกลุ่มตัวอย่างให้เหมือนหรือใกล้เคียงกันได้ และช่วงเวลาในการฝึกของแต่ละครั้งของแต่ละคนนั้นก็แตกต่างกัน ซึ่งเหตุผลที่ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นนักกีฬาประเภททีมของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ชั้นปีที่ 3 และ 4 ซึ่งลักษณะของรายวิชาเรียน ลักษณะของการเรียนก็จะมีความแตกต่างกัน และช่วงเวลาในการฝึกก็จะแตกต่างกัน จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลที่ทำให้ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่ม เนื่องจากภายหลังจากสิ้นสุดการฝึก ผู้วิจัยจะทำการทดสอบ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้า ภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้น 3 วัน ซึ่งปัจจัยด้านระยะเวลานี้เองที่ทำให้ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่าง ซึ่งจากการศึกษาของ Vogt and Hoppeler *et al.* (2010) ได้กล่าวไว้ว่าการฝึกในภาวะพร่องออกซิเจนจะใช้ช่วงระยะเวลาในการปรับตัวที่นานกว่าเมื่อเทียบกับการฝึกในภาวะออกซิเจนปกติ ซึ่งภายหลังจากการฝึกแบบอยู่ที่ต่ำ-ฝึกที่สูง ความสามารถสูงสุดจะแสดงออกภายหลังจาก 7-10 วัน หลังจากสิ้นสุดการฝึก ส่วนการปรับตัวนั้นจะหายไปในระยะเวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Meeuwssen *et al.* (2001) ซึ่งได้ทำการฝึกแบบความหนักไม่คงที่ในภาวะพร่องออกซิเจนเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าเมื่อทำการทดสอบในช่วงก่อนการฝึกและภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้น 2 วัน ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดสอบภายหลังจากเสร็จสิ้นการฝึกเป็นเวลา 9 วัน พบว่า พลังสูงสุด และพลังเฉลี่ย จากการทดสอบด้วยวิธีการของ Wingate anaerobic test มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงเห็นได้ว่าระยะเวลาในการทดสอบนั้นเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาประเภททีม (ฟุตบอล ฟุตซอล บาสเกตบอล) เพศชาย จำนวน 30 คน ซึ่งมีอายุระหว่าง 19-23 ปี ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ทำการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร้อมออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติที่มีผลต่อสมรรถนะด้านแอนแอโรบิกในนักกีฬาประเภททีม โดยทำการฝึก 6 สัปดาห์ และทำการทดสอบ พลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ส่วนอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และปริมาณธาตุเหล็กในเลือดนั้นจะทำการทดสอบในช่วงก่อนการฝึก และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

เมื่อทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่มของทั้ง 3 กลุ่ม พบว่า พลังสูงสุด และดัชนีความล้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ของทั้ง 3 กลุ่ม พลังเฉลี่ยมีเพียงกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร้อมออกซิเจนเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 ส่วนการสะสมของกรดแลคติกมีเพียงกลุ่มที่ฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติเท่านั้น ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มในช่วงก่อนฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6 พบว่าพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย ดัชนีความล้า และการสะสมของกรดแลคติก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากในขณะที่ทำการฝึกนั้นผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมกิจวัตรประจำวันของกลุ่มตัวอย่างให้เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันได้ และช่วงเวลาในการฝึกของแต่ละครั้งของแต่ละคนนั้นก็แตกต่างกัน

### ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการเพิ่มระยะเวลาในการฝึกที่มากขึ้น
2. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการเพิ่มกลุ่มตัวอย่างที่นำมาศึกษาให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มระดับความเชื่อมั่นของการทดลอง
3. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาในกลุ่มประชากร หรือกลุ่มตัวอย่างที่มีระดับความสามารถที่สูงขึ้น เช่น ระดับสโมสร และระดับทีมชาติ
4. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการควบคุมกิจวัตรประจำวันของกลุ่มตัวอย่างให้มีความคล้ายหรือมีความใกล้เคียงกันให้มากขึ้น เพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของการฝึก และการทดสอบ
5. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการฝึกในลักษณะที่สอดคล้องกับธรรมชาติของชนิดกีฬา เช่น กีฬาที่ใช้ลักษณะการวิ่งควรทำการฝึกโดยการวิ่ง

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ยุทธนา เรียนสร้อย. 2549. ผลของความหนักในการอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจงที่มีต่อสมรรถภาพทางด้านอนากาสนิยมในนักกีฬาฟุตบอล. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อ้างถึง อกิตลักษณ์เทียนทอง. 2546. การทดสอบพลังอนากาสนิยมและสมรรถภาพอนากาสนิยม. เอกสารประกอบการเรียนวิชาการทดสอบสมรรถภาพและการฝึกทางกาย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิพร วิประกษิต. 2552. แนวทางเวชปฏิบัติในการรักษาภาวะหัวใจเกินด้วยยาดีเฟอริโพรน. องค์การเภสัชกรรม, กรุงเทพฯ.

สุพิตร สมหาโต และ สุพัชรินทร์ ปานอุทัย. 2549. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรับรู้ความเหนื่อยและความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดที่ระดับความหนัก 50, 60, 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นชีพจรสูงสุดโดยใช้จักรยานวัดงาน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์การกีฬา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Adamos, T., Z. Papanikolaou, V. Voutselas, D. Soulas. 2008. Effect of hypoxia on interval moderate exercise. **Biology of Exercise**. 4: 1-16.

Banerjee, M. 2005. **Clinical Physiology An Examination Primer**. Cambridge University Press. United Kingdom.

Bangsbo, J., L. Norregaard and F. Thorso. 1991. Activity profile of competition soccer. **Can J Sport Sci**. 16(2):110-6.

Bannister, R.G., D.J. Cunningham. 1954. The effects on the respiration and performance during exercise of adding oxygen to the inspired air. **J. Physiol**. 125; 118-137.

Bar-Or, O. 1987. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. **Sports Med.** 4(6): 381-94.

