

รายงานการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วย
เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และการก้าวขึ้นลงในคนไทยภาคกลาง เพศหญิง

The study correlation between gas analysis and step test for
predicted cardiovascular fitness in Thai capital city women

โดย

ผศ.ดร.วรรณวิสา บุญมาก

อาจารย์ ดร.คุณัตว์ พิธพรชัยกุล

อาจารย์นรินทรา จันทศร

หัวหน้าโครงการ

นักวิจัย

นักวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย

จากคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

พ.ศ. 2563

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และการก้าวขึ้นลงในคนไทยภาคกลางเพศหญิงครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Study) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงในประชาชนไทยเพศหญิง โดยสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

ตอนที่ 1 แสดงร้อยละของข้อมูลพื้นฐานของคนไทยเพศหญิงที่มีสุขภาพแข็งแรง จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมมากที่สุดมีอายุ 41-50 ปี 51-60 ปี และ 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 31, 19 และ 17.6 ตามลำดับ จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างพบว่า ระดับการศึกษา ปริญญาตรี สูงกว่าปริญญาตรีมัธยมตอนปลาย/ปวช. คิดเป็นร้อยละ 45.6 , 22.1 และ 22.1 ตามลำดับ มีการออกกำลังกาย เป็นครั้งคราว คิดเป็นร้อยละ 60.3 ไม่เคยออกกำลังกาย คิดเป็นร้อยละ 30.9 และ ออกกำลังกายเป็นประจำคิดเป็นร้อยละ 8.8 จากการสำรวจการสูบบุหรี่พบว่าไม่สูบบุหรี่คิดเป็นร้อยละ 100 การดื่มแอลกอฮอล์ พบว่าไม่ดื่ม และดื่ม คิดเป็นร้อยละ 91.2 และ 8.8 ตามลำดับ การตรวจไขมัน พบว่า มีการตรวจไขมันคิดเป็นร้อยละ 51.2 และ ไม่ได้ตรวจไขมัน คิดเป็นร้อยละ 48.5 การตรวจน้ำตาลในเลือด พบว่า ตรวจน้ำตาลในเลือด และไม่ได้ตรวจน้ำตาลในเลือดเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 50 จากการสำรวจการมีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด พบว่า ไม่มีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 85.3 มีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 0 และไม่แน่ใจว่ามี บุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 14.7

ตอนที่ 2 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.588 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.168 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.625 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

เมื่อจำแนกตามช่วงวัย ในช่วงอายุ 18-20 ปี พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.421 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.423 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จาก

ข้อเสนอแนะ

จากข้อค้นพบในการวิจัยเรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และการก้าวขึ้นลงในคนไทยภาคกลางเพศหญิง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรมีการศึกษาถึงวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดที่เหมาะสมและมีความแม่นยำในการประเมินค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในคนไทยมากที่สุด
2. ควรมีการศึกษาวิจัยในกลุ่มตัวอย่างประชากรที่มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น เช่น ในเพศชาย ในเด็ก และในผู้สูงอายุ เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการประเมินค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่อไป
3. ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบการทดสอบที่เหมาะสมกับคนไทยมากที่สุดต่อไป
4. ใช้ผลการวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาระดับสมรรถภาพหัวใจและปอดของคนไทยต่อไป

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง	การศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงในคนไทยภาคกลางเพศหญิง
คณะผู้วิจัย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิสา บุญมาก อาจารย์ ดร.คุณัตว์ พิธพรชัยกุล อาจารย์นรินทรา จันทศร
หน่วยงานที่สังกัด	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประเภททุนอุดหนุนการวิจัย	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปี พ.ศ. ที่ดำเนินการวิจัยเสร็จ	2563
คำสำคัญ	การทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง / อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด / การทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดสูงสุด

วัตถุประสงค์ การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงในคนไทยภาคกลางเพศหญิง

วิธีการ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย เป็นอาสาสมัครประชาชนไทยเพศหญิง มีสุขภาพแข็งแรงจำนวน 68 คน แบ่งช่วงอายุระหว่าง 18-60 ปี โดยผู้ที่เข้ารับการวิจัยจะทำการทดสอบระดับความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการก้าวขึ้นลง 3 นาทีและการทดสอบหาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายโดยการวิ่งบนลู่วิ่ง

ผลการวิจัย ระดับความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลง 3 นาทีเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความเชื่อมั่นในระดับปานกลาง มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.63 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 ระดับความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลง 3 นาทีเสร็จ มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.59 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 และระดับความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลง 3 นาทีเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.17 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 ตามลำดับ

สรุปได้ว่า ระดับความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ในประชาชนไทยเพศหญิง ภาคกลาง ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลง 3 นาทีเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์สูงกว่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลง 3 นาทีเสร็จ และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลง 3 นาทีเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ตามลำดับ ความแม่นยำในการทดสอบประกอบไปด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ รวมถึงทักษะของผู้ควบคุมการทดสอบและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดสอบที่ต้องคำนึงถึงก่อนการทดสอบ

Abstract

Research Title	The relationship between gas analysis and step test for predicted cardiovascular fitness in Thai capital city women.
Researcher	Asst. Prof. Wanwisa Bungmark, Ph.D, Lecturer Kunat Pithapornchaikul, Ph.D, Lecturer Narinthra Chantasorn, M.S, Lecturer
Office	Faculty of Education, Silpakorn University
Research Grant	Faculty of Education, Silpakorn University
Year	2020
Keywords	Step Test / Maximal Oxygen Uptake (VO ₂ max) / Maximal Exercise Test

Objectives: The purpose of this study was to relationship between gas analysis and step test for predicted cardiovascular fitness in Thai capital city women

Methods: sixty-eight healthy women volunteered for this study. The subjects aged between 18-60 years. Each subject completed a 3-min step test and a maximal treadmill test (GXT) with oxygen consumption measurement on a separate occasion.

Results: There was a moderately high significant intraclass correlation between predicted maximal oxygen uptake (VO₂max) by counted 1 minute recovery heart rate after 3-min step test and VO₂max by GXT ($r = 0.63$, $p < 0.001$). The predicted VO₂max from heart rate obtained immediately after completing step test and VO₂max by GXT was a significantly correlated ($r = 0.59$, $p < 0.001$). The predicted VO₂max from 15 second recovery heart rate after 3-min step test multiple by 4 and VO₂max by GXT indicated weak correlations. ($r = 0.17$, $p < 0.001$)

Conclusions: The predicted maximal oxygen uptake (VO₂max) by counted 1 minute recovery heart rate appears to be more valid than the predicted VO₂max by immediately heart rate after completing step test and 15 seconds recovery heart rate in predicting VO₂max in healthy Thai capital city women. Apart from the test accuracy, other related factors, including test administration technique and cost, should be taken into consideration before applying the test to a specific setting.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วย เครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงในคนไทยภาคกลางเพศหญิง คณะผู้วิจัยจัดทำขึ้นโดยได้รับทุนอุดหนุน การวิจัย จากคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี พ.ศ. 2555 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วรรณี เจริญรุ่งรงค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นที่ปรึกษาในการทำการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบ แบบสอบถาม และเข้าร่วมการทดสอบอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย
พฤษภาคม 2563

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
คำถามการวิจัย.....	3
วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	3
ค่านิยมเชิงปฏิบัติที่ใช้ในการวิจัย.....	3
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
พลังงานสำหรับการออกกำลังกายและกีฬา.....	4
ระบบเอทีพี-พีซี (ATP-PCr System).....	4
ระบบกรดแลคติก (Lactic Acid System).....	4
ระบบแอโรบิก (Aerobic System).....	5
สมรรถภาพทางกาย.....	7
การทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness Test).....	9
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด.....	10
การทดสอบความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต.....	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	23
เกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าร่วมการวิจัย (Inclusion Criteria).....	23
เกณฑ์ในการคัดเลือกออกจากกรวิจัย (Exclusion Criteria).....	23
การกำหนดกลุ่มตัวอย่างประชากร (Sample Size).....	24
วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	26
การรวบรวมข้อมูล.....	27
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 28
	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล..... 28
	การวิเคราะห์ข้อมูล..... 28
5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 45
	สรุปผลการวิจัย 45
	การอภิปรายผล 47
	ข้อเสนอแนะ 48
	บรรณานุกรม..... 49
	ภาคผนวก..... 53
	ภาคผนวก ก ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent Form)..... 54
	ภาคผนวก ข แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล..... 56
	ภาคผนวก ค แบบบันทึกผลการทดสอบ..... 58
	ประวัตินักวิจัย 61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การสร้างพลังงานในร่างกายขณะออกกำลังกาย	7
2	ระดับอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด.....	9
3	ค่ามาตรฐานความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทยเพศชาย (มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที).....	13
4	ค่ามาตรฐานความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทยเพศหญิง (มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที).....	13
5	ค่าความถี่ ร้อยละของข้อมูลพื้นฐาน.....	29
6	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลพื้นฐาน.....	30
7	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละช่วงวัย.....	31
8	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวลง.....	31
9	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 18-20 ปี.....	33
10	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 21-30 ปี.....	35
11	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี.....	38
12	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 41-50 ปี.....	40
13	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี.....	42
14	เปรียบเทียบค่าระดับความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน แต่ละช่วงวัย.....	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 21-30 ปี.....	37
11	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่คำนวณจากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จในกลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี.....	38
12	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ในกลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี.....	39
13	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 31-40	39
14	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่คำนวณจากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จในกลุ่มช่วงอายุ 41-50 ปี.....	40
15	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ในกลุ่มช่วงอายุ 41-50.....	41
16	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO ₂ max) คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 41-50 ปี.....	41

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณจากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี.....	41
18	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี	43
19	แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี.....	43

บทที่ 1 บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

สังคมไทยในปัจจุบันต้องดิ้นรนแข่งขันท่ามกลางความเสี่ยง เพื่อความอยู่รอดในสังคม ทำให้ประชาชนไม่มีเวลาในการดูแลสุขภาพและออกกำลังกาย จากข้อมูลสำนักงานสถิติแห่งชาติเมื่อปี พ.ศ. 2554 พบว่าคนไทยอายุ 11 ปีขึ้นไป มีการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาเพียง 26.1% เท่านั้น (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2555) นับว่าเป็นสถิติที่น้อยมาก การสำรวจพบว่าเพศหญิงมีการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาน้อยกว่าเพศชาย (25% : 27.4%) หากจำแนกออกเป็นภูมิภาค เป็นที่น่าตกใจเป็นอันมากที่ภาคกลางเป็นพื้นที่ ที่ประชาชนมีอัตราการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับภาคอื่นๆ ของประเทศไทย จากสภาพดังกล่าวอาจส่งผลให้ประชาชนมีความเสี่ยงสูงต่อการป่วยเป็นโรคเรื้อรังที่เกิดจากพฤติกรรมเรื่องสุขภาพ เช่น เบาหวาน, ความดันโลหิตสูง, โรคอ้วน, ไขมันสูง, หลอดเลือดหัวใจตีบเพิ่มขึ้น เมื่อประชาชนกลุ่มนี้เข้าสู่วัยสูงอายุ โรคเหล่านี้ก็จะ เป็นปัญหาที่เรื้อรังและร้ายแรงเพิ่มขึ้น เป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งต่อตนเอง ครอบครัวและประเทศอย่างมหาศาล

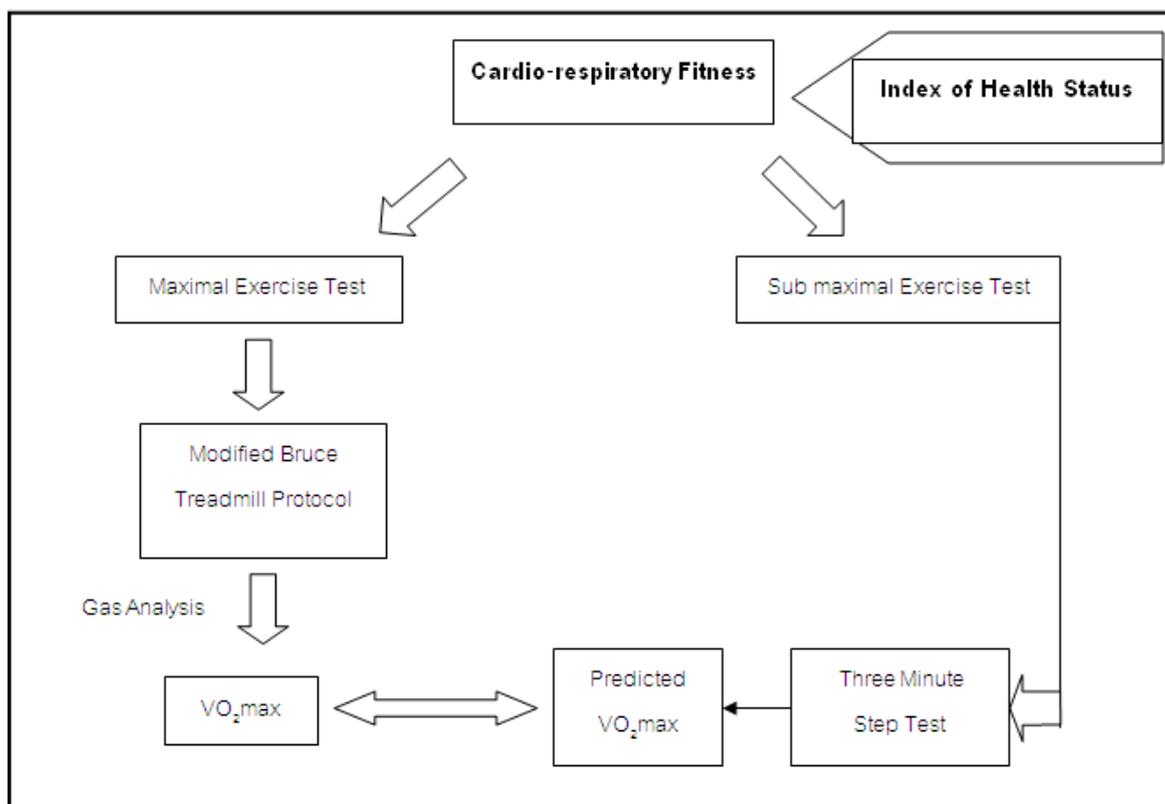
การทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ โดยเฉพาะระดับสมรรถภาพของหัวใจและปอด (Cardiorespiratory Fitness) การศึกษาในต่างประเทศ ได้ชี้ให้เห็นอย่างแน่ชัดแล้วว่า สมรรถภาพทางกายเป็นตัวทำนายโอกาสการเกิดโรคต่างๆ รวมทั้งการเสียชีวิตโดยรวม (American College of Sports Medicine, 2000) แนวทางในการป้องกันการเกิดโรคที่สำคัญ คือ การส่งเสริมให้ประชาชนออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ แต่ปัญหาในการที่จะส่งเสริมให้ประชาชนหันมาออกกำลังกายที่เป็นปัญหาหลัก คือ ประชาชนขาดแรงจูงใจในการออกกำลังกาย แต่การที่ประชาชนได้รับทราบถึงระดับสมรรถภาพของตนเอง จะก่อให้เกิดแรงกระตุ้นให้ประชาชนเห็นความสำคัญของการออกกำลังกายและการดูแลสุขภาพตนเองมากขึ้น คาดว่าจะสามารถลดปัญหาโรคเรื้อรังเหล่านี้ได้ ส่งผลให้ประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น เป็นประชากรสูงอายุที่แข็งแรง และช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านสาธารณสุขของประเทศ

ปัจจุบันวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอด สามารถใช้วิธีวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Uptake; VO_2max) ซึ่งถือเป็นวิธีการทดสอบมาตรฐาน (Gold Standard) (McArdle W. D, Katch F I, & Katch V L, 2010) สำหรับการทดสอบเพื่อบ่งชี้ระดับสมรรถภาพของหัวใจและปอด (Cardiorespiratory Fitness) แต่อย่างไรก็ตามการประเมินสมรรถภาพของหัวใจและปอดเพื่อทดสอบหาค่า VO_2max โดยการทดสอบการออกกำลังกายความหนักสูงสุด ไม่สามารถทำได้ทั่วไปเพราะมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ การทดสอบที่ซับซ้อนต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ และเครื่องมืออุปกรณ์มีราคาแพง (Ted A. Baumgartner, 1995) ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีการทดสอบสมรรถภาพของหัวใจและปอดโดยการทดสอบการออกกำลังกายความหนักต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal Exercise Test) เพื่อประเมินค่า VO_2max หลายประเภท เช่น การทดสอบโดยจักรยานวัดงาน (Cycle Ergometer Test), การทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง (Step Test), การทดสอบโดยการเดิน (Walk Test), การทดสอบโดยการวิ่ง (Run Test) เป็นต้น (American College of Sports Medicine, 2000; Ted A. Baumgartner, 1995; Thomas D Fahey) ซึ่งแต่ละประเภทก็จะมีวิธีการทดสอบและความเหมาะสมกับกลุ่มผู้รับการทดสอบที่แตกต่างกันออกไป ในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ทำ

การทดสอบอย่างแพร่หลายในประเทศคือการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ซึ่งยังไม่มีข้อมูลที่สามารถระบุได้ว่า การทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดจากการก้าวขึ้นลงมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมกับการตรวจประเมิน ในคนไทยมากน้อยเพียงใด

ดังนั้นโครงการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของการทดสอบสมรรถภาพการใช้ ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และการก้าวขึ้นลงที่มีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมกับการตรวจประเมิน ในประชาชนไทยเพศหญิงมากน้อยเพียงใด เนื่องจากการทดสอบสมรรถภาพการใช้ ออกซิเจนด้วยเครื่อง วิเคราะห์ก๊าซ มีความซับซ้อน ยุ่งยาก ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ และใช้เทคโนโลยีที่มีราคาสูง ในการทดสอบไม่ สามารถทำการทดสอบได้ทั่วไป ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การกีฬานั้น ซึ่งต่าง จากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ที่สามารถวัดประเมินได้ทั่วไป ไม่ยุ่งยาก และมีต้นทุนต่ำในการทดสอบ หาก ทราบถึงระดับความสัมพันธ์ของการทดสอบดังกล่าว ในอนาคตสามารถนำการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลงมาใช้ ในประเมินระดับสมรรถภาพหัวใจและปอดที่สามารถประเมินได้ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ และแม่นยำ เพื่อเป็นตัวชี้วัด และเป็นแรงกระตุ้นให้ประชาชนไทย โดยเฉพาะเพศหญิงมีความตื่นตัวตระหนักรู้คุณค่าของการออกกำลังกาย และเล่นกีฬา เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชาชนในประเทศต่อไป

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

คำถามการวิจัย

ความสัมพันธ์ของการทดสอบอัตราการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและก้าวขึ้นลง ในประเมินระดับสมรรถภาพหัวใจและปอดในประชาชนไทยเพศหญิงมีค่ามากน้อยเพียงใด

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาระดับความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงในประชาชนไทยเพศหญิง

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของความสามารถในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ที่วัดโดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลง โดยมีผู้เข้ารับการทดลองและตัวแปรในการศึกษา ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย เลือกแบบเฉพาะเจาะจง เป็นประชาชนไทยเพศหญิง กรุงเทพมหานคร จำนวน 68 คน แบ่งเป็น 5 ช่วงอายุ ดังนี้ 18-20 จำนวน 11 คน 21-30 จำนวน 11 คน 31-40 จำนวน 12 คน 41-50 จำนวน 21 คน และ 51-60 จำนวน 13 คน

ตัวแปรที่ศึกษา ตัวแปรต้น วิธีการทดสอบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการทดสอบด้วยการก้าวขึ้นลง ตัวแปรตาม ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ข้อจำกัดของการวิจัย

ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมการพักผ่อน การบริโภคอาหาร ยารักษาโรค และเครื่องดื่ม รวมทั้งการใช้ชีวิตประจำวันของกลุ่มตัวอย่าง

คำนิยามเชิงปฏิบัติที่ใช้ในการวิจัย

Maximal Oxygen Uptake (VO₂ max) หมายถึง อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด คือปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต สามารถขนส่งเข้าสู่เซลล์ต่างๆ ในเวลา 1 นาที ระหว่างที่ร่างกายออกกำลังกาย ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีหน่วยวัดเป็นมิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัมต่อนาที (ml/kg/min)

Gas Analysis หมายถึง วิธีการทดสอบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงสุด วิเคราะห์ปริมาณก๊าซที่ร่างกายใช้แลกเปลี่ยนขณะออกกำลังกายสูงสุด

Submaximal Exercise Test หมายถึง รูปแบบการทดสอบที่ใช้ประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยอาศัยหลักความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณการใช้ออกซิเจนกับอัตราการเต้นของหัวใจในแต่ละระดับความหนักของการออกกำลังกาย โดยอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทดสอบจะอยู่ในช่วง 110-170 ครั้ง/นาที หรือ ไม่เกิน 85% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด

