การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬาทีมชาติไทย

มาโนช บุตรเมือง

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์และคณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์ ได้พิจารณาดุษฎีนิพนธ์ของ มาโนช บุตรเมือง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.สมศักดิ์ ลิลา)

คณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละมาด)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)

.....กรรมการ

(ดร.สมศักดิ์ ลิลา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิดา จุลวนิชย์พงษ์)

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาอนุมัติให้รับดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....

ผู้รักษาการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

(นายเสถียร ปุรณะวิทย์)

วันที่ 19 เดือน มกราคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และดร.สมศักดิ์ ลิลา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยมีความรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละมาด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพ.กฤษฎา บานชื่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิดา จุลวนิชย์พงษ์ และคณาจารย์กลุ่มวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกายและกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ตรวจแก้ไขและวิจารณ์ผลงาน ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์เพิ่มมากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณพี่ น้อง กลุ่มวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกายและกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา และเพื่อนร่วมรุ่นทุกคน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อมานพ คุณแม่เด็ก บุตรเมือง รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ กระบวนรัตน์ และครอบครัว อาจารย์วัลลา-อาจารย์เสนอ ไชยยงค์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณเสาวภาคย์ ไชยยงค์ (ภรรยา) และด.ญ.คนธรส บุตรเมือง (บุตรสาว) รวมไปถึงญาติพี่น้องทุก ๆ คนที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทีแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

มาโนช บุตรเมือง

55810022: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา; ปร.ด.
(วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา)
คำสำคัญ: การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที/ การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

มาโนช บุตรเมือง: การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬาทีมชาติไทย (PREDICTION OF MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION ($\dot{V}O_2max$) FROM HEART RATES RECOVERY OF THAILAND NATIONAL ATHLETES) คณะกรรมการควบคุมดุษฎีนิพนธ์: ประทุม ม่วงมี, Ph.D., สมศักดิ์ ลิลา, กศ.ด. 210 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 2 นาที และเพื่อศึกษาสมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาทีมชาติไทย จำนวน 150 คน อายุระหว่าง 17-34 ปี (21.18 ± 4.36 ปี) เข้าร่วมด้วยความสมัครใจ การเก็บข้อมูลได้ให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยวิธีการของออสตรานด์และไรห์มิ่ง พัก 48 ชั่วโมง ทำการทดสอบวินเกต ทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 2 นาที ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรวิเคราะห์โดยใช้สถิติวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการใช้การวิเคราะห์การถดถอยของสมการเชิงเส้น กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

ผลการวิจัยพบว่า

1. การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 2 นาที มีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (r = .47, .45, .51, .64, .61, .59, .57, .60 ตามลำดับ)

2. สมการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงการฟื้นตัว คือ $\dot{V}O_2max = 24.314 + 1.007HR_{rec60}$

3. อายุมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วงเวลา

จากข้อมูลที่ปรากฏสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที สามารถนำไปใช้ในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ มีความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการปฏิบัติ

55810022: MAJOR: EXERCISE AND SPORT SCIENCE; Ph.D.
(EXERCISE AND SPORT SCIENCE)
KEYWORDS: HEART RATES RECOVERY/ PREDICTION OF MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION

MANOCH BUTRMUANG: PREDICTION OF MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION ($\dot{V}O_2$max) FROM HEART RATES RECOVERY OF THAILAND NATIONAL ATHLETES. ADVISORY COMMITTEE: PRATOOM MUONGMEE, Ph.D., SOMSAK LILA, Ed.D. 210 P. 2018.

The purposes of this study were to (1) investigate the relationship exists between maximum oxygen consumption ($\dot{V}O_2$max) and heart rates recovery (HR_{rec}) response by 15-s intervals of 2 minutes duration and (2) establish a prediction equation of maximum oxygen consumption from regression analysis using heart rate recovery. Data from one hundred fifty of Thailand national team athletes distributed over the range 17-34 years (21.18 ± 4.36 y) were include in the analysis. Subjects completed an initial Åstrand-Ryhming (A-R) test to determine $\dot{V}O_2$max. Subsequently, each subject completed a Wingate test to evaluate peak heart rate (PHR) and HR_{rec} response at 15-s sampling interval in 2 minutes. A 48 h. interval was imposed between all tests. The relationship between the variables was analyzed with Pearson product moment correlation and linear regression was performed to predict the equation. Significance difference was set at $p < .05$.

The results suggested the followings

1. There is a relationship between maximum oxygen consumption and heart rates recovery responding to 15-s intervals of 2 minutes duration (r = .47, .45, .51, .64, .61, .59, .57, .60 respectively)

2. The prediction equation at $\dot{V}O_2$max by using heart rate recovery was $\dot{V}O_2max = 24.314 + 1.007HR_{rec60}$

3. Age was related to $\dot{V}O_2$max but independent on heart rates recovery (HR_{rec}).

There resulted from the existing data show that predicting equation of $\dot{V}O_2$max by using heart rate recovery is precise with highly confidence and practically convenience.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

คำถามการวิจัย..... 6

วัตถุประสงค์การวิจัย..... 6

สมมุติฐานการวิจัย..... 7

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 7

ขอบเขตของการวิจัย..... 7

หลักเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง..... 8

ข้อจำกัดของการวิจัย..... 9

นิยามศัพท์เฉพาะ..... 9

กรอบแนวคิดในการวิจัย..... 10

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 11

ความสำคัญของสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ..... 12

ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด..... 16

ความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ..... 24

การประเมินความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ..... 29

ความสำคัญของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการกีฬา..... 34

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจกับการออกกำลังกาย	41
	ผลของการฝึกความอดทนของร่างกายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในเชิงสรีรวิทยา	53
	การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย	63
	การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ	84
3	วิธีดำเนินการวิจัย	91
	ประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	91
	ลำดับขั้นตอนการวิจัย	92
	ลำดับขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล	92
	เครื่องมือในการเก็บข้อมูล	94
	อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล	94
	สถานที่ดำเนินการเก็บข้อมูล	94
	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล	94
	การวิเคราะห์ข้อมูล	94
	กรอบลำดับการเก็บข้อมูล	96
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	97
	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	97
	การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล	98
	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	99
5	อภิปรายและสรุปผล	155
	อภิปรายผล	155
	สรุปผลการวิจัย	166
	ข้อเสนอแนะ	167
บรรณานุกรม		168
ภาคผนวก		180
	ภาคผนวก ก	181

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ข..... 186

ภาคผนวก ค..... 189

ภาคผนวก ง..... 192

ภาคผนวก จ..... 194

ภาคผนวก ฉ..... 197

ภาคผนวก ช..... 200

ภาคผนวก ซ..... 203

ภาคผนวก ฌ..... 208

ประวัติย่อของผู้วิจัย..... 210

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	รูปแบบวิธีการที่นำมาใช้ในการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด	32
2-2	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดสำหรับผู้ที่ไม่เป็นนักกีฬาและเป็นนักกีฬา มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที	36
2-3	เกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทย จากการทดสอบโดยใช้จักรยานวัดงานตามวิธีการหาของ Åstrand	38
2-4	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดของนักกีฬาระดับโลก	41
2-5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุดกับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด	52
2-6	การปรับตัวของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจจากการฝึกความอดทนของร่างกาย	63
2-7	ช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการฟื้นตัวของร่างกายภายหลังการออกกำลังกาย โดยใช้เวลาต่ำสุดและสูงสุดภายหลังการออกกำลังกายจนหมดแรง	78
4-1	จำนวนและร้อยละเกี่ยวกับเพศของกลุ่มตัวอย่าง	99
4-2	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ ส่วนสูง น้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และอัตราการเต้นของหัวใจที่นำไปคำนวณระดับความหนักจากอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด	100
4-3	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังสูงสุดเชิงแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะเชิงแอนแอโรบิก และความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด	101
4-4	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที..... 104

4-6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที..... 106

4-7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับอายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที..... 108

4-8 ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด..... 109

4-9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ..... 110

4-10 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที..... 111

4-11 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที..... 113

4-12 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ..... 114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-13 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาทีภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ..... 116

4-14 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60..... 117

4-15 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120..... 118

4-16 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านอายุ..... 119

4-17 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านอายุ..... 120

4-18 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย..... 121

4-19 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย..... 122

4-20 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง..... 123

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-21 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง..... 124

4-22 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 และ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย..... 125

4-23 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 และ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง..... 125

4-24 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 127

4-25 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120..... 130

4-26 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 โดยมีปัจจัยทางด้านอายุของนักกีฬาเท่ากับ 21 ปี..... 134

4-27 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 โดยมีปัจจัยทางด้านอายุของนักกีฬาเท่ากับ 21 ปี..... 137

4-28 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย..... 141

4-29 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย..... 144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-30 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง..... 148

4-31 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง..... 151

ภาคผนวก ง-1 การแจกแจงของข้อมูลความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดอายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที.... 193

ภาคผนวก ซ-1 สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที..... 204

ภาคผนวก ซ-2 สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีโดยมีปัจจัยทางด้านอายุ..... 205

ภาคผนวก ซ-3 สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีโดยแบ่งตามเพศชาย..... 206

ภาคผนวก ซ-4 สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีโดยแบ่งตามเพศหญิง..... 207

ภาคผนวก ฌ-1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และประสิทธิภาพในการพยากรณ์ ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที..... 209

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	กรอบแนวคิดในการวิจัย	10
2-1	โครงสร้างของหัวใจ	18
2-2	ทิศทางการไหลเวียนของเลือด	20
2-3	โครงสร้างการทำงานระบบหัวใจไหลเวียนเลือดโดยที่ลูกศรแสดงถึงทิศทางการไหลเวียนของเลือด	23
2-4	เส้นทางการไหลเวียนของระบบไหลเวียนเลือดทั่วร่างกาย และระบบไหลเวียนเลือดผ่านปอด	24
2-5	เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ	43
2-6	การจับชีพจรบริเวณข้อมือ	44
2-7	การจับชีพจรบริเวณคอ	44
2-8	เส้นโค้งของอัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการออกกำลังกายระดับต่างกัน คือ 1) ออกกำลังกายอย่างเบา 2) ออกกำลังกายปานกลาง และ 3) ออกกำลังกายอย่างหนัก	48
2-9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจที่มีระดับความหนักที่เพิ่มสูงขึ้นกับ METs หรือปริมาณการใช้ออกซิเจน	49
2-10	ความเปลี่ยนแปลงในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจของนักกีฬาที่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกาย	67
2-11	ปริมาณการใช้ออกซิเจน ปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไปในขณะออกกำลังกาย และปริมาณการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย	72
2-12	ปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไป และปริมาณการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกายในระหว่างการออกกำลังกายที่มีความหนักระดับปานกลาง (a) และความหนักระดับหนักมาก (b)	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2-13 การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย จำนวนออกซิเจนที่ใช้ในขณะพักหรือในขณะฟื้นตัวของร่างกาย ซึ่งการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกายประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ช่วงแรกจะเป็นการจ่ายคืนอย่างรวดเร็ว หรือเรียกว่าอะแลคตาซิด และส่วนช่วงที่สองจะเป็นการจ่ายคืนอย่างช้า ๆ หรือเรียกว่าแลคตาซิด..... 75

2-14 ATP-PC ที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อซึ่งถูกใช้ไปในขณะออกกำลังกาย จะสร้างขึ้นใหม่โดยใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ภายหลังการออกกำลังกาย โดยสังเกตว่า ATP-PC จะถูกสร้างขึ้นมาร้อยละ 70 ภายในเวลา 30 วินาที และจะสร้างครบร้อยละ 100 ในเวลา 3-5 นาที..... 77

3-1 กรอบลำดับการเก็บข้อมูล..... 96

4-1 ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันที มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที..... 103

4-2 จำนวนครั้งของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที..... 105

4-3 จำนวนร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาทีภายในระยะเวลา 120 วินาที มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์..... 107

4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายในทุกช่วงเวลา..... 126

ภาคผนวก ข-1 การทดสอบออสตรานด์-ไรห์มิ่ง..... 187

ภาคผนวก ค-1 การทดสอบตามวิธีการของวินเกต..... 190

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้เกมการแข่งขันกีฬาทั้งในและต่างประเทศกำลังได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยที่ผู้ฝึกสอน ทีมงาน ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง รวมไปถึงนักวิทยาศาสตร์การกีฬา จะมีบทบาทสำคัญที่จะต้องทำงานร่วมกันในการวางแผน กำหนดโปรแกรม และรูปแบบวิธีการฝึกซ้อม รวมไปถึงการจัดโปรแกรมการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายในรูปแบบต่าง ๆ ให้ความเหมาะสม และสามารถพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาให้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดความได้เปรียบหรืออาจประสบความสำเร็จในเกมการแข่งขันได้ และสมรรถภาพทางกายถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญด้านหนึ่งที่มีส่วนช่วยสนับสนุนให้นักกีฬาสามารถประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ (Cardiorespiratory fitness) ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาขีดความสามารถของนักกีฬาในทุก ๆ ด้าน ดังที่ เจริญ กระบวนรัตน์ (2542) กล่าวว่า สมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาทุกประเภท และยังเป็นระบบพื้นฐานที่สำคัญของการฝึกซ้อมกีฬาในขั้นเตรียมพื้นฐานทั่ว ๆ ไปของกีฬาประเภทต่าง ๆ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องเน้นระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ ก็คือ การฝึกระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic system) ให้มีประสิทธิภาพนั่นเอง ซึ่งการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและระบบหายใจที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานสำคัญของสมรรถภาพทางกายนี้ รวมทั้งยังเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของสมรรถภาพทางกายในด้านอื่น ๆ อีกด้วย จำเป็นต้องมีการวางแผนการฝึกซ้อมอย่างเป็นระบบ โดยต้องมีการกำหนดองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการฝึกซ้อมให้มีความชัดเจนและเหมาะสมกับนักกีฬาแต่ละคน ได้แก่ ความบ่อยครั้ง (Frequency) ความหนัก (Intensity) ระยะเวลา (Time) และรูปแบบการฝึกซ้อม (Type) นอกจากนี้ ผู้ที่มีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับสูง ซึ่งเป็นการแสดงออกถึงความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิก (Aerobic capacity) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ย่อมส่งผลให้ร่างกายสามารถออกกำลังหรือแข่งขันกีฬาได้อย่างต่อเนื่องยาวนานติดต่อกันโดยที่มีอาการเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าช้าลง ในการกำหนดระดับความหนัก ความนาน ระยะเวลา และความบ่อยครั้งในการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมกีฬาเพื่อต้องการพัฒนาการทำงานของระบบนี้ จำเป็นต้องกำหนดให้มีระดับความหนักของงานที่

สามารถกระตุ้นการทำงานของหัวใจ หลอดเลือด และปอดให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาได้ จึงจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและระบบหายใจให้สูงขึ้น (Mark, Patty, Joseph, Kathleen, Michael, & Sharon, 1991) สอดคล้องกับ Baumgartner and Jackson (1999) กล่าวว่า ความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิก มีความหมายที่กว้างขวางมาก ขึ้นอยู่ปัจจัยหลายประการ รวมไปถึงข้อจำกัดของร่างกายที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสามารถในการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นการประสานการทำงานร่วมกันของปอด หัวใจ เลือด และการไหลเวียนเลือดภายในร่างกายทั้งระบบ และยังรวมไปถึงความสามารถในการทำงานของเซลล์ภายในกล้ามเนื้ออีกด้วย

สิ่งที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดีที่สุด คือ ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (Maximal oxygen consumption, $\dot{V}O_2max$) (Brooks, Fahey, & White, 1996) ซึ่งเป็นค่าที่เป็นมาตรฐานสากลและยังเป็นพื้นฐานที่สำคัญทางด้านสรีรวิทยาการออกกำลังกายในการประเมินความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิก และยังเป็นตัวชี้วัดถึงความอดทนของร่างกายได้อีกด้วย (McArdle, Katch, & Katch, 2006) ซึ่งมีปัจจัยหลายด้านที่มีผลต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ได้แก่ อายุ เพศ กรรมพันธุ์ ชนิดหรือรูปแบบกิจกรรม ระดับความหนัก ระยะเวลาในการออกกำลังกาย การฝึกซ้อม องค์ประกอบของร่างกาย และการใช้ยา เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัจจัยทางด้านอายุและเพศ ซึ่งอายุจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดและปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาที (Cardiac output) เมื่อมีอายุที่เพิ่มมากขึ้น ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดและปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาทีจะลดลง นอกจากนี้ ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดก็ยังมีแนวโน้มว่าจะลดลงไปตามอายุอีกด้วย โดยผู้ที่มีอายุมากกว่า 25 ปี ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจะลดลงประมาณ 1% ต่อปี แต่ถ้าหากยังมีการออกกำลังกายอยู่เป็นประจำ ปัจจัยนี้ก็จะไม่มีผลในการลดลงไปมากนัก ส่วนปัจจัยทางด้านเพศ เพศชายจะมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมากกว่าเพศหญิง เนื่องจากเพศหญิงมีอัตราการเต้นของหัวใจที่เร็วกว่าผู้ชาย รวมทั้งหัวใจและทรวงอกก็ยังมีขนาดเล็กกว่าผู้ชายอีกด้วย โดยเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเพศชายประมาณร้อยละ 15-30 (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์, 2536; วิศาล คันธารัตนกุล, 2546; Ogawa, Spina, Martin, Kohrt, Schechtman, Holloszy, & Ehsani, 1992) ในทางการกีฬา ถ้าหากนักกีฬาคนใดมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูง ย่อมส่งผลให้นักกีฬาคนนั้นมีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียน

เลือดและการหายใจที่ดี ดังที่ Ratamess (2012) กล่าวว่า นักกีฬาประเภทที่ต้องอาศัยความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับสูง จำเป็นต้องมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูงด้วยเช่นกัน จึงจะสามารถแสดงศักยภาพการทำงานของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกได้เป็นอย่างดี รวมทั้งยังช่วยเพิ่มความสามารถของร่างกายในการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic exercise) ได้ดีอีกด้วย ดังนั้น การที่นักกีฬามีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูงนั้น นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายในขณะแข่งขันแล้ว ยังช่วยให้ร่างกายมีการปรับสภาพฟื้นตัวได้ดี หายเหนื่อยได้อย่างรวดเร็ว และมีอาการที่เหนื่อยช้าอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเกมการแข่งขันกีฬาที่มีลักษณะต้องเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วฉับพลันสลับกับการลดความเร็วลง หรือมีการเคลื่อนที่สลับกับการหยุดเป็นช่วง ๆ หรือเป็นกีฬาประเภทที่ใช้ความเร็วไม่คงที่ตลอดทั้งเกม (Intermittent sports) เพราะหากร่างกายของนักกีฬามีประสิทธิภาพในการฟื้นตัวของหัวใจที่ดี ย่อมส่งผลให้นักกีฬามีการหายเหนื่อยได้อย่างรวดเร็วในระหว่างเกมการแข่งขัน ทำให้สามารถแสดงศักยภาพในเกมการแข่งขันได้อย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับ ประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า การกลับคืนมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและระยะเวลาของการออกกำลังกาย ตลอดจนระดับความสามารถทางกายของคนคนนั้น ในคนที่มีร่างกายฟิต อัตราการเต้นของหัวใจมักกลับคืนสู่อัตราปกติเร็วกว่าคนที่มีร่างกายไม่ฟิต เนื่องจากหัวใจมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและระบบการไหลเวียนของเลือดสามารถขนส่งออกซิเจนและรับของเสียต่าง ๆ ไปสู่และออกจากกล้ามเนื้อได้ดีกว่า การกลับคืนสู่อัตราการเต้นปกติของหัวใจเป็นไปอย่างเชื่องช้าในการออกกำลังกายที่ยาวนานและต้องหยุดเพราะความล้า ซึ่งบางคนอาจต้องใช้เวลาถึง 1-2 ชั่วโมง ก่อนที่อัตราการเต้นของหัวใจจะคืนสู่อัตราการเต้นก่อนการออกกำลังกาย

การทดสอบเพื่อประเมินสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจสามารถกระทำได้หลากหลายวิธี โดยทุกวิธีต่างล้วนมีเป้าหมายเพื่อต้องการทราบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ($\dot{V}O_2max$) และเทคนิคในการทดสอบที่ได้รับความนิยมและเป็นหนึ่งในแบบทดสอบที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย นั่นก็คือ วิธีการของออสตรานด์และไรห์มิ่ง (Åstrand and Ryhming cycle ergometer test) เป็นการทดสอบทางอ้อม (Indirect method) ใช้ความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal) กระทำภายในห้องปฏิบัติการ และยังเป็นแบบทดสอบที่ได้มาตรฐานสากล สามารถนำมาใช้ในการประเมินสมรรถภาพทางกายได้ รวมทั้งนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญประกอบการวางแผนเพื่อพัฒนาการฝึกซ้อมให้ดียิ่งขึ้นต่อไป นอกจากนี้ ยังเป็นแบบทดสอบที่มีขั้นตอนการปฏิบัติที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว ใช้ระยะเวลาสั้น

โดยประเมินจากอัตราการเต้นของหัวใจในขณะออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานวัดงาน (Noonan & Dean, 2000) และในปัจจุบันนี้ได้มีความพยายามที่จะคิดค้นรูปแบบวิธีทดสอบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในภาคสนาม (Field test) ขึ้นมา เพื่อให้สอดคล้องกับเกมกีฬามากยิ่งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการทดสอบทางอ้อม เช่น Beef test, Multistage Fitness test, Step test, Yo Yo test และ Cooper test เป็นต้น รูปแบบการประเมินเหล่านี้ ล้วนจำเป็นต้องอาศัยลู่วิ่ง สนามกีฬา อุปกรณ์ เครื่องเสียง และอาจต้องใช้ระยะเวลาในการทดสอบนานพอสมควร โดยทุกรูปแบบต่างก็จะนำข้อมูลที่ได้รับจากการทดสอบไปคำนวณตามสูตรหรือสมการของแต่ละเทคนิค หรือนำไปคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป จึงจะทราบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ถึงแม้ว่าเทคนิคการวัดต่าง ๆ เหล่านี้จะมีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับก็ตาม แต่ก็ยังเป็นปัญหาอุปสรรคต่อผู้ฝึกสอน ทีมงานนักวิทยาศาสตร์การกีฬา ที่จะต้องเดินทางเพื่อนำนักกีฬาไปทดสอบตามหน่วยงานต่าง ๆ หรืออาจต้องใช้งบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์และโปรแกรมการทดสอบที่มีราคาค่อนข้างสูง รวมทั้งยังต้องศึกษารายละเอียดกระบวนการทดสอบให้มีความชัดเจนถูกต้อง หรืออาจต้องว่าจ้างหน่วยงานที่มีความชำนาญมาทำการทดสอบให้กับนักกีฬา ซึ่งล้วนแล้วเป็นปัญหาอุปสรรคในการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เกมการแข่งขันกีฬาในปัจจุบันนี้ที่มีการจัดการแข่งขันแบบลีก หรือมีการแข่งขันแบบเหย้า-เยือน และใช้ระยะเวลายาวนานในการจัดการแข่งขัน เช่น ฟุตบอลไทยพรีเมียร์ลีก บาสเกตบอลไทยแลนด์ลีก เซปักตะกร้อไทยแลนด์ลีก ฟุตซอลไทยแลนด์ลีก เป็นต้น ซึ่งผู้ฝึกสอนต้องมีการวางแผน และจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงการแข่งขัน เพื่อต้องการรักษาหรือคงไว้ซึ่งระดับสมรรถภาพทางกายของนักกีฬา รวมทั้งยังต้องพัฒนารูปแบบเกมการเล่น เทคนิค (Technique) และแท็คติก (Tactic) ของทีมควบคู่กันไป และยังต้องวิเคราะห์เกมการแข่งขันของทีมตนเองและคู่แข่งขันไปพร้อมกันด้วย โดยในแต่ละสัปดาห์ของช่วงการแข่งขัน (In-season period) ผู้ฝึกสอนส่วนใหญ่ต้องการทราบระดับความสามารถของร่างกายของนักกีฬาให้ได้อย่างรวดเร็วที่สุด เพื่อจะได้ประเมินภาพรวมของทีมทั้งหมด เพื่อทำการวางแผน และคัดเลือกนักกีฬาที่ดีที่สุดที่จะลงทำการแข่งขันในแต่ละเกม ดังนั้น การประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในลักษณะที่ต้องใช้อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ หรือการนำนักกีฬาไปทดสอบตามหน่วยงานต่าง ๆ นั้น จำเป็นต้องใช้เวลาและงบประมาณ ย่อมจะเกิดปัญหาอุปสรรคอย่างแน่นอน ซึ่งเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (Heart rates recovery technique) เป็นเทคนิคการวัดที่มีความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการปฏิบัติเป็นอย่างมาก โดย

ใช้ระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 1-2 นาที ก็สามารถที่จะประเมินระดับความสามารถของร่างกายได้ ซึ่งเทคนิคการวัดดังกล่าวเป็นการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้เป็นอย่างดี รวมทั้งยังเป็นการประเมินความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกได้อีกด้วย (Clover, 2001)

Heart rates recovery (HR_{rec}) คือ การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ด้วยการนับจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลง หากบุคคลใดมีอัตราความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายที่ดี สามารถบ่งชี้ได้ว่าบุคคลคนนั้นมีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและระบบหายใจที่ดีเช่นกัน เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที เป็นวิธีการปฏิบัติที่มีความสะดวก รวดเร็ว ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน นอกจากนี้ ยังสามารถนำไปใช้ในการทำนายภาวะความเสี่ยงในการเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือดในผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดีได้อีกด้วย ซึ่งเทคนิคการวัดดังกล่าวนี้มักจะถูกมองข้ามที่จะนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดระดับความสามารถของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Dimkpa, 2009) สอดคล้องกับ Craig (2013) กล่าวว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นความสามารถในการทำงานของหัวใจที่จะฟื้นตัวกลับมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจในระดับปกติได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกาย สำหรับการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจ สามารถใช้วิธีการตรวจสอบจากการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีได้ ซึ่งร่างกายของคนที่มีระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจจะสามารถกลับมาสู่สภาวะปกติได้อย่างรวดเร็วกว่าคนที่ไม่แข็งแรงหรือคนที่ไม่ได้มีการออกกำลังกายมาอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้หากอัตราการเต้นของหัวใจยังไม่สามารถฟื้นตัวกลับมาในเวลาที่เหมาะสม สามารถสะท้อนภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคหัวใจได้ สอดคล้องกับ Powers and Howley (1997) กล่าวว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่เกิดจากการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลาสั้น ๆ และมีความหนักในระดับต่ำนั้น การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจจะลดลงได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งภายหลังที่ร่างกายหยุดออกกำลังกายทันที อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกในแต่ละครั้ง (Stroke volume) และปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกใน 1 นาที (Cardiac output) จะลดลงอย่างรวดเร็วจนกลับมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับประเภทหรือกิจกรรมการออกกำลังกาย โดยอัตราความเร็วในการฟื้นตัวของหัวใจจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายของแต่ละคน สำหรับคนที่มีการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจจะมีประสิทธิภาพใน

การทำงานที่ดี และจำนวนครั้งของการเต้นของหัวใจจะลดลงได้อย่างรวดเร็วมากกว่าผู้ที่ไม่ได้มีการออกกำลังกาย

จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่า การใช้เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (Heart rates recovery technique) สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดระดับความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกได้ โดยทฤษฎีกล่าวไว้ว่า ผู้ที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกายทันที จะเป็นผู้ที่มีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี ในทางตรงกันข้าม ผู้ที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงอย่างช้า ๆ ภายหลังการออกกำลังกายทันที จะเป็นผู้ที่มีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับต่ำหรืออาจมีการทำงานของหัวใจที่ผิดปกติได้ และตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี ก็คือ ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด นั่นแสดงให้เห็นว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจน่าจะมีความสัมพันธ์กันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันด้วย

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาเรื่อง การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬาทีมชาติไทย เพื่อมุ่งหวังให้ผู้ฝึกสอนหรือนักวิทยาศาสตร์การกีฬา สามารถนำเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ที่มีความสะดวก รวดเร็วและง่ายต่อการปฏิบัติ ไปใช้ในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

คำถามการวิจัย

ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีสมการในการทำนายอย่างไร

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที
2. เพื่อศึกษาสมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

สมมุติฐานการวิจัย

ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ นำไปสู่สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้

1. ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที และทำให้ได้สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

2. ทำให้ทราบถึงเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ที่เป็นเทคนิคการวัดที่ง่าย สะดวก รวดเร็วในการปฏิบัติ และยังสะท้อนระดับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ฝึกสอน นักวิทยาศาสตร์การกีฬา หรือผู้ที่เกี่ยวข้องที่ต้องการทราบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด สามารถนำไปใช้ในการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้อย่างรวดเร็ว และสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงโปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

3. ทำให้ประหยัดเวลาและลดงบประมาณค่าใช้จ่ายในการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

ขอบเขตของการวิจัย

1. กลุ่มประชากร เป็นนักกีฬาทีมชาติไทยที่มีรายชื่ออยู่ในสมาคมกีฬาต่าง ๆ ที่สังกัดการกีฬาแห่งประเทศไทย และได้เข้ารับการทดสอบสมรรถภาพทางกายของกองสมรรถภาพการกีฬา ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย เพื่อเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ครั้งที่ 28 ระหว่างวันที่ 5-16 มิถุนายน พ.ศ. 2558 ณ ประเทศสิงคโปร์ โดยเป็นนักกีฬาที่มีความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับสูง ซึ่งมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด เพศชายมีค่ามากกว่า 50 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที เพศหญิงมีค่ามากกว่า 45 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที รวมทั้งต้องมีการฝึกซ้อมร่วมกับทีมอย่างต่อเนื่อง

เพื่อเตรียมความพร้อมที่จะเข้าร่วมการแข่งขันในรายการต่าง ๆ ตามแผนงานที่แต่ละสมาคมกีฬาได้กำหนดไว้ จำนวนทั้งสิ้น 238 คน

2. กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาทีมชาติไทย จำนวน 150 คน โดยที่กลุ่มตัวอย่างต้องผ่านหลักเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้

3. ตัวแปรที่ศึกษา

3.1 ตัวแปรต้น (Independent variable) ได้แก่ การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (Heart rates recovery: HR_{rec}) ในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ได้แก่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 วินาที ตามลำดับ

3.2 ตัวแปรตาม (Dependent variable) ได้แก่ ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (Maximal oxygen consumption: $\dot{V}O_2max$)

4. ระยะเวลาการวิจัย ทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2559 เป็นระยะเวลา 7 เดือน

5. สถานที่ในการเก็บข้อมูล คือ ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย หัวหมาก กรุงเทพมหานคร

หลักเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่จะเข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เป็นนักกีฬาที่มีรายชื่ออยู่ในสมาคมกีฬาที่สังกัดการกีฬาแห่งประเทศไทย

2. เป็นนักกีฬาที่มีการฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่องตามแผนงานของแต่ละสมาคม โดยต้องไม่ขาดหรือหยุดการฝึกซ้อมมากกว่า 3 วัน ติดต่อกันก่อนเข้าร่วมการวิจัย

3. ไม่มีโรคประจำตัว

4. ใช้ระยะเวลาในการเดินทางไม่เกิน 2 ชั่วโมง เพื่อเข้าร่วมการวิจัยที่กองสมรรถภาพการกีฬา ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย หัวหมาก กรุงเทพ

5. ต้องรับประทานอาหารหลักก่อนเข้ารับการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

6. ต้องไม่รับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีผลต่อการทำงานของหัวใจ ได้แก่ เครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ เครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน เช่น ชา กาแฟ น้ำอัดลม ช็อกโกแลต ไอศกรีม และเครื่องดื่มชูกำลังทุกชนิด

7. ต้องไม่ใช้สารเสพติดใด ๆ ทั้งสิ้น ได้แก่ บุหรี่ และยาเสพติดทุกประเภท รวมไปถึงต้องไม่ใช้สารกระตุ้นต่าง ๆ ตามรายชื่อสารกระตุ้นที่ World Anti-Doping Agency (WADA) กำหนดไว้

8. ต้องนอนหลับในคืนก่อนการทดสอบไม่ต่ำกว่า 7 ชั่วโมง

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ทำการศึกษากลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาทีมชาติไทยและมีรายชื่ออยู่ในสมาคมกีฬาที่สังกัดการกีฬาแห่งประเทศไทย และเข้าร่วมฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่องตามแผนงานของสมาคมกีฬา ซึ่งจะมีนักกีฬาบางคนที่สมาคมได้มีการวางแผนที่จะให้เป็นตัวแทนนักกีฬาทีมชาติต่อไปในอนาคต หรืออาจเรียกว่าทีมชาติชุด B หรือทีมชาติชุดเล็ก และเยาวชนทีมชาติก็ได้ โดยถือว่าเป็นนักกีฬาที่มีความสามารถของร่างกายในระดับสูงทั้งทางด้านสมรรถภาพทางกายและเทคนิคทางการกีฬา รวมทั้งต้องร่วมฝึกซ้อมกับทีมชาติชุดปัจจุบันหรือชุดใหญ่อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงไม่สามารถระบุได้ว่า กลุ่มตัวอย่างคนใดจะได้รับการคัดเลือกให้เป็นตัวแทนประเทศไทยที่จะเข้าร่วมการแข่งขันกีฬารายการต่าง ๆ ตามแผนงานของแต่ละสมาคมกีฬาได้

นิยามศัพท์เฉพาะ

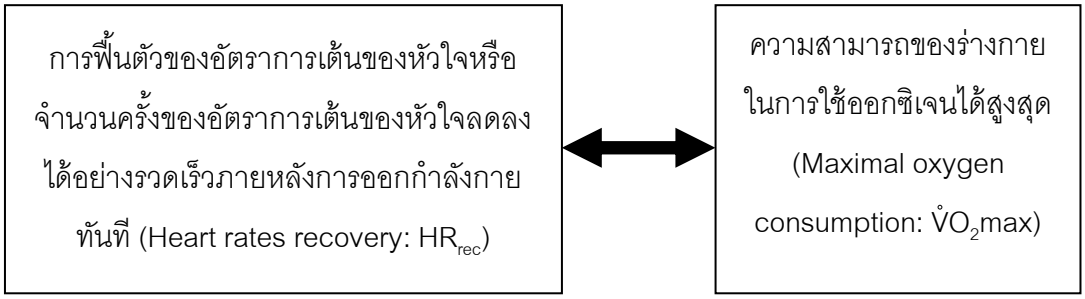
นักกีฬาทีมชาติไทย หมายถึง นักกีฬาที่มีรายชื่ออยู่ในสมาคมกีฬาที่สังกัดการกีฬาแห่งประเทศไทย และมีการฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่องตามแผนงานของแต่ละสมาคมกีฬา โดยเป็นนักกีฬาในระดับทีมชาติ เยาวชนทีมชาติ, ทีมชาติชุด B, หรือทีมชาติชุดเล็ก ที่อยู่ในการวางแผนเตรียมทีมของแต่ละสมาคม

ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (Maximum oxygen consumption: $\dot{V}O_2max$) หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่ระบบไหลเวียนเลือดและระบบหายใจสามารถขนส่งเข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ ในขณะออกกำลังกายได้อย่างเต็มที่ในเวลา 1 นาที หรือปริมาณออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายรับเข้าไปใช้ได้ในเวลา 1 นาที มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (ml/kg/min)

อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด (Peak heart rates: PHR) หมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุดภายหลังการออกกำลังกายทันที มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rates recovery: HR_{rec}) หมายถึง จำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงภายหลังการออกกำลังกายทันที มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที ซึ่งสามารถสะท้อนประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ความสำคัญของสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ
2. ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด (Cardiovascular system)
   - 2.1 หัวใจ (Heart)
   - 2.2 หลอดเลือด (Blood vessels)
   - 2.3 เลือด (Blood)
   - 2.4 ระบบไหลเวียนของเลือด (Circulation system)
3. ความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ (Cardiorespiratory endurance)
4. การประเมินความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ
5. ความสำคัญของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการกีฬา
6. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจกับการออกกำลังกาย
7. ผลของการฝึกความอดทนของร่างกาย (Endurance training) ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในเชิงสรีรวิทยา
   - 7.1 ค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเพิ่มมากขึ้น
   - 7.2 เซลล์กล้ามเนื้อสามารถสกัดออกซิเจนไปใช้ในการทำงานได้เพิ่มขึ้น
   - 7.3 ความสามารถในการขนส่งออกซิเจนในเลือดเพิ่มมากขึ้น
   - 7.4 ไมโตคอนเดรียในเซลล์กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น
   - 7.5 การทำงานของเส้นเลือดฝอย (Capillaries) มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
   - 7.6 ลดระยะเวลาที่จะเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ในการออกกำลังกายได้
   - 7.7 อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักลดลง
   - 7.8 เพิ่มปริมาณของเลือดที่หัวใจห้องล่างได้
   - 7.9 เพิ่มความสามารถในการฟื้นตัวของร่างกายได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น
   - 7.10 เอ็นไซม์ในการเผาผลาญไขมัน (Fat-burning enzyme) เพิ่มมากขึ้น

8. การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (Heart rates recovery: HR_{rec})

8.1 ความหมายของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ

8.2 กระบวนการฟื้นตัวของร่างกายภายหลังการออกกำลังกาย

8.3 การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย

9. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ

ความสำคัญของสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ

การทำงานของร่างกายไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะที่ร่างกายหยุดนิ่งหรือร่างกายมีการเคลื่อนไหวใด ๆ ก็ตาม ล้วนจำเป็นต้องอาศัยการประสานงานร่วมกันของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายทั้งหมด เพื่อให้ร่างกายอยู่ในภาวะธำรงดุล (Homeostasis) และสามารถที่จะดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งที่อยู่ในสภาพแวดล้อมปกติหรือในสภาพแวดล้อมที่สามารถสร้างแรงกดดัน (Pressure) ให้เกิดขึ้นกับร่างกาย เช่น สภาพอากาศร้อน เย็น หนาว แห้ง ร้อนชื้น มลภาวะเป็นพิษ หรืออยู่บนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลก็ตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในสภาวะที่ร่างกายต้องมีการออกแรงมากกว่าปกติ ได้แก่ ในขณะออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมกีฬา ซึ่งระดับความหนักของการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมกีฬาจะมีความแตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ความหนักระดับเบา ปานกลาง หนัก หนักมาก จนถึงหนักมากเกินกว่าที่ร่างกายจะทนได้และไม่สามารถเคลื่อนไหวร่างกายหรือทำงานได้อีกต่อไป ดังนั้น ร่างกายจำเป็นต้องมีการปรับตัวเพื่อรองรับกับการทำงานในสภาวะที่แตกต่างกัน

ในการทำงานของร่างกายเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวล้วนเกิดจากการทำงานของเซลล์ที่อยู่ภายในกล้ามเนื้อ และการทำงานของเซลล์จะเกิดขึ้นได้ก็จำเป็นต้องอาศัยสารที่ให้พลังงานสูง คือ Adenosine triphosphate (ATP) และออกซิเจนเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นพลังงานเพื่อการเคลื่อนไหวของร่างกาย นอกจากนี้ เซลล์ก็ยังต้องการสารอาหารต่าง ๆ เพื่อที่จะรักษาสมดุลภายในร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ ดังนั้น ระบบของร่างกายที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ ไปสู่เซลล์กล้ามเนื้อ ได้แก่ ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด (Cardiovascular system) และระบบหายใจ (Respiratory system) โดยขนส่งผ่านไปกับเม็ดเลือดแดง (Red blood cell) รวมทั้งการรับและขนส่งของเสียต่าง ๆ (Waste product) ที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการทำงานของเซลล์เพื่อนำไปกำจัดออกไปยังอวัยวะที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ปอด จะทำหน้าที่ในการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายผ่านทางลมหายใจ เป็นต้น ซึ่งบุคคลใดก็ตามที่มีสมรรถภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและระบบหายใจที่มี

ประสิทธิภาพสูง ย่อมส่งผลให้ร่างกายของบุคคลคนนั้นทำงานได้อย่างต่อเนื่องยาวนานติดต่อกัน มีอาการที่เหน็ดเหนื่อยช้า และหายเหนื่อยได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งร่างกายยังมีความอดทนต่อความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นในขณะออกกำลังกายหรือฝึกซ้อมกีฬาได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเกมการแข่งขันกีฬาที่จะต้องมีการพิสูจน์ความสามารถของร่างกายผ่านกิจกรรมการเคลื่อนไหวทางการกีฬา ดังนั้น การพัฒนาระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและระบบหายใจให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นและมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาศักยภาพการทำงานของร่างกายนักกีฬาทั้งในขณะออกกำลังกาย การฝึกซ้อมกีฬา และระหว่างการแข่งขันกีฬาด้วย สอดคล้องกับ Kenney, Wilmore, and Costill (2012) กล่าวว่า ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด เป็นระบบที่มีหน้าที่ที่สำคัญหลายประการในการทำงานของร่างกายและยังเป็นระบบที่มีส่วนช่วยสนับสนุนการทำงานของระบบอื่น ๆ ในร่างกายอีกด้วย โดยที่ระบบหัวใจไหลเวียนเลือดจะทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ ไปยังเซลล์ทุกเซลล์ภายในร่างกาย รวมทั้งยังทำหน้าที่ขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียที่เกิดจากขบวนการเผาผลาญพลังงานในร่างกายเพื่อไปกำจัดออกจากร่างกาย และขนส่งฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อ (Endocrine glands) และโมเลกุลต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นไปยังอวัยวะเป้าหมาย นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ควบคุมความสมดุลของของเหลวภายในร่างกาย รักษาความสมดุลของความเป็นกรด-ด่างในร่างกาย ช่วยให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันโรคทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยป้องกันการติดเชื้อต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายกับร่างกาย ดังนั้น การที่ร่างกายมีประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนไปยังเซลล์กล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดีนั้น จะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากต่อความสามารถของร่างกายทางด้านความอดทนในการเล่นกีฬาหรือการออกกำลังกายได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กีฬาที่ต้องอาศัยความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจเป็นหลัก และการที่ร่างกายมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดที่ดีย่อมทำให้ร่างกายสามารถสร้างพลังงานให้กับเซลล์กล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดีอีกด้วย (Reuter, 2012) สอดคล้องกับประทุม ม่วงมี (2527) ได้กล่าวถึงบทบาทหน้าที่ที่สำคัญของระบบหัวใจไหลเวียนเลือด ก็เพื่อที่จะช่วยรักษาสภาพแวดล้อมภายในร่างกายให้อยู่ในสภาพที่คงที่และเหมาะสมที่สุด ด้วยการขนส่งออกซิเจน อาหาร และฮอร์โมนต่าง ๆ ไปสู่เนื้อเยื่อ และด้วยการรับเอาของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมตตาโบลิซึมที่เนื้อเยื่อ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ กรดแลคติกกลับคืนสู่กระแสโลหิตเพื่อนำไปส่งยังอวัยวะที่ทำหน้าที่กำจัดของเสียนั้น ๆ การแลกเปลี่ยนวัสดุต่าง ๆ ระหว่างโลหิตกับเนื้อเยื่อมีขึ้นบริเวณเส้นโลหิตฝอย ซึ่งเป็นเส้นโลหิตที่มีผนังบางมากจนโมเลกุลของสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น สามารถฟุ้งกระจายผ่านได้โดยง่าย ส่วนอวัยวะต่าง ๆ ที่ประกอบกัน

ขึ้นเป็นระบบนี้ ซึ่งได้แก่ หัวใจ หลอดโลหิต และโลหิต ก็มีไว้เพื่อช่วยให้การแลกเปลี่ยนวัสดุต่าง ๆ ที่เส้นโลหิตฝอย (Capillary exchange) ดำเนินไปได้อย่างเหมาะสม เช่น หัวใจทำหน้าที่ปั้มโลหิตให้สามารถเคลื่อนที่ไปสู่เส้นโลหิตฝอยได้ ระบบเส้นโลหิตแดงก็ทำหน้าที่เป็นเส้นทางลำเลียงวัสดุต่าง ๆ ไปสู่เส้นโลหิตฝอย ระบบเส้นโลหิตดำเป็นทางเดินของโลหิตกลับเข้าสู่หัวใจอีก ดังนั้น เราจะเห็นได้ว่าระบบนี้เองที่ทำให้ของเหลวต่าง ๆ ในร่างกายมีการผสมผสานและแลกเปลี่ยนกันอยู่โดยตลอดอย่างสม่ำเสมอ

สำหรับระบบหายใจก็มีความสำคัญต่อการทำงานของร่างกายด้วยเช่นกัน โดยจะต้องทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ ภายในร่างกายทั้งหมดเพื่อให้ชีวิตมีการดำรงอยู่ได้ ซึ่งระบบหายใจประกอบไปด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือ 1) ทางเดินอากาศ 2) ถุงลมปอด และ 3) เส้นเลือดที่นำเลือดมาแลกเปลี่ยนระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น ปอดจึงต้องมีพื้นที่ขนาดใหญ่มากเพื่อใช้สำหรับแลกเปลี่ยนก๊าซ และปอดยังจะต้องทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ อีกหลายระบบ กล่าวคือ ต้องอาศัยระบบไหลเวียนเลือด โดยเลือดจะนำสิ่งที่ละลายอยู่ในเลือดไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย และเพื่อให้อากาศไหลเข้าหรือออกจากปอดได้ ถุงลมปอดจะต้องขยายหรือหดตัวเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศ ปอดจึงต้องอาศัยการทำงานของระบบกล้ามเนื้อทรวงอกและกล้ามเนื้อกะบังลมในการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของทรวงอก และต้องอาศัยระบบประสาท (Nervous system) เพื่อควบคุมอัตราการหายใจด้วยการสั่งงานไปยังระบบกล้ามเนื้ออีกต่อหนึ่ง โดยหน้าที่ที่มีความสำคัญหลักของระบบหายใจ คือ 1) ทำหน้าที่หายใจเพื่อนำเข้าออกซิเจนและระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย 2) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างปอดกับเลือด 3) ช่วยควบคุมสภาวะความเป็นกรด-ด่างภายในร่างกาย และ 4) ช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายด้วยการปรับเปลี่ยนอัตราการหายใจ ซึ่งการนำเข้าออกซิเจนและการระบายคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้เพียงพอที่จะรักษาสภาวะแวดล้อมของเซลล์ทุกเซลล์ภายในร่างกายให้มีระดับของก๊าซทั้งสองที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เซลล์ที่มีความไวต่อการเร้า ได้แก่ เซลล์ของสมอง จะยิ่งมีความรู้สึกไวต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มาก ความจริงแล้ว หน้าที่กำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จะมีความสำคัญต่อร่างกายมากกว่าการนำเข้าออกซิเจนเสียอีก ดังตัวอย่างที่เห็นได้จากการทดลอง โดยการให้หายใจที่มีถุงพลาสติกคลุมศีรษะเอาไว้ เมื่อเริ่มรู้สึกอึดอัดในการหายใจ ก็เป็นเพราะในเลือดเริ่มมีคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าปกติ ทั้ง ๆ ที่ในช่วงนี้ออกซิเจนยังมีปริมาณที่เพียงพอที่อยู่ภายในถุงพลาสติก ซึ่งอาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซกรด เพราะเมื่อถูกสร้างจากเซลล์และได้เข้าสู่ระบบเลือดแล้ว คาร์บอนไดออกไซด์จะรวมตัวกับน้ำและไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นผลให้ค่า pH ในเลือดเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ร่างกาย

จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์โดยการหายใจ จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยควบคุมความเป็นกรดในร่างกาย (เลียงชัย ลิ่มล้อมวงศ์, 2545) นอกจากนี้ ระบบหายใจยังต้องทำงานร่วมกับระบบหัวใจไหลเวียนเลือดเพื่อให้ระบบการขนส่งออกซิเจนมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และช่วยกันเคลื่อนย้ายคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเนื้อเยื่อ ซึ่งการขนส่งนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับกระบวน 4 ขั้นตอน ดังนี้ (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008)

1. ทำหน้าที่ในการหายใจเข้าเพื่อนำออกซิเจนที่อยู่ในอากาศเข้ามาในปอด และหายใจออกเพื่อนำคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย
2. การแพร่กระจายของอากาศ จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างปอดกับเลือด
3. เกิดการขนส่งออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางเลือด
4. การแพร่กระจายของก๊าซที่เส้นเลือดฝอย โดยในตำแหน่งนี้จะมีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างเลือดกับเนื้อเยื่อที่ทำงาน

นอกจากนี้ Wilmore et al. (2008) ยังได้สรุปความสำคัญของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดไว้ทั้งหมด 6 ประการหลัก ดังนี้

1. ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ ไปสู่เซลล์ในร่างกาย
2. เคลื่อนย้ายคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียต่าง ๆ
3. ขนส่งฮอร์โมนไปยังอวัยวะเป้าหมาย
4. ควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้เป็นปกติ
5. รักษาความเป็นกรด-ด่างและความสมดุลของของเหลวภายในร่างกาย
6. ทำหน้าที่ป้องกันการทำลายของเชื้อโรคและสร้างภูมิคุ้มกันโรค

จะเห็นได้ว่า ระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ มีความสำคัญต่อการดำรงอยู่ของเซลล์ทุกเซลล์ในร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างการออกกำลังกาย เนื่องจากเป็นสภาวะที่สามารถสร้างความกดดันให้เกิดขึ้นกับร่างกายได้เป็นอย่างมาก ซึ่งผลจากการสร้างเงื่อนไขให้ร่างกายได้มีการทำงานมากกว่าปกติอย่างต่อเนื่องด้วยการออกกำลังกายเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอ ย่อมส่งผลให้การทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจเกิดการเปลี่ยนแปลงให้มีการพัฒนาที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบนี้ ได้แก่ หัวใจ ปอด หลอดเลือด และเลือด รวมไปถึงยังส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีอีกด้วย สำหรับทางการกีฬา หากร่างกายของนักกีฬามีประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้สูงมาก จะถือได้ว่าเป็นผู้ที่มีความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี และร่างกายจะมี

ความอดทนในระดับสูง ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาขีดความสามารถของนักกีฬาให้เพิ่มสูงขึ้นได้ ดังนั้น ผู้ฝึกสอนกีฬาหรือนักวิทยาศาสตร์การกีฬา ที่มีบทบาทหรือหน้าที่ในการจัดโปรแกรมเสริมสร้างเพื่อพัฒนาระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้เพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีความเข้าใจในการทำงานของระบบนี้เป็นพื้นฐานสำคัญ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหรือกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายและการฝึกซ้อมให้กับนักกีฬาต่อไป

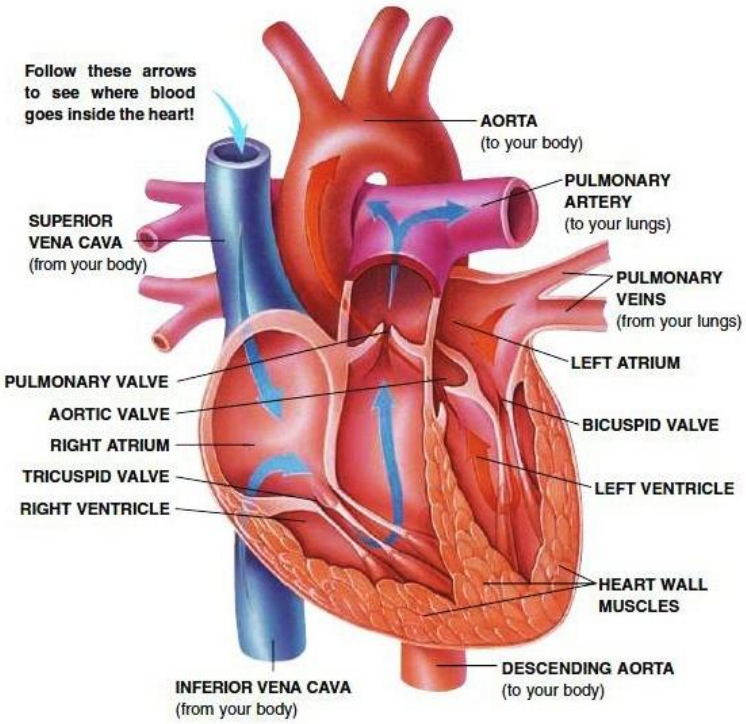
ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด (Cardiovascular system)

ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด เป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยมีอวัยวะที่เกี่ยวข้องสำคัญ 3 ประการ คือ 1) หัวใจ (Heart) ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดเพื่อไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ภายในร่างกาย 2) หลอดเลือด (Blood vessels) ทำหน้าที่เป็นท่อในการลำเลียงเม็ดเลือดไปยังเซลล์กล้ามเนื้อ และ 3) เม็ดเลือด (Blood) ทำหน้าที่เป็นตัวนำออกซิเจน สารอาหาร และวัสดุต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการดำรงอยู่ของเซลล์ รวมทั้งยังรับและนำของเสียเพื่อไปกำจัดออกจากร่างกาย นอกจากนี้ การทำงานของระบบอื่น ๆ ภายในร่างกายก็ยังต้องอาศัยการทำงานของระบบนี้เช่นกัน เช่น ปอด มีหน้าที่เพิ่มออกซิเจนให้กับเม็ดเลือด รวมทั้งกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย โดยการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการการหายใจ นอกจากนี้ ระบบหัวใจไหลเวียนเลือด ยังเป็นระบบสิ่งที่สำคัญในการทำหน้าที่ของร่างกายเพื่อการดำรงชีวิตด้วยการขนส่งสารอาหาร ออกซิเจน และฮอร์โมนไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในร่างกาย รวมไปถึงการกำจัดของเสียและคาร์บอนไดออกไซด์ การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ระบบภูมิคุ้มกัน และให้ความชุ่มชื้นแก่ร่างกาย (Ratamess, 2012) สอดคล้องกับพิพัฒน์ เจิดรังษี (2542) กล่าวว่า ระบบไหลเวียนเลือดทำหน้าที่เป็นระบบขนส่งสารต่าง ๆ ที่ละลายในเลือด เช่น ขนส่งอาหารที่ถูกดูดซึมจากกระเพาะ ลำไส้ และออกซิเจนที่แพร่ผ่านผนังปอดไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นที่เซลล์เหล่านั้นกลับไปยังปอด และนำของเสียหรือสารอื่น ๆ จากกระบวนการเมตาโบลิซึมไปยังไตเพื่อขับถ่ายออกจากร่างกาย นอกจากนี้ ยังช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้ค่อนข้างคงที่ และช่วยขนส่งฮอร์โมนต่าง ๆ จากต่อมไร้ท่อไปยังอวัยวะเป้าหมายเพื่อควบคุมการทำงานของเซลล์ในอวัยวะต่าง ๆ ซึ่งเซลล์จะมีชีวิตหรือสามารถทำงานได้เป็นปกติก็ต่อเมื่อเซลล์อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีปริมาณของสารต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ เซลล์ที่พอเหมาะ รวมทั้งควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่มีความเหมาะสม เนื่องจากเซลล์ใช้และขับสารต่าง ๆ ตลอดเวลา การจะคงสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อเซลล์ดังกล่าวได้นั้น จึงจำเป็นต้องอาศัยการไหลของเลือดผ่านเซลล์ตลอดเวลาเช่นกัน เพื่อนำสิ่งทดแทน

คือ อาหาร ออกซิเจน และสิ่งที่มีความจำเป็นให้แก่เซลล์พร้อมกับนำสารหรือของเสียที่เซลล์ขับออกหรือเกินความต้องการออกไปกับกระแสเลือด ด้วยเหตุนี้ ระบบไหลเวียนเลือดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตและการทำงานของร่างกายให้เป็นปกติ ซึ่งการไหลเวียนของเลือดจะเกิดขึ้นได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจในการบีบตัวเพื่อให้เกิดแรงดันทำให้เลือดไหลไปตามหลอดเลือดต่าง ๆ ซึ่งแยกแขนงไปตามส่วนต่าง ๆ ทั่วร่างกาย

1. **หัวใจ** (Heart)

หัวใจเป็นอวัยวะขนาดใหญ่ในช่องอก โดยวางทับปอดทางด้านซ้ายของร่างกายและอยู่ใกล้กับหน้าอก ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดให้ไหลอยู่ในระบบหลอดเลือดของร่างกาย หัวใจทำหน้าที่เป็นเครื่องสูบที่มีประสิทธิภาพอย่างมากชนิดหนึ่ง และเป็นอวัยวะแรกที่เจริญเติบโตจนทำงานได้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมตั้งแต่อยู่ในครรภ์ของมารดา หัวใจประกอบด้วยระบบสูบสองส่วน ส่วนแรก คือ หัวใจด้านขวา ประกอบด้วย หัวใจห้องบนขวา (Right atrium) และหัวใจห้องล่างขวา (Right ventricle) ระบบนี้ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดให้ไหลจากระบบหลอดเลือดดำของการไหลเวียนส่วนกาย (Systemic circulation) เข้าสู่การไหลเวียนส่วนปอด (Pulmonary circulation) หัวใจส่วนที่สอง คือ หัวใจด้านซ้าย ประกอบด้วยหัวใจห้องบนซ้าย (Left atrium) และหัวใจห้องล่างซ้าย (Left ventricle) ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดจากการไหลเวียนส่วนปอด ไปยังการไหลเวียนส่วนกาย โดยการทำงานดังกล่าว ทำให้เลือดสามารถไหลหมุนเวียนผ่านหัวใจและระบบหลอดเลือดเพียงทางเดียวเท่านั้นในภาวะปกติ (สัญญา ร้อยสมมุติ, 2555) สอดคล้องกับ บังอร ฉางทรัพย์ (2550) กล่าวว่า หัวใจ เป็นอวัยวะที่สำคัญของมนุษย์ประกอบขึ้นด้วยกล้ามเนื้อหัวใจ หัวใจตั้งอยู่บริเวณทรวงอกระหว่างปอดทั้งสองข้างค่อนไปทางด้านซ้าย มีเยื่อหุ้มภายนอกเรียกว่า เยื่อหุ้มหัวใจ (Pericardium) ผนังด้านนอกของหัวใจจะมีหลอดเลือดโคโรนารี (Coronary) ทั้งหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ ซึ่งทำหน้าที่คือ นำเลือดมาหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ หัวใจห้องบนซ้ายและห้องล่างซ้ายมีลิ้นชื่อไบคัสพิด (Bicuspid) คั่นอยู่ ส่วนห้องบนขวาและห้องล่างขวามีลิ้นชื่อไตรคัสพิด (Tricuspid) คั่นอยู่ ซึ่งลิ้นทั้งสองนี้จะทำหน้าที่คอยปิด-เปิดเพื่อไม่ให้เลือดไหลย้อนกลับ หัวใจทำหน้าที่สูบฉีดเลือดโดยการบีบตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจโดยกระทำเป็นจังหวะต่อเนื่องทำให้เลือดไหลไปตามหลอดเลือดต่าง ๆ ของร่างกาย ภายในหัวใจมีจำนวน 4 ห้อง ห้องบนเรียกว่า เอเตรียม (Atrium) จำนวน 2 ห้อง แบ่งออกเป็นห้องบนขวาและห้องบนซ้าย ส่วนหัวใจห้องล่างเรียกว่า เวนตริเคิล (Ventricle) มีทั้งห้องล่างขวาและห้องล่างซ้ายเช่นเดียวกัน โดยหัวใจห้องบนจะเป็นตัวรับเลือดเข้าสู่หัวใจ จากนั้นจึงส่งลงสู่หัวใจห้องล่างเพื่อบีบตัวนำเลือดออกจากหัวใจไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายต่อไป ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของหัวใจ (Ratamess, 2012)

หัวใจห้องบนขวา (Right atrium) ทำหน้าที่รับเลือดดำ ได้แก่ ซูพีเรียร์ เวนา คาวา (Superior vena cava) ที่รับเลือดดำมาจากส่วนบนของร่างกาย และอินฟีเรียร์ เวนา คาวา (Inferior vena cava) ที่รับเลือดดำมาจากส่วนล่างของร่างกาย

หัวใจห้องล่างขวา (Right ventricle) เลือดจากหัวใจห้องบนขวาซึ่งเป็นเลือดดำ จะถูกส่งผ่านลงไปสู่หัวใจห้องล่างขวาโดยผ่านลิ้นชื่อ Tricuspid valve เลือดจากหัวใจห้องล่างขวาจะถูกส่งไปยังปอดโดยผ่านลิ้นหัวใจอีกลิ้นที่ชื่อ Pulmonary valve เข้าสู่หลอดเลือดใหญ่ที่เข้าสู่ปอดที่ชื่อพัลโมนารี อาร์เทอรี (Pulmonary artery) เพื่อนำเลือดไปแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอด

หัวใจห้องบนซ้าย (Left atrium) ทำหน้าที่รับเลือดแดงที่ฟอกแล้วจากปอดข้างซ้ายและปอดข้างขวา ภายในเลือดจะมีออกซิเจนสูง (Oxygenated blood) โดยลำเลียงมาทางหลอดเลือดพัลโมนารี เวน (Pulmonary vein)

หัวใจห้องล่างซ้าย (Left ventricle) ทำหน้าที่รับเลือดแดงจากหัวใจห้องบนซ้าย โดยผ่านทางลิ้นหัวใจชื่อ Bicuspid valve และทำการบีบตัวอย่างแรงเพื่อส่งเลือดแดงออกไปเลี้ยงร่างกายโดยผ่านทางลิ้นหัวใจอีกลิ้นที่ชื่อ Aortic valve เข้าไปสู่หลอดเลือดแดงใหญ่ชื่อ เออร์ตา (Aorta) ซึ่งจะแตกแขนงเป็นหลอดเลือดแดงขนาดต่าง ๆ ไปจนถึงหลอดเลือดฝอยทั่วร่างกาย

2. **หลอดเลือด** (Blood vessels)

กลไกการไหลเวียนของเลือดภายในร่างกายจะเกิดขึ้นไปในทิศทางเดียวกันอย่างเป็นระบบ โดยประกอบไปด้วย 2 ระบบที่สำคัญ คือ ระบบอาร์เทอรี (Aterial system) มีหน้าที่ขนส่งเม็ดเลือดแดงที่หัวใจห้องล่างซ้ายสูบฉีดออกไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และระบบเวน (Venous system) มีหน้าที่ขนส่งเลือดดำกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนขวาเพื่อไปฟอกที่ปอดต่อไป โดยที่หลอดเลือดจะมีอยู่ทั่วร่างกาย และจะเชื่อมโยงระหว่างหัวใจกับหลอดเลือดฝอยที่อยู่ภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ หลอดเลือดยังทำหน้าที่เป็นท่อในการลำเลียงเลือดและสารอาหารที่จำเป็นเพื่อไปยังเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย โดยหลอดเลือดในร่างกาย แบ่งเป็น 2 ระบบ ดังนี้ (Baechle & Earle, 2000)

1. ระบบอาร์เทอรี (Aterial system) เป็นระบบที่นำเลือดออกจากหัวใจ เริ่มจากหลอดเลือดขนาดใหญ่ไปจนถึงหลอดเลือดขนาดเล็ก คือ Aorta, Artery และ Arteriole ตามลำดับ

2. ระบบเวน (Venous system) เป็นระบบที่รับเลือดจากเส้นเลือดฝอย (Capillary) กลับเข้าสู่หัวใจ เริ่มจากหลอดเลือดขนาดเล็กไปถึงหลอดเลือดขนาดใหญ่ คือ Venule, Vein และ Vena cava ตามลำดับ

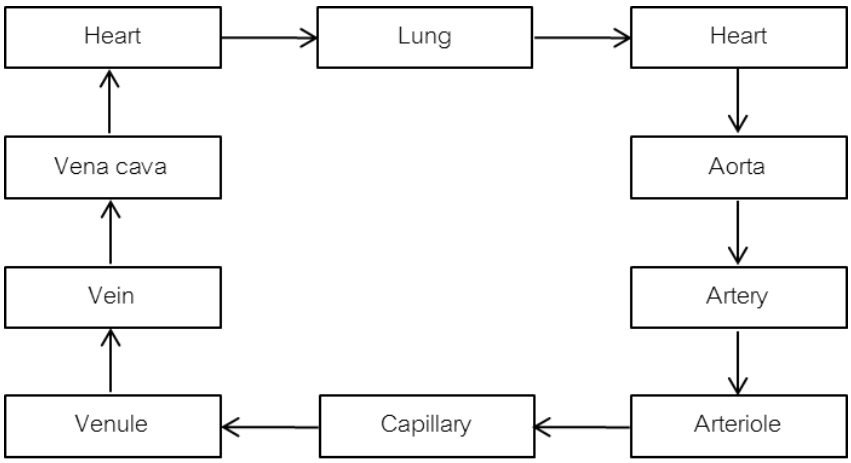
รัตน์เศรษฐ์ วนิชานนท์ (2555) ได้กล่าวถึงหลอดเลือดที่อยู่ภายในร่างกาย โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. หลอดเลือดแดง (Artery) ในทางการแพทย์คำว่า อาร์เทอรี หมายถึง หลอดเลือดที่นำเลือดในทิศทางออกจากหัวใจ ภาษาไทยเรียกว่า หลอดเลือดแดง คำนี้ไม่ครอบคลุมเพราะว่าหลอดเลือดอาร์เทอรีเกือบทุกหลอดจะนำเลือดแดงหรือเลือดที่มีปริมาณของออกซิเจนสูง (Oxygenated blood) แต่มีข้อยกเว้น คือ หลอดเลือดที่นำเลือดดำออกจากหัวใจส่งไปปอด เรียกศัพท์ทางการแพทย์ว่า หลอดเลือดแดงพูลโมนารี อาร์เทอรี (Pulmonary artery)

2. หลอดเลือดฝอย (Capillary) มีหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซ สารอาหาร เกลือแร่ ฮอร์โมน และสารที่จำเป็นต่าง ๆ ระหว่างเลือดกับของเหลวภายในเนื้อเยื่อ (Interstitial fluid) ของร่างกาย ซึ่งหลอดเลือดฝอยจะมีเพียงเซลล์บุผิว รูปร่างแบนชั้นเดียว เนื้อเยื่อเกือบทุกชนิดภายในร่างกายมีตาข่ายหลอดเลือดฝอยแทรกอยู่ทั้งสิ้น บริเวณของเนื้อเยื่อที่มีอัตราเมแทบอลิซึมสูงจะมีตาข่ายหลอดเลือดฝอยหนาแน่น เช่น ตับ ไต ปอด สมอง เป็นต้น ส่วนบริเวณเนื้อเยื่อที่ค่อนข้างนิ่งมีอัตราเมแทบอลิซึมที่ต่ำจะมีหลอดเลือดฝอยมาเลี้ยงน้อย เช่น เอ็น เป็นต้น แต่มีข้อยกเว้น คือ บริเวณกระจกตาดำและเลนส์ตาจะไม่มีหลอดเลือดฝอยมาเลี้ยง การที่หลอดเลือดฝอยมีจำนวนมากนี้เอง จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซและสารต่าง ๆ

3. หลอดเลือดดำ (Veins) ทางการแพทย์คำว่า เวน หมายถึง หลอดเลือดที่นำเลือดในทิศทางเข้าสู่หัวใจ ภาษาไทยเรียกว่า หลอดเลือดดำ จะไม่ครอบคลุมเช่นเดียวกัน แม้ว่า เวนเกือบทุกหลอดจะนำเลือดดำหรือเลือดที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ แต่มีข้อยกเว้นคือ หลอดเลือดดำพูลโมนารี เวน (Pulmonary vein) เป็นหลอดเลือดดำที่นำเลือดแดงกลับจากปอดเพื่อมาที่หัวใจ

โดยสรุป ทิศทางการไหลเวียนของเลือดที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจไปสู่หลอดเลือดต่าง ๆ ภายในร่างกาย โดยเรียงตามลำดับ คือ เริ่มจากการที่หัวใจห้องล่างซ้ายสูบฉีดเลือดออกไปสู่หลอดเลือดแดงขนาดใหญ่ (Aorta) หลอดเลือดแดงขนาดกลาง (Artery) หลอดเลือดแดงขนาดเล็ก (Arteriole) และหลอดเลือดฝอย (Capillary) ตามลำดับ ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยที่เซลล์จะนำออกซิเจนออกไปใช้เพื่อผลิตให้เป็นพลังงาน ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้ามาอยู่ในเลือดแทนออกซิเจน รวมทั้งยังแลกเปลี่ยนสารอาหารต่าง ๆ ด้วย และเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซแล้ว เลือดก็จะรับเอาคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียต่าง ๆ มายังหลอดเลือดดำขนาดเล็ก (Venule) หลอดเลือดดำขนาดกลาง (Vein) และหลอดเลือดดำขนาดใหญ่ (Vena cava) ตามลำดับ และไหลกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา และหัวใจก็สูบฉีดเลือดดำออกไปที่ปอด เพื่อไปแลกเปลี่ยนก๊าซอีกครั้ง และไหลมาที่หัวใจห้องบนซ้ายตามลำดับ ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ทิศทางการไหลเวียนของเลือด

3. เลือด (Blood)

เลือดทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย การไหลเวียนของเลือดจะช่วยให้เซลล์ต่าง ๆ เหล่านั้นได้รับสภาพแวดล้อมที่คงที่และมี

ความเหมาะสม เลือดจะนำสารอาหารไปให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วทุกแห่งของร่างกายตลอดเวลา พร้อมกับนำของเสียและสารที่หลั่งจากเนื้อเยื่อเหล่านั้นออกไปตามกระแสเลือดไปยังอวัยวะหรือเนื้อเยื่ออื่น ๆ เพื่อนำไปใช้หรือกำจัดออกจากร่างกาย และเลือดจัดเป็นเนื้อเยื่อชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วย 1) ส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่า พลาสมา (Plasma) และ 2) ส่วนที่เป็นเม็ดเลือด (Blood cells) ได้แก่ เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด ซึ่งปริมาณเลือดทั้งหมดในร่างกายของผู้ใหญ่ โดยปกติมีค่าประมาณร้อยละ 7.7 ของน้ำหนักร่างกาย (พิพัฒน์ เจิดรังษี, 2542) สอดคล้องกับรัตน์เศรษฐ์ วนิชานนท์ (2555) กล่าวว่า ระบบไหลเวียนโลหิตจะมีเลือดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุด โดยที่เลือดจะมีหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ

1. ทำหน้าที่ขนส่ง เลือดจะถูกส่งออกจากหัวใจเพื่อไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ทั่วร่างกาย และการแลกเปลี่ยนก๊าซและสารต่าง ๆ เกิดขึ้นที่ผนังของหลอดเลือดฝอย เลือดจะนำออกซิเจนจากปอด และสารอาหารจากการดูดซึมในทางเดินอาหาร และขนส่งไปเลี้ยงเนื้อเยื่อต่าง ๆ รวมทั้งเลือดทำหน้าที่เก็บและขนส่งของเสียจากเซลล์ และนำคาร์บอนไดออกไซด์จากเนื้อเยื่อ เพื่อไปขับออกทางปอดและไต นอกจากนี้ เลือดยังทำหน้าที่ขนส่งฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อเพื่อไปควบคุมการทำงานของอวัยวะเป้าหมาย

2. ทำหน้าที่ป้องกันร่างกาย เลือดจะมีเม็ดเลือดขาว ซึ่งสามารถทำลายแบคทีเรียได้ เม็ดเลือดขาวบางชนิด ทำหน้าที่กินและขจัดเซลล์ที่ตายแล้วออกจากพื้นที่ เพื่อให้เซลล์บริเวณนั้นทำงานได้ตามปกติ เซลล์ที่ผิดปกติและเปลี่ยนไปเป็นเซลล์มะเร็งจะถูกทำลายโดยเม็ดเลือดขาวเช่นเดียวกัน เซลล์เม็ดเลือดขาวบางชนิดสามารถเปลี่ยนไปเป็นเซลล์ผลิตแอนติบอดีได้ และเมื่อเกิดบาดแผลขึ้น จะมีกลไกของเลือดในการก่อให้เกิดลิ่มเลือด (Blood clot) เพื่อลดการสูญเสียเลือดออกจากร่างกาย

3. ทำหน้าที่ควบคุม เลือดช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย โดยนำความร้อนจากกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานหนักและกระจายความร้อนไปทั่วร่างกาย โดยเกลือแร่และโปรตีนในน้ำเลือดจะทำหน้าที่รักษาความดันออสโมติกให้อยู่ในช่วงปกติ นอกจากนั้น เลือดยังเป็นบัฟเฟอร์ (Buffers) ซึ่งช่วยควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของร่างกายให้อยู่ในระดับปกติ

4. **ระบบไหลเวียนของเลือด** (Circulation system)

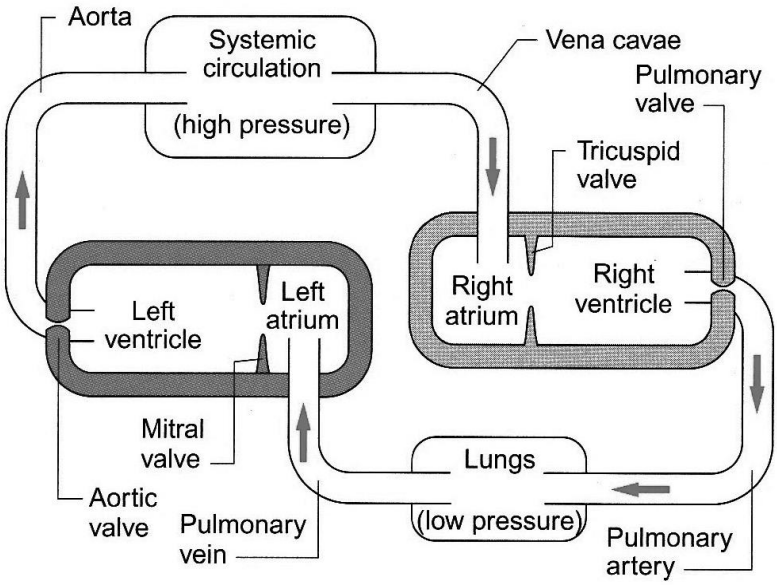
ระบบไหลเวียนเลือดมีหน้าที่ที่สำคัญ คือ ขนส่งสารอาหารที่ได้จากการดูดซึมที่ทางเดินอาหาร ออกซิเจนที่ได้จากถุงลมปอด และฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อเพื่อส่งไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย เพื่อใช้ในการเผาผลาญสารอาหารและควบคุมการทำงานของเซลล์ และยังนำของเสียที่เกิดจากการเผาผลาญสารอาหารของเซลล์กลับไปทำลายที่ตับ และขับออกจากร่างกายทางเหงื่อ

อุจจาระ และปัสสาวะ (รัตน์เศรษฐ์ วนิชานนท์, 2555) ซึ่งระบบไหลเวียนเลือดของมนุษย์เป็นระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด (Closed circulatory system) เป็นการไหลเวียนของเลือดไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และระบบนี้จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของหัวใจที่จะช่วยสูบฉีดเลือดและสร้างแรงดันให้เกิดการผลักดันเลือดให้ไหลและหมุนเวียนไปตามส่วนต่าง ๆ ตามระบบของร่างกาย โดยที่เลือดจะถูกส่งออกจากหัวใจไปสู่หลอดเลือดแดงและไหลเวียนกลับมาทางหลอดเลือดดำ การทำงานของระบบนี้ เลือดจะไหลเวียนในลักษณะทิศทางเดียวกันเท่านั้น ดังนั้น จึงเปรียบเสมือนการบังคับไม่ให้เลือดไหลออกไปนอกเส้นเลือด (Powers & Howley, 2001) สอดคล้องกับ Birch, McLaren, and George (2005) กล่าวว่า ระบบการไหลเวียนของเลือดเป็นระบบปิด (Closed loop) โดยมีหัวใจเป็นศูนย์กลางในการปั๊มเลือดไปยังอวัยวะต่าง ๆ ทั่วร่างกาย สามารถแบ่งออกได้ 2 ระบบ คือ ระบบไหลเวียนเลือดผ่านปอด (Pulmonary circulation) และระบบไหลเวียนเลือดทั่วร่างกาย (Systemic circulation) ซึ่งความแตกต่างของทั้ง 2 ระบบนี้ คือ ระบบไหลเวียนเลือดผ่านปอด เป็นระบบที่มีความดันต่ำ (Lower-pressure) เพื่อส่งเลือดดำไปยังถุงลม (Alveoli) ที่อยู่ภายในปอดเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซและน้ำ ในขณะที่ระบบไหลเวียนเลือดทั่วร่างกาย เป็นระบบที่มีความดันสูง (High-pressure) เพื่อส่งเลือดแดงไปยังเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย สอดคล้องกับพิพัฒน์ เจิดรังษี (2532) กล่าวว่า การไหลเวียนของเลือดเกิดจากการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งจะดันเลือดเข้าสู่ระบบหลอดเลือดแดง (Artery) เพื่อไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ การแลกเปลี่ยนอาหารและของเสียเกิดขึ้นที่บริเวณเส้นเลือดฝอย (Capillary) ของเนื้อเยื่อเหล่านั้น จากนั้นเลือดจะถูกนำกลับเข้ามาสู่หัวใจใหม่ทางระบบหลอดเลือดดำ (Vein) ทำให้เกิดการไหลวนเวียนอยู่เช่นนี้ตลอดไป โดยที่การไหลเวียนของเลือดแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

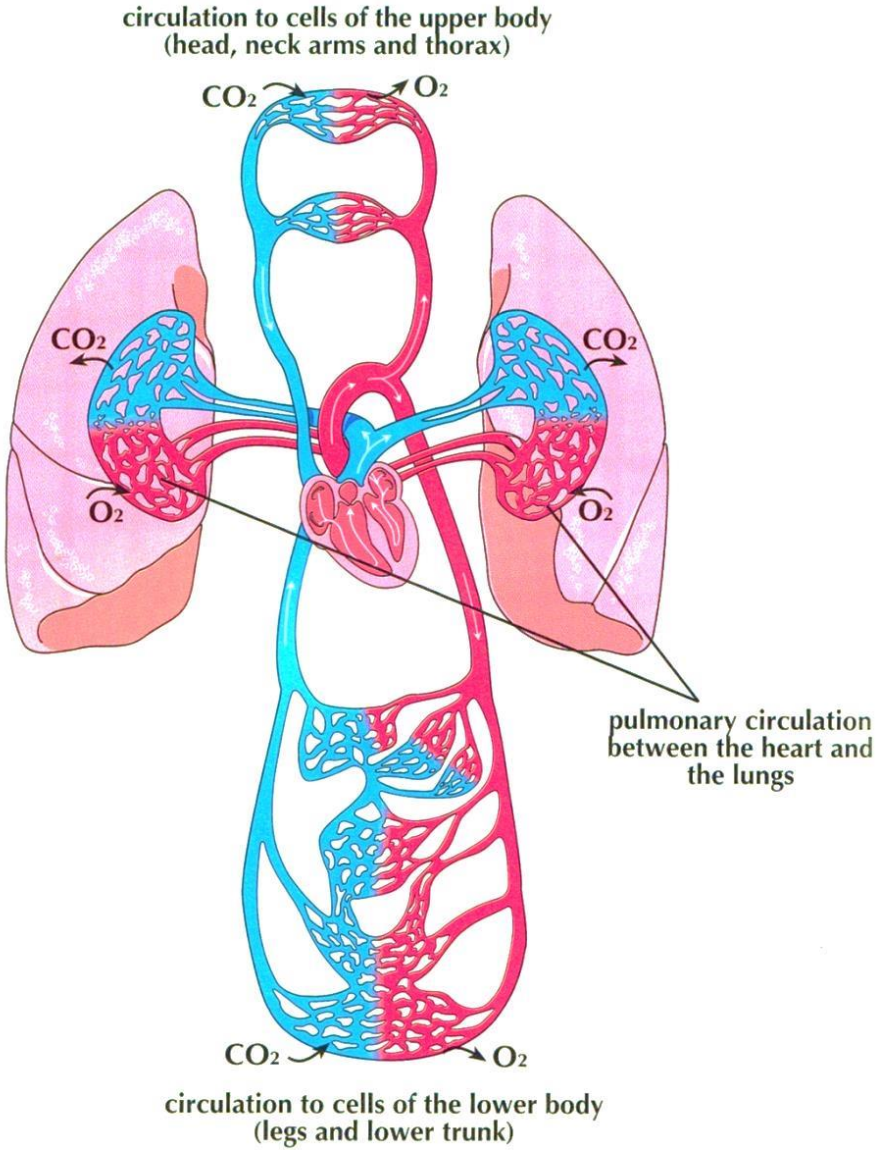
1. ระบบไหลเวียนเลือดทั่วร่างกาย เป็นระบบที่นำเลือดแดง (Oxygenated blood) ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อของร่างกาย โดยผ่านจากเส้นเลือดแดงใหญ่ไปจนถึงเส้นเลือดแดงฝอยแล้วนำเลือดดำกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนขวาทางหลอดเลือด Vein เป็นระบบที่มีความดันโลหิตสูง คือ ความดันเลือดใน Aorta เฉลี่ยประมาณ 120 mmHg ในขณะหัวใจหดตัว และลดลงเฉลี่ยประมาณ 80 mmHg ในขณะหัวใจคลายตัว จากนั้นความดันเลือดจะลดลงช้า ๆ จนถึงระดับหลอดเลือดแดงเล็กจะลดลงค่อนข้างเร็วเฉลี่ยประมาณ 25 mmHg และเหลือประมาณ 10 mmHg ในหลอดเลือดแดงฝอย และลดลงต่ำสุด 0 mmHg เมื่อเข้าสู่หลอดเลือดเวนใหญ่ก่อนเข้าสู่หัวใจ แรงดันเลือดนี้ทำให้เกิดการไหลเวียนของเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและนำเลือดกลับสู่หัวใจ

2. ระบบไหลเวียนเลือดผ่านปอด เป็นระบบที่นำเลือดดำจากหัวใจซีกขวาเข้าสู่ปอดเพื่อรับออกซิเจน โดยออกจาก Pulmonary artery ไปจนถึงเส้นเลือดฝอยรอบ ๆ ถุงลม เพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซ หลังจากนั้นเลือดแดงจะกลับเข้าสู่หัวใจซีกซ้ายโดยหลอดเลือด Pulmonary vein ความดันเลือดในระบบนี้ต่ำมาก คือ ความดันเลือดใน Pulmonary artery ประมาณ 25 mmHg ขณะหัวใจหดตัว และลดลงเหลือ 8 mmHg ขณะหัวใจคลายตัว ความดันเฉลี่ยของทั้งระบบประมาณ 4-6 mmHg แต่ก็สามารถทำให้เลือดไหลจากหัวใจไปปอดได้ เพราะมีระยะทางสั้น

การไหลเวียนของเลือดทั้งสองระบบนี้จะเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม และเชื่อมถึงกันตรงบริเวณหัวใจ นอกจากนี้ การไหลเวียนของเลือดในร่างกายยังติดต่อกับระบบน้ำเหลือง (Lymphatic system) และมีอยู่ทั่วร่างกายเช่นกัน โดยนำของเหลวและสารละลายต่าง ๆ ซึ่งหลุดออกจากหลอดเลือดฝอยให้กลับเข้าสู่กระแสเลือดได้ใหม่ เพื่อเป็นการรักษาระดับปริมาณและความดันของของเหลวภายในร่างกาย ซึ่งลักษณะของการปั๊มเลือดออกจากหัวใจนั้น หัวใจห้องล่างขวาจะทำหน้าที่ปั๊มเลือดไปสู่ระบบไหลเวียนเลือดผ่านปอด และหัวใจห้องล่างซ้ายจะทำหน้าที่ปั๊มเลือดไปสู่ระบบไหลเวียนเลือดทั่วร่างกาย (Kraemer, Fleck, & Deschenes, 2012) ดังภาพที่ 2-3 แสดงถึงเส้นทางการไหลเวียนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดของร่างกาย และภาพที่ 2-4 แสดงเส้นทางการไหลเวียนของระบบไหลเวียนเลือดทั่วร่างกาย และระบบไหลเวียนเลือดผ่านปอด



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างการทำงานระบบหัวใจไหลเวียนเลือดโดยที่ลูกศรแสดงถึงทิศทางการไหลเวียนของเลือด (Noble, Johnson, Thomas, & Bass, 2010)



ภาพที่ 2-4 เส้นทางการไหลเวียนของระบบไหลเวียนเลือดทั่วร่างกาย (Systemic circulation) และระบบไหลเวียนเลือดผ่านปอด (Pulmonary circulation) (Clover, 2001)

ความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ (Cardiorespiratory endurance)

ความอดทน (Endurance) หมายถึง ความสามารถของร่างกายที่จะทนต่อการทำงานที่มีความเข้มข้นในระดับปานกลางได้เป็นระยะเวลายาวนาน ความอดทนของร่างกายอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ คือ ความอดทนของระบบการไหลเวียนของเลือดและการหายใจ (Circulorespiratory endurance) และความอดทนของกล้ามเนื้อในแต่ละแห่งของร่างกาย

(Local-muscle endurance) ความอดทนเป็นสิ่งหนึ่งที่ร่างกายจะได้รับภายหลังจากกล้ามเนื้อได้รับการฝึกออกกำลังกาย (ประทุม ม่วงมี, 2527) สอดคล้องกับเจริญ กระบวนรัตน์ (2547) กล่าวว่า ความอดทน หมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนไหวหรือการปฏิบัติงานได้อย่างต่อเนื่องยาวนาน บางครั้งอาจจะเรียกว่า ความทนทาน (Stamina) ซึ่งมีปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดหรือเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนไหว คือ ความเมื่อยล้า (Fatigue) นักกีฬาที่มีความอดทนเป็นอย่างดีจะไม่รู้สึกเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าง่าย หรือสามารถปฏิบัติทักษะการเคลื่อนไหวได้อย่างต่อเนื่องในสภาวะที่มีอาการเมื่อยล้าเกิดขึ้น ความอดทนจึงเป็นองค์ประกอบของความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหว (Biomotor abilities) ที่ควรได้รับการฝึกหรือการพัฒนาเป็นอันดับแรก เพราะถ้าหากปราศจากความอดทนของกล้ามเนื้อและความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดเป็นพื้นฐาน การกำหนดให้นักกีฬาปฏิบัติซ้ำในรูปแบบต่าง ๆ ของการฝึกคงเป็นเรื่องที่กระทำได้ยากขณะเดียวกัน การที่จะพัฒนาองค์ประกอบของความสามารถทางกลไกด้านอื่นก็จะไม่สามารถพัฒนาได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาระบบพลังงานเชิงแอโรบิก ยังจะช่วยพัฒนาความสามารถของนักกีฬา ทำให้นักกีฬาสามารถเคลื่อนไหวในแต่ละสถานการณ์ของเกมการแข่งขันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่รู้สึกเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าง่าย การปฏิบัติทักษะและเทคนิคต่าง ๆ ของนักกีฬายังคงทำได้ดีสม่ำเสมอตลอดเกมการแข่งขัน รวมไปถึงยังพัฒนาความสามารถในการฟื้นสภาพร่างกายของนักกีฬาภายหลังการแข่งขันหรือการฝึกซ้อมที่หนักมาก ดังนั้น นักกีฬาที่ได้รับการฝึกระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนมาเป็นอย่างดี จะใช้เวลาพักเพียงเล็กน้อย ก็สามารถฟื้นสภาพร่างกายจากสภาวะความเหน็ดเหนื่อยกลับคืนสู่สภาวะปกติ และสามารถลงทำการแข่งขันได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

Clover (2001) กล่าวว่า ความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ เป็นความสามารถของหัวใจ เลือด หลอดเลือด และปอด ที่จะต้องทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย และยังเป็นระบบที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาสมรรถภาพทางกายในทุก ๆ ด้าน โดยหัวใจจะทำหน้าที่สูบฉีดเลือด และเลือดจะเป็นตัวกลางในการลำเลียงออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ ที่สำคัญไปสู่เซลล์ของกล้ามเนื้อทั่วร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่ออกกำลังกาย ร่างกายมีความต้องการออกซิเจนเป็นอย่างมาก โดยภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อที่บริเวณหลอดเลือดฝอยจะมีการแลกเปลี่ยนระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำออกซิเจนไปใช้ผลิตเป็นพลังงานเพื่อการเคลื่อนไหวร่างกาย และยังทำหน้าที่ในการลำเลียงคาร์บอนไดออกไซด์ไปยังปอดเพื่อกำจัดออกจากร่างกาย สำหรับรูปแบบกิจกรรมการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ

ได้แก่ วิ่งเหยาะ ๆ ว่ายน้ำ ปั่นจักรยาน เต้นแอโรบิก และเดิน เป็นต้น คนที่มีการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาความอดทนของระบบนี้เป็นประจำอย่างต่อเนื่องหรือนักกีฬาที่ได้รับการฝึกซ้อมโดยมีการกำหนดระดับความหนักในการฝึกที่เหมาะสมกับการพัฒนาในระบบนี้ จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถของร่างกายด้านความอดทนได้มากยิ่งขึ้น ในทางตรงข้าม หากในระหว่างการฝึกซ้อมมีการกำหนดระดับความหนักที่มากเกินไป จะส่งผลให้ร่างกายเกิดความเมื่อยล้ามากขึ้น เป็นผลให้การพัฒนาระบบนี้ลดประสิทธิภาพลงไป ซึ่งความเมื่อยล้าจะเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่สามารถทำให้ร่างกายเกิดการบาดเจ็บได้ง่าย นอกจากนี้ การพัฒนาความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจยังสามารถป้องกันการบาดเจ็บได้อีกด้วย สอดคล้องกับ American College of Sports Medicine (2007) กล่าวว่า สมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ เป็นความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อมัดใหญ่โดยจะต้องมีลักษณะเคลื่อนที่ (Dynamic) ในการออกกำลังกาย โดยร่างกายสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในระดับความหนักปานกลางถึงระดับสูง และยังเป็นความสามารถของหัวใจ เลือด หลอดเลือด ปอด และเซลล์กล้ามเนื้อด้วย ซึ่งสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ เช่น Maximal aerobic capacity, Functional capacity, Physical work capacity (PWC), Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2max$), Cardiovascular endurance, Cardiovascular fitness, Cardiovascular capacity, Cardiopulmonary endurance, Cardiopulmonary fitness และ Cardiopulmonary capacity

Powers and Dodd (2003) กล่าวว่า ความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ มักนิยมเรียกกันว่า Aerobic fitness หรือ Cardiorespiratory endurance ซึ่งระบบนี้ถือได้ว่าเป็นกุญแจที่มีความสำคัญต่อการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพ (Health-related) โดยเป็นการวัดความสามารถในการทำงานของหัวใจที่จะส่งเลือดแดงไปยังเซลล์กล้ามเนื้อลายที่มีการหดตัวทำงาน นอกจากนี้ ยังเป็นการวัดความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการนำออกซิเจนไปสร้างเป็นพลังงานได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างการออกกำลังกาย ในทางปฏิบัติ เป็นการแสดงออกซึ่งความสามารถของร่างกายที่จะทำงานได้อย่างอดทน ต่อเนื่อง ยาวนาน และทนต่อการเกิดความเมื่อยล้า สำหรับรูปแบบการเสริมสร้างการทำงานของระบบนี้ ได้แก่ การวิ่ง ปั่นจักรยาน หรือว่ายน้ำระยะทางไกล ๆ นอกจากนี้ ประโยชน์ของการที่ร่างกายมีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี ก็คือ จะสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและทำให้มีชีวิตที่ยืนยาวขึ้นได้ และยังช่วยลดความเสี่ยงของโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้อีกด้วย รวมทั้งยังสามารถลดความดันโลหิตสูง และช่วยเพิ่มความ

หนาแน่นให้กับกระดูกได้ ในทางการกีฬา นักกีฬาที่มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่สูง จะทำให้ร่างกายของนักกีฬาสามารถทำงานได้ยาวนานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ทั้งในช่วงของการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันกีฬาสามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ร่างกายมีความทนต่อการกรดแลคติกในระดับสูง ส่งผลให้เกิดอาการเมื่อยล้าช้าลง ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการแสดงออกความสามารถทางการกีฬา สอดคล้องกับ American College of Sports Medicine (2009) กล่าวว่า สมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจมีความสัมพันธ์กับด้านสุขภาพ เนื่องจาก 1) การที่ร่างกายมีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับต่ำ จะมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตในระดับสูงมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสียชีวิตจากโรคหัวใจ (Cardiovascular disease) 2) ในทางตรงข้าม การที่มีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับสูง ย่อมช่วยลดความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคหัวใจมากขึ้นด้วยเช่นกัน และ 3) การที่ร่างกายมีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับสูง จะส่งผลให้ร่างกายสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการมีสุขภาพที่ดี ดังนั้น การประเมินระดับสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดโปรแกรมการออกกำลังกายให้มีความเหมาะสม ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมกีฬา รวมถึงประเภทของกิจกรรมที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาความสามารถของระบบนี้ด้วย และการที่จะพัฒนาสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ หรือพัฒนาความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด จะมีความเกี่ยวข้องกับการกำหนดระดับความหนัก ความบ่อยครั้ง และความนานในการออกกำลังกาย ซึ่งจะต้องมีการปรับเปลี่ยนให้เกิดความเหมาะสมกับโปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อที่จะช่วยเพิ่มความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิก และความสามารถของร่างกายในการฝึกความอดทนเพิ่มสูงขึ้นได้ (Abernethy, Hanrahan, Kippers, MacKinnon, & Pandy, 2005) และ Bompa and Haff (2009) กล่าวว่า การฝึกความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ จะทำให้ปริมาตรของอากาศในปอดเพิ่มขึ้น หัวใจห้องล่างซ้ายใหญ่ขึ้น ปริมาณเลือดที่หัวใจห้องล่างซ้ายสูบฉีดออกในแต่ละครั้งเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้สามารถขนส่งเซลล์เม็ดเลือดแดงที่มีออกซิเจนสูงไปยังเซลล์กล้ามเนื้อที่ทำงานได้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งยังช่วยลดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักให้น้อยลงได้ ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหลอดเลือดฝอย การเพิ่มความสามารถของร่างกายในการใช้ระบบพลังงานเชิงแอโรบิก หรือการเพิ่มระดับเพดานของระบบพลังงานเชิงแอโรบิก (Anaerobic threshold) ให้สูงขึ้น จะส่งผลให้ร่างกายของนักกีฬาสามารถเพิ่มอัตราการใช้ออกซิเจนในขณะ

ออกกำลังกายได้มากขึ้น และที่สำคัญจะทำช่วยเพิ่มความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดให้มากขึ้นด้วย ส่งผลให้นักกีฬาสามารถออกกำลังกาย ฝึกซ้อม หรือแข่งขันได้ยาวนานเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Martens (1990) กล่าวว่า ความสามารถของร่างกายในการทำงานในระบบพลังงานเชิงแอโรบิก มีความสำคัญอย่างยิ่งกับนักกีฬาทุกคนและทุกชนิดกีฬา เนื่องจากการฝึกซ้อมที่พัฒนาระบบพลังงานเชิงแอโรบิก จะสามารถสร้างความอดทนให้กับเอ็นยึดข้อ (Ligament) เอ็นกล้ามเนื้อ (Tendon) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) ได้เป็นอย่างดี และยังสามารถช่วยลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บได้ด้วย ซึ่งการที่จะทำให้อวัยวะต่าง ๆ มีความอดทนหรือการทำให้ร่างกายเกิดความอดทนมากขึ้นนั้น จำเป็นต้องได้รับการวางแผนการฝึกซ้อมมาเป็นอย่างดี มีการกำหนดระดับความหนักในการฝึกที่มีความเหมาะสม นอกจากนี้ การที่ร่างกายมีระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี หรือร่างกายมีความสามารถในการสร้างระบบพลังงานเชิงแอโรบิกได้ดี จะช่วยสนับสนุนให้นักกีฬามีการฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็ว (Recovery faster) ในระหว่างเกมการแข่งขัน อันจะผลดีต่อความได้เปรียบของร่างกายที่จะแสดงออกซึ่งทักษะและเทคนิคทางการกีฬาได้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งยังสามารถทำการฝึกซ้อมได้อย่างยาวนานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การพัฒนาการฝึกซ้อมกีฬากระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

สรุปได้ว่า ความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ หรือความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิก มีความสำคัญอย่างมากต่อสุขภาพสำหรับผู้ที่มีความต้องการรักษาสุขภาพเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคความดันโลหิต โรคอ้วน เป็นต้น สำหรับทางการกีฬา ความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการแสดงออกซึ่งความสามารถของนักกีฬาทั้งในระหว่างเกมการแข่งขันและการฝึกซ้อม หากร่างกายของนักกีฬามีประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้สูง จะทำให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องยาวนานเพิ่มขึ้น ช่วยชะลอกระบวนการนำไกลโคเจน (Glycogen sparing) ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน ซึ่งการผลิตพลังงานในกระบวนนี้จะทำให้ร่างกายเกิดกรดแลคติกที่เกิดจากขบวนการเผาผลาญในระดับสูง และหากร่างกายมีการสะสมกรดแลคติกที่สูง ก็จะเป็นปัญหาอุปสรรคต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้การเคลื่อนไหวลดประสิทธิภาพลง รวมทั้งยังทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่ายขึ้น และที่สำคัญจะลดประสิทธิภาพในการแสดงออกซึ่งความสามารถทางการกีฬาโดยทันที และถ้าหากอยู่ในช่วงระหว่างเกมการแข่งขัน จะยังส่งผลให้นักกีฬาเกิดการเสียเปรียบเนื่องจากร่างกายกำลังอยู่สภาวะเมื่อยล้าและพลังงานที่สะสมอยู่ในร่างกายกำลังลดลงไป ทำให้การใช้ทักษะ เทคนิคกีฬาด้อยประสิทธิภาพลงไปด้วย และอาจทำให้

ประสบกับความพ่ายแพ้ในเกมการแข่งขันได้ ในทางตรงข้าม หากร่างกายของนักกีฬามีความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี หรือความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกที่สูง ย่อมทำให้เกิดความได้เปรียบต่อคู่แข่งขัน เนื่องจากร่างกายมีพลังงานที่จะนำมาใช้ในระหว่างเกมการแข่งขันได้มากขึ้น เพราะร่างกายจะนำกรดไขมัน (Fatty acid) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตเป็นพลังงานแทนการใช้ไกลโคเจน ซึ่งเป็นที่ทราบกันแล้วว่าไขมันจะให้พลังงานได้มาก รวมทั้งของเสียที่เกิดจากขบวนการเผาผลาญไขมันนี้จะเกิดขึ้นน้อยกว่าการเผาผลาญไกลโคเจน ส่งผลให้ร่างกายสามารถทำงานได้ยาวนานมากขึ้น นอกจากนี้ ยังจะช่วยให้ร่างกายมีการหายเหนื่อยได้รวดเร็วยิ่งขึ้นด้วย เนื่องจากระบบการไหลเวียนเลือดภายในร่างกายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เซลล์ในร่างกายสามารถนำออกซิเจนที่อยู่ในเม็ดเลือดแดงไปใช้ได้อย่างเต็มที่ และยังสามารถลำเลียงคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในเลือดดำกลับมาฟอกที่ปอดได้ดีอีกด้วย ซึ่งหากร่างกายของนักกีฬามีการหายเหนื่อยได้อย่างรวดเร็วขึ้นหรือมีการฟื้นตัวในระหว่างเกมการแข่งขันได้เร็ว จะยิ่งส่งผลดีต่อการแสดงออกทางความสามารถในเชิงกีฬาได้และทำให้เกิดความเปรียบในเกมการแข่งขัน ดังนั้น ผู้ฝึกสอน นักวิทยาศาสตร์การกีฬา หรือผู้ที่มีหน้าที่ในการออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อมกีฬา จำเป็นอย่างยิ่งต้องกำหนดให้มีการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจก่อนเริ่มต้นฝึกซ้อม ซึ่งจะทำให้ทราบถึงระดับความสามารถของร่างกายในขณะนั้น และนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อจะได้กำหนดระดับความหนักที่มีความเหมาะสมต่อไป รวมทั้งยังต้องมีการทดสอบการทำงานของระบบนี้เป็นระยะ เพื่อตรวจสอบระดับความสามารถของร่างกายว่ามีการพัฒนาเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด โดยในปัจจุบันนี้ วิธีการทดสอบความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ได้มาตรฐาน และยังเป็นตัวชี้วัดที่ดีที่สุด นั่นก็คือ การวัดความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด หรือการหาค่า $\dot{V}O_2max$ นั่นเอง

การประเมินความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ

การทดสอบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด หรือเรียกว่า Maximum oxygen consumption test เป็นการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ สามารถทดสอบได้โดยการวัดทางตรง (Directly measurement) ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการประเมินที่มีความแม่นยำสูงมากและเป็นตัวชี้วัดที่ชัดเจนที่สุด (Heyward, 2010) รวมทั้งยังเป็นที่นิยมของนักสรีรวิทยาการออกกำลังกายที่จะนำมาใช้เป็นแบบทดสอบเพื่อ

วัดระดับความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ (Powers & Dodd, 2003) ดังที่เจริญ กระบวนรัตน์ (2557) กล่าวว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด บางครั้งเรียกว่า Maximal aerobic power หรือ Aerobic capacity ซึ่งใช้ในการวัดความอดทนสูงสุดของระบบไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ (Maximal cardiorespiratory endurance) ได้ดีที่สุด สอดคล้องกับ Åstrand, Rodahl, Dahl, and Strømme (2003) กล่าวว่า การประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด สามารถประเมินได้โดยทางตรง จากการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายในระหว่างการทดสอบ ส่วนการวัดโดยทางอ้อม จะทำการวัดจากปริมาณการใช้ออกซิเจนโดยการสังเกตจากค่าของอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างที่ทำการทดสอบ สอดคล้องกับ Heyward (2010) กล่าวว่า การประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด เป็นวิธีการประเมินที่ได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวางในหมู่นักสรีรวิทยาการออกกำลังกายที่จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์หรือเป็นมาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ และการประเมินค่าดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้ในการแบ่งระดับความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกได้อีกด้วย นอกจากนี้ ยังนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาการทำงานของร่างกายในระบบพลังงานเชิงแอโรบิกให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นต่อไป

Baumgartner and Jackson (1999) กล่าวว่า การทดสอบเพื่อประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด เป็นการวัดความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิก มีด้วยกันหลากหลายวิธี และมีความแตกต่างกันออกไป ดังต่อไปนี้

1. ทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ (Laboratory tests) หรือทำการทดสอบในภาคสนาม (Field tests)

2. ทำการทดสอบโดยใช้ความหนักในระดับสูงสุด (Maximal tests) หรือใช้ความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal tests)

3. ทำการทดสอบโดยที่ไม่ต้องออกกำลังกาย (Nonexercise tests)

สำหรับการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นลักษณะเฉพาะเจาะจง เช่น เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analysis) เครื่องวัดอัตราการเต้นของชีพจรแบบอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องควบคุมการวัดพลังงาน และอาจต้องใช้ลู่วิ่งหรือจักรยานวัดงาน ส่วนการทดสอบในภาคสนาม สามารถนำมาใช้ทดสอบกับกลุ่มคนส่วนใหญ่พร้อมกันได้ โดยสามารถทำการทดสอบได้ทั้งการใช้ความหนักในระดับสูงสุดและความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุด

Powers and Dodd (2003) กล่าวว่า การวัดความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยทางตรง จะมีความแม่นยำสูงมาก แต่วิธีการวัดทางตรงจะมีข้อเสียเปรียบ คือ จำเป็นต้องทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ ต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างแพง ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญโดยเฉพาะ รวมทั้งต้องมีความชำนาญในการใช้เครื่องมือเป็นอย่างดี และยังต้องใช้ระยะเวลาในการทดสอบมากพอสมควร อย่างไรก็ตาม การวัดความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดสามารถกระทำได้โดยการใช้ความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุด เพื่อที่จะได้นำข้อมูลจากการทดสอบมาคาดคะเนหรือประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ซึ่งวิธีการทดสอบในลักษณะนี้ จะมีความใกล้เคียงกับการทดสอบที่ใช้ความหนักในระดับสูงสุด แต่มีความแตกต่างกันที่การใช้ระดับความหนักในการทดสอบ และใช้อัตราการเต้นของหัวใจมาเป็นตัวกำหนดในการสิ้นสุดการทดสอบ โดยได้มีการกำหนดล่วงหน้าไว้เรียบร้อยแล้ว หรืออาจวัดโดยวิธีการอื่น ๆ เช่น การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และระดับความเหนื่อย (Rating of perceived exertion scale: RPE) โดยในการทดสอบจะใช้ความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุดเกือบทั้งหมด ส่วนอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบที่ความหนักในระดับนี้ ได้แก่ ลู่วิ่งจักรยานวัดงาน และการก้าวขึ้น-ลง เช่น บันได เก้าอี้ หรือกล่อง เป็นต้น (Heyward, 2010) สอดคล้องกับ เอมอร เอี่ยมสำอางค์ (2532) กล่าวว่า วิธีการวัดความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยวิธีทางตรงนั้น ถือได้ว่าเป็นวิธีการวัดที่มีความแม่นยำ และถูกต้องที่สุด อย่างไรก็ดี ในการปฏิบัติจะมีวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อน ไม่สะดวก สิ้นเปลืองเวลา และอาจจะเป็นอันตรายแก่ผู้เข้ารับการทดสอบในคนที่ร่างกายไม่สมบูรณ์หรือไม่มีความพร้อมของร่างกายได้ เพราะจะต้องใช้ความพยายามในการปฏิบัติให้สุดความสามารถ แต่ก็ยังเป็นความโชคดีที่งานวิจัยต่าง ๆ ได้มีการศึกษาและพยายามที่จะพัฒนารูปแบบการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยปฏิบัติกันในภาคสนาม (Filed test) ตัวอย่างเช่น การวิ่ง 1.5 ไมล์ (The 1.5-Mile run test) การเดิน 1 ไมล์ (The 1-Mile walk test) การเดินก้าวขึ้น-ลง (Step test) เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า วิธีการทดสอบในรูปแบบต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ต่างล้วนมีเป้าหมายเดียวกัน นั่นก็คือ เพื่อประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยจะสะท้อนไปถึงระดับความสามารถในการทำงานของร่างกายที่จะใช้ระบบพลังงานเชิงแอโรบิกได้ รวมทั้งยังเป็นการประเมินถึงระดับสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้อีกด้วย ซึ่งภายหลังการทดสอบ สามารถนำผลไปใช้เป็นข้อมูลในการจัดหรือออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมกีฬาให้มีความเหมาะสมและตรงตามเป้าหมายต่อไป ตัวอย่าง

ของรูปแบบการทดสอบเพื่อหาความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 รูปแบบวิธีการที่นำมาใช้ในการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (Birch et al., 2005)

ชนิดของการทดสอบ	ตัวอย่างรูปแบบการทดสอบ
Field tests	- Cooper 12 minute distance test
	- 1.5 mile test for time
	- Rockport 1 mile fitness walking test
	- Shuttle test
Treadmill tests	- British association of sport and exercise sciences maximal test
	- Bruce, balke, naughton, stanford protocols
Cycle ergometer tests	- British association of sport and exercise sciences maximal test
	- Åstrand-Rhyming protocol
	- YMCA protocol
	- PWC170 protocol
Step tests	- 3 min YMCA test
	- Canadian home fitness test
	- Åstrand-Rhyming test
	- Maritz protocol

Hoeger and Hoeger (2010) กล่าวว่า ในปัจจุบันนี้รูปแบบวิธีการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในหมู่นักสรีรวิทยาการออกกำลังกายและนักวิทยาศาสตร์การกีฬา เพื่อที่จะทราบระดับสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ นั่นก็คือ การทดสอบด้วยวิธีการของ Åstrand-Rhyming protocol ซึ่งเป็นรูปแบบวิธีการทดสอบที่มีความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการปฏิบัติอย่างมาก

ต้องทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ การทดสอบนี้จะต้องใช้อุปกรณ์ คือ จักรยานวัดงาน และใช้ความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุด โดยกำหนดระยะเวลาในการทดสอบประมาณ 6 นาที สำหรับการทดสอบด้วยการปั่นจักรยานถือว่าเป็นรูปแบบการทดสอบที่ดีมากในการวัดความสามารถของร่างกาย และการปั่นจักรยานมีความได้เปรียบมากกว่าการทดสอบด้วยการวิ่งหรือการเดิน เนื่องจากการปั่นจักรยานจะมีความปลอดภัยค่อนข้างสูงและไม่เป็นอันตรายต่อข้อเข่า เพราะน้ำหนักตัวของผู้ทดสอบไม่ได้สร้างแรงกดดันให้กับข้อเข่าในระหว่างการปั่นจักรยาน และยังทำการทดสอบภายในห้องหรือยิมเนเซียมได้อีกด้วย ส่วนการวิ่งหรือการเดินจำเป็นต้องทำการทดสอบบริเวณสนามกีฬาหรือพื้นที่ด้านนอกของอาคาร อาจจะต้องเผชิญกับสภาพของอากาศร้อนหรือเย็น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ และส่งผลโดยตรงต่อขีดความสามารถในการทำงานของร่างกายด้วย รวมทั้งยังมีผลต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดที่อาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทดสอบได้ (Powers & Dodd, 2003) สอดคล้องกับ Brooks, Fahey, and White (1996) ได้กล่าวถึงการทดสอบด้วยการใช้จักรยานวัดงาน ไว้ว่า จักรยานวัดงานเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ภายในห้องปฏิบัติการกันอย่างมาก ซึ่งข้อดีของจักรยานวัดงาน คือ ราคาถูก เคลื่อนย้ายสะดวก และผู้ทดสอบส่วนใหญ่จะให้ความร่วมมือมากกว่าการทดสอบด้วยการใช้ลู่วิ่ง นอกจากนี้ ยังสามารถนำจักรยานวัดงานที่มีลักษณะแบบตั้งตรง (Upright) หรือแบบเอนนอน (Supine) มาใช้ในทำการทดสอบได้ด้วย สำหรับข้อบกพร่องหรือข้อเสียเปรียบของการปั่นจักรยานวัดงาน ส่วนใหญ่มักจะพบในผู้หญิง ผู้สูงอายุ และผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับการปั่นจักรยาน ซึ่งการปั่นจักรยานจะทำให้เกิดความเครียดหรือเกิดความรู้สึกหนักที่บริเวณกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) มากเกินไป เป็นผลทำให้เกิดความเมื่อยล้าต่อกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าได้ รวมทั้งอาจเป็นข้อจำกัดในการประเมินความสามารถในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดก่อนที่จะถึงระดับจุดสูงสุด โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว การนำจักรยานวัดงานมาใช้ในการทดสอบจะขึ้นอยู่กับแรงจูงใจของผู้ทดสอบด้วย ถ้าหากจำนวนรอบของการปั่นจักรยานมีจำนวนที่ลดลงก็จะส่งผลต่อการใช้ปริมาณของออกซิเจนที่ลดลงตามไปด้วย และความเมื่อยล้าของผู้ทดสอบก็จะมีผลทำให้ต้องหยุดการทดสอบก่อนถึงเวลาที่กำหนดไว้ และจะมีผลต่อการประเมินค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่ลดต่ำลงไปด้วย

ความสำคัญของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการกีฬา

โดยธรรมชาติของเกมการแข่งขันกีฬาในแต่ละประเภท จะมีลักษณะการเคลื่อนที่ของร่างกายที่แตกต่างกันออกไป กีฬาทุกประเภทล้วนต้องอาศัยความสามารถของร่างกายในการแสดงออกผ่านกิจกรรมทางการกีฬา เมื่อร่างกายต้องมีการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นย่อมส่งผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากเซลล์ของกล้ามเนื้อจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนเพื่อนำไปใช้ผลิตให้เป็นพลังงานเพื่อการเคลื่อนที่ของร่างกาย ดังนั้น ประเภทกีฬาที่ต้องมีการเคลื่อนที่ของร่างกายมากย่อมต้องใช้ปริมาณของออกซิเจนมากกว่ากีฬาที่มีการเคลื่อนที่ของร่างกายน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเกมการแข่งขันที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องติดต่อกันอย่างยาวนาน ได้แก่ วิ่งระยะทางไกล ปั่นจักรยานทางไกล ว่ายน้ำทางไกล เป็นต้น ซึ่งเป็นกีฬาที่ต้องอาศัยการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจโดยตรง หากนักกีฬาคนใดที่มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้ในระดับสูง จะทำให้ร่างกายของนักกีฬาสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องยาวนานติดต่อกันได้เป็นอย่างดี ในทางตรงข้าม หากนักกีฬามีประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้ในระดับต่ำ ก็จะส่งผลให้ร่างกายมีการทำงานที่ลดน้อยลงไป รวมไปถึงยังจะทำให้เกิดความเมื่อยล้าขึ้นกับร่างกายได้ง่าย รวดเร็ว และไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่ต่อไปได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและอาจส่งผลต่อเกมการแข่งขันได้

สำหรับเกมการแข่งขันกีฬาที่ต้องมีการเคลื่อนที่ของร่างกายในลักษณะที่รวดเร็วฉับพลันสลับกับการหยุดเป็นช่วง ๆ หรือใช้ความเร็วที่ไม่คงที่ในระหว่างเกมการแข่งขัน โดยที่ไม่มีความแน่นอนชัดเจนทั้งในเรื่องของช่วงระยะเวลาที่หยุดและช่วงระยะเวลาที่ร่างกายต้องออกแรงทำงานแล้วยังคงต้องมีการเคลื่อนที่ร่างกายต่อไปอีกตามระยะเวลาที่กำหนดจึงจะจบเกมการแข่งขันได้ เช่น ฟุตบอล ฟุตซอล บาสเกตบอล รักบี้ฟุตบอล แฮนด์บอล วอลเลย์บอล ฮอกกี้ แบดมินตัน เทนนิส เทเบิลเทนนิส มวย เทควันโด คาราเต้-โด เป็นต้น ซึ่งประเภทกีฬาเหล่านี้ต่างก็มีความจำเป็นต้องอาศัยการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจด้วยเช่นกัน เพราะหากร่างกายของนักกีฬามีประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้ในระดับสูง ในระหว่างเกมการแข่งขันจะทำให้เกิดอาการเหนื่อยได้ช้าในขณะออกแรงเคลื่อนที่ และในขณะที่หยุดพักชั่วขณะหนึ่งในระยะเวลาสั้น ๆ ร่างกายก็จะเกิดการฟื้นตัวและหายเหนื่อยกลับมาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลดีต่อการแสดงออกของนักกีฬาที่จะแสดงความสามารถของร่างกายทั้งทางด้านทักษะและเทคนิคการเล่นกีฬาได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างเกมการแข่งขัน รวมทั้งยังทำให้ร่างกายเกิดอาการเมื่อยล้าที่

ช้าลง เนื่องจากร่างกายของผู้ที่มีการทำงานของระบบนี้ในระดับสูง จะทำให้กล้ามเนื้อสามารถนำไขมันไปใช้ในการสร้างพลังงานได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้ร่างกายสงวนหรือชะลอการใช้ไกลโคเจน (Glycogen sparing) ส่งผลให้ช่วยลดการสร้างกรดแลคติกได้ รวมไปถึงเพดานหรือระดับกั้นของระบบพลังงานเชิงแอโรบิก (Anaerobic threshold) จะมีทิศทางการเคลื่อนตัวไปทางด้านขวา (Shifted to the right) มากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการทำงานให้ยาวนานยิ่งขึ้นได้ เป็นผลให้นักกีฬาสามารถแสดงออกซึ่งทักษะและเทคนิคทางการกีฬาได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งการเคลื่อนไหวของร่างกายในรูปแบบต่าง ๆ ก็สามารถที่จะทำงานได้อย่างต่อเนื่องติดต่อกันได้ยาวนานเพิ่มขึ้น และอาจทำให้เกิดความได้เปรียบในเกมการแข่งขันได้ด้วย (Howley & Franks, 2003)

การแข่งขันกีฬาทุกประเภทล้วนจำเป็นต้องอาศัยการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจด้วยกันทั้งสิ้น และการที่จะทราบว่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้มีมากน้อยเพียงใด จำเป็นต้องได้รับการทดสอบเพื่อประเมินระดับความสามารถของระบบนี้ นั่นก็คือ การทดสอบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ซึ่งการทดสอบนี้สามารถประเมินผลถึงความอดทนในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดเลือดและการหายใจได้ และยังสะท้อนประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายในระบบพลังงานเชิงแอโรบิกอีกด้วย และยังสามารถนำผลการประเมินไปใช้ในการออกแบบหรือกำหนดโปรแกรมการฝึกซ้อมที่มีระดับความหนักให้มีความเหมาะสมต่อไป นอกจากความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจะมีความสัมพันธ์กับการกีฬาเป็นอย่างมากแล้วก็ยังมีความสัมพันธ์กับสุขภาพอีกด้วย ซึ่งนักกีฬาหรือบุคคลใดก็ตามที่มีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูง จะสะท้อนถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้นั่นเอง โดย Kenney et al. (2012) ได้กำหนดค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดสำหรับผู้ที่ไม่เป็นนักกีฬาและเป็นนักกีฬาโดยมีค

ตารางที่ 2-2 ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดสำหรับผู้ที่ไม่เป็นนักกีฬาและเป็นนักกีฬา มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (ml/kg/min) (Kenney et al., 2012)

กลุ่มหรือนักกีฬา	อายุ	ชาย	หญิง
คนทั่วไป	10-19	47-56	38-46
	20-29	43-52	33-42
	30-39	39-48	30-38
	40-49	36-44	26-35
	50-59	34-41	34-33
	60-69	31-38	22-30
	70-79	28-35	20-27
เบสบอล/ ซอฟท์บอล	18-32	48-59	52-57
บาสเกตบอล	18-30	40-60	43-60
จักรยาน	18-26	62-74	47-57
แคนนู	22-23	55-67	48-52
อเมริกันฟุตบอล	20-36	42-60	-
ยิมนาสติก	18-22	52-58	36-50
ฮอกกี้น้ำแข็ง	10-30	50-63	-
ขี่ม้า	20-40	50-60	-
ออเรียนเตียริง	20-60	47-53	46-60
กีฬาแร็กเก็ต	20-35	55-62	50-60
เรือพาย (กรรเชียง)	20-35	60-72	58-65
สกีลงเขา	18-30	57-68	50-55
สกีข้ามทุ่ง	20-28	65-94	60-75
สกีกระโดดไกล	18-24	58-63	-
ฟุตบอล	22-28	54-64	50-60
สเก็ตติ้ง	18-24	56-73	44-55
ว่ายน้ำ	10-25	50-70	40-60

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

กลุ่มหรือนักกีฬา	อายุ	ชาย	หญิง
กรีฑา (ขว้างจักร)	22-30	42-55	-
กรีฑา (วิ่ง)	18-39	60-85	50-75
	40-75	40-60	35-60
กรีฑา (ทุ่มน้ำหนัก)	22-30	40-46	-
วอลเลย์บอล	18-22	-	40-56
ยกน้ำหนัก	20-30	38-52	-
มวยปล้ำ	20-30	52-65	-

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) กล่าวว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดยังมีความแตกต่างกันออกไปตามสถานะทางด้านเพศ อายุ ขนาด รูปร่าง และสมรรถภาพทางกาย โดยทั่วไปเพศชายจะมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมากกว่าเพศหญิง เนื่องจากผู้หญิงมีอัตราการเต้นของหัวใจที่เร็วกว่าผู้ชาย มีขนาดของหัวใจและทรวงอกที่เล็กกว่าผู้ชาย และความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดก็ยังมีแนวโน้มว่าจะลดลงไปตามอายุอีกด้วย ซึ่งการออกกำลังกายในลักษณะแบบแอโรบิค จะมีผลในการช่วยพัฒนาสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้เพิ่มขึ้นได้เป็นอย่างดี รวมทั้งยังส่งผลให้ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเพิ่มสูงขึ้นได้อีกด้วย เช่นกัน และสำหรับคนที่ได้รับการฝึกซ้อมหรือออกกำลังกายในเชิงแอโรบิกเป็นประจำสม่ำเสมอ จะมีระดับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดที่มากกว่าคนไม่ได้รับการฝึกซ้อมหรือไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ ดังนั้น การทดสอบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด สามารถที่จะนำไปใช้บ่งชี้ถึงระดับสมรรถภาพความสมบูรณ์ของร่างกายได้ดีที่สุด และยังสามารถชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจในการสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ เนื่องจากปอดสามารถรับเอาออกซิเจนจากอากาศภายนอกเข้ามาเก็บไว้ได้มาก เซลล์ของกล้ามเนื้อก็ยังสามารถนำออกซิเจนไปสร้างเป็นพลังงานได้เป็นอย่างดี และสุดท้ายขบวนการกำจัดของเสียต่าง ๆ ก็เป็นไปอย่างดีอีกด้วย (อนันต์ อัตชู, 2527) ซึ่งระดับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด สามารถสังเกตได้จากเกณฑ์มาตรฐาน

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทย จากการทดสอบโดยใช้จักรยานวัดงานตามวิธีการหาของ Åstrand ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 เกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทย จากการทดสอบโดยใช้จักรยานวัดงานตามวิธีการหาของ Åstrand (สุรศักดิ์ เกิดจันทึก และคณะ, 2543)

อายุ (ปี)	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
เพศชาย					
17-19	35.7 ลงมา	35.8-40.6	40.7-50.5	50.6-55.4	55.5 ขึ้นไป
20-29	33.4 ลงมา	33.5-37.9	38.0-47.0	47.1-51.5	51.6 ขึ้นไป
30-39	27.5 ลงมา	27.6-31.4	31.5-39.3	39.4-43.2	43.3 ขึ้นไป
40-49	24.0 ลงมา	24.1-27.3	27.4-34.0	34.1-37.3	37.4 ขึ้นไป
50-59	20.9 ลงมา	21.0-24.1	24.2-30.6	30.7-33.8	33.9 ขึ้นไป
60-ขึ้นไป	19.3 ลงมา	19.4-22.1	22.2-27.8	27.9-30.6	30.7 ขึ้นไป
เพศหญิง					
17-19	31.4 ลงมา	31.5-35.5	35.6-43.8	43.9-47.9	48.0 ขึ้นไป
20-29	30.0 ลงมา	30.1-33.9	34.0-41.8	41.9-45.7	45.8 ขึ้นไป
30-39	24.8 ลงมา	24.9-28.6	28.7-36.8	36.9-40.1	40.2 ขึ้นไป
40-49	22.0 ลงมา	22.1-25.4	25.5-32.3	32.4-35.7	35.8 ขึ้นไป
50-59	20.3 ลงมา	20.4-22.9	23.0-28.2	28.3-30.8	30.9 ขึ้นไป
60-ขึ้นไป	18.6 ลงมา	18.7-21.6	21.7-27.7	27.8-30.7	30.8 ขึ้นไป

การที่ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใดนั้น มีปัจจัยหลายประการ ดังที่ วิศาล คันธารัตนกุล (2546) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดไว้ดังต่อไปนี้

1. รูปแบบวิธีการออกกำลังกาย (Method of exercise) โดยการออกกำลังกายบนลู่วิ่งไฟฟ้าจะมีผลให้ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้มากกว่าการขี่จักรยานประมาณร้อยละ 10-20

2. กรรมพันธุ์ (Hereditary) เป็นตัวกำหนดค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยการศึกษาในคู่แฝด พบว่า ความเป็นแฝด คือ กรรมพันธุ์ที่มีผลในความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดถึงร้อยละ 40-90

3. เพศ (Gender) ผู้หญิงโดยทั่วไปจะมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่ำกว่าผู้ชายประมาณร้อยละ 15-30

4. อายุ (Age) ผู้ที่มีอายุมากกว่า 25 ปี ค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจะลดลงประมาณร้อยละ 1 ต่อปี แต่หากยังมีกิจกรรมที่หนักหรือยังออกกำลังกายอยู่ ปัจจัยนี้ก็จะไม่มีผลในการลดลงไปมากนัก

5. การฝึกฝน (Training) หากการฝึกนั้นถึงระดับของการพัฒนาระบบพลังงานแบบแอโรบิคและเกิดผลของการฝึกแล้ว จะสามารถเพิ่มความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 6-20

6. องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) โดยผู้ที่มีมวลร่างกาย (Body mass) มากกว่า จะมีค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดที่สูงกว่า แม้แต่เมื่อวัดมวลร่างกายไร้ไขมัน (Lean body mass) ค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดก็ยังสูงกว่าถึงประมาณร้อยละ 20

7. ปัจจัยภายนอกอื่น ๆ (External factors) ที่มีผลต่อปริมาณการบีบตัวของเลือดหรือความเข้มข้นของเลือด เช่น การใช้ยาต้านเบต้า จะทำให้การวัดการใช้ออกซิเจนสูงได้ค่าที่สูงขึ้นเป็นต้น

นอกจากนี้ ประทุม ม่วงมี (2527) ยังได้กล่าวว่า ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายนำไปใช้ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการระบายอากาศของปอด เพราะการระบายอากาศของปอดอาจมีปริมาณเพิ่มขึ้นได้ต่อไปถึงแม้ว่าอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกาย (Oxygen consumption: $\dot{V}O_2$) ได้ถึงขีดสูงสุดแล้ว ดังนั้น ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดว่าปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายนำไปให้กล้ามเนื้อใช้นั้นมากน้อยเพียงใด และปริมาณฮีโมโกลบินในเลือดก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดปริมาณการใช้ออกซิเจน เพราะออกซิเจนเกือบทั้งหมดในเลือดจะเกาะอยู่กับฮีโมโกลบิน ดังนั้น หากมีฮีโมโกลบินมากก็สามารถนำออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อใช้ได้มาก ออกซิเจนจะถูกส่งไปให้กล้ามเนื้อใช้ได้มากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสำคัญ 4 อย่าง คือ

1. ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอด (Minute ventilation) เมื่ออากาศเข้าสู่ปอดมากในขณะออกกำลังกายหรือมีความจุปอด (Vital capacity) เพิ่มขึ้น จะทำให้ความดันของออกซิเจน

ภายในปอดมีมากขึ้น การฟุ้งกระจาย การไหลของก๊าซสู่ระบบการไหลเวียนสะดวกยิ่งขึ้น ออกซิเจนเข้าสู่ภายในเซลล์มากขึ้น

2. ความสามารถของโลหิตที่จะรับออกซิเจนเข้าไปได้ ตัวการสำคัญในการจับออกซิเจนเข้าสู่กระแสโลหิต คือ ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) หากมีจำนวนมากก็สามารถพาออกซิเจนไปใช้ได้มาก

3. ความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อ หมายถึง ความจำเป็นที่จะต้องสร้างพลังงานโดยใช้ออกซิเจนในกิจกรรมที่ต้องออกแรงติดต่อกันเป็นเวลานาน ร่างกายใช้ออกซิเจนจึงต้องมีการนำเอาออกซิเจนจากบรรยากาศมาทดแทนออกซิเจนที่เสียไป

4. ปริมาณเลือดที่ฉีดออกจากหัวใจในเวลา 1 นาที (Cardiac output) หากหัวใจฉีดเลือดออกจากหัวใจมากเท่าใด การใช้ออกซิเจนจะมากไปด้วย

โดยสรุป ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับการกีฬาโดยตรง เนื่องจากธรรมชาติในเกมกีฬาทุกประเภท ย่อมต้องมีการเคลื่อนไหวร่างกาย โดยมีการเคลื่อนไหวมากน้อยแตกต่างกันออกไป ซึ่งการเคลื่อนไหวของร่างกายทั้งหมดจำเป็นต้องอาศัยการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ และสิ่งที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้ ก็คือ ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด รวมทั้งยังเป็นการสะท้อนความอดทนของร่างกายได้เป็นอย่างดี ดังนั้น กีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทนในระดับสูง ใช้เวลาในการแข่งขันอย่างต่อเนื่อง ย่อมจะต้องมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดด้วยเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 2-4 แสดงความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดของนักกีฬาระดับโลกที่ได้เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาในระดับต่าง ๆ สำหรับกีฬาที่ไม่ได้ใช้ระยะเวลาการแข่งขันต่อเนื่องติดต่อกัน แต่เป็นเกมกีฬาที่มีการเคลื่อนไหวในลักษณะที่ใช้ความเร็วที่ไม่แน่นอนและใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ในระหว่างการแข่งขันก็จำเป็นต้องมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูงด้วยเช่นกัน เนื่องจากนักกีฬาที่มีค่าดังกล่าวในระดับสูง จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการฟื้นตัวกลับมาได้อย่างรวดเร็ว หายเหนื่อยได้เร็วขึ้น และที่สำคัญจะมีส่วนช่วยให้ร่างกายสามารถทำงานในระดับความหนักที่สูงได้นานเพิ่มขึ้น เนื่องจากร่างกายสามารถเคลื่อนย้าย กำจัด หรือระบายกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อได้เร็วขึ้น จึงทำให้มีอาการที่เหนื่อยช้า ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการแสดงออกทางความสามารถด้านกีฬาให้เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจึงมีความสัมพันธ์กับเกมการแข่งขันกีฬา ยิ่งร่างกายมีปริมาณของค่านี้มากเท่าไหร่ย่อมแสดงให้

เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจมากเท่านั้น และยังเป็นค่าที่แสดงถึงความอดทนของร่างกายในระดับสูงด้วย

ตารางที่ 2-4 ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดของนักกีฬาระดับโลก (Gibbons, 2011)

รายชื่อนักกีฬา	ประเภทกีฬา	$\dot{V}O_2max$ (ml/kg/min)
Bjorn Daehlie	Cross country skier	90.0
Miguel Indurain	Cyclist (winner of Tou de France)	88.0
John Ngugi	5 times world cross country champ	85.0
Dave Bedford	10 km world record holder	85.0
Steve Prefontaine	1 mile in 3:54:6	84.4
Lance Armstrong	Cyclist (winner of Tou de France)	84.0
Joan Benoit	Marathon runner (2:24:52)	78.6
Bill Rodgers	Marathon runner (2:09:27)	78.5
Sebastian Coe	Middle distance (1 mile WR)	77.0
Grete Waitz	Marathon runner (WR 1980)	73.0
Frank Shorter	Marathon runner	71.0
Derek Clayton	Marathon runner (WR 1969)	69.7

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจกับการออกกำลังกาย

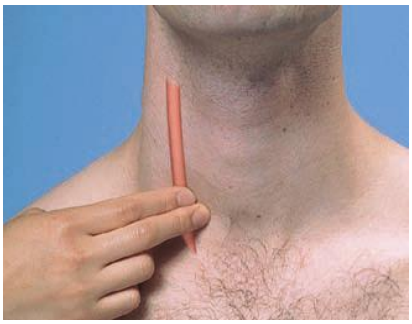
การที่หัวใจสูบฉีดเลือดออกจากห้องล่างซ้าย (Left ventricle) ส่งผลให้เกิดแรงดันไปตามหลอดเลือดแดง และเมื่อหัวใจสูบฉีดอย่างต่อเนื่องก็จะส่งผลให้เกิดแรงดันอย่างต่อเนื่องไปตามหลอดเลือดแดงด้วยเช่นกัน ดังนั้น อัตราการเต้นของหัวใจจึงหมายถึง จำนวนครั้งที่หัวใจห้องล่างซ้ายบีบตัว (Ventricular beat) ในช่วงเวลา 1 นาที โดยการนับจาก ECG, EKG, Stethoscope ด้วยการสัมผัสผิวหนังบริเวณที่เป็นที่ตั้งของหัวใจหรือด้วยการจับชีพจร ดังนั้น อัตราการเต้นของชีพจร จึงหมายถึง อัตราความถี่ของคลื่นแรงดันโลหิตที่มีต่อผนังของหลอดโลหิตแดงนับเป็นครั้งต่อนาที โดยบริเวณที่นิยมจับและวัดชีพจรคือ บริเวณคอ (Carotid artery) และบริเวณข้อมือ (Radial artery) ในคนปกติที่มีสุขภาพดีอัตราการเต้นของชีพจรและอัตราการเต้นของหัวใจจะมีค่าเท่ากัน

แต่ในผู้ที่เป็นโรคหัวใจบางชนิดคลื่นของโลหิตอาจมีน้อยเกินไปจนไม่สามารถรู้สึกได้ในขณะที่จับชีพจรดู อย่างไรก็ดี อัตราการเต้นของชีพจรจะบ่งบอกถึงอัตราการเต้นของหัวใจ (ประทุม ม่วงมี, 2527) สอดคล้องกับ American College of Sports Medicine (2007) กล่าวว่า อัตราการเต้นของหัวใจ คือ จำนวนครั้งของการเต้นของหัวใจต่อนาที ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราความหนักของงาน (Work rate) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายเพิ่มสูงขึ้นด้วย และการเพิ่มขึ้นนั้นจะต้องเกิดจากการออกกำลังกายในเป็นลักษณะที่มีเคลื่อนที่ของร่างกาย (Dynamic exercise) นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจจะมีความสัมพันธ์กับอายุ ระดับของสมรรถภาพทางกาย การเจ็บป่วย รูปร่างของร่างกาย ปริมาณของเลือดในร่างกาย การป่วยด้วยโรคหัวใจ และสภาพแวดล้อมของอุณหภูมิในขณะนั้น เช่น ร้อนหนาว เย็น ร้อนชื้น เป็นต้น ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักของคนปกติจะมีค่าเท่ากับ 60-80 ครั้งต่อนาที โดยที่ผู้หญิงจะมีอัตราการเต้นของหัวใจมากกว่าผู้ชายประมาณ 10 ครั้งต่อนาที เด็กจะมีอัตราการเต้นของหัวใจมากกว่าผู้ใหญ่ ขณะที่ผู้สูงอายุจะมีอัตราการเต้นของหัวใจที่ต่ำ และหากเปรียบเทียบคนในกลุ่มอายุและเพศเดียวกัน คนที่มีความฟิตของร่างกายที่ดีจะมีอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักต่ำกว่าคนที่มีร่างกายไม่ฟิตหรือคนที่ไม่ได้ออกกำลังกาย เนื่องจากคนที่มีความฟิตของร่างกาย จะมีปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกในแต่ละครั้ง (Stroke volume) มากกว่าคนที่ไม่มีความฟิต เป็นผลให้การเต้นของหัวใจไม่จำเป็นต้องเต้นมากครั้ง แต่ยังสามารถรักษาปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกต่อนาที (Cardiac output) ให้เท่าเดิมหรือคงที่เอาไว้ได้ ดังนั้นการวัดอัตราการเต้นของหัวใจจึงสามารถบ่งบอกถึงระดับการทำงานของร่างกายได้ และยังสามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจด้วยการจับชีพจรในตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย โดยการสัมผัสหรือการจับชีพจรที่บริเวณข้อมือ (Radial) หรือคอ (Carotid) การใช้หูฟังโดยใช้ Stethoscope หรือการใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitors) ซึ่งการจับชีพจรจำเป็นต้องอาศัยความรู้สึกของการเต้นของชีพจรจากนิ้วมือที่ 1 หรือ 2 ที่สัมผัสอยู่เหนือเส้นเลือดแดง หากเป็นบริเวณข้อมือจะอยู่ตำแหน่งใกล้กับนิ้วโป้งถัดลงมาทางด้านข้อมือ ส่วนบริเวณคอจะอยู่ใกล้ ๆ กับคอหอย และการนับจำนวนชีพจรให้ทำการจับเวลา 15 วินาทีและนับจำนวนครั้งของชีพจรที่เต้นมีค่าเท่าใดแล้วคูณด้วย 4 จะทำให้ได้อัตราการเต้นของชีพจรที่คิดเป็นครั้งต่อนาที สำหรับการวัดด้วยการใช้หูฟัง จะวางไว้ที่บริเวณหน้าอกข้างซ้ายเหนือระดับหัวนม (Above the level of the nipple) วิธีการนี้จะมีความแม่นยำสูงมากเพราะจะทำให้ได้ยินเสียงจังหวะการเต้นของหัวใจ ส่วนการใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ เครื่องนี้จะมีสายอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องตรวจจับการเต้นหรือการทำงานของหัวใจแล้วนำสายนี้มาคาดไว้ที่บริเวณหน้าอก พร้อมมีนาฬิกาที่สามารถแสดงผล

ของอัตราการเต้นของหัวใจ ดังภาพที่ 2-5 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการเต้นของหัวใจที่มีความแม่นยำค่อนข้างสูงและมีความน่าเชื่อถือได้ และในปัจจุบันนี้ยังมีการผลิตจักรยานวัดงานหรือลู่วิ่งที่มีการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจมาพร้อมกับอุปกรณ์ออกกำลังกาย ทำให้เกิดความสะดวกในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการออกกำลังกายมากยิ่งขึ้น ทำให้สามารถนำไปเปรียบเทียบระดับความหนักในระหว่างการออกกำลังกายได้ทันที (American College of Sports Medicine, 2009) สอดคล้องกับ Plowman and Smith (2008) กล่าวว่า อัตราการเต้นของหัวใจมักจะถูกนำมาใช้ในการประเมินผลของร่างกาย และยังเป็นตัวชี้วัดที่สะท้อนระดับความหนักในการออกกำลังกายได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจจะมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้น จึงได้มีการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายทดแทนการใช้อุปกรณ์ดังกล่าว หรืออาจเรียกว่า การคลำหรือสัมผัสการเต้นของชีพจร (Pulse rate palpation) ก็ได้ และตำแน่งที่นิยมวัดชีพจรก็คือ Carotid artery และ Radial artery โดยแสดงไว้ในภาพที่ 2-6 และ 2-7 นอกจากนี้ ผู้ที่จะใช้เทคนิคการคลำตำแหน่งการจับชีพจรต่าง ๆ จำเป็นต้องมีประสบการณ์ในการจับชีพจรพอสมควร จึงจะสามารถวัดผลของอัตราการเต้นของหัวใจได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น สำหรับการวัดอัตราการเต้นของชีพจรภายหลังการออกกำลังกาย จำเป็นต้องทำการวัดในทันที เนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจจะลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังที่หยุดออกกำลังกาย ดังนั้น ผู้ที่ใช้วิธีการคลำหรือสัมผัสการเต้นของชีพจรในตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย จำเป็นต้องมีการฝึกภาคปฏิบัติเป็นประจำ มีการนับจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้องและสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการจับชีพจร จึงจะทำให้เกิดความแม่นยำและได้ผลของอัตราการเต้นของหัวใจที่ใกล้เคียงกับการออกกำลังกาย

ภาพที่ 2-5 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitors) (Hoeger & Hoeger, 2010)

ภาพที่ 2-6 การจับชีพจรบริเวณข้อมือ (Radial artery) (Hogan, Palm, & Bickley, 2012)



ภาพที่ 2-7 การจับชีพจรบริเวณคอ (Carotid artery) (Hogan et al., 2012)

American College of Sports Medicine (2007) กล่าวว่า เทคนิคการจับวัดอัตราการเต้นของชีพจร สามารถทำการวัดได้โดยใช้การจับเวลา 15 หรือ 30 วินาที แล้วคูณด้วย 4 หรือ 2 ตามลำดับ ก็จะได้อัตราการเต้นของชีพจรต่อนาที ซึ่งการจับชีพจรภายในเวลา 30 วินาทีนั้น จะมีความแม่นยำมากกว่าการจับชีพจรในเวลา 15 วินาที เนื่องจากการจับชีพจรภายในเวลา 30 วินาทีมีโอกาสเกิดการผิดพลาดได้น้อยกว่าการจับชีพจรในเวลา 15 วินาที แต่ถ้าหากจับชีพจรภายหลังการออกกำลังกาย ควรจับชีพจรในเวลา 15 วินาที แล้วคูณด้วย 4 จึงจะทำให้ได้ค่าของอัตราการเต้นของชีพจรต่อนาทีที่มีความใกล้เคียงกับอัตราการเต้นของชีพจรในระหว่างการออกกำลังกายมากที่สุด และควรจับชีพจรทันทีที่หยุดออกกำลังกาย เพราะภายหลังที่หยุดออกกำลังกายอัตราการเต้นของชีพจรจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ในกรณีที่ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากและเกิดการผิดพลาดน้อยที่สุด สมควรใช้อุปกรณ์การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitors) และยังรวมไปถึงการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายให้กับนักกีฬาด้วย ในปัจจุบันนี้ทั้งผู้ฝึกสอน นักวิทยาศาสตร์การกีฬา

หรือผู้ที่ทำหน้าที่เสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย มักนิยมนำอุปกรณ์การวัดอัตราการเต้นของหัวใจมาใช้ในการควบคุมระดับความหนักในการฝึกซ้อม เพราะจะทำให้นักกีฬาได้รับประโยชน์ที่เกิดจากการฝึกซ้อมมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจหรือพัฒนาการทำงานของร่างกายในระบบพลังงานเชิงแอโรบิกหรือพัฒนาความอดทนของร่างกาย มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดระดับความหนักของการฝึกซ้อมที่ชัดเจนและเหมาะสมกับความสามารถของนักกีฬาในแต่ละคน ซึ่งสอดคล้องกับ Burke (1998) กล่าวว่า ในปัจจุบันนี้ การฝึกซ้อมกีฬาตั้งแต่นักกีฬาในระดับเริ่มต้นฝึกซ้อม (Beginner) จนถึงนักกีฬาในระดับที่เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาโอลิมปิค ผู้ฝึกสอนได้ให้ความสำคัญในการนำเทคนิคการวัดอัตราการเต้นของหัวใจด้วยการใช้อุปกรณ์การวัดอัตราการเต้นของหัวใจทั้งในการฝึกซ้อมและการแข่งขัน โดยเปรียบเสมือนเป็นผู้ช่วยผู้ฝึกสอนที่สามารถตรวจสอบและประเมินการทำงานของนักกีฬาในระหว่างการฝึกซ้อมได้ และสามารถวัดผลได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำสูงมาก ซึ่งการวัดอัตราการเต้นของหัวใจจะทำให้ผู้ฝึกสอนกีฬาทราบถึงผลของการฝึกซ้อมและระดับความหนักในการฝึกซ้อม อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาขีดความสามารถของนักกีฬาให้เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังเป็นการสร้างแรงจูงใจ ช่วยกระตุ้นให้นักกีฬาเกิดความมุ่งมั่นในการฝึกซ้อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากทำให้นักกีฬาทราบเป้าหมายของการฝึกซ้อม ทราบระดับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่ร่างกายทำงาน และจะทำให้นักกีฬาต้องใช้ความพยายามควบคุมระดับความหนักในการทำงานของร่างกายเพื่อให้อัตราการเต้นของหัวใจให้อยู่ในช่วงที่กำหนด

Earle and Baechle (2004) กล่าวว่า การใช้อุปกรณ์การวัดอัตราการเต้นของหัวใจกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น เพราะว่ามีความแม่นยำ น่าเชื่อถือ และสามารถบ่งบอกถึงการทำงานของร่างกายได้เป็นอย่างดี แต่อุปกรณ์การวัดอัตราการเต้นของหัวใจมีข้อเสียก็คือ มีราคาค่อนข้างแพง อย่างไรก็ตาม ผู้ที่ทำหน้าที่เสริมสร้างสมรรถภาพทางกายให้กับนักกีฬา อาจใช้เทคนิคหรือวิธีการวัดอัตราการเต้นของชีพจรที่มีประสิทธิภาพและสะดวกที่จะทำการวัดทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกายได้ ซึ่งการออกกำลังกายทุกประเภทจะส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้น และการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจนั้นจะมีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับระดับความหนักของงานที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในร่างกายมีความต้องการออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน สมการในการคำนวณระดับความหนักในการออกกำลังกายโดยใช้อัตราการเต้นของหัวใจในผู้ชายและผู้หญิงที่มีสุขภาพดี คือ 220 - อายุ เรียกว่า อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximal

heart rate) แต่อาจมีความผันแปรได้ทุกช่วงอายุของแต่ละคน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน~±10 ครั้งต่อนาที) (American College of Sports Medicine, 2007; Åstrand et al., 2003)

ประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า คนที่มีร่างกายอยู่ในระดับต่างกันของการออกกำลังกายเชิงแอโรบิกในระดับหนึ่ง อัตราการเต้นของหัวใจในผู้ที่มีร่างกายฟิตกว่าจะน้อยกว่าผู้ที่มีร่างกายไม่ฟิต แสดงให้เห็นว่า หัวใจของผู้ที่มีร่างกายฟิตไม่ต้องทำงานหนักแต่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า และเมื่อปล่อยให้คนกลุ่มนี้ออกกำลังกายไปจนถึงจุดที่เกิดความล้า จะพบว่า จุดที่แต่ละคนต้องหยุดนั้น จะแตกต่างกันออกไป สุดแต่ระดับความฟิตของร่างกาย หัวใจของผู้ที่มีความฟิตสูงกว่าจะแสดงความสามารถด้วยการเต้นด้วยอัตราที่สูงมากซึ่งอาจถึง 200 ครั้งต่อนาที ทำให้ผู้นั้นสามารถออกกำลังกายได้นานกว่าและมากกว่าหัวใจของผู้ที่มีร่างกายไม่ฟิตโดยสามารถที่จะเต้นด้วยอัตราดังกล่าวได้ ดังนั้น จุดที่ผู้ที่มีร่างกายไม่ฟิตที่ต้องหยุดออกกำลังกายอาจมีอัตราการเต้นของหัวใจเพียง 160-180 ครั้งต่อนาทีเท่านั้น เป็นต้น ในคนที่ฟิตจะมี Stroke volume สูง ทำให้หัวใจไม่ต้องเต้นบ่อยครั้งมากนักถึงแม้ว่ามีความสามารถจะเต้นได้ก็ตาม จึงทำให้สามารถสงวนกำลังสำรองไว้ใช้ได้เป็นเวลานานกว่า สอดคล้องกับ Tharp and Woodman (2002) กล่าวว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ระบบพลังงานเชิงแอโรบิก สามารถประเมินได้จากอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการออกกำลังกาย และประเมินจากการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที เพราะว่าการออกกำลังกายที่กำหนดให้มีความหนักของงานในระดับต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal work load) อัตราการเต้นของหัวใจของผู้ที่ได้รับการฝึกซ้อมมาเป็นอย่างดี จะทำงานหรือมีการเต้นที่ได้จำนวนน้อยครั้งแต่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า รวมไปถึงอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย จะมีการฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วหรือมีอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงได้อย่างรวดเร็วและกลับมาสู่ในสภาวะปกติได้เร็วกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกซ้อม

การใช้อัตราการเต้นของหัวใจ สามารถนำมาเป็นเครื่องมือในการชี้วัดปริมาณความหนักของงานที่ออกกำลังกายได้ เนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจจะมีความสัมพันธ์กับระดับความหนักของงานที่กระทำ ดังที่ ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) กล่าวว่า วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ การใช้วิธีการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate method) ซึ่งความมากน้อยของอัตราการเต้นของหัวใจเมื่อมีการออกกำลังกายนั้น สามารถใช้เป็นดรรชนีของงานที่กระทำต่อร่างกายโดยทั่ว ๆ ไปและต่อระบบหัวใจและการหายใจโดยเฉพาะได้ อัตราการเต้นของหัวใจที่สูงขึ้นนั้นหมายถึง การออกกำลังกายที่มีความหนักเพิ่มขึ้นด้วย จึงมีแนวคิดในการกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย (Target heart rate: THR) เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดระดับความหนักในการ

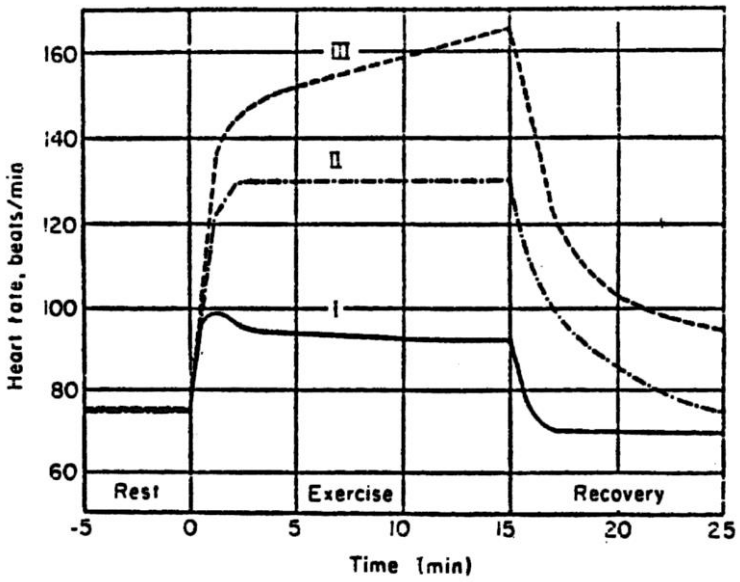
ออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมกีฬา สอดคล้องกับ American College of Sports Medicine (2007) กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราของงานที่เพิ่มขึ้นและปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายในระหว่างการออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเกือบทันที และจะยังคงเพิ่มอยู่เช่นนี้ตลอดระยะของการออกกำลังกาย การเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจในระยะต้นนั้นเกิดจากกลไกทางระบบประสาทที่ส่งมาควบคุมโดยตรง เช่น พลังประสาทที่ส่งมาตามเส้นประสาทออโตโนมิค และในระยะต่อมาส่วนใหญ่เกิดจากกลไกทางรีเฟล็กซ์ เนื่องจากผลผลิตที่เกิดจากการออกกำลังกายที่มากระตุ้น เช่น กรดแลคติก การขาดออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจในการออกกำลังกายในขนาดต่าง ๆ ดังภาพที่ 2-8 แสดงเส้นโค้งของอัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการออกกำลังกายระดับต่างกัน (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์, 2536)

1. การออกกำลังกายในระดับเบา อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นทันทีแต่เพิ่มขึ้นไม่มาก และในเวลาต่อมากลับจะลดลงเล็กน้อย แล้วคงเพิ่มอยู่ด้วยอัตรานั้นตลอดระยะของการออกกำลังกาย ที่เป็นเช่นนี้เกิดจากในช่วงเริ่มต้นออกกำลังกาย หัวใจต้องเตรียมความพร้อมที่จะทำงานมากกว่างานที่ต้องทำจริง แต่เมื่อออกกำลังกายไปได้ระยะเวลาหนึ่ง ร่างกายจะปรับให้พอเหมาะกับงานที่ทำได้ เมื่อหยุดออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะค่อย ๆ เข้าสู่ระดับปกติโดยใช้เวลาเพียง 1-2 นาที เท่านั้น

2. การออกกำลังกายในระดับปานกลาง อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน โดยอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 120-140 ครั้งต่อนาที ขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกาย อัตราที่เพิ่มขึ้นนี้จะคงอยู่ด้วยอัตราค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่ออกกำลังกาย และเมื่อหยุดออกกำลังกายจะค่อย ๆ กลับสู่สภาพปกติ แต่ใช้เวลานานกว่าการออกกำลังกายในระดับเบา อาจใช้เวลานานกว่าสิบนาที อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นในการออกกำลังกายในระดับปานกลางนี้ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการใช้พลังงานของร่างกาย ดังนั้น วิธีหนึ่งที่จะทำให้ทราบอัตราการใช้พลังงานของร่างกายในการออกกำลังกายได้ คือ การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

3. การออกกำลังกายอย่างหนัก อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นสูในระดับสูงโดยทันที แล้วหลังจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดระยะเวลาของการออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะค่อย ๆ ลดลงเช่นกัน แต่ใช้ระยะพักฟื้นยาวนานกว่าการออกกำลังกายในระดับเบาและปานกลาง ในการออกกำลังกายชนิดนี้ร่างกายสามารถทำได้เพียงระยะสั้น เพราะเมื่อทำต่อไปจะทนไม่ไหว อาจเกิดภาวะหัวใจล้มเหลวได้ อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในขณะออกกำลังกายอย่างหนัก จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งที่เรียกว่า อัตรา

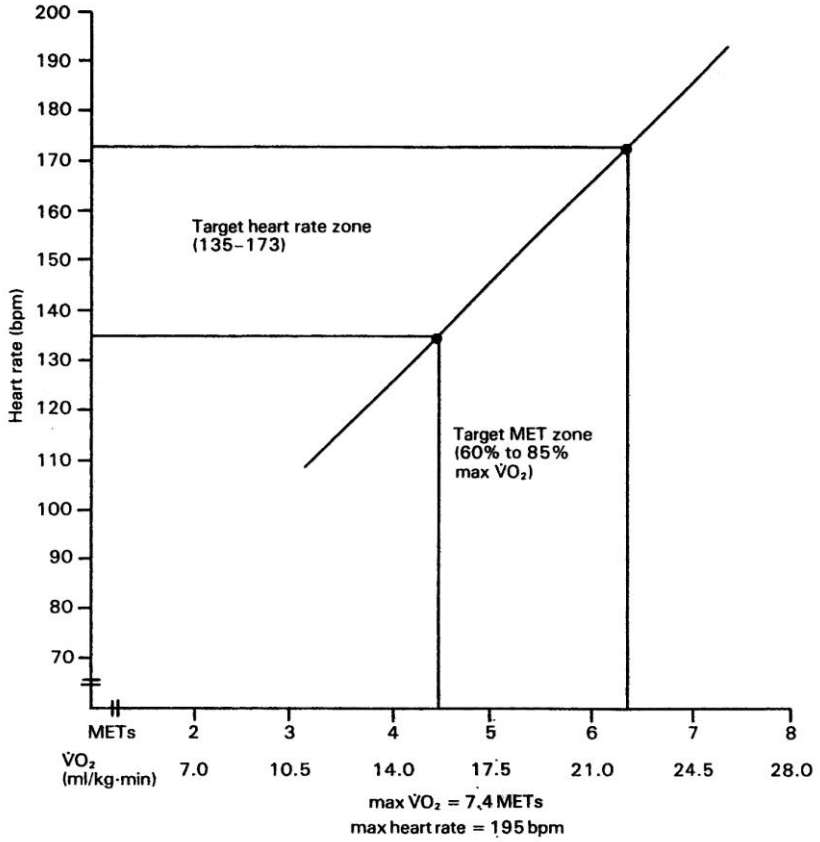
การเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate) ซึ่งในคนปกติหนุ่มสาวอายุ 20 ปี จะมีค่าประมาณ 200 ครั้งต่อนาที และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่ออายุมากขึ้น ผู้สูงอายุวัย 70 ปี จะมีอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเพียง 155 ครั้งต่อนาที อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขึ้นอยู่กับอายุและสภาพของการฝึกซ้อม



ภาพที่ 2-8 เส้นโค้งของอัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการออกกำลังกายระดับต่างกัน คือ 1) ออกกำลังกายอย่างเบา 2) ออกกำลังกายปานกลาง และ 3) ออกกำลังกายอย่างหนัก (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์, 2536)

การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ จะมีความสัมฤทธิ์ผลได้ดีนั้น จะต้องมีการกำหนดระดับความหนักในออกกำลังกายให้มีความเหมาะสม โดยที่ความหนักอยู่ในช่วงร้อยละ 50-80 ของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (50-80% of $\dot{V}O_2max$) และความหนักในระดับนี้เรียกว่า Training threshold ซึ่งความหนักในการออกกำลังกายในช่วงนี้จะสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้เป็นอย่างดี และการควบคุมความหนักในการออกกำลังกายสามารถทำการวัดได้โดยตรงจากการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการออกกำลังกาย ซึ่งการฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกายจำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายของการฝึกซ้อมเพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และการกำหนดเป้าหมายเพื่อพัฒนาการทำงานของระบบหัวใจ

