# ผลของการใช้รูปแบบการฟื้นตัวที่แตกต่างกันที่มีต่อกรดแลคติก อัตราการเต้นหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ

สมจินต์ เกิดโภคา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ สมจินต์ เกิดโภคา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬาของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา เจริญวัฒนะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.โรจพล บูรณรักษ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.บำรุงศักดิ์ เผื่อนอารีย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ดร.นิรอมลี มะกาเจ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุกัญญา เจริญวัฒนะ)

.....กรรมการ

(ดร.บำรุงศักดิ์ เผื่อนอารีย์)

.....กรรมการ

(ดร.ฉัตรกมล สิงห์น้อย)

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....ผู้รักษาการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

(นายเสถียร ปุรณะวิทย์)

วันที่ 19 เดือน มกราคม พ.ศ. 2561

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์และดุษฎีนิพนธ์สำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาชาวไทย
จากงานส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำปีงบประมาณ 2560

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยความเมตตากรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา เจริญวัฒนะ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และดร.โรจพล บูรณรักษ์ ดร.บำรุงศักดิ์ เผื่อนอารีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตลอดจน ดร.นิรอมลี มะกาเจ และดร.ฉัตรกมล สิงห์น้อย พร้อมคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพาทุก ๆ ท่านที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาให้อยู่ในวิธีการที่ถูกต้อง และแนะนำให้แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดี ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมเป็นแบบอย่างในการปฏิบัติตนที่ดี มีคุณค่า เป็นประโยชน์ต่อสังคม และฝึกปฏิบัติในสาขาวิชาชีพสรีรวิทยาการออกกำลังกายและการกีฬา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คุณอลงกรณ์ ประพัศรางค์ ที่คอยประคับประคองสนับสนุนการเรียนการศึกษา และการงานจนได้ดีมาถึงทุกวันนี้ รวมถึงคุณจเด็จ มีลาภ ที่ทำได้ข้าพเจ้าคนนี้ได้มีโอกาสทางการศึกษา ตลอดจนสโมสรชลบุรี เอฟ.ซี. ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้ทำงานในสโมสรที่มีชื่อเสียงโด่งดังทั้งในประเทศ และนอกประเทศ รวมถึงทีมงานสต๊าฟโค้ช และนักฟุตบอลทุก ๆ คนที่คอยช่วยเหลือ คอยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา และซาบซึ้งเป็นอย่างมากกับรุ่นพี่รุ่นน้อง เพื่อน ๆ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพาทุก ๆ ท่านที่ค่อยให้ความช่วยเหลือ แนะนำงานวิจัยให้สำเร็จรุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ที่พึ่งได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี คุณยายก่วง เทียมเลิศ คุณพ่อไพฑูรย์ เกิดโภคา คุณแม่ศศิธรการณ์ เทียมเลิศ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่คอยส่งเสริมเลี้ยงดูข้าพเจ้ามาตั้งแต่เด็ก คอยสนับสนุนข้าพเจ้า และอบรมนิสัยให้ข้าพเจ้าเป็นคนดี ทำในสิ่งที่ถูกต้อง ส่งเสริม ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ และปรารถนาดีต่อผู้วิจัยเสมอมา

สมจินต์ เกิดโภคา

57910098: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา; วท.ม.
(วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา)
คำสำคัญ: วิธีการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกาย/ กรดแลคติก/ สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก

สมจินต์ เกิดโภคา: ผลของการใช้รูปแบบการฟื้นตัวที่แตกต่างกันที่มีต่อกรดแลคติก อัตราการเต้นหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ (EFFECTS OF DIFFERENT RECOVERY TECHNIQUES ON BLOOD LACTATE, HEART RATE AND ANAEROBIC PERFORMANCE IN PROFESSIONAL FOOTBALL PLAYERS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุกัญญา เจริญวัฒนะ, ปร.ด. , โรจพล บูรณรักษ์, Ph.D., บำรุงศักดิ์ เผื่อนอารีย์, Ph.D. 111 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบรูปแบบการฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ ที่ส่งผลต่อปริมาณกรดแลคติก ในเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ภายหลังจากการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ (Repeated sprint test) ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ สโมสรชลบุรี เอฟ.ซี. จำนวน 9 คน (อายุ 20±0.00 ปี น้ำหนัก 66.52±3.50 กิโลกรัม สูง 171.88±3.82 เซนติเมตร และการใช้ออกซิเจน 62.40±0.42 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมต่อนาที กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำเพื่อประเมินค่าสมรรถภาพเชิงแอโรบิก และแอนแอโรบิกจากค่าดัชนีความเมื่อยล้า (เปอร์เซ็นต์) จากนั้นกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการทดลองโดยใช้การฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ และมีระยะเวลาของการทดลองในแต่ละรูปแบบห่างกัน 3 วัน กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนทำการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำและตามด้วยรูปแบบการฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ คือ รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็นอุณหภูมิที่ 11-15 องศาเซลเซียส 10 นาที รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็นอุณหภูมิที่ 11-15 องศาเซลเซียส 10 นาที รูปแบบ C การแช่น้ำเย็นอุณหภูมิที่ 11-15 องศาเซลเซียส 20 นาที และรูปแบบ D วิธีการยืดเหยียดแบบปกติของทีม ปริมาณค่ากรดแลคติกได้จากการเจาะเลือดบริเวณหูภายหลังจากการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำภายหลัง 3 นาที และภายหลังจากการฟื้นสภาพแบบมีกิจกรรมในแต่ละรูปแบบ อัตราการเต้นของหัวใจถูกวัดต่อเนื่องตลอดการทดลอง และค่าดัชนีความเมื่อยล้า (เปอร์เซ็นต์) ได้มาจากการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำภายหลังจากสิ้นสุดการฟื้นสภาพแบบมีกิจกรรมในแต่ละรูปแบบ นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (ANOVA for repeated measures with testing time) และเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ โดยวิธีของ Tukey กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิจับ พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าเฉลี่ยที่ (69.67±3.04, 70±4.23, 71.33±3.31, 68.44±2.57 ครั้งต่อนาที) และดัชนีความเมื่อยล้ามีค่าเฉลี่ยที่ (0.12±1.24, 0.14±1.23, 0.12±1.42, 0.08±1.37 เปอร์เซ็นต์) หลังสิ้นสุดการฟื้นสภาพแบบมีกิจกรรมใน 4 รูปแบบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) ปริมาณกรดแลคติกภายหลังการฟื้นสภาพแบบมีกิจกรรม พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F (1.48, 178.86) = 126.6, p < 0.01$) โดยรูปแบบ B ซึ่งเป็นการฟื้นสภาพแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็นอุณหภูมิที่ 11-15 องศาเซลเซียส 10 นาที สามารถลดปริมาณกรดแลคติกได้สูงสุด (B = 86.6 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการฟื้นสภาพแบบมีกิจกรรมภายใต้รูปแบบอื่น ๆ (A = 66.6 เปอร์เซ็นต์, D = 37.6 เปอร์เซ็นต์, C = 3.15 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่ากลยุทธ์ของการฟื้นสภาพแบบมีกิจกรรมที่ระดับความหนักที่เหมาะสมคือที่ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดร่วมกับการแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 11-15 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการฟื้นสภาพของนักกีฬาฟุตบอลอาชีพทั้งในช่วงของการฝึกซ้อมและภายหลังการสิ้นสุดการแข่งขัน

54910086: MAJOR: EXERCISE AND SPORT SCIENCE; M.Sc.
(EXERCISE AND SPORT SCIENCE)
KEYWORDS: RECOVERY AFTER EXERCISE/ LACTIC ACID/ ANAEROBIC PERFORMANCE

SOMJIN KERDPHOKHA: EFFECTS OF DIFFERENT RECOVERY TECHNIQUES ON BLOOD LACTATE, HEART RATE AND ANAEROBIC PERFORMANCE IN PROFESSOINAL FOOTBALL PLAYER. ADVISORY COMMITTEE: SUKANYA CHAROENWATTANA, Ph.D., ROJAPON BURANARUGSA, Ph.D., BUMRUNGSAK PHUENAREE, Ph.D. 111 P. 2017.

The objectives of this study were to compare effects of four active recovery techniques on blood lactate clearance, heart rate and fatigue index after repeated sprint in professional soccer players. A purposive sampling group by the power of tests not less than 0.8 and a similar maximum oxygen consumption ($\dot{V}O_2max$) from Yo-Yo Intermittent Recovery Test level 2 were included in this study. Nine professional soccer players from Chonburi football club (20 ± 0.00 yrs, weight 66.52 ± 3.50 kg, height 171.88 ± 3.82 cm and $\dot{V}O_2max$ 62.40 ± 0.42 ml/kg/min) participated in this study. Subjects completed initial repetitions repeated sprint test to evaluate aerobic and anaerobic fitness components by using fatigue index (%), Subsequently, four experimental session with 3 days intervals between session were organized during in season soccer training period. Each subject completed repeated sprint test follow by 4 recovery techniques (A, B, C and D): A) a combine recovery consisting of 10 min active cycling (30-40% HRmax) and 10 min cold water (11-15 Cº) immersion B) a combine recovery consisting of 10 min active cycling (50-60% HRmax) and 10 min cold water (11-15 Cº) immersion C) 20 min of cold water (11-15 Cº) immersion and D) 20 min of stretching. Blood lactate values 3 min after repeated sprint test and at the end of recovery were collected from the earlobe. Heart rate was recorded continuously during the experimental conditions. Post repeated sprint test was adopted in determining fatigue index after an each active recovery protocol. An ANOVA repeated measures with testing time (Pre-post) as within-factor and recovery techniques (A, B, C, and D) as between-factor were applied. When a significant interaction was obtained, a Turkey post hoc analysis was used to identify differences between means. Statistical significance was accepted at $p < .05$.

The result were finding heart rate (69.67 ± 3.04, 70 ± 4.23, 71.33 ± 3.31, 68.44 ± 2.57 beat/min) and fatigue index (0.12 ± 1.24, 0.14 ± 1.23, 0.12 ± 1.42, 0.08 ± 1.37 %) of four differences active recovery technique response across time revealed no statistically significant ($p > .05$). Blood lactate clearance after four difference active recovery techniques revealed statistically significant main effect across four intervention, ($F (1.48, 178.86) = 126.6$, $p < 0.01$). Group B) combine recovery consisting of 10 min active cycling (50-60% HRmax) and 10 min cold water (11-15 Cº) immersion showed faster lactate clearance (86.6 %) when compared to other three technique (Group A = 66.6%, Group D = 37.6%, Group C = 31.5%). Scientific evidence from this study suggest that active recovery strategy by combining appropriate intensity (50-60% HRmax) and cold water immersion (11-15 Cº) could be beneficial during acute periods of training and match congestion in professional soccer players.

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

คำถามการวิจัย..... 3

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 4

สมมติฐานในการวิจัย..... 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

ขอบเขตการวิจัย..... 4

ข้อตกลงเบื้องต้น..... 4

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย..... 5

นิยามศัพท์เฉพาะ..... 5

กรอบแนวความคิดการวิจัย..... 7

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 8

กีฬาฟุตบอล..... 8

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ..... 29

การฟื้นตัวภายหลังจากการออกกำลังกาย..... 38

3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า..... 50

ประชากร..... 50

กลุ่มตัวอย่าง..... 50

เกณฑ์ในการคัดเข้า-ออกของกลุ่มตัวอย่าง..... 51

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย..... 51

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | วิธีการดำเนินการวิจัยการเก็บรวบรวมข้อมูล | 53 |
| | การจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล | 56 |
| 4 | ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 57 |
| | ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 58 |
| 5 | อภิปรายและสรุปผล | 65 |
| | อภิปรายผล | 65 |
| | กรดแลคติกในเลือดภายหลังจากการฟื้นตัว | 65 |
| | อัตราการเต้นของหัวใจหลังการฟื้นตัว | 67 |
| | ดัชนีความเมื่อยล้าหลังการฟื้นตัว | 68 |
| | สรุปผลการวิจัย | 69 |
| | ข้อเสนอแนะ | 69 |
| | สำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป | 69 |
| บรรณานุกรม | | 70 |
| ภาคผนวก | | 81 |
| ภาคผนวก ก | | 82 |
| ภาคผนวก ข | | 89 |
| ภาคผนวก ค | | 97 |
| ภาคผนวก ง | | 102 |
| ภาคผนวก จ | | 105 |
| ประวัติย่อของผู้วิจัย | | 111 |

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

2-1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของระบบสรีรวิทยา และความแตกต่างในการพัฒนาองค์ประกอบฟิตเนส ..... 19

2-2 กำหนดระดับความหนักในการฝึกซ้อม ..... 24

2-3 การนับอัตราการเต้นของหัวใจภายในเวลา 10 วินาที หลังการออกกำลังกาย ..... 25

2-4 สรุปการล้าจากระบบประสาทส่วนปลายที่ส่งผลต่อการล้าของกล้ามเนื้อ ..... 33

2-5 กรดแลคติกในการแข่งขันฟุตบอล ..... 36

2-6 ระยะเวลาในการฟื้นตัวหลังจากออกกำลังกาย ..... 40

3-1 เครื่องมือทั่วไป ..... 51

3-2 เครื่องมือทดสอบสมรรถภาพทางกาย ..... 51

3-3 เครื่องมือทดสอบกรดแลคติก ..... 52

3-4 เครื่องมือทดสอบการฟื้นตัว ..... 52

4-1 ค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูลลักษณะทางกายภาพ และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนการทดลอง ของกลุ่มตัวอย่าง ..... 58

4-2 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรกรดแลคติกที่ศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง ..... 59

4-3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอัตราการเต้นของหัวใจที่ศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง ..... 60

4-4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรค่าดัชนีความเมื่อยล้าที่ศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง ..... 61

4-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดแลคติกที่ลดลงภายหลังกายฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ ..... 62

4-6 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ หลังการฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ ..... 63

4-7 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความล้า หลังการฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ ..... 64

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1-1 | กรอบแนวความคิดการวิจัย | 7 |
| 2-1 | การจำแนกของระบบพลังงานในการทำงาน | 10 |
| 2-2 | การทำงานของระบบเอทีพี และพีซี | 11 |
| 2-3 | กลไกการทำงานของระบบไกลโคไลซิส | 12 |
| 2-4 | ปฏิกิริยาในกระบวนการ วัฏจักรเครบส์ ที่มีสารประกอบและเอนไซม์เข้ามาทำปฏิกิริยา. | 14 |
| 2-5 | กลไกการใช้ออกซิเจนหลังจากกระบวนการสลายกลูโคส | 17 |
| 3-1 | ขั้นตอนการวิจัย | 55 |
| 4-1 | การเปรียบเทียบค่ากรดแลคติกที่ลดลงของแต่ละรูปแบบการฟื้นตัว | 63 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กีฬาฟุตบอลเป็นกีฬาสากลที่ได้รับความนิยมทั่วโลก ซึ่งใช้ระบบพลังงานแอนแอโรบิก และระบบพลังงานแอโรบิก ในการฝึกซ้อมอย่างเป็นระบบ ที่ต้องใช้ความหนักทั้งการฝึกซ้อม และแข่งขันเป็นระยะเวลานาน จึงส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าต่อนักกีฬา เกิดการระบมของกล้ามเนื้อ ทำให้ไม่สามารถฝึกซ้อมได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากส่งผลต่อสมรรถภาพทางกายลดลง

กิจกรรมที่มีความหนักของกีฬาฟุตบอลทั้งในขณะแข่งขันหรือการฝึกซ้อม เช่น การหดตัวของกล้ามเนื้อเต็มที่ การปะทะ การกระโดด การกลับตัวอย่างรวดเร็ว การสปริ๊นท์ จากการศึกษาพบว่ากีฬาฟุตบอลอาชีพมีการสปริ๊นท์ ทั้งหมด 19 ครั้ง ๆ ละ 2 วินาที ภายในระยะเวลา 7 นาที ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดนั้นมักจะเกิดขึ้นจากการใช้พลังงานรูปแบบแอนแอโรบิก (Bangsbo, 1994) จากการศึกษา พบว่าความเข้มข้นของแลคติกในเลือดของนักกีฬาฟุตบอลระดับดิวิชั่นวันของสวีเดน อยู่ที่ 9.5 และ 7.2 มิลลิโมลต่อเลือด 1 ลิตร หลังจากจบครึ่งแรก และครึ่งหลัง (Ekblom, 1986) ซึ่งทำให้นักกีฬาเกิดสมรรถภาพทางกายลดลง

การสลายกลูโคสในรูปแบบไม่ใช้ออกซิเจนจนทำให้สภาวะเลือด และเนื้อเยื่อในร่างกายมีความเป็นกรดมากกว่าปกติ หรือมีค่า pH ต่ำกว่าปกติ ในขณะพักร่างกายจะมีกรดแลคติกอยู่ประมาณ 1 มิลลิโมลต่อเลือด 1 ลิตร แต่ถ้ามีการออกกำลังกายอย่างหนักจะทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติกมากขึ้นและไม่สามารถกำจัดได้ทันจนเกิดกรดแลคติก มากกว่า 4 มิลลิโมลต่อเลือด 1 ลิตร จะทำให้ร่างกายเข้าสู่ภาวะที่เรียกว่า ระดับความอดทนของระบบแอนแอโรบิก (Anaerobic threshold) (Mcmillan et al., 2005) ดังที่ Girard, Mendez-Villanueva, and Bishop (2011) ได้ศึกษาผลของการ Repeat sprint test ในนักกีฬาฟุตบอล พบว่า ในแต่ละรอบของการสปรินท์ความสามารถของนักกีฬาลดลงเนื่องจากนักกีฬาเกิดการสะสมกรดแลคติกมากขึ้นส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าของร่างกายตามมา

กลไกของความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นต่อร่างกายมี 2 สาเหตุ ได้แก่ ความเมื่อยล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) และความเมื่อยล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) จากการศึกษาของ Shei and Mickleborough (2013) พบว่า ความเมื่อยล้าจากระบบส่วนกลาง เกิดจากการส่งสัญญาณของระบบประสาทส่วนกลาง และการทำงานของมอเตอร์ยูนิต (Motor unit) ลดลง ซึ่งเกิดบริเวณส่วนที่ต่อระหว่างระบบประสาท และกล้ามเนื้อที่มีการถ่ายทอด

สัญญาณประสาท ทำให้การส่งสัญญาณของระบบประสาท และการทำงานของกล้ามเนื้อลายลดลง (Lepers, Hausswirth, Maffiuletti, Brisswalter, & van Hoecke, 2000)

กลไกความเมื่อยล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย เป็นการสลายกลุ่มของฟอสเฟตที่เป็นสิ่งสำคัญเพื่อใช้ในการทำงานของเซลล์ การสลาย ATP จึงเป็นปัจจัยหลักสำคัญในการออกกำลังกาย (Bose, French, Evans, Joubert, & Balaban, 2003) สาเหตุของความเมื่อยล้ามีตั้งแต่บริเวณรอยต่อของประสาท และกล้ามเนื้อ โดยเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วทำให้เกิดสารสื่อประสาท อะเซติลโคลีน ลดน้อยลง ความเมื่อยล้ายังเกิดได้จากกล้ามเนื้อหดตัวมากเกินไป ทำให้เกิดความตึงตัว และเกิดความปวดเมื่อยส่งสัญญาณกลับไปยังสมองหรือไขสันหลัง และยับยั้งมอเตอร์นิวรอน ให้ลดการทำงานลง นอกจากนี้ความเมื่อยล้ายังเกิดจาก การลดลงของระบบพลังงาน ATP และ PC กับไกลโคเจน การคั่งของกรดแลคติกทำให้เกิดความเป็นกรดภายในเซลล์มากขึ้น ทำให้การปล่อยแคลเซียมน้อยลง และยับยั้งเอนไซน์ฟอสโฟฟรุคโตไคเนส (Phosphofructo kinase) ซึ่งเป็นเอนไซน์สำคัญในการเร่งปฏิกิริยาของระบบแอนแอโรบิกทำให้นำพลังงานมาใช้ได้น้อยลง การฟื้นตัวในกีฬาฟุตบอลนั้นมีหลายวิธี จากการศึกษาของ Ames (2014) กล่าวว่า การฟื้นตัวของร่างกายจากการฝึกซ้อมกีฬาฟุตบอลเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ร่างกายสามารถกลับมาฝึกซ้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การฟื้นตัวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การฟื้นตัวโดยมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว การแช่น้ำเย็นสลับน้ำร้อน การนวด การซาวน์น่า การรับประทานอาหาร การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Tessitore et al., 2008) โดยผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาวิธีการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และวิธีแช่น้ำเย็น

การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Active recovery) เป็นการฟื้นตัวที่ทำให้ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายดีขึ้นส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนสารอาหาร และออกซิเจน (Oxygen) ให้แก่กล้ามเนื้อได้ดีขึ้น ลดอาการล้าของกล้ามเนื้อ ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติก หรือของเสียออกจากร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Tessitore et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย McArdle Katch, and Katch (2010) ที่กล่าวว่ากรดแลคติกสามารถเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส โดยเข้าสู่กระบวนการกลูโคนีโอจีนีสิส โดยเอนไซม์แลคเตทดีไฮโดรจีเนส และส่งกลูโคสเข้าสู่กระบวนการกลูโคนีโอจีนีสิส และเข้าไปเก็บสะสมที่ตับและกล้ามเนื้อเพื่อใช้งานต่อได้ Wilcock (2005) กล่าวว่าการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวใช้ระยะเวลา 5-20 นาที และจากการศึกษาของ Robert and Scott (1997) ได้ศึกษาถึงระดับความหนักที่ 35-55 เปอร์เซ็นต์ $V\dot{O}_2max$ ในผู้ที่มีสุขภาพดีออกกำลังกายสม่ำเสมอสามารถทำให้การฟื้นตัวของร่างกายได้เร็วขึ้นกว่าการนั่งพักแบบปกติ และการออกกำลังกายแบบเบาที่ระดับ 50-65 เปอร์เซ็นต์ $V\dot{O}_2max$ สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากกรดแลคติกกลายเป็นกลูโคส และไกลโคเจนเก็บสะสมไว้ที่ตับ และกล้ามเนื้อ และยังสามารถ

ทำให้การฟื้นตัวของร่างกายได้เร็วกว่ากลุ่มควบคุม (Ali Rasooli, Jahromi, Asadmanesh, & Salesi, 2012) สอดคล้องกับการศึกษาของ Hannie, Hunter, Kekes-Szabo, Nicholson, and Harrison (1995) ที่ได้ศึกษาถึงการฟื้นตัวโดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 45 เปอร์เซ็นต์ ของ $V\dot{O}_2max$ สามารถสลายกรดแลคติกได้เร็วกว่ากลุ่มควบคุม และสอดคล้องกับพิชยา นพกาล (2556) ได้ศึกษาการฟื้นตัวบนลู่วิ่งที่ระดับความหนัก 40-45 และ 50-55 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) สามารถลดกรดแลคติกได้มากกว่ากลุ่มควบคุม

การฟื้นตัวแบบการแช่น้ำเย็น (Ice immersion) มีผลต่อระบบสรีรวิทยาโดยจะช่วยลดอุณหภูมิกล้ามเนื้อ ผิวหนัง และชั้นใต้ผิวหนัง (Elias et al., 2012) โดยการแช่ในน้ำเย็นในนักกีฬาฟุตบอล อุณหภูมิที่ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 นาที สามารถลดการระบมของกล้ามเนื้อได้มากกว่ากลุ่มควบคุมที่นั่งพักอย่างเดียว และมีการศึกษาถึงอุณหภูมิของน้ำ พบว่า การแช่น้ำเย็นอุณหภูมิที่ 11-15 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดการระบมของกล้ามเนื้อภายหลังจากออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง มากกว่าการแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิน้อยกว่า 10 องศาเซลเซียส และพบว่าระยะเวลาการแช่น้ำเย็นอยู่ระหว่าง 11-20 นาที ทำให้ลดการอักเสบ และการระบมของกล้ามเนื้อได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (Machado et al., 2015) การใช้ความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิในกล้ามเนื้อจะทำให้เกิดการกระตุ้นที่ตัวรับความรู้สึก (Cutaneous receptor) เป็นสาเหตุให้ระบบซิมพาเทติกสั่งการให้หลอดเลือดฝอยหดตัว ซึ่งทำให้ลดอาการบวม และการอักเสบโดยทำให้การเผาผลาญช้าลงและลดการผลิตสารที่ทำให้เกิดการอักเสบ และความเย็นสามารถทำให้การแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายนอกและภายในเซลล์ได้มากขึ้นในกล้ามเนื้อ (Seelwood, Brukner, William, Nicol, & Hinman, 2007) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ได้มีการศึกษาผลของการฟื้นตัวถึงระดับความหนักแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่วมกับผลของการฟื้นตัวการแช่น้ำเย็นจะส่งผลดีต่อนักกีฬาฟุตบอลในการฟื้นตัวอย่างไร เหมาะสมกับชนิดกีฬาฟุตบอลหรือไม่

จากเหตุผลที่กล่าวมานี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาถึงผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ และ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ร่วมกับการแช่น้ำเย็น เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนานักกีฬาในการฝึกซ้อม และการแข่งขัน โดยเกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อความพร้อมของร่างกายต่อไป

## คำถามการวิจัย

การฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ (A, B, C และ D) มีประสิทธิภาพแตกต่างกันหรือไม่

## วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบการฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ (A, B, C และ D) ที่มีผลต่อปริมาณกรดแลคติกในเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ระหว่างการฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่

1. รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ร่วมกับการแช่น้ำเย็น
2. รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ร่วมกับการแช่น้ำเย็น
3. รูปแบบ C การฟื้นตัวแบบแช่น้ำเย็น
4. รูปแบบ D การฟื้นตัวแบบยืดเหยียดแบบปกติของทีม

## สมมติฐานในการวิจัย

การฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ (A, B, C และ D) มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณกรดแลคติกในเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก แตกต่างกัน

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการฟื้นตัวของร่างกายนักกีฬาฟุตบอล เพื่อทำให้เกิดความพร้อมของร่างกายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
2. นำผลที่ได้ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าและศึกษาในกีฬาชนิดอื่น ๆ ต่อไป

## ขอบเขตการวิจัย

ประชากรในการศึกษา คือ นักกีฬาสโมสรฟุตบอลชลบุรี เอฟ.ซี. ทั้งหมด 33 คน ที่ทำการแข่งขันในระดับไทยพรีเมียร์ลีก ประจำปี พ.ศ. 2560 โดยมีเกณฑ์การคัดเข้ากลุ่ม และใช้อำนาจในการทดสอบไม่ต่ำกว่า 0.8 (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, 2005) สามารถคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้จำนวน 9 คน

## ข้อตกลงเบื้องต้น

กลุ่มตัวอย่างจะงดการออกกำลังกายอย่างหนักทุกประเภทอย่างน้อย 1 วัน ก่อนมาทำการทดลองทุกครั้ง และในขณะผู้รับการทดลองพักเป็นเวลา 3 วัน และงดการรับประทานอาหาร

ทุกชนิดในระหว่างการทดสอบ

## ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1. ตัวแปรอิสระ คือ รูปแบบการฟื้นตัวร่างกายนักกีฬา ดังนี้

1.1 รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดร่วมกับการแช่น้ำเย็น

1.2 รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดร่วมกับการแช่น้ำเย็น

1.3 รูปแบบ C การฟื้นตัวแบบแช่น้ำเย็น

1.4 รูปแบบ D การฟื้นตัวแบบยืดเหยียดแบบปกติของทีม

2. ตัวแปรตาม คือ

2.1 ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด

2.2 อัตราการเต้นหัวใจ

2.3 สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การฟื้นตัว (Recovery) หมายถึง การฟื้นคืนสู่สภาวะปกติของร่างกายหลังจากการฝึกซ้อม ในการวิจัยใช้การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Active recovery) โดยมีรูปแบบการปั่นจักรยานที่มีความหนักแตกต่างกันในการปั่นจักรยานจำนวน 2 กลุ่ม รูปแบบการแช่น้ำเย็น และรูปแบบการฟื้นตัวแบบยืดเหยียดแบบปกติของทีม โดยมีรายระเอียดดังนี้

1.1 รูปแบบ A การฟื้นตัวโดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Heart rate maximum: HRmax) ขั้นตอนนี้ใช้เวลาทั้งหมด 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 10 นาที

1.2 รูปแบบ B การฟื้นตัวโดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Heart rate maximum: HRmax) ขั้นตอนนี้ใช้เวลาทั้งหมด 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 10 นาที

1.3 รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น (Cold water immersion) คือ วิธีการฟื้นตัวโดยการแช่ส่วนของบริเวณเท้าจนถึงเอวของร่างกายลงในบ่อน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 11-15 องศา เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้เครื่องทำความเย็น รุ่น LPG-10-5CR

1.4 รูปแบบ D การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching) คือ วิธีการฟื้นตัวโดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นกลไกการเพิ่มให้เส้นใยกล้ามเนื้อ และพังผืดในแต่ละชั้นที่ปกคลุมกล้ามเนื้อยืดยาวออกกว่าปกติ

2. กรดแลคติก (Lactic acid) หมายถึง ผลิตผลจากกระบวนการสร้างพลังงานมีอะตอมของไฮโดรเจนกับน้ำ ทำปฏิกิริยากับกรดไพรูวิก เกิดเป็นกรดแลคติกภายในกล้ามเนื้อ ถ้ามีปริมาณของกรดแลคติกมากเกินไป จะเกิดสภาวการณ์ทำให้กล้ามเนื้อไม่สามารถยืดหรือหดตัวได้ตามปกติ หรือมีความเมื่อยล้าเกิดขึ้น โดยใช้การเจาะเลือดบริเวณติ่งหู

3. สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก (Anaerobic performance) หมายถึง ความสามารถของร่างกายโดยไม่ใช้ออกซิเจน ขึ้นอยู่กับสมรรถภาพ และกระบวนการเผาพลาญของกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อในการทำงานอย่างรวดเร็ว และออกแรงต่อเนื่องในเวลาจำกัด ในการทดสอบครั้งนี้ใช้การหาค่าสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก โดยการทดสอบภาคสนาม (Field test) ด้วยวิธีการสปริ๊นด้วยความเร็ว (Repeat sprint ability)

การทดสอบ Repeat-sprint ability หมายถึง การทดสอบความสามารถในการสปริ๊นท์ด้วยความเร็วสูงสุดของร่างกายจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด โดยทำซ้ำ 5 รอบ และระยะเวลาสั้น ๆ ในการฟื้นตัว เพื่อประเมินค่า ความล้า และค่าพลังสูงสุด (Girard et al., 2011) โดยใช้สูตรดังนี้

$$\mathrm{FI} = 100 \times \frac{\mathrm{Sbest} - \mathrm{Sworst}}{\mathrm{Sbest}}$$

FI คือ ค่าดัชนีความล้า

Sbest คือ ครั้งที่ทำเวลาได้ดีที่สุด

Sworst คือ ครั้งที่ทำเวลาได้แย่ที่สุด

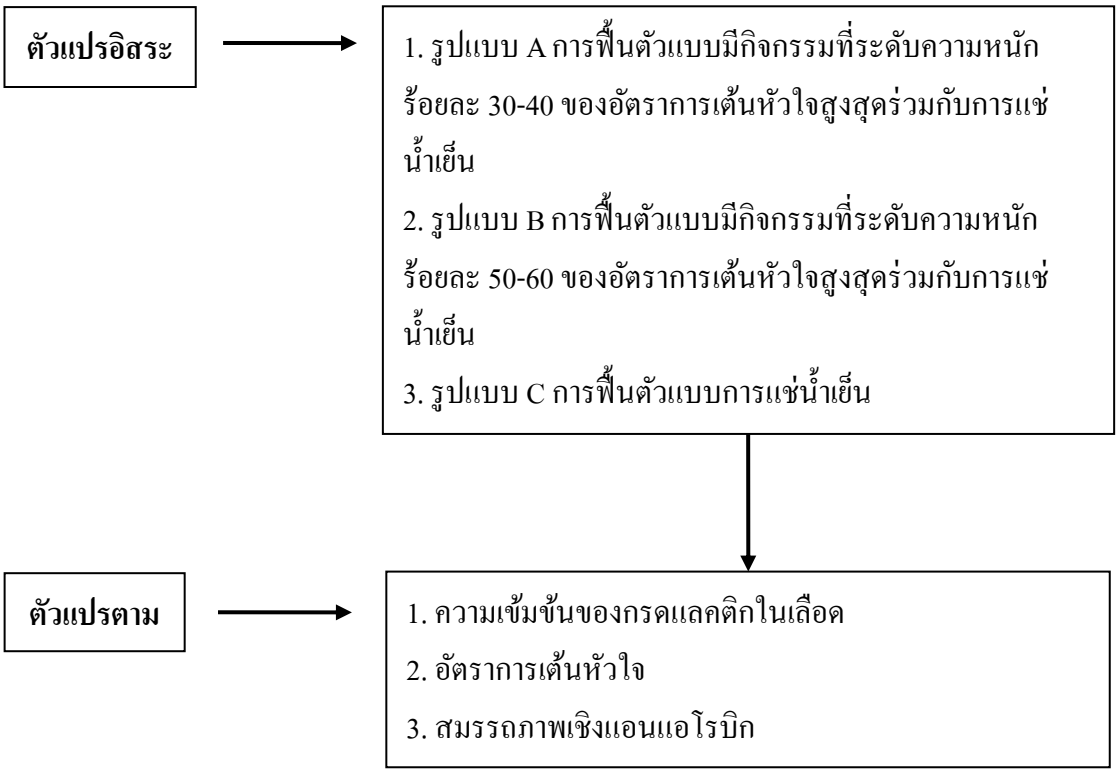
4. อัตราการเต้นหัวใจ หมายถึง อัตราการเต้นหัวใจภายหลังจากการใช้รูปแบบการฟื้นตัวและอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด มีรายละเอียดดังนี้

4.1 อัตราการเต้นของหัวใจใช้การวัดด้วยเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการเต้นหัวใจ Sigma-Germany รุ่น PC3.11 ภายหลังการทดสอบ และภายหลังจากการใช้การฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ

4.2 อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate: HRmax) ของนักกีฬาแต่ละคนโดยใช้สูตรดังนี้ (220 – อายุ) เพื่อกำหนดระดับความหนักของการออกกำลังกาย ดังสมการดังนี้

HRmax = [% ความหนักของการออกกำลังกาย × (220 – อายุ)]

**กรอบแนวความคิดการวิจัย**




ภาพที่ 1-1 กรอบแนวความคิดการวิจัย

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. กีฬาฟุตบอล (Soccer)
   1.1 ระบบพลังงานของกีฬาฟุตบอล (Energy systems of soccer)
   1.2 สมรรถภาพทางการกีฬา (Sport performance)
      1.2.1 สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก (Anaerobic performance)
      1.2.2 สมรรถภาพเชิงแอโรบิก (Aerobic performance)
      1.2.3 ระบบไหลเวียนโลหิตในนักกีฬาฟุตบอล (Circulation in soccer player)
      1.2.4 ระบบกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล (Muscular system in soccer player)
2. ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue)
   2.1 ชนิดของความเมื่อยล้า (Type of muscle fatigue)
   2.2 การระบมของกล้ามเนื้อ (Delay on muscle soreness)
   2.3 กรดแลคติก (Lactic acid)
3. การฟื้นตัวภายหลังจากการออกกำลังกาย (Recovery after exercise)
   3.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการฟื้นตัว (Factors on recovery)
   3.2 การชดเชยพลังงานในระยะการฟื้นตัว (Compensation energy during recovery)
   3.3 การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Active recovery)
   3.4 การฟื้นตัวแบบการแช่น้ำเย็น (Ice immersion)
   3.5 การฟื้นตัวแบบการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching)