Step Test หมายถึง วิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดโดยการก้าวขึ้นลง โดยในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือก รูปแบบการทดสอบ Step Test เป็นแบบ Three Minute Step Test คือการทดสอบก้าวขึ้นลงบันไดหรือกล่องสูง 12 นิ้ว เป็นระยะเวลา 3 นาที ติดต่อกัน โดยกำหนดอัตราเร็วในการก้าวเท่ากับ 24 รอบ/นาที แล้ววัดอัตราการเต้นของหัวใจทันที เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหา VO₂ max

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และการทดสอบอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. พลังงานสำหรับการออกกำลังกายและกีฬา
2. สมรรถภาพทางกาย
3. การทดสอบสมรรถภาพทางกาย
4. ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด
5. การทดสอบความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต
 - 5.1 วิธีวัดโดยตรง (Direct method)
 - 5.2 วิธีวัดทางอ้อม (Indirect method)
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลังงานสำหรับการออกกำลังกายและกีฬา

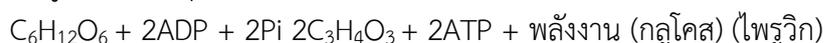
Wilmore, Costill and Kenney (2008) กล่าวว่า ในการออกกำลังกายนั้น กล้ามเนื้อจะใช้พลังงานจากสารชนิดหนึ่งคือ ATP (Adenosine Triphosphate) ซึ่งเป็นสารให้พลังงานสำหรับกล้ามเนื้อโดยเฉพาะในกล้ามเนื้อเองนั้นมีปริมาณ ATP อยู่เล็กน้อยเพียงพอที่จะใช้ได้ประมาณ 3 ถึง 15 วินาที ดังนั้นถ้าต้องการให้กล้ามเนื้อทำงานต่อไปเรื่อยๆ จึงต้องมีการสร้าง ATP ขึ้นมาใหม่ โดยอาศัยสารพลังงานและปฏิกิริยาอื่นๆ ดังที่พิชิต ภูติจันทร์ (2545, หน้า 147-160) และ Katch, McArdle, and Katch (2011, pp. 151-183) ได้สรุปและเสนอแนะไว้ดังนี้

ระบบเอทีพี-พีซี (ATP-PCr System)

ในระบบเอทีพี-พีซีนี้ ได้พลังงานมาจาก ATP ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของสารประกอบ PCr (Phosphocreatine) โดยผลผลิตที่ได้ก็คือ ฟอสเฟตอินทรีย์ (Pi) และครีเอทีน (Cr) ซึ่งให้พลังงานในทันที และพลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่ แต่ Phosphocreatine ในกล้ามเนื้อมีจำนวนจำกัด ถ้าใช้ติดต่อกันจะหมดไป ภายในช่วงเวลาไม่เกิน 30 วินาที ซึ่งกีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้ คือ วิ่ง 100 เมตร ยกน้ำหนัก กระโดดสูง และว่ายน้ำ 50 เมตร เป็นต้น

ระบบกรดแลคติก (Lactic acid system)

ระบบนี้อาจเรียกอีกอย่างว่า “แอนแอโรบิกไกลโคไลซิส” (Anaerobic Glycolysis) ระบบนี้เป็นการสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นการเผาผลาญกลูโคสที่ไม่สมบูรณ์ โดยกลูโคส 1 โมเลกุล (มีคาร์บอน 6 อะตอม) จะเปลี่ยนเป็นไพรูวิก 2 โมเลกุล ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม ดังสมการ



เมื่อกลูโคสเปลี่ยนเป็นไพรูวิกแล้ว ไพรูวิกจะเปลี่ยนเป็นแลคติก ซึ่งในกระบวนการนี้ จะก่อให้เกิดพลังงานและของเสีย คือ กรดแลคติก และคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับกีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้คือ วิ่ง 200-1,000 เมตร ว่ายน้ำ 100-300 เมตร และยิมนาสติก เป็นต้น ซึ่งพลังงานระบบนี้มีขีดความสามารถในการทำงานภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 นาที

ระบบแอโรบิก (Aerobic System)

ระบบนี้อาจเรียกอีกอย่างว่า “แอโรบิกไกลโคไลซิส” (Aerobic Glycolysis) เป็นการสลายกลูโคสโดยการใช้ออกซิเจน ในระบบแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนต่อเนื่องกันดังนี้

1. การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน การสลายกลูโคสจนได้กรดไพรูวิกนั้นเกิดขึ้นใน ซาร์โคพลาสซึมของเซลล์กล้ามเนื้อในทุกสภาวะและยังไม่ใช้ออกซิเจนผลผลิตที่ได้ คือ

1.1 ได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล

1.2 ได้พลังงานเอทีพี สุทธิ 2 โมเลกุล

1.3 เกิดไฮโดรเจน 4 อะตอม โดยมี NAD^+ (Nicotinamide Adenine Dinucleotide) มารับไป กลายเป็น NADH_2 จำนวน 2 โมเลกุล สำหรับกรดไพรูวิก 2 โมเลกุลที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอนไซม์เอ (Acetyl Coenzyme A) เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Krebs Cycle) ซึ่งเกิดในไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ต่อไป

2. การสังเคราะห์อะซิติล โคเอนไซม์เอ (Acetyl Coenzyme A Synthesis) โดยกรดไพรูวิกแต่ละโมเลกุลจะถูกเปลี่ยนเป็นอะซิติล โคเอนไซม์เอ หรือเรียกว่า อะซิติลโคเอ (Acetyl CoA) โดยกลุ่มเอนไซม์หลายชนิดได้ผลผลิต คือ

2.1 เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล แต่จากกลูโคส 1 โมเลกุล ทำให้เกิดกรด ไพรูวิก 2 โมเลกุล

2.2 เกิดไฮโดรเจนขึ้น 4 อะตอม ซึ่งรวมกับ NAD^+ กลายเป็น NADH_2 1 โมเลกุล ดังนั้นจึงได้

NADH_2 จำนวน 2 โมเลกุล

2.3 สมการของปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้ คือ

$2\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3 + 2\text{Co. A} \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_3\text{O-S} - \text{Co. A} + 2\text{CO}_2 + 2\text{NADH}_2$ (กรดไพรูวิก) (อะซิติลโคเอ)

2.4 อะซิติลโคเอหากไม่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์อาจเปลี่ยนเป็นกรดไขมันไกลโคเจนหรือโปรตีนก็ได้

3. วัฏจักรเครบส์ (Krebs Cycle) กรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอ และแตกตัวต่อไปในอนุกรมของปฏิกิริยาที่เรียกว่า วัฏจักรเครบส์ ในวัฏจักรเครบส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้น 2 ประการ คือ การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเดชัน เช่น การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของกรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสได้เข้าไปในวัฏจักรเครบส์ แต่จะเปลี่ยนเป็น อะซิติลโคเอก่อนจึงจะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ จะมีอนุกรมปฏิกิริยา ดังนี้

3.1 ปฏิกิริยา A กรดไพรูวิก ถูกออกซิไดซ์โดยคาร์บอนไดออกไซด์ และอะซิติลโคเอ และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป โดยอะซิติลโคเอทำปฏิกิริยากับกรดออกซาลอแซติก ได้เป็นกรดซิตริกส่วนโคเอนไซม์เอจะแยกตัวออกไป เพื่อรวมกับกรดไพรูวิก โมเลกุลใหม่ของกรดซิตริกปรับโครงสร้างเป็นกรดซิตส-อะโคนิทิก แล้วจึงปรับโครงสร้างใหม่อีกครั้งได้เป็นกรดไอโซซิตริก

3.2 ปฏิกิริยา B กรดไอโซซิตริกเปลี่ยนเป็นออกซาลอซิติก และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป

3.3 ปฏิกิริยา C กรดออกซาลอซิติก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซักซินิกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีก 1 โมเลกุล และเปลี่ยนเป็นกรดแอลฟา-คีโตนกลูตาริก

3.4 ปฏิกิริยา D กรดแอลฟา-คีโตนกลูตาริก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซักซินิกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีก 1 โมเลกุล และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 เข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป

ในกระบวนการนี้ จะได้พลังงานออกมามากพอที่จะรวมเอาหมู่ฟอสเฟต อนินทรีย์เข้ากับเอดีพี จะได้เป็นเอทีพี

3.5 ปฏิกริยา E กรดซักซินิก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดฟูมาริก โดย FAD (Flavin Adenine Dinucleotide) มารับ H⁺ เป็น FADH₂ เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไปแล้วกรดฟูมาริก จะเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก

3.6 ปฏิกริยา F กรดมาลิก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดออกซาลอแซติก โดยมี NAD⁺ มารับ H⁺ ได้เป็น NADH₂ เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป แล้วกรดออกซาลอแซติก จะไปรวมกับอะซีทิลโคเอโมเลกุลกลายเป็นกรดซิตริกได้อีกเพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์รอบใหม่ ดังนั้น อะซีทิลโคเอ 2 โมเลกุล (จากกลูโคส 1 โมเลกุล) จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ปลดปล่อยออกมา 4 โมเลกุล เมื่อรวมกับ 2 โมเลกุล ของคาร์บอนไดออกไซด์ จากการสร้าง อะซีทิลโคเอ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล อาจกล่าวได้ว่า คาร์บอนทั้ง 6 ตัว ในกลูโคส ถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด และจะถูกขนส่งออกนอกเซลล์ต่อไปในวัฏจักรเครบส์ จะมีปฏิกริยาที่ปลดปล่อยไฮโดรเจนออกมา 4 ปฏิกริยาในจำนวนนี้ จะมี 3 ปฏิกริยาที่มี NAD⁺ มาเป็นตัวรับ H⁺ และอีก 1 ปฏิกริยาที่มี FAD มารับ H⁺ จะเห็นได้ว่าในวัฏจักรเครบส์ยังไม่มีการใช้ออกซิเจนสรุปสมการรวมในวัฏจักรเครบส์ ดังนี้



4. ระบบขนส่งอิเล็กตรอน (Electron Transport System) โดยระบบขนส่งอิเล็กตรอนในช่วงนี้ เรียกว่า โซ่การหายใจ (Respiratory Chain) ในระบบขนส่งอิเล็กตรอนทั้งอิเล็กตรอน และไฮโดรเจนไอออนจะถูกถ่ายทอดจากสารประกอบหนึ่งไปยังสารประกอบถัดไป พลังงานที่ใช้ในการขนส่งอิเล็กตรอนได้จาก 3 ปฏิกริยา คือ ปฏิกริยา A, D และ G ในวัฏจักรเครบส์ พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์ ATP จาก ADP และใช้ในการสังเคราะห์แสง สรุปว่า ในระบบออกซิเจนทั้ง 4 ขั้นตอน คือ การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน การสร้างอะซีทิลโคเอ วัฏจักรเครบส์ และการขนส่งอิเล็กตรอน เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและสัมพันธ์กัน จะเห็นว่า ออกซิเจนจะเข้าไปร่วมในปฏิกริยาในขบวนการขนส่งอิเล็กตรอน ส่วนในกระบวนการอื่นๆ ออกซิเจนไม่เข้าร่วมในปฏิกริยาเลยสำหรับกีฬาที่จัดอยู่ในระบบการใช้พลังงานรูปแบบนี้คือ วิ่ง 5,000 เมตร วิ่งมาราธอน ฟุตบอล และบาสเกตบอล เป็นต้น ซึ่งระบบการพลังงานนี้ไม่มีขีดจำกัดเวลาหากมี สารตั้งต้นและออกซิเจนเพียงพอ ดังตารางที่ 1 ที่แสดงถึงการสร้างพลังงานในร่างกายขณะออกกำลังกายระบบต่างๆ

ตารางที่ 1 การสร้างพลังงานในร่างกายขณะออกกำลังกาย (ประทุม ม่วงมี, 2527, หน้า 24)

สิ่งเปรียบเทียบ	Anaerobic		Aerobic
ATP - PCr System	Lactic Acid System		Oxygen System
1. ตัวอย่างของการออกกำลังกายที่อาศัยระบบการสร้างพลังงานนั้นๆ เป็นหลัก	วิ่ง 100 เมตร ยกน้ำหนัก	วิ่ง 400-800 เมตร	วิ่งมาราธอน
2. สารตั้งต้นหลัก	ATP และ Phosphocreatine	Glucose และ Glycogen	Glycogen, Fats และ Proteins
3. ชีตจำกัดเวลา	ประมาณ 3-15 วินาที	ประมาณ 2 นาที	ไม่มีขีดจำกัดเรื่องเวลาหากมีสารตั้งต้นและออกซิเจนเพียงพอ

ในการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันกีฬาแต่ละประเภทนั้น จะมีความต้องการพลังงาน ที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของการออกกำลังกาย รูปแบบการแข่งขัน เทคนิค และทักษะซึ่งการออกกำลังกาย และกีฬาบางประเภท อาจต้องใช้ระบบพลังงานทั้ง 3 ระบบ ตามกิจกรรม การเคลื่อนไหว ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (ธีระศักดิ์ อภาวัฒน์สกุล, 2552, หน้า 17-20)

1. การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก ได้แก่ การวิ่ง 100, 200 และ 400 เมตร ยกน้ำหนัก พุ่งน้ำหนัก ขว้างจักร กระโดดไกล กระโดดสูง เป็นต้น แหล่งพลังงานสำหรับการออกกำลังกายประเภทนี้คือ คาร์โบไฮเดรต รองลงไป คือไขมัน ส่วนโปรตีนนั้นเกี่ยวข้องน้อยมาก จะเห็นได้ว่าระบบ ATP-PCr และระบบกรดแลคติก ไม่ใช่ใช้ออกซิเจนตลอดช่วงของการออกกำลังกาย ดังนั้น พลังงานที่ได้จากการสลายสลายไกลโคเจน จึงทำให้เกิดกรดแลคติกสะสมมาก ส่งผลให้การหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง และเป็นสาเหตุของความเมื่อยล้า

2. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นการออกกำลังกายที่มีระยะเวลายาวนาน และต่อเนื่องพลังงานสำหรับการออกกำลังกายประเภทนี้ คือ คาร์โบไฮเดรต และไขมัน อย่างไรก็ตาม พบว่า ในระยะแรกของการออกกำลังกาย พลังงานที่สำคัญได้จากไกลโคเจน แต่ในตอนท้ายของการออกกำลังกาย ร่างกายจะใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานหลัก เนื่องจากไกลโคเจนที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ และตับถูกใช้หมดไปในการออกกำลังกายประเภทนี้ ATP-PCr ส่วนใหญ่ได้มาจากระบบการสร้างพลังงานแบบแอโรบิก ส่วนระบบการสร้างพลังงานแบบ ATP-PCr และระบบกรดแลคติก จะเกี่ยวข้องเพียงในระยะต้นเท่านั้น ดังนั้น กรดแลคติกจึงไม่สะสม และเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูง

สมรรถภาพทางกาย

ประทุม ม่วงมี (2527, หน้า 96) อธิบายว่า “เป็นความสามารถของร่างกายที่ทนต่อ การทำงานที่มีความเข้มข้นปานกลางได้เป็นระยะเวลาานาน” หรือสิ่งที่ช่วยสนับสนุนให้สามารถทำงานได้เป็นเวลานานๆ เช่น ความสามารถในการเดิน การวิ่ง การปีนเขา การว่ายน้ำ ซึ่งรูปแบบการเล่นกีฬา การทำงาน นันทนาการ และกิจกรรมที่ เกี่ยวกับการออกกำลังกายส่วนใหญ่ ล้วนแต่มีพื้นฐานสมรรถภาพด้านแอโรบิกรวมอยู่ด้วย

พิชิต ภูติจันทร์ (2547) สมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness) หมายถึง สมรรถภาพทางกายเป็นความสามารถของบุคคลในอันที่จะใช้ระบบต่างๆ กระทำกิจกรรมใดๆ อันเกี่ยวกับการแสดงออก ซึ่งความสามารถทางด้านร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือได้หนักหน่วง เป็นเวลาติดต่อกันโดยไม่แสดงอาการเหน็ดเหนื่อยให้ปรากฏ และสามารถฟื้นตัวกลับสู่สภาพปกติได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว

American College of Sports Medicine (2008) สมรรถภาพทางกาย หมายถึง ความสามารถในการปฏิบัติกิจกรรมประจำวันได้ด้วยตนเอง โดยปราศจากภาวะพึ่งพาโดยมีความอดทนต่อการปฏิบัติกิจกรรมนั้นๆ และเป็นตัวชี้วัดภาวะสุขภาพที่ดีบ่งบอกถึงการดำรงชีวิตของบุคคลโดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาผู้อื่น สำหรับผู้สูงอายุให้ความสำคัญในด้านของความสามารถในการทำหน้าที่ของร่างกาย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพ (Health-related Physical Fitness) และสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับทักษะ (Skill-related Physical Fitness) สมรรถภาพทางด้านร่างกายถือเป็นข้อบ่งชี้ของการมีสุขภาพที่ดีและสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้สำหรับบุคคลทั่วไปในการดำเนินชีวิตและสำหรับนักกีฬาที่จะต้องมีความพื้นฐานทางด้านร่างกายที่ใช้สำหรับฝึกซ้อมเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายของการเล่นกีฬาอย่างไรก็ตามสมรรถภาพทางกายสามารถสร้างขึ้นได้จากการออกกำลังกายหรือการเคลื่อนไหวอย่างเป็นประจำโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. องค์ประกอบสมรรถภาพทางกายพื้นฐาน (Health-Related Physical Fitness) (Thompson et al., 2009) มีดังนี้

- 1.1 ระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular System) ในขณะที่ทำกิจกรรมต่างๆ ระบบหัวใจและหลอดเลือดจะทำหน้าที่ส่งออกซิเจนไปสู่นับสนุนเซลล์ต่างๆ ให้ทำงานตามหน้าที่
- 1.2 สัดส่วนของร่างกาย (Body Compositions) เป็นความเหมาะสมของกล้ามเนื้อ ไขมัน กระดูก และความเหมาะสมของรูปร่าง
- 1.3 ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular Strength and Endurance) เป็นความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดแรงและทนต่อการล้า เมื่อกำลังกล้ามเนื้อหดตัวติดต่อกันเป็นเวลานาน
- 1.4 ความยืดหยุ่นของร่างกาย (Flexibility) เป็นความสามารถในการยืดเหยียดข้อต่อ เอ็น และกล้ามเนื้อของร่างกาย

2. องค์ประกอบสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวกับทักษะ (Skill-related Physical Fitness) (Thompson et al., 2009) มีดังนี้

- 2.1 ความคล่องตัว (Agility) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนตำแหน่งในพื้นที่หนึ่ง โดยมีความเร็วและความแม่นยำมาเกี่ยวข้อง
- 2.2 การประสานสัมพันธ์ (Coordination) คือ ความสามารถในการใช้การรับรู้สัมผัส เช่น การมองเห็นและการได้ยิน ในการเคลื่อนไหวส่วนของร่างกายด้วยความราบรื่นและแม่นยำ
- 2.3 การทรงตัว (Balance) คือ การรักษาการทรงท่าเมื่ออยู่กับที่หรือเคลื่อนไหว
- 2.4 กำลัง (Power) คือ ความสามารถหรือระดับของแรงในการทำงาน
- 2.5 ปฏิกริยาตอบสนอง (Reaction Time) คือ ความไวในการตอบสนองต่อสิ่งที่มากระตุ้น
- 2.6 ความเร็ว (Speed) คือ ความสามารถในการเคลื่อนไหวในช่วงเวลาสั้น

สมรรถภาพร่างกายที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ถือเป็นข้อบ่งชี้ของการมีสุขภาพที่ดีสำหรับบุคคลทั่วไปในการดำเนินชีวิตและนักกีฬาใช้สำหรับฝึกซ้อมเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายของการเล่นกีฬา สมรรถภาพทางกายจึงมีความจำเป็นที่จะต้องออกกำลังกายหลายๆ ด้านควบคู่กันไป ไม่ว่าจะเป็นการออกกำลังกายเชิงแอ

โรบิกและการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน แต่ไม่มีความจำเป็นที่จะทำไปพร้อมๆ กัน ซึ่งสามารถทำแบบผสมผสานกันไปเพื่อให้ยังคงไว้ซึ่งสมรรถภาพและ ยังช่วยให้ระบบหัวใจและหายใจดีขึ้นไปพร้อมกับสุขภาพและระบบต่างๆ ของร่างกาย ถึงกระนั้นก็ควรที่จะมีกิจกรรมที่หนักบ้างเพื่อไม่ให้เกิดความเบื่อหน่ายโดยแนะนำให้ออกกำลังกายอย่างน้อยที่ระดับความหนักปานกลาง เป็นเวลา 30 นาที หรือแค่พอเหงื่อออก, แต่ยังสามารถสนทนากับเพื่อนได้ เป็นอย่างน้อย 5 ครั้งต่อสัปดาห์ หรือที่ 20 นาที โดยที่กิจกรรมที่ระดับความหนักสูง 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ผสมผสานกันไป (American College of Sports Medicine, 1998, pp. 975-985) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด (American College of Sports Medicine, 1998, pp. 975-985)