Beutler, E., A.V. Hoffbrand and J.D. Cook. 2003. Iron deficiency and overload. **Hematology (Am Soc Hematol Educ Program)**. 40-61.

Bishop, D., O. Girard and A. Mendez-Villanueva. 2011. Repeated-Sprint Ability – Part II. **Sports Medicine**. 41(9): 741-756.

Bomba, T.O. 2006. **Total Training for Coaching Team Sports**. Sport Books Publisher, Canada.

\_\_\_\_\_. 2006. **Total Training for Coaching Team Sports**. Sport Books Publisher, Canada.

Cited D.K. Matthews and E.L. Fox. 1983. **The Physiological Basis of Physical Education and Athletics**. Philadelphia. English.

Bravo, D.F., M.F. Impellizzeri, E. Rampinini, C. Castagna, D. Bishop and U. Wisloff. 2008. Sprint vs. Interval training in football. **Int. Journal of Sports Medicine**. 29(8): 668-674.

Chick, T.W., D.M. Stark and G.H. Murata. 1993. Hyperoxic training increases work capacity after maximal training at moderate altitude. **Chest**. 104: 1759-1762.

Czuba, M., Z. Waskiewicz, A. Zajac, S. Poprzecki, J. Cholewa and R. Roczniok. 2011. The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. **Journal of Sports Science and Medicine**. 10: 175-183.

Dowson, B. R. Hopkinson, B. Appleby, G. Stewart and C. Roberts. 2004. Comparison of training activities and game demands in the Australian Football League. **J Sci Med Sport**. 7(3):292-301.

- Duncan, J.M., H.A. Wenger and H.J. Green. 1991. **Physiological Testing of the High Performance Athlete**. 2nd ed. Canadian Association of Sport Science, Ontario.
- Edge, J., D. Bishop. C. Goodman. 2006. The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. **European Journal of Applied Physiology**. 96: 97-105.
- Faura, J., J. Ramos, C. Reynafarje, E. English, P. Finne and C.A. Finch. 1969. Effect of Altitude On Erythropoiesis. **Blood**. 33(5): 668-676.
- Fernandez-Fernandez, J., R. Zimek, T. Wiewelhove and A. Ferrauti. 2012. High-Intensity Interval Training vs. Repeated-Sprint Training in Tennis. **Journal of Strength & Conditioning Research**. 26(1): 55-62.
- Gore, C.J., P.E. McSharry, A.J. Hewitt and P.U. Saunders. 2008. Preparation for football competition at moderate to high altitude. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**. 18(Suppl.1): 85-95.
- Hunter, J.R., B.J. O'Brien, M.G. Mooney, J. Berry, W.B. Young and N. Down. 2011. Repeated sprint training improves intermittent peak running speed in team-sport athletes. **Journal Strength & Conditioning Research**. 25(5): 1318-1325.
- Hammill, R. 2010. **Adaptations to Anaerobic Training Programs**. ES342-Spring 2010.
- Kilding, A.E., M. Wood, G. Sequeira and D. Bonetti. 2010. Effect of hyperoxic supplemented interval training on endurance performance in trained cyclists. **Sports Performance Research Institute New Zealand**.
- Malina, R.M. 1997. **Genetics of Fitness and Physical Performance**. Human kinetics. United States of America.

- Meeuwsen, T., I.J.M. Hendriksen and M. Holewijn. 2001. Training-induced increase in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. **European Journal of Applied Physiology**. 84: 283-290.
- Melissa, L., J.D. MacDougall, M.A. Tarnopolsky, N. Cipriano and H.J. Green. 1997. Skeletal muscle adaptations to training under normobaric hypoxic versus normoxic conditions. **Med Sci Sports Exerc**. 29(2): 238-43.
- McInnes, S.E. 1993. The physiological load imposed on basketball players during game play. **Department of Physical Education and Recreation Faculty of Human Development Victoria University of Technology**.
- Mohr, M., P. Krstrup and J. Bangsbo. 2003. Match performance of high-standard soccer players With special reference to development of fatigue. **Journal of Sports Sciences**. 21: 519–528.
- Morton, J.P. and N.T. Cable. 2005. The effects of intermittent hypoxic training on aerobic and anaerobic performance. **Ergonomics**. 48: 1535 – 1546.
- Perry, C.G., J. Reid, W. Perry and B.A. Wilson. 2005. Effect of hyperoxic training on performance and cardiorespiratory response to exercise. **Med.Sci.SportsExerc**. 37(7): 1175-9.
- Perry, C.G.R., J.L. Talanian, G.J.F. Heigenhauser and L.L. Spriet. 2007. The effect of training in hyperoxia vs. normoxia on skeletal muscle enzyme activities and exercise performance. **J Appl Physiol**. 102: 1022-1027.
- Plet, J., P.K. Pedersen, F.B. Jensen, J.K. Hansen. 1992. increased working capacity with hyperoxia in humans. **Eur J ApplPhysiolOccup Physiol**. 65: 171-177.

- Plowman, S.A., D.L. Smith. 1998. **Digital Image Archive for Exercise Physiology**. Allyn & Bacon.
- Plowman, S.A., D.L. Smith. 2003. **Exercise Physiology for Health Fitness and Performance**. Benjamin Cummings. San Francisco.
- Ponsot, E., S.P. Dufour, J. Zoll, S. Doutrelau, B. N'Guessan, B. Geny, H. Hoppeler, E. Lampert, B. Mettauier, R. Ventura-Clapier and R. Richard. Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. **J Appl Physiol**. 100: 1249–1257.
- Reynafabje, C., R. Lozano and J. Valdivieso. 1959. The Polycythemia of High Altitudes: Iron Metabolism and Related Aspects. **Blood**. 14(4): 433-55.
- \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 1959. The Polycythemia of High Altitudes: Iron Metabolism and Related Aspects. **Blood**. 14(4): 433-55. Cited C. Reynafarje and R. Lozano. 1956. Mechanisms of natural acclimatization. Observations on the iron metabolism and the free protoporphyrins of the erythrocytes in the polycythemia of high altitudes. **School of Aviation Medicine**. 55-99.
- Ri-Li, G. S. Witkowski, Y. Zhang, C. Alfrey, M. Sivieri, T. Karlsen, G.K. Resaland, M. Harber, J. Stray-Gundersen and B.D. Levine. 2001. Determinants of erythropoietin release in response to short-term hypobaric hypoxia. **J Appl Physiol**. 92: 2361–2367.
- Roberts, R.A. and R. Landwehr. 2002. The Surprising History of The “HRmax=220-age” Equation. **Journal of Exercise Physiology online**. 5: 1097-9751.
- \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 2002. The Surprising History of The “HRmax=220-age”