## กีฬาฟุตบอล (Soccer)

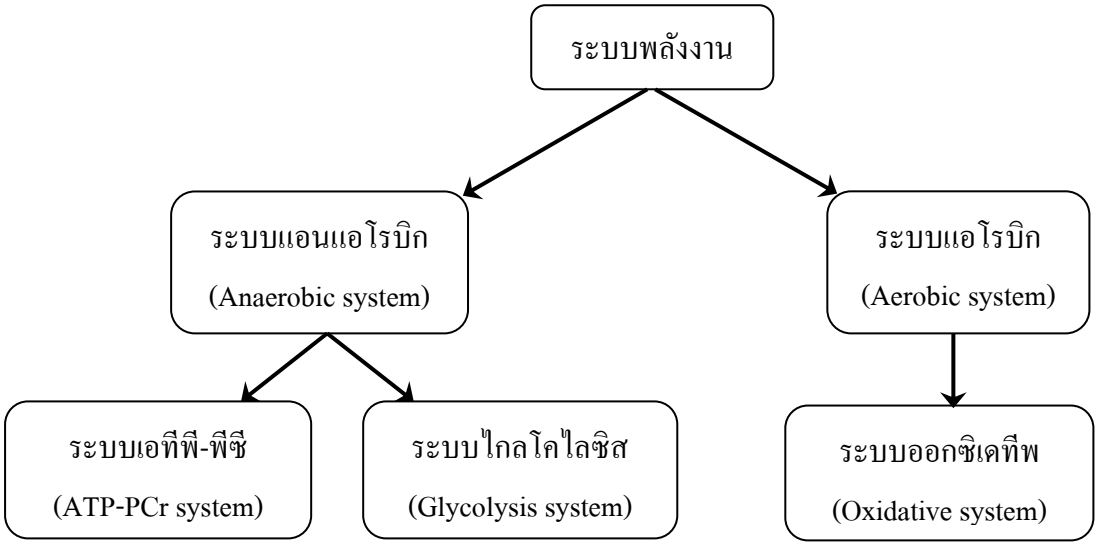
กีฬาฟุตบอลเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย และสามารถเล่นได้ทั้งชายและหญิง เด็ก หรือผู้ใหญ่ แต่ระดับความสามารถก็จะแตกต่างกัน ความสามารถในการเล่นกีฬาฟุตบอลขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น เทคนิค แทคติก ชีวกลศาสตร์ สภาพจิตใจ และสรีรวิทยา เหตุผลหนึ่งในกีฬาฟุตบอลที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง คือ นักกีฬาไม่ต้องการความสามารถพิเศษให้เก่งในทุก ๆ ด้าน แต่ต้องให้ได้ดีที่สุดในทุก ๆ ด้าน เท่าที่เป็นไปได้ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบการฝึกซ้อมนั้นจะทำให้ผู้เล่นมีประสิทธิภาพความสามารถกลายมาเป็นผู้เล่นที่มีประสิทธิภาพ และช่วยให้

สมรรถภาพทางด้านร่างกายพัฒนาได้ดียิ่งขึ้น กีฬาฟุตบอลเป็นกีฬาประเภททีมที่เล่นระหว่างสองทีม โดยแต่ละทีมมีผู้เล่น 11 คน และมีตำแหน่งในการเล่น ดังนี้ 1. ผู้รักษาประตู (Goalkeeper) 2. กองหลัง (Defender) 3. กองหลังตัวกลาง (Centre-back) 4. สวีปเปอร์ (Sweeper) 5. วิงแบ็ก (Wing-back) 6. กองกลาง (Midfielder) 7. กองกลางตัวกลาง (Centre midfielder) 8. กองกลางตัวรับ (Defensive midfielder) 9. กองกลางด้านกว้าง (Wide midfielder) 10. ปีกซ้าย (Left winger) และปีกขวา (Right winger) 11. กองหน้า (Forward, striker) ซึ่งในแต่ละตำแหน่งล้วนแล้วแต่ต้องใช้ระบบพลังงานทั้งแอโรบิก (Aerobic system) และแอนแอโรบิก (Anaerobic system) ในการฝึกซ้อมและแข่งขันฟุตบอล (Hasic, 2013)

ดังนั้น การฝึกซ้อม และการเล่นในแต่ละตำแหน่งของกีฬาฟุตบอลจึงงมีความสำคัญ เพราะมีการใช้ระบบพลังงานในการฝึกซ้อม และการแข่งขันที่แตกต่างกันจึงต้องมีการศึกษาระบบพลังงานของกีฬาฟุตบอลเพื่อให้เกิดการพัฒนาสมรรถภาพทางกีฬาอย่างสูงสุดต่อไป

**1. ระบบพลังงานของกีฬาฟุตบอล**

กีฬาฟุตบอลเป็นกีฬาที่มีการแข่งขัน และการฝึกซ้อมที่มีความหนักรวมถึงมีระยะเวลาที่ยาวนาน ซึ่งจะทำงานในลักษณะแบบหนักสลับเบา จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพัฒนาระบบไหลเวียนเลือด ซึ่งการมีระบบพลังงานที่ดีก็จะทำให้สามารถพัฒนาสมรรถภาพด้านอื่น ๆ ตามไปด้วย รวมถึงการพัฒนากล้ามเนื้อให้มีความเฉพาะเจาะจงในกีฬาฟุตบอลเพื่อให้นักกีฬามีประสิทธิภาพในการแข่งขันตลอดฤดูกาล และเหมาะสมกับกลยุทธ์ที่โค้ชวางแผนไว้ ระบบของร่างกายนั้นจะมีอยู่ 2 แบบ คือ ระบบแอนแอโรบิก (Anaerobic system) และระบบแอโรบิก (Aerobic system) ดังนั้นการพัฒนาทั้งสองระบบนี้เป็นสิ่งจำเป็นในกีฬาฟุตบอล รวมถึงฟิตเนสโค้ช ก็ให้ความสนใจอย่างมากเกี่ยวระบบพลังงานนี้ ซึ่งระบบแอนแอโรบิกจะมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบเอทีพี และพีซี (ATP-PC system) และระบบ ไกลโคไลซิส (Glycolysis system) ส่วนระบบแอโรบิก คือ ระบบออกซิเดทีพ (Oxidative system) ดังภาพที่ 2-1 โครงสร้างระบบพลังงานของร่างกาย

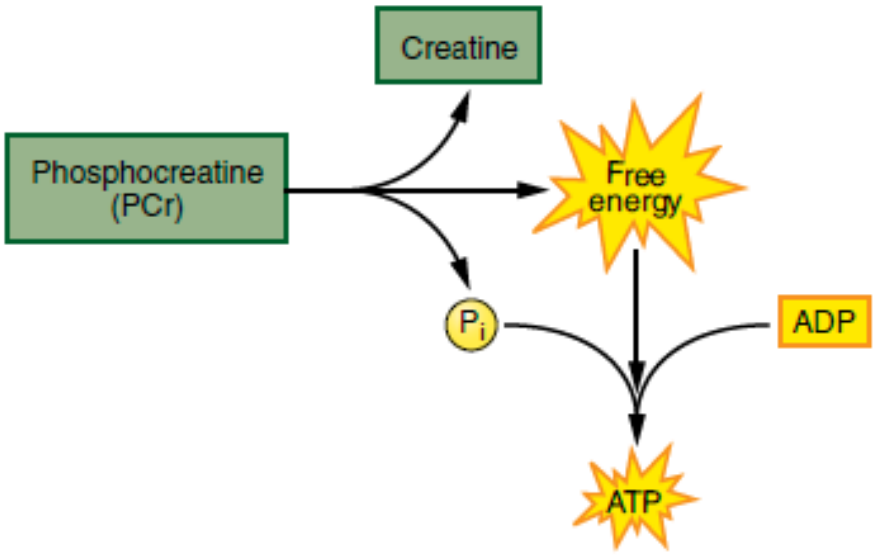



ภาพที่ 2-1 การจำแนกของระบบพลังงานในการทำงาน (Kenney, Wilmore & Costill, 2006)

จากภาพที่ 2-1 แสดงการจำแนกของระบบพลังงานในการทำงาน ซึ่งสามารถจำแนกได้ว่า ระบบพลังงานมีอยู่ 2 เส้นทาง (ระบบแอนแอโรบิก และระบบแอโรบิก) 3 ระบบ คือ 1. ระบบเอทีพี-พีซี 2. ระบบไกลโคไลซิส 3. ระบบออกซิเดทีพ สองระบบแรกเกิดขึ้นโดยไม่ใช้ออกซิเจน และระบบที่ 3 เกิดขึ้นโดยมีการใช้ออกซิเจนในการทำงาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ระบบพลังงานเอทีพี และพีซี (ATP-PC system)**

เป็นระบบพลังงานที่ไม่ซับซ้อน นอกจากนั้นยังเก็บสะสมพลังงานได้น้อยมาก ๆ โดยจะเก็บสะสมในกล้ามเนื้อ เรียกว่า ฟอสโฟครีเอทีน (Phosphocreatine: PC) ซึ่งเป็นสารพลังงานสูงที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ในการสร้าง อดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate: ATP) ได้ชั่วคราว ฟอสโฟครีเอทีนมีอยู่ในเส้นใยกล้ามเนื้อประมาณ 20 มิลลิโมลาร์ จะจ่ายหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP เพื่อเปลี่ยนเป็น ATP เสียก่อน โดยอาศัยเอนไซม์ครีเอทีนไคเนส (Creatine kinase) แล้วกล้ามเนื้อจึงจะนำ ATP ไปสลายเพื่อให้ได้พลังงานต่อไป (ดังภาพที่ 2-2) ปฏิกิริยานี้จะใช้พลังอย่างรวดเร็ว 3-15 วินาที และในขณะที่ระบบการสร้าง ATP แบบอื่น ๆ กำลังจะเริ่มทำหน้าที่ กล้ามเนื้อจะคงระดับ ATP ในเซลล์ไว้อยู่ในระดับ 3-5 มิลลิโมลาร์ การสร้าง ATP ด้วยการจ่ายหมู่ฟอสเฟตจะให้พลังงานสำหรับวัฏจักรการจับปล่อยของกล้ามเนื้อแค่ในช่วงเริ่มต้นของการหดตัวเท่านั้น ดังนั้นการสร้าง ATP ด้วยกระบวนการหายใจระดับเซลล์จะต้องเร่งเข้ามาแทนที่ก่อนที่ฟอสโฟครีเอทีนจะหมดไป เพื่อให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีพลังงานใช้ได้อย่างต่อเนื่อง



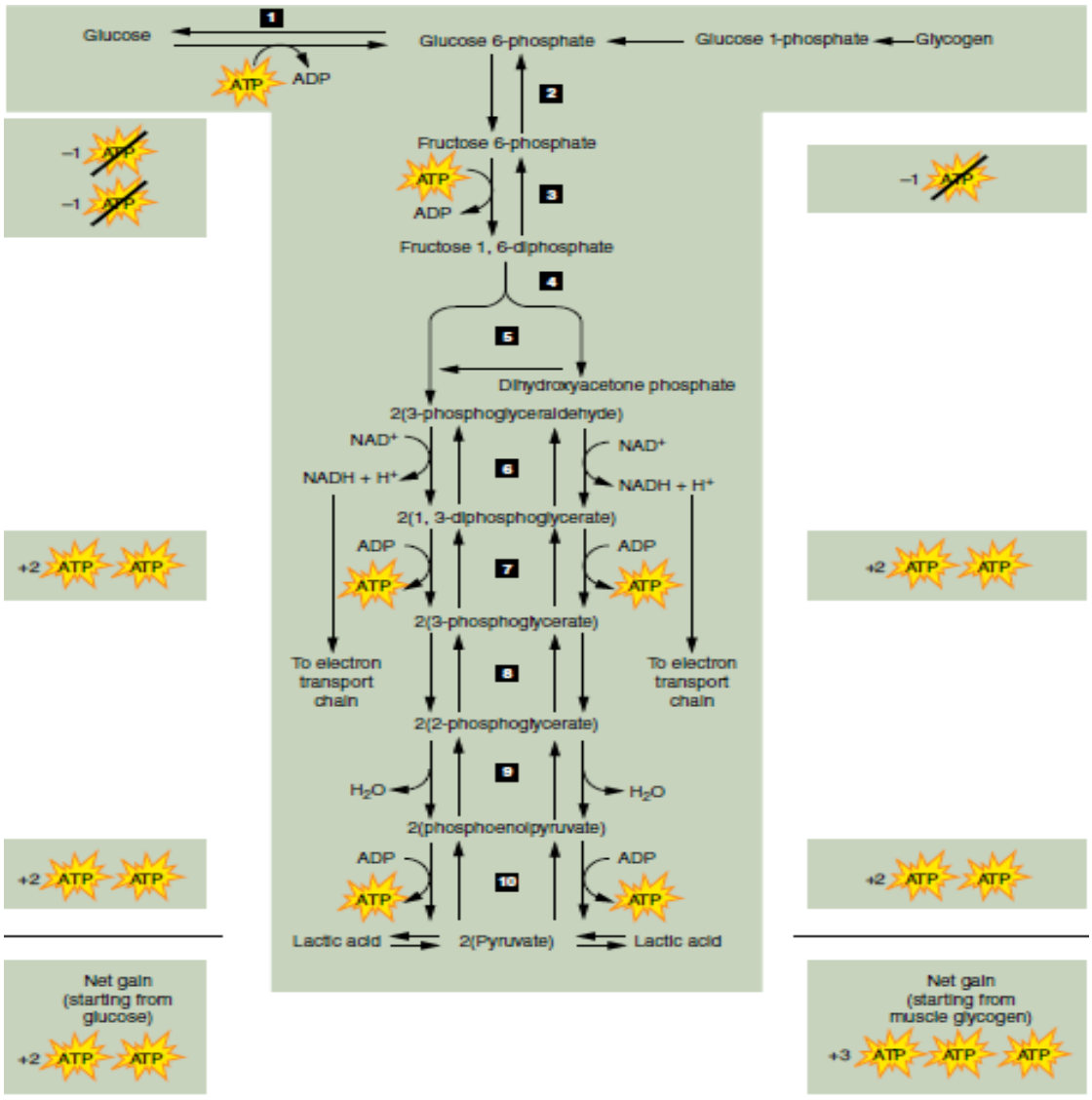

ภาพที่ 2-2 การทำงานของระบบเอทีพี และพีซี (ATP-PC system) (Kenney et al., 2006)

จากภาพที่ 2-2 การทำงานของระบบเอทีพี และพีซี (ATP-PC system) ATP จะสังเคราะห์ได้อีก เนื่องจากเกิดการสลาย ฟอสโฟครีเอทีน (Phosphocreatine) ทำให้เกิดฟอสเฟต (Pi) จับตัวกับกลุ่มของอะดีโนซีนไดฟอสเฟต (Adenosine diphosphate: ADP) ซึ่งมีฟอสเฟตอยู่ 2 ตัว ระบบ ATP-PC จึงมีความสำคัญต่อการใช้พลังงานอย่างรวดเร็ว 3-15 วินาที เช่น ในตำแหน่งวิงแบ็ก ปีก และกองหน้า ที่ต้องใช้ความรวดเร็วในการฝึกซ้อม และแข่งขัน

**ระบบไกลโคไลซิส (Glycolysis system)**

เป็นกระบวนการสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน ระบบนี้เรียกว่า ระบบ ไกลโคไลซิส (Glycolysis system) เพราะเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการสลายกลูโคสผ่านกระบวนการ ตามลำดับของเอนไซน์ในระบบไกลโคไลซิส ซึ่งจะมีความซับซ้อนมากกว่าระบบ ATP-PC โดยจะทำการสลายกลูโคสอย่างเป็นลำดับ (ภาพที่ 2-3) กลูโคสคิดเป็น 99 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำตาลทั้งหมดที่ไหลเวียนอยู่ในกระแสเลือด ซึ่งมาจากการย่อยคาร์โบไฮเดรต และการสลายไกลโคเจนที่ตับและกล้ามเนื้อ เนื่องจากไกลโคเจนสังเคราะห์จากกลูโคสโดยอาศัยกระบวนการไกลโคจีนิซิส (Glycogenesis) และในขณะเดียวกัน ไกลโคเจนถูกสลายกลายเป็นกลูโคส-1-ฟอสเฟต (Glucose-1-phosphate) ซึ่งจะเข้าไปอยู่ในรูปปฏิกิริยาไกลโคไลซิส จะต้องอาศัยกระบวนการกลูโคนีโอเจนิซิส (Gluconeogenesis) การเปลี่ยนกลูโคสไปเป็นกลูโคส-6-ฟอสเฟต (Glucose-6-phosphate) จะต้องเสียพลังงาน 1 ATP ในขณะที่ ไกลโคเจนเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส-6-ฟอสเฟต ไม่ต้องเสียพลังงานเลย

ในกระบวนการไกลโคไลซิส ต้องใช้ปฏิกิริยา 10-12 เอนไซน์ ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนปฏิกิริยากลูโคสไปเป็นปฏิกิริยากรดไพรูวิก ถ้ายังไม่มีออกซิเจนเข้ามาทำปฏิกิริยากรดไพรูวิก ก็จะเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก ซึ่งทุก ๆ ขั้นตอนจะทำงานอยู่ภายในเซลล์ไซโตพลาสซึม จากกระบวนการนี้จะได้รับ ATP ทั้งหมด 3 ATP ถ้าหากเริ่มตั้งแต่กระบวนการกลูโคสจะได้รับ 2 ATP เพราะถูกใช้ไป 1 ATP ในระหว่างการเปลี่ยนกลูโคสไปเป็นกลูโคส-6-ฟอสเฟต อย่างไรก็ตาม ถึงแม้การทำงานของระบบ ATP-PC และระบบไกลโคไลซิส จะได้พลังงานน้อย แต่ทั้งสองระบบนี้ก็จะทำงานที่ความเข้มข้นสูงภายในระยะเวลา 1-2 นาที




ภาพที่ 2-3 กลไกการทำงานของระบบไกลโคไลซิส (Glycolysis system) (Kenney et al., 2006)

ในการสปริ๊นอย่างเต็มที่ ภายในระยะเวลา 1-2 นาที เป็นการใช้พลังงานระบบไกลโคไลซิส และทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติกในกล้ามเนื้อมากขึ้นจากขณะพัก 1 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม จนถึงสูงสุดที่ 25 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม จะทำให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวด้วยแรงเท่าเดิม และยับยั้งการจับระหว่างแคลเซียมจึงทำให้เกิดการยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อ อัตราจำกัดของเอนไซน์ในการทำงานของระบบไกลโคไลซิส คือ ฟอสโฟฟรุคโตไคเนส (Phosphofructokinase: PFK) ซึ่งขึ้นอยู่กับการทำงานของเอนไซน์ โดย PFK จะเร่งปฏิกิริยาตั้งแต่กระบวนการแรกโดยจะเปลี่ยน Fructose-6-phosphate ไปเป็น Fructose-1,6-biphosphate ถ้าหากการทำงานของ PFK นั้นเพิ่มขึ้นจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ADP และ Pi และระดับความเข้มข้น ATP เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ยับยั้งเอนไซน์ PFK นอกจากนั้น กระบวนการทำงานของระบบไกลโคไลซิสสามารถเข้าไปสู่วงจร Krebs cycle เพื่อผลิตพลังงานต่อไปได้

**ระบบออกซิเดทีฟ (Oxidative system)**

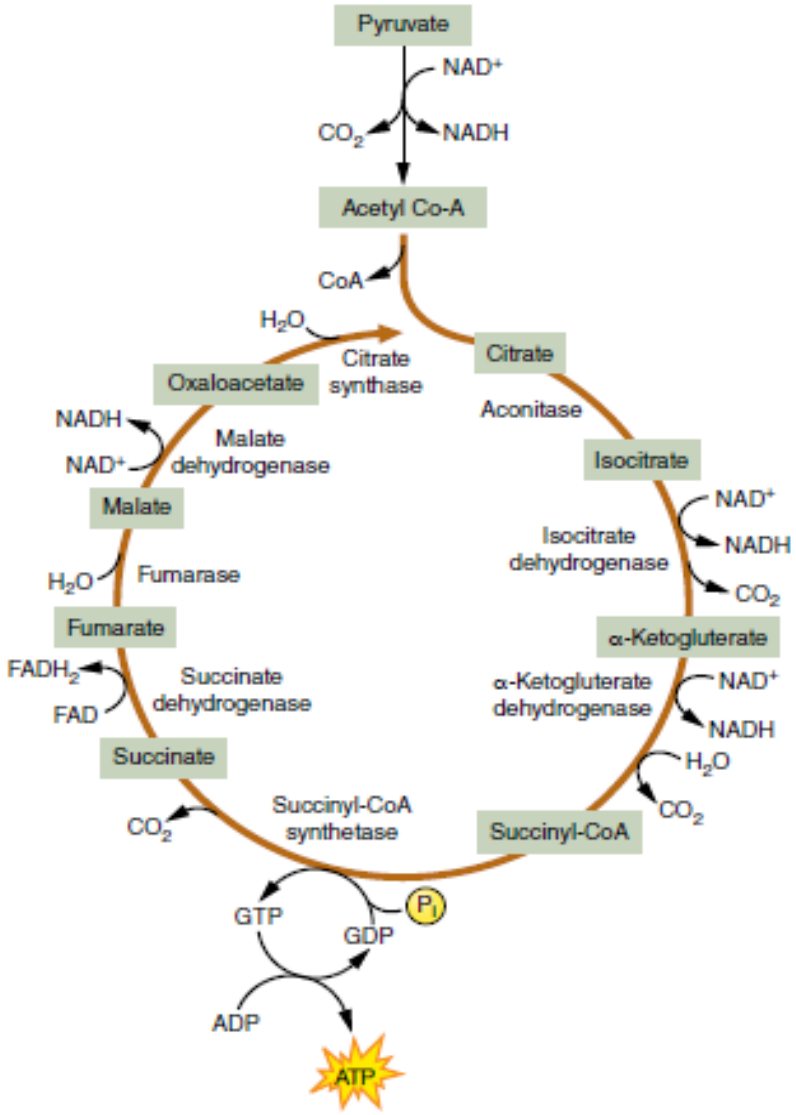
เป็นระบบสุดท้ายของการผลิตพลังงานภายเซลล์ ซึ่งจะมีความซับซ้อนมากที่สุด กระบวนการนี้เป็นการทำงานระหว่างสารตั้งต้นร่วมกันกับออกซิเจนเพื่อให้เกิดพลังงานขึ้นมา เรียกว่า การหายใจในระดับเซลล์ ซึ่งจะผลิตพลังงานขึ้นในไมโทคอนเดรีย ซึ่งไม่เหมือนกับการผลิต ATP จากระบบ แอนแอโรบิก ซึ่งจะผลิตในไซโตพลาสซึมของเซลล์ ระบบนี้จะทำงานในลักษณะที่มีความทนทาน และใช้ระยะเวลานานในการทำกิจกรรม ซึ่งจำเป็นต้องมีระบบไหลเวียนเลือดที่ดี และมีระบบหายใจที่ดีด้วยเพื่อความสามารถในการส่งออกซิเจนให้กับกล้ามเนื้อ การผลิตพลังงานในระบบออกซิเดทีฟ สามารถผลิตพลังงานได้จากคาร์โบไฮเดรต และไขมัน

การผลิตพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต มีอยู่ 3 ขบวนการ ดังนี้

- ไกลโคไลซิส (Glycolysis) ดังภาพที่ 2-3
- วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ดังภาพที่ 2-4
- การขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport chain) ดังภาพที่ 2-5

ไกลโคไลซิส (Glycolysis) คือ กระบวนการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต บทบาทของการทำงานของระบบไกลโคไลซิสในผลิตพลังงาน ATP ซึ่งจะผลิตขึ้นทั้งระบบแอนแอโรบิก และแอโรบิก ถ้าหากมีการใช้ออกซิเจนจะต้องทำปฏิกิริยาร่วมกันกับขั้นตอนสุดท้าย คือ กรดไพรูวิก อย่างไรก็ตาม ถ้ากรดไพรูวิกทำงานร่วมกับออกซิเจนจะทำให้เปลี่ยนรูปเข้าสู่กระบวนการอะซิติลโคเอนไซม์ เอ (Acetyl coenzyme A) หรืออะซิติลโคเอ (Acetyl coA) เมื่อกรดไพรูวิกซึ่งเกิดจากวิถีไกลโคลิซีสในไซโตซอลเข้าไปในไมโทคอนเดรีย และจะถูกเปลี่ยนเป็นแอซีติลโคเอ โดยเอนไซม์ไพรูเวต ดีไฮโดรจีเนส (Pyruvate dehydrogenase) ขั้นตอนนี้เป็นรอยต่อระหว่างวิถีไกลโคลิซีสและวัฏจักรเครบส์ ซึ่งเป็นขั้นแรกในกระบวนการหายใจที่มี $CO_2$ เกิดขึ้นการเปลี่ยนไพรูเวตเป็น

แอซีติลโคเอ เกิดขึ้นในไมโทคอนดรีย (ดังภาพที่ 2-4) ในปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก หมู่คาร์บอกซิลของไพรูเวตจะหลุดออก กลายเป็นแก๊ส $CO_2$ (เป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ที่มี $CO_2$ เกิดขึ้น) ขั้นตอนที่ 2 ส่วนที่เหลือของไพรูเวต ซึ่งมี 2 คาร์บอนอะตอม ถูกออกซิไดส์ด้วย NAD+ ได้เป็นแอซิเตต (คือ กรดแอซิติกที่ถูกสลาย) และในปฏิกิริยานี้จะได้ NADH ซึ่งเป็นสารที่สะสมพลังงานเคมีไว้ในตัว ขั้นตอนที่ 3 โคเอนไซม์เอจะถูกนำไปติดกับแอซิเตตด้วยพันธะที่ไม่ค่อยอยู่ตัวได้เป็นแอซีติลโคเอ ซึ่งจะทำให้แอซีติลโคเอ สามารถส่งหมู่แอซิเตตเข้าวัฏจักรเครบส์ (เพื่อถูกออกซิไดซ์ต่อ) ได้อย่างง่าย (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2559)




ภาพที่ 2-4 ปฏิกิริยาในกระบวนการ วัฏจักรเครบส์ ที่มีสารประกอบและเอนไซม์เข้ามาทำปฏิกิริยา (Kenney et al., 2006)

ปฏิกิริยาวัฏจักรเครบส์ประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอน (ภาพที่ 2-4) แต่ละขั้นตอนเร่งโดยเอนไซม์ที่จำเพาะของแต่ละปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาที่ 1 ออกซาโลแอซิเตต และแอซิติลโคเอ ทำปฏิกิริยาร่วมกันกับเอนไซม์ซิเตรตซินเทส (Citrate synthase) สลายได้เป็น ซิเตรต (Citrate) และโคเอ (CoA) เมื่อโมเลกุลทั้งสองรวมตัวกันจะทำให้โมเลกุลของน้ำเข้ามาทำปฏิกิริยากับแอซีติล จึงเกิดการปล่อยโคเอ็นไซม์ออกจากปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่ 2 ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องย้ายกลุ่มไฮดรอกซิลไปเป็นโมเลกุลซิเตรตเพื่อให้เกิดการ Oxidative decarboxylation เอนไซม์อะโคนิเตส (Aconitase) มีธาตุเหล็กที่ไม่ยึดกับเม็ดเลือดแดงซึ่งหมายถึงโปรตีนที่มีธาตุเหล็กและกำมะถัน ในกลุ่ม 4Fe-s เป็นการรวมตัวกันทั้งการคายน้ำและการดึงน้ำในซิเตรต โดยซิเตรตเปลี่ยนไปเป็น Isomer ของมัน คือ ไอโซซิเตรต (Isocitrate) โดยใช้เอนไซม์ อะโคนิเตส (Aconitase) เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยานี้เกิดเป็น 2 ขั้นตอนย่อย คือ ขั้นแรกเป็นปฏิกิริยาเอาน้ำออกไป 1 โมเลกุล กลายเป็น ซิสอะโคนิเตต (Cis-aconitate) ก่อน (ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในเวลาสั้นมาก) จากนั้น ซิสอะโคนิเตตจึงรวมตัวกับน้ำ 1 โมเลกุล เกิดเป็นไอโซซิเตรต (Isocitrate)

ปฏิกิริยาที่ 3 เป็นขั้นตอนที่เกิดการให้อิเล็กตรอนกับ NAD+ กลายเป็น NADH และการทำปฏิกิริยา Decarboxylation โดยไอโซซิเตรตจะถูกออกซิไดซ์ปฏิกิริยาเคมีกลุ่ม –OH ตำแหน่งที่ 4 ของ Isocitrate ไปเป็นแอลฟา-คีโตกลูตาเรต ($\alpha$-ketoglutarate) และให้ $CO_2$ ออกมาโดยใช้เอนไซม์ไอโซซิเตรต ดีไฮโดรจีเนส (Isocitrate dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่ 4 ขั้นตอนนี้จะมีการให้ $CO_2$ ออกมาอีก 1 โมเลกุล คือ แอลฟา-คีโตกลูตาเรตถูกออกซิไดซ์ ปล่อยหมู่ $CO_2$ ออกมา และในขณะเดียวกัน โคเอนไซม์เอ ถูกเพิ่มไปแทนที่ตรงตำแหน่งที่ $CO_2$ หลุดออกไปเกิดเป็นซักซีนิลโคเอ (Succinyl CoA) โดยใช้เอนไซม์แอลฟา-คีโตกลูตาเรตดีไฮโดรจีเนส ($\alpha$-ketoglutarate dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนนี้ การลดตำแหน่งของ $CO_2$ จะช่วยให้อิเล็กตรอนกับ NAD+ เปลี่ยนเป็น NADH

ปฏิกิริยาที่ 5 หมู่ CoA ของซักซีนิลโคเอ จะถูกแทนที่โดยหมู่ฟอสเฟต (Pi) ซึ่งพันธะนี้จะไม่อยู่ตัวจะส่งหมู่ฟอสเฟตต่อให้ GDP เกิดเป็น GTP และซักซีนิลโคเอ เปลี่ยนเป็นซักซีเนต (Succinate) เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยานี้ คือ ซักซีนิลโคเอซินทีเทส (Succinyl CoA synthetase) GTP เป็นสารพลังงานสูงที่สามารถให้หมู่ฟอสเฟตแก่ ADP เกิดเป็น ATP ปฏิกิริยานี้เป็นการสร้าง ATP โดยกระบวนการที่เรียกว่า Substrate-level phosphorylation

ปฏิกิริยาที่ 6 เอนไซม์ ซักซีเนตดีไฮโดรจีเนส (Succinate dehydrogenase) จะเปลี่ยนซักซิเนตไปเป็นฟูมาเรต (Fumarate) ในปฏิกิริยารีดักชันนี้ ซักซิเนตจะให้ไฮโดรเจนแก่ FAD เกิดเป็น FADH2 ซึ่งเป็นตัวสะสมพลังงานเคมีไว้ในตัว

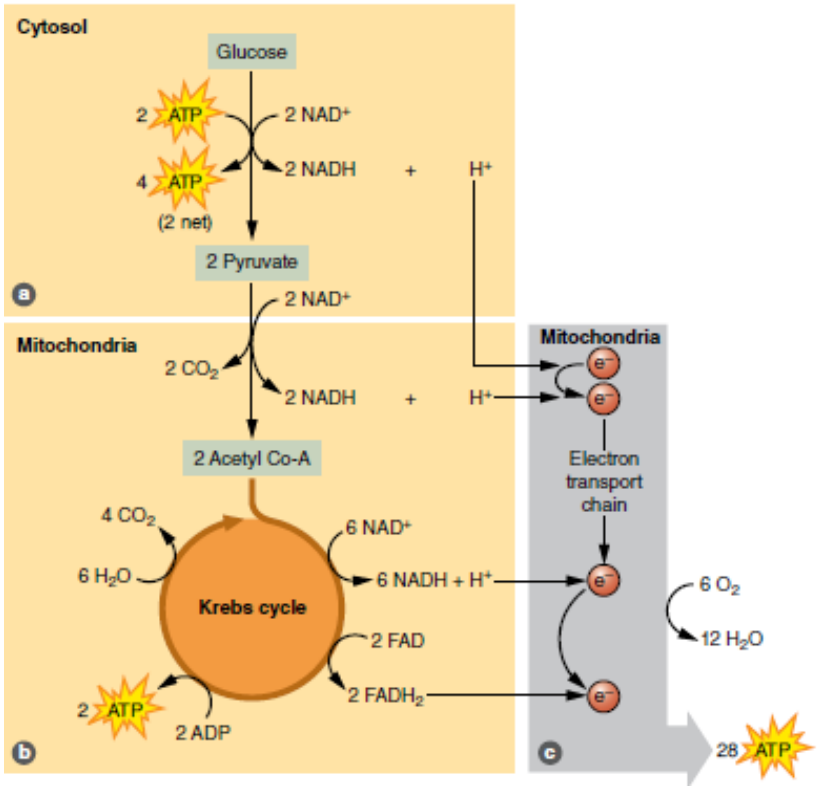
ปฏิกิริยาที่ 7 เป็นปฏิกิริยาเติมน้ำ 1 โมเลกุล ได้แก่ ฟูมาเรต ให้เปลี่ยนไปเป็นมาเลต (Malate) โดยใช้เอนไซม์ฟูมาเรส (Fumarase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่ 8 เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะครบ 1 รอบของวัฏจักร คือ การสร้างออกซาโลแอซิเตตกลับคืนมาใหม่ มาเลตจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นออกซาโลแอซิเตต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จะไปรวมกับแอซีติลโคเอตัวใหม่ เพื่อเข้ารอบใหม่ของวัฏจักรเครบส์ต่อไป ในขั้นตอนของการออกซิเดชันนี้ NAD+ จะถูกรีดิวซ์ให้เป็น NADH (เก็บพลังงานเคมีสะสมไว้ในตัว) ปฏิกิริยานี้เร่งโดยเอนไซม์มาเลตดีไฮโดรจีเนส (Malate dehydrogenase)

วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) เกิดขึ้นเมื่อปฏิกิริยาอะซิติลโคเอนไซม์เอ เข้าไปสู่วัฏจักรเครบส์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่มีความซับซ้อนมาก ทุก ๆ โมเลกุลกลูโคสที่เข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิสจะได้ 2 โมเลกุลของไพรูวิก ดังนั้น ในแต่ละโมเลกุลของกลูโคสที่เริ่มกระบวนการผลิตพลังงานในการทำงานร่วมกันกับออกซิเจนเป็นผลให้ได้ 2 ATP ในวัฏจักรเครบส์ที่สมบูรณ์ การเปลี่ยนสารซักซินิลโคเอนไซม์ เอ (Succinyl CoA) ไปเป็นสารซักซิเนต (Succinate) ในวัฏจักรเครบส์ จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาสร้าง Guanosine Triphosphate (GTP) ได้ 1 โมเลกุล (เทียบเท่า ATP 1 โมเลกุล) เพราะ GTP จะขนส่ง Pi ไปให้ ADP ให้กลายเป็น ATP ซึ่งจะทำให้ได้ 2 ATP ต่อ 1 โมเลกุลกลูโคส จะเกิดขึ้นในฟอสฟอริเลชันระดับซับสเตรท (Substrate-level phosphorylation) ดังนั้น ในตอนท้ายของวัฏจักรเครบส์ มีการสร้างโมเลกุลอีก 2 ATP จากการทำปฏิกิริยาสารตั้งต้นคาร์โบไฮเดรตถูกสลายได้เป็น คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน เช่นเดียวกับการเพาพลาญพลังงานในระบบอื่น ๆ เอนไซน์ในวัฏจักรเครบส์จะควบคุมการทำงานทุก ๆ ขั้นตอน อัตราจำกัดของเอนไซน์ไอโซซิเตรตดีไฮโดรจีเนส (Isocitrate dehydrogenase) ซึ่งจะคล้าย ๆ กับเอนไซน์ เอนไซน์ PFK ที่ยับยั้งโดย ATP และจะทำงานในขณะ ADP และ Pi นั้นลดลง เป็นลักษณะการขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport chain) เพราะการหดตัวจะขึ้นอยู่กับการทำงานของแคลเซียม แคลเซียมส่วนที่เหลือก็จะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซน์ ไอโซซิเตรตดีไฮโดรจีเนส (Isocitrate dehydrogenase)

การขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport chain) ในระหว่างการทำปฏิกิริยาไกลโคลิซิส ไฮโดรเจนไอออนจะถูกปล่อยออกมาเมื่อกลูโคสถูกเผาผลาญไปกรดไพรูวิก และโฮโดรเจนไอออนจะถูกปล่อยออกมาเพิ่มเมื่อไพรูวิกเปลี่ยนเป็นสารอะซิติลโคเอ (Acetyl coA) ในหลาย ๆ ขั้นตอนของวัฏจักรเครบส์ ถ้าหากไฮโดรเจนไอออนเหลืออยู่ภายในเซลล์จะทำให้กลายเป็นกรดขึ้นภายในเซลล์กล้ามเนื้อ รวมถึงการทำปฏิกิริยาในวัฏจักรเครบส์ รวมตัวกับทั้งสองปฏิกิริยาโคเอนไซน์ คือ นิโคตินาไมด์อะดินีนไดนิวคลีโอไทด์ (Nicotinamide adenine dinucleotide: NAD) และฟลาวิน

แอดินีนไดนิวคลีโอไทด์ (Flavin adenine dinucleotide: FAD) โดยจะทำปฏิกิริยาจาก NADH และ $FADH_2$ ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละครั้งของการทำปฏิกิริยานี้จะได้ 3 โมเลกุล ของปฏิกิริยา NADH และ 1 โมเลกุล ของปฏิกิริยา $FADH_2$ และสามารถถ่ายอิเล็กตรอนให้แก่ออกซิเจน โดยผ่านลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport chain) ในไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ทำให้เกิดพลังงานที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง ADP กับฟอสเฟตเป็น ATP โปรตีนหลาย ๆ ชนิดเหล่านี้ก็จะบรรจุเอนไซน์หลาย ๆ ชุดอยู่ และโปรตีนที่มีธาตุเหล็กจะอยู่ในไซโตโครม (Cytochromes) อิเล็กตรอนพลังงานสูงจะถูกส่งผ่านจากกลุ่มปฏิกิริยาที่ถ่ายอิเล็กตรอนผ่านทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน บางครั้งจะปล่อยพลังงาน โดยปฏิกิริยาที่ใช้ปั๊มไฮโดรเจนจากของเหลวประกอบไปด้วย สารหลายชนิดเรียกว่า ซึ่งจะพบเอนไซม์ (Enzyme) ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรเครบส์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์ (จะเกิดขึ้นในบริเวณนี้เพราะมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการสร้าง ATP) เรียกว่า ไมโตรคอนเดรียแมทริกซ์ (Mitochondrial matrix) ไปยังช่องว่างภายนอกของไมโตรคอนเดรีย และไฮโดรเจนไอออนเหล่านี้จะเคลื่อนย้ายกลับมาภายในเยื่อหุ้มเซลล์ไมโตรคอนเดรีย ถ้าไฮโดรเจนไอออน นั้นมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น พลังงานก็จะถูกถ่ายโอนจาก ADP ไปเป็น ATP




ภาพที่ 2-5 กลไกการใช้ออกซิเจนหลังจากกระบวนการสลายกลูโคส (Kenney et al., 2006)

ดังนั้น อะซิทิลโคเอ 2 โมเลกุล (จากกลูโคส 1โมเลกุล) จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ ทำให้มีคาร์บอนไดลดปล่อยออกมา 4 โมเลกุล เมื่อรวมกับ 2 โมเลกุล ของ คาร์บอนไดออกไซด์ จากการสร้างอะซิทิลโคเอ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล อาจกล่าวได้ว่า คาร์บอนทั้ง 6 ตัว ในกลูโคสถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนได ออกไซด์ทั้งหมด และจะถูกขนส่งออกนอกเซลล์ต่อไป (ประทุม ม่วงมี, 2527; พิชยา นพกาล, 2556; Kenney et al., 2006)

**การเผาผลาญไขมัน (Oxidation of fat)**

พลังงานจากไขมันก็เป็นสิ่งจำเป็นของกล้ามเนื้อเช่นกัน เนื่องจากเซลล์ไขมันในร่างกายสามารถให้พลังงานได้ถึง 70,000-75,000 กิโลแคลอรี่ ในคนที่มีร่างกายสมบูรณ์ ถึงแม้ว่าจะมีสารประกอบมากมาย เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด คอเลสเตอรอล ซึ่งล้วนแล้วแต่จำแนกจากไขมัน ไตรกลีเซอไรด์ เป็นแหล่งพลังงานหลักของไขมันซึ่งถูกเก็บอยู่ในเซลล์ไขมัน และระหว่างกล้ามเนื้อเพื่อใช้เป็นพลังงานต่อไป โดยจะสลายให้เป็น 1 โมเลกุล ของกลีเซอรอล (Glycerol) และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) 3โมเลกุล กระบวนการนี้เรียกว่า ไลโปไลซิส (Lypolysis) เร่งโดยเอนไซด์ไลเปส (Lipases)

กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFAs) เป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการเผาพลาญ เมื่อปล่อยกรดไขมันจาก กลีเซอรอลแล้ว กรดไขมันอิสระสามารถเข้าไปยังกระแสเลือด และขนส่งไปทั่วทั้งร่างกาย เข้าไปให้กับเส้นใยกล้ามเนื้อโดยการแพร่ผ่านตามช่องทาง (Simple diffusion) และแพร่ผ่านโดยการช่วยของโปรตีน (Transporter-mediated) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร ก่อนที่ FFAs จะใช้เป็นพลังงานจะต้องเปลี่ยนเพื่อเข้าไปสู่กระบวนการ อะซิติลโคเอ ในไมโตรคอลเดรีย เรียกกระบวนการนี้ว่า B-oxidation ซึ่งเป็นขั้นตอนโดยการตัดสายคาร์บอนของ FFA จำนวนของขั้นตอนขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนของ FFA โดยปกติจะมีอยู่ 14 และ 16 คาร์บอน ตัวอย่างเช่น 16 คาร์บอน เมื่อทำกระบวนการ B-oxidation จะได้ 8 โมเลกุลของอะซิติลโคเอ และเข้าสู่วัฏจักรเครปส์ เพื่อสร้าง ATP ดังนั้น กรดไขมันจะให้พลังงานนั้นจะต้องอาศัยการสลายพลังงานจาก ATP เพื่อให้สามารถเร่งปฏิกิริยาการสลายภายในไมโทคอนเดรีย

การเตรียมพร้อมสำหรับนักกีฬาฟุตบอลที่มีความต้องการพลังงานในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน และลักษณะทางกายที่มีความเฉพาะเจาะจง รวมถึงเทคนิคในการฝึกกีฬาฟุตบอล รวมถึงจุดมุ่งหมายในทางสรีระวิทยาของนักกีฬาฟุตบอลจะต้องมีความพร้อมสูงสุด โดย Morgans, Orme, Anderson, and Drust (2014) ได้กล่าวว่า ไม่เพียงแต่การมีความพร้อมทางด้านร่างกายของนักกีฬาที่ดีแล้ว แต่จะต้องพัฒนาเทคนิค แทคติก จิตใจ และร่างกาย ให้มีความพร้อมทุก ๆ ด้านพร้อมกัน นอกจากนั้น ความหลากหลายในการฝึก รูปแบบการวิ่งในกีฬาฟุตบอลที่มีความเฉพาะเจาะจงในระบบการเผาผลาญ รวมถึงความเร็วในการวิ่งที่จะต้องพัฒนาความสามารถให้สูงสุด ระบบพลังงานและองค์ประกอบฟิตเนส จึงมีความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของระบบสรีรวิทยา และความแตกต่างในการพัฒนาองค์ประกอบฟิตเนส (Morgans et al., 2014)

| **ลักษณะกิจกรรม** | **เอทีพี-พีซี (ATP-PC)** | **ไกลโคไลซิส (Glycolysis)** | **ออกซิเดทีฟ (Oxidative)** |
|---|---|---|---|
| ความหนักของงาน | ความหนักที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ของ HRmax | - ระดับความหนักที่ 85 เปอร์เซ็นต์<br>- ใช่สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของระยะเวลาที่นานขึ้น ในขณะที่ไม่ได้เอา PC กลับมาใช้ใหม่ | - ในขณะพัก<br>- ระดับความหนัก < 85 เปอร์เซ็นต์ |
| ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน | ระยะเวลาสั้น ๆ 1-5 วินาที | ระยะเวลา 5-60 วินาที | ระยะเวลานาน 75 วินาที ขึ้นไป |
| เปอร์เซ็น ระยะเวลาในการทำงานทั้งหมด | 0-10 วินาที | 10-75 วินาที | 75 วินาที ขึ้นไป |
| องค์ประกอบของฟิตเนต | - แอนแอโรบิก: พลัง & ความเร็ว<br>- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ<br>- พลังของกล้ามเนื้อ<br>- พิกัดการเคลื่อนไหวขณะที่ข้อต่อเคลื่อนไหวเร็ว ๆ | - แอนแอโรบิก: พลัง & ความเร็ว<br>- พลังของกล้ามเนื้อ (ทำงานซ้ำ ๆ กัน)<br>- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (หดเกร็งกล้ามเนื้อ > 5 วินาที)<br>- พิกัดการเคลื่อนไหวขณะที่ข้อต่อเคลื่อนไหวเร็ว ๆ<br>- ความทนทานในการทำงานของกล้ามเนื้อรยางค์<br>- ความคล่องตัว (ทำงานเร็ว ๆ จนเกิดความล้า) | - ความสามารถในการใช้ออกซิเจน<br>- กล้ามเนื้อสามารถทำงานได้เป็นระยะเวลานาน ๆ<br>- ความอ่อนตัวของกล้ามเนื้อในขณะอยู่กับที่ |

**2. สมรรถภาพทางการกีฬา**

สมรรถภาพทางกีฬาเป็นความสามารถของนักกีฬาในอันที่จะใช้ระบบพลังงานเชิงแอนแอโรบิก และแอโรบิก ในการฝึกซ้อม หรือแข่งขัน อันเกี่ยวข้องกับการแสดงออกซึ่งความสามารถทางร่างกายได้ อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถฟื้นตัวกลับสู่สภาวะปกติได้ในเวลาอันรวดเร็ว

**2.1 สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก (Anaerobic performance)**

สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก หมายถึง สมรรถภาพการทำงานของร่างกายแบบไม่ใช่ออกซิเจน และทำงานอย่างรวดเร็ว ระยะเวลาสั้น ๆ โดยใช้ เอทีพี ผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส และเกิดเป็นกรดแลคติกสะสมขึ้นในกล้ามเนื้อ และเลือด กระบวนการเผาพลาญของร่างกาย กระบวนการนี้ จะใช้เอทีพีน้อยกว่ากระบวนการเผาพลาญแบบแอโรบิก การใช้พลังงานในการแข่งขันกีฬาฟุตบอลเชิงแอนแอโรบิก เช่น การสปริ๊นระยะสั้น ๆ การกระโดด การปะทะ และการแย่งบอลกับคู่ต่อสู้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะขบวนการเมตาบอลิซึมในกล้ามเนื้อ โดยงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบประเมินใช้การทดสอบด้วยวิธี Repeat sprint ability โดยประเมินความสามารถในการสปริ๊นด้วยความเร็วสูงสุดของร่างกาย โดยทำซ้ำ 5 รอบ และระยะเวลาสั้น ๆ ในการฟื้นตัว เพื่อประเมินค่าความล้า และค่าพลังสูงสุด (Girard et al., 2011) โดยใช้สูตรดังนี้

$$\mathrm{FI} = 100 \times \frac{\mathrm{Sbest} - \mathrm{Sworst}}{\mathrm{Sbest}}$$

ผู้เข้าทดสอบ สปริ๊นอย่างเต็มที่จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด ระยะทางในการสปริ๊นรวมไปถึงจุดสิ้นสุดรวม 34.2 เมตร ในแต่ละการสปริ๊น ผู้เข้าทดสอบจ๊อกกิ้ง กลับมาจุดเริ่มต้น 15 วินาที แล้วจึงทำซ้ำทั้งหมด 5 รอบ (Bangsbo, 1994)

**2.2 สมรรถภาพเชิงแอโรบิก (Aerobic performance)**

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นการออกกำลังกายโดยใช้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่ความหนักเท่าเดิม โดยรูปแบบในการออกกำลังกายนั้นจะต้องใช้กระบวนการเผาพลาญเชิงแอโรบิก (Aerobic metabolisms) ในรูปแบบอดิโนซีนไตรฟอสเฟส (ATP) จากคาร์โบไฮเดรต ไขมัน อมิโนเอซิส โดยมีการทำงานของออกซิเจนทำปฏิกิริยาด้วย โดย American college of sports medicine (ACSM) กำหนดว่า ขีดความสามารถในการยืนระยะเชิงแอโรบิก จะต้องมีระบบการไหลเวียนเลือดที่ดีเพื่อที่จะสามารถขนส่งออกซิเจนได้อย่างเพียงพอ และระบบกล้ามเนื้อที่จะได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ เช่น การวิ่งมาราธอน การปั่นจักรยาน รวมถึงกีฬาฟุตบอลก็ต้องใช้ระบบแอโรบิก ดังนั้น เกณฑ์ในการวัดความสามารถการทำงานของระบบ

แอโรบิกนั้น สามารถวัดโดยหาค่า อัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนของร่างกาย (Oxygen consumsion: $VO_2$) โดยก๊าซออกซิเจนถูกนำไปสันดาปกับกลูโคส ไขมัน โปรตีน เพื่อให้ได้พลังงาน ATP สามารถวัดได้ในขณะปั่นจักรยานวัดงาน หรือขณะวิ่งบนลู่วิ่ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สในการทดสอบ

**2.3 ระบบไหลเวียนโลหิตในนักกีฬาฟุตบอล (Circulation in soccer player)**

ระบบหัวใจและหลอดเลือดประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน คือ หัวใจ หลอดเลือดเลือด และระบบควบคุม หลอดเลือดแยกเป็นหลอดเลือดแดง หลอดเลือดฝอย และหลอดเลือดดำ ภายใน หลอดเลือดมีเลือด ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชนิดหนึ่ง หัวใจ ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้พลังงานแก่การไหลของเลือด โดยทำหน้าที่สูบฉีดเลือดให้ไหลจากหัวใจผ่านหลอดเลือดแดง หลอดเลือดฝอย หลอดเลือดดำ และกลับสู่หัวใจอีกครั้ง ระบบไหลเวียนโลหิตมีหน้าที่สำคัญ การนำเอาสาร ออกซิเจน และสารอาหาร ไปยังส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ รวมทั้งรับเอาของเสียออกมาจากเซลล์เพื่อส่งไปยังปอด

**ความสำคัญของระบบไหลเวียนโลหิต**

ระบบไหลเวียนโลหิตประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ คือ หัวใจ หลอดเลือด และเลือด ซึ่งการทำงานประสานกันอย่างต่อเนื่อง โดยหัวใจจะบีบตัวเพื่อให้เกิดแรงดันขึ้นภายในหลอดเลือด ทำให้เลือดซึ่งเป็นตัวกลางในการนำเอาสารอาหาร ออกซิเจน และฮอร์โมนผ่านหลอดเลือดแดงขนาดต่าง ๆ ไปยังเซลล์ทั่วร่างกาย และนำของเสียซึ่งได้จากการเผาผลาญสารอาหารของเซลล์กลับเข้าสู่หัวใจทางเลือดดำ (กิจจา สุวรรณ, 2543)

การไหลเวียนของโลหิตอาศัยแรงบีบตัวของหัวใจ (Heart contraction) เป็นส่วนสำคัญส่วนน้อยอาศัยความตึงตัวของผนังหลอดเลือด แรงบีบตัวของกล้ามเนื้อลาย (Muscle contraction) ความดันภายในช่องเยื่อหุ้มปอดและความดันภายในช่องท้าย ขณะที่โลหิตไหลเวียนอยู่นั้นจะมีความต้านอยู่ตลอดเวลา เกิดจากความหนืดของเลือด เส้นผ่านกลางของหลอดเลือดและระยะทางของการไหลเวียนโลหิต เป็นต้น

การไหลเวียนเลือดในมนุษย์ อาจแยกออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

ก. การไหลเวียนส่วนกาย (Systemic circulation) เป็นการไหลเวียนเลือดที่เริ่มตั้งแต่หัวใจห้องล่างซ้ายบีบเลือดออกสู่เออร์ตา (Aorta) แล้วไหลไปตามหลอดเลือดแดงขนาดต่าง ๆ ผ่านหลอดเลือดฝอยในอวัยวะต่าง ๆ หลอดเลือดดำ และไปสิ้นสุดที่หัวใจห้องบนขวา การไหลเวียนส่วนนี้มีความสำคัญมากที่สุดของระบบหัวใจร่วมหลอดเลือด และมีการทำงานและการควบคุมที่ได้รับการสื่อสารกันอย่างดี ความดันเลือดและความต้านทานของหลอดเลือดแดงเล็กในระบบนี้เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดการไหลของเลือดไป เลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ

ข. การไหลเวียนส่วนปอด (Pulmonary circulation) เป็นการไหลเวียนเลือดที่เริ่มจากหัวใจห้อง ล่างขวาบีบเลือดผ่านหลอดเลือดแดงพัลโมนารี (Pulmonary artery) ไปปอด ผ่านหลอดเลือดฝอยที่ปอด หลอดเลือดดำ ที่ปอดและไปสิ้นสุดที่หัวใจห้องบนซ้าย อัตราการไหลของเลือดผ่านส่วนนี้ในเวลาหนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับการไหลเวียนส่วนกาย การไหลของเลือดผ่านปอดมีเป้าหมายเพื่อการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่าง เลือดกับอากาศในถุงลม โดยทั่วไปการไหลของเลือดผ่านปอดขึ้นกับการทำงานของหัวใจทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ความดัน เลือดและความต้านทานในระบบนี้มีค่าน้อยกว่า การไหลเวียนส่วนกายอย่างมาก (สัญญา ร้อยสมมุติ, 2555)

การไหลเวียนโลหิตส่วนกาย เรียกว่าการไหลเวียนส่วนปลาย (Peripheral circulation) เริ่มต้นจากโลหิตแดงไหลออกเวนทริเคิลซ้าย (Left ventricle) เข้าสู่หลอดเลือดเอออร์ตา (Aorta) แยกไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เอออร์ตา แยกเป็น 2 แขนง ไปเลี้ยงบริเวณศีรษะ และเนื้อเยื่อใกล้เคียง อีกแขนงหนึ่งลงมาสู่ส่วนล่างของร่างกายซึ่งเป็นเยื่อส่วนใหญ่ (บังอร ชมเดช, 2541) สามารถจำแนกได้ดังนี้

ก. หลอดเลือด เป็นอวัยวะที่มีหน้าที่พิเศษทำให้กลไกการทำหน้าที่ของหลอดเลือดในแต่ละอวัยวะแตกต่างกันไปผนังของหลอดเลือดประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อเรียบ เนื้อเยื่อยืดหยุ่นกลับ (Elastic tissue) และเส้นใยคอลลาเจน (Collagen fiber) หลอดเลือดเอออร์ตามีขนาดใหญ่ที่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร หลอดเลือดที่แยกแขนงออกไปจะมีขนาดเล็กลงและมีจำนวนมากขึ้น (คณาจารย์วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล, 2548)

ข. หลอดเลือดแดง นำเลือดที่มีออกซิเจนสูงไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ผนังหลอดเลือดมีกล้ามเนื้อที่แข็งแรงสามารถรับแรงดันขณะหัวใจบีบตัวได้ มีเส้นผ่าศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่ที่ระดับหลอดเลือดแดงแล้วค่อย ๆ เล็กลงจนน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ผนังมีเนื้อเยื่อยืดหยุ่นกลับจำนวนมากขึ้นตามขนาดของหลอดเลือด หลอดเลือดระดับนี้ไวต่อการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็งตัว (Arteriosclerosis) จากการที่มีไขมันไปเกาะที่ผนังหลอดเลือดทำให้ยืดขยายตัวได้ลดลง

ค. หลอดเลือดแดงรอง เป็นแขนงเล็กลงของหลอดเลือดแดง ผนังหลอดเลือดส่วนนี้ค่อนข้างหนามากเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลาง เนื่องจากมีกล้ามเนื้อบุอยู่มากจึงมีหน้าที่คอยปรับความต้านทานของหลอดเลือด เพื่อช่วยให้เลือดเข้าสู่แต่ละอวัยวะได้การหดตัวหรือคลายตัวถูกควบคุมโดยหลายกลไก ทั้งระบบประสาท ฮอร์โมน และพวกสารเมตาบอลิซึมของเนื้อ รวมทั้งกลไกทางฟิสิกส์ เช่น การเปลี่ยนแปลงความดันเลือดหรือความหนืดของเลือด เป็นต้น ความดันโลหิตสูง (Hypertension) เกิดจากขณะหลอดเลือดหดตัวจะทำให้เกิดความต้านทานขึ้น หัวใจพยายามจะบีบโลหิตไปให้พอเพียง เมื่อหัวใจบีบตัวแรงขึ้นความดันจึงเพิ่มขึ้น

ง. หลอดเลือดฝอย หลอดเลือดแดงรองที่เล็กลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งส่วนที่เล็กสุด คือ หลอดเลือดฝอย ซึ่งไม่มีกล้ามเนื้อเรียบบุผนัง เป็นตำแหน่งที่ให้สารอาหาร ก๊าซ และสารน้ำผ่านเข้าออกผนังได้ โดยอาศัยวิธีการแพร่ผ่านหรือซึมผ่านหรือการกรอง ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหารและตำแหน่งของหลอดเลือดฝอย ปริมาตรโลหิตที่ไหลผ่านหลอดเลือดฝอยแต่ละส่วนถูกควบคุมโดยกล้ามเนื้อเรียบที่บุผนัง ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกล้ามเนื้อหูรูด เรียกว่า กล้ามเนื้อหูรูดก่อนหลอดเลือดฝอย (Precapillary sphincter)

จ. หลอดเลือดดำ เลือดจากหลอดเลือดดำฝอยหลายอันไหลมารวมกันเข้าหลอดเลือดดำจนกระทั่งเข้าสู่หลอดเลือดดำ หลอดเลือดดำกล้ามเนื้อเรียบบุผนัง จึงมีความต้านทานการไหลเวียนเกิดขึ้น เรียกว่า ความต้านทานของหลอดเลือดดำ (Venous resistance) หลอดเลือดดำขนาดใหญ่ขึ้นจะมีผนังบางลง นำเลือดกลับสู่หัวใจ หลอดเลือดดำจุเลือดได้ร้อยละ 50 ของปริมาตรเลือดในร่างกายทั้งหมดถือได้ว่าเป็นแหล่งเก็บเลือด (Blood reservoir) ที่สามารถทดแทนเลือดให้แก่ร่างกายได้จนทำให้ความดันเลือดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ขณะที่ร่างกายเสียเลือดหรือต้องการโลหิตเวียนเพิ่มขึ้น

ฉ. การเชื่อมประสานของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ หลอดเลือดแดงและหลอดดำเชื่อมประสานกันได้โดย Arteriovenous anastomosis หรือ A-V Shunt ซึ่งเป็นช่องทางให้เลือดไหลจากหลอดเลือดแดงรองเข้าหลอดเลือดดำย่อยได้โดยไม่ต้องผ่านหลอดเลือดฝอย การจัดตั้งของหลอดเลือดนี้เพื่อประโยชน์บางอย่าง เช่น ให้โลหิตไปสู่ผิวหนังมากขึ้นขณะร่างกายอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อช่วยระบายความร้อนออกจากร่างกาย เป็นต้น (บังอร ชมเดช, 2541)

ระบบไหลเวียนเลือดในกีฬาฟุตบอลเป็นสิ่งสำคัญในการฝึกซ้อม และการแข่งขันที่จะสามารถบ่งบอกถึงสมรรถภาพของนักกีฬาฟิตบอล เช่น การขนส่งสารอาหาร ออกซิเจน การลดคาร์บอนไดออกไซด์ ควบคุมกรด-ด่างของร่างกาย Krustrup, Mohr, Ellingsgaard, and Bangsbo (2005) ได้ศึกษาในนักฟุตบอลหญิงระดับอาชีพ มีระยะทางในการวิ่งของเกมการแข่งขันประมาณ 10 กิโลเมตร และค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 81-87 เปอร์เซ็นต์ และ 97-98 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ผลทางสรีรวิทยาของแต่ละผู้เล่นในการออกกำลังกายจะพิจารณาจากความหนักภายในระหว่างการฝึกซ้อม ขึ้นอยู่กับระยะเวลา และความหนักของการฝึกที่ส่งผลทางสรีรวิทยาผู้เล่น และเป็นผลต่อพันธุกรรม และสถานะของการฝึก โดยใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (HR Monitor) เป็นตัวกำหนดความหนัก ซึ่งมีความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ และการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่แสดงถึงการทดสอบในห้องแลบ และการฝึกซ้อม

กีฬาฟุตบอลในสนาม (Impellizzeri, Rampinini, & Marcora, 2005) ส่วนมากแล้วการประเมินความหนักจะใช้การกำหนดระยะเวลาในโซนระดับความหนักของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Ohlsson, Berg, Ljungberg, Söderman, and Stålnacke (2015) ได้ศึกษาอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการฝึกซ้อม และการแข่งขันลีกภายในประเทศ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลหญิงระดับอาชีพ 15 คน ระหว่างการฝึกซ้อมแบบปกติ 3 ขั้นตอน และการแข่งขันลีกภายในประเทศ ดังนั้น นักกีฬาฟุตบอลจึงจำเป็นต้องมีระบบไหลเวียนเลือดที่ดี จึง โดยใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitors) เปรียบเทียบโดยใช้โซนระดับความหนักของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นตัวกำหนดระดับความหนัก จากการศึกษาพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจขณะแข่งขันสูงกว่าการฝึกซ้อมที่ (HRmean 168 ± 9 ครั้งต่อนาที HRpeak 189 ± 8 ครั้งต่อนาที) และ (HRmean 134 ± 11 ครั้งต่อนาที HRpeak 183 ± 9 ครั้งต่อนาที) ความหนักในการแข่งขันจะมีมากกว่าการฝึกซ้อม นั้นแสดงถึงความต้องการในรูปแบบทางสรีรวิทยาระบบต่าง ๆ ดังนั้น การฝึกซ้อมจะต้องเพิ่มความหนักมากขึ้นเพื่อให้ใกล้เคียงกับระดับความหนักของการแข่งขัน

จากการศึกษาของ Alper (2016) ได้ศึกษาโซนกำหนดระดับความหนัก (ตารางที่ 2-2) ในการฝึกซ้อมกีฬาฟุตบอล

ตารางที่ 2-2 กำหนดระดับความหนักในการฝึกซ้อม (อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด)

| **กิจกรรม** | **ระดับความหนัก** |
|---|---|
| โซน วอร์มอัพ | < 69% |
| โซน สุขภาพ | 70%-84% |
| โซน ความทนทาน | 85%-89% |
| โซน แอนแอโรบิก | 90%-94% |
| โซน การใช้ออกซิเจนสูงสุด | 95%-100% |

การคำนวณอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด = [%ความหนักของการออกกำลังกาย (220 – อายุ)]

การฝึกซ้อมกีฬาฟุตบอลนั้น การที่จะบ่งบอกถึงความหนักในการฝึกซ้อมนั้น คือ อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ที่มีความเชื่อมโยงกันระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ และความหนักในการฝึกซ้อม (ตารางที่ 2-2) ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงโซนของการฝึกว่าเป็นโซน ระบบ

แอนแอโรบิก (Anaerobic system) หรือแอโรบิก (Aerobic system) วิธีการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจ 15 ครั้ง จับชีพจรบริเวณข้อมือ จากนั้นเริ่มจับเวลาพร้อมกับนับการเต้นของชีพจรจนถึง 15 ครั้ง พร้อมกับกดหยุดเวลา เช่น กดหยุดเวลาที่ 20.33 วินาที จากนั้นนำมาเข้าสูตรคำนวณ

$$(15 \div 20.33) \times 60 = 44 \text{ ครั้งต่อนาที}$$

การจับอัตราการเต้นของหัวใจหลังจากออกกำลังกายเป็นสิ่งสำคัญในการคำนวณ ซึ่งจะต้องจับอัตราชีพจรภายใน 10 วินาที เพื่อป้องกันการลดลงของอย่างรวดเร็วของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังจากออกกำลังกายทันที ในนักกีฬาที่มีความฟิตอัตราการเต้นของหัวใจจะลดลงมาสู่สภาวะปกติอย่างรวดเร็ว ดังนั้น จึงควรมีการจับอัตราการเต้นของหัวใจภายในเวลา 10 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 2-3 ดังนี้

ตารางที่ 2-3 การนับอัตราการเต้นของหัวใจภายในระยะเวลา 10 วินาที หลังการออกกำลังกาย

| **เวลา (วินาที)** | **อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)** | **เวลา (วินาที)** | **อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)** | **เวลา (วินาที)** | **อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)** |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.1 | 194 | 4.1 | 146 | 5.1 | 118 |
| 3.2 | 188 | 4.2 | 143 | 5.2 | 115 |
| 3.3 | 182 | 4.3 | 140 | 5.3 | 113 |
| 3.4 | 177 | 4.4 | 136 | 5.4 | 111 |
| 3.5 | 171 | 4.5 | 133 | 5.5 | 109 |
| 3.6 | 167 | 4.6 | 130 | 5.6 | 107 |
| 3.7 | 162 | 4.7 | 128 | 5.7 | 105 |
| 3.8 | 158 | 4.8 | 125 | 5.8 | 103 |
| 3.9 | 154 | 4.9 | 122 | 5.9 | 102 |
| 4.0 | 150 | 5.0 | 120 | 6.0 | 100 |

การกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate: HRmax) นักกีฬาสามารถออกกำลังกายที่ระดับความหนักได้อย่างสูงสุด โดยกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด

ถ้าหากนักกีฬาพักผ่อนเพียงพอ การฟื้นตัวหลังจากออกกำลังกายนั้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับนักกีฬาที่จะทำให้นักกีฬากลับมาฝึกซ้อมได้อย่างเต็มที่ การวัดอัตราการเต้นนั้นควรวัดอย่างต่อเนื่องมากกว่า 2 สัปดาห์ และจะเห็นค่าสูงสุดของ HRmax สำหรับนักกีฬาที่มีการฝึกซ้อมที่ดีจะมีอัตราการเต้นหัวใจค่อนข้างต่ำกว่านักกีฬาที่ไม่ค่อยฝึกซ้อม ในขณะที่ออกกำลังกายอย่างหนัก ดังนั้น การฝึกควรฝึกเฉพาะเจาะจงในแต่ละชนิดกีฬา เนื่องจากในแต่ละชนิดกีฬามีความแตกต่างกัน ดังนั้น เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจที่มีความทันสมัยสามารถจับอัตราการเต้นของหัวใจ และแสดงผลตามแต่ลักษณะการเต้นของหัวใจในนักกีฬาแต่ละคนจึงสามารถบ่งบอกบอกถึงความฟิตของนักกีฬาได้ อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate rest: HRrest) อัตราการเต้นของนักกีฬาที่มีความฟิตจะมีอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักจำนวน 40-50 ครั้งต่อนาที สำหรับนักกีฬาที่ไม่ฟิตจะมีอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ที่ 70-80 ครั้งต่อนาที การบันทึกข้อมูลของ HRrest เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับนักสรีรวิทยาที่สามารถทำนายความสามารถในขณะแข่งขันหรือฝึกซ้อม

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและกรดแลคติก การวิเคราะห์กรดแลคติคนั้นมีในช่วงปี ค.ศ. 1980 และวัดกรดแลคติคได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องภายหลังจากการฝึกซ้อม หรือการแข่งขันการวัดกรดแลคติก และอัตราการเต้นของหัวใจ สามารถบอกได้ว่าเป็นการออกกำลังกายในรูปแบบแอโรบิก หรือแอนแอโรบิก ซึ่งขึ้นอยู่กับการปรับอัตราการเต้นของหัวใจ และกรดแลคติกให้เพิ่มขึ้น หรือลดลงเพื่อที่จะรักษาระดับกรดแลคติคในระหว่างการฝึกซ้อม ในขณะฝึกซ้อมการตรวจวัดความสามารถในการทำงานของอัตราการเต้นของหัวใจควรตรวจวัดทุก ๆ 4 สัปดาห์ ดังนั้น ในนักกีฬาแต่ละคนควรฝึกให้ถึงระดับอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเพื่อที่จะทำให้ส่งผลต่อการฝึกได้อย่างมีประสิทธิภาพจากการศึกษาการทำงานของอัตราการเต้นของหัวใจที่สอดคล้องกับค่ากรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในแต่ละช่วงการแข่งขัน

**2.4 ระบบกล้ามเนื้อในนักกีฬาฟุตบอล (Muscular system in soccer player)**

ระบบกล้ามเนื้อมีความสำคัญ ประกอบไปด้วย ส่วนของกล้ามเนื้อชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กล้ามเนื้อลาย (Striated muscle หรือ Striped muscle หรือ Skeleton muscle) กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle หรือ Visceral muscle) และกล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) โดยกล้ามเนื้อลายหรือกล้ามเนื้อโครงร่างเป็นกล้ามเนื้อที่มีปริมาณมากที่สุดในร่างกาย โดยจะเป็นส่วนประกอบของโครงร่าง โดยการเคลื่อนไหวของร่างกายนั้นล้วนต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อลายที่ยึดเกาะกระดูกจะมีที่ยึดเกาะอยู่ 2 แห่ง คือ จุดเกาะต้น (Origin) และจุดเกาะปลาย (Insertion) ซึ่งสอดคล้องกับศิริพร โชติไพบูลย์พันธุ์ (2545) กล่าวว่า กล้ามเนื้อเป็นเนื้อเยื่อที่มีมากที่สุดในร่างกาย คือมีประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว เซลล์กล้ามเนื้อนั้นมีความไวต่อสิ่งเร้า และสามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าไปตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเป็นกลุ่มเซลล์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็น

พลังงานกล เพื่อทำให้เกิดแรงในการทำงานและมีการเคลื่อนไหวร่างกาย โดยประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักร่างกายเป็นกล้ามเนื้อลายอีก 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นกล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจ

**ชนิดของกล้ามเนื้อ**

กล้ามเนื้อในร่างกาย มี 3 ชนิด คือ

ก. กล้ามเนื้อลาย (Striated muscle) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Skeletal muscle เนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่เกาะติดอยู่กับกระดูกโครงร่าง และทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกายเมื่อกล้ามเนื้อมีการหดตัว มีทั้งสิ้น 792 มัด มีน้ำหนักประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวในจำนวนนี้เป็นน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นโปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือเป็นพวกเกลือแร่และพนักงาน (ศิริพร โชติไพบูลย์พันธุ์, 2545)

ข. กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac หรือ Heart muscle) ประกอบเป็นกล้ามเนื้อหัวใจ ไม่อยู่ภายใต้การควบคุมของอำนาจจิตใจ การหดตัวจะเกิดขึ้นเป็นจังหวะ และสามารถกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าได้เอง

ค. กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) พบอยู่ตามอวัยวะภายในที่กลวง เช่น หลอดเลือด กระเพาะอาหาร ลำไส้ ท่อทางเดินปัสสาวะ เป็นต้น โดยทั่วไปกล้ามเนื้อมีคุณลักษณะสำคัญ 4 ประการ คือ

- มีความไวต่อสิ่งกระตุ้น ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการรับและตอบสนองต่อตัวกระตุ้น ซึ่งตัวกระตุ้นนั้นก็หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในที่แรงพอจนเกิด “แอคชั่นโพเทนเชี่ยล” ได้

- ความสามารถในการหดตัว เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำให้เกิดแรงจากการหดตัว เมื่อได้รับตัวกระตุ้นที่เพียงพอ

- ความสามารถในการยืด เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการถูกยืดออก กล้ามเนื้อลายส่วนมากมีการจัดวางไว้เป็นคู่ เมื่อกลุ่มหนึ่งหดตัวจะทำให้กล้ามเนื้ออีกกลุ่มหนึ่งซึ่งอยู่ตรงกันข้าม คลายตัวและถูกยืดออก

- ความสามารถในการยืดหยุ่น เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการหดกลับสู่สภาวะเดิมภายหลังการหดตัวหรือการถูกยืดออก

**หน้าที่ของกล้ามเนื้อ**

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) กล่าวว่า จากคุณสมบัติของกล้ามเนื้อสามารถทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ

ก. การเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวนั้นเป็นหน้าที่ซึ่งเห็นได้ชัดเจน เช่น การเดินและการวิ่งเกี่ยวข้องกับการหายใจ ส่วนการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อหัวใจซึ่งอยู่ภายในร่างกายที่ทำให้หัวใจสามารถสูบฉีดโลหิตได้ รวมถึงการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหารและลำไส้เพื่อบีบคลุกเคล้าอาหาร เป็นต้น

ข. การรักษาท่าทางของร่างกาย กล้ามเนื้อลายทำหน้าที่รักษาท่าทางของร่างกายไว้ให้คงอยู่ได้ เช่น การยืนและการนั่ง

ค. การสร้างความร้อน เมื่อกล้ามเนื้อลายหดตัวจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นเพื่อช่วยให้อุณหภูมิในร่างกายคงสภาพอยู่ได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากกล้ามเนื้อลาย ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของความร้อนถึง 85 เปอร์เซ็นต์

**กล้ามเนื้อลาย**

กล้ามเนื้อ (Muscle) ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) มีมากในกล้ามเนื้อของร่างกายมนุษย์ กล้ามเนื้อแต่ละเส้นใยถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) ที่เรียกว่าเอนโดไมเซียม (Endomysium) ใยกล้ามเนื้อรวมกันประมาณ 150 ใย กลายเป็นมัดเล็ก ๆ และถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่าเพอริไมเซียม (Perimysium) ส่วนกล้ามเนื้อทั้งมัด มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหุ้มรอบทั้งมัดเรียกว่าเอพิไมเซียม (Epimysium) มีลักษณะแผ่เป็นพังผืด ทำหน้าที่ป้องกันกล้ามเนื้อ และแผ่นพังผืดดังกล่าวมารวมตัวกันหนาขึ้นกลายเป็นเอ็น เพื่อไปยึดติดกับกระดูก (ณัฐธิดา บังเมฆ, 2547)

**การหดตัวของกล้ามเนื้อ**

กล้ามเนื้อลายอยู่ใต้อำนาจจิตใจ สามารถควบคุมได้ซึ่งการหดตัวของกล้ามเนื้อลายจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อมี “แอคชั่น โพเทนเชี่ยล” ผ่านไปตามซาโครเลมม่า ซึ่งปฏิกิริยานี้ต้องอาศัยการกระตุ้นจากเส้นประสาทการทำงานของกล้ามเนื้อลาย จะถูกควบคุมโดยระบบประสาทผ่านทางเส้นสาทยนต์ที่มาเลี้ยงยังกล้ามเนื้อนั้น เมื่อกระตุ้นเส้นประสาทยนต์ มีผลทำให้เกิดการหลั่งสารสื่อประสาทอซีทิลโคลีนออกจากถุง ซึ่งอยู่บริเวณปลายประสาทอซีทิลโคลีน จะมาจับกับตัวรับความรู้สึกซึ่งอยู่บนผิวเยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อทำให้มีการเพิ่มแพร่ผ่านของโซเดียมไอออน มีผลทำให้เกิดดีโพลาไรเซชั่น ที่บริเวณรอยต่อประสานระหว่างเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular junction) เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อยื่นเป็นท่อตามขวาง (Transverse tubule) เข้าไปในเซลล์ ปฏิกิริยาขณะทำงานของกล้ามเนื้อจึงเคลื่อนที่มาตามท่อตามขวางมีผลให้เกิดดีโพลาไรเซชั่นของท่อตามขวางและมีผลต่อซาร์โครพลาสมิกเรติคูลั่ม (Sarcoplasmic reticulum) ซึ่งขนาบอยู่ทั้งสองข้างของท่อตามขวาง ให้หลั่งแคลเซียมออกมาจากท่อเทอร์มินัลซิสเตอนา (Terminal cisterna) ของซาร์โคพลาสมิกเรคติคูลั่ม และไปจับกับโปรตีนโทรโปนิน (Troponin) ทำให้เปิดตำแหน่งที่จับ

ของมัยโอซินที่อยู่บนสายของแอ็คตินได้ 7 แห่ง หัวไมโอซินจึงสามารถจับกับแอ็คตินได้ เกิดสะพานเรียกว่า ครอสบริดจ์ (Cross-bridge) ขณะเดียวกันที่หัวของ ไมโอซินมีเอ็นไซม์ (Enzyme) ที่สำคัญ คือไมโอซิน เอทีพีเอส (Myosin ATPase) ซึ่งทำหน้าที่สลาย เอทีพี ให้ได้เอดีพี ฟอสเฟต และพลังงาน ซึ่งพลังงานนี้ทำให้เกิดแรงกระชากในการงอหัวไมโอซิน เพื่อที่จะดึงสายแอคติน หรือใยฟิลาเมนต์

## ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue)

ความเมื่อยล้ากล้ามเนื้อ หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานให้มีประสิทธิภาพ หรือกำลังได้เท่าเดิม ภายหลังจากการที่กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นซ้ำ ๆ เป็นเวลานาน ๆ หรือถูกกระตุ้นด้วยความถี่สูง ซึ่งจะพบว่ามีผลทำให้ความเร็วของการหดตัวลดลง ระยะเวลาคลายตัวช้าลงทั้ง ๆ ที่ยังถูกกระตุ้นอยู่

จากการศึกษาของ Shei and Mickleborough (2013) กล่าวว่า ความเมื่อยล้าของร่างกายที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การออกกำลังกาย การฝึกซ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฝึกซ้อมที่มีความถี่ ความหนักสูง และระยะเวลาที่ยาวนาน ซึ่งส่งผลให้เกิดอาการเมื่อยล้าเกิดขึ้นต่อร่างกาย กลไกที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้านั้นอาจเป็นสาเหตุของทั้งการล้าจากระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) และการล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ซึ่งสอดคล้องกับ Gibson and Edwards (1985) ได้กล่าวว่าการล้าจากระบบประสาทส่วนกลางจะทำให้การส่งกระแสประสาทไปยังกล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ ในทางที่แย่ลงหรือสั่งการให้กล้ามเนื้อทำงานไม่ได้เต็มที่ ส่วนการล้าจากระบบประสาทส่วนปลายนั้นจะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical) โดยทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อผิดปกติ ซึ่งเป็นเพราะสาเหตุของการล้า และการส่งกระแสประสาทเพิ่มขึ้นไปยังกล้ามเนื้อ (Taylor, Bronks, Smith & Humphries, 1997) ดังนั้น ความเมื่อยล้าสามารถพิจารณาได้ว่าเกิดขึ้นโดยมีหลายสาเหตุดังต่อไปนี้

**1. ชนิดของความเมื่อยล้า**

1.1 ความเมื่อยล้าจากระบบส่วนกลาง (Central fatigue) ส่งผลจากส่วนกลางของร่างกาย เช่น แรงจูงใจ การส่งสัญญาณของระบบประสาทส่วนกลาง และการระดมของมอเตอร์ยูนิต (Motor unit) และการเกิดบริเวณการถ่ายทอดสารสื่อประสาทระหว่างระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Bigland-Ritchie, Jones, Hosking, & Edwards, 1978) สอดคล้องกับการศึกษาของ Enoka and Stuart (1992) ที่พบว่าแรงของกล้ามเนื้อในการหดตัวนั้นลดลงเนื่องจากผลของการระดมมอเตอร์ยูนิต (Motor unit) นั้นลดลง โดยวัดจาก การตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: iEMG) ซึ่งมีการศึกษาจำนวนมากถึงการลดลงของแรงในกล้ามเนื้อเนื่องจากเป็นผลจากการขนส่งของ

ระบบประสาทและในการลดการระดมแรงของกล้ามเนื้อลาย (Lepers et al., 2000) จากการทดสอบโดยให้หดตัวของกล้ามเนื้ออย่างเต็มที่ ที่แสดงถึงผลของแรงลดลงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ในการทำงาน 3 นาที (Gandevia, Allen, Butler & Taylor, 1996)

1.2 ความเมื่อยล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue model) คือ การสลายกลุ่มของฟอสเฟตให้ได้พลังงานจำนวนมาก ซึ่งสามารถใช้ในการทำงานของเซลล์ ดังนั้น การสลาย ATP จึงเป็นปัจจัยหลักสำคัญในการออกกำลังกาย ได้แก่ อะดีโนซีนไตฟอสเฟต (ATP-PC) (Dzeja & Terzic, 2003) ระบบแอนแอโรบิก (Anaerobic system) หรือระบบไกลโคไลซิส (Glycolytic system) และระบบออกซิเดชั่น (Oxidation system) (Bose et al., 2003) โดยการถ่ายทอดสารฟอสเฟตจะไม่ผ่านออกซิเจนในสองกระบวนการแรก แต่จะถ่ายทอดสารฟอสเฟตพลังงานสูงผ่านออกซิเจนในขบวนการที่สาม โดยใช้กระบวนการขับเคลื่อนย้ายโปรตอนเพื่อให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport) (Dzeja & Terzic, 2003) สอดคล้องกับการศึกษาของ MacIntosh, Holash, and Renaud (2012) ได้กล่าวว่า ในการศึกษาพบว่ามีหลาย ๆ ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย เช่น Metabolic acidosis สภาวะที่ร่างกายได้รับกรดมากเกินไป การบกพร่องของไกลโคเจน การบกพร่องของฟอสฟาเจน นอกจากนี้ ความเมื่อยล้าจากระบบประสาทส่วนปลาย ยังเกิดจากความเมื่อยล้าของตัวรับไรอโนดีน (Ryanodine receptor) โดยจะทำให้ลดการหลั่งของแคลเซียมน้อยลง จากการศึกษาความเมื่อยล้าจากระบบประสาทส่วนปลายพบว่า เกิดจากการสะสมของกรดแลคติกนั้นเกิดขึ้นเพราะความไม่สมดุลของระหว่างการเกิดแลคติก และการกำจัดแลคติก ถ้าร่างกายออกกำลังอย่างหนักทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติกมากกว่ากำจัดออก (Brooks, Dubouchaud, Brown, Sicurello, & Butz, 1999)

การเกิดกรดแลคติกเป็นผลจากกระบวนการสุดท้ายของระบบ ไกลโคไลซิส ในขณะที่ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ หรือในขณะที่ต้องการพลังงานมากเกินกว่าความสามารถในการผลิตพลังงานระบบออกซิเดทีฟฟอสโฟริเลชัน จะทำให้ร่างกายสลายพลังงานจากแหล่งที่เหลืออย่างรวดเร็วในกระบวนการสร้างพลังงานรูปแบบของ (Nicotinamide adinine dinucleotide ($NAD^+$)) รับไฮโดรเจนกลายเป็นรูปแบบ ($NADH + H^+$) เพื่อให้เกิดการสลายกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolytic) ในรูปแบบกลูโคส และไกลโคเจน โดย ($NAD^+$) เป็นสิ่งสำคัญของกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งจะทำให้ผลิตพลังงานได้อย่างรวดเร็ว การออกซิเดชันก็ช่วยป้องกันการผลิตกรดแลคติกมากขึ้น จากกระบวนการไพรูวิก ซึ่งสุดท้ายจะทำให้ได้พลังงานสูง กรดแลตติกจะถูกออกซิไดซ์ในใยกล้ามเนื้อ และเปลี่ยนแปลงไปเป็นไกลโคเจนผ่านกระบวนการ กลูโคนีโอจินิซิส ในตับ การทำปฏิกิริยากรดแลคติก เป็นการเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ Lactate dehydrogenase ซึ่งจะทำปฏิกิริยาในกล้ามเนื้อ ถ้ากล้ามเนื้อมีค่าความเป็นกรด (pKa) สูงถึง 3.9 (Lindinger, Kowalchuk, &

Heigenhauser, 2005) ในสรีระวิทยาค่า pH คือ กรดที่มีการแตกตัวของโปรตอน และไฮโดเจน เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้มีผลต่อการทำงานของร่างกาย เพราะร่างกายสามารถทนต่อค่า pH ในช่วงแคบ ๆ การผลิตกรดแลคติกไม่ได้เกิดขึ้นเพียงแค่มีไฮโดเจนเพิ่มมากขึ้นในร่างกาย ยังเกิดจากการสลายสารอาหาร รูปแบบ ATP (Keyser, 2010) และในขณะไกลโคไลซิส หรือทั้งหมดตั้งแต่ตัวกลาง Glycolytic ที่มีความเป็นกรดอ่อน ๆ ดังนั้น การสะสมไฮโดเจนไอออน จะไปยับยั้งเอนไซม์ Phosphofructokinase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) ลดการยึดเกาะกันระหว่างแคลเซียม และโทโพนิน กระตุ้นตัวรับรู้ความเจ็บปวด และไฮโดรเจนที่เพิ่มมากขึ้น จะไปยับยั้งกระบวนการทั้ง Glycogen และ Glyconeolysis และยังลดความสามารถกล้ามเนื้อในการทำงานสังเคราะห์พลังงาน ปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อความเมื่อยล้าของระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) (Garland & McComas, 1990) และถ้าหากไฮโดรเจนที่เพิ่มมากขึ้นจะต่อต้านการรักษาสมดุลระหว่างกรด-เบส โดยสารละลายกรดอ่อน-ด่างอ่อนของร่างกาย ของไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) ซึ่งทำหน้าที่รักษาสมดุลโดยผ่านปฏิกิริยา ดังนี้

$$H^+ + HCO3- <--> H2CO3 <--> H2O + CO2$$

โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (Carbonic anhydrase) (Vasuvattakul, Warner, & Halperin, 1992) สุดท้าย คาร์บอนที่ไม่ได้ใช้ในการเผาพลาญก็จะถูกนำมาใช้ในการระบายอากาศ และกำจัดกรดเกินในร่างกาย

การออกกำลังกายจะเกิดการสลายพลังงาน ATP อย่างรวดเร็วในรูปแบบ ADP + Pi + Energy ที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ การขาดฟอสฟาเจนพร้อมกับการสะสมฟอสเฟต (Inorganic phosphate: Pi) สามารถทำให้เกิดความเมื่อยล้า ในขณะที่ Pi เป็นตัวควบคุมการทำงานไกลโคไลติก (Glycolytic) (Sugden & Newsholme, 1975) และมีหลายกลไกที่แตกต่างกันออกไป การเก็บสะสมของฟอสเฟตสามารถทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อลดลง และนำไปสู่ความเมื่อยล้า เพราะฟอสเฟตอาจไปจับกับไมโอซิน ซึ่งจะทำให้แรงลดลง และลดการตึงตัวของกล้ามเนื้อ (Cooke, Franks, Luciani, & Pate, 1988) เนื่องจากจะไปลดการจับกันระหว่าง Actin และ Myosin ในสภาพที่ยึดติดอย่างแน่นหนา นอกจากนั้น ฟอสเฟต (Pi) อาจไปจับกับแคลเซียมอิสระ ในรูปแบบของ CaPi ซึ่งจะทำให้ลดจำนวนแคลเซียมอิสระที่ใช้ในกลไกการกระตุ้นกล้ามเนื้อให้เกิด “Action potential” (Dutka, Cole, & Lamb, 2005)

การสะสมของฟอสเฟต (Pi) และแอมโมเนีย (Ammonium) อาจนำไปสู่ความเมื่อยล้า เนื่องจากผลิตกรดแลคติกเพิ่มขึ้น การพร่องต่อไกลโคเจน และแอมโมเนียม ไอออน (Ammonium

ion: NH4+) ที่เกิดขึ้นจากในกระบวนการไกลโคไลซิส ขณะที่กลูโคสทำปฏิกิริยาสังเคราะห์ Glucose-6-Phosphate (G6P) (Kirkendall, 1990) และ Adenosine monophosphate เป็นกระบวนการควบคุมสังเคราะห์กรดอมิโน โดยเอนไซม์ Adenylate deaminase ให้เป็น Inosine monophosphate และแอมโมเนีย (NH3) และยังได้จาก Purine nucleotide cycle (PNC) ดังที่ Mutch and Banister (1983) ได้ศึกษาพบว่า Ammonie ion positive จะทำให้ เอนไซม์ PFK ใน Glycolytic และผลิต Fumarate (สื่อกลาง Krebs cycle) ผ่าน Purine nucleotide cycle (PNC) ถ้า NH4+ มากเกิน จะทำให้ไปยับยั้งเอนไซม์ Pyruvate dehydrogenase และ Isocitrate dehydrogenase สุดท้ายทำให้กระบวนการเผาพลาญ Oxidative ต่ำลง

การเก็บสะสมรูปแบบของสารตั้งต้น และการบกพร่องของสารตั้งตน ทำให้เกิดผลกระทบเชิงลบในการสังเคราะห์ ATP ดังนั้น ศักยภาพในการเผาพลาญของกล้ามเนื้อสามารถทำให้เกิดการพัฒนาแรงได้มากขึ้น (Chance, Eleff, Leigh, Sokolow, & Sapega, 1981) ซึ่งจะช่วยในการทำงานรูปแบบของสารตั้งต้น Phosphocreatine ที่ยังขาดอยู่ โดยจะช่วยในการทำงานของระบบพลังงาน Glycolytic และ Oxidative เพื่อสลายมาเป็นพลังงาน

ไกลโคเจน เป็นสารตั้งต้นของคาร์โบไฮเดรต จะเปลี่ยนเป็นสาร Glucose-1-phosphate โดยเอนไซม์ Glycogen phosphorylase หลังจากที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างปฏิกิริยา โดยเปลี่ยนเป็นกระบวนการขั้นตอนที่สองคือ Glucose-6-phosphate เข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส และกรดไพรูวิกจะสามารถเข้าสู่ Acytyl coA ถึงจะเข้าสู่ Krebs cycle เพื่อ Oxidation ต่อไป ซึ่งใน Krebs cycle จะมีอิเล็กตรอนอยู่มาก ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ($NADH + H^+$ และ FADH2) ถึงสามารถเข้า ๆ ไปใน Electron transport chain (ETC) การขนส่งอิเล็กตรอนเป็นคู่กับการโยกย้ายของโปรตอนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นใน (Mitochondrial membrane) โดยสร้างการเปลี่ยนแปลงของสารให้เกิดแรงขับเคลื่อนที่ของโปรตอน โดยแรงในการขับเคลื่อนของโปรตอนนั้นได้พลังงานจากการสังเคราะห์ ATP ผ่าน F0Fa ATPase (Nakamoto, Scanlon, and Al-Shawi, 2008) การขาดการเก็บสะสมไกโคเจนจะทำให้สังเคราะห์ ATP อย่างจำกัด ขาดความสามารถในการออกกำลังกายและทำให้เกิดความเมื่อยล้า

การขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้ออาจเป็นไปอย่างจำกัดขณะ Oxidative phosphorylation ขึ้นอยู่กับออกซิเจน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการ Electron transport chain และถ้าระบบไหลเวียนเลือดทำงานไม่ดีจะทำให้การขนส่งออกซิเจนทำงานอย่างจำกัดในกระบวนการเผาพลาญระบบแอโรบิก (Aerobic metabolism) การศึกษาก่อนหน้านี้กล่าวว่า ตัวบ่งชี้ถึงข้อจำกัดของการใช้ออกซิเจนในมนุษย์ คือ $V^{\circ}O_2max$ ดังนั้น เมื่อใช้ $V^{\circ}O_2max$ จุดถึงจุดสูงสุด จะผลิตพลังงานในรูปแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับกระบวนการเผาพลาญ (Whipp & Wasserman, 1972) ในขณะที่

ออกกำลังกายความหนักมากขึ้น (Cardiac output: Q) และการไหลเวียนเลือดให้กับกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าสูงสุดของเขา หากความหนักเพิ่มขึ้นต่อเนื่องใน Cardiac output และการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อ จะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ต่อไปอีก ข้อจำกัดความสามารถในการทำงานของระบบไหลเวียนเลือดเพื่อชดเชยการลดลงของออกซิเจนในหลอดเลือดแดงที่เห็นได้บ่อยในนักกีฬาที่ออกกำลังกายระดับน้ำทะเล (Amann & Calbet, 2008) การลดลงของออกซิเจน (Oxygen content) เนื่องจากเป็นการลดลงในฮีโมโกลบินในหลอดเลือดแดง (SaO2) ซึ่งการออกกำลังกายจะชักนำให้เกิดความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงลดลง (Exercise-induced arterial hypoxemia: EIAH) (Dempsey & Wagner, 1999) ซึ่งระดับ EIAH ก็จะมีหลายระดับแตกต่างกัน แต่ส่วนมากจะอยู่ในระดับกลาง ๆ ของ EIAH ในขณะออกกำลังกายระดับน้ำทะเล และมีค่า SaO2 ประมาณ 93-95 เปอร์เซ็นต์ ถ้า SaO2 ลดลงมากกว่า 3.0 เปอร์เซ็นต์ ที่อาจนำไปสู่ความเมื่อยล้าและความสามารถในการออกกำลังกายลดลง (Harms et al., 2000)

ตารางที่ 2-4 สรุปการล้าจากระบบประสาทส่วนปลายที่ส่งผลต่อการล้าของกล้ามเนื้อ (Shei & Mickleborough, 2013)

| **Circulation** | **Muscle** | **Substrate** | **Contractile element** |
|---|---|---|---|
| [SaO2] ↓ | [$H^+$] ↑ | [Glucose] ↓ | $Ca^{2+}$ release ↓ |
| [Q] ↓ | [$NH_4^+$] ↑ | [Glycogen] ↓ | Actine-myosin cross- |
| | [Pi] ↑ | [PCr] ↓ | bridge formation ↓ |

หมายเหตุ [SaO2], ความอิ่มตัวของออกซิเจน, [SaHbO2], ความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบิน; [Q], ปริมาตรเลือดส่งออกจากหัวใจต่อนาที; [H+], ความเข้มข้นของไฮโดรเจน ไอออน; [NH4+] ความเข้มข้นของแอมโมเนียม ไอออน; [Pi], ความเข้มข้นสารอนินทรีย์ฟอสเฟต; [PCr], ฟอสเฟสครีเอติน; [Ca2+], แคลเซียม ไอออน

**ตำแหน่งที่เป็นสาเหตุของอาการล้า**

1. บริเวณรอยต่อของประสาทและกล้ามเนื้อ ที่ทำให้เกิดอาการล้า การล้าชนิดนี้พบได้บ่อย ในหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วส่วนกลไกนั้นเชื่อว่า เกิดจากสารสื่อประสาท คือ อะเซติลโคลีน (Acetylcholine) ลดน้อยลง

2. ระบบประสาท เป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการล้า เกิดจากจากระบบประสาทรับความรู้สึก (Sensory feedback) ของกล้ามเนื้อที่หดตัวในเรื่องแรง หรือความตึง ความปวด

กลับไปยังสมองหรือไขสันหลัง และไปยับยั้งมอเตอร์นิวรอน ทำให้การหดตัวของกล้ามเนื้อมัดนั้นลดลง

3. เกิดจากกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ

3.1 การหมดไปของ ATP และ PC ที่เก็บสะสมไว้

3.2 ไกลโคเจนที่สะสมหมดไป พบว่า เมื่อออกกำลังกายระยะยาว เช่น มากกว่า 30 นาที จะทำให้ไกลโคเจนที่สะสมไว้ในกล้ามเนื้อถูกใช้ไปเกือบหมด จึงเชื่อว่าเป็นสาเหตุของการล้า

3.3 การคั่งของกรดแลคติค ทำให้การหดตัวสูงสุดของกล้ามเนื้อลดลง ทำให้ความเป็นกรดภายในเซลล์มีมากขึ้น จึงเกิดการปล่อยแคลเซียม (Ca+) จาก Sarcoplasmic reticulum ลดน้อยลง และยังรบกวนต่อ Ca+ Troponin blinding capacity นอกจากนี้ยังยับยั้ง Phosphofructokinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญของ Anaerobic glycolysis (ประทุม ม่วงมี, 2527)

ดังนั้นถ้ากรดแลคติกสะสมในกล้ามเนื้อมากเกินไปจะทำให้แรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง กล้ามเนื้อเกิดการเมื่อยล้าง่าย ซึ่งอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อได้ โดยวิธีการที่จะเพิ่มอัตราการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อได้อย่างรวดเร็วจะทำให้ความสามารถของนักกีฬาเพิ่มสูงขึ้น

**2. การระบมของกล้ามเนื้อ (Delay on muscle soreness)**

การระบมของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นภายหลังจากการออกกำลังกายอย่างหนัก 1 วัน ถึง 2 วัน จากการศึกษาของ (Kenney et al., 2006) กล่าวว่า การระบมของกล้ามเนื้อ (Delay on muscle soreness: DOMS) เกิดจากการตึงตัวของกล้ามเนื้อชนิด Type I และเกิดขึ้นจากการตึงตัวเพียงเล็ก ๆ น้อยจนถึงการตึงตัวที่รุนแรง และมีอาการเจ็บที่รุนแรงขึ้นจนยับยั้งการเคลื่อนไหว การหดตัวแบบ Eccentric contraction ของกล้ามเนื้อจะทำให้เกิดอาการระบมของกล้ามเนื้อเกิดขึ้น และมีหลาย ๆ งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการ DOMS โดยการเกิดอาการขึ้นนั้นอาจเป็นเพราะการหดตัวยืดยาวออก การหดตัวสั้นเข้า และการเกร็งกล้ามเนื้อ ส่วนมากแล้วคนที่ฝึกหดตัวแบบ Eccentric จะทำให้เกิดอาการ DOMS เป็นส่วนมาก จากการศึกการวิ่งบนลู่วิ่งเป็นเวลาสองวันในแต่ละวันห่างกันหนึ่งสัปดาห์ วันแรก วิ่งบนลู่วิ่งปกติ และวันที่สองตั้งโปรแกรมวิ่งลงเขา ผลลัพธ์ คือ ไม่เกิดการระบมของกล้ามเนื้อขึ้นในวันที่วิ่งวันแรก แต่การวิ่งลงเขาทำเกิดการระบมของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นภายใน 24-48 ชั่วโมง ความระบมของกล้ามเนื้อ (Muscle soreness) อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ การระบมของกล้ามเนื้อแบบเฉียบพลัน และการระบมของกล้ามเนื้อหลังจากออกกำลังกายมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 การระบมของกล้ามเนื้อแบบเฉียบพัน (Acute muscle soreness) สามารถเกิดขึ้นได้ ทันทีขณะฝึกซ้อมกีฬาที่มีความหนักสูงและใช้ระยะเวลาที่ยาวนาน เนื่องจากเกิดการสะสม

กรดแลคติก และไฮโดรเจนไอออน แอมโมเนียมไอออน จึงทำให้สารเหล่านี้ ไปกระตุ้นปลายประสาทรับรู้ความเจ็บปวดในกล้ามเนื้อ (Pain receptor) ทำให้เกิดความเจ็บปวด

2.2 การระบมของกล้ามเนื้อหลังจากออกกำลังกาย (Chronic muscle soreness) หรืออาจเรียกว่า DOMS ซึ่งการเกิดอาการอ่อนแอของร่างกาย เกิดอาการปวด บวม และเจ็บระบมบริเวณกล้ามเนื้อเกิดขึ้นภายใน 1-2 วัน หลังจากออกกำลังกาย ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในช่วงของการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Eccentric contraction เนื่องจากมี Neutrophil เพิ่มมากขึ้น เกิดการสะสมของ Macrophage มีการสะสมของเหลวเพิ่มมากขึ้น สุดท้ายขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ

**3. กรดแลคติก (Lactic acid)**

ในระหว่างการออกกำลังกาย กล้ามเนื้อมีการทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีพลังงานในกล้ามเนื้อเป็นตัวการให้กล้ามเนื้อทำงาน ในภาวะเดียวกัน เมื่อกล้ามเนื้อทำงานนาน ๆ เข้าส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อก็จะเกิดขึ้น ของเสียดังกล่าวนี้ คือ กรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งเกิดจากการใช้พลังงานระบบแอนแอโรบิก โดยกระบวนการนี้จะเปลี่ยนกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) ให้เป็นไพรูวิก ($CH_3COCOO^- + H^+$) ไพรูวิกเป็นสารประกอบเคมีสำคัญในทางชีวเคมี เป็นผลิตภัณฑ์จากเมแทบอลิซึมของกลูโคส หรือไกลโคไลสิส (Glycolysis) ถ้าสลายกลูโคส 1 โมเลกุล จะได้เป็นไพรูเวต 2 โมเลกุล ซึ่งจะถูกนำไปสร้างพลังงานต่อไป

การเกิดของเสียจากการทำงานของร่างกายโดยใช้ระบบ “แอนแอโรบิก” กีฬาที่ต้องใช้พลังงานในลักษณะนี้ คือ กีฬาประเภท วิ่ง 100-400 เมตร เนื่องจาก กลูโคสเปลี่ยนเป็นไพรูวิก ถ้าไม่มีออกซิเจนเข้ามาจับ ไพรรูวิกจะเปลี่ยนเป็นแลคติก พลังงานระบบนี้ มีขีดความสามารถภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 นาที

การที่มีกรดแลคติกสะสมในเซลล์กล้ามเนื้อในปริมาณที่มาก จะไปกระตุ้นประสาทรับความรู้สึกด้านความเจ็บปวด (Pain receptor) ทำให้มีอาการเจ็บระบบกล้ามเนื้อ (Muscle soreness) และยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดตะคริวที่กล้ามเนื้อ การล้าของกล้ามเนื้อที่มีสาเหตุเนื่องมาจากการใช้งานนั้น มีหลายปัจจัย ได้แก่ การใช้งานกลุ่มกล้ามเนื้อนั้นซ้ำ ๆ และทำงานที่มีความหนักสูงเป็นเวลานาน ทำให้เกิดกรดขึ้นภายในกล้ามเนื้อ เกิดการสะสมของแอมโมเนียมไอออน เกิดการสะสมของไฮโดรเจนไอออน มากขึ้นและการขาดการสะสมพลังงานของฟอสฟาเจน และไกลโคเจน ส่งผลให้เลือดมีสภาพของความเป็นกรดมากขึ้น และกล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานได้เท่าเดิม

กรดแลคติกจะเกิดขึ้นในเซลล์กล้ามเนื้อก่อนแล้วแพร่กระจายออกมาสู่กระแสเลือดภายในระยะเวลาประมาณ 3-5 นาที ปกติกรดแลคติกในขณะพักจะมีค่า 1-2 มิลลิโมลต่อลิตร และ

ในขณะออกกำลังกายในขณะที่มีความหนักสูงกรดแลคติกจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4-25 มิลลิโมลต่อลิตร จะทำให้กล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานได้แรงที่เท่าเดิม (Kenney et al., 2006)

Gupta, Goswami, Sadhukhan, and Mathur (1996) ได้ศึกษาผลของการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก ภายหลังการออกกำลังกายโดยให้กลุ่มตัวอย่าง เพศชาย จำนวน 10 คน ทำการเจาะเลือดหลังจากปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 150 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด และได้เปรียบเทียบการฟื้นตัวระหว่างการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด การนวด และการนั่งพักแบบปกติ โดยเจาะเลือดหลังจากออกกำลังทันที นาทีที่ 3, 5, 10, 20, 30 และ 40 ผลการทดลองพบว่า ภายหลังการออกกำลังกายทันทีและนาทีที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่หลังจากนาทีที่ 5 พบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกได้เร็วกว่าการฟื้นตัวด้วยการนั่งพักและการนวดการเปลี่ยนกรดแลคติกจากส่วนต่าง ๆ เพื่อเป็นพลังงานที่ต้องการนั้นจะอยู่ระหว่างระยะเวลาในการฟื้นตัวโดยตรง ในขณะที่ส่วนน้อยของพลังงานมาจากปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายรับเข้ามาในระหว่างการใช้หนี้ออกซิเจนในช่วงหลัง (ชัชรินทร์ อังศุภากร, 2540)

ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาฟุตบอลนั้นมักจะเกิดขึ้น จากการใช้พลังงานรูปแบบแอนแอโรบิก จากการศึกษาของ Ekblom (1986) ได้ศึกษากับนักกีฬาฟุตบอลระดับดิวิชั่นวันของสวีเดน จะมีกรดแลคติกในเลือดอยู่ที่ 9.5 และ 7.2 มิลลิโมล หลังจากครึ่งแรกและครึ่งหลัง และค่ากรดแลคติกในเลือดของนักกีฬาฟุตบอล ในดิวิชั่น 4 อยู่ที่ 4 และ 3.9 มิลิโมล และมีการศึกษาถึงกรดแลคติกในนักกีฬาฟุตบอล ดังตารางที่ 2-5 ดังนี้

ตารางที่ 2-5 กรดแลคติกในการแข่งขันฟุตบอล (Bangbo, 1994)

| นักกีฬาฟุตบอล | ครึ่งแรก | | ครึ่งหลัง | |
|---|---|---|---|---|
| | ระหว่าง | จบครึ่ง | ระหว่าง | จบเกม |
| First division (Sweden) | - | - | - | 10.0<br>(-15.5) |
| Second division (Finland) | - | 4.9±1.9 | - | 4.1±1.3 |
| First division (Sweden) | - | 9.5<br>(6.9-14.3) | - | 7.2<br>(4.5-10.8) |
| Second division (Sweden) | - | 8.0<br>(5.1-11.5) | - | 6.6<br>(3.1-11.0) |