ร้อยละอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด	ระดับความหนักของงาน
<35	เบามาก
35-54	เบา
55-69	ปานกลาง
70-89	หนัก
≥90	หนักมาก
100	สูงสุด

ซึ่งในการออกกำลังกายไม่ว่าจะเป็นบุคคลทั่วไปหรือนักกีฬา ซึ่งในการจะบอกได้ว่าสุขภาพดีหรือไม่ดี สมรรถภาพทางกายสูงหรือต่ำนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทดสอบสมรรถภาพทางกายในแต่ละด้านในการจำกัดความว่าสุขภาพดีและเหมาะสมกับการเล่นกีฬาแต่ละชนิด

การทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness Test)

การทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness Test) หมายถึง การวัดและประเมินผลความแข็งแรงสมบูรณ์ของร่างกายหรือสมรรถภาพทางกายในด้านต่างๆ เช่น ระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular System) สัดส่วนของร่างกาย (Body Compositions) ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular Strength and Endurance) ความยืดหยุ่นของร่างกาย (Flexibility) ฯลฯ เป็นต้น เพื่อนำไปสู่การวางแผนปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ส่งเสริมการฝึกฝนของแต่ละบุคคลให้มีสมรรถภาพทางกายถึงจุดสูงสุดและเหมาะสมกับการปฏิบัติกิจกรรมหรือการเล่นกีฬาแต่ละชนิด (Thompson et al., 2009)

ความสามารถของร่างกายหรือความอดทน คือคุณสมบัติที่ร่างกายสามารถอดทนต่อการปฏิบัติกิจกรรมหนักได้เป็นระยะเวลาหลายๆ หรืออาจกล่าวได้ว่า สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิต หมายรวมอยู่ในกิจกรรมที่ต้องการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ของร่างกายเป็นส่วนมาก เช่น วิ่ง ว่ายน้ำ ขี่จักรยาน ทั้งนี้เพราะกิจกรรมเหล่านี้กระตุ้นหัวใจและระบบการไหลเวียนโลหิตกับระบบหายใจได้ ทำงานในระดับสูงขึ้นกว่าปกติอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ไปในเวลา 1 นาที ในภาวะที่ร่างกายออกกำลังกายจนถึงจุดที่อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในการประเมินความสามารถของระบบหัวใจ ปอดและไหลเวียนโลหิตโดยการออกกำลังกายอย่างหนัก (มากกว่า 70% ของ Max VO₂) หรือการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จะต้องใช้เวลาอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 105 นาที โดยการพัก (Rest Recovery) เพื่อเคลื่อนย้ายกรดแลคติกที่แพร่กระจายอยู่ทั่วร่างกาย (กรมพลศึกษา, 2534)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

สมรรถภาพการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด เป็นปัจจัยสำคัญที่บอกระดับความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกาย ซึ่งการที่มีสมรรถภาพการจับออกซิเจนที่ดีแสดงถึงความสมบูรณ์ของหัวใจในการสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพเซลล์ต่างๆ ของกล้ามเนื้อสามารถนำออกซิเจนไปสร้างพลังงานได้ดีร่างกายมีการประสานงานกันเป็นอย่างดีของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด จึงส่งผลให้มีสุขภาพดี (Foss and Keteyian, 1998) ผู้ที่สามารถล่าเหยื่อออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ได้มากขณะออกกำลังกายแสดงว่าเป็นผู้ที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption, VO_2 max)

การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดศึกษาได้จากการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด และความสามารถในการเคลื่อนไหวของกลุ่มกล้ามเนื้อใหญ่ที่ทำงานได้อย่างสัมพันธ์กันอย่างดีที่ระดับความหนักปานกลางจนถึงระดับความหนักสูงสุดในระยะเวลาที่ยาวนานต่อเนื่องกัน (American College of Sports Medicine, 2000) ซึ่งผู้ที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่าจะเป็นเครื่องแสดงถึงความสมบูรณ์ของหัวใจในการสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปอดสามารถรับอากาศได้มาก เซลล์กล้ามเนื้อสามารถรับเอาออกซิเจนไปสร้างเป็นพลังงานและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีเช่นกัน (ประทุม ม่วงมี, 2527)

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัฒน์, (2536) กล่าวว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Uptake หรือ VO_2 max) เป็นความสามารถของร่างกายที่จะนำออกซิเจนที่หายใจเข้าไปในปอด เข้าไปใช้สร้างพลังงานในเซลล์ได้มากที่สุด ในระหว่างที่ร่างกายออกกำลังกายอย่างเต็มที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะแตกต่างกันไปตามสถานะด้าน อายุ เพศ ขนาดรูปร่าง และสมรรถภาพทางกาย ซึ่งจะเพิ่มตามอายุ โดยจะสูงเมื่ออายุ 20-25 ปี ในเพศหญิง และ 25-30 ปี ในเพศชายจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงโดยทั่วไปเพศชายจะมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดประมาณ 50 มล.ต่อกก.ต่อนาที เพศหญิงมีค่าประมาณ 40 มล.ต่อกก.ต่อนาที หลังจากช่วงอายุดังกล่าวนี้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะคงระดับและค่อยๆ ลดต่ำลง

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption หรือ VO_2 max) หมายถึง ปริมาณสูงสุดของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถใช้ได้ต่อนาที และเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงขีดความสามารถสูงสุดหรือสมรรถนะของคนในการสร้างพลังงานแบบแอโรบิก (Maximum Aerobic Power หรือ Maximum Exercise Capacity) ซึ่งเป็นความสามารถของร่างกายที่จะนำออกซิเจนที่หายใจเข้าไปในปอด เข้าไปใช้สร้างพลังงานในเซลล์ได้มากที่สุด ในระหว่างที่ร่างกายออกกำลังกายอย่างเต็มที่ หน่วยที่ใช้วัดอัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) สามารถวัดออกมาได้ทั้งหน่วยที่เป็นค่าสัมบูรณ์ (Absolute) คือ ลิตรต่อนาที (L. min⁻¹) หรือ มิลลิลิตรต่อนาที (ml. min⁻¹) และหน่วยที่เป็นค่าสัมพัทธ์ (Relative) คือ มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม (ของน้ำหนักตัว) ต่อนาที (ml. kg⁻¹. min⁻¹) โดยทั่วไป การเปรียบเทียบอัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างบุคคลหน่วยที่ใช้จะเป็นค่าสัมพัทธ์ ทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการใช้ออกซิเจนจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของร่างกาย ในส่วนของหน่วยปริมาณการใช้ออกซิเจนอาจจะนำน้ำหนักที่ปราศจากไขมัน (Fat-free Mass) ซึ่งหาได้จากการที่น้ำหนักตัวที่เป็นไขมันในร่างกายออกไป (Fat Mass) มาใช้แทนก็ได้ดังนั้นหน่วยที่ใช้ คือ มิลลิลิตรต่อน้ำหนักของมวลกล้ามเนื้อที่ปราศจากไขมัน : กิโลกรัมต่อนาที (ml. kg:FFM-1. min⁻¹) (McArdle et al., 2000) โดยเฉลี่ยคนทั่วไปขณะพักในท่านั่งอัตราการใช้ออกซิเจนจะมีค่าประมาณ 200-300 มิลลิลิตรต่อนาที หรือ 3.5 มิลลิลิตร

ต่อกิโลกรัมต่อนาที ค่า VO_2 ขณะพักนี้เรียกว่า 1 Metabolic Equivalent หรือ MET (เพ็ญพิมล ธรรมรัศคิต, 2537)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะแตกต่างกันไปตามสถานะด้าน อายุ เพศ ขนาดรูปร่าง และสมรรถภาพทางกาย ซึ่งจะเพิ่มตามอายุโดยจะสูง เมื่ออายุ 20–25 ปี ในเพศหญิง และอายุ 25–30 ปี ในเพศชาย จากนั้นจะค่อยๆ ลดต่ำลง (American College of Sports Medicine, 2000) ค่า VO_2 max เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการวัดความสมบูรณ์ของระบบหัวใจไหลเวียนเลือด สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นสิ่งที่ได้จากปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกไปในเวลา 1 นาที (Cardiac Output: CO) มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที ซึ่งสามารถขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อมากขึ้นและความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนในเส้นเลือดแดงกับเส้นเลือดดำ ($a - VO_2$ difference) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรออกซิเจนต่อลิตร จะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนสูงสุดในเส้นเลือดแดงในการดึงเอาออกซิเจนออกจากเลือดของเซลล์กล้ามเนื้อที่กำลังทำงานอยู่และปริมาณออกซิเจนน้อยสุดในเส้นเลือดดำ (เพ็ญพิมล ธรรมรัศคิต, 2537)

ผู้ที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจะเป็นผู้ที่มีความสามารถในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ได้เป็นเวลานาน ไม่เหน็ดเหนื่อย เพราะมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่ดี เนื่องจากในร่างกายมีหัวใจและหลอดเลือดที่แข็งแรง ปอดมีพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนก๊าซมากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการลำเลียงออกซิเจนสูงขึ้นตามด้วย

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หมายถึง ปริมาณออกซิเจน (มิลลิลิตร) สูงสุดที่ระบบไหลเวียนเลือดและระบบหายใจสามารถขนส่งเข้าสู่เซลล์ต่างๆ ในขณะออกกำลังกายได้อย่างเต็มที่ในเวลา 1 นาที หรือปริมาณสูงสุดที่ร่างกายรับเข้าไปใช้ได้เป็นเวลา 1 นาที มีหน่วยเป็น มล.ตอกก.ต่อนาที ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)

การที่ร่างกายมีการประสานงานกันดีของระบบไหลเวียนและระบบหายใจ จะทำให้เป็นผู้มีสุขภาพดีสามารถประกอบกิจกรรมต่างๆ ได้เป็นเวลานานไม่เหน็ดเหนื่อย เพราะมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนดี เนื่องจากในร่างกายมีหัวใจที่แข็งแรง ปอดมีพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนก๊าซมากมีหลอดเลือดที่แข็งแรง มีประสิทธิภาพสูงในการลำเลียงออกซิเจน มีการใช้ออกซิเจนอย่างมีประสิทธิภาพ (วรรณิ เจิมสุรวงศ์, 2539)

ปัจจัยที่กำหนดความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

การทำงานของระบบต่างๆ ของร่างกายที่มีผลต่อความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อันดับแรกคือ ระบบหายใจและไหลเวียนเลือด การทำงานของหัวใจ ปอด และหลอดเลือด ต้องมีความเพียงพอในการหายใจเอาอากาศจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปขนส่งออกซิเจนเข้าสู่ปอดเพื่อส่งต่อให้เลือด อันดับที่สองคือกระบวนการขนส่งออกซิเจนให้กับเนื้อเยื่อต่างๆ จากเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red Blood Cell) หัวใจต้องทำงานเป็นปกติซึ่งการทำงานของหัวใจ ปริมาณเลือด จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง และความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ต้องสามารถเคลื่อนย้ายเลือดจาก เนื้อเยื่อที่ไม่ทำงานไปยังกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานอยู่ อันดับที่สำคัญคือ ความสามารถในการขนส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อ โดยปกติจะขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาผลาญพลังงาน และหน้าที่การทำงานของไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) ความดันเลือด (Blood Pressure) ปริมาณเลือดที่ส่งออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac Output) หรือปริมาณเลือดที่หัวใจบีบตัวแต่ละครั้ง (Stroke Volume) ขึ้นอยู่กับการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดเช่นเดียวกัน ถ้ามีประสิทธิภาพการทำงานดีเท่าใด การลำเลียงอาหาร ออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อ และการนำของเสียออกจากกล้ามเนื้อก็จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย (Lamb D.R., 1984) ซึ่งสอดคล้องกับ (ประทุม ม่วงมี, 2527) กล่าวว่า ออกซิเจนจะถูกส่งไปให้กล้ามเนื้อใช้ได้มากน้อยเท่าไร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญ 4 อย่าง คือ

1. ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอด (Minute Ventilation) เมื่ออากาศเข้าสู่ปอดมากในขณะที่ออกกำลังกายหรือมีความจุปอด (Vital Capacity) เพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันของออกซิเจนภายในปอดมีมากขึ้น การฟุ้งกระจาย การไหลของก๊าซเข้าสู่ระบบการไหลเวียนสะดวกยิ่งขึ้นออกซิเจนเข้าสู่ภายในเซลล์มากขึ้น
2. ความสามารถของเลือดที่จะรับออกซิเจนเข้าไปได้ตัวการสำคัญในการจับออกซิเจนเข้าสู่กระแสเลือด คือ Hemoglobin หากมีจำนวนมากก็สามารถพาออกซิเจนไปใช้ได้มาก
3. ความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อ หมายถึง ความจำเป็นที่จะต้องสร้างพลังงานโดยใช้ออกซิเจนในกิจกรรมที่ต้องออกแรงติดต่อกันเป็นเวลานาน ร่างกายใช้ออกซิเจนจึงต้องมีการนำเอาออกซิเจนจากบรรยากาศมาทดแทนออกซิเจนที่เสียไป
4. ปริมาณเลือดที่ฉีดออกจากหัวใจในเวลา 1 นาที (Cardiac Output) หากหัวใจฉีดเลือดออกจากหัวใจมากเท่าใด การใช้ออกซิเจนจะมากไปด้วย

เพ็ญพิมล ธรรมรงค์ (2537) กล่าวว่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดถูกกำหนดโดยความสามารถของระบบไหลเวียนที่จะนำออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อที่กำลังทำงาน อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะขึ้นกับปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดในหนึ่งนาที (Maximal Cardiac Output, max CO) และความแตกต่างสูงสุดระหว่างปริมาณออกซิเจนในเลือดแดงกับเลือดดำผสม (Maximum Arteriovenous O₂ difference, max a - VO₂diff) ดังสมการ คือ $VO_2 \text{ max} = \text{max CO} \cdot \text{max a} - VO_2 \text{ diff}$ โดยที่

$VO_2 \text{ max}$ = ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด หน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที

max CO = ปริมาณเลือดสูบฉีดออกจากหัวใจได้สูงสุดใน 1 นาที

$\text{max a} - VO_2 \text{ diff}$ = ความแตกต่างสูงสุดระหว่างปริมาณออกซิเจนในเลือดแดงกับเลือดดำผสม แต่ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจในหนึ่งนาที (Cardiac Output, CO) มีหน่วยเป็นลิตร ต่อนาทีเท่ากับผลคูณของปริมาณเลือดสูบฉีดออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (Stroke Volume, SV) และอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate, HR) ค่า CO จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนสัมพันธ์กับอัตราการใช้ออกซิเจนและปริมาณงานที่กระทำ เพราะกล้ามเนื้อที่ทำงานหนักมากขึ้นจะเพิ่มอัตราการใช้ออกซิเจน จะมีผลในการขยายตัวของหลอดเลือดในกล้ามเนื้อ การออกกำลังกายเป็นการเพิ่มจำนวนเส้นใยกล้ามเนื้อทำให้ขนาดเส้นเลือดเพิ่มขึ้น (พีระพงษ์ บุญศิริ, 2538) ดังนั้นปริมาณเลือดที่ไหลกลับสู่หัวใจ (Venous Return) จะเพิ่มทำให้ SV เพิ่ม CO จึงเพิ่มด้วย ขณะที่ความแตกต่างสูงสุด ระหว่างปริมาณออกซิเจนในเลือดแดงกับเลือดดำผสมจะขึ้นอยู่กับปริมาณสูงสุดของออกซิเจนในเลือดแดง และความสามารถสูงสุดในการดึงออกซิเจนออกจากเลือดของเซลล์กล้ามเนื้อที่กำลังทำงาน ซึ่งพิจารณาได้จากปริมาณน้อยที่สุดของออกซิเจนในเลือดดำผสม (เพ็ญพิมล ธรรมรงค์, 2537) จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะมีค่าน้อยเพียงใดต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านสรีรวิทยา ได้แก่ หน้าที่การทำงานของหัวใจในการบีบตัวเพื่อฉีดเลือดออกไปให้อวัยวะต่างๆ ของร่างกาย การหายใจนำเอาออกซิเจนเข้าสู่ปอด ความแข็งแรงของหลอดเลือด และการทำงานของกล้ามเนื้อ ถ้าร่างกายมีสมรรถภาพทางกายดีจะเป็นความสามารถในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพของระบบต่างๆ ภายในร่างกาย

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทยเพศชาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/ นาที) (การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2543)

ระดับสมรรถภาพ	อายุ (ปี)					
	17-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-72
ดีมาก	≥55.5	≥ 51.6	≥ 43.3	≥37.4	≥33.9	≥30.7
ดี	50.6-55.4	47.1-51.5	39.4-43.2	34.1-37.3	30.7-33.8	27.9-30.6
ปานกลาง	40.7-50.5	38.0-47.0	31.5-39.3	27.4-34.0	24.2-30.6	22.2-27.8
ต่ำ	35.8-40.6	33.5-37.9	27.6-31.4	24.1-27.3	21.0-24.1	19.4-22.1
ต่ำมาก	≤35.7	≤33.4	≤27.5	≤24.0	≤20.9	≤19.3

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทยเพศหญิง (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/ นาที) (การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2543)

ระดับสมรรถภาพ	อายุ (ปี)					
	17-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-72
ดีมาก	≥48.0	≥45.8	≥40.2	≥35.8	≥30.9	≥30.8
ดี	43.9-47.9	41.9-45.7	36.9-40.1	32.4-35.7	28.3-30.8	27.8-30.7
ปานกลาง	35.6-43.8	34.0-41.8	28.7-36.8	25.5-32.3	23.0-28.2	21.7-27.7
ต่ำ	31.5-35.5	30.1-33.9	24.9-28.6	22.1-25.4	20.4-22.9	18.7-21.6
ต่ำมาก	≤31.4	≤30.0	≤24.8	≤22.0	≤20.3	≤18.6

ค่า VO_2max นี้ เป็นดัชนีหลักใช้ในการบอกสมรรถภาพที่ร่างกายของแต่ละคนและเนื่องจากการสะท้อนหน้าที่สูงสุดของ 3 ระบบหลักของร่างกายค่า VO_2max จึงเป็นดัชนีทั้งทางแอโรบิกของร่างกาย (Aerobic Index) และดัชนีความอดทนของหัวใจ (Cardiac Endurance) ดังนั้น สมรรถภาพการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต เป็นปัจจัยสำคัญที่บอกระดับความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกาย ซึ่งการมีสมรรถภาพการจับออกซิเจนที่ดีแสดงถึงความสมบูรณ์ของหัวใจในการสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย ได้อย่างมีประสิทธิภาพเซลล์ต่างๆ ของกล้ามเนื้อสามารถนำออกซิเจนไปสร้างพลังงานได้ดี ร่างกายมีการประสานงานกันเป็นอย่างดีของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต จึงส่งผลให้สุขภาพดี (Fossdi & Keteyian. 1998; รุ่งชัย ชวนไชยะกุล, 2552; ญัฐพล ไตรเพิ่ม, 2546; เพ็ญพิมล ธรรมรัศมิ์, 2537)

การทดสอบความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต (Tritschler, 2000)

การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ศึกษาได้จากการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต และความสามารถในการเคลื่อนไหวของกลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ทำงานได้อย่างสัมพันธ์กันอย่างดีที่ระดับความหนักปานกลางจนถึงระดับความหนักสูงสุดในระยะเวลา ที่ยาวนานต่อเนื่องกัน (American College of Sports Medicine, 2000)