- Equation. **Journal of Exercise Physiology online**.5: 1097-9751. Cited M.J. Karvonen, E. Kentala and O. Mustala. 1957. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. **Ann Med ExperFenn**. 35(3): 307-315.
- Robergs, R.A., F. Ghiasvand and D. Parker. 2004. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. **Am J PhysiolRegulIntegr Comp Physiol**. 287: R502–R516.
- Roels, B., D.J. Bentley, O. Coste, J. Mercier and G.P. Millet. 2007. Effect of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-training athlete. **European Journal of Applied Physiology**. 101: 359-368.
- Ryan, M. 2004. Iron and athletic performance. **Human Kinetics-ATT**. 9(1): 50-51.
- Stellingwerff, T., L. Glazier, M.J. Watt, P.J. LeBlanc, G.J.F. Heigenhauser and L.L. Spriet. 2005. Effects of hyperoxia on skeletal muscle carbohydrate metabolism during transient and steady-state exercise. **J Appl Physiol**.98: 250–256.
- Sperlich, B., T. Schiffer, S. Achtzehn, J. Mester, H.C. Holmberg. 2010. Pre-exposure to hyperoxic air does not enhance power output during subsequent sprint cycling. **Eur J Appl Physiol**. 110: 301–305.
- Spencer, M., S. Lawrence, C. Rechichi, D. Bishop, B. Dawson and C. Goodman. 2004. Time–motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. **J Sports Sci**.22(9):843-50.
- Terrados, N., E. Jansson, C. Sylven and L. Kaijser. 1990. Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin. **J Appl Physiol**. 68(6): 2369-72.

- Tonnessen, E., S.A.I. Shalfawi, T. Haugen and E. Enoksen. 2011. The effect of 40-m repeated sprint training on maximum sprinting speed, repeated sprint speed endurance, vertical jump and aerobic capacity in young elite male soccer players. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 25(9): 2364-2370.
- Truijens, M.J., H.M. Toussaint, J. Dow and B.D. Levine. 2003. Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performance. **J Appl Physiol**. 94: 733-743.
- Vogt, M., A. Puntchart, J. Geiser, C. Zuleger, R. Billeter and H. Hoppeler. 2001. Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. **J Appl Physiol**. 91: 173-182.
- Vogt M and Hoppeler H. 2010. Is hypoxia training good for muscles and exercise performance?. **Cardiovascular Diseases**. 52: 525-533.
- Whyte G. 2006. **The Physiology of Training**. Churchill Livingstone Elsevier, United Kingdom.
- \_\_\_\_\_. 2006. **The Physiology of Training**. Churchill Livingstone Elsevier, United Kingdom.
- Cited E.F. Coyle. 1995. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. **Exerc Sport Sci Rev**. 23: 25-63.
- \_\_\_\_\_. 2006. **The Physiology of Training**. Churchill Livingstone Elsevier, United Kingdom.
- Cited S.B. Svedenhag. 1985. Applied physiology of marathon running. **Sports Med**. 2(2): 83-99.
- Wilber, R.L. 2011. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. **Journal of Human Sport & Exercise**. 6: 1-14.
- William, M.D. F.I. Katchand V.L. Katch. 2000. **Essentials of Exercise Physiology 2<sup>nd</sup> ed**. Image Collection. Lippincott Williams & Wilkins.

Zoll, J., E. Ponsot, S. Dufour, S. Doutreleau, R. Ventura-Clapier, M. Vogt, H. Hoppeler, R. Richard and M. Fluck. 2006. Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runner. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. **J Appl Physiol.** 100: 1258-1266.







## เอกสารชี้แจงข้อมูล

**ชื่อโครงการ** ผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจนและภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติที่มีผลต่อสมรรถนะด้านแอนแอโรบิก ในนักกีฬาประเภททีม

Effect of repeated sprints training in hypoxia and hyperoxia condition on anaerobic performance in team-sports players

**ผู้วิจัย** นายบรรหาร วิชญูปิติ

**สถานที่วิจัย** คณะวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

**วัตถุประสงค์**

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะปกติที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะด้านแอนแอโรบิก ระหว่างก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถนะด้านแอนแอโรบิก ระหว่างการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในภาวะพร่องออกซิเจน ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ และภาวะปกติ ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

**รายละเอียดที่จะปฏิบัติต่อผู้เข้าร่วมการวิจัย**

ผู้เข้าร่วมจะได้รับการเก็บข้อมูลทางด้านสมรรถนะ สรีรวิทยา และชีวเคมี 3 วัน ก่อนทำการฝึก หลังจากนั้นผู้เข้าร่วมวิจัยจะทำการฝึกโปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะมีความแตกต่างกันที่ปริมาณออกซิเจนในอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วย ภาวะปกติ ( $O_2=20.9\%$ ) ภาวะออกซิเจนมากกว่าปกติ ( $O_2=40\%$ ) และภาวะพร่องออกซิเจน

( $O_2=13\%$ ) โดยทำการฝึกสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยทำการทดสอบช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

#### 1. การวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก

ให้กลุ่มตัวอย่างสวมเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบดิจิตอลยี่ห้อ Polar รุ่น S 625X ประเทศฟินแลนด์เพื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักในช่วงก่อนการฝึก และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