ตารางที่ 2-5 (ต่อ)

| นักกีฬาฟุตบอล | ครึ่งแรก | | ครึ่งหลัง | |
|---|---|---|---|---|
| | ระหว่าง | จบครึ่ง | ระหว่าง | จบเกม |
| Third division (Sweden) | - | 5.5 (3.0-12.6) | - | 4.2 (3.2-8.0) |
| Fourth division (Sweden) | - | 4.0 (1.9-6.3) | - | 3.9 (1.0-8.5) |
| First และ Second division (Denmark) | - | 5.1±1.6 | - | 3.9±1.6 |
| Top amateur league (Germany) | - | 5.6±2.0 | - | 4.7±2.2 |
| University match (Germany) | 6.8±1.0 | 5.9±2.0 | 5.1±1.6 | 4.9±1.7 |
| College matches (England) | - | 5.2±1.2 | - | |
| First and second divisions (Denmark) | 4.9 (2.1-10.3) | - | 3.7 (1.8-5.2) | 4.4 (2.1-4.6) |
| League match (Denmark) | 4.1 | 2.6 | 2.4 | 2.7 |
| | (2.9-6.0) | (2.0-3.6) | (1.6-3.9) | (1.6-4.6) |

กรดแลคติกเป็นสารที่ผลิตขึ้นอยู่ในกล้ามเนื้อที่มีการทำงานอย่างหนัก และจะเพิ่มขึ้นถ้ามีความหนักกิจกรรมที่ต่ำ ในช่วงของการแข่งขันที่มีความเข้มข้นสูง ดังนั้น อาจไม่ใช่ทั้งหมดที่กรดแลคติกจะผลิตขึ้นในเลือด นอกเหนือจากนั้นระยะเวลาสั้นของการทำงานที่มีความเข้มข้นสูงอาจส่งผลให้กรดแลคติกในเลือดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Scheiner-Bobis, Fahlbusch, and Schoner (1987) ได้ศึกษาความเข้มข้นของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นประมาณ 10 มิลลิโมล ในขณะสปริ๊น 6 วินาที ความเข้มข้นของกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเพียง 1.8 มิลลิโมล ไม่เกิน 5 มิลลิโมล ในการติดตามช่วงของการฟื้นตัวคล้าย ๆ กับกรดแลคติกในเลือดจะค่อยเพิ่มขึ้น ในขณะออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา 5 นาที (สปริ๊น 5 ครั้ง) ดังนั้นแลคติกจะปล่อยออกจากกล้ามเนื้อเข้าสู่กระแสเลือดอัตราที่สูงขึ้นโดยเนื้อเยื่อหลาย ๆ ชนิด เช่น หัวใจ ตับ ไต และกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ทำงาน เพื่อรักษาความสมดุลของกรดภายในร่างกาย (Bangbo, 1994)

**สรีรวิทยาการกำจัดกรดแลคติก**

ในทางสรีรวิทยาการกำจัดกรดแลคติกสามารถทำได้หลายกระบวนการ ดังนี้ (ชูศักดิ์

เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์, 2536; วรวิทย์ รัตนเสถียรกิจ, 2552)

1. ขับถ่ายออกทางปัสสาวะและเหงื่อ ประมาณ 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

2. การเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส และไกลโคเจน เนื่องจากกรดแลคติกเป็นผลิตผลจากการสลายคาร์โบไฮเดรต ดังนั้น จึงสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นไกลโคเจนและกลูโคสในกล้ามเนื้อและตับได้ แต่กระบวนการเป็นไปช้ามาก

3. การเปลี่ยนไปเป็นโปรตีน ซึ่งจะเกิดเพียงเล็กน้อยในทันทีของระยะฟื้นตัว

4. การออกซิเดชั่น เปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีนี้ทำให้ขบวนการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกเกิดขึ้นได้มากที่สุด กรดแลคติกสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เมื่อมีออกซิเจน โดยเปลี่ยนไปเป็นกรดพลัยรูวิคก่อนแล้วเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

การออกซิเดชั่นในวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) จะต้องใช้พลังงานในระบบ Citric acid cycle (Aerobic system) ใช้ในกิจกรรมที่ออกแรงน้อย ๆ แต่นานหลายนาที หรือหลายชั่วโมง เป็นการสันดาป Glycogen, Fat หรือ Protein โดยใช้ ออกซิเจนเริ่มเมื่อมีเลือดมาเลี้ยงกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น เพื่อให้เกิดการกำจัดของเสียทำให้ความเมื่อยล้า การระบมของกล้ามเนื้อ กรดแลคติกถูกกำจัดออกจากร่างกายได้

## การฟื้นตัวภายหลังจากการออกกำลังกาย (Recovery after exercise)

การฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกาย คือ ช่วงเวลาหลังจากออกกำลังกายสิ้นสุดลง เป็นช่วงที่ผู้ออกกำลังกายจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) ซึ่งออกซิเจนจำนวนที่เป็นหนี้จะใช้คืนภายหลังจากการออกกำลังกาย หรือช่วงที่นักกีฬาหยุดออกกำลังกาย นักสรีรวิทยาเรียกว่าสภาวะออกซิเจนดิฟฟิคัส (Oxygen difficult) คือ สภาวะการขาดออกซิเจนในช่วงที่ออกกำลังกายอย่างหนักอิสริยา ทองห่อ (2559) ได้อธิบายว่า นักกีฬาส่วนใหญ่ควรได้รับการพักผ่อนอย่างเพียงพอ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นต่อสมรรถภาพของร่างกาย ในขณะเดียวกัน ร่างกายมีการซ่อมแซมและเสริมสร้างความแข็งแรงไปพร้อมกันในช่วงออกกำลังการฝึกอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้นักกีฬารู้สึกอ่อนเพลีย โดยนักสรีรวิทยาและนักจิตวิทยาให้เหตุผลว่ามีเหตุผลหลายประการที่จำเป็นต้องให้นักกีฬามีการพักเพื่อจะให้มีการซ่อมแซม และเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกายยังช่วยให้ร่างกายเติมพลังงานและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ได้รับบาดเจ็บอันเนื่องมาจากขณะออกกำลังหรือร่างกายทำงานเป็นเหตุให้เกิดการสลายของเนื้อเยื่อและการพร่องไปของไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อ รวมทั้งการสูญเสียน้ำอีกด้วย ระยะฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย หมายถึง ระยะการหยุดการหดตัวของกล้ามเนื้อแต่ไม่เลิกกิจกรรมการทำงาน และการเผาผลาญพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ผู้ออกกำลังกายใช้เวลา

สำหรับการจ่ายคืน ออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) โดยจะใช้เวลาในระยะนี้แตกต่างกันของนักกีฬาแต่ละคน ดังนั้น การฟื้นตัวภายหลังจากการฝึกและแข่งขัน มีรายละเอียดดังนี้

**1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการฟื้นตัว**

การฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายมีหลายรูปแบบ เช่น การเดิน การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ การนั่งพัก การชดเชยน้ำ การใช้ความเย็น การใช้ความร้อน การใส่เสื้อผ้ารัดกล้ามเนื้อ การนวด การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมที่ระดับเบา และการซาวน่า การรับประทานอาหาร การนอน เป็นต้น จะช่วยเพิ่มอัตราการฟื้นตัวให้เร็วขึ้น เนื่องจากการออกกำลังกายจะช่วยเพิ่มการกำจัดของเสียในกล้ามเนื้อ ที่อ่อนล้า และช่วยขนส่งสารอาหาร และออกซิเจนไปยังเซลล์กล้ามเนื้อ

**2. การชดเชยพลังงานในระยะการฟื้นตัว**

ATP-PC สร้างขึ้นใหม่ร้อยละ 75 ในเวลา 60 วินาที และครบ 100 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 5 นาที สอดคล้องกับอิสริยา ทองห่อ (2559) ที่อธิบายว่าระยะเวลาพัก 4 นาที ชดเชยพลังงานเอทีพีได้ร้อยละ 90 และเมื่อมีการพักมากกว่า 5 นาที ร่างกายจะชดเชยพลังงานเอทีพีครบ 100 เปอร์เซ็นต์ การสร้างไกลโคเจนขึ้นใหม่ การออกกำลังกายตลอดเวลาแต่ไม่หนักไกลโคเจน (Glycogen) จะถูกใช้ไปมากกว่า 2 เท่า ที่ใช้ในการออกกำลังกายเป็นช่วง ๆ จึงต้องการเวลาน้อยกว่าในการสร้างไกลโคเจนขึ้นใหม่ สารอาหารที่เป็นต้นตอในการสร้างไกลโคเจน เช่น กลูโคส กรดแลคติก ไพรูวิก มีจำนวนน้อยกว่า เพราะถูกใช้มากจากการออกกำลังกาย ส่วนการออกกำลังกายแบบเป็นช่วงนั้น สารต่าง ๆ เหล่านี้ จะไม่ลดลง ดังนั้น การสร้างไกลโคเจนจึงสามารถเริ่มได้เร็วกว่า และการสังเคราะห์ไกลโคเจนใน เส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วนั้นจะทำได้เร็วกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวช้าในการออกกำลังกาย เป็นช่วง ๆ จะใช้กล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วมากกว่า ดังนั้น จึงสังเคราะห์ไกลโคเจนได้เร็วกว่า (ประทุม ม่วงมี, 2527) อธิบายว่าออกซิเจนถูกส่งไปให้กล้ามเนื้อใช้ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

1. ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอด (Minute ventilation) ความสามารถในการนำเอาอากาศเข้ามาทำงานในปอด (Vital capacity) เพิ่มขึ้นจะทำให้ ความดันของออกซิเจนภายในปอดมีมากขึ้น และทำให้สามารถใช้ออกซิเจนเข้าสู่ภายในเซลล์มากขึ้น

2. ความสามารถของเม็ดเลือดแดง ที่เรียกว่า ฮีโมโกลบิน ที่จะจับกับออกซิเจนในกระแสเลือดและพร้อมที่จะส่งไปให้กับกล้ามเนื้อเพื่อทำงานต่อไป

3. ความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อ หมายถึง ความจำเป็นที่จะต้องสร้างพลังงาน โดยใช้ออกซิเจนในกิจกรรมที่ต้องออกแรงติดต่อกันเป็นเวลานานร่างกายใช้ออกซิเจนไปมากจึงต้องมีการนำเอาออกซิเจนจากบรรยากาศมาทดแทนออกซิเจนที่เสียไป

4. ปริมาณเลือดที่ฉีดออกจากหัวใจมากเท่าใดการใช้ออกซิเจนก็จะมากไปด้วยวิธีวัดสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุดที่ดีที่สุด คือ การวัดสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุดโดยตรงซึ่งแม่นยำและวัดได้ถูกต้องโดยการให้ผู้รับการทดสอบทำงานหนักจนเกิดหนี้ออกซิเจนสูงสุดแล้วพิจารณาค่าสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุด

การฟื้นฟูการทำงานของระบบโครงสร้างของเซลล์และเอนไซม์รวมถึง การรักษาสมดุลต่าง ๆ ของร่างกายให้กลับคืนสู่ปกติเป็นต้น นอกจากนี้ (ประทุม ม่วงมี, 2527) ได้อธิบายถึงระยะเวลาที่เพียงพอสำหรับกระบวนการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 2-6 ระยะเวลาในการฟื้นตัวหลังจากออกกำลังกาย

| **กระบวนการฟื้นตัว (Recovery process)** | **ระยะเวลาการฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย** | |
|---|---|---|
| | **ต่ำสุด** | **สูงสุด** |
| การซ่อมแซมและฟื้นตัวของกล้ามเนื้อ (Restoration of muscle) | 2 นาที | 5 นาที |
| การเติมแหล่งเก็บของฟอสฟาเจน (เอทีพี + พีซี) (Phosphagen store: ATP + PC) | 3 นาที | 5 นาที |
| การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ระยะแรก (Repayment of the alactacid O2 debtcomplement) | 10 ชั่วโมง (ภายหลังการออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง) | 46 ชั่วโมง |
| การสร้างและการสังเคราะห์ไกลโคเจนของกล้ามเนื้อ (Muscle glycogen re-synthesis) | 5 ชั่วโมง (ภายหลังการออกกำลังกายที่มีเวลาพัก หรือไม่ต่อเนื่อง) | 24 ชั่วโมง |
| การเติมไกลโคเจนในตับ (Liver glycogen replenishment) | ไม่แน่ชัด | 12-24 ชั่วโมง |
| การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกในเลือดและกล้ามเนื้อ (Removal of lactic acid from blood and muscle) | 20-30 นาที (ช่วงออกกำลังเบา ๆ) (Exercise-recovery) | 1 ชั่วโมง |
| การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ภายหลัง (Repayment of the lactacid $O_2$ debt component) | 30 นาที | 1 ชั่วโมง |

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

| กระบวนการฟื้นตัว (Recovery process) | ระยะเวลาการฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย | |
|---|---|---|
| | ต่ำสุด | สูงสุด |
| การสร้างแหล่งเก็บออกซิเจนขึ้นใหม่ (Restoration of $O_2$ stores) | 10-15 วินาที | 1 ชั่วโมง |

**3. การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Active recovery)**

เมื่อมีการออกกำลังกายอย่างหนักจนระดับออกซิเจนไม่เพียงพอ ร่างกายจะเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นพลังงานและเกิดกรดแลคติกขึ้น การเคลื่อนย้ายกรดแลคติคออกจากเลือดและกล้ามเนื้อ ต้องอาศัยเลือดทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการนำออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และยังนำของเสียออกจากร่างกาย ดังนั้น ระบบไหลเวียนเลือดจึงมีความสำคัญที่จะช่วยให้กล้ามเนื้อฟื้นตัวได้เร็วขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการออกกำลังกาย ความหนักในการออกกำลังกาย และวิธีที่ใช้ในการฟื้นตัว แบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และวิธีที่ใช้ในการฟื้นตัว Menzies, Menzies, McIntyre, Paterson, Wilson, and Kemi (2010) กล่าวไว้ว่า ถ้ามีการออกกำลังกายในระดับความหนักที่ 60-100 เปอร์เซ็นต์ ของกรดแลคติก ในร่างกายจะสามารถกำจัดกรดแลคติกในร่างกาย และทำให้ร่างกายเกิดการฟื้นตัวได้เร็วขึ้น

การออกกำลังกายเบา ๆ ที่ความหนัก 35-55 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($V\dot{O}_2max$) จะใช้เวลาในการฟื้นตัวน้อยกว่า 1 ชั่ว โมง ในผู้ที่มีสุขภาพดีได้รับการฝึกกีฬาและออกกำลังกายสม่ำเสมอจะใช้ความหนักที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด และถ้าออกกำลังกายที่ความหนักมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตรากรดแลคติกลดลงมากกว่าการให้พักธรรมดา (Rest recovery) การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Active recovery) เป็นการฟื้นตัวที่ทำให้ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายดีขึ้นส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนสารอาหาร และออกซิเจน (Oxygen) ให้แก่กล้ามเนื้อได้ดีขึ้น ลดอาการล้าของกล้ามเนื้อ ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติก หรือของเสียออกจากร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Tessitore et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับ McArdle et al. (2010) ได้กล่าวว่ากรดแลคติกสามารถเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส (Glucose) โดยเข้าสู่ขบวนการ Gluconeogenesis โดยเอนไซม์ Lactate dehydrogenase และส่งกลูโคสเข้าสู่ขบวนการ Gluconeogenesis และเข้าไปเก็บสะสมที่ตับและกล้ามเนื้อเพื่อใช้งานต่อได้ วิธีการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว มีความหนักหลายระดับของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($V\dot{O}_2max$) ดังที่ Robert and Scott (1997) ได้ศึกษาถึงระดับความหนักที่ ระดับ 35-55 เปอร์เซ็นต์

$V^{\cdot}O_2max$ ในผู้ที่มีสุขภาพดีออกกำลังกายสม่ำเสมอสามารถทำให้การฟื้นตัวของร่างกายได้เร็วขึ้นกว่าการนั่งพักแบบปกติ และการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับ 50-65 เปอร์เซ็นต์ $V^{\cdot}O_2max$ สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยน แปลงจากกรดแลคติกกลายเป็นกลูโคส และไกลโคเจนเก็บสะสมไว้ที่ตับ กล้ามเนื้อ ยังสามารถทำให้การฟื้นตัวของร่างกายได้เร็วกว่ากลุ่มควบคุม (Passive recovery) (Ali Rasooli et al., 2012) สอดคล้องกับ Hannie et al. (1995) ได้ศึกษาถึงการฟื้นตัวโดยการปั่นจักยานที่ระดับความหนัก 45 เปอร์เซ็นต์ ของ $V^{\cdot}O_2max$ สามารถสลายกรดแลคติกได้เร็วกว่ากลุ่มควบคุม (Passive recovery) และสอดคล้องกับพิชยา นพกาล (2556) ได้ศึกษาการฟื้นตัวบนลู่วิ่งที่ระดับความหนัก 40-45 และ 50-55 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด สามารถลดกรดแลคติกได้มากกว่ากลุ่มควบคุม

จากการศึกษาของ Arthur, Bryant, Robert, and Katch (2013) พบว่า ระยะเวลาในการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงาน ที่ความหนัก 1 กิโลกรัม ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที และ 20 นาที และนั่งพักแบบปกติ จากการศึกษาพบว่า การปั่นจักรยาน ที่ความหนัก 1 กิโลกรัม ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาที มีผลทำให้ลดกรดแลคติกได้มากกว่ากลุ่ม ปั่นจักรยาน 10 นาที และการนั่งพักแบบปกติ และจากการศึกษาของณัฐชนนท์ ซังพุก, บุญส่ง โกสะ, ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร และณัฐยา แก้วมุกดา (2559) ได้ทำการศึกษาการวิ่งเหยาะเป็นเวลา 5-8 นาที แล้วทำการแช่น้ำเย็นนั้นก็สามารถช่วยลดระดับความเข้มข้นของ กรดแลคติกได้ ทั้งเป็นผลมาจากการแช่น้ำเย็นนั้นจะช่วยให้อุณหภูมิภายในร่างกายลดลงซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยให้กลุ่ม ตัวอย่างลงแช่ในถังน้ำที่อุณหภูมิ 10-16 องศาเซลเซียส ซึ่งความเย็นจะช่วยลดอาการบาดเจ็บและอักเสบ บริเวณเนื้อเยื่อได้ ดังที่ George et al. (2012) พบว่า การใช้ความเย็นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับนักกีฬาภายหลังการแข่งขันเพราะความเย็นจะช่วยลดการบาดเจ็บ และช่วยเพิ่มการไหลเวียนของหลอดเลือด และลดอาการบวมได้

การฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกาย ยังขึ้นอยู่กับอาหารที่รับประทานด้วย ซึ่งสิ่งที่สามารถบอกได้ว่าร่างกายมีการฟื้นตัวหรือไม่ สามารถดูได้จากอัตราการเต้นของหัวใจ ความรู้สึกของตัวนักกีฬาในขณะนั้นเปรียบเทียบกับในขณะพัก ระดับของกรดแลคติกในเลือด (Robert & Scott, 1997) สอดคล้องกับการศึกษาของอรรณพ นับถือตรง (2550) พบว่า การผ่อนคลายกล้ามเนื้อด้วยวิธีการวิ่งเหยาะ ๆ เป็นเวลา 10 นาที มีค่าเฉลี่ยของกรดแลคติกในเลือดลดลงมาใกล้เคียงขณะพักมากที่สุด ทั้งนี้ เนื่องมาจากการวิ่งเหยาะ ๆ เป็นการเคลื่อนไหวของร่างกายแบบต่อเนื่องทำให้ระบบหัวใจและการไหลเวียนเลือดทำงานอยู่ตลอดเวลาร่างกายสามารถนำออกซิเจนเข้าไปสู่กล้ามเนื้อเพื่อผลิตเป็นพลังงานในการเคลื่อนไหว และยังช่วยขนย้ายของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจาก

การทำงานของกล้ามเนื้อออกไปได้ และสอดคล้องกับชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) ได้กล่าวไว้ว่าจะต้องใช้เวลา 25 นาที สำหรับการฟื้นตัวโดยการพัก (Rest recovery) ภายหลังการออกกำลังกายอย่างเต็มที่เพื่อเคลื่อนย้ายกรดแลคติกที่สะสมอยู่ออกไปได้ครึ่งหนึ่ง ในช่วงระหว่างการออกกำลังกาย ถ้าผู้ออกกำลังกาย ออกกำลังกายเบา ๆ แทนการพักอยู่เฉย ๆ จะทำให้มีการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกไปจากเลือดและกล้ามเนื้อได้เร็วขึ้น

นอกจากนี้ ชนิดของใยกล้ามเนื้อที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ก็มีผลต่อการทำให้เกิดกรดแลคติกและการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกด้วย เนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดงเป็นชนิดกล้ามเนื้อทำงานโดยใช้ออกซิเจนเข้ามาใช้ในการหดตัว ทำให้สามารถสลายกรดแลคติกได้ดีกว่ากล้ามเนื้อลายชนิดหดตัวเร็ว หรือใยกล้ามเนื้อสีขาว ดังผลการศึกษาของ Donovan and Pagliassotti (2000) ที่กล่าวไว้ว่า ใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดงสามารถสลายกรดแลคติกออกจากร่างกายและนำมาใช้เป็นพลังงานได้ดีกว่าใยกล้ามเนื้อชนิดสีขาว ในการออกซิเดชั่นกรดแลคติก และจากการศึกษาของ Juel (1997) พบว่า กระบวนการเผาพลาญของกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำให้เกิดกรดแลคติก โดยมีความแตกต่างกันในกล้ามเนื้อลายที่มีใยกล้ามเนื้อชนิดสีขาว และใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดง ใยกล้ามเนื้อชนิดสีขาวจะทำให้เกิดกรดแลคติกมาก เนื่องจากได้พลังงานมาโดยไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดงได้พลังงานมาจากการใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดกรดแลคติกน้อย เช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก ใยกล้ามเนื้อชนิดแดงสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกใยกล้ามเนื้อชนิดแดงสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกได้เร็วกว่าใยกล้ามเนื้อชนิดสีขาว นอกจานนี้ Bonen et al. (2000) ได้กล่าวว่าใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดงสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกได้เร็วกว่าใยกล้ามเนื้อชนิดสีขาว 37-109 เปอร์เซ็นต์ ใยกล้ามเนื้อชนิดสีขาวหดตัวได้เร็วให้พลังงานสูง และทำให้เกิดกรดแลคติกมากกว่าใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดง แต่ใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดงสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกไปได้เร็วกว่าใยกล้ามเนื้อชนิดสีขาว ดังนั้น ในระยะของการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกาย โดยการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวทำให้กล้ามเนื้อลายที่มีใยกล้ามเนื้อชนิดสีแดงมีความสำคัญมากกว่ากล้ามเนื้อสีขาวในระยะฟื้นตัว เพราะมีการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดที่มีใยกล้ามเนื้อสีแดงมาก ซึ่งช่วยให้การฟื้นตัวเกิดเร็วขึ้น มีการปรับตัวของระบบต่าง ๆ ในร่างกายเข้าสู่สภาวะพัก Astrand, Rodahl, Dall, and Stromme (2003) ได้ทำการวิจัยถึงการสลายตัวของกรดแลคติก พบว่า กรดแลคติกเกิดขึ้นในกล้ามเนื้อก่อนแล้วแพร่กระจายออกมาในกระแสเลือด หลังจากการฟื้นตัวแล้ว 5 นาที ความเข้มข้นของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อที่ทำงาน จะใกล้เคียงกับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด แล้วกลับสู่สภาวะปกติ (เท่ากับขณะพัก) เมื่อเวลาผ่านไป 58 นาที และ 60 นาทีตามลำดับ ได้ โดยปกติแล้วใน

เลือดจะมีกรดแลคติก 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ในการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกไป ถ้ามีการสะสมไว้เป็นจำนวนมากกล้ามเนื้อจะไม่สามารถทำงานต่อไป (วรวิทย์ รัตนเสถียรกิจ, 2552)

**4. การฟื้นตัวแบบการแช่น้ำเย็น (Ice immersion)**

ความเย็นสามารถใช้รักษาการอักเสบ การบวมและการปวดเนื้อเยื่อได้ เป็นวิธีธรรมชาติของร่างกายที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวกาย โดยไม่ต้องอาศัยยาใด ๆ ทั้งสิ้น การเปลี่ยนแปลงของร่างกายจะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราว เฉพาะขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื้อเยื่อ ณ จุดนั้น หลังจากนั้นสภาพของร่างกายจะกลับสู่สภาวะเดิมก่อนที่จะได้รับความเย็น การฟื้นตัวด้วยการแช่น้ำเย็นจึงไม่ได้หยุดยั้งกระบวนการอักเสบ แต่สามารถช่วยลดการบวม แดง ร้อน และปวด บริเวณที่อักเสบลงได้ การฟื้นตัวด้วยการแช่น้ำเย็นภายหลังการออกกำลังกายนั้นจะช่วยลดอาการล้าของกล้ามเนื้อ การระบมของกล้ามเนื้อหลังจากการออกกำลังกาย (Delay onset muscle soreness: DOMS) (Costello, Algar, & Donnelly, 2012) และสามารถใช้ความเย็นรักษาเนื้อเยื่อบริเวณที่อักเสบไปได้เรื่อย ๆ จนกว่าเนื้อเยื่อจะหายเป็นปกติ

การประคบเย็นเป็นการฟื้นฟู และยังช่วยลดอาการบาดเจ็บหรืออาการปวด เช่น ประคบเย็นเมื่อรู้สึกเจ็บ เช่น

1. ทำถุงน้ำแข็งด้วยตนเอง โดยการใช้ถุงพลาสติกบรรจุอาหารขนาดพอเหมาะกับส่วนที่ต้องการรักษา แล้วเติมน้ำเปล่าผสมกับน้ำแข็งอย่างละครึ่ง ลงไปในถุง ตรวจสอบว่าไม่เย็นเกินไปโดยการนำมาประคบกับส่วนที่ต้องการรักษา หากเย็นเกินไป ควรเพิ่มน้ำเปล่า และลดน้ำแข็งออกบางส่วน เมื่อได้อุณหภูมิที่เย็นพอเหมาะ ควรทำการไล่ลมออกจากถุงแล้วรัดปากถุงให้แน่นนำมาประคบเพื่อการรักษา โดยผู้ที่มีอาการบวมหรือปวดมากจากการบาดเจ็บ อาจทำการประคบ 2-3 ครั้ง ครั้งละ 15-20 นาที

การใช้ถุงน้ำแข็งประคบส่วนของกล้ามเนื้อ Extensor digitolum longus ในหนู ใช้เวลา 20 นาที จะช่วยลดการอักเสบของกล้ามเนื้อ ลดการเสื่อมลงของกล้ามเนื้อ ลดการสลายของโปรตีนมากขึ้น เนื่องจากเกิดการทำงานของ Calpain (Takagi et al., 2011)

2. ใช้การแช่ในภาชนะที่บรรจุน้ำเย็น โดยการเตรียมภาชนะขนาดพอเหมาะ แล้วเติมน้ำเปล่าและน้ำแข็งอย่างละครึ่ง แล้วลองจุ่มส่วนที่ต้องการรักษา เช่น มือหรือเท้าลงไป หากเย็นจัดควรเติมน้ำเปล่าลงไปเพิ่ม จนได้อุณหภูมิที่พอเหมาะ จึงทำการแช่นานประมาณ 15-20 นาที วิธีการรักษานี้อาจจะเหมาะกับมือและแขนหรือขาและเท้ามากกว่าส่วนอื่นของร่างกาย (ประเสริฐ สกุลศรีประเสริฐ, 2552)

กันยา ปาละวิวัธน์ (2532) กล่าวว่า วิธีการฟื้นตัวด้วยการใช้ความเย็นนั้น สามารถทำได้ด้วยตนเอง ซึ่งนิยมใช้การประคบน้ำแข็งเฉพาะที่ หรืออาจใช้วิธีการแช่ในอ่างน้ำเย็น ที่อุณหภูมิ

ประมาณ 10-14 องศาเซลเซียส หรือใช้ผ้าขนหนูชุบน้ำเย็นจัดประคบ หรือชโลม โดยระยะเวลาที่ใช้ควรอยู่ประมาณ 10-20 นาที เป็นอย่างน้อย

Bleakley et al. (2012) กล่าวว่า ระดับอุณหภูมิน้ำจะอยู่ในช่วง 10-15 องศาเซลเซียส เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 12 นาที จะทำให้มีการฟื้นตัวได้ดีกว่าการนั่งพักแบบปกติ และจากการศึกษาของ Stanley, Buchheit, and Peake (2012) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวโดยใช้ความเย็น โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักปั่นจักรยานที่สุขภาพดี จำนวน 18 คน ใช้วิธีการฝึกโดยการปั่นจักรยานวัดงาน โปรแกรม Hight intensity interval training วอร์มอัพ 10 นาที (5 นาที = 40 เปอร์เซ็นต์ (Peak power output: PPO), 10 นาที = 50 เปอร์เซ็นต์ PPO) และทดสอบปั่นจักรยานวัดงาน 40 นาที (8×4 นาที = 80 เปอร์เซ็นต์ Peak power output ในแต่ละการพัก 1 นาที = 50 เปอร์เซ็นต์ PPO) คลูดาวน์ร่างกาย 10 นาที (5 นาที = 50 เปอร์เซ็นต์ PPO, 10 นาที = 40 เปอร์เซ็นต์ PPO) โดยเปรียบเทียบการฟื้นตัวทั้ง 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 แช่น้ำเย็น 10 นาที อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส กลุ่มที่ 2 แช่น้ำเย็น 14 องศาเซลเซียส สลับน้ำร้อน 35.5 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ 3 นั่งพักที่อุณหภูมิห้อง 22 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่า กลุ่มที่ 1 การแช่น้ำเย็นอุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส สามารถฟื้นตัวได้เร็วกว่ากลุ่ม แช่น้ำเย็นสลับน้ำร้อน และกลุ่มนั่งพักแบบปกติ

จากการศึกษาใน Systematic review and meta-analysis โดย Machado et al. (2015) กล่าวว่า การแช่น้ำเย็น อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 11-15 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่น้ำเย็นนั้นอยู่ระหว่าง 10-20 นาที ที่จะส่งผลต่อทางสรีรวิทยาในการฟื้นตัวของนักกีฬาได้ดีที่สุด

การใช้ความเย็นเพื่อการฟื้นตัวสมรรถภาพร่างกาย ไม่เป็นเพียงการบรรเทาอาการเจ็บปวดที่ได้รับจากการบาดเจ็บจากการกีฬาเพียงอย่างเดียว การใช้ความเย็นนั้นยังสามารถเป็นการฟื้นตัวหรือคืนสภาพของกล้ามเนื้อจากการเมื่อยล้า ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่หนัก หรือนานเกินไปจนทำให้มีกรดแลคติกสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ และในร่างกายจนทำให้มีอาการปวดเมื่อย และอักเสบระบบกล้ามเนื้อ (Wilcock, 2005)

**ผลของความเย็นที่มีต่อร่างกาย**

การฟื้นตัวของร่างกายจากการใช้ความเย็นจะทำให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดฝอยซึ่งเป็นส่วนปลายของหลอดเลือดในระดับชั้นผิวหนังส่งผลต่อการไหลเวียนเลือดส่วนปลายลดลง แต่การไหลเวียนเลือดส่วนกลาง (Central blood volume) เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Wilcock (2005) ที่ได้ศึกษาการฟื้นสภาพโดยใช้การแช่น้ำเย็น กล่าวว่าน้ำเย็นทำให้เกิดแรงดันของของเหลวภายในร่างกาย ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนกันภายใน และภายนอกหลอดเลือดได้ดีขึ้นส่งผลให้การกำจัดของเสียภายในร่างกายนั้นเพิ่มขึ้น

การใช้การฟื้นตัวโดยใช้ความเย็นนอกจากจะเป็นการบำบัดอาการบาดเจ็บแล้ว ความเย็นยังส่งผลต่อการลดลงของ Creatine kinase (Wilcock, 2005) และยังทำให้ร่างกายกลับคืนสู่สภาวะปกติได้อย่างรวดเร็วจากการเปรียบเทียบการฟื้นสภาพโดยการใช้การแช่น้ำเย็นการแช่น้ำร้อนสลับเย็น และการพักปกติ การแช่น้ำเย็นเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการนำไปใช้กับทีมกีฬามากกว่าวิธีการแช่น้ำร้อนสลับเย็น หรือพักปกติ (Ingram, 2009)

การที่ความเย็นส่งผลทำให้ Central blood volume เพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณเลือดส่งไปยังกล้ามเนื้อมากขึ้นเพื่อกำจัดของเสียที่เกิดจากการใช้พลังงานจากกล้ามเนื้อ เช่น กรดแลคติกออกไปได้ (Marsh & Sleivert, 1999) สามารถทำการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายนอกและภายในเซลล์ได้มากขึ้นในกล้ามเนื้อ แต่การใช้ความเย็นในการฟื้นสภาพยังไม่มีผลต่อภาวะ Delayed onset muscle soreness (DOMS) ในผู้ที่ไม่มีการฝึกวิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในช่วงการฟื้นสภาพของนักกีฬา (Seelwood et al., 2007)

**ข้อควรระวัง**

1. ผู้ที่มีการไหลเวียนเลือดไม่ดี
2. ผู้ที่มีการรับรู้อุณหภูมิไม่ดี
3. ผู้ที่มีความดันโลหิตสูง

**ข้อห้ามของการรักษาด้วยความเย็น**

1. ผู้ที่แพ้ความเย็น
2. ผู้ที่ทนต่อความเย็นไม่ได้
3. บริเวณที่มีเส้นประสาทกำลังงอกใหม่
4. บริเวณที่เป็นโรคของหลอดเลือดส่วนปลาย
5. ผู้ป่วยที่มีเส้นประสาทสัมผัสเสีย

**ผิวหนัง (Skin)**

ผิวหนังของคนเราประกอบด้วยชั้นผิวหนัง 3 ชั้นหลัก คือ Epidermis, Dermis, Subcutaneous fat โดยแต่ละชั้นก็จะมีลักษณะเฉพาะและมีหน้าที่ที่แตกต่างกันไป

1. ผิวหนังชั้น Epidermis ถือเป็นผิวหนังชั้นบนสุด และเป็นชั้นที่มีความสำคัญมากในเรื่องของความงาม เพราะผิวหนังชั้นนี้จะบ่งบอกถึงความยืดหยุ่น Epidermis เป็นบริเวณที่ติดกับ Dermal-epidermal junction (DEJ)) เรียกชื่อชั้นล่างสุดนี้ว่า Basal layer เมื่อมี การแบ่งตัวก็จะเกิด cell ใหม่ เรียกว่า (Daughter cells) ซึ่งจะเคลื่อนตัวขึ้นสู่ด้านบนของ Epidermis อย่างช้า ๆ จนถึงชั้นบนสุด

2. ผิวหนังชั้น Dermis อยู่ระหว่าง Epidermis กับ Subcutaneous fat เป็นชั้นที่กำหนดความหนาของผิวหนังบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย ส่วนประกอบหลักของผิวหนังชั้น Dermis คือ Collagen ซึ่งเราจะพบว่าในระหว่างเส้นใย Collagen นั้นจะถูกแทรกซึมไปด้วยเส้นประสาท เส้นเลือด และต่อมเหงื่อ ด้านบนสุดของชั้น Dermis ที่ติดกับ Epidermis นั้นเราเรียกว่า Papillary dermis ส่วนด้านล่างลงมา เราจะเรียกว่า Reticular dermis