การทดสอบความอดทนของหัวใจ ปอดและหลอดเลือดจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของสุขภาพทางกายบางอย่าง เช่น ผู้ที่มีปัจจัยเสี่ยงทางโรคหัวใจ โรคระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น การทดสอบจะแบ่งเป็น Maximum Exercise Test เป็นการออกกำลังกายที่ใช้แรงมากที่สุดหรือที่ระดับความหนักสูงสุด (80-90% อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด) ใช้เวลาน้อยและก่อให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย เช่น การวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill) และการปั่นจักรยานวัดงาน (Ergometer) Submaximum Exercise Test (70-80% อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด) เป็นการออกกำลังกายแบบปานกลางหรือที่ระดับความหนักปานกลาง จะใช้กับบุคคลที่มีอายุมากๆ และในคนที่ไม่ออกกำลังกายหรือออกกำลังกายอย่างไม่สม่ำเสมอ เช่น การก้าวขึ้น-ลง (Step Test), การวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill) และการปั่นจักรยาน ซึ่งผู้ที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่าจะเป็นเครื่องแสดงถึงความสมบูรณ์ของหัวใจในการสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปอดสามารถรับอากาศได้มาก เซลล์กล้ามเนื้อสามารถรับเอาออกซิเจนไปสร้างเป็นพลังงาน และกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีเช่นกัน (ประทุม ม่วงมี, 2527) โดยเฉลี่ยคนทั่วไปขณะพักในท่านิ่ง อัตราการใช้ออกซิเจนจะมีค่าประมาณ 200-300 มิลลิลิตร/ นาที หรือ 3.5 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที ค่า VO_2 ขณะพักนี้เรียกว่า 1 Metabolic Equivalent หรือ MET การประเมินด้วยการก้าวขึ้น-ลง บนกล่อง ที่มีความสูงเท่ากัน (Step Test) ซึ่งเป็นการประเมินที่ใช้ระยะเวลาสั้นๆ 3-5 นาที วิธีการทดสอบจะขึ้นอยู่กับผู้คิดค้น ที่จะสามารถใช้ประเมินสมรรถภาพและหัวใจได้ดีโดยมีวิธีการทดสอบหาค่าความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุดกระทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีวัดโดยตรง (Direct Method) จากการวัดโดยการวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Analyzing Method) จากเครื่องมือ ซึ่งมีอุปกรณ์ประกอบด้วยลู่วิ่ง (Treadmill) จักรยานวัดงาน (Bicycle Ergometer) เครื่องวัดและแสดงปริมาณอากาศ (Gasometer) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas-analyzer) เครื่องให้จังหวะ (Metronome) และนาฬิกาจับเวลา (Stopwatch) โดยให้ผู้รับการทดสอบออกกำลังกาย และหายใจเข้า-ออก เข้าเครื่องวิเคราะห์ ซึ่งมีทั้งแบบวงจรปิด - เปิด (Closed or Opened Circuit Spirometer) และวิเคราะห์อัตราส่วนของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศที่หายใจเข้าออก เพื่อคำนวณหาจำนวนออกซิเจนที่ร่างกายจับได้ในแต่ละนาทีแต่วิธีนี้ไม่สะดวกที่ต้องทดลองในห้องปฏิบัติการ วิธีการยุ่งยากซับซ้อนและเสียเวลานานในการทดลองแต่มีความแม่นยำสูง สำหรับวิธีการทดสอบ Maximal Oxygen Uptake Test (VO_{2max} Test) นั้น ได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทดสอบ VO_{2max} โดยลู่วิ่งกับจักรยาน ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1969 Hermansen L. และคณะ (Hermansen L, 1969) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่า VO_{2max} ที่วัดได้จากการทดสอบโดยใช้ลู่วิ่ง (Modified Procedure Originally Described by Taylor et al.) เทียบกับจักรยาน (Astrand VO_{2max}) ในกลุ่มตัวอย่างเพศชาย จำนวน 55 คน พบว่า ค่า VO_{2max} ที่วัดได้จากการวิ่งบนลู่วิ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จากจักรยาน

ในปี ค.ศ. 1982 Pollock ML. และคณะ (Pollock ML, 1982) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทดสอบ Maximal Grade Exercise Test ที่แตกต่างกัน 3 วิธีในผู้หญิงที่มีสุขภาพแข็งแรง จำนวน 49 คน เพื่อดูผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นจากการทดสอบโดยวิธี Bruce Treadmill Protocol, Balke Treadmill Protocol และ A Bicycle Protocol พบว่าค่า VO_{2max} ที่ได้จากการทดสอบโดยการวิ่งบนลู่วิ่งทั้ง 2 วิธี มีค่า VO_{2max} สูงกว่าค่า VO_{2max} ที่วัดได้จากจักรยานเช่นกัน

จะเห็นได้ว่า การหาค่า VO_{2max} โดยการใช้อุปกรณ์จักรยานจะได้ค่าที่น้อยกว่าการวิ่งบนลู่วิ่ง ทั้งนี้เป็นเพราะการวิ่งบนลู่วิ่ง ร่างกายต้องใช้กล้ามเนื้อทุกส่วนในการออกกำลังกาย ในขณะที่การปั่นจักรยานกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นกล้ามเนื้อส่วนล่าง ดังนั้นถ้าต้องการทราบค่า VO_{2max} ที่สูงที่สุดที่ร่างกายใช้ขณะออก

กำลังกายสูงสุด ควรจะวัดโดยการวิ่งบนลู่วิ่งกล ซึ่งถือว่าเป็น Gold Standard แต่วิธีการในการวัด $VO_2\max$ โดยลู่วิ่งกล มีวิธีการหลายวิธี ซึ่งได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัย ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1994 Trabulo M. และคณะ (Trabulo M, 1994) ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ, ความดันโลหิต เป็นต้น เปรียบเทียบกันระหว่างการวัด $VO_2\max$ โดย Bruce Treadmill Protocol กับ Modified Bruce Treadmill Protocol พบว่า Bruce Treadmill Protocol มีผลต่อ Physiologic Stress มากกว่า Modified Bruce Treadmill Protocol ดังนั้น Trabulo M. ได้กล่าวไว้ว่า Bruce Treadmill Protocol เหมาะสำหรับการวัด $VO_2\max$ ในกลุ่มประชากรที่มีสมรรถภาพร่างกายที่ดี สำหรับ Modified Bruce Treadmill Protocol เหมาะสำหรับการวัด $VO_2\max$ ในกลุ่มประชากรที่มีสมรรถภาพร่างกายปานกลางหรือมีสมรรถภาพที่ไม่ดี

ในปี ค.ศ. 2001 Spackman M. และคณะ (Spackman Michael B., 2001) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำและความเหมาะสมในการใช้การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่าง The Standardized Bruce Protocol กับ The Arizona State University Protocol (ASU) ในนักศึกษาระดับวิทยาลัย จำนวน 32 คน ผู้ชาย 16 คน ผู้หญิง 16คน อายุ 21 ± 2.5 ปี พบว่า ผลในการประมาณค่า $VO_2\max$ ของทั้งสองวิธีให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน (Bruce: $r = .91$, $SEE = 3.61 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$, total error = $3.72 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$; ASU: $r = .91$, $SEE = 3.13 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$, total error = $3.15 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$)

ในปี ค.ศ. 2004 Gursel Y. และคณะ (Gürsel Y, 2004) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อค่า Peak Oxygen Uptake เช่น อายุและเพศ ในเด็กชาวตุรกีอายุ 5 – 13 ปีที่มีสุขภาพแข็งแรง จำนวน 80 คน ก่อนทำการทดสอบได้มีการทดสอบหาวิธีการที่เหมาะสมในการหาค่า $VO_2\max$ ในเด็กชาวตุรกีมากที่สุด จากหลายวิธีการทดสอบ เช่น Bruce, Modified Bruce, Naughton และ Oslo จากการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างพบว่า วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการหาค่า $VO_2\max$ ในเด็กชาวตุรกี คือ Bruce Protocol เนื่องจากการทำการทดลอง Protocol ก่อนการศึกษาวิจัย พบว่า เด็กสามารถทำการทดสอบด้วย Bruce Protocol ได้ดีที่สุด จะเห็นได้ว่าการทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาวิธีการหาค่า $VO_2\max$ มากมายหลายวิธี แต่ละวิธีก็จะมีเหมาะสมกับกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันออกไป และมีความแม่นยำมากน้อยแตกต่างกันออกไปตามแต่ละวิธี

สรุป วิธีทางตรง (Direct Method) สามารถวัดได้หลายวิธี แต่วิธีการทดสอบโดยลู่วิ่งกลให้ค่า $VO_2\max$ ที่ตรงกับปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายมากที่สุดเพราะเป็นการวัดจากการใช้กล้ามเนื้อเกือบทุกส่วนของร่างกายในการออกกำลังกาย สำหรับ Protocol ในการทดสอบนั้นมีมากมายหลายวิธีการซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีเหมาะสมกับกลุ่มประชากรที่แตกต่างกันไป ค่าความแม่นยำก็จะมากน้อยแตกต่างกันออกไป ดังนั้นในกลุ่มประชากรวัยทำงาน Protocol ที่เหมาะสมในการวัด $VO_2\max$ มากที่สุดน่าจะเป็น Modified Bruce Protocol เพราะสามารถใช้ได้กับกลุ่มประชากรหลายช่วงอายุ และไม่หนักมากเกินไป สำหรับประชากรวัยทำงานหรือประชากรที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย

วิธีวัดทางอ้อม (Indirect Method) โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำงานหนักในระดับเกือบสูงสุดระยะเวลาประมาณ 5-10 นาที ไม่ถึงกับหมดแรงเพื่อประมาณค่าสูงสุดของความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกาย วิธีนี้สะดวกเพราะใช้เวลาน้อยกว่า วิธีการไม่ยุ่งยากและหลีกเลี่ยงอันตราย ใช้การประมาณค่า $VO_2\max$ โดยอาศัยหลักของหลักความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่าง Heart Rate กับ VO_2 ในขณะออกกำลังกาย เพื่อนำ Heart Rate มาทำนายค่า $VO_2\max$ ซึ่งวิธีการวัดสมรรถภาพหัวใจและปอดทางอ้อมมีหลายวิธี สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. วิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอด (Sub-maximal Exercise Test) โดยการก้าวขึ้นลงบันได (Step Test) ซึ่งการทดสอบแบบก้าวขึ้นลงบันไดนั้น อาศัยหลักความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่าง Heart Rate กับ VO_2 ในขณะออกกำลังกายซึ่งมีผู้ทำการศึกษาวิจัยกันหลากหลายวิธี ดังนี้

Harvard Step Test เป็นวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดที่ทำการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง Gym Bench สูง 45 เซนติเมตร ที่อัตราเร็ว 30 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 5 นาทีติดต่อกัน

ในปี ค.ศ. 1964 Devries และคณะ (Devries HA and Klafs CE, 1964) ได้รายงานสหสัมพันธ์ระหว่าง Harvard Step Test กับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.77 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า VO_{2max} ในระดับสูง

ข้อดีของ Harvard Step Test คือสามารถควบคุมได้ง่าย และไม่ต้องใช้อุปกรณ์มากมาย แต่จะมีข้อเสียตรงที่เหมาะสมสำหรับการทำการทดสอบในกลุ่มนักกีฬาหรือผู้ที่มีสมรรถภาพร่างกายที่ดี เพราะการทดสอบ Harvard Step Test ใช้เวลาในการทำการทดสอบนานกว่า และยังมีอัตราเร็วในการก้าวมากกว่าการทดสอบอื่น ทำให้มีความหนักมากกว่าการทดสอบ Step Test ชนิดอื่นๆ

Three Minute Step Test เป็นวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดที่ทำการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง Gym Bench สูง 30 เซนติเมตร ที่อัตราเร็ว 24 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 3 นาทีติดต่อกัน

ในปี ค.ศ. 1996 Smothermon R. (Smothermon R., 1996) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยลู่วิ่งกล (Robinson Protocol) กับ The Kasch Three Minute Step Test ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง จำนวน 42 คน อายุระหว่าง 28-58 ปี พบว่า กับ The Kasch Three Minute Step Test มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงเมื่อเทียบกับ VO_{2max} ($r = 0.824, p < 0.05$)

ในปี ค.ศ. 1970 The National Young Men's Christian Association ได้ทำการปรับเปลี่ยนสมการในการคำนวณ VO_{2max} ของการทดสอบ The Kasch Three Minute Step Test โดยได้ทำการทดสอบหาค่าความสัมพันธ์กับ VO_{2max} ได้ระดับความสัมพันธ์ที่สูงกว่าสมการเดิม ($r = 0.90$) และได้เปลี่ยนชื่อจาก The Kasch Three Minute Step Test เป็น YMCA Three Minute Step Test.

ในปี ค.ศ. 2003 Santo A. และคณะ (Santo AS, 2003) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณค่า VO_{2max} ระหว่าง Modified Three Minute Step Test โดยที่คำนวณจาก Heart Rate ที่วัดได้หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้น 15 วินาที และ 1 นาที กับ VO_{2max} ที่ได้จากการวิ่งบนลู่วิ่งกล โดยเลือกความเร็วเอง และความชันเพิ่ม 2% ทุกๆ 1 นาที ในกลุ่มตัวอย่างประชากร 60 คน อายุระหว่าง 18-55 ปี พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง VO_{2max} กับ Modified Three Minute Step Test (15 วินาที) มีความสัมพันธ์กันสูง ($r = 0.73$) และค่าความสัมพันธ์ระหว่าง VO_{2max} กับ Modified Three Minute Step Test (1 นาที) มีความสัมพันธ์กันสูงเช่นกัน ($r = 0.75$)

จะเห็นได้ว่า Three Minute Step Test เป็นวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดที่มีความแม่นยำสูง สามารถนำมาใช้ทดสอบได้กับประชากรหลายช่วงอายุ และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

Queen's College Step Test เป็นวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดที่ทำการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง Gym Bench สูง 41.3 เซนติเมตร ที่อัตราเร็ว 24 รอบ/นาที สำหรับผู้ชาย และอัตราเร็ว 22 รอบ/นาที สำหรับผู้หญิง เป็นระยะเวลา 3 นาทีติดต่อกัน

ในปี ค.ศ. 2003 Chatterjee S. และคณะ (Chatterjee S et al., 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยจักรยาน (Muller's) กับ Queen's College

Step Test (QCT) ในนักศึกษามหาวิทยาลัยที่เป็นผู้ชายจำนวน 30 คน พบว่า QCT มีความเที่ยงตรงแม่นยำ และมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงเมื่อเทียบกับ $VO_2\max$ ($r = 0.95, p < 0.001$)

ในปี ค.ศ. 2005 Chatterjee S. และ Bandyopadhyay A. (Chatterjee S. & Bandyopadhyay A., 2005) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยจักรยาน (Muller's) กับ Queen's College Step Test (QCT) ในนักศึกษามหาวิทยาลัยที่เป็นผู้หญิง จำนวน 40 คน พบว่า QCT มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงเมื่อเทียบกับ $VO_2\max$ ($r = -.83, p < 0.001$)

จะเห็นได้ว่าการทดสอบแบบ Queen's College Step Test นั้นมีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับ $VO_2\max$ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า Queen's College Step Test นั้นทำการทดสอบในกลุ่มประชากรที่อายุน้อย มีสมรรถภาพร่างกายที่แข็งแรงสมบูรณ์เต็มที่ แต่ยังมีได้มีการทำการทดสอบว่า Queen's College Step Test ถ้านำมาทดสอบในกลุ่มประชากรที่มีอายุมากกว่านี้จะยังคงมีค่าความแม่นยำมากน้อยเพียงใด และเป็นการทดสอบเปรียบเทียบกับการวัด $VO_2\max$ จากการปั่นจักรยาน ดังนั้นถ้านำมาเปรียบเทียบกับทดสอบ $VO_2\max$ โดยลู่วิ่งกล น่าจะได้ผลการทดสอบที่แตกต่างกันออกไป

The Chester Step Test เป็นวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดที่ทำการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง Gym Bench สูง 30 เซนติเมตร ที่อัตราเร็วเริ่มต้น 15 รอบ/นาที และอัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นอีก 5 รอบ/นาที ในทุกๆ 2 นาที จนกว่า Predicted Heart Rate จะถึง 80% หรือ เป็นระยะเวลา 10 นาทีติดต่อกัน

ในปี ค.ศ. 2004 Sykes K. และคณะ (Kevin Sykes, 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด GXT (Ramp Protocol) กับ The Chester Step Test (CST) ในกลุ่มตัวอย่างที่มีสุขภาพแข็งแรง จำนวน 68 คน อายุระหว่าง 18-52 ปี พบว่า CST มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูง ($r = .92, p < 0.001$ and Standard Error of Estimate = 3.9 ml/kg/min) เมื่อเทียบกับ $VO_2\max$

The Chester Step Test เป็นการทดสอบที่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าวิธีการทดสอบแบบอื่นๆ และยังไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก เมื่อเทียบกับวิธีการทดสอบแบบอื่น

2. วิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอด (Sub-maximal Exercise Test) โดยการใช้จักรยาน (**Cycle Ergometry Test**) ใช้การประมาณค่า $VO_2\max$ โดยอาศัยหลักของหลักความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่าง Heart Rate กับ VO_2 และ VO_2 กับงาน (Work Rate) ในขณะออกกำลังกายที่ความหนักมากขึ้นเรื่อยๆ (Progressive Exercise) เพื่อนำมาทำนายค่า $VO_2\max$ มีผู้ทำการศึกษาวิจัยไว้หลากหลายวิธี ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1954 Astrand P-O และคณะ (Åstrand P. O., 1954) ได้ทำการศึกษาวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดโดยจักรยานวิธี **Astrand-Ryhming Protocol** ในประชากรกลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง 18-30 ปี โดยได้ใช้ Nomogram ของ Astrand-Ryhming และตารางเปรียบเทียบค่า $VO_2\max$ จาก Heart Rate ที่วัดได้จากการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักที่กำหนดด้วยความเร็ว 50 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 6 นาทีติดต่อกัน

ในปี ค.ศ. 1981 RE Cink และคณะ (R. E. Cink, 1981) ได้ทำการศึกษาความแม่นยำของ Astrand-Ryhming Nomogram ในการประมาณค่า $VO_2\max$ พบว่า ค่า $VO_2\max$ ที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีความสัมพันธ์กับ $VO_2\max$ สูง ($r = 0.83$) ในปี 2001 Macsween A. และคณะ (Macsween A., 2001) ได้ทำการศึกษาความแม่นยำของ Astrand-Ryhming Nomogram ในการประมาณค่า $VO_2\max$ เช่นกัน

พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน และ Intraclass Correlation Co-efficient = 0.9433 แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก

ในปี ค.ศ. 1960 The National Young Men's Christian Association ได้นำการทดสอบโดยจักรยานมาใช้ในการประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอดของประชากรในอเมริกาเหนือมาเป็นเวลากว่า 40 ปี และพบว่า **YMCA Cycle Ergometry Test** มีความสัมพันธ์กับ VO_2max ในระดับสูง ($r = .94$)

ในปี ค.ศ. 2004 Beekley M. และคณะ (Beekley MD, 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำในการหาค่า VO_2max ของการทดสอบโดยจักรยาน YMCA Cycle Ergometry Test เทียบกับการวิ่งบนลู่วิ่งกล (Bruce Treadmill Protocol) ในกลุ่มประชากรตัวอย่าง 102 คน อายุ ระหว่าง 20-54 ปี พบว่า YMCA Cycle Ergometry Test มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูง ($r = .90, p < 0.05$) เมื่อเทียบกับ VO_2max

ในปี ค.ศ. 2005 Kovalski J. และคณะ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max ของการทดสอบโดยจักรยานแบบ Astrand-Ryhming กับแบบ YMCA Cycle Ergometry Test โดยนำมาเทียบกับค่า VO_2max ที่ได้จาก Cycle Max Test พบว่า ค่า VO_2max ที่ได้จากการทดสอบแบบ YMCA Cycle Ergometry Test มีค่าใกล้เคียงกับ VO_2max ของ Cycle Max Test มากกว่าค่าที่ได้จาก Astrand-Ryhming

Astrand-Ryhming และ YMCA Cycle Ergometry Test ทั้ง 2 วิธี เป็นวิธีการประมาณค่า VO_2max ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่ได้มาตรฐาน แต่เมื่อมาทำการทดสอบดูความแม่นยำระหว่าง ทั้ง 2 วิธี พบว่า YMCA Cycle Ergometry Test มีความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max มากกว่า และมีความน่าเชื่อถือมากกว่า Astrand-Ryhming

3. วิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอด (Sub-maximal Exercise Test) โดยการเดินหรือวิ่ง (**Walk/Run Test**) อาศัยหลักความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่าง Heart Rate กับ VO_2 ในขณะออกกำลังกาย เป็นการประมาณค่า VO_2max จากการตอบสนองของหัวใจ (Heart Rate) ต่อความเร็วในการเดินหรือวิ่ง โดยต้องทำการเดินหรือวิ่งให้เร็วที่สุดเท่าที่ทำได้ภายในระยะเวลาหรือระยะทางที่กำหนด ซึ่งมีผู้ทำการศึกษาวิจัยกันหลากหลายวิธี ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1968 Cooper และคณะ ได้ทำการพัฒนาวิธีการประมาณค่า VO_2max ด้วยการทดสอบวิ่งให้ได้ระยะทางมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ภายในระยะเวลา 12 นาที แล้วนำระยะทางที่วิ่งได้มาคำนวณค่า VO_2max ได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Cooper Test กับ VO_2max พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก ($r = 0.92$)

ในปี ค.ศ. 1981 Dorociak และคณะ (Dorociak, 1981) ได้ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max จากการวิ่ง 4, 8 และ 12 นาที พบว่า การวิ่ง 12 นาที (Cooper Test) มีความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max มากที่สุด และมีความสัมพันธ์กับ VO_2max สูง ($r = 0.89$)

ในปี ค.ศ. 1987 Greg M. และคณะ (Greg et al., 1987) ได้ทำการศึกษาความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max จากการเดินระยะทาง 1 ไมล์ (One Mile Walk Test) พบว่า มีความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max มากที่มีความสัมพันธ์กับ VO_2max สูง ($r = 0.92$)

ในปี ค.ศ. 1995 Grant S. และคณะ (Grant S, 1995) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการในการประมาณค่า VO_2max จาก Cooper Test , Multistage Shuttle Run Test และ Sub-maximal Cycle Ergometer Test พบว่า VO_2max ที่คำนวณได้จาก Cooper Test มีความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max มากที่สุด