#### 2. พลังสูงสุด

ให้กลุ่มตัวอย่างทดสอบโดยใช้วิธีการของวินเกต แอนแอโรบิกเทสต์ (Wingate anaerobic test) เพื่อทดสอบค่าพลังสูงสุด ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

#### 3. พลังเฉลี่ย

ให้กลุ่มตัวอย่างทดสอบโดยใช้วิธีการของวินเกต แอนแอโรบิกเทสต์ (Wingate anaerobic test) เพื่อทดสอบค่าพลังเฉลี่ย ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

#### 4. ดัชนีความล้า

ให้กลุ่มตัวอย่างทดสอบโดยใช้วิธีการของวินเกต แอนแอโรบิกเทสต์ (Wingate anaerobic test) เพื่อทดสอบค่าดัชนีความล้า ในช่วงก่อนการฝึก ภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 3 และภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6

#### 5. การสะสมของกรดแลคติก

ทำการเจาะเลือดที่ปลายนิ้วของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบการสะสมของกรดแลคติก โดยจะทำการตรวจสอบทันทีภายหลังจากที่ทำการฝึกเสร็จสิ้นในครั้งแรกของการฝึก ภายหลังจากการ

ฝึกเสร็จสิ้นในครั้งที่ 6 (สัปดาห์ที่ 3) และภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้นในครั้งที่ 12 (สัปดาห์ที่ 6) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แลคเตทแบบพกพา Lactate SCOUT การตรวจสอบจะใช้การเจาะเลือดที่ปลายนิ้ว และนำเลือดมาหยดลงในแผ่นทดสอบด้านปลายสุด และเครื่องจะทำการวิเคราะห์ภายในระยะเวลา 10 วินาที

#### 6. มาตรฐานหลัก

กลุ่มตัวอย่างจะทำการเจาะเลือดที่ข้อพับแขนบริเวณ antecubital vein จำนวน 5 มิลลิลิตร โดยใช้ syringe ชนิดที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง หลังจากถอดเข็มออกแล้ว ฟันเลือดลงในหลอดเก็บตัวอย่างที่ไม่มีสารกันการแข็งตัวของเลือด แล้วนำเลือดส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก ที่กลุ่มงานพยาธิวิทยาคลินิกโรงพยาบาลศูนย์นครปฐม ภายใน 6 ชม โดยทำการทดสอบในช่วงก่อนการฝึกและภายหลังจากการฝึกสัปดาห์ที่ 6



ใบบันทึกผล

ชื่อ-นามสกุล

น้ำหนักถ่วงที่ใช้

Kg

ค่าเฉลี่ย  $\text{SaO}_2 =$

ค่าเฉลี่ย HR = ครั้ง/นาที

คิดเป็น = ของ HRrev

คิดเป็น = ของ HRmax

|           |                |  |
|-----------|----------------|--|
| ก่อนเริ่ม | HR             |  |
| เซทที่ 1  | $\text{SaO}_2$ |  |

|            |           |                      |                                  |
|------------|-----------|----------------------|----------------------------------|
| ระหว่างพัก | เซทที่ 1  | อัตราการเดินของหัวใจ | ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด |
|            | นาทีที่ 1 |                      |                                  |
|            | นาทีที่ 2 |                      |                                  |

ใบบันทึกระหว่างการฝึก

| เซทที่ 1 | หลังจากปั่นทันที<br>5 วินาที |                  | ระยะเวลาในการฟื้นตัว |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  | ความเร็ว<br>(กิโลเมตร/<br>ชั่วโมง) |
|----------|------------------------------|------------------|----------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|------------------------------------|
|          |                              |                  | 10 วินาที            |                  | 20 วินาที |                  | 30 วินาที |                  | 40 วินาที |                  | 50 วินาที |                  |                                    |
|          | HR                           | SaO <sub>2</sub> | HR                   | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> |                                    |
| 1        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 2        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 3        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 4        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 5        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 6        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 7        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |

ใบบันทึกผล

ชื่อ-นามสกุล

น้ำหนักถ่วงที่ใช้

Kg

ค่าเฉลี่ย  $\text{SaO}_2 =$

ค่าเฉลี่ย HR =

ครั้ง/นาที

คิดเป็น =

ของ HRrev

คิดเป็น =

ของ HRmax

|           |                |  |
|-----------|----------------|--|
| ก่อนเริ่ม | HR             |  |
| เซทที่ 2  | $\text{SaO}_2$ |  |

|            |           |                      |                                  |
|------------|-----------|----------------------|----------------------------------|
| ระหว่างพัก | เซทที่ 2  | อัตราการเต้นของหัวใจ | ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด |
|            | นาทีที่ 1 |                      |                                  |
|            | นาทีที่ 2 |                      |                                  |

ใบบันทึกระหว่างการฝึก

| เซทที่ 2 | หลังจากปั่นทันที<br>5 วินาที |                  | ระยะเวลาในการฟื้นตัว |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  | ความเร็ว<br>(กิโลเมตร/<br>ชั่วโมง) |
|----------|------------------------------|------------------|----------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|------------------------------------|
|          |                              |                  | 10 วินาที            |                  | 20 วินาที |                  | 30 วินาที |                  | 40 วินาที |                  | 50 วินาที |                  |                                    |
|          | HR                           | SaO <sub>2</sub> | HR                   | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> |                                    |
| 1        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 2        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 3        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 4        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 5        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 6        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 7        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |

ใบบันทึกผล

ชื่อ-นามสกุล

น้ำหนักถ่วงที่ใช้

Kg

ค่าเฉลี่ย  $\text{SaO}_2 =$

ค่าเฉลี่ย HR =

ครั้ง/นาที

คิดเป็น =

ของ HRrev

คิดเป็น =

ของ HRmax

|           |                |  |
|-----------|----------------|--|
| ก่อนเริ่ม | HR             |  |
| เซทที่ 3  | $\text{SaO}_2$ |  |