3. ผิวหนังชั้น Subcutaneous tissue อยู่ใต้ชั้น Dermis ลงไป ประกอบไปด้วย Fat cells เป็นหลักโดยเป็นแหล่ง สำคัญของพลังงานสะสมของร่างกาย เมื่ออายุมากขึ้น Fat ในชั้น Subcutaneous ก็จะลดลงด้วยโดยอาจจะหายไป หรือมีการย้ายที่อยู่ไปอยู่ในที่ที่เราไม่ต้องการจึงเป็นที่มาของการดูดไขมันออกจากบริเวณหน้าท้องและต้นขาแล้วนำไปเติมเต็มในส่วนของแก้มและคาง

การจะนำความเย็นไปใช้ในการฟื้นตัว (Recovery) การใช้ความเย็นในการฟื้นตัวของร่างกายเพื่อลดกรดแลคติคในเลือด เราใช้การให้ความเย็นผ่านทางผิวหนัง ผิวหนังทั่วไปมีความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นนอกเรียกว่า “ชั้นหนังกำพร้า” (Epidermis) และชั้นในเรียกว่า “ชั้นหนังแท้” (Dermis) ชั้นหนังแท้มีความหนามากกว่าชั้น หนังกำพร้า และเป็นที่อยู่ของหลอดเลือด และเส้นประสาทรับความรู้สึกต่าง ๆ เช่น เส้นประสาทรับสัมผัส เส้นประสาทรับอุณหภูมิ ต่อมเหงื่อ ต่อมไขมัน รากขน (วรวิทย์ รัตนเสถียรกิจ, 2552)

เมื่อมีความเย็นมาสัมผัสผิวหนังของเรา ร่างกายจะรู้สึกเย็น โดยอาศัยระบบประสาทรับความรู้สึกของร่างกาย โดยที่ตรงส่วนปลายของเส้นประสาทรับความรู้สึกบางเส้นเป็นตัวรับความรู้สึกร้อน และบางเส้นทำหน้าที่รับความรู้สึกเย็นตัวรับความรู้สึกร้อนทำหน้าที่รับความรู้สึกร้อนที่คงระดับหรือเพิ่มขึ้นในระหว่างช่วงอุณหภูมิ 34-45 องศาเซลเซียส ส่วนตัวรับความรู้สึกเย็นจะทำหน้าที่รายงานความเย็นในช่วงอุณหภูมิ 12-35 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส พบว่าตัวรับความรู้สึกร้อนจะหยุดทำงาน แต่ตัวรับความรู้สึกเย็น และตัวรับความรู้สึกเจ็บปวดกลับถูกกระตุ้นให้ทำงานแทน ทำให้เกิดความรู้สึกร้อนเกิดขึ้น และเมื่ออุณหภูมิเย็นจัดมาก ๆ ตัวรับความรู้สึกเจ็บปวดเท่านั้นที่ถูกกระตุ้นทำให้รู้สึกเจ็บปวดแทนที่จะรู้สึกเย็น มีผู้ทำการศึกษาไว้ว่าตัวรับความรู้สึกเย็นมีอยู่ประมาณ 6-23 จุดต่อตารางเซนติเมตร ตัวรับความรู้สึกร้อนมีอยู่ประมาณ 0-3 จุด ต่อตารางเซนติเมตร และในร่างกายมีตัวรับความรู้สึกเย็นทั้งสิ้น 250,000 จุด ตัวรับความรู้สึกร้อน 30,000 จุด (วรวิทย์ รัตนเสถียรกิจ, 2552)

**5. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ**

การเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อขณะมีการยืดเหยียด เมื่อมีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ตัวรับความรู้สึก (Proprioceptives) ในแต่ละปลายประสาทจะทำหน้าที่ถ่ายทอดรายละเอียดการเคลื่อนไหวของร่างกายไปยังระบบประสาทส่วนกลาง และเป็นตัวส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวของร่างกายไปยัง

ระบบประสาท และป้องกันการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวของร่างกาย ซึ่งพบได้ที่ปลายของเส้นประสาทของแต่ละข้อต่อ กล้ามเนื้อและเอ็นของกล้ามเนื้อ ขณะที่มีการยืดเหยียดจะมีประสาทที่จะคอยยับยั้งการเคลื่อนไหวซึ่งอยู่ที่เอ็นยึดกล้ามเนื้อใกล้กับปลายของเส้นใยกล้ามเนื้อซึ่งเรียกว่า “สัญญาณการรับรู้ของเอ็น” (Golgi tendon organ) และ “ตัวรับความรู้สึกแรงกด” (Pacinian corpuscle) จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหว ตัวรับรู้การยืดเหยียด (Golgi tendon organ) จะรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของความตึงเมื่อกล้ามเนื้อมีการยืดเหยียดซึ่งจะเกิดความตึงที่เอ็นกล้ามเนื้อ เมื่อมีการยืดเหยียดจะเป็นหน้าที่ของตัวรับรู้การยืดเหยียดซึ่ง จะบันทึกการเปลี่ยนแปลงในความยาว และความเร็วและส่งสัญญาณไปยังประสาท ซึ่งจะเป็นตัวนำข้อมูลรีเฟล็กซ์การยืดขัดขวางการเปลี่ยนในความยาวของกล้ามเนื้อเป็นสาเหตุทำให้กล้ามเนื้อหดตัว เพื่อจะช่วยรักษาสภาพความตึงของกล้ามเนื้อและป้องกันการบาดเจ็บของร่างกายโดยกล้ามเนื้อมีการหดตัว ซาร์โคเมียร์ (Sarcomere) จะหดตัวก่อให้เกิดการซ้อนทับกันเพิ่มขึ้น ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหนา คือ มัยโอซินฟิลาเมท (Myosin filament) และเอคตินฟิลาเมท (Actin filament) แต่ขณะที่มีการยืดเหยียดของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นจะทำให้การซ้อนกันของเส้นใย มัยโอซินฟิลาเมท (Myosin filament) และเอคตินฟิ ลาเมท (Actin filament) ลดลงซึ่งจะส่งผลให้กล้ามเนื้อยืดยาวออก ดังนั้นในการยืดเหยียดกล้ามเนื้อจะต้องเป็นไปอย่างช้า ๆ และค้างการยืดเหยียดในช่วงเวลานาน และค้างไว้ในตำแหน่งที่ถูกยืดเหยียด ตัวรับรู้การยืดเหยียดจะลดการส่งสัญญาณประสาทไปยังระดับไขสันหลังรีเฟล็กซ์เป็นผลมาจากการทำงานของรีเซปเตอร์ (Receptor) ภายในกล้ามเนื้อเมื่อกล้ามเนื้อถูกยืดโดยทันทีในทางกลับกันการยืดอย่างช้า ๆ จะไม่กระตุ้นรีเฟล็กซ์การยืด การปฏิบัติในการฝึกซ้อมการยืดเหยียดจะต้องค่อย ๆ ปฏิบัติเพื่อป้องกันการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อมได้ (เจษฎา ไตรเพิ่ม, 2554) ได้แบ่งการยืดเหยียด กล้ามเนื้อออกเป็น 4 วิธี คือ

1. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ด้วยตนเอง (Static stretching) คือ การยืดกล้ามเนื้อมัดใดมัดหนึ่งออกไปให้รู้สึกตึง ทำท่าละ 20-30 วินาที แล้วจึงเปลี่ยนไปยืดมัดอื่นต่อ

2. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนที่ (Dynamic stretching, ballistic stretching) เป็นการยืดกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อ จนสุดช่วงของการเคลื่อนไหวอย่างช้า ๆ ในขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนที่ เช่น การก้าวเดินย่อเข่าลงจนสุดช่วงการเคลื่อนไหวในขณะที่มีการบิดลำตัว และแกว่งแขนจนสุดช่วงของการเคลื่อนไหวอยู่ด้วย โดยไม่มีการค้างไว้แต่เป็นการเคลื่อนไหวแบบเฉพาะเจาะจงที่ช้ากว่าการยืดเหยียดแบบ Ballistic stretching

3. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบใช้แรงภายนอกมากระทำ (Passive stretching) เป็นวิธีการที่ผู้ถูกกระทำไม่ต้องเคลื่อนไหวด้วยตนเอง เป็นการยืดกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อโดยใช้แรงภายนอกมากระทำจนสุดช่วงของการเคลื่อนไหวให้รู้สึกตึงกล้ามเนื้อ แล้วค้างไว้ 20-30 วินาที

4. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบกระตุ้นระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Propioceptive neuromuscular facilitation) เป็นเทคนิคที่มีการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาท โดยกระตุ้นผ่านทางระบบประสาทรับความรู้สึกของข้อต่อ สามารถเพิ่มช่วงของการเคลื่อนไหว นิยมใช้ในการรักษาผู้ป่วยที่มีปัญหาของระบบประสาทที่มาควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อผิดปกติ

**ประโยชน์ของการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ**

แม้เทคนิคการยืดเหยียดกล้ามเนื้อจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่วิธีที่เหมาะสมและนิยมใช้กันมากที่สุด คือ วิธีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ซึ่งมีผลต่อร่างกาย ดังนี้

1. คงการไหลเวียนของเลือดทาให้กรดแลคติกในกล้ามเนื้อถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดให้ร่างกายนาไปสลาย

2. ลดอัตราความรุนแรงของการเกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อจาก (Delayed onset of muscles soreness: DOMS) ได้

3. ลดอัตราการเกิดอาการวิงเวียน หน้ามืด หรือเป็นลมจากการคั่งของเลือดที่อวัยวะส่วนล่างของร่างกาย

4. ลดระดับอะดรีนาลีน (Adrenaline) ในกระแสเลือด

5. ช่วยให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับเข้าสู่ภาวะปกติ

ในการฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบที่กล่าวมา จึงมีผลต่อสมรรถภาพทางกายและสมรรถภาพทางการกีฬาที่มีความเกี่ยวข้องกับกรดแลคติกและความล้าของร่างกาย ซึ่งต้องมีความเข้มข้นและความหนักในการฝึกซ้อมที่ระดับต่าง ๆ จึงมีผลต่อระบบหัวใจ ระบบไหลเวียนเลือด ตลอดจนปริมาณกรดแลคติกที่อยู่ในกล้ามเนื้อ

ดังนั้น ในการศึกษาผลของการใช้รูปแบบการฟื้นตัวที่แตกต่างกันที่มีต่อกรดแลคติก อัตราการเต้นหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ จึงควรมีการศึกษารูปแบบการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ และ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ร่วมกับการแช่น้ำเย็น เพื่อให้เกิดความพร้อมของทางด้านร่างกาย ลดอาการบาดเจ็บของนักกีฬาภายหลังจากการฝึกซ้อม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการแข่งขันครั้งต่อไป

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนักแตกต่างกันผสมผสานกับการแช่น้ำเย็นในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ

## ประชากร

ประชากรในการศึกษา คือ นักกีฬาสโมสรฟุตบอลชลบุรี เอฟ.ซี. ทั้งหมด 33 คน ที่ทำการแข่งขันในระดับไทยพรีเมียร์ลีก ปี ค.ศ. 2017

## กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักกีฬาฟุตบอลสโมสรชลบุรี เอฟ.ซี. ที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการ ซึ่งวิธีการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวนั้น อาศัยเรื่อง อำนาจในการทดสอบ (Power of test) ของสถิติในการทดสอบที่ใช้ (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, 2005) โดยอำนาจในการทดสอบที่เหมาะสมควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.8 ดังนั้น สามารถคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างจากวิธีดังกล่าวได้เท่ากับ 9 คน และผ่านเงื่อนไขของการคัดเลือกเข้ากลุ่มดังต่อไปนี้

1. เป็นผู้ที่มีการฝึกซ้อม อย่างต่อเนื่องก่อนการทดลองอย่างน้อย 3 เดือน
2. เป็นผู้ที่มีสุขภาพร่างกาย และจิตใจสมบูรณ์ แข็งแรง และไม่ได้รับการบาดเจ็บอย่างรุนแรง ที่เป็นอุปสรรคต่อการเข้าร่วมทำวิจัย
3. ผ่านการประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (The physical activity readiness questionnaire: PAR-Q) ซึ่งทั้งนี้ต้องผ่านการตรวจสอบหรือรับรองทางการแพทย์ ก่อนเข้าร่วมการทดลองในการวิจัย
4. กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 33 คน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง และกลุ่มตัวอย่างจะต้องมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($V\dot{O}_2max$) เท่า ๆ กัน ด้วยวิธีการทดสอบ Yo-Yo intermittent recovery test level 2 (YYIRT2)
5. เป็นผู้ที่ลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมรวมถึงยินยอมให้ทำการเจาะเลือดผู้เข้าร่วมทำการทดลองได้

## เกณฑ์ในการคัดออกของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างไม่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัย หรือในการทดลองทุกขั้นตอนไม่กระทำอย่างเต็มความสามารถ หรือเกิดการบาดเจ็บทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ และกลุ่มตัวอย่างมีสิทธิ์ขอถอนตัวจากการทดลองได้ตลอดเวลา

## เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล แบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

ตารางที่ 3-1 เครื่องมือทั่วไป

| เครื่องมือ | รุ่น | วิธีการวัด | เวลา |
|---|---|---|---|
| 1. เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Tanita (กิโลกรัม) | UM-051 | ยืนเท้าเปล่าบนเครื่องชั่งเพื่อให้คลื่นไฟฟ้าสามารถผ่านเข้าสู่ร่างกายในระดับต่ำ เพื่อให้ทราบถึงน้ำหนักและองค์ประกอบของร่างกาย | ก่อน |
| 2. เครื่องวัดส่วนสูง (เซนติเมตร) | - | ขึ้นยืนบนแป้นเครื่องวัด โดยเอาหลังพิงผนังและเท้าชิดกัน พยายามยืนให้ตรงที่สุด ให้ทั้งส้นเท้า หลัง ไหล่ และศีรษะชิดผนัง เก็บคางเข้าและมองตรง | ก่อน |

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพทางกาย

ตารางที่ 3-2 เครื่องมือทดสอบสมรรถภาพทางกาย

| เครื่องมือ | รุ่น | วิธีการวัด | เวลา |
|---|---|---|---|
| แบบทดสอบ Yo-Yo intermittent recovery test level 2 (YYIRT2) | - | - | ก่อน |
| กรวย | - | - | ก่อน |
| ตลับเมตร | - | - | ก่อน |
| นาฬิกาจับเวลายี่ห้อ CASIO | HS-30W | - | ก่อน |

3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกรดแลคติก

ตารางที่ 3-3 เครื่องมือทดสอบกรดแลคติก

| เครื่องมือ | รุ่น | วิธีการวัด | เวลาทดสอบ |
|---|---|---|---|
| 1. เครื่องวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด | Lactate SCOUT | เปิดเครื่องวิเคราะห์กรดแลคติก | ก่อน-หลัง |
| 2. แผ่นวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด | Lactate SCOUT | นำแผ่นวิเคราะห์เสียบเข้ากับตัวเครื่องวิเคราะห์ | ก่อน-หลัง |
| 3. เข็มเจาะเลือด (Blood lancets) | Lactate SCOUT | เจาะเลือดเสร็จแล้ว หยดเลือดบนที่แผ่นวิเคราะห์ | ก่อน-หลัง |
| 4. ถุงมือยาง สำลี แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ พลาสเตอร์ | - | - | ก่อน-หลัง |

4. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบฟื้นตัว

ตารางที่ 3-4 เครื่องมือทดสอบการฟื้นตัว

| เครื่องมือ | รุ่น | วิธีการวัด | เวลา ทดสอบ |
|---|---|---|---|
| 1. บ่อน้ำเย็น | LPG-10-5CR | แช่ส่วนของบริเวณเท้าจนถึงเอวของร่างกายลงในบ่อน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 11-15 องศา | ระหว่าง |
| 2. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ | TA-218 | ใส่ติดไว้ในบ่อน้ำเย็นเพื่อวัดอุณหภูมิ | ระหว่าง |
| 3. จักรยาน Cycling spinning bike | Star Trac | สามารถปรับความหนัก ความเร็ว รอบ | ระหว่าง |
| 4. เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการเต้นหัวใจ Sigma-Germany | PC3.11 | ใช้สายรัดไว้บริเวณหน้าอกระหว่างทำการทดลอง | ระหว่าง |

**วิธีการดำเนินการวิจัยการเก็บรวบรวมข้อมูล**

1. จัดหาผู้ช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูลพร้อมทั้งอธิบาย และสาธิตวิธีการต่าง ๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลให้เข้าใจในรายละเอียดของการทดลอง ตลอดจนวิธีการปฏิบัติและการบันทึกผลการทดสอบให้เข้าใจถูกต้องตรงกัน

2. ทำการนัดหมายกลุ่มตัวอย่าง เกี่ยวกับวัน เวลา และสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ

3. เตรียมอุปกรณ์และสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

4. ชี้แจงจุดประสงค์ของการวิจัยและขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่างในการทำวิจัย

4.1 บันทึกอายุ ส่วนสูง น้ำหนักตัว และอัตราการเต้นหัวใจขณะพักของผู้เข้ารับการทดสอบและทำการคัดเลือกนักกีฬา โดยวิธีการทดสอบ Yo-Yo intermittent recovery test level 2 (YYIRT2)

4.2 ทดสอบหาความหนักของงานที่ใช้ในการฟื้นตัวในแต่ละระดับ คือ 30-40 เปอร์เซ็นต์ และ 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ของแต่ละบุคคลในการทดลองจากการฟื้นตัวโดยการปั่นจักรยาน Cycling spinning bike 10 นาที และให้กลุ่มตัวอย่างพัก 3 วัน

5. เตรียมการทดลองโดยตรวจและตั้งค่าของเครื่องมือต่าง ๆ ในการทดสอบ Repeat-sprint ability เครื่องวัดค่ากรดแลคติกในเลือด และบ่อน้ำเย็น หลังจากนั้น ให้ผู้ทดลอง ทดสอบความสามารถ ด้วยวิธี Repeat-sprint ability ทันที

6. ดำเนินการทดลองโดยใช้แผนแบบการทดลองแบบวัดซ้ำ (Repeated measures designs) ซึ่งการทดลองจะใช้กลุ่มตัวอย่างชุดเดียวกัน ปฏิบัติการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ และการทดลองแต่ละครั้ง เว้นระยะห่างกันเป็นเวลา 3 วัน

6.1 ให้ผู้เข้ารับการทดลอง ทำการเจาะเลือดดูค่ากรดแลคติกในเลือดเจาะโดยเจ้าหน้าที่พยาบาลวิชาชีพ และพร้อมกับมีอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยกรณีฉุกเฉินในขณะทำการทดลอง

6.2 ให้ผู้รับการทดลองทำการอบอุ่นร่างกายเป็นเวลา 10 นาที และเริ่มทำการทดสอบด้วย Repeat-sprint ability เพื่อดูความสามารถสูงสุด และเจาะเลือดทันทีเพื่อนำค่ากรดแลคติกในเลือดมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นและบันทึกผลลงในใบบันทึกผล

7. ในการทดลองกลุ่มตัวอย่างต้องทำการทดสอบอย่างน้อย 4 ครั้ง ครั้งละ 1 รูปแบบ แบ่งได้ดังนี้

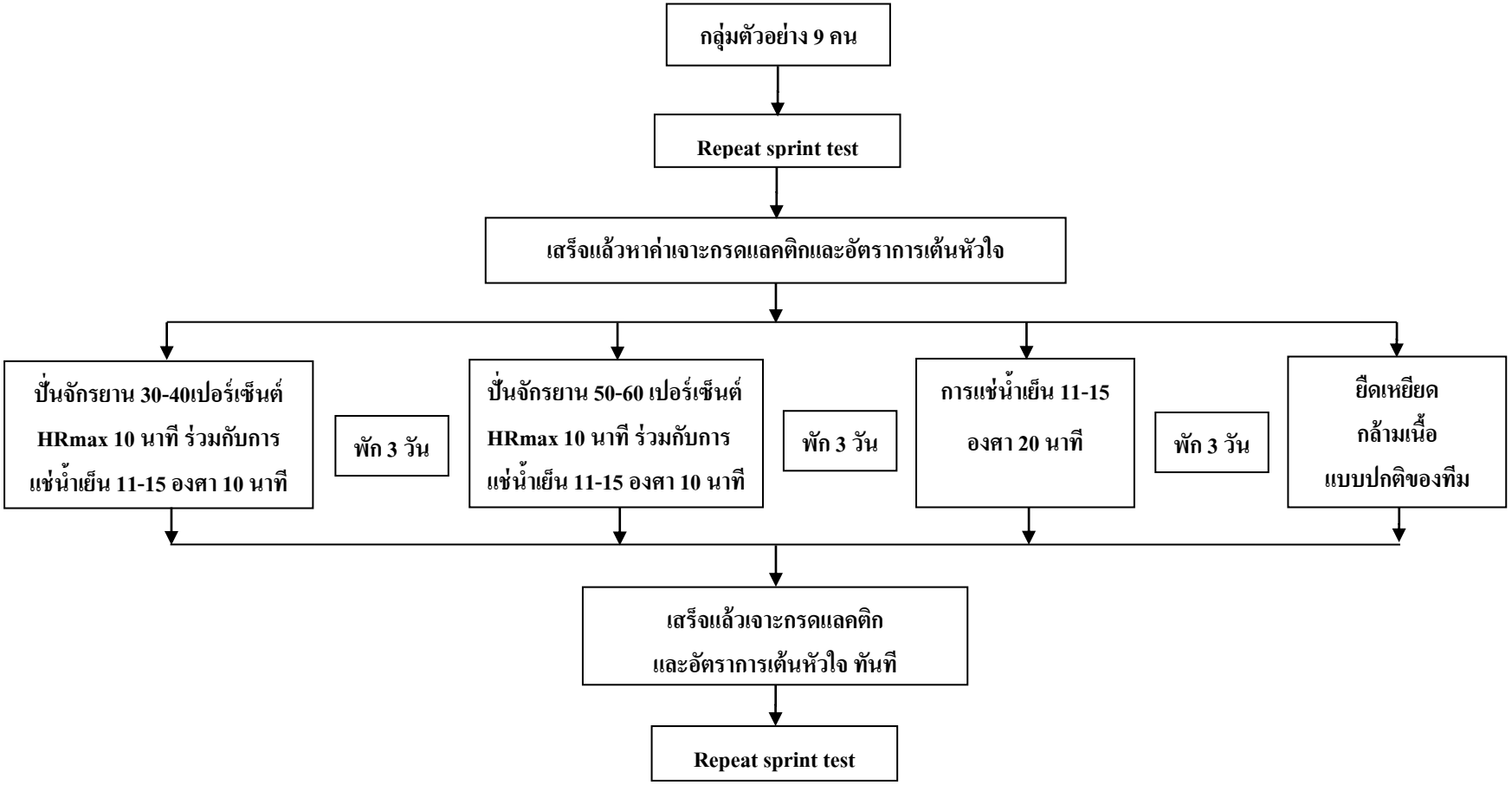
รูปแบบ A ทำการฟื้นตัวโดยการการปั่นจักรยาน Cycling spinning bike 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส 10 นาที

รูปแบบ B ทำการฟื้นตัวโดยการการปั่นจักรยาน Cycling spinning bike 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส 10 นาที

รูปแบบ C ทำการฟื้นตัวโดยการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส 20 นาที

รูปแบบ D การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบปกติของทีม

เมื่อทำจนครบเวลาที่กำหนดจึงเจาะเลือดเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดทันที ว่ากรดแลคติกลดลงเท่าใด แล้วทำการทดลองโดยการทดสอบด้วย Repeat-sprint ability ในรอบที่ 2 เพื่อดูค่าความแตกต่างของค่าความสามารถสูงสุด




ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการวิจัย

## วิเคราะห์ข้อมูล

ในการดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้หลักเกณฑ์ทางสถิติ ดังนี้

1. คำนวณหาค่าสถิติขั้นพื้นฐาน คือ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายและสรุปข้อมูลของตัวแปร ได้แก่ ระดับกรดแลคติกในเลือดของแต่ละครั้ง อัตราการเต้นของหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ก่อนและหลังการทดลองด้วยวิธีการฟื้นตัว ดังนี้

1.1 รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (HRmax) ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส

1.2 รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (HRmax) ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส

1.3 รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส

1.4 รูปแบบ D การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบปกติของทีม

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกรดแลคติกในเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ด้วยวิธีการฟื้นตัว ดังนี้

2.1 รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (HRmax) ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส

2.2 รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (HRmax) ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส

2.3 รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส

2.4 รูปแบบ D การฟื้นตัวแบบปกติของทีม

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ด้วยวิธีของ Tukey กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

# บทที่ 4
# ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของรูปแบบการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายที่มีผลต่อกรดแลคติกในเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตบอล และเปรียบเทียบผลของการฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ คือ

รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น

รูปแบบ D การยืดเหยียดแบบปกติของทีม

แบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลพื้นฐาน (SD) ตามลักษณะทางกายของกลุ่มตัวอย่าง และค่าความสามารถการใช้ออกซิเจนอย่างสูงสุด

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่าง และความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ กรดแลคติกในเลือด ค่าดัชนีความเมื่อล้า ช่วงก่อน และหลังของการฟื้นตัวในแต่ละรูปแบบ คือ

รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น

รูปแบบ D การยืดเหยียดแบบปกติของทีม ภายหลังการทดสอบด้วยวิธี Repeat sprint ability 5 รอบ โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยกำหนดสัญลักษณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ในการแปลความหมายของผลการทดลอง ดังนี้

$\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

SD แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

MS แทน ค่ากำลังสองเฉลี่ย

F แทน ค่าสถิติทดสอบ

df แทน องศาเสรี

SS แทน ผลบวกกำลังสอง

## ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

**ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติพื้นฐาน**

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของข้อมูลลักษณะทางกายภาพ (Characteristics) อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนการทดลอง

ตารางที่ 4-1 ค่าสถิติพื้นฐานของข้อมูลลักษณะทางกายภาพ และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนการทดลอง ของกลุ่มตัวอย่าง

| รายการ | $\overline{X}$ | SD | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด |
|---|---|---|---|---|
| อายุ (ปี) | 20 | - | - | - |
| ส่วนสูง (เซนติเมตร) | 171.88 | 3.82 | 167.00 | 179.00 |
| น้ำหนัก (กิโลกรัม) | 66.52 | 3.50 | 60.70 | 72 |
| ค่าความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ml/min/kg) | 62.40 | 0.42 | 62.10 | 63.23 |

$P < .05$

จากตารางที่ 4-1 พบว่า ในกลุ่มตัวอย่าง มีอายุเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 20 ปี มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 66.52 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 171.88 เซนติเมตร และค่าความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 62.40 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (ml/min/kg) โดยมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรกรดแลคติกที่ศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง

| กลุ่มทดลอง | กรดแลคติก (มิลลิโมลต่อลิตร) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ก่อน | | หลัง | |
| | $\bar{X}$ | SD | $\bar{X}$ | SD |
| รูปแบบ A | 14.54 | 0.44 | 7.87 | 0.67 |
| รูปแบบ B | 14.26 | 0.59 | 5.60 | 0.46 |
| รูปแบบ C | 13.41 | 1.20 | 10.25 | 0.92 |
| รูปแบบ D | 14.47 | 0.38 | 10.71 | 0.50 |

$P < .05$

จากตารางที่ 4-2 พบว่า จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในกลุ่มทดลองทั้ง 4 รูปแบบการฟื้นตัว ดังนี้

รูปแบบ A วิธีการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย 14.54 มิลลิโมลต่อลิตร และภายหลังการฟื้นตัวมีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย 7.87 มิลลิโมลต่อลิตร

รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย 14.26 มิลลิโมลต่อลิตร และภายหลังการฟื้นตัวมีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย 5.60 มิลลิโมลต่อลิตร

รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย 13.41 มิลลิโมลต่อลิตร และภายหลังการฟื้นตัวมีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย 10.25 มิลลิโมลต่อลิตร

รูปแบบ D การยืดเหยียดแบบปกติของทีม ภายหลังออกกำลังกายมีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย 14.47 มิลลิโมลต่อลิตร และมีค่าภายหลังการฟื้นตัวมีค่ากรดแลคติกเฉลี่ย 10.71 มิลลิโมลต่อลิตร

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอัตราการเต้นของหัวใจที่ศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง

| กลุ่มทดลอง | อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ก่อน | | หลัง | |
| | $\bar{X}$ | SD | $\bar{X}$ | SD |
| รูปแบบ A | 156.11 | 2.66 | 86.44 | 3.04 |
| รูปแบบ B | 156.77 | 4.40 | 86.77 | 4.23 |
| รูปแบบ C | 157.33 | 4.24 | 86.00 | 3.31 |
| รูปแบบ D | 155.55 | 2.87 | 87.11 | 2.57 |

$P < .05$

จากตารางที่ 4-3 พบว่า จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในกลุ่มทดลองทั้ง 4 รูปแบบการฟื้นตัว ดังนี้

รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย 156.11 ครั้งต่อนาที และภายหลังการฟื้นตัวมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย 86.44 ครั้งต่อนาที

รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย 156.77 ครั้งต่อนาที และภายหลังการฟื้นตัวมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย 86.77 ครั้งต่อนาที

รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่าค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย 157.33 ครั้งต่อนาที และภายหลังการฟื้นตัวมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย 86.00 ครั้งต่อนาที

รูปแบบ D การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบปกติของทีม ภายหลังการออกกำลังกายมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย 155.55 ครั้งต่อนาที และมีค่าภายหลังการฟื้นตัวมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย 87.11 ครั้งต่อนาที

ตารางที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรค่าดัชนีความเมื่อยล้าที่ศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง

| กลุ่มทดลอง | ค่าดัชนีความเมื่อยล้า (วัตต์) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ก่อน | | หลัง | |
| | $\bar{X}$ | SD | $\bar{X}$ | SD |
| รูปแบบ A | 13.09 | 2.76 | 13.21 | 3.24 |
| รูปแบบ B | 12.70 | 3.30 | 12.84 | 3.23 |
| รูปแบบ C | 12.80 | 3.44 | 12.92 | 3.42 |
| รูปแบบ D | 12.77 | 3.81 | 12.85 | 3.37 |

$P < .05$

จากตารางที่ 4-4 พบว่า จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในกลุ่มทดลองทั้ง 4 รูปแบบการฟื้นตัว ดังนี้

รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่าดัชนีความเมื่อยล้าเฉลี่ย 13.09 วัตต์ และภายหลังการฟื้นตัวมีค่าค่าดัชนีความเมื่อยล้าเฉลี่ย 13.21 วัตต์

รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่าค่าดัชนีความเมื่อยล้าเฉลี่ย 12.70 วัตต์ และภายหลังการฟื้นตัวมีค่าค่าดัชนีความเมื่อยล้าเฉลี่ย 12.84 วัตต์

รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น ภายหลังออกกำลังกายมีค่าดัชนีความเมื่อยล้าเฉลี่ย 12.80 วัตต์ เฉลี่ย 157.33 ครั้งต่อนาที และภายหลังการฟื้นตัวมีค่าดัชนีความเมื่อยล้าเฉลี่ย 12.92 วัตต์

รูปแบบ D การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบปกติของทีม ภายหลังการออกกำลังกายมีค่าดัชนีความเมื่อยล้าเฉลี่ย 12.77 วัตต์ และมีค่าภายหลังการฟื้นตัวมีค่าดัชนีความเมื่อยล้าเฉลี่ย 12.85 วัตต์

**ส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกรดแลคติกในเลือดช่วงหลังของการฟื้นตัวในแบบต่าง ๆ คือ

1. รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

2. รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

3. รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น

4. รูปแบบ D การยืดเหยียดแบบปกติของทีม ภายหลังการทดสอบด้วยวิธี Repeat sprint 5 รอบ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ด้วยวิธีของ Tukey กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ .05

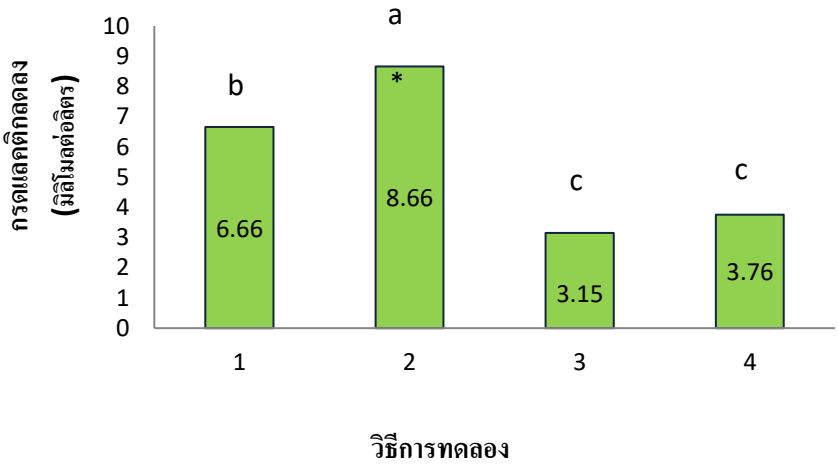
ตารางที่ 4-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดแลคติกที่ลดลงภายหลังกายฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ

| **แหล่งความผันแปร** | $\bar{X}$ | **SD** | **F** | **P-value** |
|---|---|---|---|---|
| รูปแบบ A | 6.66 | 0.44 | 126.61 | 0.000* |
| รูปแบบ B | 8.66 | 0.59 | 1.48 | 0.21 |
| รูปแบบ C | 3.15 | 1.20 | | |
| รูปแบบ D | 3.76 | 0.38 | | |

$P < .05$

จากตารางที่ 4-5 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดแลคติกที่ลดลงภายหลังของการฟื้นตัวบางรูปแบบการทดลองแตกต่างกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ โดยวิธีการของเตอกี้ (Tukey)

ภาพที่ 4-1 เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ พบว่า รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น สามารถลดกรดแลคติกได้มากที่สุด รองลงมาคือ รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น สำหรับรูปแบบ C การแช่น้ำเย็น และรูปแบบ D การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบปกติของทีม สามารถลดกรดแลคติกได้น้อยที่สุด




ภาพที่ 4-1 การเปรียบเทียบค่ากรดแลคติกที่ลดลงของแต่ละรูปแบบการฟื้นตัว

ตารางที่ 4-6 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ หลังการฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ

| แหล่งความผันแปร | $\bar{X}$ | SD | F | P-value |
|---|---|---|---|---|
| รูปแบบ A | 69.67 | 3.04 | 1.79 | 0.177 |
| รูปแบบ B | 70 | 4.23 | 5.37 | 0.001 |
| รูปแบบ C | 71.33 | 3.31 | | |
| รูปแบบ D | 68.44 | 2.57 | | |

$P < .05$

จากตารางที่ 4-6 พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ หลังการฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ คือ

รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น

รูปแบบ D การยืดเหยียดแบบปกติของทีม ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-7 การวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความล้า หลังการฟื้นตัวของทั้ง 4 รูปแบบ

| แหล่งความผันแปร | $\bar{X}$ | SD | F | P-value |
|---|---|---|---|---|
| วิธีการทดลอง | 0.12 | 3.24 | 0.70 | 0.559 |
| หน่วยรับการทดลอง | 0.14 | 3.23 | 18.76 | 0.000 |
| ความคลาดเคลื่อน | 0.12 | 3.42 | | |
| รวม | 0.08 | 3.37 | | |