ไหลเวียนเลือดและการหายใจ ควรจะต้องอยู่ในช่วงของความหนักในระดับนี้ และเรียกความหนักในระดับนี้ว่า อัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย (Target heart rate: THR) และในปัจจุบันนี้ การใช้อัตราการเต้นของหัวใจมากำหนดระดับความหนักในการฝึกซ้อมกำลังเป็นที่นิยมกันมากเนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการปฏิบัติ นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจยังมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด และเปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุดด้วย (Powers & Dodd, 2003)



ภาพที่ 2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจที่มีระดับความหนักที่เพิ่มสูงขึ้นกับ METs หรือปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake) (Heyward, 1991)

Heyward (1991) กล่าวว่า เทคนิคการใช้อัตราการเต้นของหัวใจในการกำหนดระดับความหนักในการออกกำลังกาย ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับระดับความหนักในการทำงานของร่างกาย หากระดับความหนักในการออกกำลังกายมากขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นด้วย และการใช้อัตราการเต้นของหัวใจจะสอดคล้องกับการ

กำหนดระดับความหนักของการออกกำลังกายโดยใช้ METs (ค่า METs คือ ปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้ในกระบวนการเมตตาโบลิซึมในช่วง 1 นาที ประมาณ 3.5 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม) (ประทุม ม่วงมี, 2527) โดยค่า METs เป็นหน่วยที่ใช้บอกถึงปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายต้องการใช้ในการให้พลังงานเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับค่าความต้องการออกซิเจนของร่างกายในขณะพัก และการใช้อัตราการเต้นของหัวใจยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้ออกซิเจน ดังภาพที่ 2-9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจที่มีระดับความหนักที่เพิ่มสูงขึ้นกับค่า METs หรือปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake) จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ปริมาณการใช้ออกซิเจนและค่า METs จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยสังเกตที่ตำแหน่งของอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงสุด (195 ครั้งต่อนาที) ปริมาณความหนักของการออกกำลังกายจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเกือบ 28.0 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักต่อนาที และค่า METs อยู่ที่ระดับ 8

การกำหนดปริมาณความหนักของงานที่กระทำในระหว่างการออกกำลังกายหรือฝึกซ้อมกีฬาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการฝึกซ้อม ตัวอย่างเช่น การเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscles strength) สามารถวัดได้โดยการหาค่าความสามารถสูงสุดในการยกน้ำหนักใน 1 ครั้ง หรือเรียกว่า 1-RM (One repetition maximum) แล้วนำปริมาณความหนักที่ยกได้มาเปิดตารางเพื่อให้ได้ค่าความหนักที่มีความเหมาะสมตามเป้าหมายที่จะทำการฝึกความแข็งแรงต่อไป เป็นต้น ส่วนการฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ จะใช้วิธีการวัดค่าความสามารถสูงสุดของร่างกายในการใช้ออกซิเจน แล้วนำค่าที่ได้นั้นมาเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อหาระดับความหนักในการฝึกที่มีความเหมาะสมที่จะพัฒนาความสามารถของร่างกายในการใช้ระบบพลังงานเชิงแอโรบิกต่อไป ซึ่ง Abernethy et al. (2005) กล่าวว่า การพัฒนาความอดทนของร่างกาย หรือการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้เพิ่มขึ้นนั้น จะกำหนดระดับความหนักในการออกกำลังกายไว้ในช่วงร้อยละ 50-85 ของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (50-85% $\dot{V}O_2max$) โดยใช้ระยะเวลา 20-60 นาทีต่อครั้ง ทำการฝึก 3-5 ครั้งต่อสัปดาห์ ส่วนนักกีฬาที่ต้องการพัฒนาการทำงานของระบบนี้ให้เพิ่มขึ้นได้นั้นจะต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกซ้อมให้ยาวนานมากขึ้น อาจมากกว่า 1 ชั่วโมง และต้องปรับระดับความหนักให้เพิ่มขึ้นตามลำดับและอาจมากกว่าร้อยละ 85 ของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ เป็นต้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การหาค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด จำเป็นต้องทดสอบภายในห้องปฏิบัติการที่มีความพร้อมของอุปกรณ์และผู้เชี่ยวชาญใน

การทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำมากที่สุดแล้วจึงนำผลการทดสอบนี้มาเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อหาระดับความหนักในการออกกำลังกายต่อไป สำหรับการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพและทางการกีฬา การที่จะหาระดับความหนักของการออกกำลังกายที่เหมาะสมโดยเทียบจากค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดนั้นจะกระทำได้ยากมาก ดังนั้น จึงได้มีการประยุกต์เพื่อหาระดับความหนักของการออกกำลังกายโดยการใช้อัตราการเต้นของหัวใจมาเป็นตัวชี้วัดทดแทน เนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความหนักของงานที่เพิ่มสูงขึ้นและเป็นสัดส่วนไปในทิศทางเดียวกัน หากใช้ระดับความหนักของงานที่ต่ำ จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจทำงานไม่มากนักแต่ก็ยังคงสูงกว่าในระดับพัก ในทำนองเดียวกัน หากใช้ความหนักของงานที่มาก จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 2-9 โดยสังเกตได้ว่าหากระดับปริมาณการใช้ออกซิเจน ($\dot{V}O_2$) ของร่างกายประมาณ 16 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นประมาณ 135 ครั้งต่อนาที และถ้าหากใช้ความหนักที่มากขึ้น โดยที่ค่าของปริมาณการใช้ออกซิเจน ($\dot{V}O_2$) เพิ่มขึ้นประมาณ 22 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นตามมาเป็น 173 ครั้งต่อนาที จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายเพิ่มขึ้น นั่นแสดงถึงระดับความหนักในการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นด้วยก็จะส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นตามมาด้วยเช่นกัน ดังนั้น การนำอัตราการเต้นของหัวใจมาใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดระดับความหนักในการออกกำลังกายแทนการใช้ค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดนั้น มีความสะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการปฏิบัติ และเกิดความเข้าใจง่ายต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดโปรแกรมการออกกำลังกาย นักวิทยาศาสตร์การกีฬาที่จะนำไปใช้จัดโปรแกรมการฝึกซ้อมหรือออกกำลังกายโดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจต่อไป

การคำนวณระดับความหนักในการออกกำลังกายโดยการใช้อัตราการเต้นของหัวใจ American College of Sports Medicine (2007) ได้เสนอสมการโดยให้นำอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate) คือ 220 - อายุ มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที แล้วนำมาคำนวณหาระดับความหนักในการออกกำลังกาย ตัวอย่างเช่น นาย ก มีอายุ 20 ปี ต้องการออกกำลังกายที่ระดับความหนักร้อยละ 60-80 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และเมื่อคำนวณแล้ว พบว่า นาย ก จะต้องให้อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในช่วง 120-160 ครั้งต่อนาที ตลอดการออกกำลังกาย และการกำหนดระดับความหนักของการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ กำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 70-85 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (70-85% of maximum heart rate) สำหรับคนที่มีสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ดี แต่สำหรับคนที่ไม่ได้ออกกำลังกาย

เป็นประจำหรือมีสุขภาพที่ไม่ดี ควรเริ่มต้นออกกำลังกายที่ระดับความหนักร้อยละ 55-70 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (55-70% of maximum heart rate) โดยที่ Howley and Franks (2003) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด (HR_{max}) กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ($\dot{V}O_2max$) ไว้ในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุดกับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (Howley & Franks, 2003)

เปอร์เซ็นต์ของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (%$\dot{V}O_2max$)	**เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด** (%HR_{max})
50	66
55	70
60	74
65	77
70	81
75	85
80	88
85	92

ดังนั้น การกำหนดระดับความหนักในการออกกำลังกายด้วยการใช้อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ทำให้เกิดสะดวกและง่ายต่อการคำนวณหาระดับความหนักเป็นอย่างมาก เนื่องจากการหาเปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด (%HR_{max}) เพียงนำ 220 มาลบด้วยอายุ แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ตามที่ต้องการได้ และนำไปเปรียบเทียบกับตารางนี้ ตัวอย่างเช่น นาย ข มีอายุ 25 ปี ต้องการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้ดีขึ้น โดยจะต้องพัฒนาที่ระดับร้อยละ 50-85 ของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด จะพบว่า มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 66-92 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และถ้าหากนำไปเปรียบเทียบกับอายุของนาย ข โดยใช้สูตรในการคำนวณ จะได้ดังนี้

สูตรการหาอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด คือ 220 - อายุ

นาย ข อายุ 25 ปี จึงเท่ากับ 220 - 25 = 195 ครั้งต่อนาที

ความหนักร้อยละ 66 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด = 128 ครั้งต่อนาที

ความหนักร้อยละ 92 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด = 179 ครั้งต่อนาที

ดังนั้น นาย ข จะต้องออกกำลังกายเพื่อต้องการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้ดีขึ้นหรือเพิ่มค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดนั้น จะต้องให้อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในช่วง 128-179 ครั้งต่อนาที ตลอดระยะเวลาของการออกกำลังกาย

จะเห็นได้ว่า อัตราการเต้นของหัวใจมีความสัมพันธ์กับปริมาณของงานที่ทำ โดยมีสัดส่วนและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน หากออกกำลังกายที่มีปริมาณของงานที่หนัก อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงข้ามหากออกกำลังกายที่มีปริมาณของงานที่เบา อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยแต่จะไม่สูงมากกว่าปริมาณของงานที่หนักกว่า และการนำเทคนิคการวัดอัตราการเต้นของหัวใจมาเป็นเครื่องมือในการวัดระดับความหนักของงานในระหว่างการออกกำลังกาย จะทำให้ทราบระดับความหนักของงานที่เหมาะสม และยังสามารถควบคุมระดับความหนักของงานให้สอดคล้องและเป็นไปตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ และที่สำคัญที่สุด คือ ทำให้ได้รับผลจากการฝึกหรือการออกกำลังกายที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการใช้เทคนิคการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการฝึกซ้อม จะทำให้มีทิศทางหรือมีแนวทางในการกำหนดเป้าหมายของการฝึกซ้อมที่เหมาะสม รวมทั้งยังมีความสะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการปฏิบัติ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการฝึกซ้อมให้กับนักกีฬาและการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพได้ง่ายกว่าการนำค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมาเป็นเครื่องมือในการกำหนดระดับความหนัก ทั้งนี้ การวัดอัตราการเต้นของหัวใจสามารถกระทำได้อย่างแม่นยำด้วยการใช้เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจหรือการจับชีพจรในตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายได้ ซึ่งควรจะต้องมีทักษะและความชำนาญในการจับชีพจร เพื่อที่จะทำให้เป็นไปตามระดับความหนักของงานที่ทำและบรรลุเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

ผลของการฝึกความอดทนของร่างกายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในเชิงสรีรวิทยา

การกำหนดโปรแกรมการฝึกซ้อมที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับระดับสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาแต่ละคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฝึกซ้อมเพื่อต้องการพัฒนาความอดทนของ

ระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ จะช่วยกระตุ้นให้ร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลงและตอบสนองต่อการฝึก จะทำให้ร่างกายมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการพัฒนาความสามารถของร่างกายในการใช้ระบบพลังงานเชิงแอโรบิก (Aerobic fitness) ให้สูงยิ่งขึ้นนั้น จะเป็นผลดีต่อเกมการแข่งขันกีฬาที่ต้องอาศัยระบบพลังงานเชิงแอโรบิกเป็นหลัก ได้แก่ วิ่งมาราธอน วิ่งทางไกล ปั่นจักรยานทางไกล ว่ายน้ำทางไกล เป็นต้น รวมไปถึงในเกมกีฬาที่มีลักษณะการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วฉับพลันสลับกับการลดความเร็ว หรือมีการเคลื่อนที่สลับกับการหยุดเป็นช่วง ๆ หรือมีใช้ความเร็วที่ไม่แน่นอนตลอดทั้งเกมการแข่งขัน (Intermittent sports) และเมื่อระบบพลังงานนี้ได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ผู้ฝึกสอนสามารถกำหนดโปรแกรมการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายในด้านอื่น ๆ ได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย เนื่องจากนักกีฬาที่มีความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี ในระหว่างทำการฝึกซ้อม ระบบของร่างกายนี้จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างมาก ทำให้กล้ามเนื้อได้รับออกซิเจนเพื่อนำไปผลิตเป็นพลังงานได้อย่างพอเพียงต่อระดับความหนักในการฝึกซ้อม รวมทั้งร่างกายยังเกิดความอดทนต่อความเมื่อยล้าได้ดี ทำให้เหนื่อยช้าลง และยังสามารถทำให้ร่างกายเกิดการฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็ว หายเหนื่อยได้เร็ว จึงทำผู้ฝึกสอนกีฬาสามารถปรับเพิ่มระดับความหนักและปริมาณการฝึกซ้อมได้เพิ่มขึ้น อันจะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพในการพัฒนาการฝึกซ้อมได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลของการฝึกความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในเชิงสรีรวิทยา มีดังต่อไปนี้

1. **ค่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเพิ่มมากขึ้น**

การฝึกความอดทนของร่างกาย (Endurance training) สามารถที่จะพัฒนาความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดให้เพิ่มสูงขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับรายละเอียดของการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมที่มีความเหมาะสมกับนักกีฬา ทั้งในเรื่องของการกำหนดความหนัก ความนาน ความบ่อยครั้ง และรูปแบบการฝึกซ้อม ซึ่งจะส่งผลให้ร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบต่าง ๆ ของร่างกายเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ จะทำให้สามารถรองรับการฝึกซ้อมได้เป็นอย่างดีก่อนที่ร่างกายจะเกิดอาการเมื่อยล้าตามมา รวมทั้งขึ้นอยู่กับระดับสมรรถภาพทางกายในช่วงเริ่มต้นของฝึกซ้อมด้วย และการเพิ่มขึ้นของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด จะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 15 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าจะมีรายงานพบว่า มีการเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ในผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายในระดับต่ำในช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกายหรือในผู้มีน้ำหนักตัวมาก (Overweight) ก่อนที่จะเริ่มทำการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาระบบพลังงานเชิงแอโรบิกก็ตาม

(Hoeger & Hoeger, 2010) สอดคล้องกับ Howley and Franks (2003) กล่าวว่า ผลจากการฝึกความอดทนของร่างกาย จะทำให้ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยตรง และการเพิ่มขึ้นนั้นมีความสัมพันธ์กับช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย สำหรับคนที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ หากมีการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาความอดทนของร่างกายอย่างต่อเนื่อง จะสามารถพัฒนาเพิ่มความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ อันเป็นผลมาจากปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกต่อนาทีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกในแต่ละครั้งนั่นเอง และยังส่งผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจทำงานได้คงที่หรือลดลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ ยังมีเหตุปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเพิ่มสูงขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ก็คือ เซลล์ของกล้ามเนื้อมีความสามารถในการดึงหรือสกัด (Extraction) เพื่อนำออกซิเจนออกจากฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงและยังสามารถนำออกซิเจนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (A-V O_2 Difference หรือ Arteriovenous oxygen difference) โดยสิ่งที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้ล้วนเกิดจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนเส้นเลือดฝอยและไมโตคอนเดรียที่อยู่ภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี โดยที่ ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) กล่าวว่า ภายหลังการฝึกความอดทนของร่างกายเป็นที่ชัดเจนแล้วว่า จะทำให้ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเพิ่มขึ้น ส่วนความมากน้อยของการเพิ่มนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อย่างไรก็ดี โดยเฉลี่ยแล้วพบว่า ในคนวัยหนุ่มสาวที่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกายมาเป็นเวลา 8-12 สัปดาห์ จะทำให้ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเพิ่มขึ้นร้อยละ 5-20 และยังพบอีกว่าความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจะมีค่าที่มากที่สุดในนักกีฬาที่มีการฝึกซ้อมและแข่งขันกีฬาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความอดทนของร่างกาย สอดคล้องกับ Abernethy et al. (2005) กล่าวว่า การฝึกความอดทนของร่างกายเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จะทำให้ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเพิ่มสูงขึ้นประมาณร้อยละ 20-40 โดยร่างกายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและเกิดการตอบสนองของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและเซลล์ของกล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscle cells) ที่เพิ่มขึ้นและมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นด้วย

2. เซลล์กล้ามเนื้อสามารถสกัดออกซิเจนไปใช้ในการทำงานได้เพิ่มขึ้น

การฝึกความอดทนของร่างกาย จะทำให้เซลล์กล้ามเนื้อสามารถสกัดหรือดึงเอาออกซิเจนไปใช้ในการผลิตเป็นพลังงานเพื่อการหดตัวของเซลล์กล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ จะบ่งบอกถึงความสามารถของเซลล์กล้ามเนื้อลายในการดึงหรือสกัดเอาออกซิเจนออกไปใช้ในระหว่างการออกกำลังกายทั้งอัตราการส่งเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ (Muscle blood flow) และความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนในหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อสามารถเพิ่มปริมาณการใช้ออกซิเจนและเพิ่มการทำงานได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ในระหว่างการออกกำลังกาย กล้ามเนื้อยังสามารถรับออกซิเจนได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย เนื่องจากออกซิเจนในกล้ามเนื้อจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว ความแตกต่างของความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือดแดงและในเซลล์กล้ามเนื้อจึงสูง ทำให้ออกซิเจนในเลือดแดงสามารถแพร่กระจายเข้ามาในเซลล์กล้ามเนื้อได้มากขึ้น และที่สำคัญอย่างยิ่งอีกประการหนึ่ง คือ สภาวะของเซลล์กล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกายยังจะช่วยให้ฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงปล่อยออกซิเจนให้กล้ามเนื้อได้มากกว่าในขณะพักอีกด้วย (วัฒนา วัฒนาภา และลือชา บุญทวีกุล, 2548) โดยปกติในเลือดแดง 100 มิลลิลิตร จะมีออกซิเจนอยู่เต็มที่ 20 มิลลิลิตร และเมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะพัก เซลล์ของเนื้อเยื่อจะสกัดเอาออกซิเจนออกไปใช้เพียง 5 มิลลิลิตร และคงเหลือไว้ 15 มิลลิลิตรอยู่ในเลือดดำ แต่ในระหว่างการออกกำลังกาย เซลล์ของเนื้อเยื่อจะสามารถสกัดเอาออกซิเจนไปใช้ได้ถึง 15 มิลลิลิตร หรือเพิ่มมากขึ้นเป็น 3 เท่าของขณะพัก และคงเหลือเพียง 5 มิลลิลิตรไว้ในเลือดดำ จะเห็นได้ว่าในระหว่างการออกกำลังกาย เซลล์ของเนื้อเยื่อจะมีความสามารถที่จะสกัดเอาออกซิเจนไปใช้ในการทำงานได้เพิ่มมากขึ้น (เลียงชัย ลิ่มล้อมวงศ์, 2545)

3. ความสามารถในการขนส่งออกซิเจนในเลือดเพิ่มมากขึ้น

การฝึกความอดทนของร่างกาย จะช่วยเพิ่มความสามารถในการขนส่งออกซิเจนในเลือดได้เพิ่มมากขึ้น โดยในเม็ดเลือดแดง (Red blood cell) จะมีฮีโมโกลบิลเป็นส่วนประกอบและมีหน้าที่ที่สำคัญในการนำพาออกซิเจนไปกับเม็ดเลือดเพื่อที่จะนำไปส่งให้กับอวัยวะเป้าหมายที่ใช้ในการหดตัว (Hoeger & Hoeger, 2010) สอดคล้องกับ Åstrand et al. (2003) กล่าวว่า การฝึกความอดทนของร่างกายจะทำให้ปริมาณเลือด (Blood volume) และฮีโมโกลบินรวม (Total hemoglobin) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นทั้งปริมาณเลือดและฮีโมโกลบินจะทำให้ปริมาณของออกซิเจนภายในเม็ดเลือดเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ร่างกายสามารถนำออกซิเจนไปผลิตเป็นพลังงานได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การฝึกความอดทนของร่างกาย ยังช่วยเพิ่มความหนาแน่นของมัยโอโกลบิน (Myoglobin) ที่อยู่ในเซลล์ของกล้ามเนื้อได้ และมัยโอโกลบินจะทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจนจากเซลล์เมมเบรน (Cell membranes) ไปยังไมโตคอนเดรีย

4. ไมโตคอนเดรียในเซลล์กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น

การฝึกความอดทนของร่างกาย สามารถเพิ่มจำนวนและขนาดของไมโตคอนเดรีย (Mitochondria) ได้ (Kenney et al., 2012) และการเพิ่มขึ้นทั้งจำนวนและขนาดของไมโตคอนเดรีย รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของเส้นเลือดฝอยที่อยู่ในเซลล์ของกล้ามเนื้อนั้น จะส่งผลให้เส้นใยกล้ามเนื้อต่าง ๆ ในร่างกายสามารถผลิตพลังงานเพื่อใช้ในการเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลจากการเพิ่มขึ้นของไมโตคอนเดรียและเส้นเลือดฝอยนั้น มีรายงานจากการศึกษาที่ชัดเจนว่าเกิดจากการเพิ่มขึ้นของเส้นใยกล้ามเนื้อ Type IIa และการลดลงของเส้นใยกล้ามเนื้อ Type IIb และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อในลักษณะของความอดทนได้เพิ่มมากขึ้น โดยที่กล้ามเนื้อสามารถนำไขมันไปใช้ในการสร้างพลังงานได้เป็นอย่างดี ทำให้ร่างกายสามารถสงวนหรือชะลอการใช้ไกลโคเจนเอาไว้ได้ เรียกว่า ไกลโคเจน สแปริ่ง (Glycogen sparing) ส่งผลให้ร่างกายลดการสร้างกรดแลคติก นอกจากนี้ เพดานหรือระดับกั้นของระบบพลังงานเชิงแอโรบิก (Anaerobic threshold) จะมีทิศทางการเคลื่อนตัวไปทางด้านขวา (Shifted to the right) มากขึ้น เป็นผลให้ร่างกายสามารถเพิ่มระยะเวลาในการทำงานออกไปได้ยาวนานเพิ่มขึ้น และเป็นการช่วยชะลอการเกิดอาการเมื่อยล้าของร่างกายได้เป็นอย่างดี (Howley & Franks, 2003) สอดคล้องกับประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า ผู้ที่ออกกำลังกายอยู่เป็นประจำสามารถสร้างพลังงานเชิงแอโรบิกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย เพราะสามารถที่จะเผาผลาญกรดไขมันเพื่อสร้าง ATP ได้ดีกว่า ซึ่งเท่ากับเป็นการชะลอการใช้ไกลโคเจน

Hoeger and Hoeger (2010) กล่าวว่า การฝึกความอดทนของร่างกาย สามารถเพิ่มได้ทั้งจำนวนและขนาดของไมโตคอนเดรียให้มากขึ้นได้ โดยไมโตคอนเดรียจะมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตพลังงานให้กับร่างกายเพื่อใช้ในกระบวนการทำงาน และการที่ไมโตคอนเดรียมีทั้งจำนวนและขนาดเพิ่มมากขึ้นนั้น จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการสร้างพลังงานให้กับกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี ซึ่ง Brooks and Fahey (1987) กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของสารที่อยู่ภายในไมโตคอนเดรีย (Mitochondria material) ในเซลล์กล้ามเนื้อที่เป็นผลมาจากการฝึกความอดทนของร่างกายนั้น ได้มีการทดลองในสัตว์ พบว่า การเพิ่มความสามารถของไมโตคอนเดรียภายในกล้ามเนื้อจะมีความสำคัญมากกว่าการเพิ่มความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด นอกจากนี้ ประทุม ม่วงมี (2547) กล่าวว่า ผลของการฝึกความอดทนที่มีต่อองค์ประกอบที่เกี่ยวกับการเผาผลาญพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (Oxidative metabolism) นั้นมีมากมาย ทั้งการเพิ่มจำนวนและขนาดของไมโตคอนเดรีย ซึ่งสอดคล้องเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มการทำงานโดยรวม

ของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับวงจรเครบส์และการขนส่งออกซิเจน (Krebs cycle and electron transport chain) และการเพิ่มสมรรถนะของไมโตคอนเดรียดังกล่าวเป็นการพัฒนาความอดทนของร่างกายนักกีฬา และการที่ไมโตคอนเดรียเพิ่มมากขึ้น จึงหมายถึง การเพิ่มปริมาณการใช้ออกซิเจนและไขมัน ส่วนคาร์โบไฮเดรทประหยัดลงที่ความหนักของการแข่งขันระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถทำให้ความเมื่อยล้าเกิดช้าลง สอดคล้องกับอนันต์ อัตชู (2520) กล่าวว่า ผู้ที่มีความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี ร่างกายจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรทลดน้อยลง และจะใช้พลังงานจากไขมันเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากกล้ามเนื้อของผู้ที่ได้รับการฝึกอยู่เสมอ จะมีความสามารถในการใช้ไขมันเพิ่มขึ้นและใช้คาร์โบไฮเดรทน้อยลง เพื่อเป็นการเก็บคาร์โบไฮเดรทไว้สำหรับงานที่หนัก ๆ และเพื่อทำงานได้มากยิ่งขึ้น

5. **การทำงานของเส้นเลือดฝอย** (Capillaries) **มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น**

การฝึกความอดทนของร่างกาย สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเส้นเลือดฝอยได้ ซึ่งบริเวณเส้นเลือดฝอยเป็นตำแหน่งที่มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างเลือดกับเซลล์กล้ามเนื้อ และเมื่อเส้นเลือดฝอยมีการเปิดการทำงานมากขึ้น ก็จะสามารถทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้เพิ่มมากขึ้นด้วย และยังช่วยลดอาการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกายได้เป็นอย่างดี รวมไปถึงยังช่วยเพิ่มอัตราความเร็วในการนำของเสียที่เกิดจากการทำงานของร่างกายไปกำจัดออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น และการเพิ่มการทำงานของเส้นเลือดฝอยก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้ที่กล้ามเนื้อของหัวใจอีกด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อหัวใจได้ (Hoeger & Hoeger, 2010) นอกจากนี้ การฝึกความอดทนของร่างกาย ยังทำให้หลอดโลหิตมีความยืดหยุ่นดีขึ้น และปริมาณของเส้นโลหิตฝอยที่จะเปิดเป็นทางผ่านของโลหิตก็มีมากขึ้น (Increase vascularization) ทำให้มีโลหิตไปสู่กล้ามเนื้อต่าง ๆ ที่อยู่ไกลออกไป (Peripheral circulation) มีมากขึ้น (ประทุม ม่วงมี, 2527) สอดคล้องกับชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) กล่าวว่า การฝึกความอดทนของร่างกาย จะทำให้หลอดเลือดฝอยมีความหนาแน่นขึ้นไปอีก โดยพบว่าเส้นใยกล้ามเนื้อของผู้ที่ได้รับการฝึกความอดทนอย่างหนัก จะทำให้มีหลอดเลือดฝอยเพิ่มขึ้น คือ ในคนปกติจะมีหลอดเลือดฝอย 300-350 เส้นต่อกล้ามเนื้อต่อตารางมิลลิเมตร โดยมีหลอดเลือดฝอย 2-4 เส้นอยู่ล้อมรอบเส้นใยกล้ามเนื้อ 1 ใย ภายหลังการฝึกความอดทนอย่างหนักจะทำให้ปริมาณหลอดเลือดฝอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 6 เส้นต่อใยกล้ามเนื้อ 1 ใย สอดคล้องกับ Thompson (1991) กล่าวว่า ผลของการฝึกซ้อมที่มีความเหมาะสมจะสามารถเพิ่มจำนวนของเส้นเลือดฝอยในกล้ามเนื้อได้ และจะส่งผลให้กล้ามเนื้อสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้

ยังมีการศึกษาวิจัยที่ได้ให้ความชัดเจนยิ่งขึ้นเกี่ยวกับผลจากการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาระบบพลังงานเชิงแอโรบิก จะมีผลต่อการเพิ่มความหนาแน่นของเส้นเลือดฝอย ซึ่งจะช่วยให้ร่างกายเกิดการปรับตัวในเชิงสรีรวิทยาในทางที่ดีขึ้นได้ (Baechle & Earle, 2000) สอดคล้องกับ Brown, Miller, and Eason (2006) กล่าวว่า การฝึกความอดทนของร่างกาย จะสามารถทำให้เส้นเลือดฝอยที่อยู่ภายในเซลล์กล้ามเนื้อลายมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ร่างกายสามารถส่งเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ (Muscle blood flow) ได้ดียิ่งขึ้น

6. **ลดระยะเวลาที่จะเข้าสู่สภาวะคงที่** (Steady state) **ในการออกกำลังกายได้**

การฝึกความอดทนของร่างกายสามารถลดระยะเวลาของร่างกายที่จะเข้าสู่จุดสภาวะคงที่ในการออกกำลังกายที่ความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุดได้ นั่นแสดงให้เห็นว่า คนที่มีความอดทนของร่างกายที่ดี เมื่อเริ่มต้นออกกำลังกายจะทำให้ร่างกายเข้าสู่จุดสภาวะคงที่ได้เร็วขึ้น จึงทำให้ร่างกายลดการขาดออกซิเจนในช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย (Oxygen deficit) น้อยลงไป จึงเป็นการชะลอการใช้พลังงานจาก Creatine phosphate (CP) และกระบวนการ Anaerobic glycolysis รวมทั้งยังช่วยลดการเกิดกรดแลคติกที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญพลังงานดังกล่าวด้วย ส่งผลให้สามารถออกกำลังกายได้ยาวนานมากขึ้น (Howley & Franks, 2003) สอดคล้องกับเจริญทัศน์ จินตนเสรี (ม.ป.ป.) กล่าวว่า เมื่อให้คนกลุ่มหนึ่งทำงานโดยใช้ปริมาณงานที่คงที่เท่า ๆ กัน ผู้ที่มีอัตราการเต้นของหัวใจที่อยู่ในระยะสภาวะคงที่ต่ำกว่าย่อมเป็นผู้ที่มีร่างกายที่สมบูรณ์กว่า หรือเมื่อให้ปริมาณงานค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราเดียวกัน ผู้ที่มีอัตราการเพิ่มของอัตราการเต้นของหัวใจน้อยกว่าก็เป็นผู้ที่มีความสมบูรณ์มากกว่า ในการฝึกซ้อมกีฬาการจับอัตราการเต้นของหัวใจจะช่วยบอกถึงระดับความหนักเบาของการฝึกและความสามารถในการฟื้นตัวของผู้เข้ารับการฝึกได้ด้วย

7. **อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักลดลง** (Resting heart rate)

การฝึกความอดทนของร่างกายเป็นประจำสม่ำเสมอ สามารถทำให้อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักลดจำนวนครั้งในการเต้นลงได้ รวมทั้งยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อหัวใจได้เป็นอย่างดีอีกด้วย โดยในสภาวะปกติของร่างกายจะมีการสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจประมาณ 5-6 ลิตรต่อนาที ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการในการใช้พลังงานของร่างกายในขณะพัก และเมื่อทำการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาระบบพลังงานเชิงแอโรบิกอย่างต่อเนื่อง จะทำให้หัวใจเกิดการเปลี่ยนแปลงและตอบสนองต่อการฝึกนั้น ด้วยการเพิ่มทั้งความแข็งแรงและขนาดของห้องหัวใจ และเมื่อกล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรงขึ้น ก็จะส่งผลให้มีการหดตัวได้แรงขึ้นและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลให้ปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกในแต่ละครั้งเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงทันที ซึ่งเป็นการช่วยลดภาระการทำงานของหัวใจได้ และทำให้หัวใจมีระยะเวลาเพิ่ม

มากขึ้นระหว่างการเต้นในแต่ละครั้ง (Hoeger & Hoeger, 2010) สอดคล้องกับชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) กล่าวว่า ภายหลังการฝึกความอดทนของร่างกายในระยะยาว จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักลดลงและอาจจะต่ำกว่า 50 ครั้งต่อนาที เรียกว่า เกิดภาวะ Bradycardia ซึ่งสาเหตุของการที่อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักเต้นช้าลงนั้น อาจเนื่องมาจากปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ 1) การทำงานของ Pacemaker คือ S-A node ลดน้อยลง ซึ่งเกี่ยวกับการเพิ่มปริมาณของอะเซติลโฆลีน และจากการที่หัวใจมีความไวต่อแคติคอลเอมีนน้อยลง และ 2) เพิ่มการทำงานของประสาทพาราซิมพาเธติก (วากัส) ที่มาเลี้ยงหัวใจ ซึ่งเนื่องมาจากประสาทซิมพาเธติกทำงานลดลง นอกจากนี้ การฝึกความอดทนของระบบพลังงานเชิงแอโรบิก ยังสามารถลดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะออกกำลังกายที่มีความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุดประมาณ 10-20 ครั้งต่อนาที อีกด้วย (McArdle, Katch, & Katch, 1994)

8. เพิ่มปริมาณของเลือดที่หัวใจห้องล่างได้

การฝึกความอดทนของร่างกาย สามารถเพิ่มปริมาณของเลือดที่หัวใจห้องล่าง (Ventricle) ได้ ผลจากการเพิ่มปริมาณของเลือดนี้จะส่งผลให้ผลต่างระหว่างปริมาณเลือดในหัวใจก่อนบีบตัว (End-diastolic volume) ของหัวใจห้องล่างซ้ายเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกในแต่ละครั้งเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้การทำงานของหัวใจทำงานลดลงในระหว่างการออกกำลังกายที่มีความหนักของงานในระดับต่ำกว่าสูงสุด รวมไปถึงยังทำให้ปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกต่อนาทียังคงมีค่าเท่าเดิม จึงเป็นการช่วยลดภาระการทำงานของหัวใจให้น้อยลง และยังสามารถส่งออกซิเจนไปให้เนื้อเยื่อได้อย่างเพียงพอ (Hoeger & Hoeger, 2010) ในทางตรงกันข้าม ผู้ที่ไม่ได้มีการฝึกความอดทนของร่างกายหรือไม่ได้เป็นนักกีฬา ในขณะออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเร็วมากกว่านักกีฬา รวมทั้งเกิดอาการเหนื่อยได้เร็วกว่านักกีฬา ทั้งนี้ เพราะหัวใจของนักกีฬาที่ได้รับการฝึกซ้อมมาเป็นอย่างดี จะมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากหัวใจห้องล่างซ้าย (Left ventricle) มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้หัวใจสามารถสูบฉีดเลือดออกไปในแต่ละครั้งได้ปริมาณเลือดเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นผลให้การเต้นของหัวใจทำงานน้อยลง (Janssen, 2001) สอดคล้องกับชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์. (2536) กล่าวว่า เมื่อมีการฝึกความอดทนของร่างกายในระยะยาว จะมีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดภาวะหัวใจขยายตัวเกิน (Hypertrophy) ในนักกีฬาที่ทำการฝึกความอดทน เช่น นักวิ่งระยะไกล จะทำให้ห้องหัวใจของเวนตริเคิลโตขึ้น แต่ผนังของเวนตริเคิลไม่ได้หนาเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงทำให้ปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกในแต่ละครั้งเพิ่มขึ้น เป็นผลให้การทำงานของหัวใจนั้นลดลง แต่ในนักกีฬาที่ไม่ได้ทำการฝึกความอดทน เช่น นักมวยปล้ำ นักทุ่มน้ำหนัก มักจะทำการฝึกแต่การออกกำลังแบบไอโสเมทริค (Isometric

exercise) จะทำให้ห้องหัวใจมีขนาดเท่าเดิม แต่ผนังของเวนตริเคิลหนาขึ้น ดังนั้น ค่าปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกในแต่ละครั้งจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง

9. **เพิ่มความสามารถในการฟื้นตัวของร่างกายได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น**

การฝึกความอดทนของร่างกาย จะช่วยเพิ่มความสามารถในการฟื้นตัวของร่างกายได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ร่างกายของนักกีฬาที่ผ่านการฝึกความอดทนมาเป็นอย่างดี จะใช้ระยะเวลาในการฟื้นตัว (Recovery time) ที่รวดเร็วมากภายหลังการออกกำลังกาย เนื่องจากการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ร่างกายมีการฟื้นตัวที่ดี มีการรักษาความสมดุลภายในร่างกายได้ดีในระหว่างการออกกำลังกาย (Hoeger & Hoeger, 2010) สอดคล้องกับ Martens (1990) กล่าวว่า การที่ร่างกายมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี หรือร่างกายมีความสามารถในการสร้างระบบพลังงานเชิงแอโรบิกได้ดี จะช่วยสนับสนุนให้ร่างกายของนักกีฬามีการฟื้นตัวที่รวดเร็ว (Recovery faster) ขึ้นในระหว่างการแข่งขันและยังสามารถทำการฝึกซ้อมได้อย่างยาวนานมากขึ้นก่อนที่ร่างกายจะเกิดการเมื่อยล้า ส่งผลให้การพัฒนาการฝึกซ้อมกีฬาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

10. **เอ็นไซม์ในการเผาผลาญไขมัน** (Fat-burning enzyme) **เพิ่มมากขึ้น**

การฝึกความอดทนของร่างกาย จะทำให้ร่างกายสามารถผลิตเอ็นไซม์ที่ใช้ในการเผาผลาญไขมันได้เพิ่มขึ้น เอ็นไซม์นี้จะมีความสำคัญอย่างมากต่อการสร้างพลังงานจากกรดไขมัน (Fatty acids) ซึ่งไขมันจะให้พลังงานได้มากกว่าคาร์โบไฮเดรทและโปรตีน หากความเข้มข้นของเอ็นไซม์นี้มีเพิ่มมากขึ้น จะยิ่งส่งผลต่อความสามารถในการเผาผลาญไขมันเพื่อนำมาใช้ผลิตให้เป็นพลังงานให้กับร่างกายได้เพิ่มมากขึ้นด้วย (Hoeger & Hoeger, 2010) สอดคล้องกับ Janssen (2001) กล่าวว่า การฝึกซ้อมหรือการออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายในระบบพลังงานเชิงแอโรบิกให้ดีขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการทำหน้าที่ของเอ็นไซม์ที่จะใช้ในกระบวนการเผาผลาญไขมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ร่างกายได้รับพลังงานจากเผาผลาญไขมันได้เป็นอย่างดี และยังช่วยลดการสร้างกรดแลคติกอีกด้วย

จะเห็นได้ว่า การออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมโดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาความอดทนของร่างกาย โดยต้องกำหนดโปรแกรมการฝึกซ้อมให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับระดับสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาแต่ละคน ทั้งการกำหนดความหนัก ความนาน และความบ่อยครั้งในการฝึกซ้อม จะมีผลต่อการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้เพิ่มสูงขึ้น และยังจะส่งผลทำให้ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย และที่สำคัญจะทำให้นักกีฬาสามารถแสดงศักยภาพการทำงานในระบบ

พลังงานเชิงแอโรบิกได้เป็นอย่างดี มีการฟื้นตัวของร่างกายที่ดี จึงทำให้สามารถรองรับโปรแกรมการฝึกที่มีความเข้มข้นและปรับเพิ่มมากขึ้นได้ อันจะเป็นผลต่อคุณภาพที่ดีของการฝึกซ้อมของนักกีฬา และจะมีผลโดยตรงต่อการแสดงออกซึ่งความสามารถของร่างกาย โดยที่ Reuter (2012) ได้ทำการสรุปผลจากการฝึกความอดทนของร่างกายเป็นประจำอย่างน้อย 30-45 นาทีต่อครั้ง สัปดาห์ละ 3-5 ครั้ง จำนวน 8 สัปดาห์ จะส่งผลให้ระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจเกิดการเปลี่ยนแปลงและตอบสนองต่อการฝึก ดังต่อไปนี้

- สามารถลดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักและลดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะออกกำลังกาย (Exercise heart rate) ได้
- เพิ่มปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกในแต่ละครั้ง (Increase stroke volume)
- เพิ่มปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกต่อนาที (Increase cardiac output)
- เพิ่มความสามารถของอัตราการหายใจในขณะออกกำลังกาย
- เพิ่มความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด
- เพิ่มระดับเพดานหรือระดับกั้นความสามารถของร่างกายในการใช้ระบบพลังงานเชิงแอโรบิก (Anaerobic threshold)
- เพิ่มความสามารถของร่างกายในการออกกำลังกายให้สูงขึ้น
- เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของร่างกาย (Exercise economy) ในระหว่างการออกกำลังกาย
- เพิ่มความสามารถในด้านความอดทนของร่างกาย (Endurance performance)
- การทำงานของหัวใจมีความอดทนเพิ่มมากขึ้น (Heart tolerance)
- ช่วยลดน้ำหนักตัวได้
- ช่วยลดปริมาณไขมันที่สะสมอยู่ในร่างกาย
- ช่วยลดความดันโลหิตสูงได้

นอกจากนี้ Abernethy et al. (2005) กล่าวว่า เมื่อทำการฝึกความอดทนของร่างกายเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง ระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากความสามารถของร่างกายในการขนส่งออกซิเจนไปสู่เซลล์กล้ามเนื้อลายได้เพิ่มมากขึ้น และยังเกิดจากความ สามารถของเซลล์กล้ามเนื้อลายที่นำเอาออกซิเจนไปใช้ในการผลิตให้เป็นพลังงานในระหว่างการออกกำลังกายได้เป็นอย่างดี ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การปรับตัวของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจจากการฝึกความอดทนของร่างกาย

การเปลี่ยนแปลง	ผลที่เกิดขึ้น
- ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด	- เพิ่มความอดทนในการทำงานให้กับร่างกาย
- ลดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักและลดการทำงานของหัวใจในขณะออกกำลังกายที่ความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุด	- ลดภาระการทำงานให้กับหัวใจ
- เพิ่มปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดในแต่ละครั้งทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย	- เพิ่มปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาทีระหว่างการออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุด
- เพิ่มปริมาณเลือดสูงสุดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาที	- เพิ่มปริมาณเลือดและการขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อ
- เพิ่มปริมาณเลือด เพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง และเพิ่มปริมาณของฮีโมโกลบิน	- เพิ่มการขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อ
- เพิ่มการสกัดหรือการนำเอาออกซิเจนจากเลือด	- การขนส่งออกซิเจนไปสู่ไมโตคอนเดรีย
- ลดความหนืดของเลือด	- ทำให้เลือดมีการเคลื่อนที่ได้สะดวกมากขึ้น - เพิ่มปริมาณเลือดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาทีระหว่างการออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุด

(ดัดแปลงจาก Abernethy et al., 2005)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย (Heart rates Recovery: HR_{rec})

ปัจจุบันนี้ มีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงการฟื้นตัวของร่างกายภายหลังการออกกำลังกาย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาถึงขบวนการและวิธีการต่าง ๆ ที่จะทำให้ร่างกายของนักกีฬาเกิดการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็ว เช่น การวิ่งเหยาะ ๆ

การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ การเข้าเซาน่า การนวด การแช่ในน้ำเย็น การแช่ในน้ำร้อน หรือสลับกันระหว่างน้ำเย็นกับน้ำร้อน เป็นต้น โดยกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจก่อนการออกกำลังกายหรืออัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักมาเป็นเครื่องชี้วัดว่าภายหลังการออกกำลังกายจะใช้วิธีการใดและใช้ระยะเวลามากน้อยเพียงใดที่จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงกลับมาเท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจก่อนการออกกำลังกายหรือกลับมาเท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก ซึ่งการที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกายนั้น จะช่วยให้ร่างกายของนักกีฬาสามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกมการแข่งขันกีฬาหรือสามารถใช้เทคนิคทางการกีฬาได้อย่างต่อเนื่อง

สำหรับการศึกษางานวิจัยในชิ้นนี้ มิได้ทำการศึกษาถึงขบวนการหรือวิธีการใด ๆ ที่จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย โดยหาความสัมพันธ์ของผู้ที่มีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดที่มีค่าในระดับแตกต่างกัน (สูง ปานกลาง หรือต่ำ) จะมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจหรือมีจำนวนครั้งของการเต้นของหัวใจที่ลดลงภายหลังการออกกำลังกายทันที โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 1-2 นาทีแรก ที่หยุดออกกำลังกาย ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดและถ้าหากมีความสัมพันธ์กัน ก็จะทำการศึกษาต่อไปว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร

1. **ความหมายของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ**

Dimkpa (2009) กล่าวว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ คือ อัตราการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังออกกำลังกายอย่างหนัก โดยการนับจำนวนครั้งของการเต้นของหัวใจที่ลดลงภายในระยะเวลาที่กำหนด บุคคลใดที่มีอัตราความเร็วของการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็ว สามารถชี้วัดได้ว่าบุคคลนั้นมีสมรรถภาพของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที เป็นวิธีการที่ง่ายต่อการปฏิบัติ สะดวก รวดเร็ว ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน นอกจากนี้ ยังสามารถทำนายถึงความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือดในผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพที่ดีได้อีกด้วย ซึ่งเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายนี้มักจะถูกมองข้ามที่จะนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดถึงระดับความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ สอดคล้องกับ Clover (2001) กล่าวว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ คือ จำนวนครั้งของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ

ภายหลังการออกกำลังกายทันที มีความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการปฏิบัติเป็นอย่างมาก และยังนำไปประเมินระดับความสามารถของร่างกายได้อีกด้วย นอกจากนี้ เทคนิคการวัดดังกล่าวจะเป็นการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ หรือเป็นการประเมินการทำงานของร่างกายในระบบพลังงานเชิงแอโรบิกด้วย และ Craig (2013) กล่าวว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นความสามารถของหัวใจที่จะลดการทำงานกลับมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจในระดับปกติได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกาย ซึ่งร่างกายของคนที่มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี การเต้นของหัวใจจะสามารถฟื้นตัวในอัตราที่รวดเร็วกว่าร่างกายของคนที่ไม่ได้มีการออกกำลังกายเป็นประจำ นอกจากนี้ อัตราการเต้นของหัวใจของคนที่ไม่สามารถฟื้นตัวกลับมาสู่ในสภาวะปกติในเวลาที่เหมาะสม จะสะท้อนถึงความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคหัวใจได้ ซึ่ง American College of Sports Medicine (2009) กล่าวว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่มีความผิดปกติหรือมีอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงช้าเกินไปภายหลังการออกกำลังกายทันที จะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับการทำนายถึงภาวะความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ ซึ่งผู้ที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย (ให้เดินช้า ๆ ภายหลังการออกกำลังกาย) มีจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจน้อยกว่า 12 ครั้งต่อนาที ในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย หรือน้อยกว่า 22 ครั้งต่อนาที ในนาทีที่สองที่หยุดออกกำลังกายทันที (ในท่านอนหงาย) นอกจากนี้ การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที (The first minute of recovery) จะมีความสำคัญยิ่งต่อการประเมินถึงประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายหรือเป็นเครื่องชี้วัดถึงระดับความสามารถของร่างกายได้เป็นอย่างดี รวมทั้งยังสามารถเตือนภัยล่วงหน้าให้กับผู้ที่มีปัญหาโรคหัวใจได้อีกด้วย โดยการวัดอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่หยุดออกกำลังกายแล้วทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจซ้ำอีกครั้งหนึ่งเพื่อประเมินถึงความเร็วในการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจที่จะกลับมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะปกติ (Scott, 2014)

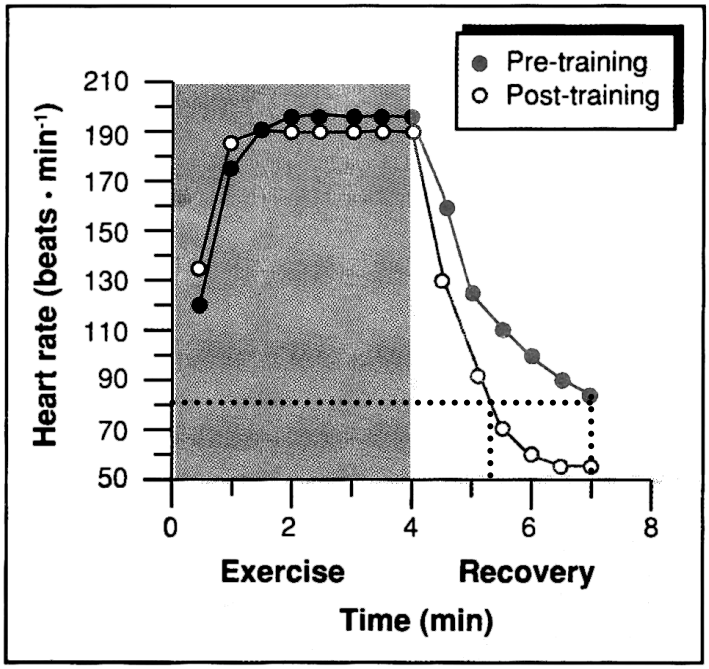
Kenney et al. (2012) กล่าวว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ หมายถึงระยะเวลาที่อัตราการเต้นของหัวใจลดลงภายหลังการออกกำลังกายและกลับมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักหรืออัตราการเต้นของหัวใจก่อนการออกกำลังกาย โดยผู้ที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกาย สามารถสะท้อนถึงการเป็นผู้ที่มีระดับของสมรรถภาพทางกายที่สูงด้วย (Froelicher & Myers, 2006) และ Alexander and Bugler (2012) กล่าวว่า การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจหรือการประเมินความสามารถของร่างกายในการทำงานในระบบพลังงานเชิง

แอโรบิก สามารถทำการตรวจสอบระดับความความฟิตได้ด้วยการใช้อัตราการเต้นของหัวใจ โดยการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักหรือการวัดความเร็วที่ลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที หรือเรียกว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ

Wilmore and Costill (1994) กล่าวว่า ในระหว่างออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นและเป็นสัดส่วนไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณของงานที่กล้ามเนื้อต้องออกแรงกระทำ และเมื่อการออกกำลังกายได้สิ้นสุดลงแล้ว อัตราการเต้นของหัวใจจะยังไม่ลดลงกลับคืนสู่อัตราการเต้นของหัวใจในระดับปกติหรืออัตราการเต้นของหัวใจก่อนออกกำลังกายโดยทันที ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจยังคงทำงานสูงอยู่ในระยะเวลาหนึ่ง และจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ และกลับมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักหรืออัตราการเต้นก่อนการออกกำลังกาย โดยช่วงระยะเวลาที่อัตราการเต้นของหัวใจลดลงนั้น เรียกว่า ช่วงระยะการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rates recovery period) และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬาที่ได้รับการฝึกความอดทนมาเป็นอย่างดี ร่างกายจะเกิดการพัฒนาโดยการเพิ่มอัตราความเร็วของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้ดีขึ้น ดังภาพที่ 2-10 ได้แสดงให้เห็นว่าภายหลังการฝึกความอดทนของร่างกาย นักกีฬาที่ได้รับการฝึกซ้อมมาเป็นอย่างดี และภายหลังการออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะลดลงได้อย่างรวดเร็วมากกว่าก่อนที่จะได้รับการฝึกความอดทนของร่างกาย โดยการฝึกซ้อมที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุดและการฝึกที่ระดับความหนักสูงสุด จะสามารถพัฒนาอัตราความเร็วของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้เป็นอย่างดี และที่สำคัญที่สุดนั่นก็คือ การฟื้นตัวของร่างกายจะใช้ระยะเวลาที่สั้นลง เป็นสิ่งที่สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้ นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นว่า ภายหลังการฝึกความอดทนของร่างกายมาเป็นอย่างดี จะส่งผลต่อร่างกาย ดังนี้

- ลดการทำงานของหัวใจให้น้อยลงในการออกกำลังกายที่มีความหนักของงานที่เท่าเดิม แสดงว่าร่างกายเกิดความเหนื่อยน้อยลง และลดการใช้พลังงานลงไป ทำให้ร่างกายลดการนำสารอาหารมาใช้ผลิตเป็นพลังงาน และจะส่งผลต่อระยะเวลาในการออกกำลังกายได้ยาวนานเพิ่มมากขึ้น
- การใช้ระยะเวลาในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจนั้นน้อยลง ซึ่งทำให้ร่างกายเกิดการฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งก่อนการฝึกความอดทนของร่างกาย การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจจะใช้เวลาประมาณ 3 นาที จึงจะลงมาสู่ในระดับ 80 ครั้งต่อนาที แต่ภายหลัง