ใบบันทึกระหว่างการฝึก

| เซทที่ 3 | หลังจากปั่นทันที<br>5 วินาที |                  | ระยะเวลาในการฟื้นตัว |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  | ความเร็ว<br>(กิโลเมตร/<br>ชั่วโมง) |
|----------|------------------------------|------------------|----------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|------------------------------------|
|          |                              |                  | 10 วินาที            |                  | 20 วินาที |                  | 30 วินาที |                  | 40 วินาที |                  | 50 วินาที |                  |                                    |
|          | HR                           | SaO <sub>2</sub> | HR                   | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> | HR        | SaO <sub>2</sub> |                                    |
| 1        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 2        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 3        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 4        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 5        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 6        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |
| 7        |                              |                  |                      |                  |           |                  |           |                  |           |                  |           |                  |                                    |

ใบบันทึกข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ชื่อ \_\_\_\_\_ นามสกุล \_\_\_\_\_ อายุ \_\_\_\_\_ ปี  
 ชนิดกีฬา \_\_\_\_\_

ตารางบันทึกผลการทดสอบ

| รายการทดสอบ                             | ผลการทดสอบ |         |
|-----------------------------------------|------------|---------|
|                                         | ก่อนฝึก    | หลังฝึก |
| น้ำหนัก (กิโลกรัม)                      |            |         |
| ส่วนสูง (เซนติเมตร)                     |            |         |
| อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที) |            |         |
| ระดับธาตุเหล็กในเลือด (มิลลิกรัม)       |            |         |

ใบบันทึกผลการทดสอบระดับความเข้มข้นของกรดแลคติก

ชื่อ \_\_\_\_\_ นามสกุล \_\_\_\_\_ อายุ \_\_\_\_\_ ปี  
 น้ำหนัก \_\_\_\_\_ กก. ส่วนสูง \_\_\_\_\_ ซม. ชนิดกีฬา \_\_\_\_\_

ตารางบันทึกผลการทดสอบ

ภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้นในครั้งแรก

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| การสะสมของกรดแลคติก(มิลลิโมล/ลิตร) |  |
|------------------------------------|--|

ภายหลังจากการฝึกเสร็จสิ้นในครั้งสุดท้าย

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| การสะสมของกรดแลคติก(มิลลิโมล/ลิตร) |  |
|------------------------------------|--|



## แบบสอบถาม

ชื่อ \_\_\_\_\_ นามสกุล \_\_\_\_\_ อายุ \_\_\_\_\_  
 น้ำหนัก \_\_\_\_\_ ส่วนสูง \_\_\_\_\_ ซี่พจนชนะพัก \_\_\_\_\_  
 ความดันโลหิต \_\_\_\_\_ ชนิดกีฬาที่เล่น \_\_\_\_\_

โรคประจำตัว 1. \_\_\_\_\_  
 2. \_\_\_\_\_  
 3. \_\_\_\_\_

ยาประจำตัว 1. \_\_\_\_\_  
 2. \_\_\_\_\_  
 3. \_\_\_\_\_

ปัญหาการบาดเจ็บ 1. \_\_\_\_\_  
 2. \_\_\_\_\_  
 3. \_\_\_\_\_

ความบ่อยในการออกกำลังกาย ☐ น้อยกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์  
☐ ครั้งต่อสัปดาห์  
☐ มากกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์

ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (ต่อครั้ง) ☐ น้อยกว่า 30 นาที  
☐ 30 นาที  
☐ มากกว่า 30 นาที

ความหนักในการออกกำลังกาย (ต่อครั้ง) ☐ เบา  
☐ ปานกลาง  
☐ หนัก



### การทดสอบด้วยวิธีวินเกต แอนแอโรบิกเทสต์(Wingate anaerobic test)

จะทำการทดสอบเพื่อตรวจสอบ พลังสูงสุด (peak power) พลังเฉลี่ย (mean power) และดัชนีความล้า (fatigue index)

วัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบ พลังสูงสุด (peak power) พลังเฉลี่ย (mean power) และดัชนีความล้า (fatigue index) โดยการปั่นจักรยานด้วยขา

อุปกรณ์ 1. จักรยานวัดงาน 2. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดสอบ ใช้หลักการ Wingate test

1. คำนวณหาแรงต้านของแต่ละผู้ทดสอบ จากสูตร แรงต้าน = น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) x 0.075
2. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบขึ้นนั่งบนจักรยานในท่าที่ถูกต้องและปรับระดับความสูงของเบาะ ให้มีความเหมาะสมกับระดับความสูงของผู้ทดสอบ
3. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบปั่นจักรยานอบอุ่นร่างกายประมาณ 2-4 นาที ค่อยๆเพิ่มความเร็วของการปั่นขึ้น เพื่อให้พร้อมสำหรับการทดสอบ
4. ผู้ช่วยคนที่ 1 ทำหน้าที่ปรับน้ำหนักถ่วงและให้สัญญาณบอก “เริ่ม” เมื่อผู้ช่วยคนที่ 1 บอกเริ่ม ให้ผู้ทดสอบปั่นจักรยานให้เร็วเต็มที่เป็นเวลา 30 วินาที ผู้ช่วยคนที่ 2 ทำหน้าที่จับเวลาโดยเริ่มจับเวลาเมื่อผู้ช่วยคนที่ 1 บอกเริ่ม ผู้ช่วยคนที่ 3 เริ่มนับจำนวนรอบที่ทำได้และผู้ช่วยคนที่ 1 เป็นผู้จดจำนวนรอบที่ได้ทุก 5 วินาที
5. เมื่อปั่นครบเวลาแล้วให้ปรับลดน้ำหนักถ่วงแล้วให้ผู้เข้ารับการทดสอบปั่นต่อซ้ำๆอีก 2 ถึง 3 นาที เป็นเป็นการคลายอุ่น

การบันทึก บันทึกผลจำนวนรอบที่ทำในวินาทีที่ 5 10 15 20 25 และ 30 นำผลที่ได้ไป  
คำนวณหาค่าพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้า

ที่มา: Bar-Or (1987)