ดังนั้น วิธีการทดสอบ $VO_2\max$ โดยการเดินหรือวิ่ง (Walk/Run Test) วิธีการที่ได้รับความนิยม และมีความแม่นยำในการประมาณค่า $VO_2\max$ คือ Cooper Test เพราะสามารถวัดได้ในกลุ่มประชากรหลายช่วงวัย ในขณะที่การประมาณค่า $VO_2\max$ จากการเดินระยะทาง 1 ไมล์ (One Mile Walk Test) เหมาะสมและมีความแม่นยำสูง ในการวัดในกลุ่มประชากรสูงอายุ

สรุป วิธีทางตรง คือการวัดปริมาตรก๊าซที่ใช้ขณะออกกำลังกายเต็มที่ การทดสอบโดยลู่วิ่งกล (Treadmill) ถือว่าเป็นวิธีมาตรฐาน (Gold Standard) ที่สามารถทดสอบ $VO_2\max$ ได้ดีที่สุด เพราะได้ใช้กล้ามเนื้อทุกส่วนของร่างกาย สำหรับวิธีทางอ้อมนั้น เป็นการประมาณค่า $VO_2\max$ เพื่อใช้ในการประเมินระดับสมรรถภาพหัวใจและปอดซึ่ง 3 วิธีที่ได้รับความนิยมใช้ทดสอบ $VO_2\max$ มากที่สุด มีดังนี้ Three Minute Step Test, YMCA Cycle Ergometer Test, Cooper Test งานวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นเพื่อจะเปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างวิธีการวิเคราะห์ก๊าซโดยตรง เปรียบเทียบกับการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลงที่เป็นวิธีทางอ้อมที่สามารถทดสอบได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญหรืออุปกรณ์ราคาแพง ก็สามารถประมาณค่า $VO_2\max$ ได้ใกล้เคียงกับค่า $VO_2\max$ ที่วัดได้จากวิธีทางตรง (Gold Standard)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

นิรอมลี มะกาเจ (2547) ได้ศึกษาความเที่ยงตรงของสมการต่างๆ ในการทำนายปริมาณการใช้ ออกซิเจนขณะออกกำลังกายโดยจักรยานวัดงาน ซึ่งสมการที่นำมาศึกษาได้แก่ สมการของ ACSM 1 สมการของ ACSM 2 สมการของ Berry สมการของ Latin สมการของ Latin 2 และสมการของ Whipp โดยนำสมการต่างๆ ดังกล่าวมาศึกษาการทำนายปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด (Submaximal VO_2) ค่าสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_2 peak) ตามรูปแบบ Maximal Submaximal Exercise โดยใช้วิธี Single Stage Model และตามรูปแบบ Maximal Submaximal Exercise โดยใช้วิธี Multistage Model กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย อายุ 18-22 ปี แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มนักกีฬา เป็นนักกีฬาจักรยานทางไกลของโรงเรียนจำอากาศ สังกัดกองทัพอากาศ และกลุ่มบุคคลทั่วไป เป็นสมาชิกของศูนย์วิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์การกีฬา ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จำนวนกลุ่มละ 15 คน นำค่าที่ได้จากสมการต่างๆ ทั้งหมดมาหาความเที่ยงตรงตามสภาพ (Concurrent Validity) โดยนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากวิธีการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ซึ่งถือเป็นวิธีที่ให้ผลถูกต้องมากที่สุด โดยใช้สถิติ Pearson Product Moment Correlation Coefficient และสถิติ Match Pair t-test โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการวิจัยพบว่า การทำนายค่า Submaximal VO_2 โดยใช้สมการต่างๆ ทั้ง 7 สมการ สามารถทำนายได้เฉพาะในกลุ่มบุคคลทั่วไปเท่านั้น ทั้งนี้เพราะในกลุ่มนักกีฬา ซึ่งใช้ระดับความหนัก 60-210 วัตต์ สมการต่างๆ มีความเที่ยงตรงอยู่ในระดับต่ำ (Poor) ส่วนกลุ่มบุคคลทั่วไป ซึ่งใช้ระดับความหนัก 60-150 วัตต์ สมการต่างๆ มีความเที่ยงตรงอยู่ในระดับยอมรับได้ (Fair) การทำนายค่า VO_2 peak ตามรูปแบบ Maximal Submaximal Exercise ในกลุ่มบุคคลทั่วไป มีความเที่ยงตรงอยู่ในระดับดี (Good) ส่วนกลุ่มนักกีฬา มีความเที่ยงตรงอยู่ในระดับดีมาก (Excellent) และการทำนายค่า VO_2 peak ตามรูปแบบ Maximal Submaximal Exercise โดยใช้วิธี Single Stage Model และวิธี Multistage Model ในกลุ่มบุคคลทั่วไป มีความเที่ยงตรงอยู่ในระดับดีมาก (Excellent) ส่วนกลุ่มนักกีฬา มีความเที่ยงตรงอยู่ในระดับยอมรับได้ (Fair)

อภิชา วัฒนะวิโรตม (2557) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดโดยการทดสอบแบบออสตรานด์และโรมิ่งกับการทดสอบก้าวขึ้น-ลง ที่ความสูงของม้าก้าว 13.25 นิ้ว, 14.25 นิ้ว, 15.25 นิ้ว และ 16.25 นิ้ว กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาศึกษาทั่วไป กลุ่มสร้างเสริมสุขภาพ โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบ่งชั้นภูมิจากกลุ่มที่เป็นประชากร แบ่งเป็นนิสิตชาย 30 คน และนิสิตหญิง 30 คน การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ช่วง โดยมีระยะเวลาห่างกัน 48 ชั่วโมง ช่วงที่ 1 ใช้วิธีการทดสอบแบบออสตรานด์และโรมิ่ง และช่วงที่ 2-5 ใช้วิธีการทดสอบแบบก้าวขึ้น-ลง ที่ความสูงข้างต้น ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นรายคู่ โดยวิธีการของเพียร์สัน ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างเพศชายที่วัดโดยวิธีการก้าวขึ้น-ลงที่ระดับความสูงของม้าก้าวเท่ากับ 13.25 นิ้ว ไม่มีความสัมพันธ์กับการทดสอบแบบออสตรานด์และโรมิ่ง ($r = .164, p > .05$), ที่ระดับความสูง 14.25 นิ้ว มีความสัมพันธ์กับการทดสอบแบบออสตรานด์และโรมิ่ง อยู่ในระดับต่ำ ($r = .369, p < .05$), ที่ระดับความสูง 15.25 นิ้ว มีความสัมพันธ์กับการทดสอบแบบออสตรานด์และโรมิ่ง อยู่ในระดับปานกลาง ($r = .565, p < .05$) และที่ระดับความสูง 16.25 นิ้ว มีความสัมพันธ์กับการทดสอบแบบออสตรานด์และโรมิ่ง อยู่ในระดับสูง ($r = .764, p < .05$) และในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงที่วัดโดยวิธีการก้าวขึ้น-ลง ที่ระดับความสูงของม้าก้าว 13.25 นิ้ว, 14.25 นิ้ว, 15.25 นิ้ว และ 16.25 นิ้ว ไม่มีความสัมพันธ์กับการทดสอบแบบออสตรานด์และโรมิ่ง ($r = .025, -.006, -.219$ และ $.046$)

ธันย์ชนก อรุณรัตน์ (2558) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบภาคสนามโยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์รีคัพเวอร์ี ระดับ 2 (YO-YO IR2) โดยทางตรงและทางอ้อมในนักกีฬาออกกั วิธิดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาออกกัที่มิจจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพศหญิงที่เข้าแข่งขันกีฬามหาวิทยาลัย ครั้งที่ 43 ที่มีอายุระหว่าง 18-24 ปี จำนวน 14 คน เข้ารับการทดสอบคนละ 3 ครั้ง โดยเว้นระยะเวลา 7 วัน การทดสอบประกอบด้วย 1. การทดสอบโดยวิธีการบรูซ (Bruce protocol) 2. การทดสอบแบบทดสอบโยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์ รีคัพเวอร์ี ระดับ 2 (YO-YO IR2) โดยทางตรง และ 3. การทดสอบแบบทดสอบโยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์ รีคัพเวอร์ี ระดับ 2 (YO-YO IR2) โดยทางอ้อม ในการทดสอบแบ่งผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยออกเป็น 2 กลุ่มด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายและทดสอบโดยใช้วิธีโดยวิธีการแบบตัดข้าม (Crossover design) ผู้วิจัยเก็บข้อมูลแล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลประชากร (อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย) โดยใช้ค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) วิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) ระหว่างการทดสอบแบบทดสอบโยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์ รีคัพเวอร์ี ระดับ 2 (YO-YO IR2) โดยทางตรง, ทางอ้อม และ วิธีการบรูซ (Bruce protocol) โดยใช้ค่าสถิติเพียร์สันและใช้การวิเคราะห์การแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA) ตามลำดับ ผลการวิจัย พบว่า 1. ค่าความสัมพันธ์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) ระหว่างการทดสอบแบบทดสอบโยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์รีคัพเวอร์ี ระดับ 2 (YO-YO IR2) โดยทางตรง กับค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการบรูซ (Bruce Protocol) อยู่ในระดับสูง ($r=.831, p<.01$) 2. ค่าความสัมพันธ์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) ระหว่างการทดสอบแบบทดสอบโยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์รีคัพเวอร์ี ระดับ 2 (YO-YO IR2) โดยทางอ้อม กับค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการบรูซ (Bruce Protocol) อยู่ในระดับสูง ($r=.720, p<.01$) 3. ค่าความสัมพันธ์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max) ระหว่างการทดสอบแบบทดสอบโยโย่ อินเตอร์มิตเตนท์รีคัพเวอร์ี ระดับ 2 (YO-YO IR2) โดยทางตรงกับโดยทางอ้อม อยู่ในระดับต่ำ ($r=.476, p>.05$)

งานวิจัยในต่างประเทศ

Trabulo และคณะ (Trabulo M, et al., 1994) ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ, ความดันโลหิต เป็นต้น เปรียบเทียบกันระหว่างการวัด VO_2max โดย Bruce Treadmill Protocol กับ Modified Bruce Treadmill Protocol พบว่า Bruce Treadmill Protocol มีผลต่อ Physiologic Stress มากกว่า Modified Bruce Treadmill Protocol ดังนั้น Trabulo M. ได้กล่าวไว้ว่า Bruce Treadmill Protocol เหมาะสำหรับการวัด VO_2max ในกลุ่มประชากรที่มีสมรรถภาพร่างกายที่ดี สำหรับ Modified Bruce Treadmill Protocol เหมาะสำหรับการวัด VO_2max ในกลุ่มประชากรที่มีสมรรถภาพร่างกายปานกลางหรือมีสมรรถภาพที่ไม่ดี

Grant และคณะ (Grant S, et al., 1995) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการในการประมาณค่า VO_2max จาก Cooper Test , Multistage Shuttle Run Test และ Sub-maximal Cycle Ergometer Test พบว่า VO_2max ที่คำนวณได้จาก Cooper Test มีความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max มากที่สุด

Smothermon (Smothermon R., 1996) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยลู่วิ่งกล (Robinson Protocol) กับ The Kasch Three Minute Step Test ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง จำนวน 42 คน อายุระหว่าง 28-58 ปี พบว่า กับ The Kasch Three Minute Step Test มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงเมื่อเทียบกับ VO_2max ($r = 0.824, p < 0.05$)

Spackman และคณะ (Spackman Michael B., et al., 2001) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำและความเหมาะสมในการใช้การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่าง The Standardized Bruce Protocol กับ The Arizona State University Protocol (ASU) ในนักศึกษาระดับวิทยาลัย จำนวน 32 คน ผู้ชาย 16 คน ผู้หญิง 16คน อายุ 21 ± 2.5 ปี พบว่า ผลในการประมาณค่า VO_2max ของทั้งสองวิธีให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน (Bruce: $r = .91, SEE = 3.61 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$, total error = $3.72 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$; ASU: $r = .91, SEE = 3.13 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$, total error = $3.15 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$)

Santo และคณะ (Santo AS, et al., 2003) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณค่า VO_2max ระหว่าง Modified Three Minute Step Test โดยที่คำนวณจาก Heart Rate ที่วัดได้หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้น 15 วินาที และ 1 นาที กับ VO_2max ที่ได้จากการวิ่งบนลู่วิ่งกล โดยเลือกความเร็วเองและความชันเพิ่ม 2% ทุกๆ 1 นาที ในกลุ่มตัวอย่างประชากร 60 คน อายุระหว่าง 18-55 ปีพบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง VO_2max กับ Modified Three Minute Step Test (15 วินาที) มีความสัมพันธ์กันสูง ($r = 0.73$) และค่าความสัมพันธ์ระหว่าง VO_2max กับ Modified Three Minute Step Test (1 นาที) มีความสัมพันธ์กันสูงเช่นกัน ($r = 0.75$)

Gursel และคณะ (Gürsel Y, et al., 2004) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อค่า Peak Oxygen Uptake เช่น อายุและเพศ ในเด็กชาวตุรกีอายุ 5 – 13 ปีที่มีสุขภาพแข็งแรง จำนวน 80 คน ก่อนทำการทดสอบได้มีการทดสอบหาวิธีการที่เหมาะสมในการหาค่า VO_2max ในเด็กชาวตุรกีมากที่สุด จากหลายวิธีการทดสอบ เช่น Bruce, Modified Bruce, Naughton และ Oslo จากการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างพบว่าวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการหาค่า VO_2max ในเด็กชาวตุรกี คือ Bruce Protocol เนื่องจากการทำการทดลอง Protocol ก่อนการศึกษาวินิจฉัย พบว่า เด็กสามารถทำการทดสอบด้วย Bruce Protocol ได้ดีที่สุด จะ

เห็นได้ว่าการทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาวิธีการหาค่า $VO_2\max$ มากมายหลายวิธี แต่ละวิธีก็จะมีเหมาะสมกับกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันออกไป และมีความแม่นยำมากน้อยแตกต่างกันออกไปตามแต่ละวิธี

Chatterjee และคณะ (Chatterjee S. et al., 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยจักรยาน (Muller's) กับ Queen's College Step Test (QCT) ในนักศึกษามหาวิทยาลัยที่เป็นผู้ชายจำนวน 30 คน พบว่า QCT มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงเมื่อเทียบกับ $VO_2\max$ ($r = 0.95, p < 0.001$)

Sykes และคณะ (Kevin Sykes, et al., 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด GXT (Ramp Protocol) กับ The Chester Step Test (CST) ในกลุ่มตัวอย่างที่มีสุขภาพแข็งแรง จำนวน 68 คน อายุระหว่าง 18-52 ปี พบว่า CST มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูง ($r = .92, p < 0.001$ and Standard Error of Estimate = 3.9 ml/kg/min) เมื่อเทียบกับ $VO_2\max$

Beekley และคณะ (Beekley MD, et al., 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำในการหาค่า $VO_2\max$ ของการทดสอบโดยจักรยาน YMCA Cycle Ergometry Test เทียบกับการวิ่งบนลู่วิ่งกล (Bruce Treadmill Protocol) ในกลุ่มประชากรตัวอย่าง 102 คน อายุ ระหว่าง 20-54 ปี พบว่า YMCA Cycle Ergometry Test มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูง ($r = .90, p < 0.05$) เมื่อเทียบกับ $VO_2\max$

Chatterjee และ Bandyopadhyay (Chatterjee S. & Bandyopadhyay A., 2005) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยจักรยาน (Muller's) กับ Queen's College Step Test (QCT) ในนักศึกษามหาวิทยาลัยที่เป็นผู้หญิง จำนวน 40 คน พบว่า QCT มีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงเมื่อเทียบกับ $VO_2\max$ ($r = -.83, p < 0.001$)

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Study) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงในประชาชนไทยเพศหญิง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คนไทยภาคกลาง เพศหญิงที่มีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวที่เป็นอันตรายต่อการทดสอบ มีระดับความดันโลหิตอยู่ในเกณฑ์ปกติ ในกรณีที่รับประทานยาควบคุมความดันโลหิตต้องไม่เป็นยาที่มีผลต่ออัตราการบีบตัวของหัวใจ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ คนไทยภาคกลาง เพศหญิงจำนวน 72 คน มี 4 คน ทำการทดสอบไม่ครบตามที่กำหนด ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างที่เหลือจำนวน 68 คน แบ่งออกเป็น 5 ช่วงอายุ ได้ดังนี้

- ช่วงอายุ 18 – 20 ปี จำนวน 11 คน
- ช่วงอายุ 21 – 30 ปี จำนวน 11 คน
- ช่วงอายุ 31 – 40 ปี จำนวน 12 คน
- ช่วงอายุ 41 – 50 ปี จำนวน 21 คน
- ช่วงอายุ 51 – 60 ปี จำนวน 13 คน

เกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าร่วมการวิจัย (Inclusion Criteria)

- เป็นคนไทยเพศหญิงที่มีอายุ 18 – 60 ปี
- มีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรง สมบูรณ์ ไม่มีประวัติของโรคประจำตัวที่อาจเป็นอันตรายหรือเป็นอุปสรรคต่อการทดสอบ เช่นโรคหัวใจ, โรคหลอดเลือดสมอง, โรคหลอดเลือดส่วนปลาย, โรคตับ, โรคไต, โรคต่อมไทรอยด์, โรคปอดเรื้อรัง, มีพยาธิสภาพของกล้ามเนื้อ, ระบบประสาท, กระดูกและข้อ เป็นต้น
- ระดับความดันโลหิตน้อยกว่าหรือเท่ากับ 140/90 มิลลิเมตรปรอท ในกรณีที่รับประทานยาควบคุมความดันโลหิต ต้องไม่เป็นยาที่มีผลต่ออัตราการบีบตัวของหัวใจ
- ผู้เข้าร่วมงานวิจัยลงนามในใบแสดงความยินยอมในการเข้าร่วมศึกษาวิจัย (ภาคผนวก ก)

เกณฑ์ในการคัดเลือกออกจากการศึกษาวิจัย (Exclusion Criteria)

- มีประวัติโรคประจำตัวที่อาจเป็นอันตรายหรือเป็นอุปสรรคต่อการทดสอบ เช่นโรคหัวใจ, โรคหลอดเลือดสมอง, โรคหลอดเลือดส่วนปลาย, โรคตับ, โรคไต, โรคต่อมไทรอยด์, โรคปอดเรื้อรัง, มีพยาธิสภาพของกล้ามเนื้อ, ระบบประสาท, กระดูกและข้อ เป็นต้น โดยใช้แบบสอบถามในภาคผนวก ข เพื่อเป็นการคัดกรองความเสี่ยงเบื้องต้น (ภาคผนวก ข)
- รับประทานยาควบคุมความดันโลหิต ที่มีผลต่ออัตราการบีบตัวของหัวใจ
- ทำการทดสอบไม่ครบตามที่กำหนด

การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size)

โดยการคัดเลือกอาสาสมัครจากคนไทยภาคกลาง เพศหญิงที่มีอายุ 18 - 60 ปี แบ่งกลุ่มประชากรตัวอย่างออกเป็น 5 กลุ่มตามช่วงอายุ คือ ช่วง 18 - 20 ปี, 21 - 30 ปี, 31 - 40 ปี, 41 - 50 ปี และ 51 - 60 ปี และผ่านเกณฑ์การคัดเลือกเข้าศึกษา