การฝึกความอดทน พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจจะใช้ระยะเวลาไม่ถึง 2 นาที ก็จะลงมาสู่ในระดับ 80 ครั้งต่อนาที



ภาพที่ 2-10 ความเปลี่ยนแปลงในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจของนักกีฬาที่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกาย (Wilmore & Costill, 1994)

Kenney et al. (2012) กล่าวว่า คนที่มีระดับความฟิตของร่างกายมากจะมีอัตราความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็วมากกว่าคนที่ไม่มีความฟิตของร่างกาย รวมทั้งยังใช้ระยะเวลาในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่น้อยกว่าอีกด้วย สอดคล้องกับ Siedentop (2003) กล่าวว่า การตรวจสอบระดับความฟิตหรือความสามารถของร่างกาย สามารถทำการตรวจสอบได้โดยการวัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที คนที่มีระดับความฟิตของร่างกายมาก การลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจจะมีอัตราความเร็วที่สูงมาก และสามารถกลับมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักได้อย่างรวดเร็วมากกว่าคนที่มีระดับความฟิตของร่างกายน้อย

Lauer (2002) กล่าวว่า เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการชี้วัดประสิทธิภาพในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้ โดยนักกีฬาที่มีสมรรถภาพทางกายที่ดี จะมีอัตราความเร็ว

ของการฟื้นตัวของหัวใจได้ดีกว่านักกีฬาที่มีสมรรถภาพทางกายที่ต่ำหรือไม่ฟิต อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากผลของการฝึกความอดทนของร่างกายแล้ว ยังมีปัจจัยด้านอื่นที่ต้องนำมาพิจารณาถึงความเปลี่ยนแปลงของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจด้วย เช่น การออกกำลังกาย สภาพอากาศร้อน หรือการออกกำลังกายในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล เป็นต้น โดยที่การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ นั่นก็คือ ความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจที่ทำงานได้สูงสุดภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก กับ อัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที ซึ่งภายหลังหยุดออกกำลังกายแล้วควรจะต้องมีการเดินอย่างช้า ๆ ต่อไปอีกอย่างน้อย 2 นาทีก่อนที่จะหยุดเคลื่อนไหวของร่างกายทั้งหมด

จะเห็นได้ว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rates recovery: HR_{rec}) ก็คือผลต่างของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุดภายหลังหยุดออกกำลังกายทันที (PHR) กับอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการพัก (HR_{rest}) โดยจะทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังที่หยุดออกกำลังกายทันที แล้วบันทึกเป็นค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงสุด (PHR) และจับเวลาพักตามระยะเวลาที่กำหนด แล้วทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจซ้ำอีกครั้ง แล้วทำการประเมินจำนวนครั้งของการเต้นของหัวใจที่ลดลงในระยะเวลาที่กำหนดไว้ ตามสูตรคำนวณ ดังนี้

$$HR_{rec} = PHR - HR_{rest}$$

โดยที่

HR_{rec} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย

PHR หมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุดภายหลังที่หยุดออกกำลังกายทันที

HR_{rest} หมายถึง จำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการพักตามระยะเวลาที่กำหนดไว้

ตัวอย่างเช่น นักกีฬามีอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุดภายหลังที่หยุดออกกำลังกายทันที (PHR) เท่ากับ 185 ครั้งต่อนาที และให้พักเป็นเวลา 1 นาที (เป็นการพักในนาทีที่ 1) แล้วทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจอีกครั้งได้เท่ากับ 155 ครั้งต่อนาที (HR_{rest1}) แล้วพักต่ออีก 1 นาที (เป็นการพักในนาทีที่ 2) แล้ววัดอัตราการเต้นของหัวใจซ้ำอีกครั้งได้เท่ากับ 130

ครั้งต่อนาที (HR_{rest2}) ซึ่งสรุปได้ว่า PHR เท่ากับ 185 ครั้งต่อนาที, HR_{rest1} เท่ากับ 155 ครั้งต่อนาที, และ HR_{rest2} เท่ากับ 130 ครั้งต่อนาที แล้วนำค่ามาคำนวณได้ดังนี้

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังที่หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 1 (HR_{rec1})

$= PHR - HR_{rest1}$

$= 185 - 155$

$= 30$ ครั้งต่อนาที

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังที่หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 2 (HR_{rec2})

$= PHR - HR_{rest2}$

$= 185 - 130$

$= 55$ ครั้งต่อนาที

ดังนั้น การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังที่หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 30 ครั้งต่อนาที และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังที่หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 55 ครั้งต่อนาที

2. กระบวนการฟื้นตัวของร่างกายภายหลังการออกกำลังกาย

เมื่อร่างกายมีการเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นเพื่อนำไปผลิตเป็นพลังงาน ร่างกายจึงต้องมีการปรับตัวให้สอดคล้องกับระดับความหนักของงานที่ทำในขณะออกกำลังกาย ซึ่งในการปรับตัวของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกาย ทั้งระบบหัวใจไหลเวียนเลือด (Cardiovascular system) และระบบหายใจ (Respiratory system) จะประสานการทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ ด้วยการเพิ่มอัตราการหายใจ (Respiratory rate) เพื่อให้ได้ปริมาณออกซิเจนจากภายนอกเข้ามาสู่ปอดเพิ่มมากขึ้นแล้วทำการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอด และหัวใจจะทำหน้าที่สูบฉีดเลือดที่มีออกซิเจนในปริมาณสูงไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ เนื่องจากเนื้อเยื่อที่มีการทำงานจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนและสารอาหารเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลทำให้อัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกายเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อหัวใจทำงานสูบฉีดเลือดเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้นตามมาด้วย และเมื่อเนื้อเยื่อได้ใช้ออกซิเจนและสารอาหารไปแล้ว ก็จะมีการแลกเปลี่ยนก๊าซและของเสียที่บริเวณเส้นเลือดฝอย ซึ่งเลือดที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยก็จะไหลกลับมาสู่หัวใจอีกครั้ง จึงเป็นผลทำให้อัตราการไหลของเลือดกลับเข้าสู่หัวใจ (Venous return) เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ ในขณะที่เนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อมีการทำงานอย่างต่อเนื่อง ร่างกายก็จะต้องมีการเผาผลาญสารอาหารต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นสารที่ให้พลังงานสูง คือ อะดีโนซิน ไตรฟอสเฟส (ATP) และครีเอตีน ฟอสเฟส (CP) ซึ่งเป็นสาร

ที่สำคัญอย่างยิ่งในการใช้เป็นพลังงานเพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวได้อย่างต่อเนื่อง และเมื่อหยุดออกกำลังกายแล้ว ร่างกายก็ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนและสารอาหารต่าง ๆ มากกว่าที่ร่างกายอยู่ในสภาวะปกติแล้ว ระบบต่าง ๆ ของร่างกายก็จะมีการปรับตัวให้มีการทำงานที่ลดลง เพื่อให้ร่างกายกลับมาสู่ในสภาวะปกติ ไม่ว่าจะเป็นอัตราการหายใจ การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ การไหลของเลือดกลับเข้าสู่หัวใจ และอัตราการเต้นของหัวใจ ก็จะมีการทำงานที่ลดลงเพื่อที่จะรักษาความสมดุลของร่างกายให้คงไว้ ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกายที่เกิดขึ้นภายหลังจากการออกกำลังกายจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติและถูกควบคุมโดยระบบประสาท (Nervous system) ดังนั้น บุคคลใดที่ร่างกายมีการปรับการทำงานลดลงได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกาย สามารถชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจของคนคนนั้นได้เป็นอย่างดี

Plowman and Smith (2008) กล่าวว่า เมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย ปฏิกิริยาประการแรกของระบบภายในร่างกายที่ตอบสนองต่อการออกกำลังกาย ก็คือ ระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ โดยจะเริ่มทำงานเพิ่มขึ้น ด้วยการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจให้สูงขึ้นในทันที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความหนักและความนานของการออกกำลังกาย หากกิจกรรมการออกกำลังกายมีความหนักในระดับต่ำถึงปานกลาง อัตราการเต้นของหัวใจจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ แต่ถ้าหากกิจกรรมที่มีความหนักค่อนข้างสูง อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเซลล์กล้ามเนื้อมีความต้องการออกซิเจนและสารอาหารที่อยู่ในเม็ดเลือดเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ส่วนระดับของกรดแลคติกที่เกิดขึ้นภายในร่างกายนั้น เป็นผลที่เกิดจากกระบวนการทำงานของร่างกายที่มีความหนักค่อนข้างสูง และร่างกายไม่สามารถนำออกซิเจนไปใช้ผลิตให้เป็นพลังงานได้ทันตามความต้องการของกล้ามเนื้อ จึงทำให้ร่างกายต้องสลายไกลโคเจนโดยผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis metabolism) และจะทำให้กลายเป็นพรัยรูเวต (Pyruvate) แล้วกลายเป็นกรดแลคติก (Lactic acid) ในลำดับต่อไป (Silverthorn, 2007) โดยจะไปสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและค่อย ๆ ฟุ้งกระจายไปในกระแสเลือด และจะไปขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดอาการปวดเมื่อยล้าได้ นั่นแสดงให้เห็นว่า เมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย ระดับของอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นโดยทันที และจะเกิดขึ้นก่อนที่ระดับของกรดแลคติกจะสะสมเพิ่มขึ้นในร่างกาย

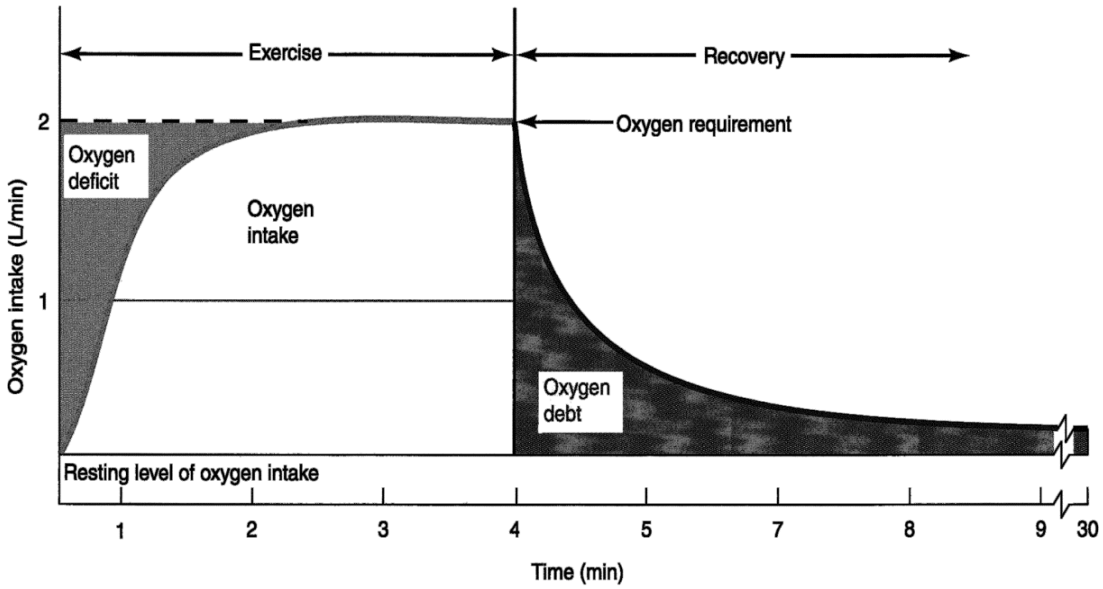
กระบวนในการฟื้นตัวของร่างกายภายหลังการออกกำลังกาย จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption) ปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไป (Oxygen

deficit) และปริมาณการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับระดับความหนัก ระยะเวลาของกิจกรรมการออกกำลังกาย และระดับสมรรถภาพทางกายของแต่ละคนด้วย โดยที่ปริมาณการใช้ออกซิเจนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับระดับความหนักของงาน หากมีความหนักของงานที่หนัก ร่างกายก็มีความต้องการใช้ออกซิเจนในปริมาณที่มากด้วยเช่นกัน ส่วนปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไป (Oxygen deficit) นั้น เมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย ร่างกายจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น แต่การได้มาซึ่งออกซิเจนนั้นยังมีความเร็วไม่เพียงพอต่อความต้องการของกล้ามเนื้อ และร่างกายไม่สามารถนำออกซิเจนไปใช้ผลิตเป็นพลังงานในระบบพลังงานเชิงแอโรบิกได้ทันกับความต้องการของร่างกาย จึงต้องปรับเปลี่ยนมาใช้ในระบบพลังงานเชิงแอนแอโรบิกแทน ร่างกายจึงจำเป็นต้องจัดหาสารที่มาสร้างพลังงานให้กับกล้ามเนื้อเพื่อใช้ในการหดตัว โดยนำมาจากครีเอตีน ฟอสเฟส (Creatine phosphate) ที่อยู่ในกล้ามเนื้อ ออกซิเจนที่อยู่ในมัยโอโกลบิน (Myoglobin) และฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) (Alexander and Bugler, 2012) ส่วนปริมาณการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) นั้นจะเกิดขึ้นภายหลังจากการที่หยุดออกกำลังกายแล้ว และเป็นปริมาณของออกซิเจนที่จะต้องนำไปชดใช้คืนที่ร่างกายได้ดึงออกซิเจนออกมาใช้ก่อน โดยนำออกซิเจนเพื่อไปเคลื่อนย้ายกรดแลคติก นำไปสังเคราะห์ ATP และ ครีเอตีน ฟอสเฟส (Creatine phosphate) ให้กลับมาอยู่ในสภาวะปกติ และนำไปชดเชยออกซิเจนที่ได้นำมาจากมัยโอโกลบิน (Silverthorn, 2007)

ประทุม ม่วงมี (2527) ได้ให้ความหมายของคำว่า ออกซิเจนเด๊ป (Oxygen debt) คือ ออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย เป็นปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายนำเข้าไปในช่วงหลังของการออกกำลังกายที่ได้สิ้นสุดลงแล้ว ซึ่งเป็นปริมาณของออกซิเจนที่นอกเหนือไปจากปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายต้องใช้ในขณะพักผ่อน และถือว่าเป็นการจ่ายคืนหรือชดเชยออกซิเจนให้กับร่างกาย และความหมายของคำว่า ออกซิเจนดิฟิซิท (Oxygen deficit) คือ ออกซิเจนที่ขาดหายไปเป็นปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายควรจะได้รับเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสร้างพลังงานในการทำกิจกรรมหนึ่ง ๆ แต่ระบบหายใจและไหลเวียนเลือดยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการนั้นได้ทัน จึงทำให้ร่างกายจะต้องไปดึงออกซิเจนจากส่วนอื่นมาใช้ก่อน ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงต้นของการออกกำลังกายหรือเกิดขึ้นในช่วงที่ร่างกายมีการปรับเปลี่ยนระดับความหนักที่เพิ่มขึ้น

สำหรับคำว่า ออกซิเจนเด๊ป (Oxygen debt) นั้น Powers and Howley (2004) กล่าวว่า Hill เป็นนักสรีรวิทยาของประเทศอังกฤษที่มีชื่อเสียงโด่งดังอย่างมาก และยังเป็นบุคคลแรกที่ได้นำคำว่า ออกซิเจนเด๊ป มาใช้ โดยได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า ภายหลังที่หยุดออกกำลังกาย ร่างกายมี

ความจำเป็นต้องใช้ปริมาณของออกซิเจนมากกว่าในขณะพัก โดยจะต้องนำไปจ่ายคืนเพื่อชดเชยให้กับร่างกายที่ในช่วงต้น ๆ ที่ได้มีการออกกำลังกายไปและเป็นช่วงที่ร่างกายขาดออกซิเจน (Oxygen deficit) นอกจากคำว่า ออกซิเจนเด๊ป (Oxygen debt) แล้วยังสามารถเรียกชื่อได้อีกว่า Excess postexercise oxygen consumption (EPOC) หรือ Recovery oxygen uptake (McArdle, Katch, & Katch, 2006; Silverthorn, 2007)

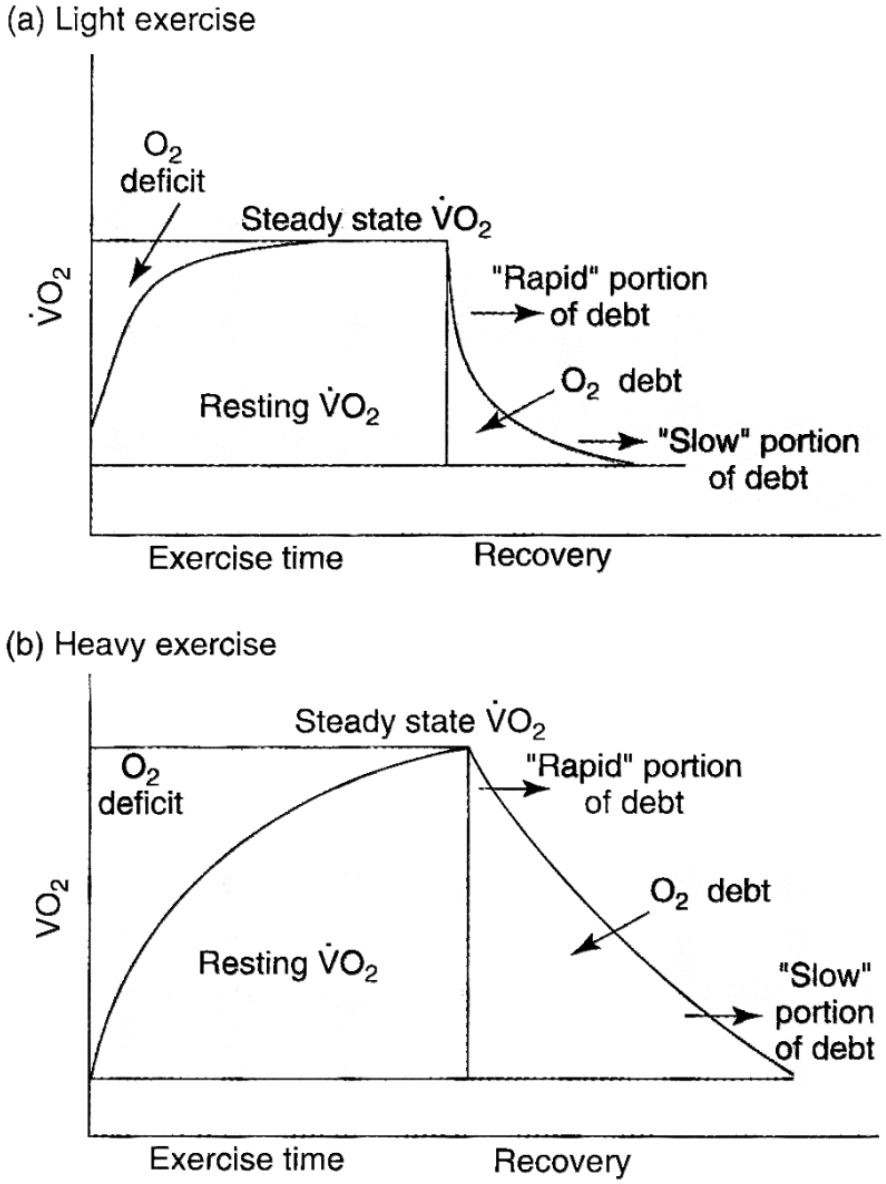


ภาพที่ 2-11 ปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen intake) ปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไปในขณะออกกำลังกาย (Oxygen deficit) และปริมาณการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) (Sharkey & Gaskill, 2013)

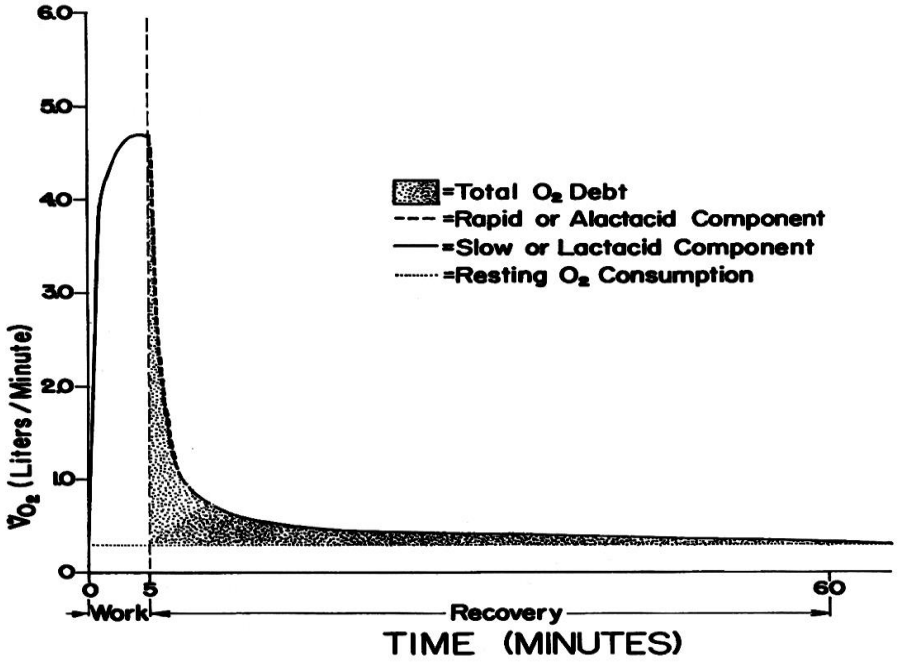
ประทุม ม่วงมี (2527) ได้กล่าวถึงระยะเวลาในการฟื้นตัวของร่างกาย (Recovery period) ไว้ว่า เป็นช่วงเวลาภายหลังจากการออกกำลังกายได้สิ้นสุดลงแล้ว และเป็นระยะเวลาที่ผู้ออกกำลังกายใช้เวลาสำหรับการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) ออกซิเจนจำนวนนี้ใช้สำหรับจ่ายคืนจำนวนออกซิเจนที่ร่างกายควรจะได้รับในขณะออกกำลังกาย แต่เนื่องจากมีขีดจำกัดที่ไม่สามารถรับเข้าไปได้ทัน จึงจำเป็นต้องยอมเป็นหนี้ไว้ก่อน ดังนั้น ในขณะออกกำลังกายร่างกายต้องการออกซิเจนจำนวนหนึ่ง แต่สามารถรับเข้าไปได้น้อยกว่าปริมาณที่ต้องการ ทำให้ออกซิเจนขาดหายไปอีกจำนวนหนึ่ง นักสรีรวิทยาของการออกกำลังกาย

เรียกปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไปในขณะออกกำลังกายนี้ว่า ออกซิเจนดิฟิซิท (Oxygen deficit) ซึ่งจะต้องมีการจ่ายคืนในช่วงการฟื้นตัวของร่างกาย ดังภาพที่ 2-11

Powers and Howley (2004) กล่าวว่า ภายหลังที่หยุดออกกำลังกาย กระบวนการเผาผลาญพลังงานของร่างกายยังคงสูงอยู่ต่อไปอีกหลายนาที ขึ้นอยู่กับปริมาณความหนักและความนานของกิจกรรมการออกกำลังกาย ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2-12 จะสังเกตได้ว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจนยังคงสูงอยู่อย่างมากภายหลังการออกกำลังกายที่มีความหนักในระดับหนัก (b) และจะต้องใช้ระยะเวลานานกว่าการออกกำลังกายที่มีความหนักในระดับเบา (a) นอกจากนี้ ภายหลังที่หยุดออกกำลังกายทันที อัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจ ก็ยังคงสูงกว่าในระดับพักและใช้ระยะเวลาต่อไปอีกหลายนาที ซึ่งการที่อัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจยังคงสูงอยู่นั้น แสดงถึงร่างกายยังต้องการออกซิเจนอยู่ในขณะนั้น รวมไปถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อปริมาณการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) หรือ EPOC ได้แก่ อุณหภูมิของร่างกายและฮอร์โมนด้วย นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นอีกว่า ความหนักของงานที่หนัก (b) ร่างกายต้องการใช้ออกซิเจนในปริมาณที่มากกว่าความหนักของงานที่เบา (a) โดยที่ความหนักของงานที่หนักและใช้ระยะเวลาสั้น ๆ นั้นเป็นออกกำลังกายที่ใช้ระบบพลังงานเชิงแอนแอโรบิก (Anaerobic system) เป็นหลัก ซึ่งในขณะออกกำลังกายร่างกายมีความต้องการออกซิเจนจำนวนหนึ่ง แต่ร่างกายสามารถรับออกซิเจนเข้าไปได้น้อยกว่าปริมาณที่ร่างกายต้องการ เป็นผลให้ออกซิเจนขาดหายไปจำนวนหนึ่ง โดยเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงที่ปริมาณของออกซิเจนขาดหายไปหรือออกซิเจนดิฟิซิท และสังเกตได้ว่า การออกกำลังกายที่มีความหนักของงานที่หนัก จะมีพื้นที่ปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไปมากกว่าการออกกำลังกายที่มีความหนักของงานที่เบา และเมื่อหยุดออกกำลังกาย กระบวนการต่าง ๆ ของร่างกายยังคงทำงานสูงอยู่ในระยะเวลาหนึ่งและจะค่อย ๆ ลดลงกลับมาสู่ในสภาวะปกติ ทั้งอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจภายหลังการออกกำลังกาย ก็ยังคงทำงานสูงอยู่เพื่อที่จะนำออกซิเจนไปชดเชยในส่วนที่ขาดหายไปในช่วงแรกของการออกกำลังกาย เรียกในช่วงระยะนี้ว่า ช่วงการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย โดยที่ออกซิเจนจำนวนนี้ใช้สำหรับจ่ายคืนจำนวนออกซิเจนที่ร่างกายควรจะได้รับในช่วงต้นของการออกกำลังกายหรือในช่วงที่มีการปรับเพิ่มระดับความหนักให้มากขึ้น และสังเกตได้ว่า การออกกำลังกายที่มีความหนักของงานที่หนัก จะมีพื้นที่ปริมาณของออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกายและต้องจ่ายคืนให้กับร่างกายมากกว่าการออกกำลังกายที่มีความหนักของงานที่เบา



ภาพที่ 2-12 ปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไป (Oxygen deficit) และปริมาณการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) ในระหว่างการออกกำลังกายที่มีความหนักระดับปานกลาง (Light/moderate exercise) (a) และความหนักระดับหนักมาก (Heavy exercise) (b) (Powers & Howley, 2004)



ภาพที่ 2-13 การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย จำนวนออกซิเจนที่ใช้ในขณะพักหรือในขณะฟื้นตัวของร่างกาย ซึ่งการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ช่วงแรกจะเป็นการจ่ายคืนอย่างรวดเร็ว หรือเรียกว่า อะแลคตาซิด (Alactacid) และส่วนช่วงที่สองจะเป็นการจ่ายคืนอย่างช้า ๆ หรือเรียกว่า แลคตาซิด (Lactacid) (Fox & Mathews, 1981)

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์ (2536) และ Fox and Mathews (1981) กล่าวว่า ภายหลังที่หยุดออกกำลังกาย ระดับของการใช้ออกซิเจนจะยังคงสูงอยู่ต่อไปอีกในช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วจะค่อย ๆ ลดลงสู่ในระดับปกติ ทั้งนี้ เป็นเพราะร่างกายมีความจำเป็นต้องนำออกซิเจนเข้าไปชดเชยกับการที่ร่างกายเป็นหนี้ออกซิเจนในช่วงต้นของการออกกำลังกาย ดังภาพที่ 2-13 สังเกตได้ว่า การใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนักนั้นจะค่อย ๆ ลดลง นั่นก็คือ อัตราการใช้ออกซิเจนจะยังไม่คงที่ในช่วงของการฟื้นตัวของร่างกาย ซึ่งการฟื้นตัวในช่วง 2-3 นาทีแรกนั้น การใช้ออกซิเจนจะค่อย ๆ ลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้น จะลดลงอย่างช้า ๆ โดยการลดลงอย่างรวดเร็วในระยะแรกนั้นเรียกว่า Alactacid oxygen debt component ในขณะที่การลดลงอย่างช้า ๆ ในระยะหลังนั้น เรียกว่า Lactacid oxygen debt component เนื่องจากการชดเชยออกซิเจนในระยะแรกไม่เกี่ยวข้องกับการคั่งของกรดแลคติก แต่การชดเชยออกซิเจนที่เป็นหนี้ในระยะหลังนั้นจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกที่คั่งอยู่ในกล้ามเนื้อและ

เลือดออกไป นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงในระยะการฟื้นตัวของระบบหายใจภายหลังการออกกำลังกาย ก็คือ เมื่อหยุดออกกำลังกายแล้ว การระบายอากาศจะค่อย ๆ ลดลงสู่ระดับปกติ แต่ยังคงสูงกว่าระดับก่อนการออกกำลังกาย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ

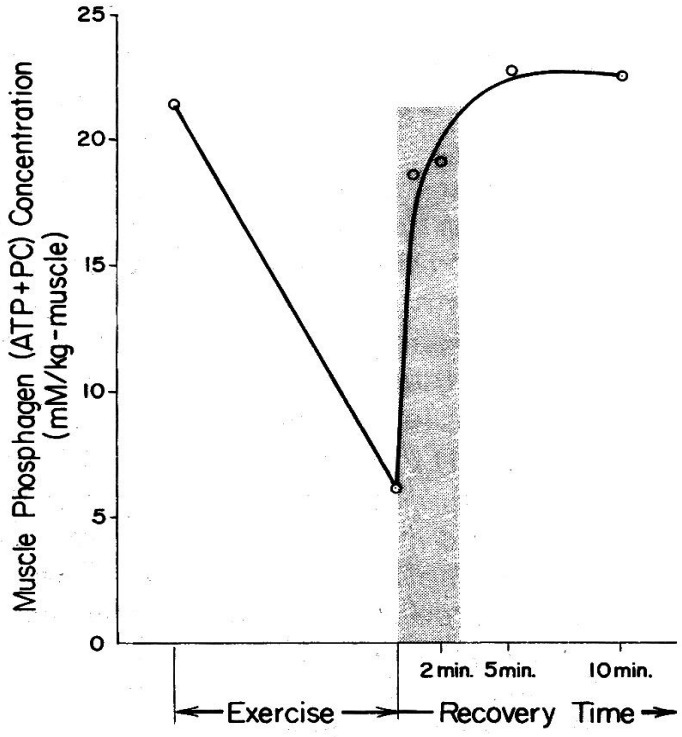
1. เมื่อหยุดออกกำลังกายทันที การระบายอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ เนื่องจากกิจกรรมของศูนย์ประสาทยนต์ที่ควบคุมการหายใจได้หยุดไปแล้ว แต่ยังคงมีการกระตุ้นระบบประสาทที่ส่งมาจากรีเซ็ปเตอร์ซึ่งอยู่ในกล้ามเนื้อและข้อต่อต่อไป

2. เป็นระยะที่การหายใจค่อย ๆ ลดลงช้า ๆ ในกรณีที่ออกกำลังกายอย่างหนักจะใช้เวลานานกว่าที่การระบายอากาศที่จะกลับมาสู่ระดับปกติ การเปลี่ยนแปลงนี้เกี่ยวข้องกับการลดลงของการกระตุ้น ที่เป็นผลมาจากจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง

สอดคล้องกับ ประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า สำหรับการจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนอาจแบ่งได้ 2 ระยะ คือ ระยะแรก (Alactacid) เป็นการจ่ายอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาการจ่ายราว ๆ 4 นาที ออกซิเจนที่จะนำไปจ่ายคืนในระยะนี้ นำไปใช้สำหรับการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอติน (Phosphocreatin: PC) กลับคืนซึ่งอาจใช้ออกซิเจนราว ๆ 2.5 ลิตร และยังนำไปทดแทนออกซิเจนที่ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) มายโอโกลบิน (Myoglobin) และของเหลวในร่างกาย ซึ่งได้เสียไปขณะการออกกำลังกาย จำนวนประมาณ 600, 300 และ 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนในระยะหลัง (Lactacid) อาจใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง ในคนที่ไม่ฟิต ออกซิเจนที่ถูกจ่ายในช่วงเวลานี้ร่างกายใช้สำหรับเผาผลาญวัสดุหรือสิ่งต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในขณะออกกำลังกาย เช่น การเผาผลาญกรดแลคติก ฮอร์โมนอิพริเนฟริน (Epinephrine hormone) หรือแม้กระทั่งใช้ในกระบวนการเมตตาโบลิซึมที่ยังสูงอยู่ ทั้ง ๆ ที่การออกกำลังกายได้สิ้นสุดลงไปแล้วก็ตาม นอกจากนี้ ในกีฬาที่ต้องออกกำลังกายอย่างรวดเร็วรุนแรงมากและเสร็จสิ้นลงในช่วงระยะเวลาอันสั้น พลังงานเกือบทั้งหมดได้มาโดยทางแอนแอโรบิก ด้วยการใช้ PC และไกลโคเจน การออกกำลังชนิดนี้จะทำออกซิเจนเด็บปมีปริมาณสูงกว่าออกซิเจนดิฟิซิท นอกจากนี้เมื่อการออกกำลังกายได้สิ้นสุดลงแล้ว การหายใจจะลดลงทันทีเล็กน้อย แต่การหายใจก็ยังคงสูงอยู่จนกว่าการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) จะถูกใช้หมดไป การหายใจจึงจะค่อย ๆ ลดลงสู่ระดับปกติอีกครั้ง ซึ่งการหายใจที่ยังคงสูงในช่วงของการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกายนั้นไม่ได้เกิดจาก PCO_2 สูงหรือ PO_2 ต่ำ เพราะในช่วงนี้ PCO_2 จะมีค่าปกติหรือต่ำกว่าปกติ และ PO_2 ปกติหรือสูง แต่เพราะในช่วงนี้ร่างกายจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนกรดแลคติกให้กลับไปเป็นไกลโคเจน สารมัยโอโกลบิน (Myoglobin) เริ่มสะสมออกซิเจน และกล้ามเนื้อเริ่มสร้างสาร Adenosine triphosphate (ATP) และ Phosphocreatine (PC) ใหม่

อีกครั้ง (เลียงชัย ลิ่มล้อมวงศ์, 2545)

Fox and Mathews (1981) กล่าวถึงการชดเชยพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในช่วงระยะเวลาของการฟื้นตัวของร่างกายไว้ว่า ในระหว่างที่มีการออกกำลังกายอย่างหนัก ร่างกายจะใช้สารที่ให้พลังงานสูง คือ Adenosine triphosphate (ATP) และ Phosphocreatine (PC) ในการเผาผลาญเพื่อให้เกิดพลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งภายหลังการออกกำลังกายร่างกายก็มีความจำเป็นจะต้องสร้าง ATP-PC ขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็วโดยใช้ระยะเวลาไม่นานนัก ดังภาพที่ 2-14 แสดงให้เห็นว่าภายหลังการออกกำลังกาย ATP-PC จะถูกสร้างขึ้นประมาณร้อยละ 70 ในระยะเวลาเพียง 30 วินาที และจะสร้างครบร้อยละ 100 ภายในระยะเวลาประมาณ 3-5 นาที นอกจากนี้ การฟื้นตัวของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนักหรือการออกกำลังกายจนหมดแรง (Exhaustion exercise) ร่างกายก็จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นเพื่อชดเชยในสิ่งต่าง ๆ ของร่างกายที่ถูกนำออกไปใช้ในระหว่างการออกกำลังกาย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-7



ภาพที่ 2-14 ATP-PC ที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อซึ่งถูกใช้ไปในขณะออกกำลังกาย จะสร้างขึ้นใหม่โดยใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ภายหลังการออกกำลังกาย โดยสังเกตว่า ATP-PC จะถูกสร้างขึ้นมาร้อยละ 70 ภายในเวลา 30 วินาที และจะสร้างครบร้อยละ 100 ในเวลา 3-5 นาที (Fox & Mathews, 1981)

ตารางที่ 2-7 ช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการฟื้นตัวของร่างกายภายหลังการออกกำลังกาย โดยใช้เวลาต่ำสุดและสูงสุดภายหลังการออกกำลังกายจนหมดแรง (Exhaustive exercise) (Fox & Mathews, 1981)

กระบวนการฟื้นตัวของร่างกาย (Recovery process)	**ระยะเวลาของการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Suggested recovery time)**	
	ต่ำสุด (Minimum)	**สูงสุด** (Maximum)
การซ่อมแซมและฟื้นฟูของกล้ามเนื้อ (Restoration of muscle)	2 นาที	5 นาที
การเติมแหล่งเก็บของฟอสฟาเจน (เอทีพี + พีซี) Phosphagen store (ATP + PC)	3 นาที	5 นาที
การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ในช่วงระยะแรก (Repayment of the alactacid O_2 debt component)	10 ชั่วโมง (ภายหลังการออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง)	46 ชั่วโมง
การสร้างและสังเคราะห์ไกลโคเจนของกล้ามเนื้อ (Muscle glycogen re-synthesis)	5 ชั่วโมง (ภายหลังการออกกำลังกายที่มีเวลาพักหรือไม่ต่อเนื่อง)	24 ชั่วโมง
การเติมไกลโคเจนในตับ (Liver glycogen replenishment)	ไม่แน่ชัด	12-24 ชั่วโมง
การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากเลือดและกล้ามเนื้อ (Removal of lactic acid from blood and muscle)	30 นาที (ช่วงออกกำลังเบา ๆ) (Exercise-recovery)	1 ชั่วโมง
การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ในช่วงระยะหลัง (Repayment of the lactacid O_2 debt component)	30 นาที	1 ชั่วโมง
การสร้างแหล่งเก็บออกซิเจนขึ้นใหม่ (Restoration of O_2 stores)	10-15 วินาที	1 ชั่วโมง

3. การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย

การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายภายหลังการออกกำลังกายสามารถกระทำได้ภายในห้องปฏิบัติการ เช่น การวัดปริมาณออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายซึ่งจำเป็นต้องอาศัยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ หรือการวัดปริมาณของสารอาหารต่าง ๆ ในร่างกาย ก็จำเป็นต้องตรวจสารอาหารทางโลหิตวิทยา หรือการวัดสารต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ เช่น อะดีโนซิน ไตรฟอสเฟส (ATP) ครีเอตีน ฟอสเฟส (CP) และไกลโคเจน (Glycogen) จำเป็นจะต้องตัดชิ้นเนื้อ (Muscle biopsy) ออกมาเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อนั้น ๆ เป็นต้น จะเห็นได้ว่า การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายนั้น จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่ได้มาตรฐานราคาค่อนข้างแพง ต้องใช้กระบวนการที่มีความซับซ้อน ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง และต้องกระทำภายในห้องปฏิบัติการ โดยในความเป็นจริงแล้ว การออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมกีฬาของสโมสรกีฬา ชมรมกีฬาหรือหน่วยงานต่าง ๆ อาจไม่มีความพร้อมของเครื่องมือ กระบวนการ ผู้เชี่ยวชาญ และห้องปฏิบัติการ ทำให้เกิดความไม่สะดวกและอาจเป็นปัญหาอุปสรรคต่อการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายภายหลังการออกกำลังกายได้ แต่การใช้เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายสามารถกระทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็วในการปฏิบัติเป็นอย่างมาก ซึ่งการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายเป็นปฏิกิริยาหนึ่งที่แสดงถึงการตอบสนองของร่างกายเพื่อให้ระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายกลับมาสู่ในสภาวะปกติเพื่อที่จะรักษาความสมดุลของร่างกายไว้ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย มักจะถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการชี้วัดถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ รวมทั้งระดับความสามารถในการทำงานของร่างกายได้ด้วย (American College of Sports Medicine, 2007)

ความสามารถในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย เป็นความสามารถของร่างกายที่จะฟื้นตัวกลับมาสู่ในสภาวะปกติได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละคน ขึ้นอยู่กับสรีรวิทยาของร่างกาย ระดับสมรรถภาพทางกาย พฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวัน สภาพอากาศ และปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจมีประสิทธิภาพสูงสุด ก็คือ การใช้รูปแบบวิธีการออกกำลังกายหรือรูปแบบวิธีการฝึกซ้อมที่สามารถพัฒนาระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้เพิ่มสูงขึ้น ที่จะส่งผลทำให้ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง ตัวอย่าง การฝึกแบบอินเทอร์วาล (Interval training) ที่ระดับความหนักร้อยละ 80-85 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 3

นาที สลับกับช่วงพัก 3 นาที สามารถพัฒนาความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนและค่าแอนแอโรบิกเทรชโฮลให้เพิ่มสูงขึ้นได้ (วิรัตน์ สนธิ์จันทร์ และประทุม ม่วงมี, 2556) สอดคล้องกับ Reuter (2012) กล่าวว่า การฝึกความอดทนของร่างกาย สามารถพัฒนาการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายให้ดีขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น ให้นักกีฬาวิ่งด้วยความเร็วสูง ระยะทาง 800 เมตร และทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ พบว่า ภายหลังการวิ่ง อัตราการเต้นของหัวใจเท่ากับ 175 ครั้งต่อนาที และทำการพัก 3 นาที และวัดอัตราการเต้นของหัวใจซ้ำอีกครั้ง พบว่าลดลงเหลือเท่ากับ 125 ครั้งต่อนาที และภายหลังการฝึกความอดทนของร่างกายเป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วทำการวิ่งอีกครั้ง พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจการลดลงเหลือเท่ากับ 125 ครั้งต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาน้อยกว่า 3 นาที นั่นแสดงให้เห็นว่า การฝึกความอดทนของร่างกายจะทำให้การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจใช้ระยะเวลาสั้นลง ส่งผลให้ร่างกายกลับมาสู่สภาวะปกติได้รวดเร็วขึ้น สอดคล้องกับ ประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า การกลับคืนมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและระยะเวลาของการออกกำลังกาย ตลอดจนระดับความสามารถทางกายของคนคนนั้น ในคนที่มีร่างกายฟิต อัตราการเต้นของหัวใจมักกลับคืนสู่อัตราปกติเร็วกว่าคนที่มีร่างกายไม่ฟิต เนื่องจากหัวใจมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและระบบการไหลเวียนของโลหิตสามารถขนส่งออกซิเจนและรับของเสียต่าง ๆ ไปสู่และออกจากกล้ามเนื้อได้ดีกว่า การกลับคืนสู่อัตราการเต้นปกติของหัวใจเป็นไปอย่างเชื่องช้าในการออกกำลังกายที่ยาวนานและต้องหยุดเพราะความล้า ซึ่งบางคนอาจต้องใช้เวลาถึง 1-2 ชั่วโมง ก่อนที่อัตราการเต้นของหัวใจจะคืนสู่อัตราการเต้นก่อนการออกกำลังกาย ซึ่งกระบวนการทางสรีรวิทยาที่จะเป็นสิ่งที่บอกเราได้แน่นอนเกี่ยวกับการกลับคืนสู่อัตราปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ ยังเป็นสิ่งที่เราไม่ทราบอย่างเด่นชัดนัก แต่นักสรีรวิทยาคิดว่าสิ่งที่ยังคงทำให้อัตราการเต้นของหัวใจยังต้องสูงต่อไปน่าจะเกี่ยวข้องกับสิ่งต่อไปนี้

1. สิ่งที่เคยมีอิทธิพลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกายยังมีอิทธิพลอยู่ต่อไป ถึงแม้ว่าการออกกำลังกายจะสิ้นสุดลงแล้วก็ตาม ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิของร่างกายยังคงสูงอยู่ และอีกอย่างหนึ่งสภาวะของความเป็นกรดของเลือดยังสูงอยู่ ซึ่งทั้งสองสิ่งนี้ต่างก็มีอิทธิพลต่ออัตราการเต้นของหัวใจทั้งสิ้น

2. ปฏิกิริยาสะท้อนอันเนื่องมาจากการที่การออกกำลังกายสิ้นสุดลง ซึ่งทำให้กล้ามเนื้อไม่ต้องหดตัวต่อไป จึงไม่ไปบีบหลอดโลหิตเป็นผลทำให้โลหิตไหลเวียนกลับเข้าสู่หัวใจไม่ค่อยได้ดี เพราะขาดเครื่องปั๊ม ส่งผลให้ปริมาณของโลหิตที่ไหลกลับเข้าสู่หัวใจ (Venous return) มีน้อย ซึ่งส่งผลให้โลหิตที่จะถูกฉีดออกไปจากหัวใจห้องล่างแต่ละครั้งมีน้อยลง ในภาวะเช่นนี้หากหัวใจเต้น

ช้าลงจะเป็นผลให้เกิดความดันโลหิตต่ำ อันอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายในขณะนั้น ดังนั้น หัวใจจึงยังคงต้องมีอัตราการเต้นที่สูงอยู่ต่อไป ถึงแม้ว่าการออกกำลังกายนั้นได้สิ้นสุดลงแล้วก็ตาม นี่อาจเป็นวิธีการป้องกันภัยทางธรรมชาติอีกอย่างหนึ่งของร่างกาย

จะเห็นได้ว่า เมื่อกล้ามเนื้อมีการออกแรงเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ ร่างกายจำเป็นต้องใช้สารที่ให้พลังงานสูง ได้แก่ Adenosine triphosphate (ATP) และ Creatine phosphate (CP) เพื่อนำมาผลิตให้เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนไหว ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความหนักของงานในการออกแรง หากออกแรงหรือออกกำลังกายที่มีความหนักในระดับสูงและกระทำในระยะเวลาสั้น ๆ ตัวอย่างเช่น การทดสอบด้วยวิธีการของวินเกตเป็นการทดสอบความสามารถในการทำงานของร่างกายในระบบพลังงานเชิงแอนแอโรบิก ซึ่งกล้ามเนื้อจำเป็นต้องใช้พลังงานในการออกแรงเป็นอย่างมากและกระทำเพียงระยะเวลา 30 วินาที โดยภายหลังการทดสอบ พบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติกในเลือด เท่ากับ 8.81 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับสูงที่จะสามารถไปขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อได้ และยังพบอีกว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการทดสอบ มีค่าเท่ากับ 176.93 ครั้งต่อนาที และเมื่อนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยคำนวณจาก 220 - อายุ (กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 20.05 ปี) พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการทดสอบโดยวิธีการของวินเกต จะมีค่าเท่ากับ 88.45 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ดุสิต พรหมอ่อน, 2549) สอดคล้องกับ Queiroga, Cavazzotto, Katayama, Portela, Tartaruga, and Ferreira (2013) ที่ได้ศึกษาถึงอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการปั่นวินเกต พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 185.9 ครั้งต่อนาที และเมื่อนำไปคำนวณกับอายุของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28 ปี โดยใช้สมการในการคำนวณ คือ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (220 - อายุ) พบว่า เปอร์เซ็นของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการปั่นวินเกตของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับร้อยละ 96.82 ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีการของวินเกตเป็นแบบทดสอบที่จัดให้อยู่ในรูปแบบของการทดสอบโดยการออกกำลังกายที่ระดับความสามารถสูงสุด โดยมีระดับความหนักของการออกกำลังกายที่ค่อนข้างสูง เป็นผลให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้น อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นจากการทดสอบนั้น เป็นผลมาจากกลไกทางระบบประสาทที่ส่งมาตามเส้นประสาทอัตโนมัติ ซึ่งจะมีการกระตุ้นให้ระบบประสาทซิมพาเธติกทำงาน รวมทั้งยังทำให้ร่างกายเกิดการขาดออกซิเจนเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นโดยตรง (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์, 2536) และ Reaburn and Jenkins (1996) กล่าวว่า หากร่างกายมีการทำงานที่สูงกว่าร้อยละ 85 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ร่างกายจะใช้ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิคเป็นพลังงานหลัก ดังนั้น การออกแรงในการ

ทดสอบโดยวิธีการของวินเกต จึงส่งผลให้ร่างกายเกิดการขาดออกซิเจนในช่วงต้นของการทำงาน เนื่องจากมีข้อจำกัดที่ร่างกายไม่สามารถนำออกซิเจนไปใช้ได้ จึงจำเป็นต้องยอมเป็นหนี้ไว้ก่อน และเมื่อสิ้นสุดการออกกำลังกายและอยู่ในช่วงของการฟื้นตัวของร่างกาย (Recovery phase) ร่างกายจะต้องมีกลไกการปรับตัวให้กลับมาอยู่ในสภาวะปกติให้ได้เร็วที่สุด ทั้งในเรื่องของการเติมสารต่าง ๆ ที่จำเป็นที่ร่างกายนำไปใช้ในระหว่างการทดสอบหรือออกกำลังกายให้กลับมาอยู่ในปริมาณเท่าเดิมที่เคยสะสมไว้ เช่น ระดับของ ATP, CP, ไกลโคเจน, เกลือแร่, ออกซิเจน เป็นต้น จึงเป็นผลให้ระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายยังคงต้องทำงานอยู่ต่อไปอีกระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะกลับมาสู่ในสภาวะปกติ โดยสรุป การปรับตัวของร่างกายที่อยู่ในช่วงของการฟื้นตัวของร่างกายภายหลังที่หยุดออกกำลังกาย คือ

1. อัตราการเต้นของหัวใจยังคงสูงอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และจะค่อย ๆ ลดลง
2. ปริมาณการใช้ออกซิเจนยังคงสูงอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และจะค่อย ๆ ลดลง
3. อุณหภูมิในร่างกายยังคงสูงอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และจะค่อย ๆ ลดลง
4. มีการชดเชย Adenosine triphosphate (ATP) และ Creatine phosphate (CP)
5. การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ในช่วงระยะแรก
6. การสร้างและสังเคราะห์ไกลโคเจนของกล้ามเนื้อ
7. การเติมไกลโคเจนในตับ
8. การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกจากเลือดและกล้ามเนื้อ
9. การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ในช่วงระยะหลัง
10. การสร้างแหล่งเก็บออกซิเจนขึ้นใหม่

นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยในด้านอื่น ๆ ที่มีผลต่อการทดสอบโดยวิธีการของวินเกต เช่น

- น้ำหนักตัว (Body weight) ในกระบวนของการทดสอบด้วยวิธีการของวินเกต การกำหนดระดับความหนักของทดสอบจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำหนักตัวของแต่ละคน โดยนำน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) คูณด้วย 0.067 (Body weight x 0.067) (Inbar, Bar-Or & Skimmer, 1996) ดังนั้น นักกีฬาที่มีปริมาณน้ำหนักตัวมาก เมื่อคำนวณแล้ว พบว่า จะต้องใช้ระดับความหนักในการปั่นจักรยานมากกว่านักกีฬาที่มีปริมาณน้ำหนักตัวน้อย

- การรับประทานอาหาร โดยที่ American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada (2009) ได้ให้ข้อเสนอแนะในลักษณะเป็นกลางไว้ว่า นักกีฬาควร ได้รับอาหารก่อนการแข่งขันหรือการออกกำลังกายเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2-4 ชั่วโมง เนื่องจากร่างกายของนักกีฬาแต่ละคนมีความแตกต่างกัน เช่น อัตราการความต้องการ

เผาผลาญของร่างกาย (Basal metabolic rate, BMR) ขบวนการย่อยอาหาร และยังรวมไปถึงปริมาณและชนิดของอาหารที่รับประทานเข้าไปอีกด้วย

- การนอน โดยที่ Halson (2013) ได้รายงานว่า การนอนหลับเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับเซลล์ต่าง ๆ ภายในร่างกาย ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และการอดนอนมีผลกระทบต่อขีดความสามารถของนักกีฬาอย่างชัดเจน โดยที่นักกีฬาควรจะมีการนอนหลับให้เพียงพอไม่ต่ำกว่า 8 ชั่วโมงต่อคืน หรือการนอนหลับในช่วงสั้น ๆ (Napping) ระหว่างวัน จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถของร่างกายให้สูงขึ้นได้