การหาคำนวณหาค่าพลังสูงสุด พลังเฉลี่ย และดัชนีความล้าจากการทดสอบด้วยวิธีวินเกต  
แอนแอโรบิกเทสต์ (Wingate anaerobic test)(Bar-Or, 1987)

### 1. พลังสูงสุด(peak power)

$$\text{จากสูตร PP} = \text{rev (max) in 5 sec} \times D * \text{rev}^{-1} * F$$

|                       |                                       |
|-----------------------|---------------------------------------|
| PP                    | คือ พลังสูงสุด                        |
| Rev (max) in 5 sec    | คือจำนวนรอบที่มากที่สุดภายใน 5 วินาที |
| $D * \text{rev}^{-1}$ | คือระยะทางของวงล้อต่อรอบ (เมตร)       |
| F                     | คือแรงที่ตั้งค่า (กิโลกรัม)           |

### 2. พลังเฉลี่ย (mean power)

$$\text{จากสูตร MP} = \text{rev (total) in 30 sec} \times D * \text{rev}^{-1} * F$$

|                       |                                          |
|-----------------------|------------------------------------------|
| MP                    | คือ พลังเฉลี่ย                           |
| Rev (max) in 5 sec    | คือจำนวนทั้งหมดของรอบที่ปั่นใน 30 วินาที |
| $D * \text{rev}^{-1}$ | คือระยะทางของวงล้อต่อรอบ (เมตร)          |
| F                     | คือแรงที่ตั้งค่า (กิโลกรัม)              |

### 3. ดัชนีความล้า (fatigue index)

$$\text{จากสูตร FI} = \left[ 1 - \left( \frac{LP}{PP} \right) \right] \times 100$$

|    |                                         |
|----|-----------------------------------------|
| FI | คือ ดัชนีความล้า                        |
| LP | คือ พลังต่ำสุด x 5 วินาที <sup>-1</sup> |
| PP | คือ พลังสูงสุด x 5 วินาที <sup>-1</sup> |



ภาพผนวกที่ ๑1 จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ MONARK รุ่น Ergonomic 894E



ภาคผนวก จ

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจโปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในนักกีฬาประเภททีม

### รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจโปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในนักกีฬาประเภททีม

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ เทียนทอง      อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถาวรกมุทศรี      รองผู้อำนวยการวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬามหาวิทยาลัยมหิดล
3. อาจารย์นิกร ศรีแล      รองคณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและ  
สุขภาพ สถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตชุมพร



ภาคผนวก จ

โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในนักกีฬาประเภททีม

## โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำในนักกีฬาประเภททีม

### วัตถุประสงค์

เพื่อให้การฝึกมีความสอดคล้องกับรูปแบบและลักษณะของกีฬาทีม

### วิธีการ

โปรแกรมการฝึกด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ จะทำการฝึกสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยแต่ละครั้งของการฝึกจะเว้นช่วงอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 2 วัน ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกประมาณ 27 นาทีต่อครั้ง ซึ่งลักษณะการฝึกจะแบ่งออกเป็น 3 เซต โดยแต่ละเซตจะประกอบด้วย

1. การปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุด 5 วินาทีสลับกับการฟื้นตัวแบบมีการเคลื่อนไหว 55 วินาทีเท่ากับ 1 รอบ
2. ทำการฝึกทั้งหมด 7 รอบ ต่อ 1 เซต ทั้งหมด 3 เซต โดยระหว่างเซตพัก 3 นาที
3. การปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุดแต่ละรอบนั้น จะทำการถ่วงน้ำหนักโดยน้ำหนักที่ใช้จะคำนวณจากสูตร วินเกต แอนแอโรบิกเทสต์ (Wingate anaerobic test) ของ Bar-Or (1987)
4. ในช่วงของการพักระหว่างรอบ และระหว่างเซตนั้น จะไม่มีการถ่วงน้ำหนัก



ภาคผนวก ข  
การอบอุ่นร่างกายและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

## การอบอุ่นร่างกาย และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

เพื่อเตรียมอวัยวะระบบต่างๆของร่างกายให้พร้อมที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบประสาทกล้ามเนื้อ (neuromuscular system) ระบบหายใจ (respiratory system) และระบบไหลเวียนเลือด (circulatory system) ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องและควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายอีกทั้งยังมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของร่างกายประกอบด้วย

1. การอบอุ่นร่างกายแบบทั่วไปโดยการปั่นจักรยาน 5 นาที
2. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว 7 ท่า ท่าละ 12 ครั้ง แต่ละครั้งค้างไว้ 3 วินาที ประกอบด้วย

### 2.1 ท่าที่ 1

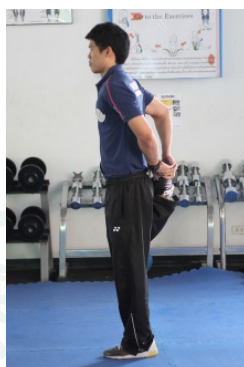


ภาพผนวกที่ ข1 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 1

กล้ามเนื้อที่ยืด Right gastrocnemius, right soleus, right plantaris, right popliteus, right flexor digitorum longus, right flexor hallucis longus, right posterior tibialis

วิธีปฏิบัติ ก้าวเท้าซ้ายมาทางด้านหน้า งอเข่าด้านซ้ายโดยที่เข่าไม่เลยปลายเท้า ขาขวาเหยียดตึงและส้นเท้าแนบติดกับพื้นลำตัวตั้งตรงหน้ามองตรงทำสลับขาซ้าย-ขวา

## 2.2 ทำที่ 2



ภาพผนวกที่ ข2 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ทำที่ 2

กล้ามเนื้อที่ยืด Right vastusmedialis, right vastusintermedius, right vastuslateralis, middle and upper right sartorius, right rectus femoris, right psoas major, right iliacus, right tensor fascia lata

วิธีปฏิบัติ ยืนลำตัวตรงหน้ามองตรงงอเข่าซ้ายขึ้น ใช้แขนจับที่ปลายเท้าดึงเข้าหาลำตัวทำสลับขาซ้าย-ขวา