การคำนวณขนาดตัวอย่าง

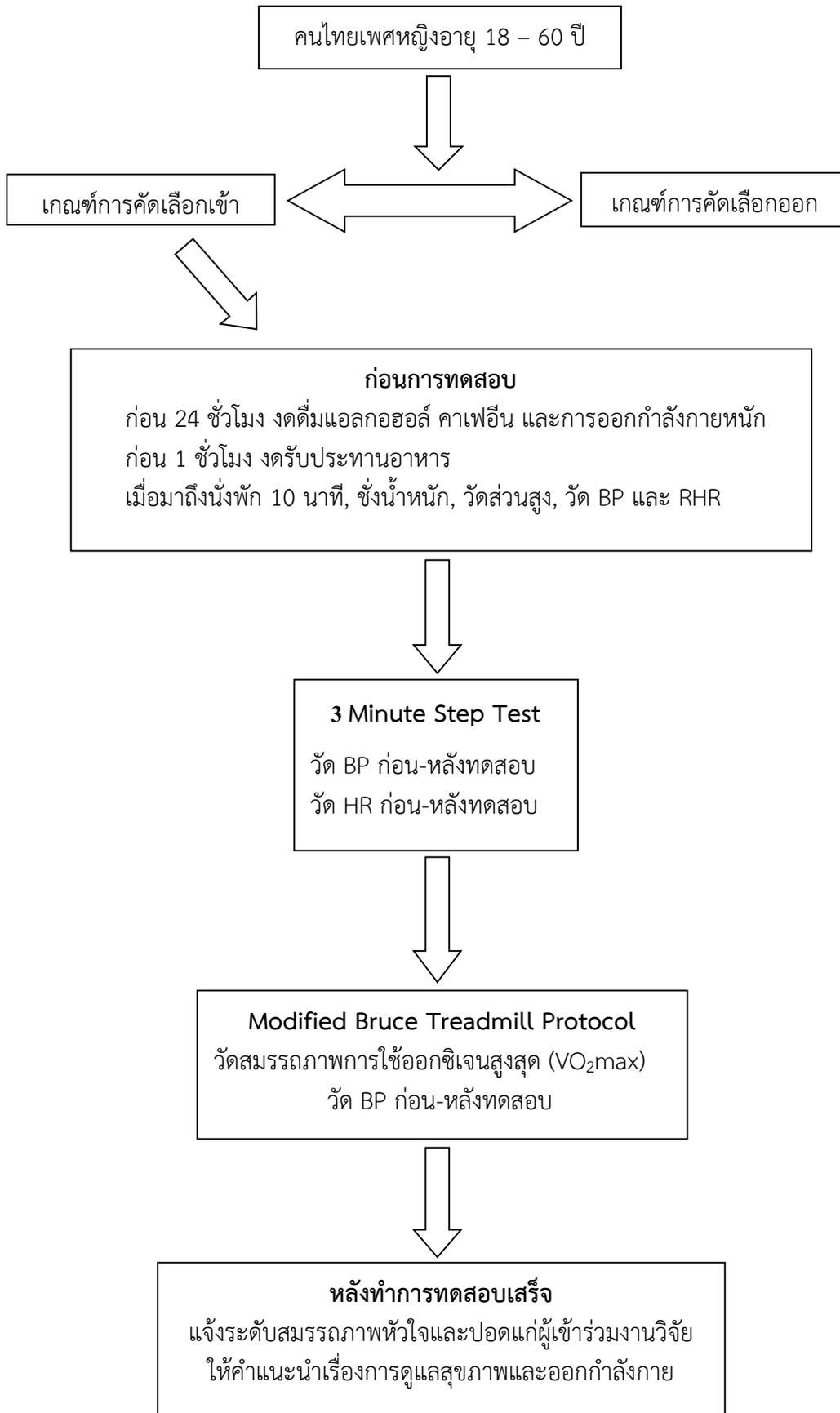
การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ได้มาจากโปรแกรมการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างสำเร็จรูป คำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบค่า Intraclass Correlation โดยโปรแกรม Power Analysis and Sample Size (Number Cruncher Statistical System, USA) โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง นำมาจากสมการในการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างของ Walter, Eliasziw, and Donner (1998) และ Winer (1991)

ซึ่งในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งช่วงอายุของกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 5 กลุ่ม คือ ช่วง 18 - 20 ปี, 21 - 30 ปี, 31 - 40 ปี, 41 - 50 ปี และ 51 - 60 ปี และได้กำหนดค่าในการคำนวณขนาดตัวอย่าง ดังนี้

- Intraclass Correlation ที่ 0.70 เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ในการศึกษาวิจัยของ Santo และคณะ Correlation ของวิธีการทดสอบการออกกำลังกายความหนักต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal Exercise Test) เทียบกับวิธีการทดสอบการออกกำลังกายความหนักสูงสุด (Maximal Exercise Test) ที่มีผลความสัมพันธ์ที่ต่ำที่สุดคือ $r = 0.73$ ดังนั้นในการคำนวณจึงกำหนดค่า Intraclass Correlation ที่ 0.70
- Power = 0.80 หรือที่ 80%
- Alpha = 0.05

เมื่อแทนค่าลงในโปรแกรมการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง พบว่า การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะต้องใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 คน

วิธีดำเนินการวิจัย



สถานที่ในการเก็บข้อมูล

ศูนย์ออกกำลังกายคณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Wellness Center)

ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2555 – ตุลาคม พ.ศ.2556

วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. วิธีการหาค่าอัตราใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Uptake) ขณะออกกำลังกาย โดยลู่วิ่ง การทดสอบหาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายโดยการวิ่งบนลู่วิ่ง Protocol ที่ใช้คือ Modified Bruce Treadmill Protocol

วิธีการ

- 1.1 ทำการอบอุ่นร่างกายประมาณ 3 – 5 นาที โดยกำหนดระดับความหนักที่ ประมาณ 70% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด
- 1.2 เริ่มต้นการทดสอบโดยกำหนดความเร็วของลู่วิ่ง Treadmill (Quinton Q55 Series90, USA) ให้ผู้รับการทดสอบอยู่ในช่วงเดินเร็วเกือบจะต้องวิ่ง และปรับระดับความชัน ดังนี้

Stage 1	นาที่ที่ 1-2	ความชัน 2 %
Stage 2	นาที่ที่ 3-4	ความชัน 6 %
Stage อื่นๆ	ความชันเพิ่ม 2% ทุกๆ 2 นาที	
- 1.3 ทำการวัด VO_2 และ VCO_2 ขณะออกกำลังกาย โดยใช้ Portable Metabolic Cart (Cortex Meta Max 3B, Germany)
- 1.4 พิจารณาว่าถึง VO_{2max} โดยพิจารณาจาก Criteria ที่กำหนด 3 ใน 4 ข้อ ดังนี้
 - 1.4.1 อัตราการเต้นของหัวใจถึงค่าอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (220 – อายุ) \pm 5%
 - 1.4.2 ค่า VO_2 คงที่ (Plateau) คือ VO_2 ไม่เพิ่มแม้จะเพิ่ม Work Load (VO_2 เพิ่ม \leq 150ml/min)
 - 1.4.3 RER มากกว่า 1.15
 - 1.4.4 RPE ประมาณ 19 – 20

2. วิธีการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง (Step Test)

- 2.1 ยืนเท้าชิดโดยมีกล่องสูง 12 นิ้วอยู่ด้านหน้า ก้าวเท้าข้างหนึ่งขึ้นบนกล่องแล้วก้าวเท้าอีกข้างหนึ่งขึ้นตาม จากนั้นถอยเท้าที่ขึ้นก่อนลงพื้นแล้วถอยเท้าอีกข้างลงพื้นตาม นับเป็น 1 รอบ
- 2.2 ก้าวขึ้นลง ต่อเนื่อง 3 นาที นาทีละ 24 รอบ รอบละ 2.5 วินาที หรือตั้งเครื่องตั้งจังหวะ (Meternome) 96 ครั้ง/นาที
- 2.3 เมื่อก้าวขึ้นลง ครบ 3 นาที ให้นั่งลงภายใน 5 วินาที จับชีพจรทันทีขณะทำการทดสอบเสร็จ บันทึกค่า บันทึกค่าชีพจรเมื่อเวลาผ่านไป 15 วินาที และบันทึกค่าชีพจรเมื่อครบ 1 นาที

นำอัตราการเต้นของหัวใจที่ได้จากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลงกล่องสูง 12 นิ้ว ความเร็ว 24 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 3 นาที มาประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) โดยสมการ VO_2 ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) = $[0.35 ml.kg^{-1}.min^{-1}] + [m.steps^{-1} steps.min^{-1} 1.33 * 1.8 ml.kg^{-1} .min^{-1}/m.min^{-1}]$

การรวบรวมข้อมูล

1. ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการออกกำลังกายโดยการก้าวขึ้นลง (Step Test) ได้แก่ ค่าอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) และความดันโลหิต (Blood Pressure) บันทึกลงในแบบฟอร์มรายงานผลการทดสอบโดยตรง (ภาคผนวก ค)

2. ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการออกกำลังกายความหนักสูงสุด (Maximal Exercise Test) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ได้แก่ VE, VO₂, VCO₂, RER, METs, HR ได้จากการรวบรวมโดยใช้โปรแกรม Gas Analyzer Meta Max 3B (Cortex Meta Max 3B, Germany)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลพื้นฐานแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานโดยแบ่งเป็นช่วงอายุ 5 ช่วง ช่วงละ 10 ปี

2. วิเคราะห์ตัวแปรทางสถิติ

ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเที่ยงตรงและแม่นยำของ วิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอด โดยการทดสอบการออกกำลังกายความหนักต่ำกว่าสูงสุดโดยการก้าวขึ้นลง (Step Test) ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Uptake, VO₂ max) โดยใช้โปรแกรมคำนวณคอมพิวเตอร์ SPSS Version 11.5 (USA) ในการคำนวณหาระดับความสัมพันธ์ Intraclass Correlation ซึ่งมีเกณฑ์การแปลผลความเชื่อมั่นโดยทั่วไปมีดังนี้

0.00 – 0.39 ความเชื่อมั่นต่ำมาก/ไม่มีเลย

0.40 – 0.59 ความเชื่อมั่นต่ำ

0.60 - 0.79 ความเชื่อมั่นปานกลาง

0.80 – 1.00 ความเชื่อมั่นสูง

3. ทดสอบสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

สถิติที่ใช้ในการคำนวณหาระดับความสัมพันธ์ คือ Intra-class Correlation ทดสอบสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในการแปลความหมายและการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้นำเสนอผลการวิจัย ดังนี้

n	แทน	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
f	แทน	ค่าความถี่
%	แทน	ค่าร้อยละ
\bar{X}	แทน	ค่าเฉลี่ย
S.D.	แทน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
r	แทน	ค่าความสัมพันธ์
*	แทน	นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์หาค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง
2. วิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลงในแต่ละช่วงวัย
3. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละช่วงวัย

การศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบอัตราการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และนำเสนอตามลำดับวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 แสดงวิเคราะห์หาค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ข้อมูลพื้นฐานทั่วไป
ตารางที่ 5 ค่าความถี่ ร้อยละของข้อมูลพื้นฐาน

ข้อมูลพื้นฐาน	รายการ	จำนวน	ร้อยละ
อายุ	18-20 ปี	11	16.2
	21-30 ปี	11	16.2
	31-40 ปี	12	17.6
	41-50 ปี	21	31
	51-60 ปี	13	19
	รวม	72	100
ระดับการศึกษา	ประถมศึกษา	3	4.4
	มัธยมตอนต้น	1	1.5
	มัธยมตอนปลาย/ปวช.	15	22.1
	ปวส.	3	4.4
	ปริญญาตรี	31	45.6
	สูงกว่าปริญญาตรี	15	22.1
	รวม	68	100
การออกกำลังกาย	เป็นประจำ	6	8.8
	เป็นครั้งคราว	41	60.3
	ไม่เคย	21	30.9
	รวม	68	100
การสูบบุหรี่	สูบ	0	0
	ไม่สูบ	68	100
	รวม	68	100
การดื่มแอลกอฮอล์	ดื่ม	6	8.8
	ไม่ดื่ม	62	91.2
	รวม	68	100
การตรวจไขมัน	ตรวจ	35	51.2
	ไม่ได้ตรวจ	33	48.5
	รวม	68	100
การตรวจน้ำตาลในเลือด	ตรวจ	34	50
	ไม่ได้ตรวจ	34	50
	รวม	68	100
ท่านมีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด	ใช่	0	0
	ไม่ใช่	58	85.3
	ไม่แน่ใจ	10	14.7
	รวม	68	100

จากตารางที่ 5 แสดงค่าความถี่ ร้อยละของข้อมูลพื้นฐานทั่วไป

1. จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมมากที่สุดมีอายุ 41-50 ปี 51-60 ปี และ 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 31, 19 และ 17.6 ตามลำดับ
2. กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมมากที่สุดมีระดับการศึกษาปริญญาตรี สูงกว่าปริญญาตรี มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. คิดเป็นร้อยละ 45.6 , 22.1 และ 22.1 ตามลำดับ
3. กลุ่มตัวอย่างมีการออกกำลังกาย เป็นครั้งคราว คิดเป็นร้อยละ 60.3 ไม่เคยออกกำลังกาย คิดเป็นร้อยละ 30.9 และ ออกกำลังกายเป็นประจำคิดเป็นร้อยละ 8.8
4. กลุ่มตัวอย่างมีการสูบบุหรี่ พบว่า ไม่สูบบุหรี่ คิดเป็นร้อยละ 100 และสูบบุหรี่ คิดเป็นร้อยละ 0
5. กลุ่มตัวอย่างมีการดื่มแอลกอฮอล์ พบว่า ไม่ดื่ม และดื่ม คิดเป็นร้อยละ 91.2 และ 8.8 ตามลำดับ
6. กลุ่มตัวอย่างมีการตรวจไขมัน พบว่า มีการตรวจไขมัน คิดเป็นร้อยละ 51.2 และไม่ได้ตรวจไขมัน คิดเป็นร้อยละ 48.5
7. กลุ่มตัวอย่างมีการตรวจน้ำตาลในเลือด พบว่า ตรวจน้ำตาลในเลือด และไม่ได้ตรวจน้ำตาลในเลือด เท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 50
8. กลุ่มตัวอย่างมีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด พบว่า ไม่มีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 85.3 ไม่แน่ใจว่ามีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 14.7 และมีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 0

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลพื้นฐาน

ข้อมูลพื้นฐาน	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)
อายุ	38.9	12.81	18	59
น้ำหนัก	56	9.26	41.80	90
ส่วนสูง	158	4.5	147	169
ดัชนีมวลกาย	22.38	3.39	16.90	33.90
ความดันโลหิตตัวบน	115.63	10.81	95	140
ความดันโลหิตตัวล่าง	71.23	6.97	55	85
ชีพจรขณะพัก	72.62	6.97	57	90
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด	182.23	12.57	151	228

จากตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยอายุเท่ากับ 38.9 ± 12.81 ปี ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเท่ากับ 56 ± 9.26 ค่าเฉลี่ยส่วนสูงเท่ากับ 158 ± 4.5 ค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายเท่ากับ 22.38 ± 3.39 ค่าเฉลี่ยความดันโลหิตตัวบนขณะพักเท่ากับ 115.63 ± 10.81 ค่าเฉลี่ยความดันโลหิตตัวล่างขณะพักเท่ากับ 71.23 ± 6.97 ค่าเฉลี่ยชีพจรขณะพักเท่ากับ 72.62 ± 6.97 และค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดขณะทำการทดสอบออกกำลังกายความหนักสูงสุดเท่ากับ 182.23 ± 12.57

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละช่วงวัย

ช่วงอายุ (ปี)	18-20	21-30	31-40	41-50	51-60
ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด	34.90	32	29.33	25.90	24.76

จากตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด พบว่า กลุ่มตัวอย่างช่วงอายุ 18-20 ปี มีค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 34.90 เมื่อนำไปเทียบกับเกณฑ์สมรรถภาพหัวใจและปอดประชาชนไทยเพศหญิงพบว่ามีสมรรถภาพอยู่ในระดับต่ำ ช่วงอายุ 21-30 ปี มีค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 32 มีสมรรถภาพอยู่ในระดับต่ำ ช่วงอายุ 31-40 ปี มีค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 29.33 มีสมรรถภาพอยู่ในระดับปานกลาง ช่วงอายุ 41-50 ปี มีค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 25.90 มีสมรรถภาพอยู่ในระดับปานกลาง และช่วงอายุ 51-60 ปี มีค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 24.76 มีสมรรถภาพอยู่ในระดับปานกลาง ตามลำดับ

ตอนที่ 2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลงในแต่ละช่วงวัย

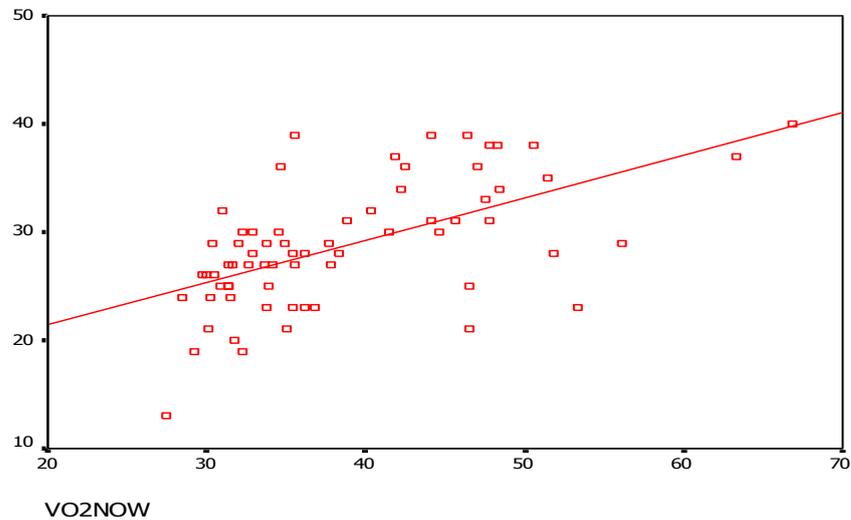
ตารางที่ 8 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง

ค่า VO ₂ max	ค่าความสัมพันธ์ (r)
VO ₂ max ทันที	0.588*
VO ₂ max 15 วินาที	0.168
VO ₂ max 1 นาที	0.625*

*P<0.05

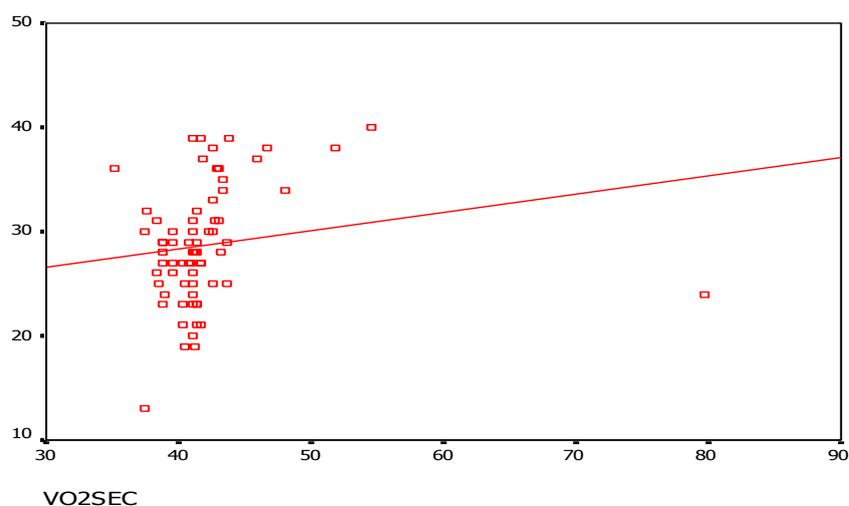
จากตารางที่ 8 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.588 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.168 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.625 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

ภาพที่ 2 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จ



จากภาพที่ 2 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.588 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

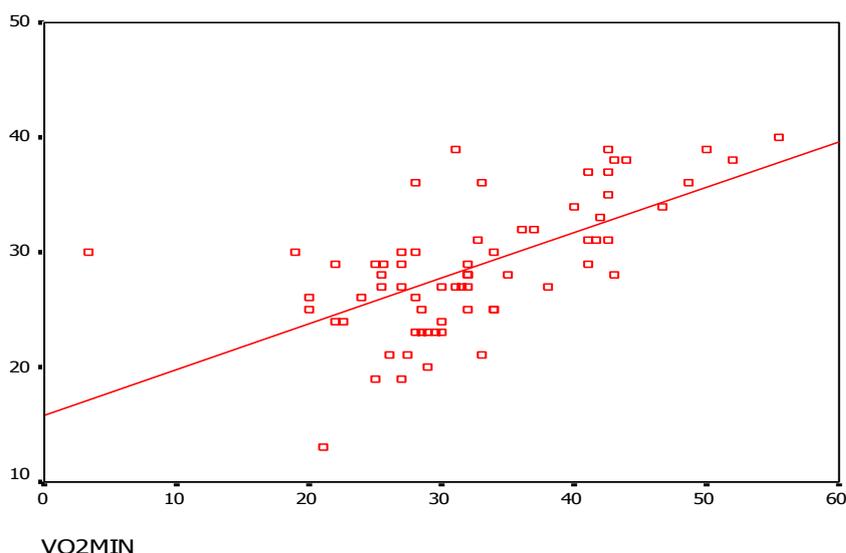
ภาพที่ 3 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที



จากภาพที่ 3 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที

VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.168 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที



จากภาพที่ 4 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่คำนวณจากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.625 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับปานกลาง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 9 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 18-20 ปี

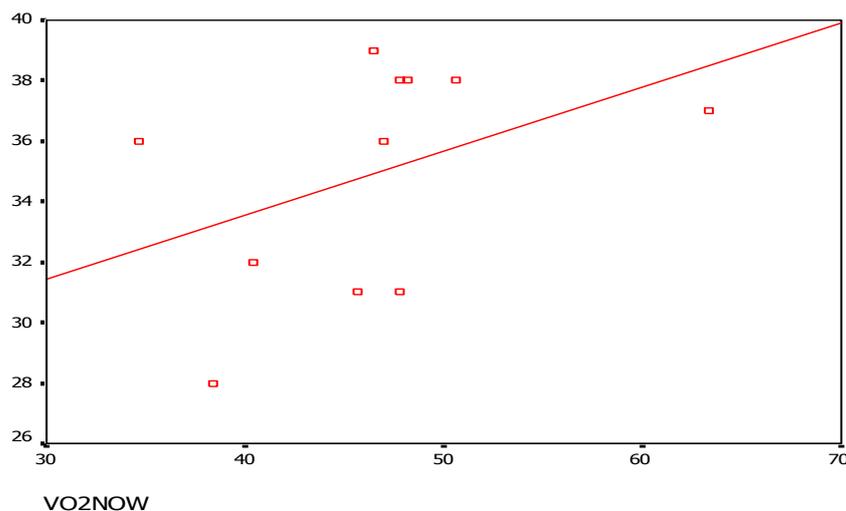
ค่า VO ₂ max	ค่าความสัมพันธ์ (r)
VO ₂ max ที่บันทึก	0.421
VO ₂ max 15 วินาที	0.423
VO ₂ max 1 นาที	0.600