$P < .05$

จากตารางที่ 4-7 พบว่าค่าเฉลี่ยของดัชนีความเมื่อยล้า หลังการฟื้นตัวทั้ง 4 วิธี คือ

1. วิธีการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น
2. วิธีการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น
3. วิธีการแช่น้ำเย็น
4. วิธีการยืดเหยียดแบบปกติของทีม ไม่แตกต่างกัน

# บทที่ 5
# อภิปรายและสรุปผล

## อภิปรายผล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบผลของรูปแบบการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อกรดแลคติกในเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ โดยในการวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ ภายหลังการออกกำลังกาย ดังนี้

รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmaxร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmaxร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น

รูปแบบ D การยืดเหยียดแบบปกติของทีม

## กรดแลคติกในเลือดภายหลังจากการฟื้นตัว

จากการศึกษา ตารางที่ 4-5 วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรดแลคติกในเลือด พบว่า รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate: HRmax) ร่วมกับการแช่น้ำเย็น มีค่าเฉลี่ยของกรดแลคติกในเลือดก่อนการฟื้นตัวเท่ากับ 14.26±0.59 และหลังจากการฟื้นตัว 5.60±0.46 ตามลำดับ และมีค่า $F = 126.61$, $p = 0.00$ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยวิธีของ Tukey พบว่าปริมาณกรดแลคติกในเลือดหลังจากการฟื้นตัวรูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ร่วมกับการแช่น้ำเย็น สามารถลดกรดแลคติกในเลือดได้ดีที่สุด

เนื่องจากการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อและเลือด ในช่วงที่มีกิจกรรมการเคลื่อนไหวในระดับความหนักที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจให้เร็วขึ้น เพื่อนำเอาออกซิเจนให้กับกล้ามเนื้อรวมถึงทำให้ ฮีโมโกลบิน ทำงานได้ดีขึ้น และไมโอโกลบิน สามารถจับกับออกซิเจนเข้าไปยังไมโทคอนเดรียในกล้ามเนื้อได้มากขึ้น โดยปกติแล้วภายหลังจากการออกกำลังกายอย่างหนักในรูปแบบพลังงานแอนแอโรบิก ระบบพลังงานภายในร่างกายยังคง

ทำงานอยู่ในระดับสูง และจะค่อย ๆ ลดลงปรับเข้าสู่สภาพเดิม (Foss & Keteyian, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับ McArdle et al. (2010) ได้กล่าวว่า กรดแลคติกในเลือดสามารถเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส (Glucose) โดยเข้าสู่ขบวนการ Gluconeogenesis โดยเอนไซม์ Lactate dehydrogenase และส่งกลูโคสเข้าสู่ขบวนการ Glycogenesis และเข้าไปเก็บสะสมที่ตับและกล้ามเนื้อเพื่อใช้งานต่อได้

จากการศึกษาของ Gupta et al. (1996) ได้ศึกษาผลของการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกภายหลังการออกกำลังกายโดยให้กลุ่มตัวอย่างเพศชาย 10 คน ทำการเจาะเลือดหลังจากปั่นจักรยาน พบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกได้เร็วกว่าการฟื้นตัวด้วยวิธีการนวด และการนั่งพัก และจากการศึกษาของ Arazi, Mosavi, Basir, and Karam (2012) ได้ทำการศึกษาในนักกีฬาเบสบอล โดยเปรียบเทียบระดับความหนักของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย 10 คน โดยใช้วิธีการฟื้นตัวโดยการวิ่งบนลู่วิ่ง จากการศึกษาพบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 55-65 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด สามารถลดกรดแลคติกในเลือดได้มากกว่ากลุ่มควบคุม และพิชยา นพกาล (2556) ได้กล่าวไว้ว่า ความหนักที่ระดับ 50-55 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด สามารถลดกรดแลคติกในเลือดได้มากกว่าความหนักระดับ 40-45 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และกลุ่มควบคุม

นอกจากนี้ Ahmaidi et al. (1996) ได้ศึกษาถึง ผลของกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ส่งผลต่อกรดแลคติกในเลือด กลุ่มตัวอย่างเพศชาย จำนวน 10 คน ทำการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว 5 นาที ระหว่างการออกกำลังกายอย่างหนัก จำนวน 3 เซต พบว่า สามารถลดกรดแลคติกในเลือดได้มากกว่าการนั่งพักแบบปกติ และจากการศึกษาของ Ali Rasooli et al. (2012) ได้ศึกษาผลของการนวด การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว ที่ส่งผลต่อการลดกรดแลคติกในเลือด และความสามารถในการว่ายน้ำ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาว่ายน้ำ 17 คน และทำการฟื้นตัวโดยการนวด การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับ 50-65 เปอร์เซ็นต์ $V\dot{O}_2max$ และกลุ่มควบคุม ผลการวิจัยพบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวลดกรดแลคติกได้ดีที่สุด จากการศึกษาของ Arthur Weltman et al. (2013) พบว่า ระยะเวลาในการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวโดยการปั่นจักรยานวัดงาน ที่ความหนัก 1 กิโลกรัม ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที และ 20 นาที และนั่งพักแบบปกติ จากการศึกษาพบว่า การปั่นจักรยาน ที่ความหนัก 1 กิโลกรัม ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาที มีผลทำให้ลดกรดแลคติกได้มากกว่ากลุ่มปั่นจักรยาน 10 นาที และการนั่งพักแบบปกติ

## อัตราการเต้นของหัวใจหลังการฟื้นตัว

จากตารางที่ 4-6 วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจ มีค่า F = 1.79, p = 0.177 จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันหลังการฟื้นตัวทั้ง 4 รูปแบบ

เนื่องจากนักกีฬาที่มีความฟิตอัตราการเต้นของหัวใจจะมีความแตกต่างกันกับคนที่ไม่ฟิต หรือนักกีฬาที่ไม่ได้ฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่อง โดย Janssen-Peter (2001) กล่าวว่านักกีฬาที่มีความฟิตจะมีอัตราการเต้นของหัวใจลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการออกกำลังกายอย่างหนัก สอดคล้องกับ Nishime, Cole, Blackstone, Pashkow, and Lauer (2000) กล่าวว่า ในทางสรีรวิทยานั้นอัตราการเต้นของหัวใจทำงานลดลง เนื่องจากร่างกายสามารถรักษาสภาวะคงที่ของออกซิเจน และสารอาหารให้แก่ร่างกายได้อย่างเพียงพอ โดย Impellizzeri et al. (2005) ได้กล่าวไว้ว่าในขณะที่มีการออกกำลังกายจะทำให้ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic) ทำงานมากขึ้น และทำให้ลดการทำงานของ Vagus nerve ที่ไปกระตุ้นการทำงานของระบบประสาท พาราซิมพาเทติก (Parasympathetic) ซึ่งส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณเลือดที่ส่งออกจากหัวใจภายในการบีบตัวหนึ่งครั้ง (Stroke volume) และการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardial contractility) เป็นเพราะร่างกายสามารถรักษาสภาวะคงที่ของออกซิเจน และสารอาหารให้แก่ร่างกายได้อย่างเพียงพอ การยกระดับการเต้นของหัวใจ (Cadioaccelaration) ระหว่างที่มีกิจกรรมของร่างกายที่ระดับต่ำจนถึงปานกลาง อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มการขนส่งออกซิเจน และสารอาหารต่าง ๆ ให้แก่ร่างกาย ส่งผลให้ร่างกายสามารถเพิ่มอัตราการการเผาพลาญได้ดีขึ้น (Javorka, Zila, Balhárek, & Javorka, 2002)

จากการศึกษาของ Draper, Bird, Coleman, and Hodgson (2006) ได้ศึกษาผลของกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของกรดแลคติก อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการรับรู้การออกแรงในนักกีฬาปีนเขา พบว่าการฟื้นตัวโดยการมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และการนั่งพักแบบปกติ หลังการฟื้นตัว ส่งผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจทั้ง 2 กิจกรรม ลดลงไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับอิสริยา ทองห่อ (2559) ได้ทำการศึกษา ผลของการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อกรดแลคติกในเลือด อัตราการเต้นของหัวใจและสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกในนักกีฬา จากการศึกษาพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการฟื้นตัวไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ Carter, Watenpaugh, Wasmund, Wasmund, and Smith (1999) ได้พบว่า การนั่งพักภายหลังจากการออกกำลังกายส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งการกระตุ้นจากสมอง (Cerebral cortex-central command) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงอย่างรวดเร็ว และจากการศึกษาของ Ohlsson et al. (2015) ได้ศึกษาอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการฝึกซ้อม และการแข่งขันลีกภายในประเทศ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลหญิงระดับอาชีพ 15 คน ระหว่าง

การฝึกซ้อมแบบปกติ ในการแข่งขันลีกภายในประเทศ โดยใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitors) เปรียบเทียบโดยใช้โซนระดับความหนักของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเป็นตัวกำหนดระดับความหนัก จากการศึกษาพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจขณะแข่งขันสูงกว่าการฝึกซ้อมที่ (HRmean 168 ± 9 ครั้งต่อนาที HRpeak 189 ± 8 ครั้งต่อนาที) และ (HRmean 134 ± 11 ครั้งต่อนาที HRpeak 183 ± 9 ครั้งต่อนาที) ซึ่งมีระดับความหนักในการแข่งขันมากกว่าการฝึกซ้อม นั้นแสดงถึงความต้องการในรูปแบบทางสรีรวิทยาระบบต่าง ๆ ดังนั้น นักกีฬามีสมรรถภาพที่ดีจะทำให้หัวใจทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## ดัชนีความเมื่อยล้าหลังการฟื้นตัว

ดัชนีความล้าเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก จากตารางที่ 4-7 วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความล้า มีค่า $F = 0.70$, $p = 0.55$ จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันหลังการฟื้นตัวทั้ง 4 วิธี

เนื่องจากการฟื้นตัวภายหลังจากการออกกำลังกาย นักกีฬาที่มีสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกที่ดีจะสามารถสังเคราะห์ เอทีพี ผ่านกระบวนการ กลูโคนีโอเจเนซิส และนำไปเก็บไว้ในไกลโคเจน ทำให้กล้ามเนื้อฟื้นตัวจากอาการล้าได้อย่างรวดเร็ว สามารถทนต่อกรดแลคติกในเลือดได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับ Nalbandian, Radak, and Takeda (2017) ที่กล่าวว่านักกีฬาที่มีความฟิตจะสามารถนำพลังงานกลับมาใช้ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้กล้ามเนื้อสามารถทำงานซ้ำ ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาของ Astrand et al. (2003) ได้ศึกษาการยกน้ำหนักที่ 25 เปอร์เซ็นต์ของแรงสูงสุด ยกน้ำหนักผ่านไป 2 นาที ยังทำงานปกติ เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที พบว่า เริ่มมีการระดมของมอเตอร์ยูนิตมากขึ้น และเพิ่มความถี่ของสัญญาณประสาทให้กระตุ้นกล้ามเนื้อมากขึ้นโดยออกแรงเท่าเดิม ซึ่งสอดคล้องกับ Larry and Coffer (2006) ได้ศึกษาถึงผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวในนักกีฬาเทนนิส กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิสหญิงจำนวน 9 คน จากการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีความเมื่อยล้าหลังการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ Harbili (2015) ที่ได้ศึกษาถึง ระยะเวลาในการฟื้นตัวที่ส่งผลต่อความสามารถในการทำงานเชิงแอนแอโรบิกในนักกีฬาปั่นจักรยานมืออาชีพ พบว่า ค่าดัชนีความเมื่อยล้าในการทดสอบไม่แตกต่างกัน

## สรุปผลการวิจัย

ผลที่ได้ในงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว 50-60 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ร่วมกับการแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 11-15 องศาเซลเซียล สามารถลดกรดแลคติกได้มากกว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ร่วมกับการแช่น้ำเย็นที่ อุณหภูมิ 11-15 องศาเซลเซียล รองลงมา การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบปกติของทีม และการแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 11-15 องศาเซลเซียล ตามลำดับ

## ข้อเสนอแนะ

สำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว 50-60 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียล นั้นสามารถลดระยะเวลาในการฟื้นตัวได้เร็วขึ้น และสามารถลดกรดแลคติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จึงควรนำผลที่ได้ไปใช้สำหรับการฟื้นตัวของนักกีฬาฟุตบอล เพื่อทำให้เกิดความพร้อมของร่างกายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

## สำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป

ควรศึกษาวิธีการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว ที่ระดับ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับวิธีการแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 11-15 องศา ร่วมกับการวัดค่าทางชีวเคมีของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย และควรนำวิธีการฟื้นตัวแต่ละวิธีการไปใช้ในการฟื้นตัวกีฬาชนิดอื่น

# บรรณานุกรม


กวิน พิกุลงาม. (2550). *ผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนักต่างกันที่มีต่อค่าสมรรถภาพอนากาศนิยม.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กันยา ปาละวิวัธน์. (2532). *คู่มือรักษาตนเองรักษาด้วยความร้อนและความเย็น.* กรุงเทพฯ: หมอชาวบ้าน.

กิจจา สุวรรณ. (2543). *สาระสำคัญวิชาสรีรวิทยา.* นนทบุรี: เอส อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์.

คณาจารย์วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล. (2548). *วิทยาศาสตร์การกีฬา.* กรุงเทพฯ: มีเดียร์เพลส.

เจษฎา ไตรเพิ่ม. (2554). *ผลของการใช้ความเย็นที่มีต่อการฟื้นตัวของนักกีฬามวยไทยสมัครเล่น.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ชัชรินทร์ อังศุภากร. (2540). *สรีรวิทยาของมนุษย์.* กรุงเทพฯ: พริ้นติ้งกราฟฟิก.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์. (2536). *สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: ธรรกมลการพิมพ์.

ณัฐชนนท์ ซังพุก, บุญส่ง โกสะ, ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร และณัฐยา แก้วมุกดา. (2559). ผลของรูปแบบการฟื้นสภาพภายหลังการออกกำลังกาย ที่มีต่อระดับความเข้มข้นของกรดแลคติก และอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬาฟุตบอล. *วารสารวิชาการสถาบันการพลศึกษา, 8*(2), 159-174.

ณัฐธิดา บังเมฆ. (2547). *เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและทางลาดชันที่มีต่อความเมื่อยล้ากล้ามเนื้อขา.* ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

บังอร ชมเดช. (2541). *สรีรวิทยาของระบบไหลเวียน* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประทุม ม่วงมี. (2527). *รากฐานทางสรีรวิทยาของการออกกาลังกายและการพลศึกษา.* กรุงเทพฯ: บูรพาสาสน์.

ประเสริฐ สกุลศรีประเสริฐ. (2552). *การเลือกใช้ความร้อนหรือความเย็น.* เข้าถึงได้จาก http://www.pt.mahidol.ac.th/knowledge/?p=42

พรรณวัตร ไกรวงศ์. (2549). *ผลของโปรแกรมการฟื้นตัวด้วยการยืดเหยียดในน้ำและการซาวน่าที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดภายหลังการออกกาลังกาบแบบหนักสลับเบา.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชยา นพกาล. (2556). การเปรียบเทียบผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนักต่างกันระหว่างเซตและภายหลังการฝึกด้วยแรงต้าน. *Journal of Sports Science and Technology, 13*(1), 53-63.

มหาวิทยาลัยมหิดล. (2559). *สมดุลกรด-เบสในร่างกาย.* เข้าถึงได้จาก http://www.mt.mahidol.ac.th/e-learning/bodyfluid/bicarbonate.htm

วรวิทย์ รัตนเสถียรกิจ. (2552). *ผลของการแช่นน้ำเย็นที่มีต่อการฟื้นสภาพและความสามารถทางกาย.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศิริพร โชติไพบูลย์พันธุ์. (2545). *สรีรวิทยา ระบบกล้ามเนื้อ.* กรุงเทพฯ: ที เค การพิมพ์.

สัญญา ร้อยสมมติ. (2555). *หัวใจและการไหลเวียนเลือด*. ขอนแก่น: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อรรณพ นับถือตรง. (2550). *ผลของการคลายอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ การเดินและการวิ่งเหยาะที่มีต่อการฟื้นสภาพของร่างกาย.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อำพร ศรียาภัย. (2544). *ผลของการพัก การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่และการซาวน่าทีมีผลต่อระดับกรดแลคติกในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิสริยา ทองห่อ. (2559). *ผลของวิธีการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อกรดแลคติกในเลือด อัตราการเต้นของหัวใจและสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกในนักกีฬา.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H., & Prefaut, C. (1996). Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28*(4), 450-456.

Ali Rasooli, S., Jahromi, M. K., Asadmanesh, A., & Salesi, M. (2012). Influence of massage, active and passive recovery on swimming performance and blood lactate. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 52*(2), 122-127.

Alper, A. S. (2016). Heart rate responses during small sided games and official match-play in soccer. *Sports, 4*, 31.

Amann, M. (2011). Central and peripheral fatigue: Interaction during cycling exercise in human. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 43,* 2,039-2,045.

Amann, M., & Calbet, J. A. L. (2008). Convective oxygen transport and fatigue. *Journal of Applied Physiology, 104,* 861-870.

American College of Sports Medicine. (2005). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (7th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Ames, C. (2014). *Muscle recovery techniques for soccer players-optimal soccer*. Retrieved from https//optimalsoccer.com/muscle-recovery/

Arazi, H., Mosavi, S. S., Basir, S. S., & Karam, M. G. (2012). The effects of different recovery conditions on blood lactate concentration and physiological variables after high intensity exercise in handball players. *Sport Science, 5*(2), 13-17.

Arthur, W., Bryant, A. S., Robert, J. M., & Katch, V. L. (2013). Exercise recovery, lactate removal, and subsequent high intensity exercise performance. *Journal of Sports Sciences, 48*(4), 786-796.

Astrand, P. O., Rodahl, K., Dall, H. A., & Stromme, S. B. (2003). *Text book of work physiology physiological bases of exercise* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Bangsbo, J. (1994). *Fitness training for football: A scientific approach: HO+storm, bagsverd.* Retrieved from https://books.google.co.th/books?id=ax4GBYlonK0C&pg=PA57&lpg=PA57&dq=Bangsbo+J+(1994).+Fitness+training+in+football%E2%80%94A+ScientificApproach.+HO+%26+Storm,+Bagsvaerd&source=bl&ots=Ztd6vPVmGa&sig=K2ErK_TvQXaxdnXPgBSbdDS_Oms&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiVksfk36TZAhULpY8KHcITD2cQ6AEIRDAC#v=onepage&q=Bangsbo%20J%20(1994).%20Fitness%20training%20in%20football%E2%80%94A%20ScientificApproach.%20HO%20%26%20Storm%2C%20Bagsvaerd&f=false

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

Bigland-Ritchie, B., Jones, D. A., Hosking, G. P., & Edwards, R. H. T. (1978). Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. *Clinical Science and Molecular Medicine, 54,* 609-614.

Bleakley, C., McDonough, S., Gardner, E., Baxter, G. D., Hopkins, J. T., & Davison, G. W. (2012). Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise. *The Cochrane Database of Systematic Reviews-Journals-NCBI, 2,* CD008262.

Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K., & Nevill, A. M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling in man. *Journal of Physiology, 15*(482), 467-480.

Bonen, A. (2000). Lactate transporters (MCT proteins) in heart and skeletal muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 32*, 778-779.

Bose, S., French, S., Evans, F. J., Joubert, F., & Balaban, R. S. (2003). Etabolic network control of oxidative phosphorylation. *Journal of Biological Chemistry, 278*, 39,155-39,165.

Brooks, G. A., Dubouchaud, H., Brown, M., Sicurello, J. P., & Butz, C. E. (1999). Role of mitochondrial lactate dehydrogenase and lactate oxidation in the intracellular lactate shuttle. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 96,* 1129-1134.

Carter, R., Watenpaugh, D. E., Wasmund, W. L., Wasmund, S. L., & Smith, M. L. (1999). Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. *Journal of Applied Physiology, 87*, 1463-1469.

Chance, B., Eleff, S., Leigh, J. S., Sokolow, D., & Sapega, A. (1981). Mitochondrial regulation of phosphocreatine/ inorganic phosphate ratios in exercising human muscle: A gated 31P NMR study. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 78,* 6714-6718.

Cooke, R., Franks, K., Luciani, G. B., & Pate, E. (1988). The inhibition of rabbit skeletal muscle contraction by hydrogen ions and phosphate. *Journal of Physiology, 395*, 77-97.

Costello, J. T., Algar, L. A., & Donnelly, A. E. (2012). Effects of whole-body cryotherapy (-110 degrees C) on proprioception and indices of muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 22*(2), 190-198.

Dahlstedt, A. J., Katz, A., & Westerblad, H. (2001). Role of myoplasmic phosphate in contractile function of skeletal muscle: Studies on creatine kinase-deficient mice. *Journal of Physiology, 533*, 379-388.

Dempsey, J. A., & Wagner, P. D. (1999). Exercise-induced arterial hypoxemia. *Journal of Applied Physiology, 87,* 1997-2006.

Donovan, C. M., & Pagliassotti, M. J. (2000). Quantitative assessment of pathways for lactate disposal in skeletal muscle fiber type. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 32*, 772-777.

Draper, N., Bird, E. L., Coleman, I., & Hodgson, C. (2006). Effects of active recovery on lactate concentration, heart rate and RPE in climbing. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 5*(1), 97-105.

Dutka, T. L., Cole, L., & Lamb, G. D. (2005). Calcium phosphate precipitation in the sarcoplasmic reticulum reduces action potential-mediated $Ca^{2+}$ release in mammalian skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Cell Physiology, 289*, C1502-C1512.

Dzeja, P. P., & Terzic, A. (2003). Phosphotransfer networks and cellular energetics. *Journal of Experimental Biology, 206*, 2039-2047.

Ekblom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine, 3,* 50-60.

Elias, G. P., Varley, M. C., Wyckelsma, V. L., McKenna, M. J., Minahan, C. L., & Aughey, R. J. (2012). Effects of water immersion on post-training recovery in Australian footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 7*(4), 357-366.

Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology, 72*, 1,631-1,648.

Foss, M. L., & Keteyian, S. J. (1998). *Fox's physiological basis for exercise and sport* (6th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Fox, E., Bowers, R., & Foss, M. (1993). *The physiological basis for exercise and sport*. Madison, WI: Brown & Benchmark.

Gandevia, S. C., Allen, G. M., Butler, J. E., & Taylor, J. L. (1996). Supraspinal factors in human muscle fatigue: Evidence for suboptimal output from the motor cortex. *The Journal of Physiology, 490,* 529-536.

Garland, S. J., & McComas, A. J. (1990). Reflex inhibition of human soleus muscle during fatigue. *The Journal of Physiology, 429*, 17-27.

George, P., Matthew, E., Varley, C., Wyckelsma, V. L., McKenna, M. J., Minahan, C. L., & Aughey, R. J. (2012). Effects of water immersion on post training recovery in Australian footballers. *Human Kinetic Journal, 7*(4), 357-366.

Gibson, H., & Edwards, R. H. (1985). Muscular exercise and fatigue. Sports *Medicine*, 2, 120-132.

Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability-part I. *Sports Medicine, 41*(8), 673-694.

Gupta, S., Goswami, A., Sadhukhan, A. K., & Mathur, D. N. (1996). Comparative study of lactate removal in short term massage of extremities, active recovery and a passive recovery period after supramaximal exercise session. *Journal of Sports Medicine, 17*(2), 106-110.

Hannie, P. Q., Hunter, G. R., Kekes-Szabo, T., Nicholson, C., & Harrison, P. C. (1995). The effects of recovery on force production, blood lactate, and work performed during bench press exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research, 9*(1), 8-12.

Harbili, S. (2015). The effect of different recovery duration on repeated anaerobic performance in elite cyclists. *Journal of Human Kinetics, 49*, 171-178.

Harms, C. A., McClaran, S. R., Nickele, G. A., Pegelow, D. F., Nelson, W. B., & Dempsey, J. A. (2000). Effect of exercise-induced arterial $O_2$ desaturation on $VO_2$ max in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32*, 1,101-1,108.

Hasic, M. (2013). *The soccer fitness guide.* Retrieved from http://suuds.itpp.me/the_soccer_fitness_guide.aspx

Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., & Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Science and Medicine, 23*(6), 583-592.

Ingram, J. (2009). Effect of water immersion methods on post-exercise recovery form simulated team sport exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport, 12*, 17-421.

Janssen-Peter, G. J. M. (2001). *Lactate threshold training*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Javorka, M., Zila, I., Balhárek, T., & Javorka, K. (2002). Heart rate recovery after exercise: Relations to heart rate variability and complexity. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 35*, 991-1000.

Juel, C. (1997). Lactate-proton cotransport in skeletal muscle. *Journal of Physiology, 77,* 321-358.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2006). *Physiology of sport and exercise* (5th ed.). Lower Micham, South Australia: Human Kinetics.

Keyser, R. E. (2010). Peripheral fatigue: High-energy phosphates and hydrogen ions. *Physical Medicine and Rehabilitation, 2,* 347-358.

Kirkendall, D. T. (1990). Mechanisms of peripheral fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 22*, 444-449.

Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H., & Bangsbo, J. (2005). Physical demands during an elite female soccer game: Importance of training status. Medicine and Science in Sports and Exercise, *37*(7), 1242-1248.

Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied linear statistical models* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Larry, W., & Coffer, B. S. (2006). *The effects of active and passive recovery on blood lactate in collegiate female tennis players.* Master's thesis, Science in Education, Baylor University.

Lepers, R., Hausswirth, C., Maffiuletti, N., Brisswalter, J., & van Hoecke, J. (2000). Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32*, 1880-1886.

Lepers, R., Maffiuletti, N. A., Rochette, L., & Brugniaux, J. (2001). Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *Journal of Applied, 92*(4), 1,487-1,493.

Lindinger, M. I., Kowalchuk, J. M., & Heigenhauser, G. J. F. (2005). Applying physicochemical principles to skeletal muscle acid-base status. American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 289,* R891-R894.

Machado, A. F., Ferreira, P. H., Micheletti., J. K., de Almeida, A. C., Lemes, I. R., Vanderlei, F. M., Junior, J. N., & Pastre, C. M. (2015). Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness? a systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Science and Medicine, 46*, 503-514.

MacIntosh, B. R., Holash, R. J., & Renaud, J. M. (2012). Skeletal muscle fatigue-regulation of excitation-contraction coupling to avoid metabolic catastrophe. *American Journal of Physiology-Cell Physiology, 125,* 2,105-2,114.

Marsh, D., & Sleivert, G. (1999). Effect of precooling on high intensity cycling performance. *British Journal of Sports Medicine, 33*(6), 393-397.

McArdle, B. (1951). Myopathy due to a defect in muscle glycogen breakdown. *Clinical Science Journal, 10,* 13-33.

McArdle, D. W., Katch, I. F., & Katch, L. V. (2010). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (7th ed.). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

McMillan, K., Helgerud, J., Grant, S. J., Newell, J., Wilson, J., Macdonald, R., & Hoff, J. (2005). Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *British Journal of Sports Medicine, 39*, 432-436.

Menzies, P., Menzies, C., McIntyre, L., Paterson, P., Wilson, J., & Kemi, O. J. (2010). Blood lactate clearance during active recovery after an intense running bout depends on the intensity of the active recovery. *Journal of Sport Medicine, 28*(9), 975-982.

Mohr, M., Krustrup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sport Sciences, 23*, 593-599.

Morgans, R., Orme, P., Anderson, L., & Drust, B. (2014). Principles and practices of training for soccer. *Journal of Sports and Health Science, 3*, 251-257.

Mutch, B. J., & Banister, E. W. (1983). Ammonia metabolism in exercise and fatigue: A review. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 15,* 41-50.

Nakamoto, R. K., Scanlon, J. A. B., & Al-Shawi, M. K. (2008). The rotary mechanism of the ATP synthase. *Archives of Biochemistry and Biophysics, 476*, 43-50.

Nalbandian, H. M., Radak, Z., & Takeda, M. (2017). Active recovery between interval bouts reduces blood lactate while improving subsequent exercise performance in trained men. *Journal of Sports Science and Medicine, 5*, 40.

Ne´de´lec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in soccer part I-post-match fatigue and time course of recovery. *Journal of Sports Science and Medicine, 42*(12), 997-1015.

Nelson, A., & Kokkonen, J. (2007). *Stretching anatomy*. Lower Micham, South Australia: Human Kinetics.

Nevill, M. E., Lakomy, H. K., Graham, C. M., & Louis, G. (1996). Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *European Journal of Applied Physiology, 74*(5), 461-469.

Nishime, E. O., Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., & Lauer, M. S. (2000). Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *Journal of the American Medical Association, 284*(11), 1,392-1,398.

Ohlsson, A., Berg, L., Ljungberg, H., Söderman, K., & Stålnacke, B. M. (2015). Heart rate distribution during training and a domestic league game in Swedish elite female soccer players. *Annals of Sports Medicine and Research, 2*(4), 1025.

Robert, A., & Scott, R. (1997). Exercise physiology, exercise, performance and clinical application. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 9*(1), 532-542.

Scheiner-Bobis, G., Fahlbusch, K., & Schoner, W. (1987). Shift to the Na+ form of $Na^+/K^+$-transporting ATPase due to modification of the low-affinity ATP-binding site by Co(NH3) 4ATP. *European Journal of Biochemistry, 168*, 123-131.

Scheiner-Bobis, G., Zimmermann, M., Kirch, U., & Schoner, W. (1987). Ouabain-binding site of (Na++ K+)-ATPase in right-side-out vesicles has not an externally accessible SH group. *The FEBS Journal, 165*(3), 653-656.

Seelwood, K. L., Brukner, P., William, D., Nicol, A., & Hinman, R. (2007). Ice water immersion and deleyed-onset muscle soreness: A randomized controlled trial. *British Journal of Sport Medicine, 41*(6), 392-397.

Sellwood, K. L., Brukner, P., Williams, D., Nicol, A., & Hinman, R. (2007). Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: A randomised controlled trial. *British Journal of Sport Medicine, 41*(6), 392-397.

Shei, R. J., & Mickleborough, T. D. (2013). Relative contributions of central and peripheral factors in human muscle fatigue during exercise: A brief review. *Journal of Exercise Physiology, 16*(6), 1-10.

Sporis, G., Milanovic, Z., Trajkovic, N., Erceg, M., & Novak, D. (2012) Relationship between functional capacities and performance parameters in soccer. *Journal of Sports Medicine & Doping Studies, S2*, 001.

Stanley, J., Buchheit, M., & Peake, J. M. (2012). The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology, 112*(3), 951-961.

Strejcova, B., & Konopkova, R. (2012). The effect of active recovery, cold water immersion and passive recovery on subsequent knee extension and flexion strength. *Sports Medicine, 42*(12), 997-1,015.

Sugden, P. H., & Newsholme, E. A. (1975). The effects of ammonium, inorganic phosphate and potassium ions on the activity of phosphofructokinases from muscle and nervous tissues of vertebrates and invertebrates. *Biochemical Journal, 150*, 113-122.

Takagi, R., Fujita, N., Arakawa, T., Kawada, S., Ishii, N., & Miki, A. (2011). Influence of icing on muscle regeneration after crush injury to skeletal muscles in rats. *Journal of Applied Physiology, 110*(2), 382-388.

Taylor, A. D., Bronks, R., Smith, P., & Humphries, B. (1997). Myoelectric evidence of peripheral muscle fatigue during exercise in sever hypoxia: Some references to m. vastus lateralis myosin heavy chain composition. *European Journal of Applied Physiology, 75,* 151-159.

Tessitore, A., Meeusen, R., Pagano, R., Benvenuti, C., Tiberi, M., & Capranica, L. (2008). Effectiveness of active versus passive recovery strategies after futsal games. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 22*(5), 1402-1412.

*Testing for lactate.* (2017). Retrieved from http://www.lactate.com/lactatescout.html

*Tory reiss.* (2014). Retrieved from http://www.smartmonkeyfitness.com/star-trac-nxt-spin-bike-review/

Vasuvattakul, S., Warner, L. C., & Halperin, M. L. (1992). Quantitative role of the intracellular bicarbonate buffer system in response to an acute acid load. *American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology, 262,* R305-R309.

Whipp, B. J., & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *Journal of Applied Physiology, 33,* 351-356.

Wilcock, I. (2005). *The effect of water immersion, active recovery and passive recovery on repeated bouts of explosive exercise and blood plasma*. Master's thesis, Health Science, Auckland University of Technology.

# ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

1. โปรแกรมวิธีการฟื้นตัว
2. คู่มือวิธีสำหรับใช้การฟื้นตัวในแต่ละวิธีการ

## โปรแกรมวิธีการฟื้นตัว

รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRR ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRR ร่วมกับการแช่น้ำเย็น

รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น

รูปแบบ D การยืดเหยียดแบบปกติของทีม

## คู่มือวิธีสำหรับใช้การฟื้นตัวในแต่ละวิธีการ

**รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRR ร่วมกับการแช่น้ำเย็น**

- ให้กลุ่มทดลองปั่นจักรยานทั้งหมด 10 นาที โดยกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRR

- ให้กลุ่มทดลองแช่น้ำเย็นทั้งหมด 10 นาที ที่ระดับความเย็น 11-15 องศา

**รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRR ร่วมกับการแช่น้ำเย็น**

- ให้กลุ่มทดลองปั่นจักรยานทั้งหมด 10 นาที โดยกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRR

- ให้กลุ่มทดลองแช่น้ำเย็นทั้งหมด 10 นาที ที่ระดับความเย็น 11-15 องศา

**อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

- จักรยาน Cycling spinning bike ยี่ห้อ Star Trac
- บ่อน้ำเย็น
- นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ CASIO รุ่น HS-30W

**รูปแบบ C การแช่น้ำเย็น**

- ให้กลุ่มทดลองแช่น้ำเย็นทั้งหมด 20 นาที ที่ระดับความเย็น 11-15 องศา

**อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

- บ่อน้ำเย็น
- นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ CASIO รุ่น HS-30W

**รูปแบบ D การยืดเหยียดแบบปกติของทีม**

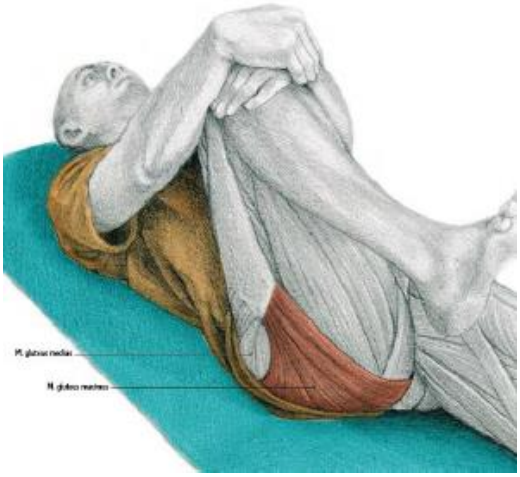
- ให้กลุ่มทดลองยืดเหยียดแต่ละมัดกล้ามเนื้อตามโปรแกรมของทีมชลบุรี เอฟ.ซี.

**อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

- เสื่อปูโยคะ
- นาฬิกาจับเวลา

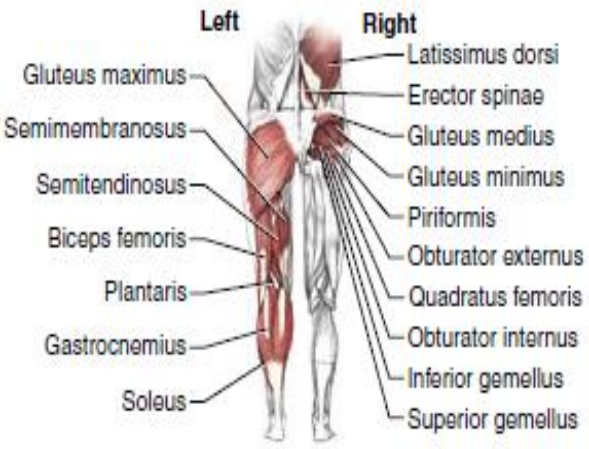
**วิธีการปฏิบัติ** (Nelson & Kokkonen, 2007)

ท่าที่ 1 ยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพก (Knee-to-chest stretch)



**วิธีการปฏิบัติ** การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ด้านหลังส่วนล่าง ทำโดยนอนราบ เท้าเหยียดตรง ยกเท้าข้างหนึ่ง เอามือจับเข่าแล้วดึงเข้าหาหน้าอกจนกระทั่ง กล้ามเนื้อ ต้นขาด้านหลังตึงแล้วหยุดนิ่งค้างไว้ 20 วินาที และเปลี่ยนไปปฏิบัติอีกข้าง

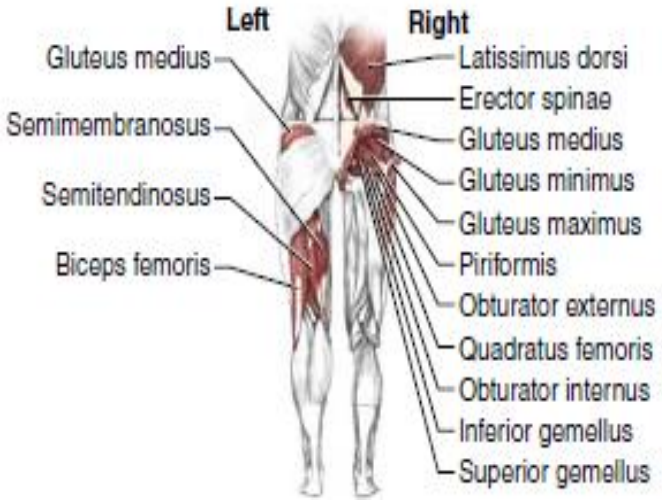
ท่าที่ 2 นั่งยืดเหยียดกล้ามเนื้อสะโพก (Seats hip external rotation and hip extensor stretch)



**วิธีการปฏิบัติ**

นั่งลงกับพื้น เท้าซ้ายเหยียดตรงไปข้างหน้า เท้าขวางอเข้าหาต้นขาซ้ายด้านในใกล้กับตำแหน่ง Pelvic เท่าที่จะทำได้ วางมือลงบนพื้นจากนั้นเอื้อมมือไปทางปลายเท้าซ้ายจนสุดและก้มตัวของไปทางด้านซ้าย งอตัวเหนือขาด้านซ้ายไปข้างหน้าให้ได้ไกลเท่าที่จะทำได้ จนกว่าจะรู้สึกตึงหรือ รู้สึกเจ็บนิด ๆ

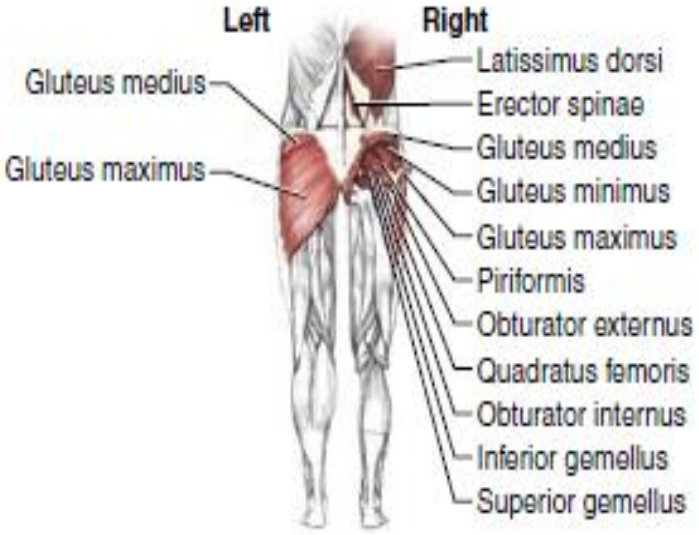
ท่าที่ 3 Recumbent hip external rotator and hip extensor stretch




**วิธีการปฏิบัติ**

นอนหงายลงกับเสื่อปูโยคะ หลังจากนั้นให้งอเข่า และนำเท้าดันเข้ามากลางลำตัว โดยมือขวาจับบริเวณหัวเข่าด้านขวา มือซ้ายจับที่ข้อเท้าด้านขวาแล้วออกแรงดันเข้าหาบริเวณหน้าอกเท่าที่จะทำได้

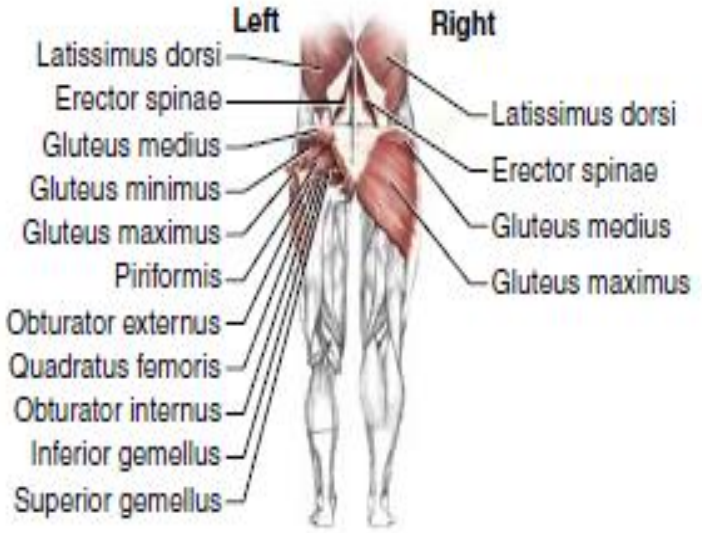
ท่าที่ 4 Hip extensor stretch (crossed leg)




**วิธีการปฏิบัติ**

นอนหงายลงบนเสื่อโยคะ งอขาซ้าย และยกขึ้นจากพื้นและค้างไว้ งอเข่าขวาแล้วเอาส่วนของข้อเท้าค้างไว้เหนือเข่าซ้าย มือทั้งสองจับใต้เข่าซ้ายให้แน่น และดึงเข่าซ้ายเข้าหาบริเวณหน้าอกจนกว่าจะรู้สึกตึง

ท่าที่ 5 Hip external rotator and back extensor stretch



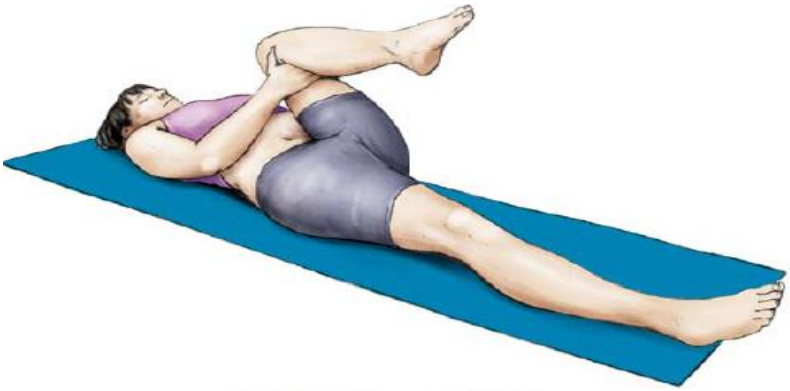

**วิธีการปฏิบัติ**

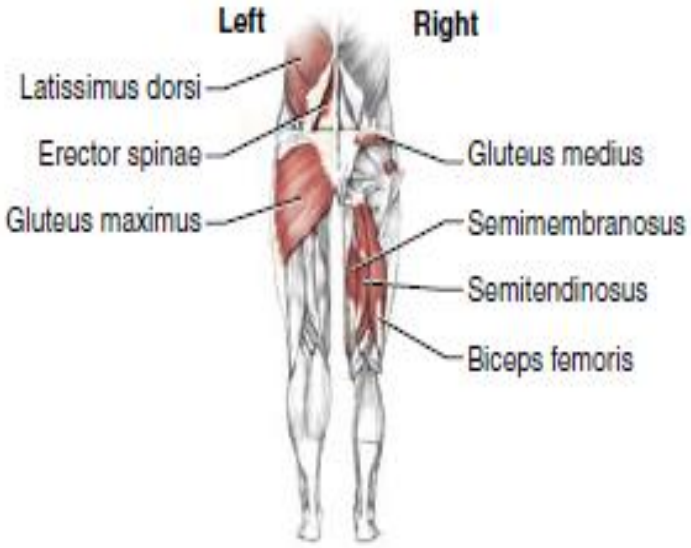
นั่งลงบนเสื่อโยคะขาขวาเหยียดตรง เอาเท้าซ้ายข้ามมาด้านข้างของเข่าขวา และเอาแขนขวาบริเวณข้อศอกต้านไว้ตรงบริเวณเข่าด้านซ้ายที่ยกขึ้น พร้อมกับบิดลำตัวมาฝั่งด้านซ้ายโดยข้อศอกออกแรงต้านกับเข่าซ้ายอย่างให้มั่นคง

**ข้อควรระวัง**

ไม่ควรงอบริเวณหลัง หรืองอเอวไปข้างหน้า

ท่าที่ 6 Hip extensor and back extensor stretch






**วิธีการปฏิบัติ**

นอนหงายบนเสื่อปูโยคะ งอเข่าซ้ายโดยนำเข่าเข้ามาบริเวณหน้าอก ขณะเดียวกันขาขวาราบกับพื้น และมือทั้งสองข้างจับขาซ้ายไว้อย่างมั่นคงพร้อมกับดึงเข่าซ้ายมาที่บริเวณอกจนกว่าจะรู้สึกตึงตัวของกล้ามเนื้อ

**ภาคผนวก ข**

1. การทดสอบหาระดับกรดแลคติกในเลือด
2. ทดสอบหาค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยวิธี Yo-Yo test level 2
3. ทดสอบหาค่าสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกด้วยวิธีการทดสอบของ
   Repeat sprint ability test

**การทดสอบหาระดับกรดแลคติกในเลือด**

**1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้**

1.1 เครื่องวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ยี่ห้อ Lactate SCOUT (Testing for lactate, 2017)

1.2 แผ่นวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ยี่ห้อ Lactate SCOUT

1.3 เข็มเจาะเลือด (Blood lancets)

1.4 สาลีสะอาด

1.5 แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์

1.6 ถุงมือยาง

**2. การหาตัวอย่างเลือด** (อิสริยา ทองห่อ, 2559)

ในการทดสอบหาระดับของกรดแลคติกในเลือด ทาการเจาะทั้งสิ้น 2 ครั้ง (ครั้ง ที่ 1 ภายหลังจากการออกกาลังกายทันที และครั้ง ที่ 2 ภายหลังจากการฟื้นตัวทันที) การกระทำดังกล่าวทำตามหลักและวิธีทางการแพทย์โดยพยาบาลวิชาชีพโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา

2.1 ใช้แอลกอฮอล์เช็ดทาความสะอาดบริเวณติ่งหู

2.2 เลือกตำแหน่งที่เจาะเลือด คือ บริเวณติ่งหู

2.3 ใช้เข็มเจาะเลือด (Blood lancets) เจาะบริเวณติ่งหู ความลึกประมาณ 1

มิลลิเมตร

2.4 บีบเลือดให้ไหลออกมาในปริมาณ 0.2 ไมโครลิตร หรือประมาณ 1 หยดเล็ก ๆ หยดลงแผ่นทดสอบ

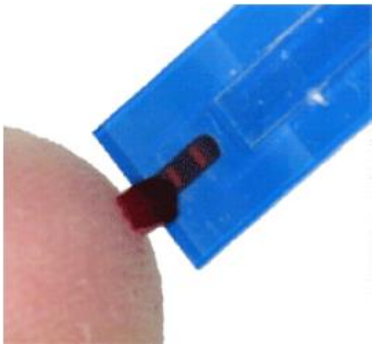
**3. การหาระดับกรดแลคติกในเลือด**

3.1 เปิดเครื่องวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด

3.2 ใส่ CODE ของแผ่นทดสอบที่ใช้

3.3 ใส่แผ่นทดสอบ (Strip test) ในช่องใส่แผ่นทดสอบ

3.4 หยดเลือดลงบนแผ่นทดสอบ 1 หยดเล็ก ๆ (ปริมาณ 0.2 ไมโครลิตร)



3.5 ใช้เวลาประมาณ 10-15 วินาที เครื่องจะอ่านค่าของระดับกรดแลคติกในเลือดโดยมีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อลิตร

3.6 บันทึกค่าที่ได้

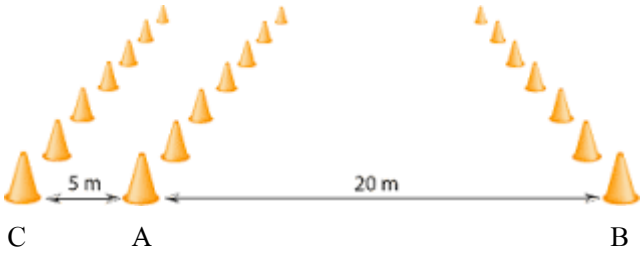
**ทดสอบหาค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยวิธี Yo-Yo intermittent recovery test level 2**

**วัตถุประสงค์** เพื่อประเมินค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน

**อุปกรณ์**

1. กรวย เพื่อนกำหนดจุด มีระยะห่าง 20 เมตร และ 5 เมตร
2. ตลับเมตรวัดระยะทาง
3. เครื่องส่งสัญญาณเสียงการทดสอบ
4. ใบบันทึกระยะทางการวิ่ง

**วิธีการปฏิบัติ** (Bangsbo, Iaia, & Krustrup, 2008)




1. ให้ผู้ทดสอบวิ่งจุดเริ่มต้น จากจุด A ไปยังจุด B ให้ทันเสียงสัญญาณของเทป และวิ่งจุด B ไปยังจุด A เมื่อเสียงสัญญาณดังขึ้นอีกรอบ จากนั้นให้ผู้ทดสอบ เดินจากจุด A ไปยังจุด C เป็นเวลา 10 วินาที

2. ความเร็วของการวิ่งจะควบคุมโดย เครื่องส่งสัญญาณเสียง

3. ผู้ทดสอบจะต้องวิ่งให้ทันตามสัญญาณเสียง ในกรณีที่ผู้ทดสอบไม่สามารถวิ่งได้ทันตามสัญญาณเสียง ผู้ทดสอบจะต้องหยุดวิ่งทันที

**ทดสอบหาค่าสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ด้วยวิธีการของ Repeat sprint ability test**

**วัตถุประสงค์**

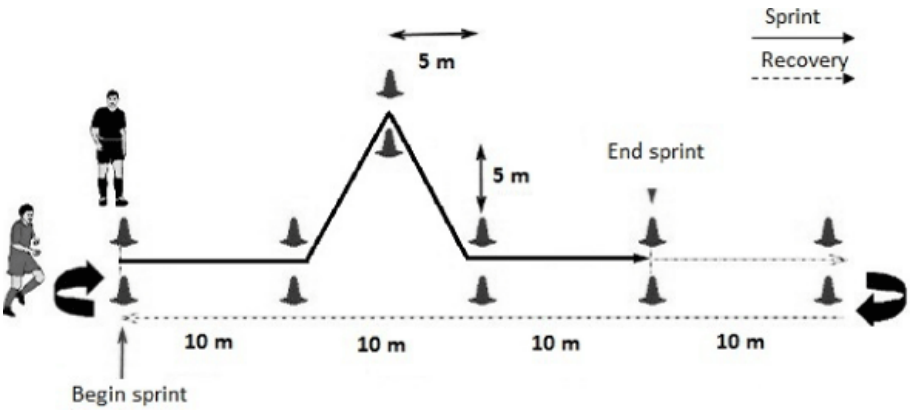
เพื่อประเมินความเร็วในการวิ่งจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด และประเมินสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก

**อุปกรณ์**

1. กรวย
2. ตลับเมตร
3. อุปกรณ์ photoelectric cell timing KMS

**สถานที่ใช้ในการทดสอบ**

สนามฟุตบอล ชลบุรี เอฟ.ซี.




**วิธีการปฏิบัติ (**Sporis, Milanovic, Trajkovic, Erceg, & Novak, 2012)

กลุ่มทดลองวอร์มอัฟ ทั้งหมด 10 นาที ประกอบไปด้วย การเคลื่อนไหวทั่ว ๆ ไป และการยืดแบบ Dynamic และ การยืดแบบ Static ก่อนที่จะทำการทดสอบ

ผู้เข้าทดลอง สปริ๊นอย่างเต็มที่จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด ตามรูปภาพด้านบน ระยะทางในการสปริ๊นรวมไปถึงสลาลมสปริ๊น 34.2 เมตร ในแต่ละการสปริ๊นผู้เข้าทดลอง จ๊อกกิ่งกลับมาจุดเริ่มต้น 15 วินาที ทำทั้งหมด 5 รอบ (Girard et al., 2011)

**วิธีการทดลองการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว**

**จักรยานที่ใช้ในการฟื้นตัวของร่างกาย**

1. จักรยาน Cycling spinning bike ยี่ห้อ Star Trac (Tory reiss, 2014)

**เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจ**

1. เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการเต้นหัวใจ ยี่ห้อ SIGMA-Germany PC3.11

**วิธีการปฏิบัติ** (Wilcock, 2005; Ali et al., 2012)

1. ให้ผู้ทดลองขึ้นนั่งบนอานจัดระดับอานให้พอเหมาะโดยเข่าข้างที่เท้าเหยียบบันไดต่ำสุดงอเล็กน้อย ประมาณ 5 องศา (หรือก่อนขึ้นนั่ง ให้ผู้ทดสอบยืนข้างจักรยานและจัดระดับอานต่ำกว่าระดับสะดือประมาณ 4 นิ้วมือ)

2. ให้ผู้ทดลองสวมใส่เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการเต้นหัวใจ ยี่ห้อ SIGMA บริเวณหน้าอกเพื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

3. ให้ผู้ทดลองปั่นจักรยานให้ถึงระดับความหนักที่กำหนด เป็นเวลา 10 นาที

**ภาคผนวก ค**

1. ใบสมัครเข้าร่วมการวิจัย
2. ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
3. ใบบันทึกผลการทดลอง

ลำดับที่.....

**ใบสมัครเข้าร่วมการวิจัย**

ชื่อ.....นามสกุล.....อายุ.....ปี

วัน/เดือน/ปีเกิด.....ส่วนสูง.....เซนติเมตร น้ำหนัก.....กิโลกรัม

ที่อยู่ (ตามบัตรประชาชน) บ้านเลขที่.....หมู่.....ถนน.....

ตำบล..... อำเภอ..... จังหวัด.....

หมายเลขโทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้.....

E-mail address.....

มีความประสงค์ที่จะเข้าร่วมในการทำวิจัยในครั้งนี้

ลงนาม.....

(.....)

วันที่ ...../...../.....

**ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย**

เรื่อง ผลของการใช้รูปแบบการฟื้นตัวที่แตกต่างกันที่มีต่อกรดแลคติก อัตราการเต้นหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ

วันให้คำยินยอม วันที่..... เดือน..... พ.ศ. .....

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้น จากการวิจัยอย่างละเอียด และมีความเข้าใจดีแล้ว ข้าพเจ้ายินดีเข้าร่วมการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และข้าพเจ้ามีสิทธิจะบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อข้าพเจ้าผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจ ไม่ปิดบัง หรือซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ ข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าจะถูกเก็บเป็นความลับ และจะเปิดเผยในภาพรวมที่เป็นการสรุปผลการวิจัยข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว มีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม.....ผู้ยินยอม

(.....)

ลงนาม.....พยาน

(.....)

ลงนาม.....ผู้วิจัย

(.....)

ลำดับที่.....

**ใบบันทึกผลการทดลอง**

1. ข้อมูลเบื้องต้น

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

ความดันโลหิต...../..... อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (RHR) ..... ครั้ง/ นาที

ผลทดสอบหาค่า $V\dot{O}_2max$ ด้วยวิธีของ Yo-Yo intermittent recovery test level 2

ค่า $V\dot{O}_2max$ ….....มล./กก./นาที. อัตราการเต้นของหัวใจ..... ครั้ง/ นาที

2. กลุ่มที่ได้รับการทดลอง (ให้ทำเครื่องหมาย □หน้าวิธีการฟื้นตัวของตนเอง)

□ รูปแบบ A (รูปแบบ A การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น)

□ รูปแบบ B (รูปแบบ B การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนัก 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax ร่วมกับการแช่น้ำเย็น)

□ รูปแบบ C (รูปแบบ C การฟื้นตัวแบบการแช่น้ำเย็น)

□ รูปแบบ D (รูปแบบ D การฟื้นตัวโดยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบปกติของทีม)

3. ผลก่อนการทดลอง

ทดสอบหาค่าสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกด้วยวิธีของ Repeat sprint test

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 1…….. วินาที

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 2…….. วินาที

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 3…….. วินาที

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 4…….. วินาที

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 5…….. วินาที

ค่าดัชนีความล้าแบบแอนแอโรบิก.....

4. ผลการทดลองภายหลังการออกกำลังกายทันที

4.1 ปริมาณกรดแลคติกในเลือด.....มิลลิโมล/ ลิตร

4.2 อัตราการเต้นของหัวใจ.....ครั้ง/ นาที

5. ผลการทดลองภายหลังการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายทันที

5.1 ปริมาณกรดแลคติกในเลือด.....มิลลิโมล/ ลิตร

5.2 อัตราการเต้นของหัวใจ.....ครั้ง/ นาที

5.3 ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 1…….. วินาที

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 2…….. วินาที

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 3…….. วินาที

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 4…….. วินาที

ความเร็วในการวิ่ง ครั้งที่ 5…….. วินาที

ค่าดัชนีความล้าแบบแอนแอโรบิก.....

**ภาคผนวก ง**

ใบบันทึกผลการตรวจสุขภาพ

**ใบบันทึกผลการตรวจสุขภาพ**

**เรื่อง** ผลของการใช้รูปแบบการฟื้นตัวที่แตกต่างกันที่มีต่อกรดแลคติก อัตราการเต้นหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ

วันที่ได้รับการตรวจ วันที่..... เดือน ..... พ. ศ. .....

ชื่อ .....นามสกุล.....อายุ.....ปี

เพศ ..... ส่วนสูง..... เซนติเมตร น้ำ หนัก.....กิโลกรัม

ความดันโลหิต..... /..... มิลลิลิตรปรอท ชีพจรขณะพัก ..... ครั้ง/ นาที

**ประวัติการเจ็บป่วย**

การเจ็บป่วยในอดีตที่สำคัญ

.....

.....

โรคประจำตัว

.....

.....

ประวัติครอบครัว (โรคหัวใจ อัมพฤกต์ อัมพาต)

.....

.....

.....

.....

**ประวัติการใช้ยา**

1. ยาที่ใช้เป็นประจำ

.....

.....

.....

2. ยาที่มีประวัติการแพ้

……

……

**Physical examination**

**General appearance**

……

……

……

| | | |
|---|---|---|
| Heent | ☐ Normal | ☐ Abnormal |
| Chest | ☐ Normal | ☐ Abnormal |
| Heart | ☐ Normal | ☐ Abnormal |
| Abdomen | ☐ Normal | ☐ Abnormal |
| Genitalia | ☐ Normal | ☐ Abnormal |
| Skin | ☐ Normal | ☐ Abnormal |
| Extremities | ☐ Normal | ☐ Abnormal |
| Neuro | ☐ Normal | ☐ Abnormal |

**Final impression**

☐ Normal ☐ Abnormal

Remark

……

……

แพทย์ผู้ตรวจ ……..……..

( )

สถานที่ทำการเก็บข้อมูลวิจัย: ห้องปฏิบัติการทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Laboratory of physical fitness test) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

**ภาคผนวก จ**

1. แบบสอบถามเพื่อการวิจัย
2. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย

ลำดับที่.....

**แบบสอบถามเพื่อการวิจัย**

**เรื่อง** ผลของการใช้รูปแบบการฟื้นตัวที่แตกต่างกันที่มีต่อกรดแลคติก อัตราการเต้นหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ

วันทำการเก็บข้อมูล วันที่ ……..... เดือน ..... พ.ศ. .....

สถานที่ทำการเก็บข้อมูล ณ ห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยาการออกกาลังกาย (Laboratory of exercise physiology) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

**คำชี้แจ้ง**

1. แบบสอบถามเพื่อคัดกรอง ประกอบไปด้วย 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐาน จำนวน 2 ข้อ

ตอนที่ 2 เกี่ยวกับข้อมูลประวัติสุขภาพ จำนวน 11 ข้อ

ตอนที่ 3 เกี่ยวกับข้อมูลประวัติการฝึกซ้อมจำนวน 4 ข้อ

2. กรุณาทำการตอบแบบสอบถามให้ครบทุกข้อ โดยสามารถตอบคำถามได้มากกว่า 1 ข้อ และท่านมีสิทธิ์ที่จะไม่ตอบคำถามข้อใดก็ได้โดยใช้เวลาประมาณ 5-6 นาที ในการตอบแบบสอบถาม

3. การตอบแบบสอบถามในแต่ละตอนให้ใส่เครื่องหมายถูกต้อง □ ลงในช่องที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง ในส่วนที่เป็นช่องว่างให้เติมข้อความให้ครบถ้วน ทั้งนี้คำตอบของท่านมีความสำคัญต่อการวิจัยเป็นอย่างมาก และขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งในการให้ความร่วมมือทุกท่าน

**ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐาน**

1. วัน/ เดือน/ ปีเกิด.....อายุ.....ปี เชื้อชาติ..... สัญชาติ..... อาชีพ.....

2. น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร

**ตอนที่ 2 ประวัติสุขภาพ**

1. ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรดระบุ).....

☐ ไม่ได้รับการรักษา ☐ ได้รับการรักษา (อย่างไร).....

2. ท่านเคยมีอาการเจ็บหน้าอก (Chest pain) หรือหายใจติดขัดหรือไม่

☐ ไม่เคย ☐ เคย (โปรดระบุ).....

3. ท่านเคยมีประวัติการเจ็บป่วยที่สำคัญ หรือได้รับการผ่าตัดหรือไม่

☐ ไม่เคย ☐ เคย (โปรดระบุ).....

4. ท่านเคยมีปัญหาการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ เช่น อาการปวดกล้ามเนื้อบาดเจ็บบริเวณกระดูกหรือข้อต่อ หรือไม่

☐ ไม่เคย ☐ เคย (โปรดระบุ).....

5. ปัจจุบันท่านยังมีอาการการบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ อยู่หรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรดระบุ).....

6. การรักษาที่ท่านได้รับในปัจจุบัน (เช่น ยา/ กายภาพบำบัด/ อื่น ๆ)

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรดระบุ).....

7. ท่านมีปัญหาดังต่อไปนี้ หรือไม่

☐ มีบริเวณที่มีความผิดปกติของระบบหลอดเลือด เช่น เส้นเลือดขอด หรือเส้นเลือดอุดตัน เป็นต้น

☐ มีความผิดปกติในการแข็งตัวของเลือด ซึ่งรวมถึงการได้รับยาต้านการแข็งตัวของเลือดด้วย

☐ มีบริเวณที่มีรอยโรคบนผิวหนังที่ยังไม่หายสนิทดี

☐ มีบริเวณที่มีการติดเชื้อ ☐ มีบริเวณที่มีการอักเสบ

☐ กระดูกหักที่ยังติดไม่ดี ☐ บริเวณที่เปลี่ยนข้อต่อ

8. ขณะนี้ท่านมีปัญหาสุขภาพ และ/ หรือมีภาวะเครียดหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรดระบุ).....

9. ขณะนี้ท่านมีปัญหาทางสายตาหรือไม่

☐ ไม่มี ☐ มี (โปรดระบุ).....

10. ท่านเคยสูบบุหรี่หรือไม่

☐ ไม่เคย ☐ เคย.....มวน/ วัน เป็นระยะเวลา.....ปี

☐ สูบนาน ๆ ครั้ง (โปรดระบุ)..... ☐ เลิกสูบมาแล้ว.....ปี

11. ท่านดื่มเครื่องดื่มที่ผสมแอลกอฮอล์หรือไม่

☐ ไม่เคยดื่ม ☐ ดื่มเป็นประจำ ☐ ดื่มนาน ๆ ครั้ง (โปรดระบุ).....

**ตอนที่ 3 ประวัติการออกกำลังกาย**

1. ท่านได้ฝึกซ้อมตามโปรแกรมของทีมสโมสรฟุตบอลหรือไม่

☐ ไม่ ☐ ใช่

2. ท่านฝึกซ้อมกีฬาฟุตบอลกี่วันต่อสัปดาห์

☐ น้อยกว่า 2 วัน/ สัปดาห์ ☐ 3-4 วัน/ สัปดาห์

☐ มากกว่า 5-6 วัน/ สัปดาห์ ☐ ทุกวัน

3. ท่านฝึกซ้อมกีฬาฟุตบอลเป็นระยะเวลาเท่าไรต่อครั้ง

☐ น้อยกว่า 20 นาที ☐ 20-30 นาที

☐ มากกว่า 30-60 นาที ☐ มากกว่า 60 นาที ขึ้นไป

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

**เอกสารชี้แจ้งผู้เข้าร่วมการวิจัย**

**เรื่อง** ผลของการใช้รูปแบบการฟื้นตัวที่แตกต่างกันที่มีต่อกรดแลคติก อัตราการเต้นหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ

**ชื่อผู้วิจัย** นายสมจินต์ เกิดโภคา รหัสนิสิต 57910098 หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา

**เรียนผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกท่าน**

การวิจัยครั้งนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของการใช้รูปแบบการฟื้นตัวที่แตกต่างกันที่มีต่อกรดแลคติก อัตราการเต้นหัวใจ และสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ โดยนักกีฬาที่ใช้วิธีการฟื้นตัวในแต่ละวิธีในงานวิจัยนี้ นั้นจะกลับมามีสภาพใกล้เคียงกับก่อนการออกกำลังกาย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการฟื้นตัวในแต่ละชนิดกีฬาได้เพื่อให้เกิดความสามารถสูงสุดของนักกีฬา

เมื่อท่านเข้าร่วมการวิจัยแล้วสิ่งที่ท่านจะต้องปฏิบัติ คือ ท่านจะได้รับการชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัยโดยย่อ และการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ทั้งสิ้น เมื่อเมื่อท่านตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยท่านจะต้องลงนามยินยอมเข้าร่วมในการวิจัยโดยอิสระ และท่านจะต้องทดสอบสมรรถภาพด้วยวิธี Yo-Yo intermittent test ดังนี้

1. นักกีฬาฟุตบอลสโมสรชลบุรี เอฟ.ซี. ทั้งหมดที่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย เซ็นใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย และทดสอบหาค่า $V\dot{O}_2max$ ด้วยวิธี Yo-Yo intermittent test level 2 โดยผู้วิจัยจะคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง 9 คน และกลุ่มตัวอย่างจะต้องมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ใกล้เคียงกัน

กลุ่มตัวอย่างทำการตอบแบบสอบถามตามเกณฑ์การคัดเลือกเข้าศึกษาวิจัย หากท่านมีคุณสมบัติที่เหมาะสม และท่านจะได้รับการทดสอบดังต่อไปนี้

2. ผ่านการประเมิน PAR-Q อย่างระเอียด โดยแพทย์ผู้ตรวจ

3. ทดสอบหาค่าดัชนีความล้าแบบแอนแอโรบิก ด้วยวิธี Repeat sprint test

4. ออกกำลังกายด้วยวิธีการปั่นจักรยาน Cycling spinning bike ยี่ห้อ Star Trac

5. ในการทดสอบหาระดับของกรดแลคติกในเลือด ทำการเจาะทั้งสิ้น 2 ครั้ง (ครั้งที่ 1 ภายหลังจากการออกกาลังกายทันที และครั้งที่ 2 ภายหลังจากการฟื้นตัวทันที) โดยทำการเจาะเลือดบริเวณติ่งหู โดยความลึกในการเจาะลึกไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ปริมาณเลือดที่เจาะออกมาประมาณ 0.2 ไมโครลิตร หรือประมาณ 1 หยดเล็ก ๆ การกระทำดังกล่าวทำตามหลัก และวิธีทางการแพทย์โดยพยาบาลวิชาชีพ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมด 9 คน จะต้องทำการทดลองด้วยวิธีการฟื้นตัวทั้งหมด 4 วิธี ดังนี้

รูปแบบ A ทำการฟื้นตัวโดยการการปั่นจักรยาน Cycling spinning bike 30-40 เปอร์เซ็นต์ HRmax 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส 10 นาที

รูปแบบ B ทำการฟื้นตัวโดยการการปั่นจักรยาน Cycling spinning bike 50-60 เปอร์เซ็นต์ HRmax 10 นาที ร่วมกับการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส 10 นาที

รูปแบบ C ทำการฟื้นตัวโดยการแช่น้ำเย็น 11-15 องศาเซลเซียส 20 นาที

รูปแบบ D การฟื้นตัวแบบปกติของทีม

ตั้งแต่เวลา 16.00-18.00 น. ความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้น กับท่านมีเพียงผลกระทบอันเป็นผลมาจากการข้อเท้าพลิก ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ เกิดอาการแพ้ความเย็น และการเจาะเลือดเท่านั้น โอกาสที่จะเกิดการติดเชื้อ บริเวณที่เจาะเลือดพบได้น้อยมาก เนื่องจากในการเจาะเลือดได้ทำตามหลักและวิธีทางการแพทย์ โดยพยาบาลวิชาชีพโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา หากเกิดอุบัติเหตุใด ๆ ขึ้นกับผู้เข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะรับผิดชอบค่าใช้จ่ายทั้งหมด ผลของการศึกษานี้จะใช้สำหรับวัตถุประสงค์ทางวิชาการเท่านั้น โดยข้อมูลต่าง ๆ จะถูกเก็บไว้เป็นความลับ และไม่มีการเผยแพร่สู่สาธารณชน ขอรับรองว่าจะไม่มีการเปิดเผยชื่อของท่านตามกฎหมาย หลังจากเสร็จสิ้นการวิจัย ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจะถูกทำลาย ตามความเหมาะสมโดยไม่เก็บไว้เพื่อกระทำการอื่น ๆ ได้อีก และการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้เป็นไปโดยความสมัครใจหากท่านไม่สมัครใจเข้าร่วมการศึกษาวิจัยแล้วท่านสามารถถอนตัวได้ ตลอดเวลาโดยไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น หากท่านมีปัญหาหรือข้อสงสัยประการใด สามารถสอบถามได้โดยตรงจากผู้วิจัยในวันทำการเก็บรวบรวมข้อมูล หรือสามารถติดต่อสอบถามเกี่ยวกับการวิจัยครั้งนี้ได้ตลอดเวลาที่ผู้วิจัย คือ นายสมจินต์ เกิดโภคา หมายเลขโทรศัพท์ 088-469-3359 ซึ่ง ยินดีตอบคำถามทุกคำถาม จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอขอบคุณท่านเป็นอย่างยิ่งในความร่วมมือในการวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัย นายสมจินต์ เกิดโภคา