## 2.3 ทำที่ 3



ภาพผนวกที่ ข3 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ทำที่ 3

กล้ามเนื้อที่ยืด Gluteus maximus, erector spinae, lower latissimusdorsi

วิธีปฏิบัติ ยืนลำตัวตรง งอเข่าด้านขวาเข้าหาลำตัวในลักษณะเข่างอ ใช้แขนทั้งสองข้างกอดที่บริเวณใต้เข่าและดึงเข้าหาลำตัว ทำสลับขาซ้าย-ขวา

## 2.4 ทำที่ 4



ภาพผนวกที่ ๔4 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ทำที่ 4

กล้ามเนื้อที่ยืด Hamstrings, gluteus maximus, erector spinae, lower latissimusdorsi

วิธีปฏิบัติ ยืนลำตัวตรง ยืดแขนมาทางด้านหน้า เทเขาด้านขวาไปทางด้านหน้าให้สัมผัสกับปลายนิ้วโดยที่ขาเหยียดตึงทำสลับขาซ้าย-ขวา

## 2.5 ทำที่ 5



ภาพผนวกที่ ๕5 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ทำที่ 5

กล้ามเนื้อที่ยืด Gluteus maximus and medius and minimus, tensor fascia lata

วิธีปฏิบัติ ยืนลำตัวตรงหน้ามองตรง ขาซ้ายเหยียดตึง ยกขาขวาขึ้นในลักษณะงอเข่าโดยที่ข้อเข่าชี้ออกไปทางด้านข้างลำตัว ใช้แขนข้างขวาจับที่ข้อเข่า และแขนด้านซ้ายจับที่ข้อเท้า ดึงขาเข้าหาลำตัว ทำสลับขาซ้าย-ขวา

## 2.6 ท่าที่ 6



ภาพผนวกที่ ข6 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 6

กล้ามเนื้อที่ยืด Rectus abdominis, external oblique, internal oblique, Quadriceps, sartorius, psoas major, iliacus, tensor fascia lata

วิธีปฏิบัติ ก้าวเท้าขวามาทางด้านหน้า ย่อตัวลงโน้มตัวมาทางด้านหน้าโดยที่ข้อเข่าด้านขวาไม่เลยปลายเท้า ยืนแขนทั้งสองข้างมาทางด้านหน้า ลำตัวตั้งตรงหน้ามองตรง บิดตัวไปทางด้านขวา ทำสลับขาซ้าย-ขวา

## 2.7 ท่าที่ 7



ภาพผนวกที่ ข7 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 7

กล้ามเนื้อที่ยืด Adductors, gracilis, pectineus, Sartorius, external oblique, internal oblique, quadratuslumborum

วิธีปฏิบัติ ก้าวเท้าซ้ายไปทางด้านข้างลำตัว งอเข่าซ้ายโดยที่ข้อเข่าไม่เลยปลายเท้า ขาขวาเหยียดตั้งโดยที่ฝ่าเท้าสัมผัสกับพื้น ยกแขนขวาเหยียดตั้งขึ้นเหนือศีรษะ โน้มตัวไปทางด้านขวา โดยใช้แขนซ้ายค้ำไว้ที่หน้าขาด้านซ้าย ทำสลับขาซ้าย-ขวา

### 3. การอบอุ่นร่างกายแบบเฉพาะเจาะจงเป็นเวลา 4 นาที ประกอบด้วย

3.1 การปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุด 5 วินาที สลับกับการพ่นตัวแบบมีการเคลื่อนไหว 55 วินาทีที่ใช้น้ำหนักถ่วง 50% ของการฝึกจริงทั้งหมด 2 รอบ

3.2 การปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุด 5 วินาที สลับกับการพ่นตัวแบบมีการเคลื่อนไหว 55 วินาทีที่ใช้น้ำหนักถ่วง 100% ของการฝึกจริงทั้งหมด 2 รอบ

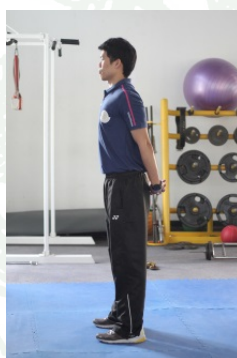


## การคลายอุ่น และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

เพื่อช่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อและช่วยระบายกรดแลคติกออกจากร่างกาย จะช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือดจากกล้ามเนื้อกลับสู่หัวใจ และช่วยให้อัตราการเต้นของหัวใจค่อยๆปรับลดลง ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการช่วยระบายของเสียออกจากร่างกาย จึงเป็นการช่วยลดอาการปวดหรือบวมภายในกล้ามเนื้อ และช่วยให้ร่างกายฟื้นฟูสภาพกลับสู่ภาวะปกติได้เร็วขึ้น โดยการคลายอุ่นประกอบด้วย

1. การปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำเป็นเวลา 15 นาที
2. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว 10 ท่า แต่ละท่าค้างไว้ 30 วินาทีประกอบด้วย

### 2.1 ท่าที่ 1



**ภาพผนวกที่ ๑1** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 1

กล้ามเนื้อที่ยืด Pectoralis, Deltoids, biceps

วิธีปฏิบัติ ยึดลำตัวตรงหน้ามองตรง นำมือทั้งสองข้างประสานกันไว้ด้านหลังตรงช่วงเอว ยึดหน้าอกขึ้นพร้อมกับดันแขนทั้งสองข้างขึ้นในแนวดิ่งโดยที่มือยังประสานกันอยู่

## 2.2 ทำที่ 2



ภาพผนวกที่ ข2 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ทำที่ 2

กล้ามเนื้อที่ยืด external oblique, internal oblique, Triceps, Latissimusdorsi

วิธีปฏิบัติ ยึดตัวตรงแยกเท้าทั้งสองข้างกว้างประมาณไหล่ ยึดแขนด้านซ้ายขึ้นแล้วงอข้อศอกลงไปแตะบริเวณข้อไหล่ ใช้แขนด้านขวาจับบริเวณข้อศอกด้านซ้าย เอนตัวไปทางด้านขวามือพร้อมกับใช้มือขวากดข้อศอกด้านซ้ายลง สลับข้างปฏิบัติ