จากการทบทวนวรรณกรรม ได้แสดงให้เห็นว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจเป็นความสามารถในการทำงานของหัวใจที่มีประสิทธิภาพสูงที่จะฟื้นตัวกลับมาสู่อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักหรืออัตราการเต้นของหัวใจก่อนออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็วโดยใช้ระยะเวลาอันสั้น และยังสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการชี้วัดถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้ ซึ่งการประเมินการทำงานของระบบนี้ว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด นั่นก็คือ การทดสอบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ดังนั้น หากบุคคลใดที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ดีหรือมีความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังหยุดการออกกำลังกายทันที นั่นแสดงให้เห็นว่า ระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจของคน ๆ นั้นมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง และคนที่มีประสิทธิภาพของระบบนี้สูงย่อมแสดงว่า คน ๆ นั้นมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนในระดับสูงด้วยเช่นกัน แต่จากการทบทวนวรรณกรรมและค้นคว้าอย่างกว้างขวาง พบว่า การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจกับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดนั้นมีจำนวนน้อยมาก โดยส่วนใหญ่ที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจจะเป็นการศึกษาในลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ และจากทฤษฎีต่าง ๆ กล่าวว่า ผู้ที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ดีหรือมีความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที จะเป็นผู้ที่มีระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจที่ดี ดังนั้น การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ และหากมีความสัมพันธ์กันก็จะทำการศึกษาต่อไปว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด และจะนำไปสู่การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ และมีความสัมพันธ์กับการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ และระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic nervous system) รวมไปถึงความสัมพันธ์ในเชิงการกีฬา โดยทฤษฎีได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจกับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดไว้ว่า ผู้ที่มีความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับสูงหรือผู้ที่มีความอดทนของร่างกายหรือเป็นผู้ที่มีความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกในระดับสูง จะเป็นผู้ที่มีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับที่สูงด้วยเช่นกัน (Bompa & Haff, 2009; Setty, Padmanabha, & Doddamani, 2013) ในทำนองเดียวกัน ผู้ที่มีความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับสูง ก็จะมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็ว หรือจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีลดลงได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน ส่งผลให้ร่างกายมีการหายเหนื่อยได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น และทำให้กลับสู่สภาวะปกติได้เร็ว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ผู้ที่มีความฟิตของร่างกายจะมีอัตราความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีที่ดี โดยใช้ระยะเวลาในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจน้อยกว่าผู้ที่ไม่มีความฟิตของร่างกาย (ประทุม ม่วงมี, 2527; Froelicher & Myers, 2006; Kenney et al., 2012; Kraemer et al., 2012)

1. การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจกับภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต

ในทางการแพทย์ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีกับการทำนายภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตกันอย่างกว้างขวาง และจากงานวิจัยของ Cole, Blackstone, Pashkow, Snader, and Lauer (1999) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่จุดประกายให้กับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ และยังเป็นข้อมูลที่ได้รับการนำไปใช้ในการอ้างอิงกันเป็นอย่างมาก โดยได้ทำการศึกษาระยะยาวเป็นเวลา 6 ปี โดยได้ติดตามกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 2,428 คน พบว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที หากมีจำนวนน้อยกว่า 12 ครั้งต่อนาที ถือว่ามีภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตสูงมาก เนื่องจากการที่อัตราการเต้นของหัวใจลดลงอย่างช้า ๆ ในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายสามารถสะท้อนการทำงานที่ด้อยประสิทธิภาพของระบบประสาทเวกัส (Vagus) ได้ ซึ่งมีเส้นประสาทคู่ที่ 10 คือ Vagus nerve ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของหัวใจโดยตรง และยังมีงานวิจัยอีกมากมายที่ได้มีการยืนยันจากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นที่เกี่ยวกับจำนวนครั้งของการ

ลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย โดยการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และได้เสนอแนะว่า ผู้ที่มีภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตสูงนั้น จะมีอัตราความเร็วของการฟื้นตัวของการเต้นของหัวใจที่ช้าหรือมีจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีมีจำนวนน้อยครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย ซึ่งเป็นช่วงที่มีความสำคัญอย่างมากในการประเมินถึงภาวะความเสี่ยงดังกล่าว (Almeida & Araujo, 2003; Ghaffari, Kazemi, & Aliakbarzadeh, 2011) สอดคล้องกับ Shetler, Shetler, Marcus, Froelicher, Vora, Kalisetti, Prakash, Do, and Myers (2001) ได้ยืนยันจากผลการวิจัยว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายในนาทีที่ 1 และ 2 ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถนำไปใช้ในการทำนายการเกิดโรคได้ โดยควรเป็นการประเมินการทดสอบจากการใช้ลู่วิ่งเครื่องกลเท่านั้น นอกจากนี้ Savonen et al. (2011) ได้ยืนยันว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงอย่างช้า ๆ ภายใน 2 นาที ที่หยุดออกกำลังกายภายหลังที่ทำการทดสอบการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน สามารถนำมาใช้ในการทำนายถึงการเสียชีวิตในเพศชายที่มีสุขภาพดีในวัยกลางคนได้

American College of Sports Medicine (2009) ได้ทำการสรุปไว้ว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่มีความผิดปกติหรือมีอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงช้าเกินไปภายหลังการออกกำลังกายทันที มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับการทำนายภาวะความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ โดยผู้ที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายโดยให้เดินช้า ๆ ภายหลังการออกกำลังกาย มีจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงน้อยกว่า 12 ครั้งต่อนาที ในนาทีแรก หรือน้อยกว่า 22 ครั้งต่อนาที ในนาทีที่สอง ที่หยุดออกกำลังกายทันที และในทางการแพทย์ได้นำเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีไปใช้ในการประเมินสุขภาพของผู้ที่มีภาวะความเสี่ยงของการเป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ

2. การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจกับระบบประสาทอัตโนมัติ

เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีสามารถนำไปใช้ในการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบประสาทได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบประสาทอัตโนมัติ ซึ่งระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหัวใจ มี 2 ระบบ คือ 1) ระบบประสาทพาราซิมพาเธติก (Parasympathetic nervous system) และ 2) ระบบประสาทซิมพาเธติก (Sympathetic nervous system) โดยที่อัตราการเต้นของหัวใจจะถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ มีศูนย์กลางสั่งการอยู่ที่ไฮโปทาลามัส (Hypothalamus)

ที่อยู่ในสมอง (Martens, 1990) เมื่อร่างกายเริ่มมีการทำงานเพิ่มขึ้น เซลล์กล้ามเนื้อจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ระบบประสาทซิมพาเธติกจะมีบทบาทในการกระตุ้นให้หัวใจทำงานเพิ่มมากขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจให้มากขึ้นกว่าในสภาวะปกติ และเมื่อร่างกายหยุดออกกำลังกาย ระบบประสาทพาราซิมพาเธติก จะมีบทบาทมากขึ้นในการทำงานและระบบประสาทซิมพาเธติกจะลดการทำงานลง ซึ่งการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเธติกถือได้ว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงที่จะเสียชีวิตจากโรคหัวใจวายเฉียบพลันได้ (Kannankeril, Le, Kadish, & Goldberger, 2004) สอดคล้องกับ Borresen and Lambert (2008) พบว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ระบบประสาททั้ง 2 จะมีการประสานการทำงานร่วมกัน โดยที่ระบบประสาทพาราซิมพาเธติกมีบทบาทเพิ่มขึ้นในการกระตุ้นให้หัวใจลดการทำงานลง ในขณะเดียวกัน ระบบประสาทซิมพาเธติกจะลดการทำงานเพื่อให้ระบบประสาทพาราซิมพาเธติกทำงานได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ ยังสามารถสะท้อนให้เห็นว่า การลดลงอย่างช้า ๆ ของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที สามารถนำมาใช้ในการทำนายภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตได้ ในทางตรงข้าม นักกีฬาที่มีการฝึกความอดทนของร่างกายเป็นอย่างดี จะมีอัตราความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้ดีเช่นกัน เนื่องจากระบบประสาทอัตโนมัติจะทำงานร่วมกับระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายเพื่อรักษาความสมดุลของร่างกายให้คงอยู่ได้และเมื่อทำการฝึกซ้อมเป็นประจำต่อเนื่องจะช่วยให้ระบบประสาทเกิดการเปลี่ยนแปลงไปสู่การพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป และการศึกษานี้ยังพบอีกว่า การนำเทคนิคการวัดการฟื้นของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ซึ่งเป็นเทคนิคการวัดที่มีศักยภาพสูงมาก ง่ายต่อการปฏิบัติ และสามารถนำไปใช้เพื่อประเมินผลการฝึกซ้อมได้อีกด้วย รวมทั้งอาจนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนหรือจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมได้ โดยที่ Savin, Davidson, and Haskell (1982) ได้สรุปว่า การลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกายทันทีนั้น เกิดจากการที่ระบบประสาทพาราซิมพาเธติก ถูกกระตุ้นให้ทำงานเป็นอันดับแรกภายหลังหยุดออกกำลังกายทันที อย่างไรก็ตาม การลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจ จะไม่สามารถลดลงจนมาถึงอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักได้ในทันที แต่จะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ต่อเนื่องตามลำดับ และอาจใช้เวลาหลายนาทีหรือนานกว่านั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาและระดับความหนักของการออกกำลังกาย (Hautala et al., 2001; Murrell et al., 2007) นอกจากนี้ Jae et al. (2008) พบว่า อัตราความเร็วของการฟื้นตัวของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายที่ลดลงอย่างช้า ๆ สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือชี้ในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลงของระบบประสาทพาราซิมพาเธติกได้ และยังมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคที่มี

อัตราความเสี่ยงต่อการโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดแดงโดยไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านอายุในวัยกลางคน

3. การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจกับการนำไปใช้ทางการกีฬา

สำหรับงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาถึงการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีที่จะนำไปใช้เพื่อพัฒนาในเชิงการกีฬานั้นยังมีน้อยมาก แต่ก็มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการกีฬาที่ผ่านมา ดังที่ Ostojic, Stojanovic, and Gonzalez (2011) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายโดยใช้ความหนักในการออกกำลังกายที่ระดับสูงสุดกับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับที่แตกต่างกันในนักกีฬาชาย โดยนักกีฬาที่มีค่าในระดับสูง (มากกว่า 60 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที) และนักกีฬาที่มีค่าในระดับต่ำ (น้อยกว่า 50 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที) พบว่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในช่วง 10 และ 20 วินาที ภายหลังการออกกำลังกายทันทีนักกีฬาที่มีค่าในระดับสูงจะมีอัตราความเร็วของการเต้นของหัวใจลดลงได้อย่างรวดเร็วมากกว่านักกีฬาที่มีค่าในระดับต่ำ นั่นแสดงให้เห็นว่า นักกีฬาที่มีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูง จะมีความเร็วในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ดี เนื่องจากผู้ที่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกายมาเป็นอย่างดี จะทำให้ระบบประสาทอัตโนมัติเกิดการพัฒนาในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ร่างกายเกิดการปรับตัวได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกายทันที และยังเป็นกลไกที่สำคัญอย่างยิ่งของร่างกายที่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายขึ้นกับหัวใจ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในคนปกติที่ไม่ได้เป็นนักกีฬา ดังที่ Hattiwale, Hattiwale, Dhundasi, and Das (2012) โดยศึกษากลุ่มคนที่มีการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวันน้อยกับกลุ่มคนที่มีการออกกำลังกายเป็นประจำ โดยให้ปั่นจักรยานที่ความหนักในระดับต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal) และทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตก่อนการออกกำลังกาย และอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด แล้วพักเป็นเวลา 2 นาที พบว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตในกลุ่มคนที่มีการออกกำลังกายเป็นประจำ จะมีอัตราการลดลงได้อย่างรวดเร็วมากกว่ากลุ่มคนที่มีการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวันน้อย ซึ่งสาเหตุเกิดมาจากการทำงานที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นของ Baroreflex sensitivity ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเธติกให้ทำงานเพิ่มขึ้นได้เป็นอย่างดี จึงทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงได้อย่างรวดเร็ว และยังลดลงได้เร็วมากกว่าความดันโลหิตอีกด้วย (Coote, 2009) สอดคล้องกับ Goldberger et al. (2006), Martinmaki and Rusko (2008) และ Seiler, Haugen and Kuffel (2007) พบว่า การฝึกความ

อดทนของร่างกายสามารถเพิ่มอัตราความเร็วของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายให้ลดลงได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาถึงการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มนักกีฬาที่มีความอดทนในระดับสูงกับกลุ่มนักกีฬาที่ไม่ได้รับการฝึกความอดทน พบว่า กลุ่มนักกีฬาที่มีความอดทนในระดับสูงจะมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจหรือมีความเร็วของการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายที่มีความหนักในระดับสูง (High intensity) ได้ดีกว่ากลุ่มนักกีฬาที่ไม่ได้รับการฝึกความอดทน (Brown & Brown, 2007; Borresen & Lambert, 2008)

Henríquez, Báez, Von, Cañas, and Ramírez (2013) ได้ศึกษาการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทที่มีลักษณะแตกต่างกันที่มีผลต่อการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจและความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬามวยปล้ำ ผลการศึกษาพบว่า กลไกของอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายมีความสัมพันธ์กับระดับของการฝึกซ้อม และสามารถนำไปใช้ในการชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานของระบบหัวใจได้ และการศึกษานี้ได้ให้ความรู้กับผู้ฝึกสอนและนักกีฬาที่จะทำการฝึกซ้อมเพื่อให้เกิดการพัฒนาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกีฬาที่มีลักษณะต้องเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วฉับพลันสลับกับการลดความเร็วลง หรือมีการเคลื่อนที่สลับกับการหยุดเป็นช่วง ๆ หรือเป็นกีฬาที่ใช้ความเร็วไม่แน่นอนตลอดทั้งเกม นอกจากนี้ ยังช่วยให้การฟื้นตัวของร่างกายที่เกิดจากการออกกำลังกายในลักษณะดังกล่าวได้เป็นอย่างดี รวมทั้งยังช่วยกำจัดกรดแลคติกได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย (Tomlin & Wenger, 2001)

Du et al. (2005) พบว่า นักวิ่งมาราธอนจะมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้ดีกว่านักกีฬาที่ไม่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกาย ซึ่งเกิดจากการปรับตัวของหัวใจและระบบประสาทอัตโนมัติที่เกิดจากการฝึกความอดทนของร่างกายมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งนักกีฬาที่มีความสามารถในระดับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด จะมีความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate variability) และความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกในระดับที่สูง รวมไปถึงการตอบสนองของความดันโลหิตของร่างกายจะลดลงได้อย่างรวดเร็ว และการศึกษายังได้ยืนยันอีกว่า นักกีฬาที่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกายมาเป็นอย่างดี จะมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้รวดเร็วมากกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกาย ซึ่ง Lamberts, Swart, Capostagno, Noakes, and Lambert (2010) กล่าวว่า การวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ สามารถนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดที่มีประสิทธิภาพอย่างมากในการตรวจสอบ

การเปลี่ยนแปลงหรือผลที่เกิดจากการฝึกความอดทนของร่างกายได้ และยังมีส่วนสำคัญที่จะกำหนดโปรแกรมการฝึกซ้อมให้กับนักกีฬาได้อย่างแม่นยำอีกด้วย

Lazic et al. (2015) ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของอายุกับการทดสอบการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุดในนักกีฬาที่มีความสามารถในระดับสูง โดยมีทั้งหมด 274 คน พบว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายในนาทีที่ 3 สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพในการฟื้นตัวจากการทำงานของร่างกายได้ดีที่สุดและมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างของอายุ โดยมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายในนักกีฬาที่มีอายุมาก และในนาทีที่ 3 สามารถนำไปใช้ในการชี้วัดถึงความสามารถของร่างกายในการทำงานเชิงแอโรบิกได้โดยเรียงลำดับตามอายุ

สำหรับการศึกษาที่เกี่ยวกับการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจยังไม่ปรากฏแต่อย่างใด มีเพียงทฤษฎีที่กล่าวว่า ผู้ที่ความสามารถของร่างกายในการทำงานเชิงแอโรบิกที่ดี จะเป็นผู้ที่มีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูง และจะเป็นผู้ที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็ว (Alexander & Bugler, 2012; Froelicher & Myers, 2006; Schwartz, 2013) รวมไปถึงการนำเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที จะนำไปใช้ในทางการแพทย์เพื่อทำนายความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคที่เกี่ยวกับหัวใจได้ แต่ยังไม่มีการนำไปประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยมีเพียงทฤษฎีที่เกี่ยวกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ได้แก่

Mirkin (2013) กล่าวว่า การลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย โดยมีจำนวนครั้งของการเต้นของหัวใจน้อยกว่า 30 ครั้งต่อนาที แสดงว่ามีสุขภาพร่างกายที่ไม่ฟิต และถ้าหากมีจำนวนครั้งของการเต้นของหัวใจมากว่า 50 ครั้งต่อนาที แสดงว่ามีสุขภาพร่างกายที่ฟิต

Friedrich (2014) กล่าวว่า หากอัตราการเต้นของหัวใจได้เท่ากับ 25 ครั้งต่อนาที หรือมากกว่า แสดงว่า อัตราความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจมีความเร็วมาก และเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดที่ดี

Sloan (2015) กล่าวว่า คนที่มีสุขภาพร่างกายดี อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ควรจะลดลงประมาณ 15-20 ครั้งต่อนาที โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย และในนาทีที่ 2 ควรจะลดลงถึง 60 ครั้งต่อนาที

Robertson (2015) ได้แบ่งระดับของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที โดยกำหนดระดับสมรรถภาพทางกายไว้ดังต่อไปนี้ (หน่วยเป็นจำนวนครั้ง)

< 10 = ควรระมัดระวังเป็นอย่างมาก

11-20 = มีสมรรถภาพทางกายในระดับต่ำ

21-40 = มีสมรรถภาพทางกายที่ดี

41-50 = สมรรถภาพทางกายที่ดีมาก

> 50 = เป็นนักกีฬาที่มีความสามารถของร่างกายในระดับสูง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่า ผู้ที่มีความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกในระดับสูง หรือเป็นผู้ที่มีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด หรือผู้ที่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกายมาเป็นอย่างดี จะเป็นผู้ที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ดี โดยมีจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจลดลงได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกายทันที ซึ่งมีทฤษฎีที่ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสามารถของร่างกายกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีไว้อย่างกว้างขวาง โดยยังไม่มีความชัดเจนและแน่นอนในการระบุให้ได้ว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายหรือจำนวนครั้งของการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนแต่อย่างใด ดังนั้น การศึกษางานวิจัยในชิ้นนี้ จึงอาจจะกล่าวได้ว่า เป็นงานวิจัยในชิ้นแรกที่มีการนำเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจไปใช้ในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation study) ทางกายภาพของนักกีฬาทีมชาติไทย เพื่อทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักกีฬาทีมชาติไทยที่มีรายชื่อในสมาคมกีฬาที่สังกัดการกีฬาแห่งประเทศไทย และเข้ารับการทดสอบสมรรถภาพทางกายจากกองสมรรถภาพการกีฬา ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย เพื่อเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ครั้งที่ 28 ระหว่างวันที่ 5-16 มิถุนายน พ.ศ. 2558 ณ ประเทศสิงคโปร์ และเป็นนักกีฬาที่มีความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจในระดับสูง โดยมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด เพศชายมากกว่า 50 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที เพศหญิงมากกว่า 45 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที จำนวนทั้งสิ้น 238 คน

กลุ่มตัวอย่าง

ในการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาเป็นตัวแทนที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับประชากรที่เชื่อถือได้ จึงได้ทำการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรของเครซี่และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970 อ้างถึงใน ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2543) เพื่อดูจำนวนของกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

$$n = \frac{X^2Np(1-P)}{e^2(N-1)+X^2P(1-P)}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของกลุ่มประชากร

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

X^2 = ค่าไคสแควร์ที่ df เท่ากับ 1 และระดับความเชื่อมั่น 95% ($X^2 = 3.841$)

P = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.5)

ทั้งนี้ จำนวนประชากรที่ใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 238 คน โดยผู้วิจัยยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 5% โดยเลือกความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่า ขนาดของตัวอย่างการศึกษาในครั้งนี้ ตามสูตรของของเครซี่และมอร์แกน คำนวณได้จำนวน 147 คน แต่เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่อาจเกิดขึ้นได้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขนาดตัวอย่างให้มีจำนวนทั้งสิ้น 150 คน

ลำดับขั้นตอนการวิจัย

1. ผู้วิจัยนำเสนอโครงร่างดุษฎีนิพนธ์ต่อคณะกรรมการพิจารณาเค้าโครงดุษฎีนิพนธ์ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อพิจารณาในการจัดทำดุษฎีนิพนธ์
2. ผู้วิจัยนำเสนอโครงร่างดุษฎีนิพนธ์ต่อคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
3. ผู้วิจัยประสานงานกับคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาในการจัดทำหนังสือเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องต่าง ๆ ไปยังสมาคมกีฬาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการวิจัย
4. ผู้วิจัยประสานงานกับศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย เพื่อขอความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล
5. ผู้วิจัยประสานงานกับสมาคมกีฬาต่าง ๆ และผู้ฝึกสอนของสมาคมกีฬา เพื่อขอความอนุเคราะห์กลุ่มตัวอย่างในการเก็บรวบรวมข้อมูล
6. นำกลุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบตามลำดับขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล
7. รวบรวมข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อสรุปผลและรายงานผลการวิจัย

ลำดับขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ก่อนการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะได้รับคำชี้แจงรายละเอียดข้อมูลต่าง ๆ ในการเข้าร่วมการวิจัย และลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย และตอบแบบคัดกรองกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดสอบ
2. กลุ่มตัวอย่างคาดเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitors) ไว้ที่บริเวณหน้าอก เพื่อตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยผู้วิจัยจะคาดนาฬิกาที่สามารถแสดงผลอัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มตัวอย่างไว้ที่ข้อมือตลอดการทดสอบ

3. กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ($\dot{V}O_2max$) โดยวิธีการของออสตรานด์และไรห์มิ่ง (Åstrand and Rhyming cycle ergometer test) และบันทึกข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจจากเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

4. ภายหลังการทดสอบโดยวิธีการของออสตรานด์และไรห์มิ่ง ให้กลุ่มตัวอย่างพัก 48 ชั่วโมง

5. ก่อนทำการทดสอบเพื่อวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ให้กลุ่มตัวอย่างคาดเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจไว้ที่บริเวณหน้าอกอีกครั้ง

6. กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบวินเกต (Wingate test) เพื่อให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่ามากกว่าร้อยละ 85 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate) ของแต่ละคน

7. เมื่อกลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบวินเกตเสร็จสิ้นในทันที ผู้วิจัยจะทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด และบันทึกผลเป็นอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด (Peak heart rates: PHR)

8. ภายหลังที่ได้ผลของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุดแล้ว ผู้วิจัยจะให้กลุ่มตัวอย่างนั่งพักบนจักรยานโดยไม่มีการหยุดนิ่ง (Active rest) ด้วยการปั่นจักรยานอย่างช้า ๆ ต่อไปอีก 2 นาที โดยใช้ความหนักในระดับต่ำสุด ซึ่งในช่วงระหว่างเวลาพัก 2 นาทีนั้น ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจจากเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยได้กำหนดช่วงระยะเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลไว้ทั้งหมด 8 ช่วงภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยจะบันทึกผลเป็นอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักภายหลังการทดสอบ (Heart rate rest, HR_{rest}) ในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วินาทีตามลำดับ และใช้สัญลักษณ์ คือ HR_{rest15}, HR_{rest30}, HR_{rest45}, HR_{rest60}, HR_{rest75}, HR_{rest90}, $HR_{rest105}$ และ $HR_{rest120}$ ตามลำดับ

9. นำผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมาหาความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด (PHR) กับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักภายหลังการทดสอบ (HR_{rest}) ซึ่งจะได้ผลเป็นค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วินาทีตามลำดับ และใช้สัญลักษณ์ คือ HR_{rec15}, HR_{rec30}, HR_{rec45}, HR_{rec60}, HR_{rec75}, HR_{rec90}, HR_{rec105} และ HR_{rec120} ตามลำดับ

10. นำข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

11. ทำการสรุปผล อภิปรายผล และรายงานผลการวิจัย

เครื่องมือในการเก็บข้อมูล

1. แบบคัดกรองกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดสอบ
2. แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลการทดสอบโดยวิธีการของออสตรานด์และไรห์มิ่ง
3. แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างรายบุคคล

อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล

1. จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ Cateye รุ่น BC1200 พร้อมชุดอุปกรณ์การทดสอบ และโปรแกรมสำเร็จรูปของศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย

2. จักรยานยี่ห้อ Monark รุ่น 828 E จากประเทศสวีเดน พร้อมชุดอุปกรณ์การทดสอบและโปรแกรมสำเร็จรูปของศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย

3. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitors) ยี่ห้อ Polar จากประเทศฟินแลนด์ รุ่น Polar V800 ซึ่งสามารถกำหนด บันทึก และแสดงผลในแต่ละช่วงระยะเวลาภายใน 120 วินาทีได้ โดยใช้ร่วมกับ Application polar flow

สถานที่ดำเนินการเก็บข้อมูล

ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย หัวหมาก กรุงเทพมหานคร

ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล

เดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2559 เป็นระยะเวลา 7 เดือน

การวิเคราะห์ข้อมูล

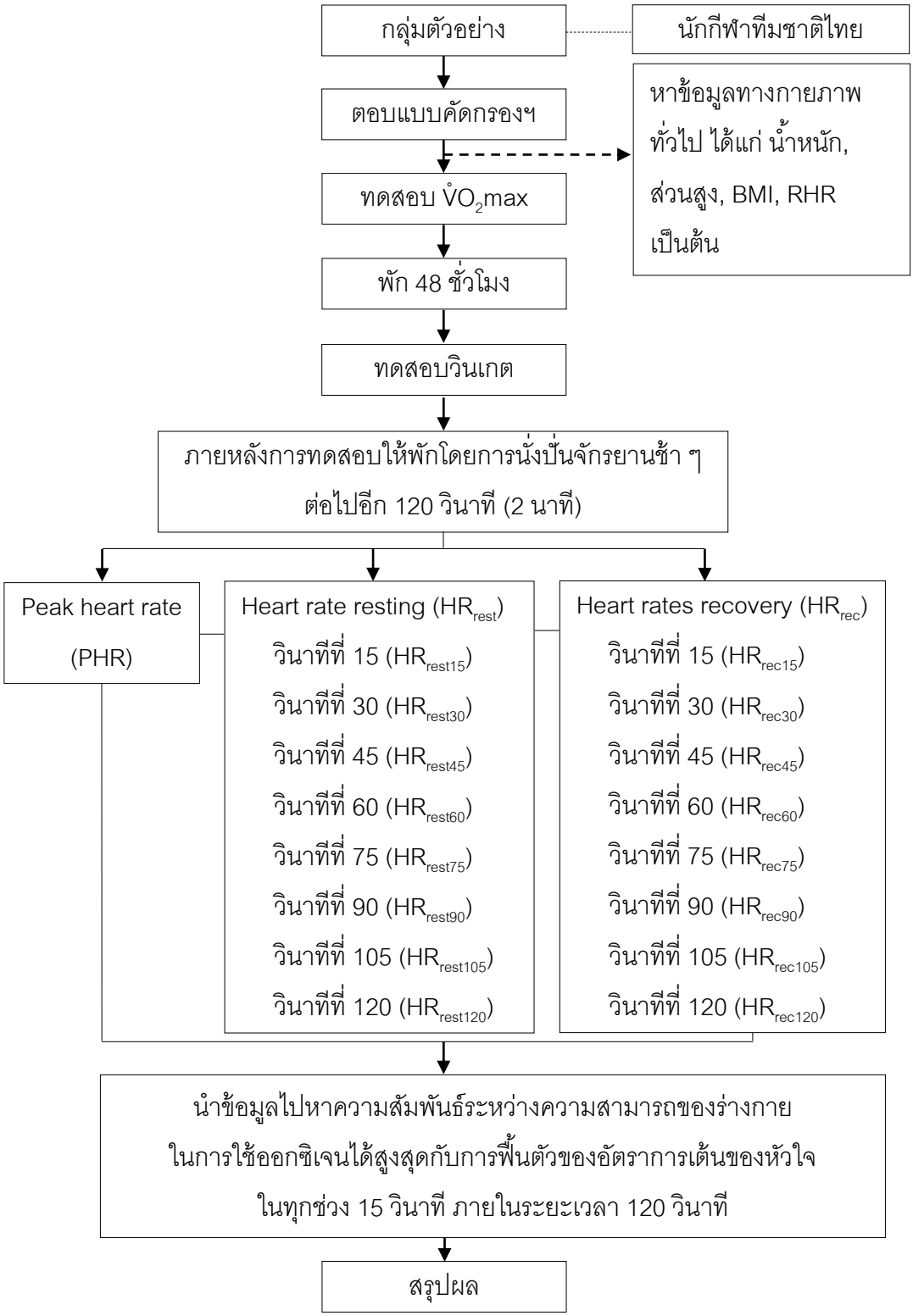
1. คำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ทางกายภาพ ได้แก่ เพศ อายุ ส่วนสูง น้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด พลังสูงสุดเชิงแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะเชิงแอนแอโรบิก ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักในทุกช่วงเวลา การฟื้นตัวของอัตรา

การเต้นของหัวใจในทุกช่วงเวลา และร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาทีภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson product moment correlation coefficient ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

3. ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ (Coefficient of determination: r^2) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า (Standard error of estimate: SEE) ของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

กรอบลำดับการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3-1 กรอบลำดับการเก็บข้อมูล

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ โดยทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที และเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันในการแปลความหมายของผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจึงได้กำหนดสัญลักษณ์และอักษรย่อในการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

$\bar{X}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ย
SD	หมายถึง	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
n	หมายถึง	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
p	หมายถึง	ค่าความน่าจะเป็นสำหรับบอกนัยสำคัญทางสถิติ
*	หมายถึง	ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
**	หมายถึง	ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01
***	หมายถึง	ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001
r	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
r square	หมายถึง	ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์
Adjusted r square	หมายถึง	ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์เมื่อปรับแล้ว
B	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ
Beta	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวพยากรณ์ในรูปคะแนนมาตรฐาน
Std. Error	หมายถึง	ความคลาดเคลื่อนหรือความผิดพลาด
Std. error of the estimate	หมายถึง	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า
Y	หมายถึง	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)
a	หมายถึง	ค่าคงที่

b หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression)

x หมายถึง จำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบของตาราง และภาพประกอบคำอธิบาย โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน

1. จำนวนและร้อยละของเพศของกลุ่มตัวอย่าง
2. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลลักษณะทางกายภาพ
3. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการประเมินความสามารถของร่างกาย
4. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลการฟื้นตัวของหัวใจ

4.1 อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันที

4.2 การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

4.3 ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

ตอนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

ตอนที่ 3 ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ (Coefficient of determination: r^2) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า (Standard error of estimate: SEE) ของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

ตอนที่ 4 ข้อมูลการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน

1. จำนวนและร้อยละของเพศของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา เป็นนักกีฬาทีมชาติไทยที่มีการเตรียมความพร้อมของร่างกายในเข้าร่วมการแข่งขันรายการต่าง ๆ ตามที่แต่ละสมาคมได้กำหนดไว้ โดยผู้วิจัยได้รับความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่างเป็นอย่างดี มีจำนวนทั้งสิ้น 150 คน แบ่งเป็นเพศชาย 98 คน (65.30%) และเพศหญิง 52 คน (34.70%) ดังปรากฏในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 จำนวนและร้อยละเกี่ยวกับเพศของกลุ่มตัวอย่าง

เพศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ (%)
ชาย	98	65.30
หญิง	52	34.70
รวม	150	100.00

2. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลลักษณะทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพ ประกอบด้วย อายุ ส่วนสูง น้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และอัตราการเต้นของหัวใจที่นำไปคำนวณระดับความหนักจากอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังปรากฏในตารางที่ 4-2 พบว่า กลุ่มตัวอย่าง มีอายุ 21.18 ± 4.36 ปี ส่วนสูง 170.70 ± 6.55 เซนติเมตร น้ำหนักตัว 64.33 ± 7.92 กิโลกรัม ดัชนีมวลกาย 22.00 ± 2.02 กิโลกรัมต่อตารางเมตร อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก 71.27 ± 10.71 ครั้งต่อนาที ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว 117.28 ± 13.13 มิลลิเมตรปรอท ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว 66.42 ± 8.39 มิลลิเมตรปรอท อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด 198.83 ± 4.36 ครั้งต่อนาที และอัตราการเต้นของหัวใจที่นำไปคำนวณระดับความหนักจากอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด 169.14 ± 3.83 ครั้งต่อนาที โดยคำนวณได้เท่ากับร้อยละ 85.06 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ ส่วนสูง น้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และอัตราการเต้นของหัวใจที่นำไปคำนวณระดับความหนักจากอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด

ลักษณะทางกายภาพ	$\overline{X}$	SD
อายุ (ปี)	21.18	4.36
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	170.70	6.55
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	64.33	7.92
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	22.00	2.02
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที)	71.27	10.71
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	117.28	13.13
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	66.42	8.39
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)	198.83	4.36
อัตราการเต้นของหัวใจที่นำไปคำนวณระดับความหนักจากอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)	169.14	3.83

3. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการประเมินความสามารถของร่างกาย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินความสามารถของร่างกาย ประกอบไปด้วย พลังสูงสุดเชิงแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะเชิงแอนแอโรบิก และความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังปรากฏในตารางที่ 4-3 พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีพลังสูงสุดเชิงแอนแอโรบิก 11.48 ± 1.24 วัตต์ ความสามารถในการยืนระยะเชิงแอนแอโรบิก 8.61 ± 1.03 วัตต์ และความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด 52.72 ± 11.08 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังสูงสุดเชิงแอนแอโรบิก ความสามารถในการยืนระยะเชิงแอนแอโรบิก และความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

การประเมินความสามารถของร่างกาย	$\overline{X}$	SD	Skewness	Kurtosis
พลังสูงสุดเชิงแอนแอโรบิก (วัตต์)	11.48	1.24	-.460	.669
ความสามารถในการยืนระยะเชิงแอนแอโรบิก (วัตต์)	8.61	1.03	.026	1.081
ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)	52.72	11.08	.664	.010

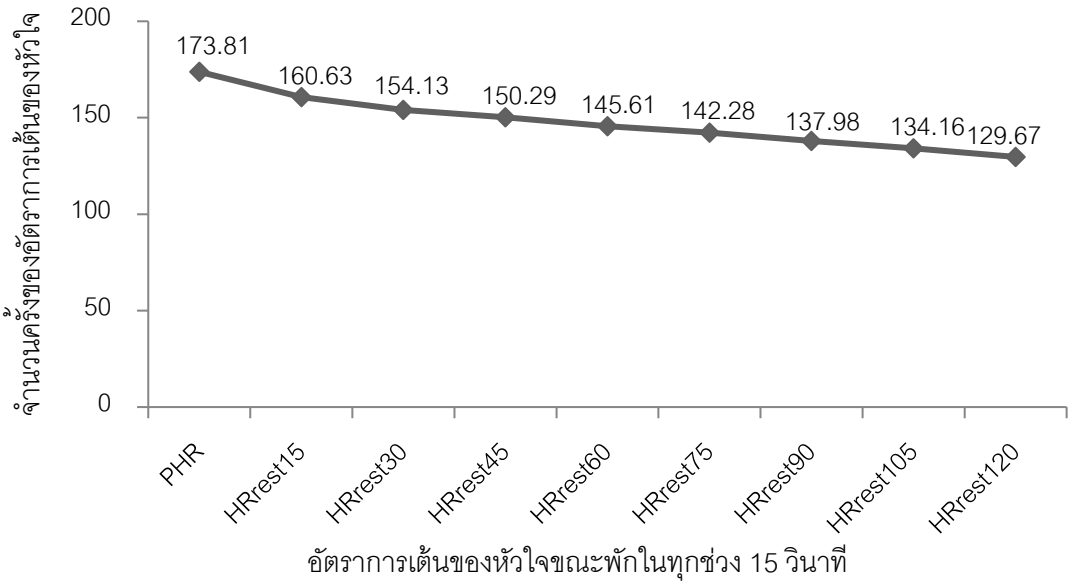
4. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลการฟื้นตัวของหัวใจ

4.1 อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันที

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังปรากฏในตารางที่ 4-4 พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด 173.81 ± 8.44 ครั้งต่อนาที และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่าเท่ากับ 160.63 ± 10.94, 154.13 ± 11.18, 150.29 ± 11.34, 145.61 ± 11.47, 142.28 ± 12.01, 137.98 ± 12.77, 134.16 ± 13.42 และ 129.67 ± 13.73 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

ข้อมูลการฟื้นตัวของหัวใจ	$\overline{X}$	SD
อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด (ครั้งต่อนาที)	173.81	8.44
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันที (ครั้งต่อนาที)		
- วินาทีที่ 15	160.63	10.94
- วินาทีที่ 30	154.13	11.18
- วินาทีที่ 45	150.29	11.34
- วินาทีที่ 60	145.61	11.47
- วินาทีที่ 75	142.28	12.01
- วินาทีที่ 90	137.98	12.77
- วินาทีที่ 105	134.16	13.42
- วินาทีที่ 120	129.67	13.73



หมายเหตุ PHR หมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด

HR_{rest15}, HR_{rest30}, HR_{rest45}, HR_{rest60}, HR_{rest75}, HR_{rest90}, $HR_{rest105}$ และ $HR_{rest120}$ หมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 ตามลำดับ

ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันที มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที

จากภาพที่ 4-1 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันที พบว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุดเท่ากับ 173 ครั้งต่อนาที หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการบันทึกการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาทีภายในระยะเวลา 120 วินาที ซึ่งมีทั้งหมด 8 ช่วง โดยสังเกตได้ว่า อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ตามลำดับ

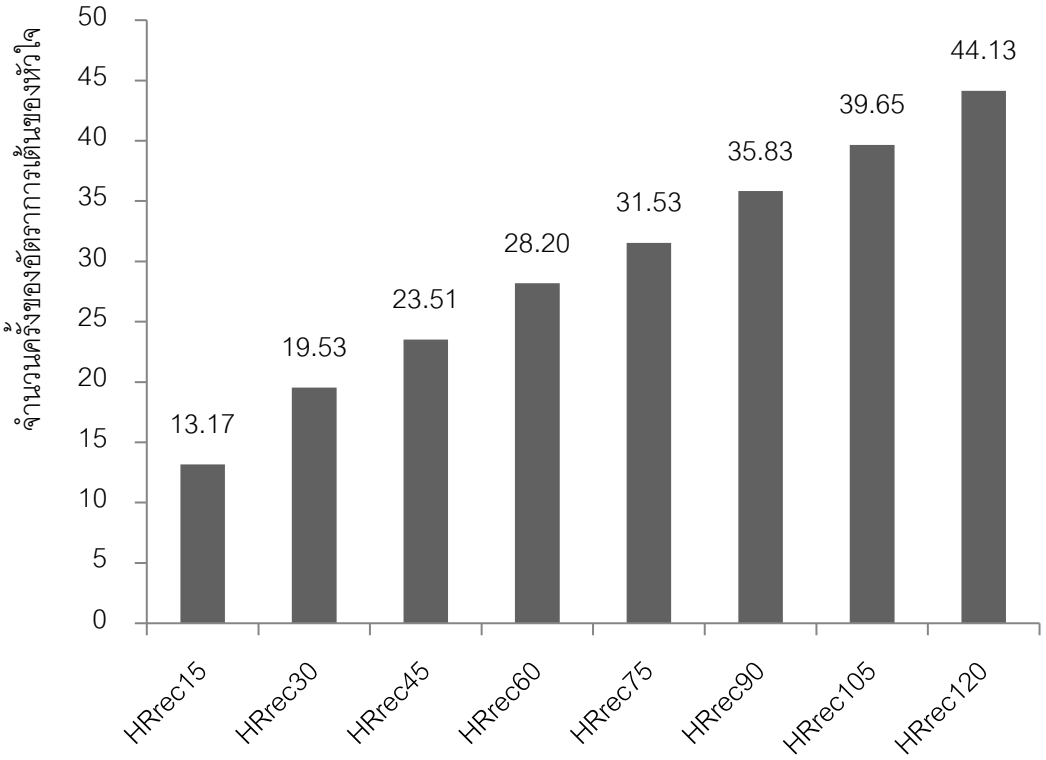
4.2 การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังปรากฏในตารางที่ 4-5 พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่า

เท่ากับ 13.17 ± 5.78, 19.53 ± 5.93, 23.51 ± 6.59, 28.20 ± 7.10, 31.53 ± 7.54, 35.83 ± 8.64, 39.65 ± 9.19 และ 44.13 ± 9.59 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

ข้อมูลการฟื้นตัวของหัวใจ	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (ครั้งต่อนาที)				
- วินาทีที่ 15	13.17	5.78	.858	.904
- วินาทีที่ 30	19.53	5.93	.482	.034
- วินาทีที่ 45	23.51	6.59	.638	.131
- วินาทีที่ 60	28.20	7.10	.534	-.208
- วินาทีที่ 75	31.53	7.54	.324	-.545
- วินาทีที่ 90	35.83	8.64	.336	-.616
- วินาทีที่ 105	39.65	9.19	.497	-.229
- วินาทีที่ 120	44.13	9.59	.243	-.587



หมายเหตุ HR_{rec15}, HR_{rec30}, HR_{rec45}, HR_{rec60}, HR_{rec75}, HR_{rec90}, HR_{rec105} และ HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 ตามลำดับ

ภาพที่ 4-2 จำนวนครั้งของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที

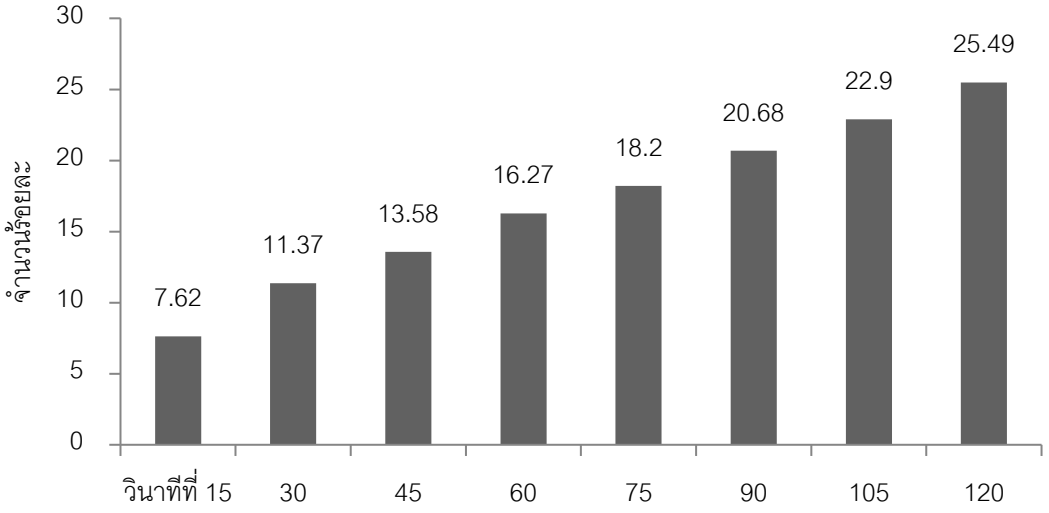
จากภาพที่ 4-2 แสดงจำนวนครั้งของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที สังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามลำดับ ซึ่งเป็นการแสดงถึงอัตราความเร็วของการฟื้นตัวของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

4.3 ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

จากการวิเคราะห์ข้อมูลร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังปรากฏในตารางที่ 4-6 พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 เท่ากับร้อยละ 7.62 ± 3.41, 11.37 ± 3.70, 13.58 ± 3.95, 16.27 ± 4.23, 18.20 ± 4.55, 20.68 ± 5.21, 22.90 ± 5.61 และ 25.49 ± 5.88 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

ข้อมูลการฟื้นตัวของหัวใจ	$\overline{X}$	SD
ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (%)		
- วินาทีที่ 15	7.62	3.41
- วินาทีที่ 30	11.37	3.70
- วินาทีที่ 45	13.58	3.95
- วินาทีที่ 60	16.27	4.23
- วินาทีที่ 75	18.20	4.55
- วินาทีที่ 90	20.68	5.21
- วินาทีที่ 105	22.90	5.61
- วินาทีที่ 120	25.49	5.88



ภาพที่ 4-3 จำนวนร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาทีภายในระยะเวลา 120 วินาที มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

จากภาพที่ 4-3 แสดงจำนวนร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที พบว่า อัตราส่วนของร้อยละมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามลำดับ

ตอนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับอายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Pearson product moment correlation coefficient ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับอายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด	
	r	Sig. (2-tailed)
อายุ	-.215*	.008
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที		
- วินาทีที่ 15	.472*	.000
- วินาทีที่ 30	.452*	.000
- วินาทีที่ 45	.513*	.000
- วินาทีที่ 60	.645*	.000
- วินาทีที่ 75	.615*	.000
- วินาทีที่ 90	.593*	.000
- วินาทีที่ 105	.577*	.000
- วินาทีที่ 120	.601*	.000

*p < .05

จากตารางที่ 4-7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด อายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที พบว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด มีความสัมพันธ์กับอายุ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -.215 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 และมีความสัมพันธ์กันในทางลบ แสดงให้เห็นว่า นักกีฬาที่มีอายุน้อยจะมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมากกว่านักกีฬาที่มีอายุมาก นอกจากนี้ ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .472, .452, .513,

.645, .615, .593, .577 และ .601 ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์ในลักษณะไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด ซึ่งมีค่าเป็นบวกในทุกช่วงเวลา

ตอนที่ 3 ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ (Coefficient of determination: r^2) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า (Standard error of estimate: SEE) ของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

จากการนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ดังปรากฏในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

ตัวแปร	r^2	Adjusted r square	SEE
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที			
- วินาทีที่ 15	.223	.218	9.80
- วินาทีที่ 30	.204	.199	9.92
- วินาทีที่ 45	.263	.258	9.54
- วินาทีที่ 60	.416	.413	8.49
- วินาทีที่ 75	.378	.374	8.77
- วินาทีที่ 90	.352	.348	8.95
- วินาทีที่ 105	.333	.328	9.08
- วินาทีที่ 120	.361	.356	8.89

จากตารางที่ 4-8 แสดงค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด พบว่า ในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ เท่ากับ .223, .204, .263, .416, .378, .352, .333 และ .361 ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์เมื่อปรับแล้ว ในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 เท่ากับ .218, .199, .258, .413, .374, .348, .328 และ .356 ตามลำดับ และมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า ในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 เท่ากับ 9.80, 9.92, 9.54, 8.49, 8.77, 8.95, 9.08 และ 8.89 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ

ตัวแปร	r	r^2	Adjusted r square	SEE
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที				
- วินาทีที่ 15	.495	.245	.235	9.69
- วินาทีที่ 30	.475	.226	.215	9.82
- วินาทีที่ 45	.534	.285	.275	9.43
- วินาทีที่ 60	.658	.433	.425	8.40
- วินาทีที่ 75	.627	.393	.384	8.69
- วินาทีที่ 90	.611	.374	.365	8.83
- วินาทีที่ 105	.601	.361	.352	8.92
- วินาทีที่ 120	.621	.385	.377	8.75

จากตารางที่ 4-9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยมีปัจจัยทางด้านอายุ พบว่า ในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ .495, .475, .534, .658, .627, .611, .601 และ .621 ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ เท่ากับ .245, .226, .285, .433, .393, .374, .361 และ .385 ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์เมื่อปรับแล้ว เท่ากับ .235, .215, .275, .425, .384, .365, .352 และ .377 ตามลำดับ และมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าเท่ากับ 9.69, 9.82, 9.43, 8.40, 8.69, 8.83, 8.92 และ 8.75 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-10 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	40.799	1.997		20.432	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 15 (ครั้งต่อนาที)	.905	.139	.472	6.518	.000*
ค่าคงที่	36.252	2.795		12.971	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 30 (ครั้งต่อนาที)	.843	.137	.452	6.157	.000*
ค่าคงที่	32.436	2.898		11.193	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 45 (ครั้งต่อนาที)	.863	.119	.513	7.268	.000*
ค่าคงที่	24.314	2.850		8.532	.000*

ตารางที่ 4-10 (ต่อ)

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	1.007	.098	.645	10.278	.000*
ค่าคงที่	24.236	3.087		7.851	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 75 (ครั้งต่อนาที)	.904	.095	.615	9.486	.000*
ค่าคงที่	25.443	3.128		8.134	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 90 (ครั้งต่อนาที)	.761	.085	.593	8.969	.000*
ค่าคงที่	25.141	3.293		7.634	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 105 (ครั้งต่อนาที)	.696	.081	.577	8.596	.000
ค่าคงที่	22.094	3.429		6.444	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	.694	.076	.601	9.140	.000*

*p < .05

ตารางที่ 4-11 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

สมการที่	**การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที**	**สมการจากการวิเคราะห์การถดถอย**	r^2
1	วินาทีที่ 15	$40.799 + .905HR_{rec15}$	.223
2	วินาทีที่ 30	$36.252 + .843HR_{rec30}$	.204
3	วินาทีที่ 45	$32.436 + .863HR_{rec45}$	.263
4	วินาทีที่ 60	$24.314 + 1.007HR_{rec60}$	.416
5	วินาทีที่ 75	$24.236 + .904HR_{rec75}$	.378
6	วินาทีที่ 90	$25.443 + .761HR_{rec90}$	.352
7	วินาทีที่ 105	$25.141 + .696HR_{rec105}$	.333
8	วินาทีที่ 120	$22.094 + .694HR_{rec120}$	.361

หมายเหตุ HR_{rec15}, HR_{rec30}, HR_{rec45}, HR_{rec60}, HR_{rec75}, HR_{rec90}, HR_{rec105} และ HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4-11 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที จากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำมากำหนดเป็นสมการในทำนายได้ทั้งหมด 8 สมการ

ตารางที่ 4-12 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	49.439	4.601		10.744	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 15 (ครั้งต่อนาที)	.864	.139	.451	6.224	.000*
อายุ (ปี)	-.382	.184	-.151	-2.079	.039*
ค่าคงที่	45.138	5.161		8.745	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 30 (ครั้งต่อนาที)	.801	.137	.429	5.838	.000*
อายุ (ปี)	-.380	.186	-.150	-2.039	.043*
ค่าคงที่	41.239	5.050		8.165	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 45 (ครั้งต่อนาที)	.829	.118	.493	7.002	.000*
อายุ (ปี)	-.378	.179	-.149	-2.116	.036*
ค่าคงที่	32.091	4.686		6.848	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	.980	.098	.628	10.016	.000*
อายุ (ปี)	-.331	.159	-.130	-2.077	.040*
ค่าคงที่	31.681	5.014		6.318	.000*

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 75 (ครั้งต่อนาที)	.876	.096	.596	9.156	.000*
อายุ (ปี)	-.310	.165	-.122	-1.875	.063
ค่าคงที่	34.185	4.964		6.887	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 90 (ครั้งต่อนาที)	.739	.084	.576	8.766	.000*
อายุ (ปี)	-.375	.167	-.148	-2.248	.026*
ค่าคงที่	34.804	5.014		6.941	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 105 (ครั้งต่อนาที)	.678	.080	.563	8.502	.000*
อายุ (ปี)	-.424	.168	-.167	-2.522	.013*
ค่าคงที่	31.358	5.097		6.152	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	.676	.075	.585	9.006	.000*
อายุ (ปี)	-.400	.165	-.158	-2.425	.017*

*P < .05

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยโดยมีปัจจัยทางด้านอายุ ดังปรากฏในตารางที่ 4-12 ซึ่งการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 75 (หน่วยเป็นครั้งต่อนาที) พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่า สมการในวินาทีที่ 75 ไม่สมควรนำไปทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้

ตารางที่ 4-13 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาทีภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ

สมการที่	**การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที**	**สมการจากการวิเคราะห์การถดถอย**	r^2
1	วินาทีที่ 15	49.439 + .864HR_{rec15} + (-.382) Age	.245
2	วินาทีที่ 30	45.138 + .801HR_{rec30} + (-.380) Age	.226
3	วินาทีที่ 45	41.239 + .829HR_{rec45} + (-.378) Age	.285
4	วินาทีที่ 60	32.091 + .980HR_{rec60} + (-.331) Age	.433
5	วินาทีที่ 90	34.185 + .739HR_{rec90} + (-.375) Age	.374
6	วินาทีที่ 105	34.804 + .678HR_{rec105} + (-.424) Age	.361
7	วินาทีที่ 120	31.358 + .676HR_{rec120} + (-.400) Age	.385

หมายเหตุ Age หมายถึง อายุ

HR_{rec15}, HR_{rec30}, HR_{rec45}, HR_{rec60}, HR_{rec90}, HR_{rec105} และ HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 90, 105 และ 120 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4-13 แสดงสรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยนำปัจจัยทางด้านอายุมาพิจารณา และจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำมากำหนดเป็นสมการในทำนายได้ทั้งหมด 7 สมการ

ตอนที่ 4 ข้อมูลการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

ในความเป็นจริงตามหลักสากล การนับจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจ จะนิยมใช้การจับเวลาเป็นจำนวนนาทีเพื่อบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ เช่น การวัดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก โดยการจับเวลา 1 นาที หรือ 60 วินาที แล้วทำการนับและบันทึกจำนวนครั้งของอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักเป็นจำนวนกี่ครั้ง และเพื่อให้เกิดความสะดวกในการนำไปในทางปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อ

ทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 และ 120 เพื่อที่จะได้แทนค่าในสมการให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (ตารางที่ 4-7) เท่ากับ .645 ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่นทั้งหมด ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 และรวมไปถึงประสิทธิภาพในการพยากรณ์ ก็ยังมีความสัมพันธ์ในระดับที่สูงกว่าในช่วงเวลาอื่นด้วยเช่นกัน ซึ่งการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที สามารถนำไปใช้ได้ประมาณร้อยละ 41.6 นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 60 ยังมีค่าน้อยกว่าทุกช่วงเวลาอื่นทั้งหมด (ตารางที่ 4-8)

ตารางที่ 4-14 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	24.314	2.850		8.532	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60	1.007	.098	.645	10.278	.000*

*P < .05, SEE = 8.49, r = .645, r^2 = .416, F = 105.638, Sig. = .000

จากตารางที่ 4-14 พบว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .645 และสามารถนำไปใช้พยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 41.6 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 8.49 และจะได้สมการในการพยากรณ์

ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเมื่อทราบค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}O_2max = 24.314 + 1.007HR_{rec60}$$

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด
HR_{rec60} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60

ตารางที่ 4-15 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	22.094	3.429		6.444	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120	.694	.076	.601	9.140	.000*

*P < .05, SEE = 8.89, r = .601, r^2 = .361, F = 83.540, Sig. = .000

จากตารางที่ 4-15 พบว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .601 และสามารถนำไปใช้พยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 36.1 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 8.89 และจะได้สมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเมื่อทราบค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}O_2max = 22.094 + .694HR_{rec120}$$

โดย $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120

ตารางที่ 4-16 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านอายุ

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	32.091	4.686		6.848	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60	.980	.098	.628	10.016	.000*
อายุ (ปี)	-.331	.159	-.130	-2.077	.040*

*P < .05, SEE = 8.40, r = .658, r^2 = .433, F = 56.159, Sig. = .000

จากตารางที่ 4-16 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ พบว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับอายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .658 และสามารถนำไปใช้พยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 43.3 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 8.40 และจะได้สมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเมื่อทราบค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 และค่าของอายุ ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}O_2max = 32.091 + .980HR_{rec60} + (-.331)\ Age$$

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec60} หมายถึง ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60

Age หมายถึง ค่าของอายุ

ตารางที่ 4-17 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านอายุ

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	31.358	5.097		6.152	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120	.676	.075	.585	9.006	.000*
อายุ (ปี)	-.400	.165	-.158	-2.425	.017*

*P < .05, SEE =8.75, r = .621, r^2 = .385, F = 46.086, Sig. = .000

จากตารางที่ 4-17 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ พบว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับอายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .621 และสามารถนำไปใช้พยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 38.5 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 8.75 และจะได้สมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเมื่อทราบค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 และค่าของอายุ ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}O_2max = 31.358 + .676HR_{rec120} + (-.400)\ Age$$

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec120} หมายถึง ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120

Age หมายถึง ค่าของอายุ

ตารางที่ 4-18 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	25.683	3.719		6.906	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60	.957	.124	.620	7.734	.000*

*P < .05, SEE = 8.72, r = .620, r^2 = .384, F = 59.808, Sig. = .000

จากตารางที่ 4-18 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .620 และสามารถนำไปใช้พยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 38.4 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 8.72 และจะได้สมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเมื่อทราบค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}O_2max = 25.683 + .957HR_{rec60}$$

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec60} หมายถึง ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60

ตารางที่ 4-19 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	25.217	4.322		5.834	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60	.634	.094	.566	6.728	.000*

*P < .05, SEE = 9.15, r = .566, r^2 = .320, F = 45.271, Sig. = .000

จากตารางที่ 4-19 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .634 และสามารถนำไปใช้พยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 32 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 9.15 และจะได้สมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเมื่อทราบค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}O_2max = 25.217 + .634HR_{rec120}$$

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec120} หมายถึง ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120

ตารางที่ 4-20 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	21.279	4.652		4.574	.000*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60	1.130	.171	.682	6.592	.000*

*P < .05, SEE = 8.16, r = .682, r^2 = .465, F = 43.457, Sig. = .000

จากตารางที่ 4-20 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .682 และสามารถนำไปใช้พยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 46.5 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 8.72 และจะได้สมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเมื่อทราบค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}O_2max = 21.279 + 1.130HR_{rec60}$$

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec60} หมายถึง ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60

ตารางที่ 4-21 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง

ตัวแปร	B	Std.error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	16.275	5.694		2.858	.006*
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120	.810	.130	.661	6.233	.000*

*P < .05, SEE = 8.37, r = .661, r^2 = .437, F = 38.855, Sig. = .000

จากตารางที่ 4-21 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .661 และสามารถนำไปใช้พยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้ประมาณร้อยละ 43.7 ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 8.37 และจะได้สมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดเมื่อทราบค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}O_2max = 16.275 + .810HR_{rec120}$$

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec120} หมายถึง ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120

ตารางที่ 4-22 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 และ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย

สมการที่	**การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที**	**สมการจากการวิเคราะห์การถดถอย**	r^2
1	วินาทีที่ 60	$25.683 + .957HR_{rec60}$	.384
2	วินาทีที่ 120	$25.217 + .634HR_{rec120}$	.320

หมายเหตุ HR_{rec60} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 60

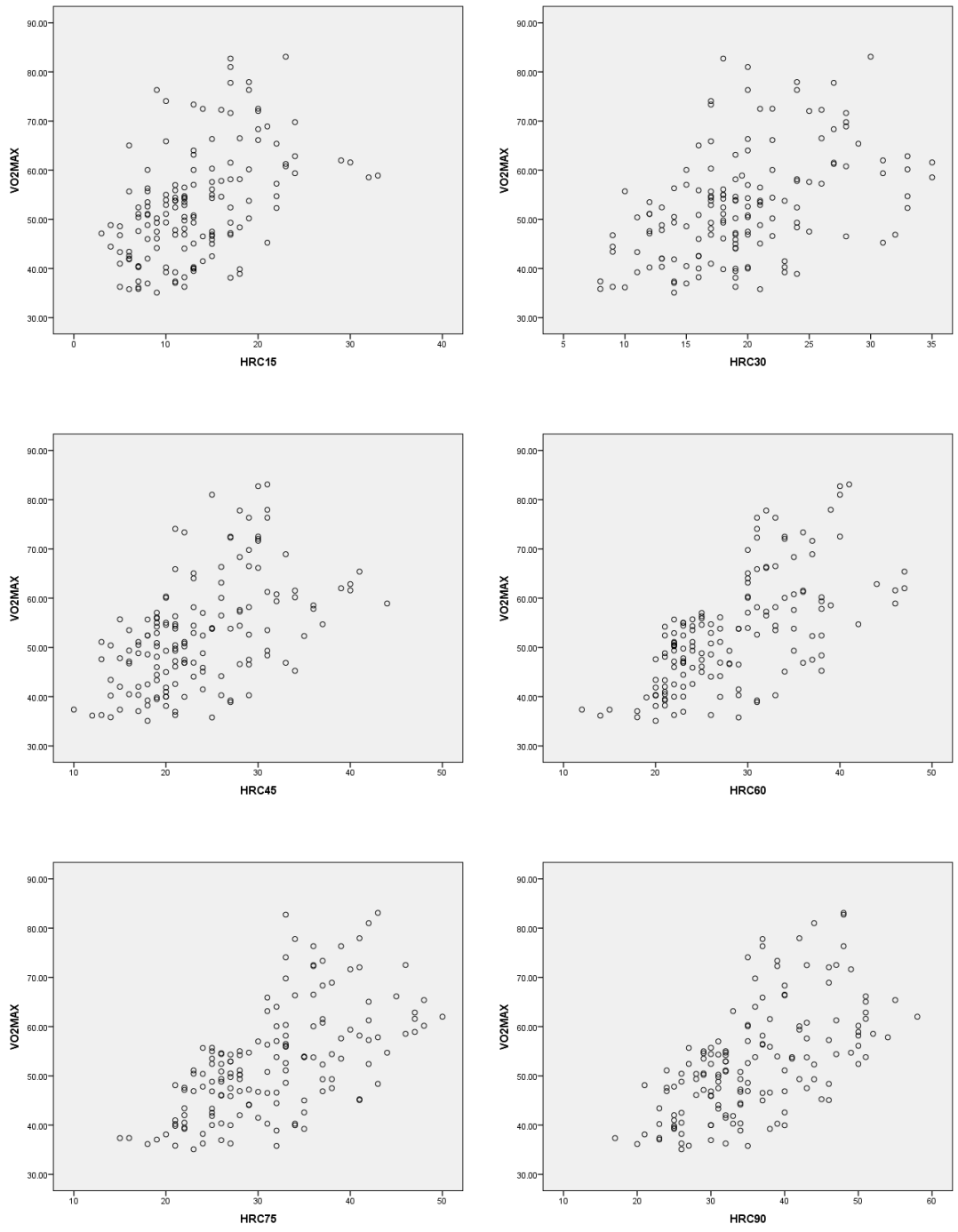
HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 120

ตารางที่ 4-23 สรุปสมการในการพยากรณ์ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 และ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง

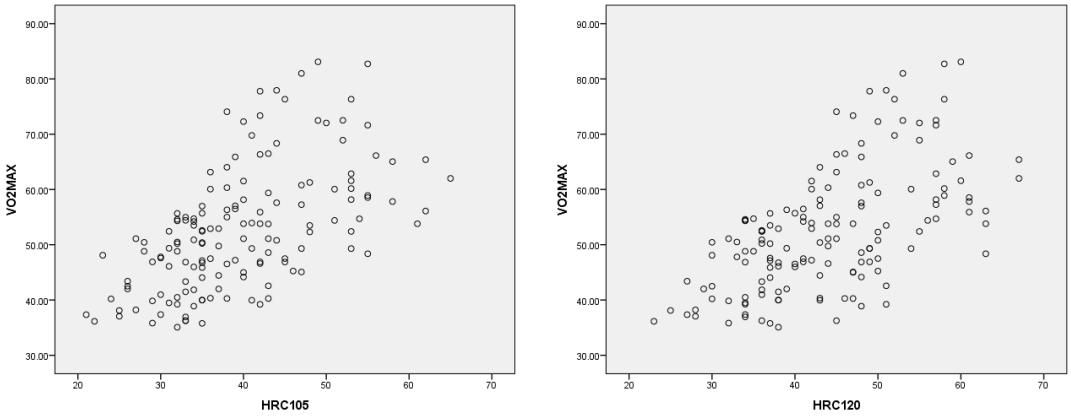
สมการที่	**การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที**	**สมการจากการวิเคราะห์การถดถอย**	r^2
1	วินาทีที่ 60	$21.279 + 1.130HR_{rec60}$	.465
2	วินาทีที่ 120	$16.275 + .810HR_{rec120}$	.437

หมายเหตุ HR_{rec60} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 60

HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 120



ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายในทุกช่วงเวลา



ภาพที่ 4-4 (ต่อ)

จากภาพที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วงเวลา โดยสังเกตได้ว่า มีลักษณะการเคลื่อนที่เชิงเส้นไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4-24 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
1	16.82	25.32	33.82
2	17.83	26.33	34.83
3	18.84	27.34	35.83
4	19.84	28.34	36.84
5	20.85	29.35	37.85
6	21.86	30.36	38.85
7	22.87	31.36	39.86
8	23.87	32.37	40.87
9	24.88	33.38	41.87

ตารางที่ 4-24 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
10	25.89	34.38	42.88
11	26.89	35.39	43.89
12	27.90	36.40	44.90
13	28.91	37.41	45.90
14	29.91	38.41	46.91
15	30.92	39.42	47.92
16	31.93	40.43	48.92
17	32.94	41.43	49.93
18	33.94	42.44	50.94
19	34.95	43.45	51.94
20	35.96	44.45	52.95
21	36.96	45.46	53.96
22	37.97	46.47	54.97
23	38.98	47.48	55.97
24	39.98	48.48	56.98
25	40.99	49.49	57.99
26	42.00	50.50	58.99
27	43.01	51.50	60.00
28	44.01	52.51	61.01
29	45.02	53.52	62.01
30	46.03	54.52	63.02
31	47.03	55.53	64.03
32	48.04	56.54	65.04
33	49.05	57.55	66.04

ตารางที่ 4-24 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
34	50.05	58.55	67.05
35	51.06	59.56	68.06
36	52.07	60.57	69.06
37	53.08	61.57	70.07
38	54.08	62.58	71.08
39	55.09	63.59	72.08
40	56.10	64.59	73.09
41	57.10	65.60	74.10
42	58.11	66.61	75.11
43	59.12	67.62	76.11
44	60.12	68.62	77.12
45	61.13	69.63	78.13
46	62.14	70.64	79.13
47	63.15	71.64	80.14
48	64.15	72.65	81.15
49	65.16	73.66	82.15
50	66.17	74.66	83.16
51	67.17	75.67	84.17
52	68.18	76.68	85.18
53	69.19	77.69	86.18
54	70.19	78.69	87.19
55	71.20	79.70	88.20
56	72.21	80.71	89.20
57	73.22	81.71	90.21

ตารางที่ 4-24 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
58	74.22	82.72	91.22
59	75.23	83.73	92.22
60	76.24	84.73	93.23

ตารางที่ 4-25 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
1	13.89	22.79	31.68
2	14.59	23.48	32.38
3	15.28	24.18	33.07
4	15.98	24.87	33.76
5	16.67	25.56	34.46
6	17.36	26.26	35.15
7	18.06	26.95	35.85
8	18.75	27.65	36.54
9	19.45	28.34	37.23
10	20.14	29.03	37.93
11	20.83	29.73	38.62
12	21.53	30.42	39.32
13	22.22	31.12	40.01

ตารางที่ 4-25 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
14	22.92	31.81	40.70
15	23.61	32.50	41.40
16	24.30	33.20	42.09
17	25.00	33.89	42.79
18	25.69	34.59	43.48
19	26.39	35.28	44.17
20	27.08	35.97	44.87
21	27.77	36.67	45.56
22	28.47	37.36	46.26
23	29.16	38.06	46.95
24	29.86	38.75	47.64
25	30.55	39.44	48.34
26	31.24	40.14	49.03
27	31.94	40.83	49.73
28	32.63	41.53	50.42
29	33.33	42.22	51.11
30	34.02	42.91	51.81
31	34.71	43.61	52.50
32	35.41	44.30	53.20
33	36.10	45.00	53.89
34	36.80	45.69	54.58
35	37.49	46.38	55.28
36	38.18	47.08	55.97
37	38.88	47.77	56.67

ตารางที่ 4-25 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
38	39.57	48.47	57.36
39	40.27	49.16	58.05
40	40.96	49.85	58.75
41	41.65	50.55	59.44
42	42.35	51.24	60.14
43	43.04	51.94	60.83
44	43.74	52.63	61.52
45	44.43	53.32	62.22
46	45.12	54.02	62.91
47	45.82	54.71	63.61
48	46.51	55.41	64.30
49	47.21	56.10	64.99
50	47.90	56.79	65.69
51	48.59	57.49	66.38
52	49.29	58.18	67.08
53	49.98	58.88	67.77
54	50.68	59.57	68.46
55	51.37	60.26	69.16
56	52.06	60.96	69.85
57	52.76	61.65	70.55
58	53.45	62.35	71.24
59	54.15	63.04	71.93
60	54.84	63.73	72.63
61	55.53	64.43	73.32

ตารางที่ 4-25 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
62	56.23	65.12	74.02
63	56.92	65.82	74.71
64	57.62	66.51	75.40
65	58.31	67.20	76.10
66	59.00	67.90	76.79
67	59.70	68.59	77.49
68	60.39	69.29	78.18
69	61.09	69.98	78.87
70	61.78	70.67	79.57
71	62.47	71.37	80.26
72	63.17	72.06	80.96
73	63.86	72.76	81.65
74	64.56	73.45	82.34
75	65.25	74.14	83.04
76	65.94	74.84	83.73
77	66.64	75.53	84.43
78	67.33	76.23	85.12
79	68.03	76.92	85.81
80	68.72	77.61	86.51
81	69.41	78.31	87.20
82	70.11	79.00	87.90
83	70.80	79.70	88.59
84	71.50	80.39	89.28
85	72.19	81.08	89.98

ตารางที่ 4-25 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
86	72.88	81.78	90.67
87	73.58	82.47	91.37
88	74.27	83.17	92.06
89	74.97	83.86	92.75
90	75.66	84.55	93.45

ตารางที่ 4-26 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 โดยมีปัจจัยทางด้านอายุของนักกีฬาเท่ากับ 21 ปี

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
1	17.72	26.12	34.52
2	18.70	27.10	35.50
3	19.68	28.08	36.48
4	20.66	29.06	37.46
5	21.64	30.04	38.44
6	22.62	31.02	39.42
7	23.60	32.00	40.40
8	24.58	32.98	41.38
9	25.56	33.96	42.36
10	26.54	34.94	43.34
11	27.52	35.92	44.32

ตารางที่ 4-26 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
12	28.50	36.90	45.30
13	29.48	37.88	46.28
14	30.46	38.86	47.26
15	31.44	39.84	48.24
16	32.42	40.82	49.22
17	33.40	41.80	50.20
18	34.38	42.78	51.18
19	35.36	43.76	52.16
20	36.34	44.74	53.14
21	37.32	45.72	54.12
22	38.30	46.70	55.10
23	39.28	47.68	56.08
24	40.26	48.66	57.06
25	41.24	49.64	58.04
26	42.22	50.62	59.02
27	43.20	51.60	60.00
28	44.18	52.58	60.98
29	45.16	53.56	61.96
30	46.14	54.54	62.94
31	47.12	55.52	63.92
32	48.10	56.50	64.90
33	49.08	57.48	65.88
34	50.06	58.46	66.86
35	51.04	59.44	67.84

ตารางที่ 4-26 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
36	52.02	60.42	68.82
37	53.00	61.40	69.80
38	53.98	62.38	70.78
39	54.96	63.36	71.76
40	55.94	64.34	72.74
41	56.92	65.32	73.72
42	57.90	66.30	74.70
43	58.88	67.28	75.68
44	59.86	68.26	76.66
45	60.84	69.24	77.64
46	61.82	70.22	78.62
47	62.80	71.20	79.60
48	63.78	72.18	80.58
49	64.76	73.16	81.56
50	65.74	74.14	82.54
51	66.72	75.12	83.52
52	67.70	76.10	84.50
53	68.68	77.08	85.48
54	69.66	78.06	86.46
55	70.64	79.04	87.44
56	71.62	80.02	88.42
57	72.60	81.00	89.40
58	73.58	81.98	90.38
59	74.56	82.96	91.36

ตารางที่ 4-26 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
60	75.54	83.94	92.34

ตารางที่ 4-27 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 โดยมีปัจจัยทางด้านอายุของนักกีฬาเท่ากับ 21 ปี

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
1	14.88	23.63	32.38
2	15.56	24.31	33.06
3	16.24	24.99	33.74
4	16.91	25.66	34.41
5	17.59	26.34	35.09
6	18.26	27.01	35.76
7	18.94	27.69	36.44
8	19.62	28.37	37.12
9	20.29	29.04	37.79
10	20.97	29.72	38.47
11	21.64	30.39	39.14
12	22.32	31.07	39.82
13	23.00	31.75	40.50
14	23.67	32.42	41.17
15	24.35	33.10	41.85

ตารางที่ 4-27 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
16	25.02	33.77	42.52
17	25.70	34.45	43.20
18	26.38	35.13	43.88
19	27.05	35.80	44.55
20	27.73	36.48	45.23
21	28.40	37.15	45.90
22	29.08	37.83	46.58
23	29.76	38.51	47.26
24	30.43	39.18	47.93
25	31.11	39.86	48.61
26	31.78	40.53	49.28
27	32.46	41.21	49.96
28	33.14	41.89	50.64
29	33.81	42.56	51.31
30	34.49	43.24	51.99
31	35.16	43.91	52.66
32	35.84	44.59	53.34
33	36.52	45.27	54.02
34	37.19	45.94	54.69
35	37.87	46.62	55.37
36	38.54	47.29	56.04
37	39.22	47.97	56.72
38	39.90	48.65	57.40
39	40.57	49.32	58.07

ตารางที่ 4-27 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
40	41.25	50.00	58.75
41	41.92	50.67	59.42
42	42.60	51.35	60.10
43	43.28	52.03	60.78
44	43.95	52.70	61.45
45	44.63	53.38	62.13
46	45.30	54.05	62.80
47	45.98	54.73	63.48
48	46.66	55.41	64.16
49	47.33	56.08	64.83
50	48.01	56.76	65.51
51	48.68	57.43	66.18
52	49.36	58.11	66.86
53	50.04	58.79	67.54
54	50.71	59.46	68.21
55	51.39	60.14	68.89
56	52.06	60.81	69.56
57	52.74	61.49	70.24
58	53.42	62.17	70.92
59	54.09	62.84	71.59
60	54.77	63.52	72.27
61	55.44	64.19	72.94
62	56.12	64.87	73.62
63	56.80	65.55	74.30

ตารางที่ 4-27 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
64	57.47	66.22	74.97
65	58.15	66.90	75.65
66	58.82	67.57	76.32
67	59.50	68.25	77.00
68	60.18	68.93	77.68
69	60.85	69.60	78.35
70	61.53	70.28	79.03
71	62.20	70.95	79.70
72	62.88	71.63	80.38
73	63.56	72.31	81.06
74	64.23	72.98	81.73
75	64.91	73.66	82.41
76	65.58	74.33	83.08
77	66.26	75.01	83.76
78	66.94	75.69	84.44
79	67.61	76.36	85.11
80	68.29	77.04	85.79
81	68.96	77.71	86.46
82	69.64	78.39	87.14
83	70.32	79.07	87.82
84	70.99	79.74	88.49
85	71.67	80.42	89.17
86	72.34	81.09	89.84
87	73.02	81.77	90.52

ตารางที่ 4-27 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
88	73.70	82.45	91.20
89	74.37	83.12	91.87
90	75.05	83.80	92.55

ตารางที่ 4-28 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
1	17.92	26.64	35.36
2	18.87	27.60	36.32
3	19.83	28.55	37.28
4	20.79	29.51	38.23
5	21.75	30.47	39.19
6	22.70	31.43	40.15
7	23.66	32.38	41.10
8	24.62	33.34	42.06
9	25.57	34.30	43.02
10	26.53	35.25	43.98
11	27.49	36.21	44.93
12	28.44	37.17	45.89
13	29.40	38.12	46.85

ตารางที่ 4-28 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
14	30.36	39.08	47.80
15	31.32	40.04	48.76
16	32.27	41.00	49.72
17	33.23	41.95	50.67
18	34.19	42.91	51.63
19	35.14	43.87	52.59
20	36.10	44.82	53.55
21	37.06	45.78	54.50
22	38.01	46.74	55.46
23	38.97	47.69	56.42
24	39.93	48.65	57.37
25	40.89	49.61	58.33
26	41.84	50.57	59.29
27	42.80	51.52	60.24
28	43.76	52.48	61.20
29	44.71	53.44	62.16
30	45.67	54.39	63.12
31	46.63	55.35	64.07
32	47.58	56.31	65.03
33	48.54	57.26	65.99
34	49.50	58.22	66.94
35	50.46	59.18	67.90
36	51.41	60.14	68.86
37	52.37	61.09	69.81

ตารางที่ 4-28 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
38	53.33	62.05	70.77
39	54.28	63.01	71.73
40	55.24	63.96	72.69
41	56.20	64.92	73.64
42	57.15	65.88	74.60
43	58.11	66.83	75.56
44	59.07	67.79	76.51
45	60.03	68.75	77.47
46	60.98	69.71	78.43
47	61.94	70.66	79.38
48	62.90	71.62	80.34
49	63.85	72.58	81.30
50	64.81	73.53	82.26
51	65.77	74.49	83.21
52	66.72	75.45	84.17
53	67.68	76.40	85.13
54	68.64	77.36	86.08
55	69.60	78.32	87.04
56	70.55	79.28	88.00
57	71.51	80.23	88.95
58	72.47	81.19	89.91
59	73.42	82.15	90.87
60	74.38	83.10	91.83

ตารางที่ 4-29 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
1	16.69	25.85	35.01
2	17.33	26.49	35.64
3	17.96	27.12	36.28
4	18.59	27.75	36.91
5	19.23	28.39	37.55
6	19.86	29.02	38.18
7	20.50	29.66	38.81
8	21.13	30.29	39.45
9	21.76	30.92	40.08
10	22.40	31.56	40.72
11	23.03	32.19	41.35
12	23.67	32.83	41.98
13	24.30	33.46	42.62
14	24.93	34.09	43.25
15	25.57	34.73	43.89
16	26.20	35.36	44.52
17	26.84	36.00	45.15
18	27.47	36.63	45.79
19	28.10	37.26	46.42
20	28.74	37.90	47.06
21	29.37	38.53	47.69
22	30.01	39.17	48.32

ตารางที่ 4-29 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
23	30.64	39.80	48.96
24	31.27	40.43	49.59
25	31.91	41.07	50.23
26	32.54	41.70	50.86
27	33.18	42.34	51.49
28	33.81	42.97	52.13
29	34.44	43.60	52.76
30	35.08	44.24	53.40
31	35.71	44.87	54.03
32	36.35	45.51	54.66
33	36.98	46.14	55.30
34	37.61	46.77	55.93
35	38.25	47.41	56.57
36	38.88	48.04	57.20
37	39.52	48.68	57.83
38	40.15	49.31	58.47
39	40.78	49.94	59.10
40	41.42	50.58	59.74
41	42.05	51.21	60.37
42	42.69	51.85	61.00
43	43.32	52.48	61.64
44	43.95	53.11	62.27
45	44.59	53.75	62.91
46	45.22	54.38	63.54

ตารางที่ 4-29 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
47	45.86	55.02	64.17
48	46.49	55.65	64.81
49	47.12	56.28	65.44
50	47.76	56.92	66.08
51	48.39	57.55	66.71
52	49.03	58.19	67.34
53	49.66	58.82	67.98
54	50.29	59.45	68.61
55	50.93	60.09	69.25
56	51.56	60.72	69.88
57	52.20	61.36	70.51
58	52.83	61.99	71.15
59	53.46	62.62	71.78
60	54.10	63.26	72.42
61	54.73	63.89	73.05
62	55.37	64.53	73.68
63	56.00	65.16	74.32
64	56.63	65.79	74.95
65	57.27	66.43	75.59
66	57.90	67.06	76.22
67	58.54	67.70	76.85
68	59.17	68.33	77.49
69	59.80	68.96	78.12
70	60.44	69.60	78.76

ตารางที่ 4-29 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
71	61.07	70.23	79.39
72	61.71	70.87	80.02
73	62.34	71.50	80.66
74	62.97	72.13	81.29
75	63.61	72.77	81.93
76	64.24	73.40	82.56
77	64.88	74.04	83.19
78	65.51	74.67	83.83
79	66.14	75.30	84.46
80	66.78	75.94	85.10
81	67.41	76.57	85.73
82	68.05	77.21	86.36
83	68.68	77.84	87.00
84	69.31	78.47	87.63
85	69.95	79.11	88.27
86	70.58	79.74	88.90
87	71.22	80.38	89.53
88	71.85	81.01	90.17
89	72.48	81.64	90.80
90	73.12	82.28	91.44

ตารางที่ 4-30 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
1	14.24	22.41	30.57
2	15.37	23.54	31.70
3	16.50	24.67	32.83
4	17.63	25.80	33.96
5	18.76	26.93	35.09
6	19.89	28.06	36.22
7	21.02	29.19	37.35
8	22.15	30.32	38.48
9	23.28	31.45	39.61
10	24.41	32.58	40.74
11	25.54	33.71	41.87
12	26.67	34.84	43.00
13	27.80	35.97	44.13
14	28.93	37.10	45.26
15	30.06	38.23	46.39
16	31.19	39.36	47.52
17	32.32	40.49	48.65
18	33.45	41.62	49.78
19	34.58	42.75	50.91
20	35.71	43.88	52.04
21	36.84	45.01	53.17
22	37.97	46.14	54.30

ตารางที่ 4-30 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
23	39.10	47.27	55.43
24	40.23	48.40	56.56
25	41.36	49.53	57.69
26	42.49	50.66	58.82
27	43.62	51.79	59.95
28	44.75	52.92	61.08
29	45.88	54.05	62.21
30	47.01	55.18	63.34
31	48.14	56.31	64.47
32	49.27	57.44	65.60
33	50.40	58.57	66.73
34	51.53	59.70	67.86
35	52.66	60.83	68.99
36	53.79	61.96	70.12
37	54.92	63.09	71.25
38	56.05	64.22	72.38
39	57.18	65.35	73.51
40	58.31	66.48	74.64
41	59.44	67.61	75.77
42	60.57	68.74	76.90
43	61.70	69.87	78.03
44	62.83	71.00	79.16
45	63.96	72.13	80.29
46	65.09	73.26	81.42

ตารางที่ 4-30 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
47	66.22	74.39	82.55
48	67.35	75.52	83.68
49	68.48	76.65	84.81
50	69.61	77.78	85.94
51	70.74	78.91	87.07
52	71.87	80.04	88.20
53	73.00	81.17	89.33
54	74.13	82.30	90.46
55	75.26	83.43	91.59
56	76.39	84.56	92.72
57	77.52	85.69	93.85
58	78.65	86.82	94.98
59	79.78	87.95	96.11
60	80.91	89.08	97.24

ตารางที่ 4-31 การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	**ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)**		
	ค่าต่ำสุด	**ค่ากลาง**	**ค่าสูงสุด**
1	8.71	17.09	25.46
2	9.52	17.90	26.27
3	10.33	18.71	27.08
4	11.14	19.52	27.89
5	11.95	20.33	28.70
6	12.76	21.14	29.51
7	13.57	21.95	30.32
8	14.38	22.76	31.13
9	15.19	23.57	31.94
10	16.00	24.38	32.75
11	16.81	25.19	33.56
12	17.62	26.00	34.37
13	18.43	26.81	35.18
14	19.24	27.62	35.99
15	20.05	28.43	36.80
16	20.86	29.24	37.61
17	21.67	30.05	38.42
18	22.48	30.86	39.23
19	23.29	31.67	40.04
20	24.10	32.48	40.85
21	24.91	33.29	41.66
22	25.72	34.10	42.47

ตารางที่ 4-31 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
23	26.53	34.91	43.28
24	27.34	35.72	44.09
25	28.15	36.53	44.90
26	28.96	37.34	45.71
27	29.77	38.15	46.52
28	30.58	38.96	47.33
29	31.39	39.77	48.14
30	32.20	40.58	48.95
31	33.01	41.39	49.76
32	33.82	42.20	50.57
33	34.63	43.01	51.38
34	35.44	43.82	52.19
35	36.25	44.63	53.00
36	37.06	45.44	53.81
37	37.87	46.25	54.62
38	38.68	47.06	55.43
39	39.49	47.87	56.24
40	40.30	48.68	57.05
41	41.11	49.49	57.86
42	41.92	50.30	58.67
43	42.73	51.11	59.48
44	43.54	51.92	60.29
45	44.35	52.73	61.10
46	45.16	53.54	61.91

ตารางที่ 4-31 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
47	45.97	54.35	62.72
48	46.78	55.16	63.53
49	47.59	55.97	64.34
50	48.40	56.78	65.15
51	49.21	57.59	65.96
52	50.02	58.40	66.77
53	50.83	59.21	67.58
54	51.64	60.02	68.39
55	52.45	60.83	69.20
56	53.26	61.64	70.01
57	54.07	62.45	70.82
58	54.88	63.26	71.63
59	55.69	64.07	72.44
60	56.50	64.88	73.25
61	57.31	65.69	74.06
62	58.12	66.50	74.87
63	58.93	67.31	75.68
64	59.74	68.12	76.49
65	60.55	68.93	77.30
66	61.36	69.74	78.11
67	62.17	70.55	78.92
68	62.98	71.36	79.73
69	63.79	72.17	80.54
70	64.60	72.98	81.35

ตารางที่ 4-31 (ต่อ)

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 (ครั้งต่อนาที)	ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)		
	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
71	65.41	73.79	82.16
72	66.22	74.60	82.97
73	67.03	75.41	83.78
74	67.84	76.22	84.59
75	68.65	77.03	85.40
76	69.46	77.84	86.21
77	70.27	78.65	87.02
78	71.08	79.46	87.83
79	71.89	80.27	88.64
80	72.70	81.08	89.45
81	73.51	81.89	90.26
82	74.32	82.70	91.07
83	75.13	83.51	91.88
84	75.94	84.32	92.69
85	76.75	85.13	93.50
86	77.56	85.94	94.31
87	78.37	86.75	95.12
88	79.18	87.56	95.93
89	79.99	88.37	96.74
90	80.80	89.18	97.55

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที โดยมีรายละเอียดของการอภิปรายผลและสรุปผล ดังต่อไปนี้

อภิปรายผล

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยพบว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ .472, .452, .513, .645, .615, .593, .577 และ .601 ตามลำดับ และยังมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด โดยมีค่าเป็นบวกในทุกช่วงเวลา ซึ่งสังเกตได้ว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 60 (ในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระดับที่มากกว่าเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่นทั้งหมด สอดคล้องกับ Watson, Brickson, Prawda, and Sanfilippo (2017) ได้ทำการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีที่มีต่อระดับความสามารถในการทำงานเชิงแอโรบิกในนักกีฬาที่มีความสามารถในระดับสูง โดยมีปัจจัยทางด้านเพศและสัดส่วนของร่างกาย โดยทำการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการทดสอบความสามารถในระดับสูงสุด ในวินาทีที่ 10, 30 และนาทีที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ พบว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 10 และ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และได้สรุปผลการศึกษาว่า ความสามารถของร่างกายในการทำงานเชิงแอโรบิกมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ และสามารถนำไปใช้ในการประเมินความสามารถของร่างกายในการทำงานเชิงแอโรบิกในนักกีฬาที่ใช้ความเร็วไม่แน่นอนตลอดทั้งเกม (Intermittent sport athletes) ได้ สอดคล้องกับ Verma, Sidhu, and Kansal (1979) ได้สรุปผลการศึกษาไว้ว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้น

ตัวของอัตราการเต้นของหัวใจทั้งในขณะและภายหลังการออกกำลังกาย มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง นอกจากนี้ ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดยังมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระยะต้น ๆ (Initial phases) ที่หยุดออกกำลังกายทันที

สำหรับค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ (r) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า (SEE) ของข้อมูลการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด พบว่า ในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ เท่ากับ .223, .204, .263, .416, .378, .352, .333 และ .361 ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์เมื่อปรับแล้วเท่ากับ .218, .199, .258, .413, .374, .348, .328 และ .356 ตามลำดับ และมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่าเท่ากับ 9.80, 9.92, 9.54, 8.49, 8.77, 8.95, 9.08 และ 8.89 ตามลำดับ

ความเป็นจริงในทางปฏิบัติตามหลักสากล การวัดอัตราการเต้นของหัวใจจะกำหนดระยะเวลาในการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจเป็นนาที เช่น 1 นาที หรือ 2 นาที มีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อนาที และเพื่อให้สอดคล้องกับหน่วยของความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด คือ มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที (ml/kg/min) ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 และเพื่อให้เกิดความสะดวกและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในทางการกีฬาให้มากยิ่งขึ้น จึงได้นำเสนอการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 เพิ่มเติม โดยนำข้อมูลทั้ง 2 ช่วงเวลา มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาสมการในทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจต่อไป

เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ในแต่ละช่วงเวลา พบว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 จะมีค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงที่สุด (r = .416) ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบช่วงเวลาทั้งหมด นั่นแสดงให้เห็นว่าการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ดีกว่าช่วงเวลาอื่น โดยสามารถนำไปใช้ได้ประมาณร้อยละ 41.60 ส่วนอีกร้อยละ 58.4 เป็นปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

สอดคล้องกับ Cataldo, Cerasola, Zangla, Russo, Sahin, and Traina (2014) ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะจากการศึกษาไว้ว่า การนำเทคนิคการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีไปใช้นั้น ควรกำหนดระยะเวลาเพียงสั้น ๆ เช่น 1 หรือ 2 นาที ภายหลังการออกกำลังกายทันที ซึ่งจะทำให้ได้รับผลที่ดีที่สุดในการประเมินความสามารถของร่างกายในการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายทันที หรือเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจ อย่างไรก็ตาม การใช้เทคนิคในลักษณะนี้ จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบด้วย ได้แก่ อายุ เพศ ประเภทของกิจกรรม และระดับความหนักในการออกกำลังกาย

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวัยเด็ก จะมีอัตราความเร็วของการฟื้นตัวของหัวใจที่ลดลงได้ดีหรือเร็วกว่าผู้สูงอายุ (Matinfar, 2014) นอกจากนี้ ยังพบอีกว่า ความแตกต่างทางกายวิภาคและสรีรวิทยาของเด็กผู้ชายกับเด็กผู้หญิง ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของหัวใจในขณะพัก ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการฟื้นตัวของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีด้วย (Mahon, Cindy, Hipp, & Hunt, 2003) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเด็กที่มีดัชนีมวลกายสูง มีน้ำหนักตัวมาก และขาดการออกกำลังกาย จะมีอัตราการความเร็วของการฟื้นตัวของหัวใจที่ลดลงได้อย่างช้า ๆ ในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย (Singh, Rhodes, & Gauvreau, 2008) รวมไปถึง นักกีฬาที่ใช้ความอดทนในลักษณะที่ใช้ความเร็วของร่างกายในการเคลื่อนที่ที่ไม่คงที่ตลอดทั้งเกม (Intermittent endurance sports) จะมีอัตราความเร็วของการฟื้นตัวของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีได้ดีกว่านักกีฬาประเภทที่ใช้ความอดทนในลักษณะต่อเนื่องตลอดทั้งเกม (Continuous endurance sports) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงวินาทีที่ 10 และ 20 ซึ่งเป็นผลจากการที่ร่างกายมีระดับความสามารถของร่างกายในการทำงานเชิงแอโรบิกที่สูง ก็จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการฟื้นตัวของร่างกายได้เป็นอย่างดี ซึ่งเมื่อหยุดออกกำลังกายทันที ร่างกายจะได้รับออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น จากการที่ระบบหัวใจไหลเวียนของเลือดและการหายใจทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกไปกำจัดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ร่างกายมีการฟื้นตัวได้เร็วขึ้นด้วย (Ostojic et al., 2010) นอกจากนี้ ร่างกายยังสามารถเพิ่มการสะสมครีเอตีนฟอสเฟตได้เร็วขึ้น นั่นแสดงให้เห็นว่าร่างกายสามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทนในลักษณะที่ใช้ความเร็วของร่างกายในการเคลื่อนที่ที่ไม่คงที่ตลอดทั้งเกม (Tomlin & Wenger, 2001) สอดคล้องกับ Ostojic, Stojanovic, and Gonzalez (2011) พบว่า นักกีฬาที่มีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูง จะมีอัตรา

ความเร็วของการฟื้นตัวของหัวใจที่ดีภายหลังหยุดออกกำลังกายทันที และผลการศึกษาในครั้งนี้ยังได้สรุปว่า ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด มีผลทำให้ระบบประสาทอัตโนมัติเกิดการปรับตัวและมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการกระตุ้นให้ระบบหัวใจไหลเวียนเลือดมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบประสาทพาราซิมพาเธติกที่มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของหัวใจ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความสามารถของร่างกายในการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

จะเห็นได้ว่าจากผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ได้แก่ เพศ เชื้อชาติ อายุ ประเภทของกิจกรรมการออกกำลังกาย ระดับความหนักในการออกกำลังกาย รวมทั้งระดับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาความอดทนของร่างกาย ซึ่งมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานของหัวใจ ได้แก่ ระบบประสาทพาราซิมพาเธติก (Parasympathetic nervous system) ซึ่งจะทำงานประสานสัมพันธ์กันกับระบบประสาทซิมพาเธติก (Sympathetic nervous system) (Kannankeril & Goldberger, 2002) และจากผลการวิจัยหลายชิ้นงานที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ได้สรุปไว้ว่า เมื่อร่างกายเริ่มมีการทำงานเพิ่มขึ้น เซลล์กล้ามเนื้อต้องการออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นเพื่อนำไปผลิตเป็นพลังงานในการเคลื่อนไหว ซึ่งระบบประสาทซิมพาเธติกจะมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้หัวใจทำงานเพิ่มมากขึ้น ด้วยการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจให้มากขึ้นกว่าในสภาวะปกติ และเมื่อร่างกายหยุดออกกำลังกาย ระบบประสาทซิมพาเธติกจะลดการทำงานลง และระบบประสาทพาราซิมพาเธติกจะมีบทบาทเพิ่มขึ้น ซึ่งการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเธติก ถือว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงที่อาจเกิดการเสียชีวิตจากโรคหัวใจวายเฉียบพลันได้ โดยระบบประสาทพาราซิมพาเธติกจะมีหน้าที่โดยตรงในการควบคุมการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที และจากการศึกษายังได้พบอีกว่า สาเหตุของการลดลงได้อย่างรวดเร็วของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายนั้น เป็นผลมาจากการที่ระบบประสาทพาราซิมพาเธติกทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และเพศชายจะมีการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจได้อย่างรวดเร็วมากกว่าเพศหญิง (Barak, Klasnja, Gacesa, Ovcin, & Grujic, 2014; Javorka, Zila, Balhárek, & Javorka, 2002; Kannankeril, Le, Kadish, & Goldberger, 2004) สอดคล้องกับ Henríquez, Báez, Von, Cañas, and Ramírez (2013) ได้สรุปผลการวิจัยไว้ว่า กลไกการลดลงของอัตราการ

เต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายในช่วงนาทีแรกจะมีความสัมพันธ์กับระดับของการฝึกซ้อม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการชี้วัดถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของหัวใจได้ และ Yamamoto, Miyachi, Saitoh, Yoshioka, and Onodera (2001) ได้สรุปผลของการฝึกความอดทนของร่างกาย สามารถพัฒนาระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของหัวใจได้ โดยจะทำหน้าที่ควบคุมและลดการทำงานของหัวใจในขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันทีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงที่ร่างกายหยุดออกกำลังกายในทันที สอดคล้องกับ Trevizani, Benchimol-Barbosa, and Nadal (2012) สรุปผลการศึกษาไว้ว่า การที่ร่างกายมีความสามารถในการใช้ระบบพลังงานเชิงแอโรบิกในระดับสูง จะมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ ที่ทำหน้าที่โดยตรงในการควบคุมการเต้นหัวใจให้ลดลงได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกายทันที

2. การลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

จากการที่ให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบวินเกต และภายหลังการทดสอบดังกล่าวส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้นทันที จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด (PHR) เท่ากับ 173 ครั้งต่อนาที หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกผลการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยกำหนดไว้ทั้งหมด 8 ช่วง พบว่า ในแต่ละช่วงของอัตราการเต้นของหัวใจมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 160, 154, 150, 145, 142, 137, 134 และ 129 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลของฟื้นตัวของหัวใจไปหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุดกับค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักทั้ง 8 ช่วง (PHR - HR_{rest} = HR_{rec}) ก็จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในแต่ละช่วงเวลา โดยพบว่า ในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13, 19, 23, 28, 31, 35, 39 และ 44 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ และเมื่อนำการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในแต่ละช่วงไปคำนวณร้อยละ (%) พบว่า ค่าเฉลี่ยของร้อยละมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 7.62, 11.37, 13.58, 16.27, 18.20, 20.68, 22.90 และ 25.49 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Hattiwale, Hattiwale, Dhundasi, and Das (2012) ได้สรุปผลการศึกษาไว้ว่า กลุ่มคนที่มีกิจกรรมการออกกำลังกายเป็นประจำ จะมีอัตราการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีได้ดีกว่ากลุ่มคนที่มีกิจกรรมในชีวิตประจำวันน้อย ซึ่งพบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ .01 อาจมีสาเหตุจากการทำงานที่เพิ่มขึ้นของ Baroreflex

sensitivity ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเธติก และส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของหัวใจ ที่จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงได้อย่างรวดเร็วภายหลังการออกกำลังกายทันที หรือเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจให้มากขึ้น

จะเห็นได้ว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีตลอดระยะเวลา 120 วินาที มีแนวโน้มที่มีจำนวนครั้งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามลำดับ ซึ่งนักกีฬาที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ดี หรือมีจำนวนครั้งที่ลดลงได้อย่างรวดเร็วของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีและใช้ระยะเวลาสั้น ๆ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้เป็นอย่างดี รวมไปถึงยังสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับสูงได้อีกด้วย สอดคล้องกับ American College of Sports Medicine (2007) ได้กล่าวว่า การลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที เป็นปฏิกิริยาหนึ่งของร่างกายที่เกิดจากการตอบสนองเพื่อให้ระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายกลับมาสู่สภาวะปกติเพื่อรักษาความสมดุลภายในร่างกายให้คงไว้ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีมักจะถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจรวมไปถึงระดับความสามารถในการทำงานของร่างกายได้ด้วย อย่างไรก็ตาม การลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย จะไม่สามารถลดลงจนมาถึงอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักได้ในทันที แต่จะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ อย่างต่อเนื่อง อาจใช้เวลาหลายนาทีหรือนานกว่านั้น ขึ้นอยู่กับระยะเวลาและระดับความหนักของการออกกำลังกาย (Hautala et al., 2001; Murrell et al., 2007)

ในทางการแพทย์ จะนำวิธีการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจหรือการตรวจนับจำนวนครั้งในการลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที เพื่อนำไปทำนายภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตที่เกิดจากโรคเกี่ยวกับระบบหัวใจไหลเวียนเลือด ซึ่ง Cole, Blackstone, Pashkow, Snader, and Lauer (1999) ได้สรุปผลการศึกษาว่า การลดลงอย่างช้า ๆ ของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที จะสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลงของระบบประสาทอัตโนมัติ โดยพบว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที หากมีจำนวนต่ำกว่า 12 ครั้งต่อนาที ถือว่ามีภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตในระดับสูงมาก และ Shetler et al. (2001) ได้ยืนยันผลการวิจัยว่า การกำหนดช่วงระยะเวลาในการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังที่หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 1

และ 2 สามารถนำไปใช้เพื่อทำนายภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงนาทีที่ 2 หากอัตราการเต้นของหัวใจลดลงน้อยกว่า 22 ครั้งต่อนาที ถือว่ามีภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตที่สูงมากด้วยเช่นกัน ซึ่งมีการศึกษาวิจัยอีกหลายชิ้น ต่างก็ได้ยืนยันว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที สามารถนำไปใช้ในการทำนายความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคที่เกี่ยวกับหัวใจได้

สำหรับงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีที่เกี่ยวกับเชิงการกีฬาที่ผ่านมานั้น ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจกับความสามารถของร่างกายในนักกีฬา โดยส่วนใหญ่พบว่านักกีฬาที่มีความสามารถของร่างกายในด้านความอดทนในระดับสูง จะมีอัตราความเร็วของการลดลงของการเต้นของหัวใจได้ดีกว่านักกีฬาที่มีความสามารถของร่างกายในระดับต่ำ หรือไม่ใช่เป็นนักกีฬา และผลของการฝึกความอดทนของร่างกาย ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้ด้วยเช่นกัน (Borresen & Lambert, 2008; Brown & Brown, 2007; Goldberger et al., 2006; Martinmaki & Rusko, 2008; Seiler, Haugen, & Kuffel, 2007) สอดคล้องกับ Darr, Bassett, Morgan, and Thomas (1988) พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาจะมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายได้ดีกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้เป็นนักกีฬา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงระยะเวลา 15-120 วินาที ภายหลังการออกกำลังกายทันที นอกจากนี้ Du et al. (2005) ได้สรุปผลการศึกษาไว้ว่า นักวิ่งมาราธอนจะมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีได้ดีกว่านักกีฬาที่ไม่ได้รับการฝึกความอดทนของร่างกาย ซึ่งผลของการฝึกความอดทนของร่างกายมาอย่างต่อเนื่องในนักวิ่งมาราธอน จะทำให้ระบบประสาทอัตโนมัติเกิดการปรับตัวและพัฒนาประสิทธิภาพในการทำงานได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสามารถของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ นอกจากนี้ Ostojic and Calleja-Gonzalez (2010) ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกในนักกีฬาเพศหญิงที่มีระดับความสามารถแตกต่างกัน โดยศึกษาถึงอัตราการลดลงของการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที โดยศึกษาในทุกช่วง 10 วินาที พบว่า นักกีฬาที่มีความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอโรบิกในระดับสูง จะมีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ดีหรือมีอัตราความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวินาทีที่ 10 และ 20 ซึ่งเป็นผลมาจากการฝึกซ้อมความอดทนของร่างกายที่สามารถพัฒนาอัตราความเร็วของการฟื้นตัวของการเต้นของหัวใจภายหลังการ

ออกกำลังกายในนักกีฬาให้ดีขึ้นได้ โดยเฉพาะในช่วงวินาทีที่ 20 ที่พบความแตกต่างทางสถิติภายหลังการฝึกซ้อมผ่านไปเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเธติกได้เป็นอย่างดี และเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที อาจนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาขีดความสามารถของนักกีฬาให้เพิ่มสูงขึ้นได้ (Boullosa et al., 2013)

สำหรับการศึกษาที่เกี่ยวกับการใช้เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีเพื่อนำมาทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดนั้นยังไม่ปรากฏแต่อย่างใด โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะให้ข้อเสนอแนะว่า เทคนิคการวัดดังกล่าว สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการสะท้อนประสิทธิภาพการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานของหัวใจได้ และยังสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือหรือวิธีการหนึ่งเพื่อเปรียบเทียบระดับความสามารถของร่างกายในการทำงานเชิงแอโรบิกได้ ดังที่ Lamberts, Swart, Noakes, and Lambert (2009) ได้แนะนำว่า การใช้เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการชี้วัดประสิทธิภาพของการฝึกซ้อมกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทนในลักษณะการเคลื่อนที่ของร่างกายที่ไม่แน่นอนตลอดทั้งเกมได้เป็นอย่างดี และสามารถนำไปใช้ตรวจสอบเพื่อประเมินภาพรวมของสมรรถภาพทางกายและผลของการฝึกซ้อมกีฬาได้ด้วย โดยการนำผลการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีไปใช้ในการตรวจสอบโปรแกรมการฝึกที่อาจมากเกินไป (Overtraining) ได้ (McDonald, Grote, & Shoepe, 2014) และยังรวมไปถึงการกำหนดปริมาณระดับความหนักในการฝึกให้มีความเหมาะสมกับนักกีฬาได้อีกด้วย (Borresen & Lambert, 2008)

3. สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

จากการศึกษาในครั้งนี้ ได้นำข้อมูลการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีทั้งหมด 8 ช่วง ได้แก่ วินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 ไปทำการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อนำไปสู่สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งทำให้ได้สมการทั้งหมด 8 สมการ (ตารางที่ 4-11) และเมื่อนำปัจจัยทางด้านอายุที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ไปทำการวิเคราะห์การถดถอย ทำให้ได้สมการทั้งหมด 7 สมการ (ตารางที่ 4-13) และสังเกตได้ว่า การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 75 ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า จากผลการวิจัยในครั้งนี้ การฟื้นตัว

ของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 75 ไม่สามารถนำสมการในวินาทีดังกล่าวไปใช้ในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้

โดยหลักสากลแล้ว การวัดอัตราการเต้นของหัวใจจะนิยมกำหนดเป็นจำนวนครั้งต่อนาที ดังนั้น เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้จริง ผู้วิจัยจึงได้กำหนดสมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ในวินาทีที่ 60 และ 120 ได้ดังนี้

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 24.314 + 1.007HR_{rec60}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 22.094 + .694HR_{rec120}$$

4. ปัจจัยทางด้านอายุและเพศที่มีผลต่อการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า อายุมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีความสัมพันธ์กันในทางลบ (ตารางที่ 4-7) ซึ่งมีค่าเท่ากับ -.215 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาทีมชาติไทย นักกีฬาที่มีอายุน้อยจะมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในระดับที่สูงกว่านักกีฬาที่มีอายุมาก ซึ่งเป็นการยืนยันผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา รวมไปถึงเพศก็ยังมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดอีกด้วย (ตารางภาคผนวก ฌ) ซึ่งสอดคล้องกับ Hossack and Bruce (1982), Ogawa et al. (1992) และ Rivera, et al. (1989) พบว่า อายุมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดและปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาที (Cardiac output) ซึ่งเมื่อมีอายุเพิ่มมากขึ้น ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด และปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาทีจะลดลง ซึ่งเมื่อมีอายุ 25 ปีขึ้นไป

ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจะมีอัตราการลดลงอย่างต่อเนื่อง (Heath, Hagberg, Ehsani, & Holloszy, 1981) รวมไปถึงผู้ชายที่มีอายุน้อยจะมีความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดและปริมาณของเลือดที่หัวใจสูบฉีดต่อนาทีในระดับที่สูงกว่าผู้หญิงที่มีอายุน้อยด้วยเช่นกัน และ Dimkpa and Ibhazehiebo (2009) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของอายุที่มีผลต่อการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในผู้ใหญ่เพศชายที่ไม่ได้เป็นนักกีฬา พบว่า ภายหลังการออกกำลังกายทันที อัตราความเร็วในการลดลงของการเต้นของหัวใจในผู้ใหญ่ที่มีอายุน้อยจะลดลงได้อย่างรวดเร็วมากกว่าผู้ใหญ่ที่มีอายุมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนาทีที่ 1 และ 3 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และได้สรุปไว้ว่า อายุเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราความเร็วของการลดลงของการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

เมื่ออายุมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด จึงต้องดำเนินวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อนำไปสู่สมการในการทำนายต่อไป และจากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ที่มีปัจจัยทางด้านอายุ ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 32.091 + .980HR_{rec60} + (-.331)\ Age$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด มีปัจจัยทางด้านอายุ ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 31.358 + .676HR_{rec120} + (-.400)\ Age$$

เมื่อเพศมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด จึงต้องดำเนินวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อนำไปสู่สมการในการทำนายต่อไป และจากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดของเพศชาย ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 25.683 + .957HR_{rec60}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดของเพศชาย ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 25.217 + .634HR_{rec120}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดของเพศหญิง ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 21.279 + 1.130HR_{rec60}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยข้อมูลในการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ที่มีต่อความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดของเพศหญิง ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 16.275 + .810HR_{rec120}$$

5. ตารางการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้ ทำให้ได้สมการเพื่อใช้ในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยที่ผู้วิจัยได้นำอัตราการเต้นของหัวใจไปแทนค่าในสมการการทำนายในวินาทีที่ 60 และ 120 (นาทีแรกและนาทีที่สอง) ทำให้ได้ตารางการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ตารางที่ 24) และในวินาทีที่ 120 (ตารางที่ 25) และเมื่ออายุมีความสัมพันธ์กับความสามารถของ

ร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้แทนค่าในสมการการทำนายโดยมีปัจจัยทางด้านอายุ โดยกำหนดให้อายุมีค่าเท่ากับ 21 ปี (เป็นค่าเฉลี่ยอายุของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 21.18 ± 4.36 ปี) ทำให้ตารางการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีโดยมีปัจจัยทางด้านอายุในวินาทีที่ 60 (ตารางที่ 26) และในวินาทีที่ 120 (ตารางที่ 27) นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นเพศชายและหญิง ซึ่งทำให้ได้ตารางการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 และ 120 ของกลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิง (ตารางที่ 28, 29, 30 และ 31 ตามลำดับ) สอดคล้องกับ Dimkpa (2009) ที่ได้สรุปผลการศึกษาไว้ว่า เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที นอกจากจะสามารถนำไปใช้ในการทำนายภาวะความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจได้แล้ว ยังสามารถนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้อีกด้วย โดยคนที่มีการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจที่ดี หรือมีอัตราความเร็วของการลดลงของการฟื้นตัวของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีที่ดี จะเป็นผู้ที่มีความสามารถของร่างกายในระดับที่สูงด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (Froelicher & Myers, 2006)

สรุปผลการวิจัย

ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดมีความสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวินาทีที่ 60 หรือในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันทีที่มีความสัมพันธ์กันในระดับสูงเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่น และทำให้ได้สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกายทันที คือ $24.314 + 1.007HR_{rec60}$ ซึ่งเป็นเทคนิคการวัดที่มีความสะดวก รวดเร็วต่อการปฏิบัติ ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ในการทดสอบ ทำให้ประหยัดเวลา และไม่สิ้นเปลืองงบประมาณ รวมไปถึงยังเป็นวิธีการวัดที่สามารถประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือดและการหายใจได้อีกด้วย โดยการใช้เทคนิคการวัดดังกล่าวสามารถนำไปใช้กับทุกช่วงอายุ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การใช้เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของ

หัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีสามารถนำไปใช้ในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาความเชื่อมั่นของการใช้เทคนิคการวัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

2. ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในกีฬาแต่ละชนิด รวมไปถึง ศึกษาในอายุ เพศที่มีความแตกต่างกัน

สำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ผู้วิจัยมีข้อแนะนำว่า ควรนำสมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 หรือในนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย โดยมีสมการคือ 24.314 + 1.007HR_{rec60} ไปใช้ทางปฏิบัติ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง และจะทำให้มีความแม่นยำในการทำนายเพิ่มมากขึ้น

2. ผู้วิจัยได้นำเสนอเทคนิคการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดจากการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (ภาคผนวก จ) และเมื่อได้ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจจากการใช้เทคนิคดังกล่าวแล้วก็นำไปเทียบกับตารางการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 (ตารางที่ 24) หรือในวินาทีที่ 120 (ตารางที่ 25) รวมไปถึงตารางการทำนายโดยแยกเพศชายในวินาทีที่ 60 (ตารางที่ 28) หรือในวินาทีที่ 120 (ตารางที่ 29) และเพศหญิงในวินาทีที่ 60 (ตารางที่ 30) หรือในวินาทีที่ 120 (ตารางที่ 31)

บรรณานุกรม

เจริญ กระบวนรัตน์. (2542). *เทคนิคการฝึกความเร็ว.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2547). การฝึกและการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายสำหรับนักกีฬา. ใน *คู่มือวิทยาศาสตร์การกีฬาสำหรับกีฬาฟุตบอล* (หน้า 109-150). กรุงเทพฯ: ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2557). *วิทยาศาสตร์การฝึกสอนกีฬา (Science of coaching).* กรุงเทพฯ: สินธนาก๊อปปี้เซ็นเตอร์.

เจริญทัศน์ จินตนเสรี. (ม.ป.ป.). ร่างกายกับการออกกำลังกาย. ใน *การฝึกสมรรถภาพทางกาย* (หน้า 1-4). กรุงเทพฯ: ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.

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

ดุสิต พรหมอ่อน. (2549). *ความสัมพันธ์ของพลังอนากาศนิยม สมรรถภาพอนากาศนิยม ปริมาณกรดแลคติก และอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการทดสอดบด้วยวิธีวินเกทและวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิคสปริ๊นท์ในนักกีฬาฟุตบอล*. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีรวุฒิ เอกะกลุ. (2543). *ระเบียบวิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์.* อุบลราชธานี: สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี.

บังอร ฉางทรัพย์. (2550). *กายวิภาคศาสตร์ 1* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประทุม ม่วงมี. (2527). *รากฐานทางสรีรวิทยาการออกกำลังกายและพลศึกษา*. กรุงเทพฯ: บูรพาสาส์น.

ประทุม ม่วงมี. (2547). ความจำเป็นเชิงสรีรวิทยาของกีฬาเทนนิส. ใน *วิทยาศาสตร์การกีฬาสำหรับกีฬาเทนนิส* (หน้า 53-66). กรุงเทพฯ: กองวิทยาศาสตร์การกีฬา ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.

พิพัฒน์ เจิดรังษี. (2532). การไหลเวียนของเลือด. ใน อมรา มลิลา, พิพัฒน์ เจิดรังษี, และทวีศักดิ์ บูรณวุฒิ (บรรณาธิการ), *สรีรวิทยาเบื้องต้น เล่ม 1* (หน้า 239-265). กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.

พิพัฒน์ เจิดรังษี. (2542). ระบบไหลเวียนของเลือด. ใน *สรีรวิทยา* (หน้า 118). กรุงเทพฯ: ฤทธิศรีการพิมพ์.

รัตน์เศรษฐ์ วนิชานนท์. (2555). ระบบไหลเวียนโลหิต. ใน *ร่างกายมนุษย์* (หน้า 6-7). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

เลียงชัย ลิ่มล้อมวงศ์. (2545). *ปอดและการหายใจ*. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

วัฒนา วัฒนาภา และลือชา บุญทวีกุล. (2548). ระบบไหลเวียนเลือด. ใน วัฒนา วัฒนาภา

วิรัตน์ สนธิ์จันทร์ และประทุม ม่วงมี. (2556). ผลของการฝึกแบบอินเทอร์วาลในระดับความหนักและระยะเวลาต่างกันที่มีต่อความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ปริมาณฮีโมโกลบิน สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก และแอนแอโรบิกเทรชโฮล. *วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา, 8*(1), 68-79.

วิศาล คันธารัตนกุล. (2546). สรีรวิทยาพื้นฐานสำหรับกระบวนการฟื้นฟูสภาพหัวใจ. ใน วิศาล คันธารัตนกุล และระพีพล กุญชร ณ อยุธยา (บรรณาธิการ), *เวชศาสตร์ฟื้นฟูหัวใจ* (หน้า 37). กรุงเทพฯ: สมาคมแพทย์โรคหัวใจแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

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

สุพัตรา โลห์สิริวัฒน์ และสุพรพิมพ์ เจียสกุล (บรรณาธิการ), *สรีรวิทยา 2* (หน้า 325-775). กรุงเทพฯ: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทย์ศาสตร์ศิริราชพยาบาล.

สุรศักดิ์ เกิดจันทึก, นิตยา เกิดจันทึก, เสงี่ยม รวมธรรม, สุวัตร หลวงตระกูล, ศรุตี ศรีจันทร์วงศ์, ศักดิ์สยาม แสวงไวศยสุข, วัชรี ชื่นใจฉ่ำ และสายพิณ รัตนคำ. (2543). *รายงานการวิจัยเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายประชาชนไทย*. กรุงเทพฯ: ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.

อนันต์ อัตชู. (2520). *สรีรวิทยาการออกกำลังกาย*. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนันต์ อัตชู. (2527). *สรีรวิทยาการออกกำลังกาย*. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

เอมอร เอี่ยมสำอางค์. (2532). *การศึกษาผลของการทดสอบความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพลศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Abernethy, B., Hanrahan, S. J., Kippers, V., MacKinnon, L. T., & Pandy, M. G. (2005). *The biophysical foundations of human movement* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Alexander, B., & Bugler, F. (2012). *The fitness book*. London: Dorling Kindersley.

Almeida, M. B., & Araujo, G. S. (2003). Effects of aerobic training on heart rate. *The Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, *9*(2), 113-118.

American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. (2009). Nutrition and athletic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 32*(12), 2130-2145.

American College of Sports Medicine. (2007). *ACSM's resources for the personal trainer* (2nd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

American College of Sports Medicine. (2009). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (8th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H. A., & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of work physiology: Physiology bases of exercise* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2000). *Essentials of strength training and conditioning*. (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Barak, O. F., Klasnja, A., Gacesa, J. P., Ovcin, Z. B., & Grujic, N. G. (2014). Gender differences in parasympathetic reactivation during recovery from Wingate anaerobic test. *Periodicum Biologorum, 1*(116), 53-58.

Baumgartner, T. A., & Jackson, A. S. (1999). *Measurement for evaluation in physical education and exercise science* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.

Birch, K., McLaren, D., & George, K. (2005). *Sport and exercise physiology*. New York: BIOS Scientific.

Bompa, T. O., & Haff, G. G. (2009). *Periodization theory and methodology of training* (5th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise: Measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine, 36*(8), 633-646.

Boullosa, D. A., Abreu, L., Nakamura, F. Y., Muñoz, V. E., Domínguez, E., & Leicht, A. S. (2013). Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 8*(4), 400-409.

Brooks, G. A., & Fahey, T. D. (1987). *Fundamentals of human performance*. New York: Macmillan.

Brooks, G. A., Fahey, T D., & White, T. P. (1996). *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications* (2nd ed.). California: Mayfield.

Brown, S. J., & Brown, J. A. (2007). Resting and postexercise cardiac autonomic control in trained master athletes. *The Journal of Physiological Sciences, 57*(1), 23-29.

Brown, S. P., Miller, W. C., & Eason, J. M. (2006). *Exercise physiology: Basis of human movement in health and disease*. Belmont, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Burke, E. R. (1998). *Prescription heart rate training*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Cataldo, A., Cerasola, D., Zangla, D., Russo, G., Sahin, F. N., & Traina, M. (2014). Assessment of autonomic function as marker of training status: The role of heart rate recovery after exercise. *European Journal of Sport Science, 2*(1), 89-97.

Clover, J. (2001). *Sports medicine essentials: Core concepts in athletic training and fitness instruction*. United States: Thomson Learning.

Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Snader, C. E., & Lauer, M. S. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *The New England Journal of Medicine*, *341*(18), 1351-1357.

Coote, J. H. (2009). Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Experimental Physiology, 95*(3), 431-440.

Craig, S. (2013). *The recovery heart rate time after cardio exercise*. Retrieved from http://www.livestrong.com/article/260805-the-recovery-heart-rate-time-after-cardio-exercise/

Darr, K. C., Bassett, D. R., Morgan, B. J., & Thomas, D. P. (1988). Heart rate recovery in elite athletes: The impact of age and exercise capacity. *American Journal of Physiology, 254*(2), H340-H343.

Dimkpa, U. (2009). Post-exercise heart rate recovery: An index of cardiovascular fitness. *Journal of Exercise Physiology Online*, *12*(1), 10-22.

Dimkpa, U., & Ibhazehiebo, K. (2009). Assessment of the influence of age on the rate of heart rate decline after maximal exercise in non-athletic adult males. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 29*(1), 68-73.

Du, N., Bai, S., Oguri, K., Kato, Y., Matsumoto, I., Kawase, H., & Matsuoka, T. (2005). Heart rate recovery after exercise and neural regulation of heart rate variability in 30-40 year old female marathon runners. *Journal of Sports Science and Medicine 4*(1), 9-17.

Earle, R. W., & Baechle, T. R. (2004). *NSCA's essentials of personal training*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Fox, E. L., & Mathews, D. K. (1981). *The physiological basis of physical education and athletics* (3rd ed.). Philadelphia, PA: Saunders College.

Friedrich, C. (2014). *How to measure heart rate recovery after exercise and why it's important.* Retrieved from http://cathe.com/how-to-measure-heart-rate-recovery-after-exercise-and-why-its-important

Froelicher, V. F., & Myers, J. N. (2006). *Exercise and the heart* (5th ed.). Philadelphia, PA: Saunders Elsevier.

Ghaffari, S., Kazemi, B., & Aliakbarzadeh, P. (2011). Abnormal heart rate recovery after exercise predicts coronary artery disease severity. *Cardiology Journal*, *18*(1), 47-54.

Gibbons, H. (2011). *How important is $\dot{V}O_2max$*. Retrieved from http://haroldgibbons.com/2011/07/26/how-important-is-$\dot{V}O_2$-max/

Goldberger, J. J., Le, F. K., Lahiri, M., Kannankeril, P. J., Ng, J., & Kadish, A. H. (2006). Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology, 290*(6), H2446-H2452.

Halson, S. L. (2013). *Sleep and the elite athlete*. *Sports Science Exchange, 26*(113), 1-4.

Hattiwale, H. M., Hattiwale, S. H., Dhundasi, S. A., & Das, K. K. (2012). Recovery heart rate response in sedentary and physically active young healthy adults of Bijapur, Karnataka, India. *Basic Sciences of Medicine, 1*(5), 30-33.

Hautala, A., Tulppo, M. P., Mäkikallio, T. H., Laukkanen, R., Nissilä, S., & Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology, 21*(2), 238-245.

Heath, G. W., Hagberg, J. M., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1981). A physiological comparison of young and older endurance athletes. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology, 51*(3), 634-640.

Henríquez, O. C., Báez, S. M., Von, O. A., Cañas, J. R., & Ramírez, C. R. (2013). Autonomic control of heart rate after exercise in trained wrestlers. *Biology of Sport, 30*(2), 111-115.

Heyward, V. H. (1991). *Advanced fitness assessment and exercise prescription* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Heyward, V. H. (2010). *Advanced fitness assessment and exercise prescription* (6th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Hoeger, W. K., & Hoeger, S. A. (2010). *Principles and labs for physical fitness* (7th ed.). Belmont: Wadsworth, Cengage Learning.

Hogan, Q. B., Palm, M., & Bickley, L. (2012). *Bates' nursing guide to physical examination and history taking*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Hossack, K. F., & Bruce, R. A. (1982). Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: Comparison of age-related changes. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology, 53*(4), 799-804.

Howley, E. T., & Franks, B. D. (2003). *Health fitness instructor's handbook* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

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

Jae, S. Y., Carnethon, M. R., Heffernan, K. S., Choi, Y. H., Lee, M. K., Park, W. H., & Fernhall, B. (2008). Slow heart rate recovery after exercise is associated with carotid atherosclerosis. *Atherosclerosis*, *196*(1), 256-261.

Janssen, P. (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*(8), 991-1000.

Kannankeril, P. J., & Goldberger, J. J. (2002). Parasympathetic effects on cardiac electrophysiology during exercise and recovery. *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology, 282*(6), H2091-H2098.

Kannankeril, P. J., Le, F. K., Kadish, A. H., & Goldberger, J. J. (2004). Parasympathetic effects on heart rate recovery after exercise. *Journal of Investigative Medicine, 52*(6), 394-401.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012). *Physiology of sport and exercise* (5^{th} ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Kraemer, W. J., Fleck, S. J., & Deschenes, M. R. (2012). *Exercise physiology: Integrating theory and application*. Battimore: Wolterskluwer Health.

Lamberts, R. P., Swart, J., Capostagno, B., Noakes, T. D., & Lambert, M. I. (2010). Heart rate recovery as a guide to monitor fatigue and predict changes in performance parameters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 20*(3), 449-457.

Lamberts, R. P., Swart, J., Noakes, T. D., & Lambert, M. I. (2009). Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology, 105*(5), 705-713.

Lauer, M. S. (2002). Exercise testing, part 2: The value of heart rate recovery. *Cardiology Rounds, 6*(6), 1-6.

Lazic, J. S., Dekleva, M., Soldatovic, I., Leischik, R., Suzic, S., Radovanovic, D., Djuric, B., Nesic, D., Lazic, M., & Mazic, S. (2015). Heart rate recovery in elite athletes: The impact of age and exercise capacity. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 35*(4), 1-7.

Mahon, A. D., Cindy, S. A., Hipp, M. J., & Hunt, K. A. (2003). Heart rate recovery from submaximal exercise in boys and girls. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 35*(12), 2093-2097.

Mark, H. A., Patty, F., Joseph, H., Kathleen, H., Michael, H., & Sharon, A. P. (1991). *Dictionary of the sport and exercise sciences*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Martens, R. (1990). *Successful coaching* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Martinmaki, K., & Rusko, H. (2008). Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology, 102*(3), 353-360.

Matinfar, P. (2014). Effect cycling on heart rate recovery in children and elderly people. *International Journal of Current Life Sciences, 4*(11), 10509-10511.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (1994). *Essentials of exercise physiology*. Malvern, PA: Lea & Febiger.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2006). *Essentials of exercise physiology* (3rd ed.). Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins.

McDonald, K. G., Grote, S., & Shoepe, T. C. (2014). Effect of training mode on post-exercise heart rate recovery of trained cyclists. *Journal of Human Kinetics, 41*(1), 43-49.

Mirkin, G. (2013). *Recovery heart rate*. Retrieved from http://www.drmirkin.com/heart/8076.html

Murrell, C., Wilson, L., Cotter, J. D., Lucas, S., Ogoh, S., George, K., & Ainslie, P. N. (2007). Alterations in autonomic function and cerebral hemodynamics to orthostatic challenge following a mountain marathon. *Journal of Applied Physiology, 103*(1), 88-96.

Noble, A., Johnson, R., Thomas, A., & Bass, P. (2010). *The cardiovascular system: Systems of the body* (2nd ed.). Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone.

Noonan, V., & Dean, E. (2000). Submaximal exercise testing: Clinical application and interpretation. *Physical Therapy, 80*(8), 782-807.

Ogawa, T., Spina, R. J., Martin, W. H., Kohrt, W. M., Schechtman, K. B., Holloszy, J. O., & Ehsani, A. A. (1992). Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*, *86*(2), 494-503.

Ostojic, S. M., & Calleja-Gonzalez, J. (2010). Aerobic capacity and ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in sportswomen. *Medicine and Science in Sports, 25*(5), 267-271.

Ostojic, S. M., Markovic, G., Calleja, G. J., Jakovljevic, D. G., Vucetic, V., & Stojanovic, M. D. (2010). Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in continuous versus intermittent endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology, 108*(5), 1055-1059.

Ostojic, S. M., Stojanovic, M. D., & Gonzalez, J. C. (2011). Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise: Relations to aerobic power in sportsmen. *Chinese Journal of Physiology, 54*(2), 105-110.

Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2008). *Exercise physiology for health, fitness, and performance* (2nd ed.). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

Powers, S. K., & Dodd, S. L. (2003). *Total fitness and wellness* (3rd ed.). San Francisco: Benjamin Cummings.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (1997). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (3rd ed.). Dubuque, IA: Brown and Benchmark.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2001). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (4th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2004). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Queiroga, M. R., Cavazzotto, T. G., Katayama, K. Y., Portela, B. S., Tartaruga, M. P., & Ferreira, S. A. (2013). Validity of the RAST for evaluating anaerobic power performance as compared to Wingate test in cycling athletes. *Journal of Physical Education, 19*(4), 696-702.

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

Reaburn, P., & Jenkins, D. (1996). *Training for speed and endurance*. Sydney: Southwood Press.

Reuter, B. (2012). *Developing endurance*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Rivera, A. M., Pels, A. E., Sady, S. P., Sady, M. A., Cullinane, E. M., & Thompson, P. (1989). Physiological factors associated with the lower maximal oxygen consumption of master runners. *Journal of Applied Physiology*, *66*(2), 949-954.

Robertson, R. (2015). *1 minute heart rate recovery*. Retrieved from http://www.cyclemoles.com/2013/05/1-minute-heart-rate-recovery/

Savin, W. M., Davidson, D. M., & Haskell, W. L. (1982). Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans. *Journal of Applied Physiology, 53*(6), 1572-1575.

Savonen, K. P., Kiviniemi, V., Laaksonen, D. E., Lakka, T. A., Laukkanen, J. A., Tuomainen, T. P., & Rauramaa, R. (2011). Two-minute heart rate recovery after cycle ergometer exercise and all-cause mortality in middle-aged men. *Journal of Internal Medicine, 270*(6), 589-596.

Schwartz, J. (2013). *What makes a difference in heart rate recovery time after a workout?*. Retrieved from http://healthyliving.azcentral.com/difference-heart-rate-recovery-time-after-workout-8281.html

Scott, J. R. (2014). *Recovery heart rate*. Retrieved from http://weightloss.about.com/od/glossary/g/recheartrate.htm

Seiler, S., Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 39*(8), 1366-1373.

Setty, P., Padmanabha, B., & Doddamani, B. (2013). Correlation between obesity and cardio respiratory fitness. *International Journal of Medical Science and Public Health, 2*(2), 300-304.

Sharkey, B. J., & Gaskill, S. E. (2013). *Fitness & health* (7th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Shetler, K., Marcus, R., Froelicher, V. F., Vora, S., Kalisetti, D., Prakash, M., Do, D., & Myers, J. (2001). Heart rate recovery: Validation and methodologic issues. *Journal of the American College of Cardiology, 38*(7), 1980-1987.

Siedentop, D. (2003). *Introduction to physical education, fitness, and sport* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Silverthorn, D. U. (2007). *Human physiology-an integrated approach* (4th ed.). San Francisco, CA: Benjamin Cummongs.

Singh, T. P., Rhodes, J., & Gauvreau, K. (2008). Determinants of heart rate recovery following exercise in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 40*(4), 601-605.

Sloan, J. (2015). *Heart rate after exercise*. Retrieved from http://www.livestrong.com/article/137831-heart-rate-after-exercise/

Tharp, G. D., & Woodman, D. A. (2002). *Experiments in physiology* (8th ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Thompson, P. J. (1991). *Introduction to coaching theory*. London: Marshallarts Print Services.

Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Journal Sports Medicine*, *31*(1), 1-11.

Trevizani, G. A., Benchimol-Barbosa, P. R., & Nadal, J. (2012). Effects of age and aerobic fitness on heart rate recovery in adult men. *Arquivos Brasileiros De Cardiologia, 99*(3), 802-810.

Verma, S. K., Sidhu, I. S., & Kansal, D. K. (1979). A study of maximum oxygen uptake and heart rate during work and recovery as measured on cycle ergometer on national Indian sportsmen. *British Journal of Sports Medicine, 13*(1), 24-28.

Watson, A. M., Brickson, S. L., Prawda, E. R., & Sanfilippo, J. L. (2017). Short-term heart rate recovery is related to aerobic fitness in elite intermittent sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research, 31*(4), 1055-1061.

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2008). *Physiology of sport and exercise* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Yamamoto, K., Miyachi, M., Saitoh, T., Yoshioka, A., & Onodera, S. (2001). Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(9), 1496-1502.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบคัดกรองกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดสอบ

ลำดับการทดสอบ.....

แบบคัดกรองกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดสอบ

เรื่อง การทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬาทีมชาติไทย

ข้อ	รายละเอียดการให้ข้อมูลก่อนการทดสอบ	หมายเหตุ
1.	ชนิดกีฬา..... ประเภท/ รุ่นน้ำหนัก.....	
2.	เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง	
3.	วัน เดือน ปีเกิด..... อายุ.....ปี	
4.	น้ำหนัก.....กก. ส่วนสูง.....ซม. ดัชนีมวลกาย (Body mass index, BMI) ☐ ต่ำกว่า 20 กก./ม.^{2} ☐ ระหว่าง 20-23 กก./ม.^{2} ☐ ระหว่าง 24-25 กก./ม.^{2} ☐ มากกว่า 25 กก./ม.^{2}	
5.	อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก (Resting heart rate) .....ครั้งต่อนาที	
6.	ความดันโลหิตขณะพัก (Blood pressure)...../.....	
7.	ท่านขาดหรือหยุดทำการฝึกซ้อมมากกว่า 3 วันก่อนที่จะเข้าร่วมการวิจัยหรือไม่ ☐ ฝึกซ้อมอย่างต่อเนื่อง ☐ หยุดฝึกซ้อมมากกว่า 3 วัน ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	

แบบคัดกรองกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดสอบ (ต่อ)

ข้อ	รายละเอียดการให้ข้อมูลก่อนการทดสอบ	หมายเหตุ
8.	ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่ ☐ ไม่มี ☐ มี (ระบุโรค)..... ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	
9.	ท่านได้มีการรับประทานยา (ทุกชนิด) ก่อนเข้ารับการทดสอบ และก่อน 1-3 วัน หรือไม่ ☐ ไม่ได้ทานยา ☐ ทานยา (ระบุชื่อยา)..... ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	
10.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบได้มีการพักผ่อนนอนหลับอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลากลางคืน ☐ มากกว่า 7 ชั่วโมง ☐ น้อยกว่า 7 ชั่วโมง ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	
11.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบได้รับประทานอาหารหลักมาแล้ว ☐ มากกว่า 2 ชั่วโมง ☐ น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	
12.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบได้ดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์หรือไม่ ☐ ดื่ม ☐ ไม่ได้ดื่ม ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	

แบบคัดกรองกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดสอบ (ต่อ)

ข้อ	รายละเอียดการให้ข้อมูลก่อนการทดสอบ	หมายเหตุ
13.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบได้ดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของกาเฟอีน ได้แก่ ชา กาแฟ น้ำอัดลม ช็อกโกแลต ไอศกรีม รวมไปถึงเครื่องดื่มชูกำลังทุกยี่ห้อหรือไม่ ☐ ดื่ม ☐ ไม่ได้ดื่ม ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	
14.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบได้สูบบุหรี่ หรือใช้ยาเสพติดหรือไม่ ☐ สูบ/ ใช้ ☐ ไม่สูบ/ ไม่ใช้ ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	
15.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบได้ใช้สารต้องห้ามต่าง ๆ ตามรายชื่อสารต้องห้ามที่ World anti-doping agency (WADA) กำหนดไว้หรือไม่ ☐ ใช้ ☐ ไม่ใช้ ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	
16.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบเดินทางมาถึงศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย หัวหมาก กรุงเทพฯ โดยใช้ระยะเวลาในการเดินทาง ☐ น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ☐ มากกว่า 2 ชั่วโมง ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	

แบบคัดกรองกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดสอบ (ต่อ)

ข้อ	รายละเอียดการให้ข้อมูลก่อนการทดสอบ	หมายเหตุ
17.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบมีความรู้สึกอย่างไรเกี่ยวกับกล้ามเนื้อและกระดูก (สามารถตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) ☐ ไม่มีอาการใด ๆ ทั้งสิ้น ☐ มีการบาดเจ็บกล้ามเนื้อหรือกระดูก ระบุตำแหน่งที่มีการบาดเจ็บ..... ☐ มีอาการปวดเมื่อยหรือรู้สึกระบมที่กล้ามเนื้อ ระบุตำแหน่งที่มีการปวดเมื่อยหรือระบม..... ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	
18.	ก่อนการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบมีความรู้สึกอย่างไรเกี่ยวกับอาการป่วยหรือไข้ ☐ รู้สึกเป็นไข้ ตัวร้อน เป็นหวัด คัดจมูก ฯลฯ ☐ ไม่มีอาการใด ๆ ทั้งสิ้น ☐ อื่น ๆ (ระบุ).....	

ภาคผนวก ข

การทดสอบออสตรานด์-ไรห์มิ่ง (Åstrand and Ryhming test)

การทดสอบออสตรานด์-ไรห์มิ่ง (Åstrand and Ryhming test)

ภาพภาคผนวก ข-1 การทดสอบออสตรานด์-ไรห์มิ่ง

เครื่องมือ

1. จักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer)
2. เครื่องตั้งจังหวะ หรือใช้ระดับความเร็วรอบต่อนาทีจากจักรยาน
3. หูฟัง
4. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการ

ใช้หลักการของ Åstrand and Ryhming

1. ให้ผู้เข้ารับทดสอบขึ้นนั่งบนอานจักรยาน และปรับระดับของอานให้พอเหมาะ (ขาควรยืดให้สุดแล้วเข่างอลงเล็กน้อย)

2. ตั้งจังหวะ 50 รอบต่อนาที โดยผู้ถูกทดสอบจะต้องรักษาความเร็วให้คงที่

3. การเลือกน้ำหนักถ่วงขึ้นอยู่กับ อายุ เพศ สภาพร่างกายของผู้ถูกทดสอบ โดยปกติผู้ชาย 1.5-2 กิโลปอนด์ ผู้หญิง 1-1.5 กิโลปอนด์ และถ้าหากเป็นนักกีฬาหรือเป็นผู้ที่เข้ารับการทดสอบเป็นประจำ ควรสังเกตจากปริมาณการฝึกซ้อมหรือน้ำหนักถ่วงเดิมที่ใช้เคยทำการทดสอบครั้งล่าสุด

4. เริ่มจับเวลาเมื่อผู้ถูกทดสอบปั่นตามน้ำหนักถ่วงที่กำหนดให้ และสามารถรักษาความเร็ว 50 รอบต่อนาที ตามที่กำหนดให้ตลอดเวลา

5. นับอัตราการเต้นของหัวใจโดยใช้หูฟัง และฟังที่ Apex beat หรือ Carotid artery ทุก 1 นาที (ช่วงวินาทีที่ 45 ถึงวินาทีที่ 60 นับอัตราการเต้นของหัวใจ 30 ครั้ง ใช้เวลากี่วินาที แล้วเทียบตาราง)

6. บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจทุกนาทีเป็นเวลา 6 นาที (ถ้าถึงนาทีที่ 2 อัตราเต้นหัวใจยังต่ำกว่า 120 ครั้งต่อนาที ให้เพิ่มน้ำหนักถ่วงอีก 0.5 กิโลปอนด์ และเพิ่มเวลาทดสอบอีก 1 นาทีและจับต่อทุกนาที) แล้วนำอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงภาวะคงที่ของ 2 นาทีสุดท้าย มาหาค่าเฉลี่ย (อัตราการเต้นของหัวใจในช่วงภาวะคงที่ มีความต่างไม่เกิน ± 5 ครั้งต่อนาที และควรอยู่ระหว่าง 130-170 ครั้งต่อนาที)

การบันทึก

1. บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงภาวะคงที่ หาค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน

2. เทียบต่อน้ำหนักตัว และค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุ (Age factor) เป็นค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูดสุด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที

(สุรศักดิ์ เกิดจันทึก และคณะ, 2543)

ภาคผนวก ค

การทดสอบตามวิธีการของวินเกต (Wingate test)

การทดสอบตามวิธีการของวินเกต (Wingate test)

ภาพภาคผนวก ค-1 การทดสอบตามวิธีการของวินเกต

เครื่องมือ

1. จักรยานวัดงานแบบ Monark
2. สัญญาณนับรอบการปั่น
3. เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมวิเคราะห์ผล

วิธีการ

ใช้หลักการ Wingate test

1. ให้นักกีฬาอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ
2. ให้นักกีฬานั่งบนจักรยานระดับความสูงเช่นเดียวกันกับการทดสอบแบบแอโรบิก และน้ำหนักถ่วงของนักกีฬาแต่ละคน จะคำนวณจาก น้ำหนักตัว x 0.067 = น้ำหนักถ่วง โดยหน่วยเป็นกิโลปอนด์
3. ให้นักกีฬาปั่นจักรยานโดยยังไม่ต้องใส่น้ำหนักถ่วง ประมาณ 2 นาที จากนั้นให้เพิ่มน้ำหนักถ่วงตามที่กำหนดของแต่ละคนให้เร็วที่สุด แล้วให้สัญญาณเริ่มแก่นักกีฬาพร้อมกับกดสัญญาณนับรอบ
4. นักกีฬาจะต้องปั่นจักรยานให้เร็วที่สุดเท่าที่สามารถกระทำได้ตลอดระยะเวลา 30 วินาที และสัญญาณนับรอบจะนับจำนวนรอบที่ปั่นและแสดงผลทุก ๆ 5 วินาที ของการปั่น แล้วนำ

รอบที่ปั่นได้สูงสุดในช่วง 5 วินาทีแรก มาหาค่าพลังความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอนแอโรบิก (Anaerobic power) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 5 วินาทีแรก ของการทดสอบ และนำจำนวนรอบที่ปั่นของแต่ละ 5 วินาที ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อหาค่าความสามารถของร่างกายในการยืนระยะเชิงแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity)

การบันทึก

คอมพิวเตอร์จะแสดงกราฟความเร็วของการปั่นตลอดเวลาของการทดสอบ และเมื่อทำการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดครบ 30 วินาที คอมพิวเตอร์จะแสดงค่า Anaerobic power และค่า Anaerobic capacity หรือทำจดบันทึกรอบของการปั่นทุก 5 วินาที จนครบ 30 วินาที (กรณีไม่ได้ใช้โปรแกรมการทดสอบจากคอมพิวเตอร์)

สูตร

$$\text{Anaerobic power (Peak 5 sec)} = \frac{\hat{N} \times 12 \times WL}{BW} \text{ (Watt/kg)}$$

$$\text{Anaerobic capacity (Mean 30 sec)} = \frac{\bar{N} \times 12 \times WL}{BW} \text{ (Watt/kg)}$$

เมื่อ $\hat{N}$ = รอบสูงสุด

$\bar{N}$ = ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบทั้งหมด

12 = ตัวเลขที่ใช้ปรับค่ากิโลกรัมเมตรต่อนาทีจากทุก 5 วินาที (kpm/min) เป็นค่าวัตต์ต่อนาที

WL = น้ำหนักถ่วง [คำนวณจาก 0.067 x น้ำหนักตัว (กก.).....kp]

BW = น้ำหนักตัว (กก.)

(สุรศักดิ์ เกิดจันทึก และคณะ, 2543)

ภาคผนวก ง

การแจกแจงของข้อมูลความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด อายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

ตารางภาคผนวก ง-1 การแจกแจงของข้อมูลความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด อายุ และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที

ตัวแปร	$\bar{X}$	SD	Skewness	Kurtosis	P
ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)	52.72	11.08	.664	.010	.079
อายุ (ปี)	21.18	4.366	1.107	.286	.193
การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (ครั้งต่อนาที)					
- วินาทีที่ 15	13.17	5.784	.858	.904	.119
- วินาทีที่ 30	19.53	5.937	.482	.034	.115
- วินาทีที่ 45	23.51	6.590	.638	.131	.122
- วินาทีที่ 60	28.20	7.102	.534	-.208	.121
- วินาทีที่ 75	31.53	7.545	.324	-.545	.100
- วินาทีที่ 90	35.83	8.640	.336	-.616	.091
- วินาทีที่ 105	39.65	9.196	.497	-.229	.100
- วินาทีที่ 120	44.13	9.596	.243	-.587	.085

จากตารางภาคผนวก ง-1 แสดงการแจกแจงของข้อมูลความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที อายุมีหน่วยเป็นปี และการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในทุกช่วง 15 วินาที ภายในระยะเวลา 120 วินาที มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที พบว่า ทุกค่าของข้อมูลความเบ้ (Skewness) และความโด่ง (Kurtosis) มีค่าไม่เท่ากับ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการแจกแจงข้อมูลเป็นแบบปกติ (Normal distribution)

ภาคผนวก จ

เทคนิคการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด
จากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

เทคนิคการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด จากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

การนำเทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที (Heart rates recovery technique) ไปใช้ในการประเมินความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด ($\dot{V}O_2max$) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการปฏิบัติเป็นอย่างมาก และจากผลการวิจัยได้สรุปออกมาว่า การใช้เทคนิคการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีมีความสัมพันธ์กับความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด นั่นแสดงให้เห็นว่า ในทางปฏิบัติ ผู้ฝึกสอน นักวิทยาศาสตร์การกีฬา หรือผู้ที่ต้องการทราบความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด สามารถนำเทคนิคการวัดนี้ไปใช้ในการทดสอบนักกีฬาได้อย่างรวดเร็ว โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ให้นักกีฬาเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและมีระดับความหนักค่อนข้างสูง เช่น วิ่งให้เร็วสูงสุด, วิ่งกลับตัวไปมาให้เร็วที่สุด, กระโดดอยู่กับที่โดยให้เข่าแตะอก หรือกิจกรรมการเคลื่อนที่อะไรก็ได้ที่มีระดับความหนักค่อนข้างสูง ซึ่งต้องทำให้นักกีฬามีความรู้สึกเหนื่อยมากพอสมควร จนสามารถกระตุ้นให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 85% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (85% MHR)

2. กำหนดระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของร่างกายทั้งหมด 30-40 วินาที

3. เมื่อครบ 30-40 วินาทีแล้ว ให้นักกีฬาหยุดเคลื่อนที่ แต่ไม่ควรหยุดนิ่งหรือให้นั่งอยู่กับที่ในทันที ควรให้มีการเคลื่อนที่ต่อไป เช่น การเดิน ซึ่งในช่วงนี้จะเริ่มทำการวัดและบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ

4. ให้วัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังที่หยุดออกกำลังกายโดยทันที และทำการบันทึกผลของอัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด (Peak heart rates: PHR) ซึ่งควรใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitors) จะทำให้ได้ค่าที่แน่นอนและรวดเร็ว แต่ถ้าหากใช้วิธีการจับอัตราการเต้นของหัวใจและนับจำนวนครั้งภายในเวลา 15 วินาที เมื่อได้ผลแล้วให้คูณด้วย 4 นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงช่วงระยะเวลาที่จะต้องจับในระหว่างพัก 60 วินาที ด้วย

5. จับเวลาพัก 1 นาที ภายหลังการวัด PHR เรียบร้อยแล้ว

6. เมื่อครบ 1 นาที ให้วัดอัตราการเต้นของหัวใจซ้ำอีกครั้ง และบันทึกเป็นอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย (Heart rate rest: HR_{rest})

7. ให้นำค่าที่ได้มาลบกัน โดยสูตร คือ

$$HR_{rec} = PHR - HR_{rest}$$

โดยที่ PHR คือ อัตราการเต้นของหัวใจที่เต้นได้จำนวนครั้งที่สูงที่สุด

HR_{rest} คือ อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักภายหลังการออกกำลังกาย

HR_{rec} คือ การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย

8. นำจำนวนครั้งของการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีไปเทียบกับตารางทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจวินาทีที่ 60 หรือ 120 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการจับเวลาในการพักในครั้งนั้น

ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด
โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที
ในวินาทีที่ 60 และ 120

ตัวอย่างการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกายทันที

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 60

เมื่อทำการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ในวินาทีที่ 60 หรือนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย ได้เท่ากับ 12 ครั้งต่อนาที จึงนำมาแทนค่าสมการได้ดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 24.314 + 1.007HR_{rec60}$$
$$= 24.314 + 1.007\ (12)$$
$$= 24.314 + 12.084$$
$$= 36.39\ \ ml/kg/min$$

ดังนั้น เมื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ได้จำนวน 12 ครั้งต่อนาที จะทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้เท่ากับ 36.39 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์เท่ากับ 8.49 ทำให้ได้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 27.90 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 44.88 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ตามลำดับ

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec60} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 60

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 120

เมื่อทำการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ในวินาทีที่ 120 หรือนาทีที่สองที่หยุดออกกำลังกาย ได้เท่ากับ 40 ครั้งต่อนาที จึงนำมาแทนค่าสมการได้ดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 22.094 + .694HR_{rec120}$$
$$= 22.094 + .694\ (40)$$
$$= 22.094 + 27.76$$

$$= \quad 49.85 \text{ ml/kg/min}$$

ดังนั้น เมื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ได้จำนวน 40 ครั้งต่อนาที จะทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดได้เท่ากับ 49.85 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์เท่ากับ 8.89 ทำให้ได้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 40.96 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 58.74 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ตามลำดับ

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 120

ภาคผนวก ช

ตัวอย่างการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด
โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที
โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ

ตัวอย่างการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกายทันที โดยมีปัจจัยทางด้านอายุ

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 60

สมมุติ นักกีฬามีอายุ 20 ปี และเมื่อทำการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ในวินาทีที่ 60 หรือนาทีแรกที่หยุดออกกำลังกาย ได้เท่ากับ 12 ครั้งต่อนาที จึงนำมาแทนค่าในสมการที่มีปัจจัยทางด้านอายุ ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 32.091 + .980HR_{rec60} + (-.331)\ Age$$
$$= 32.091 + .980 \times 12 + (-.331)\ (20)$$
$$= 32.091 + 11.76 + (-6.62)$$
$$= 32.091 + 5.14$$
$$= 37.23\ \text{ml/kg/min}$$

ดังนั้น เมื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60 ได้จำนวน 12 ครั้งต่อนาที จะทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยมีปัจจัยทางด้านอายุ ได้เท่ากับ 37.23 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที และมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์เท่ากับ 8.40 ทำให้ได้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 28.83 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 45.63 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ตามลำดับ

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec60} หมายถึง ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60

Age หมายถึง ค่าอายุ

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 120

สมมุติ นักกีฬามีอายุ 20 ปี และเมื่อทำการวัดการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที ในวินาทีที่ 120 หรือนาทีที่สองที่หยุดออกกำลังกาย ได้เท่ากับ 40 ครั้งต่อนาที จึงนำมาแทนค่าในสมการที่มีปัจจัยทางด้านอายุ ได้สมการดังนี้

$$\dot{V}O_2max = 31.358 + .676HR_{rec120} + (-.400)\ Age$$
$$= 31.358 + .676 \times 40 + (-.400)\ (20)$$
$$= 31.358 + 27.04 + (-8)$$
$$= 31.358 + 19.04$$
$$= 50.39\ \text{ml/kg/min}$$

ดังนั้น เมื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 120 ได้จำนวน 40 ครั้งต่อนาที จะทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยมีปัจจัยทางด้านอายุ ได้เท่ากับ 50.39 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที และมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์เท่ากับ 8.75 ทำให้ได้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 41.64 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 59.14 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ตามลำดับ

โดยที่ $\dot{V}O_2max$ หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด

HR_{rec60} หมายถึง ค่าการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีในวินาทีที่ 60

Age หมายถึง ค่าอายุ

ภาคผนวก ซ

สรุปสมการทั้งหมดจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของร่างกาย
ในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดโดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ
ในนักกีฬาทีมชาติไทย

ตารางภาคผนวก ซ-1 สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

สมการที่	**การฟื้นของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที**	**สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ**	r^2
1	- วินาทีที่ 15	$40.799 + .905HR_{rec15}$	.223
2	- วินาทีที่ 30	$36.252 + .843HR_{rec30}$	.204
3	- วินาทีที่ 45	$32.436 + .863HR_{rec45}$	.263
4	- วินาทีที่ 60	$24.314 + 1.007HR_{rec60}$	.416
5	- วินาทีที่ 75	$24.236 + .904HR_{rec75}$	.378
6	- วินาทีที่ 90	$25.443 + .761HR_{rec90}$	.352
7	- วินาทีที่ 105	$25.141 + .696HR_{rec105}$	.333
8	- วินาทีที่ 120	$22.094 + .694HR_{rec120}$	.361

หมายเหตุ HR_{rec15}, HR_{rec30}, HR_{rec45}, HR_{rec60}, HR_{rec75}, HR_{rec90}, HR_{rec105} และ HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 ตามลำดับ

ตารางภาคผนวก ซ-2 สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีโดยมีปัจจัยทางด้านอายุ

สมการที่	**การฟื้นของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที**	**สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ**	r^2
1	- วินาทีที่ 15	49.439 + .864HR_{rec15} + (-.382) Age	.245
2	- วินาทีที่ 30	45.138 + .801HR_{rec30} + (-.380) Age	.226
3	- วินาทีที่ 45	41.239 + .829HR_{rec45} + (-.378) Age	.285
4	- วินาทีที่ 60	32.091 + .980HR_{rec60} + (-.331) Age	.433
5	- วินาทีที่ 75	ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ	-
6	- วินาทีที่ 90	34.185 + .739HR_{rec90} + (-.375) Age	.374
7	- วินาทีที่ 105	34.804 + .678HR_{rec105} + (-.424) Age	.361
8	- วินาทีที่ 120	31.358 + .676HR_{rec120} + (-.400) Age	.385

หมายเหตุ HR_{rec15}, HR_{rec30}, HR_{rec45}, HR_{rec60}, HR_{rec75}, HR_{rec90}, HR_{rec105} และ HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 ตามลำดับ

ตารางภาคผนวก ซ-3 สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีโดยแบ่งตามเพศชาย

สมการที่	**การฟื้นของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที**	**สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ**	r^2
1	- วินาทีที่ 15	$41.758 + .882HR_{rec15}$	.200
2	- วินาทีที่ 30	$39.321 + .725HR_{rec30}$	.162
3	- วินาทีที่ 45	$36.380 + .715HR_{rec45}$	.200
4	- วินาทีที่ 60	$25.683 + .957HR_{rec60}$	.384
5	- วินาทีที่ 75	$25.543 + .868HR_{rec75}$	.336
6	- วินาทีที่ 90	$27.433 + .715HR_{rec90}$	.322
7	- วินาทีที่ 105	$27.948 + .636HR_{rec105}$	.291
8	- วินาทีที่ 120	$25.217 + .634HR_{rec120}$	.320

หมายเหตุ HR_{rec15}, HR_{rec30}, HR_{rec45}, HR_{rec60}, HR_{rec75}, HR_{rec90}, HR_{rec105} และ HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 ตามลำดับ

ตารางภาคผนวก ซ-4 สมการในการทำนายความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุด โดยประเมินจากการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันทีโดยแบ่งตามเพศหญิง

สมการที่	**การฟื้นของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที**	**สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ**	r^2
1	- วินาทีที่ 15	$39.447 + .915HR_{rec15}$	.258
2	- วินาทีที่ 30	$30.159 + 1.089HR_{rec30}$	.303
3	- วินาทีที่ 45	$23.756 + 1.217HR_{rec45}$	.414
4	- วินาทีที่ 60	$21.279 + 1.130HR_{rec60}$	.465
5	- วินาทีที่ 75	$22.412 + .955HR_{rec75}$	.438
6	- วินาทีที่ 90	$22.113 + .843HR_{rec90}$	.395
7	- วินาทีที่ 105	$20.182 + .807HR_{rec105}$	.407
8	- วินาทีที่ 120	$16.275 + .810HR_{rec120}$	.437

หมายเหตุ HR_{rec15}, HR_{rec30}, HR_{rec45}, HR_{rec60}, HR_{rec75}, HR_{rec90}, HR_{rec105} และ HR_{rec120} หมายถึง การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจในวินาทีที่ 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 ตามลำดับ

ภาคผนวก ฌ

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ (r^2)
ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้น
ของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

ตารางภาคผนวก ฌ-1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และประสิทธิภาพในการพยากรณ์ (r^2) ระหว่างความสามารถของร่างกายในการใช้ออกซิเจนได้สูงสุดกับการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที

การฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายทันที	**ปกติ**		**อายุ**		**เพศชาย**		**เพศหญิง**	
	r	r^2	r	r^2	r	r^2	r	r^2
- วินาทีที่ 15	.472*	.223	.495	.245	.447	.200	.508	.258
- วินาทีที่ 30	.452*	.204	.475	.226	.402	.162	.550	.303
- วินาทีที่ 45	.513*	.263	.534	.285	.447	.200	.643	.414
- วินาทีที่ 60	.645*	.416	.658	.433	.620	.384	.682	.465
- วินาทีที่ 75	.615*	.378	.627	.393	.580	.336	.662	.438
- วินาทีที่ 90	.593*	.352	.611	.374	.568	.322	.629	.395
- วินาทีที่ 105	.577*	.333	.601	.361	.540	.291	.638	.407
- วินาทีที่ 120	.601*	.361	.621	.385	.566	.320	.661	.437