*P≤0.05

จากตารางที่ 9 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่คำนวณจากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.421 ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไป

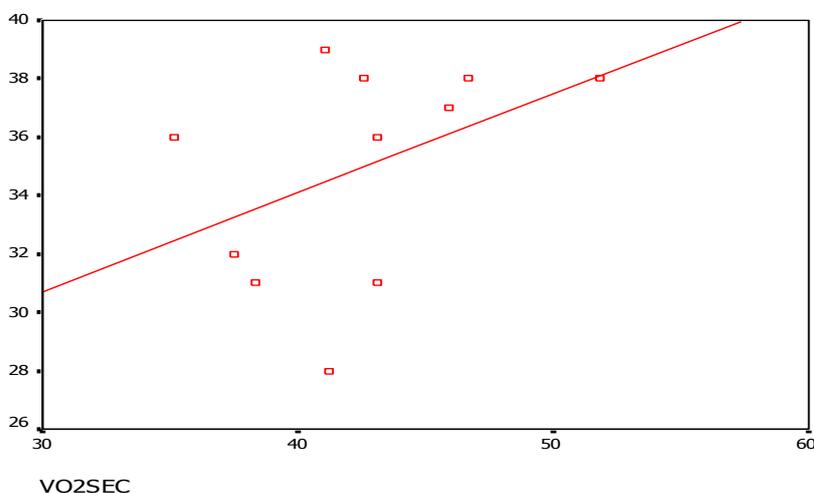
แล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.423 ค่า $VO_2\max$ ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.600 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

ภาพที่ 5 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่ได้จากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จ ในกลุ่มช่วงอายุ 18-20 ปี



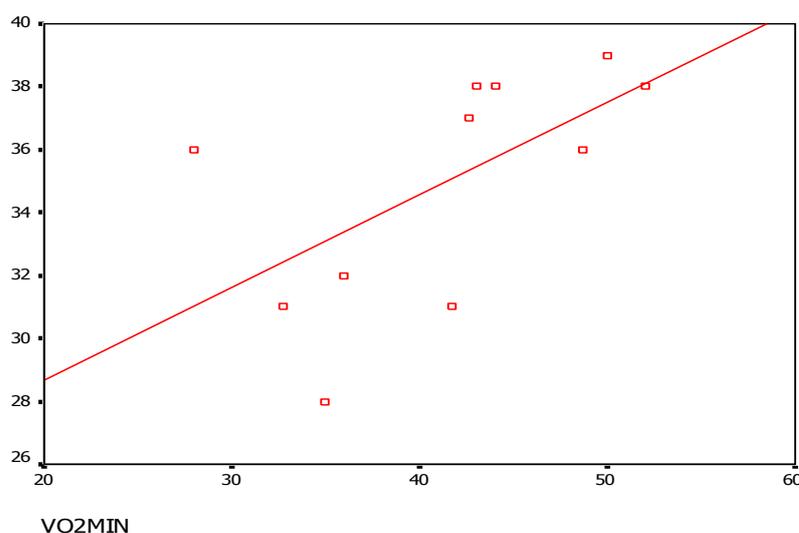
จากภาพที่ 5 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า $VO_2\max$ ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.421 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำ ไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 6 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ในกลุ่มช่วงอายุ 18-20 ปี



จากภาพที่ 6 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.423 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 7 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 18-20 ปี



จากภาพที่ 7 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.600 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับปานกลาง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

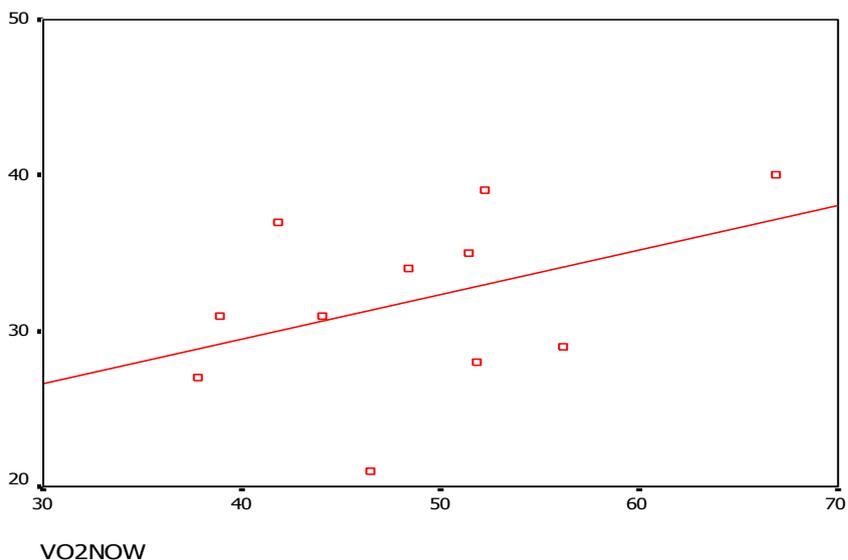
ตารางที่ 10 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 21-30 ปี

ค่า VO_2max	ค่าความสัมพันธ์ (r)
VO_2max ทันที	0.423
VO_2max 15 วินาที	0.624*
VO_2max 1 นาที	0.753*

* $P \leq 0.05$

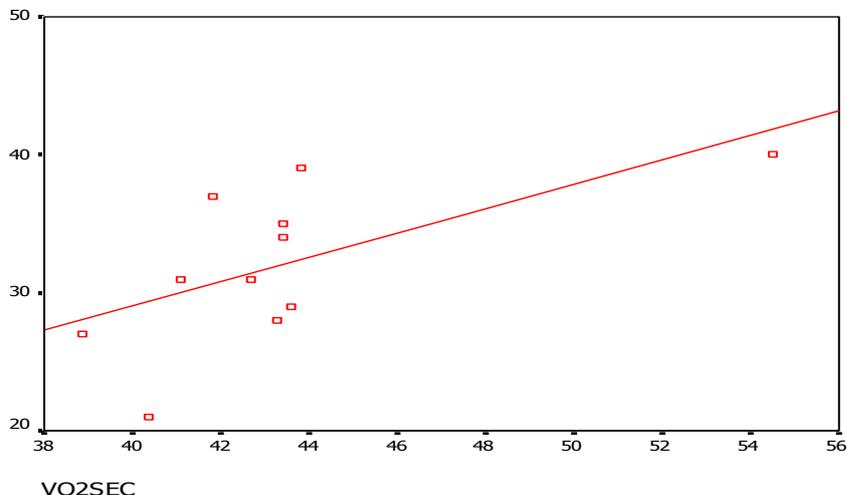
จากตารางที่ 10 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 21-30 ปี ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.423 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.624 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.753 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

ภาพที่ 8 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จ ในกลุ่มช่วงอายุ 21-30 ปี



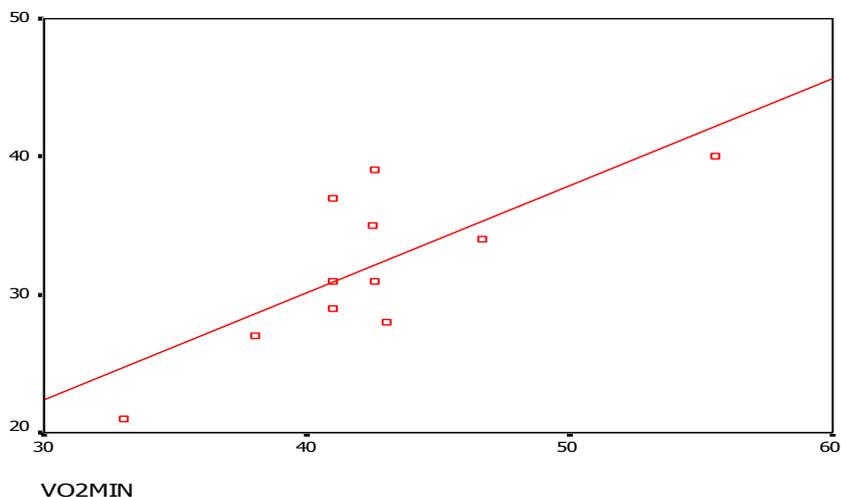
จากภาพที่ 8 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.423 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 9 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ และค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบ ก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ในกลุ่มช่วงอายุ 21-30 ปี



จากภาพที่ 9 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณจากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.624 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับปานกลาง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 10 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบ ก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 21-30 ปี



จากภาพที่ 10 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.753 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับปานกลาง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

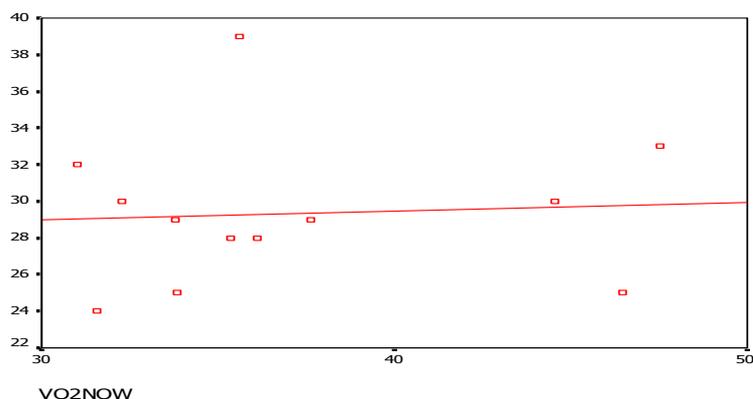
ตารางที่ 11 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลงในกลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี

ค่า VO_2max	ค่าความสัมพันธ์ (r)
VO_2max ทันที	0.064
VO_2max 15 วินาที	0.105
VO_2max 1นาที	0.237

* $P \leq 0.05$

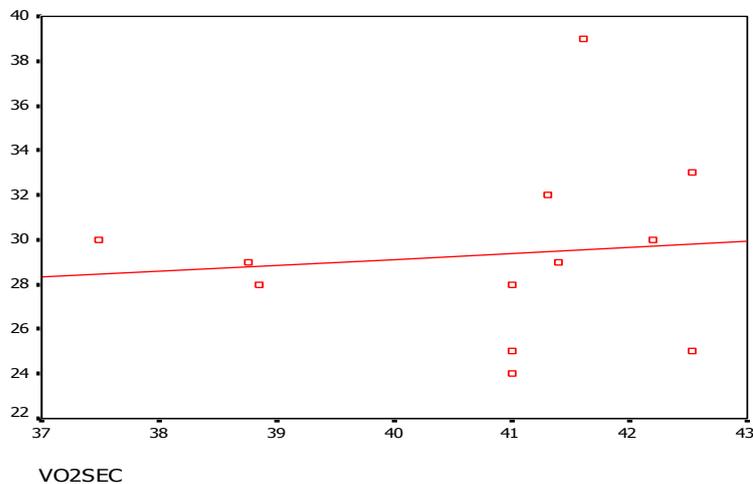
จากตารางที่ 11 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลงในกลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.064 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.105 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.237 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

ภาพที่ 11 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จ ในกลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี



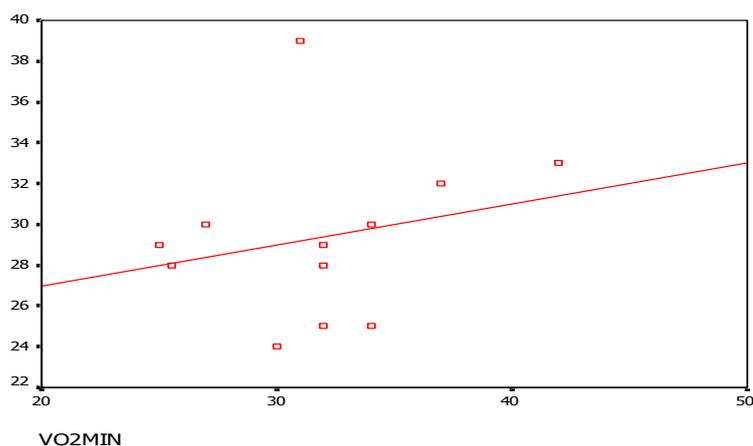
จากภาพที่ 11 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.064 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 12 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ในกลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี



จากภาพที่ 12 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.105 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 13 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 31-40 ปี



จากภาพที่ 13 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มี

ค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.237 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

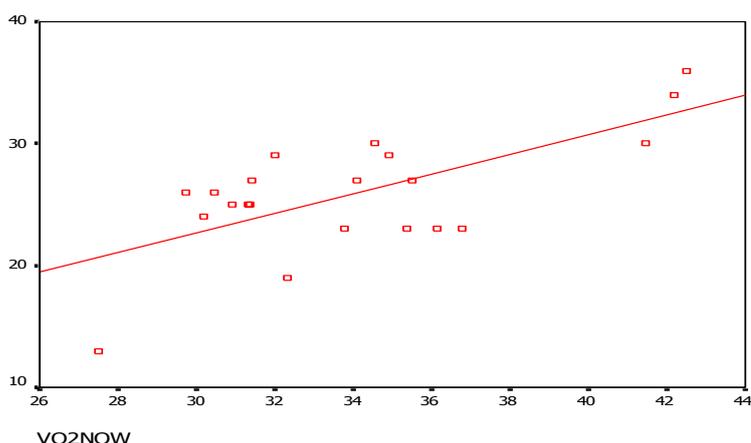
ตารางที่ 12 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 41-50 ปี

ค่า VO ₂ max	ค่าความสัมพันธ์ (r)
VO ₂ max ทันที	0.679*
VO ₂ max 15 วินาที	0.558*
VO ₂ max 1 นาที	0.144

*P≤0.05

จากตารางที่ 12 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 41-50 ปี ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.679 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.558 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.144 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

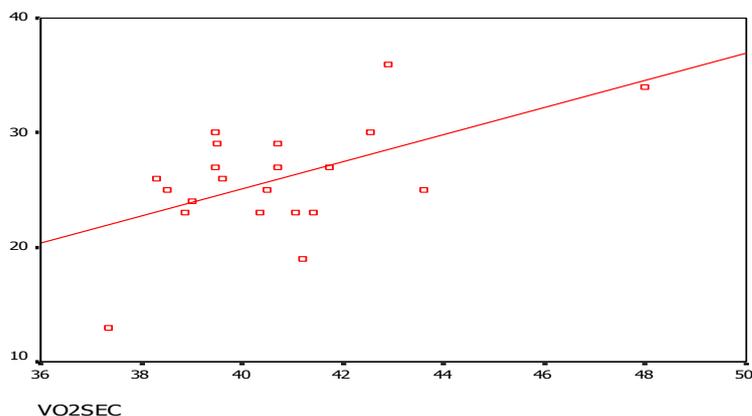
ภาพที่ 14 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่ได้จากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จ ในกลุ่มช่วงอายุ 41-50 ปี



จากภาพที่ 14 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้น

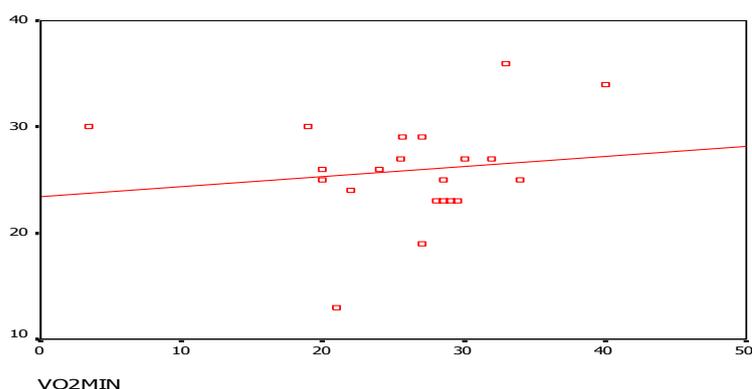
ลง ค่า $VO_2\max$ ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.679 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับปานกลาง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 15 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ในกลุ่มช่วงอายุ 41-50 ปี



จากภาพที่ 15 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่คำนวณจากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า $VO_2\max$ ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.558 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับปานกลาง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 16 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 41-50 ปี



จากภาพที่ 16 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่คำนวณจากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า $VO_2\max$ ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.144 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

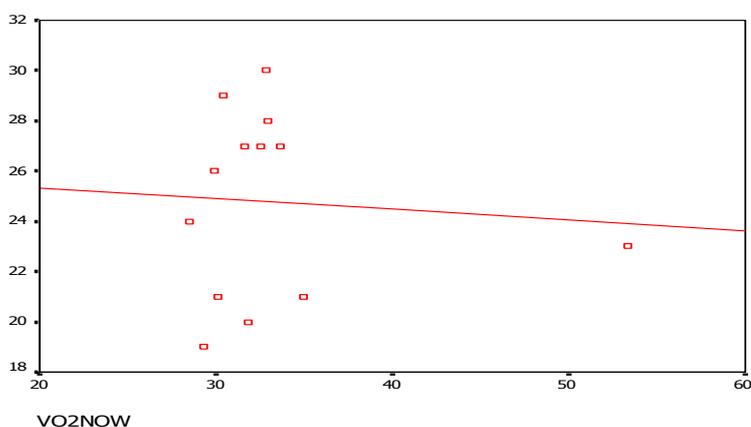
ตารางที่ 13 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและจากการทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี

ค่า VO ₂ max	ค่าความสัมพันธ์ (r)
VO ₂ max ทันที	-0.073
VO ₂ max 15 วินาที	-0.084
VO ₂ max 1 นาที	0.161

*P<0.05

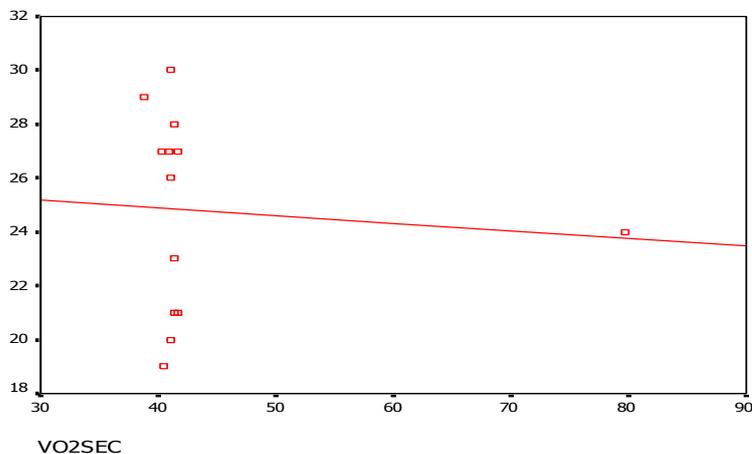
จากตารางที่ 13 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ -0.073 ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ -0.084 ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.161 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

ภาพที่ 17 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่ได้จากการคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จ ในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี



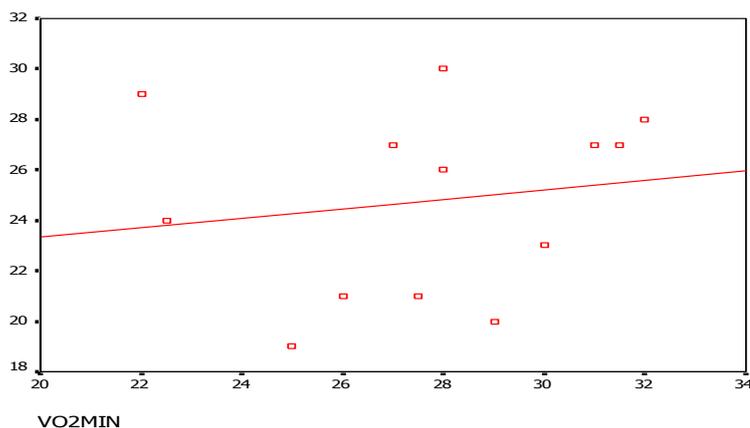
จากภาพที่ 17 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ -0.073 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 18 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที ในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี



จากภาพที่ 18 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ -0.084 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาพที่ 19 แสดงค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที ในกลุ่มช่วงอายุ 51-60 ปี



จากภาพที่ 19 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มี

ค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.161 ระดับความเชื่อมั่นอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบค่าระดับความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละช่วงวัย

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่าระดับความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละช่วงวัย

	รวม	18-20 ปี	21-30 ปี	31-40 ปี	41-50 ปี	51-60 ปี
VO ₂ max ทันที	0.588*	0.421	0.423	0.064	0.679*	-0.073
VO ₂ max 15 วินาที	0.168	0.423	0.624*	0.105	0.558*	-0.084
VO ₂ max 1นาทีก่อน	0.625*	0.600	0.753*	0.237	0.144	0.161