## 2.3 ทำที่ 3



ภาพผนวกที่ ข3 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ทำที่ 3

กล้ามเนื้อที่ยืด Rectus abdominis, external oblique, internal oblique

วิธีปฏิบัติ ยึดตัวตรงแยกเท้าทั้งสองข้างกว้างประมาณไหล่ นำมือทั้งสองข้างมาแตะไว้บริเวณสะโพกด้านขวา เอนตัวไปทางด้านหลังพร้อมกับบิดตัวมาทางด้านขวา สลับข้างปฏิบัติ

## 2.4 ทำที่ 4



ภาพผนวกที่ ข4 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ทำที่ 4

กล้ามเนื้อที่ยืด Gastrocnemius, soleus, plantarispopliteus, flexor digitorumlongus, flexor hallucislongus, posterior tibialis

วิธีปฏิบัติ ยืนเท้าหน้าเท้าตามโดยเท้าซ้ายอยู่ทางด้านหน้า เอียงตัวมาทางด้านหน้าพร้อมกับงอเข่าด้านซ้าย ใช้มือทั้งสองข้างดันก้นกลับ โดยที่ขาด้านขวาเหยียดตึงและฝ่าเท้าแนบติดกับพื้น สลับข้างปฏิบัติ

## 2.5 ทำที่ 5

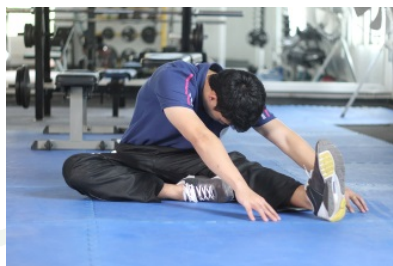


ภาพผนวกที่ ข5 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ทำที่ 5

กล้ามเนื้อที่ยืด Hamstrings,erectorspinae, lower latissimusdorsi, gluteus maximus

วิธีปฏิบัติ นั่งตัวตรง แยกขาทั้งสองข้างออกทางด้านข้างโดยที่ขาทั้งสองข้างเหยียดตึงเหยียดแขนทั้งสองข้างออกมาทางด้านหน้า ก้มตัวลงโดยที่ขาทั้งสองข้างยังเหยียดตึงอยู่

## 2.6 ท่าที่ 6



ภาพผนวกที่ ข6 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 6

กล้ามเนื้อที่ยืด ขาขวา : Gluteus medius and minimus, piriformis, quadratus femoris, erector spinae, lower latissimus dorsi

ขาซ้าย : gluteus maximus, Hamstrings, gastrocnemius

วิธีปฏิบัติ นั่งตัวตรง พับขาด้านขวาเข้าหาตัวโดยที่ขาซ้ายเหยียดตึง เหยียดแขนทั้งสองข้างออกไปทางด้านหน้า ก้มตัวลงโดยที่ขาซ้ายยังเหยียดตึง สลับข้างปฏิบัติ

## 2.7 ท่าที่ 7



ภาพผนวกที่ ข7 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 7

กล้ามเนื้อที่ยืด Gracilis, adductor magnus, adductor longus, adductor brevis, pectineus, middle part of sartorius, lower erector spinae, lower latissimus dorsi

วิธีปฏิบัติ นั่งตัวตรงพับขาทั้งเข้าหาตัวโดยที่ฝ่าเท้าทั้งสองข้างประกบกัน ใช้มือทั้งสองข้างจับที่เท้า ก้มตัวลงพร้อมกับใช้ข้อศอกกดที่บริเวณต้นขา

## 2.8 ท่าที่ 8



ภาพผนวกที่ ข8 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 8

กล้ามเนื้อที่ยืด ขาขวา : Gluteus maximus, gluteus medius, gluteus minimus, piriformis, gemellus superior, gemellus inferior, obturator externus, obturator internus, quadratus femoris, lower latissimus dorsi, erector spinae

ขาซ้าย : Gluteus maximus, gluteus medius

วิธีปฏิบัติ นอนลงกับพื้นแล้วงอเข่าด้านขวาดังขึ้น นำข้อเท้าด้านซ้ายมาพาดไว้ที่บริเวณข้อเข่าด้านขวา ในลักษณะเป็นรูปเลขสี่ ใช้มือทั้งสองข้างจับบริเวณใต้ข้อเข่าด้านขวาแล้วดึงเข้าหาลำตัว สลับข้างปฏิบัติ

## 2.9 ท่าที่ 9



ภาพผนวกที่ ข9 การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบไม่มีการเคลื่อนไหว ท่าที่ 9

กล้ามเนื้อที่ยืด Quadriceps, Tibialis anterior

วิธีปฏิบัติ พับเข่าทั้งสองข้างไปทางด้านหลังปลายเท้าเหยียดตึง นั่งทับลงบนขาทั้งสองข้าง เอนตัวไปทางด้านหลังโดยใช้มือค้ำกับพื้น

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ –นามสกุล        | นายบรรหาร วิชาญปิติ                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด | วันที่ 7 กรกฎาคม 2531                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| สถานที่เกิด          | จังหวัดสตูล                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ประวัติการศึกษา      | ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลสมุทรสงคราม<br>จังหวัดสมุทรสงคราม<br>ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนศรีทธาสมุทร จังหวัด<br>สมุทรสงคราม<br>ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์<br>การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา<br>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์<br>สถานที่ทำงานปัจจุบัน<br>ทุนการศึกษาที่ได้รับ |
|                      | โรงเรียนเบ็ดหมื่นตันบ้านทองหยอด<br>ทุนผู้ช่วยสอน บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์<br>ทุนการศึกษามหากรรมราชกรีฑาสโมสร ประจำปีการศึกษา<br>2554-2555                                                                                                                                        |