*P≤0.05

จากตารางที่ 14 พบว่า ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์กับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซสูงสุดที่เท่ากับ 0.625 มีความเชื่อมั่นในระดับปานกลาง เมื่อจำแนกตามระยะเวลาในการหาอัตราการเต้นของหัวใจจะพบว่า ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จทันที มีค่าความสัมพันธ์กับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซสูงสุดในช่วงอายุ 41-50 ปี เท่ากับ 0.679 มีความเชื่อมั่นในระดับปานกลาง ค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์กับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซสูงสุดในช่วงอายุ 21-30 ปี เท่ากับ 0.624 มีความเชื่อมั่นในระดับปานกลาง และค่า VO₂max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์กับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซสูงสุดในช่วงอายุ 21-30 ปี เท่ากับ 0.753 มีความเชื่อมั่นในระดับปานกลาง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความสัมพันธ์ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงในประชาชนไทยเพศหญิง กลุ่มทดลองคือ คนไทยภาคกลางเพศหญิงที่มีสุขภาพแข็งแรงจำนวน 68 คน ผลการศึกษาตอนที่ 1 แสดงร้อยละของข้อมูลพื้นฐานของคนไทยเพศหญิงที่มีสุขภาพแข็งแรง จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมมากที่สุดมีอายุ 41-50 ปี 51-60 ปี และ 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 31, 19 และ 17.6 ตามลำดับ จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมมากที่สุดมีระดับการศึกษา ปริญญาตรี สูงกว่าปริญญาตรี มัธยมตอนปลาย/ปวช. คิดเป็นร้อยละ 45.6, 22.1 และ 22.1 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างมีการออกกำลังกาย เป็นครั้งคราว คิดเป็นร้อยละ 60.3 ไม่เคยออกกำลังกาย คิดเป็นร้อยละ 30.9 และ ออกกำลังกายเป็นประจำคิดเป็นร้อยละ 8.8 จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการสูบบุหรี่หรือไม่สูบบุหรี่คิดเป็นร้อยละ 100 และสูบบุหรี่คิดเป็นร้อยละ 0 กลุ่มตัวอย่างมีการดื่มแอลกอฮอล์ พบว่าไม่ดื่ม และดื่ม คิดเป็นร้อยละ 91.2 และ 8.8 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างมีการตรวจไขมัน พบว่า มีการตรวจไขมันคิดเป็นร้อยละ 51.2 และไม่ได้ตรวจไขมัน คิดเป็นร้อยละ 48.5 กลุ่มตัวอย่างมีการตรวจน้ำตาลในเลือด พบว่า ตรวจน้ำตาลในเลือด และไม่ได้ตรวจน้ำตาลในเลือดเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 50 จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด พบว่า ไม่มีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 85.3 มีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 0 และไม่เห็นใจว่ามี บุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คิดเป็นร้อยละ 14.7

จากตอนที่ 2 พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.588 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.168 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.625 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

เมื่อจำแนกตามช่วงวัย ในช่วงอายุ 18-20 ปี พบว่าค่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.421 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 15 วินาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.423 ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.600 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามลำดับ

ในช่วงอายุ 21-30 ปี ค่า VO_2max ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจทันทีที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.423 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่า

อภิปรายผล

การศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในคนไทยเพศหญิงครั้งนี้ พบว่าสมรรถภาพหัวใจและปอดของคนไทยเพศหญิงโดยส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลางและมีการลดลงของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2 \max$) ตามอายุที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชูศักดิ์และกันยา (2536) กล่าวว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Uptake หรือ $VO_2 \max$) เป็นความสามารถของร่างกายที่จะนำออกซิเจนที่หายใจเข้าไปในปอด เข้าไปใช้สร้างพลังงานในเซลล์ได้มากที่สุด ในระหว่างที่ร่างกายออกกำลังกายอย่างเต็มที่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะแตกต่างกันไปตามสถานะด้าน อายุ เพศ ขนาดรูปร่าง และสมรรถภาพทางกาย ซึ่งจะเพิ่มตามอายุ โดยจะสูงเมื่ออายุ 20-25 ปีในเพศหญิง และ 25-30 ปีในเพศชาย จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง โดยทั่วไปเพศชายจะมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดประมาณ 50 มล.ต่อกก. ต่อนาที เพศหญิงมีค่าประมาณ 40 มล.ต่อกก. ต่อนาที หลังจากช่วงอายุดังกล่าวนี้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะคงระดับ และค่อยๆ ลดต่ำลง (เพ็ญพิมล ธัมมรัคคิต, 2537) กล่าวว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะแตกต่างกันไปตามสถานะด้าน อายุ เพศ ขนาดรูปร่าง และสมรรถภาพทางกาย ซึ่งจะเพิ่มตามอายุโดยจะสูง เมื่ออายุ 20 – 25 ปีในเพศหญิง และอายุ 25 – 30 ปีในเพศชาย จากนั้นจะค่อยๆ ลดต่ำลง (American College of Sports Medicine, 2000) ค่า $VO_2 \max$ เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการวัดความสมบูรณ์ของระบบหัวใจไหลเวียนเลือด สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นสิ่งที่ได้จาก ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกไปในเวลา 1 นาที (Cardiac Output: CO) มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที ซึ่งสามารถขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อมากขึ้นและความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนในเส้น เลือดแดงกับเส้นเลือดดำ ($a - VO_2$ difference) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรออกซิเจนต่อลิตร จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณออกซิเจนสูงสุดในเส้นเลือดแดงในการดึงเอาออกซิเจนออกจากเลือดของเซลล์กล้ามเนื้อที่กำลังทำงานอยู่และปริมาณออกซิเจนน้อยที่สุดในเส้นเลือดดำ และ ประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า ออกซิเจนจะถูกส่งไปให้กล้ามเนื้อใช้ได้มากน้อยเท่าไร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญ 4 อย่าง คือ

1. ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอด (Minute Ventilation) เมื่ออากาศเข้าสู่ปอดมากในขณะที่ออกกำลังกายหรือมีความจุปอด (Vital Capacity) เพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันของออกซิเจนภายในปอดมีมากขึ้น การฟุ้งกระจาย การไหลของก๊าซเข้าสู่ระบบการไหลเวียนสะดวกยิ่งขึ้นออกซิเจนเข้าสู่ภายในเซลล์มากขึ้น
2. ความสามารถของเลือดที่จะรับออกซิเจนเข้าไปได้ตัวการสำคัญในการจับออกซิเจนเข้าสู่กระแสเลือด คือ Hemoglobin หากมีจำนวนมากก็สามารถพาออกซิเจนไปใช้ได้มาก
3. ความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อ หมายถึง ความจำเป็นที่จะต้องสร้างพลังงานโดยใช้ออกซิเจน ในกิจกรรมที่ต้องออกแรงติดต่อกันเป็นเวลานาน ร่างกายใช้ออกซิเจนจึงต้องมีการนำเอาออกซิเจนจากบรรยากาศมาทดแทนออกซิเจนที่เสียไป
4. ปริมาณเลือดที่ฉีดออกจากหัวใจในเวลา 1 นาที (Cardiac Output) หากหัวใจฉีดเลือดออกจากหัวใจมากเท่าใด การใช้ออกซิเจนจะมากไปด้วย

ความแม่นยำในการประมาณค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด วิธีการทดสอบโดย Three Minute Step Test ของ The National Young Men's Christian Association กล่าวว่าค่าความสัมพันธ์ $r = 0.94$ แต่จากงานวิจัยในครั้งนี้พบว่าค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2 \max$) ที่ได้จากการคำนวณจากทดสอบโดยการก้าวขึ้นลง ค่า $VO_2 \max$ ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์กับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2 \max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซสูงที่สุดเท่ากับ 0.625 ซึ่งมีความเชื่อมั่นที่ได้อยู่ในระดับปานกลาง เมื่อจำแนกตามระยะเวลาในการหาอัตราการเต้นของหัวใจ

จะพบว่า ค่า $VO_2\max$ ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จทันที มีค่าความสัมพันธ์กับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซสูงที่สุดในช่วงอายุ พบว่าในช่วงอายุ 21-30 ปี ค่า $VO_2\max$ ที่คำนวณได้จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ทำการทดสอบก้าวขึ้นลงเสร็จไปแล้ว 1 นาที มีค่าความสัมพันธ์กับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซสูงที่สุดเท่ากับ 0.753 ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำ คือ ความแตกต่างในเรื่องของความสูง เชื้อชาติ พันธุกรรม จังหวะในการก้าว น้ำหนัก อายุ และวิธีการวัดอัตราการเต้นของหัวใจเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด จากผลการในครั้งนี้พบว่า วิธีการวัดอัตราการเต้นของหัวใจที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดควรจะเป็นค่า Heart rate ที่ได้จากการวัด Recovery Heart Rate ให้ครบ 1 นาที เพราะผลจากการศึกษาพบว่า ค่า VO_2 ที่คำนวณได้จากการใช้ Heart rate ทันที และ Recovery Heart rate 15 วินาที มีความเชื่อมั่นน้อยกว่าค่าที่ได้จาก Recovery Heart Rate 1 นาที

จากข้อมูลที่ปรากฏทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ที่ทำการทดสอบในกลุ่มประชากรอายุต่างกัน จะมีค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่างกันขึ้นอยู่กับ ปัจจัยทางด้านสรีรวิทยา ได้แก่ หน้าที่การทำงานของหัวใจในการบีบตัวเพื่อฉีดเลือดออกไปให้อวัยวะต่างๆ ของร่างกาย การหายใจนำเอาออกซิเจนเข้าสู่ปอด ความแข็งแรงของหลอดเลือด การทำงานของกล้ามเนื้อ น้ำหนัก อายุ เชื้อชาติ พันธุกรรม และวิธีการในการทดสอบให้ได้มาซึ่งอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ดังนั้นควรที่จะพัฒนาวิธีการในการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดด้วยความหนักปานกลางที่แม่นยำและเหมาะสมกับคนไทยยิ่งขึ้น ควรเป็นวิธีการทดสอบอย่างง่าย ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง และใช้ระยะเวลาไม่นาน เพื่อให้ประชาชนสามารถทราบระดับสมรรถภาพหัวใจและปอดของตนเองและพัฒนาระดับสมรรถภาพหัวใจและปอดให้อยู่ในระดับดี เมื่อร่างกายมีสมรรถภาพหัวใจและปอดดี ระบบต่างๆ ภายในร่างกายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาถึงวิธีการทดสอบสมรรถภาพหัวใจและปอดที่เหมาะสมและมีความแม่นยำในการประเมินค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในคนไทยมากที่สุด
2. ควรมีการศึกษาวิจัยในกลุ่มตัวอย่างประชากรที่มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น เช่น ในเพศชาย ในเด็ก และในผู้สูงอายุ เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการประเมินค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่อไป
3. ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบการทดสอบที่เหมาะสมกับคนไทยมากที่สุดต่อไป
4. ใช้ผลการวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาระดับสมรรถภาพหัวใจและปอดของคนไทยต่อไป

บรรณานุกรม

- การกีฬาแห่งประเทศไทย. (2543). *เกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายประชาชนชาวไทย*. กรุงเทพฯ: ไทยมิตรการพิมพ์.
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวีวรัตน์. (2536). *สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ธรรมการพิมพ์.
- ณัฐพล ไตรเพิ่ม. (2546). *การออกกำลังกายแบบแอโรบิกในปริมาณงานที่แตกต่างกันที่มีผลต่อสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน ความจุปอด และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย*. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพลศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธัญชนก อรุณรัตน์. (2558). *ความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบภาคสนาม โยโย่ อินเตอร์มิตเตนทีร์คัพเวอร์รี่โดยตรงและทางอ้อมในนักกีฬาฮอกกี*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระศักดิ์ อาภาวัฒนาสกุล. (2552). *หลักวิทยาศาสตร์ในการฝึกกีฬา*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิรอมลี มะกาเจ. (2547). *ความเที่ยงตรงของสมการที่ทำนายปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายโดยจักรยานวัดงานในนักกีฬาและบุคคลทั่วไป*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประทุม ม่วงมี. (2527). *รากฐานทางสรีรวิทยาการออกกำลังกายและพลศึกษา (วิทยาศาสตร์การกีฬา)*. กรุงเทพฯ: บุรพาสาน์
- พิชิต ภูติจันทร์. (2545). *กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- _____. (2547). *วิทยาศาสตร์การกีฬา*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- พีระพงศ์ บุญศิริ. (2538). *สรีรวิทยาการออกกำลังกาย (วิทยาศาสตร์การกีฬา)*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โอเอสพริ้นติ้ง เฮาส์.
- เพ็ญพิมล คุ้มมรัคคิด. (2537). *สรีรวิทยาการออกกำลังกาย*. กรุงเทพฯ: พีพีฟอเรน บุคส์เซ็นเตอร์.
- รุ่งชัย ขวัญไชยกุล. (2552). *ผลของการอบอุ่นร่างกายต่ออัตราชีพจรและสมรรถนะในการออกตัวและการว่ายน้ำระยะสั้นของนักกีฬาวูตวู้*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา, 9(1-2), 95-135.
- วรรณิ เจริญรุ่งเรือง. (2539). *ผลของการเดินแอโรบิกแบบแรงกระแทกต่ำและสตีปแอโรบิกต่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ*. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2555). *การสำรวจพฤติกรรมการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายของประชากรและสุขภาพจิต พ.ศ. 2554*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- อภิชา วัฒนวิโรฒ. (2557). *ความสัมพันธ์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ที่วัดโดยการทดสอบแบบออสตรานด์และไม้มิ่งกับการทดสอบก้าวขึ้น-ลง ด้วยความสูงของม้าก้าวที่ต่างกัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา, มหาวิทยาลัยบูรพา.

- American College of Sports Medicine. (1998). *Position stand on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in adults*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6),975-985.
- American College of Sports Medicine. (2000). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription / American College of Sports Medicine*. American College of Sports Medicine; Balady, Gary J, 6.
- American College of Sports Medicine. (2008). *Health-related physical fitness assessment manual* . 2nd ed. Philadelphia, PA: Lippincott, Williams & Wilkins.
- Åstrand P. O., I. R. (1954). *A Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) From Pulse Rate During Submaximal Work*. *Journal of Applied Physiology*, 7(2), 218-221.
- Beekley MD, B. W., deHoyos DV, Garzarella L, Werber-Zion G, Pollock ML. (2004). *Cross-validation of the YMCA submaximal cycle ergometer test to predict VO₂max*. *Res Q Exerc Sport*, 75(3), 337-342.
- Chatterjee S, C. P. & Bandyopadhyay A. (2005). *Validity of Queen's college Step Test for estimation of maximum oxygen uptake in female students*. *Indian J Med. Res*, 121, 32-35.
- Chatterjee S., C. P., Mukherjee PS., & Bandyopadhyay A. (2004). *Validity of Queen's College step test for use with young Indian men*. *Br J Sports Med*, 38, 289-291.
- Cooper, K H. (1968) *A means of assessing maximal oxygen intake*, *Journal of the American Medical Association*, 203: 135-138.
- Devries HA. & Klafs CE. (1964). *Evaluation and Prediction of Physical Fitness of The Harvard Step Test*. *The American Journal of Cardiology*.
- Dorociak, J. J. (1981). *Validation of Running Tests of 4, 8, and 12 Minutes Duration in Estimating Aerobic Power for College Women of Different Fitness Level*. The Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Foss M.L. & Keteyian S. (1998). *The Physiological Basis for Exercise and Sport*: William C Brown Pub; 6th edition (January 15, 1998).
- Grant S, C. K., Amjad A M, Wilson J , Aitchison T (1995). *A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake*. *Br J Sports Med*, 29, 147-152.
- Greg, M. K., Porcari, J. P., Hintermeister, R., Freedson, P. S., Ward, A., Mccarron, R. F., Rippe, J. M. (1987). *Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight*. *Medicine and science in sport and Exercise*, 19(3).
- Gürsel Y, S. B., Gök H, Yalçın P. (2004). *The peak oxygen uptake of healthy Turkish children with reference to age and sex: a pilot study*. *Turk J Pediatr*, 46(1), 38-43.

- Hermansen L, S. B. (1969). *Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. Journal of Applied Physiology*, 26(1), 31-37.
- Katch, V. L., McArdle, W. D., & Katch, F. I. (2011). *Essentials of exercise physiology*. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins.
- Kevin Sykes, A. R. (2004). *The Chester step test—a simple yet effective tool for the prediction of aerobic capacity. Physiotherapy*, 90, 183-188.
- Lamb D.R. (1984). *Physiology of Exercise : Responses and Adaptations*. 2nd ed. New York: MacMillan.
- McArdle, W. et al. (2000). *Essentials of Exercise Physiology*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.
- McArdle W. D, Katch F I, & Katch V L. (2010). *Essentials of Exercise Physiology*, 2nd Ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.
- Pollock ML, F. C., Schmidt D, Hellman C, Linnerud AC, Ward A. (1982). *Comparative analysis of physiologic responses to three different maximal graded exercise test protocols in healthy women. American Heart Journal.*, 103(3), 363-373.
- R. E. Cink, T. R. T. (1981). *Validity of the Astrand-Ryhmig nomogram for predicting maximal oxygen intake. Br J Sports Med*, 15(3), 182-185.
- Santo AS, G. L. (2003). *Predicting Maximum Oxygen Uptake from a Modified 3-Minute Step Test. Res Q Exerc Sport*, 74(1), 110-115.
- Smothermon R. (1996). *Cross-Validation of The Kash Three Minute Step Test*. (Master of Arts), San Jose State University.
- Spackman Michael B., G. J. D., Pennington Todd R., Fellingham Gilbert W. (2001). *Maximal Graded Exercise Test Protocol Preferences of Relatively Fit College Students. Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 5(1)(1), 1-12.
- Ted. A. Baumgartner, A. S. J. (1995). *Measurement for evaluation in physical education and exercise science*. 5th ed.: Brown & Benchmark.
- Thomas D Fahey. (-). *Oxygen consumption predicting during walking running cycling bench stepping and arm cranking*
- Thompson, W. R., Gordon, N. F., and Pescatello, L. S. (2009). *American college of sports medicine (ACSM)'s guidelines for exercise testing and prescription*. 8th ed. Philadelphia: ACSM Group.
- Trabulo M, M. M., Mesquita A, Seabra-Gomes R. (1994). *Does the modified Bruce protocol induce physiological stress equal to that of the Bruce protocol. Rev Port Cardiol*, 13(10), 753-760; 735-736.
- Tritschler, K. (2000). *Practical measurement and assessment*. 5th ed. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins

- Walter, S.D., M. Eliasziw and A. Donner, (1998). *Sample size and optimal designs for reliability studies*. *Stat. Med.*, 17: 101-110.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., and Kenney, W. L. (2008). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Winer, B.J. (1991). *Statistical Principles in Experimental Design*. 3rd Ed., New York: McGraw-Hill.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent Form)

ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent Form)

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซและการก้าวขึ้นลงในคนไทยภาคกลาง เพศหญิง
 วันให้คำยินยอม วันที่ เดือน.....พ.ศ.

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมให้ทำการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย อันตราย หรืออาการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียด และมีความเข้าใจดีแล้ว

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่างๆ ที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจไม่ปิดบังซ่อนเร้นจนข้าพเจ้าพอใจ ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้โดยสมัครใจ พร้อมทั้งสามารถบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ได้ตลอดเวลา

ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าเป็นความลับ โดยเปิดเผยได้เฉพาะในรูปแบบที่เป็นสรุปผลการวิจัย การเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าต่อหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกระทำได้เฉพาะกรณีที่ได้รับคามยินยอมจากข้าพเจ้าเท่านั้น

ผู้วิจัยรับรองว่าหากเกิดอันตรายใดๆจากการวิจัยดังกล่าวข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาพยาบาลโดยไม่คิดมูลค่าและจะได้รับการชดเชยรายได้ที่สูญเสียไประหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าวตลอดจนเงินทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้นตามความเหมาะสม

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม.....ผู้ยินยอม
 (.....)

ลงนาม.....พยาน
 (.....)

ลงนาม.....ผู้ทำวิจัย
 (.....)

ภาคผนวก ข
แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล

แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล

เลขที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. เพศ ชาย หญิง
2. อายุ.....ปี วัน/เดือน/ปีเกิด...../...../.....
3. การศึกษา

<input type="radio"/> มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	<input type="radio"/> ปวส.
<input type="radio"/> ปริญญาตรี	<input type="radio"/> สูงกว่าปริญญาตรี
4. การออกกำลังกาย เป็นประจำ เป็นครั้งคราว ไม่เคย
ชนิดกิจกรรมที่ท่านออกกำลังกาย
 1. ใช้เวลา..... ชั่วโมง/วัน..... วัน/สัปดาห์
 2. ใช้เวลา..... ชั่วโมง/วัน..... วัน/สัปดาห์
 3. ใช้เวลา..... ชั่วโมง/วัน..... วัน/สัปดาห์
 รวม ท่านออกกำลังกายประมาณ..... ชั่วโมง/สัปดาห์
 ท่านออกกำลังกายมาแล้วประมาณ..... เดือน..... ปี
5. ท่านสูบบุหรี่หรือไม่ สูบ ไม่สูบ
 ท่านสูบบุหรี่วันละ..... มวน เลิกมา..... เดือน..... ปี
6. ท่านดื่มแอลกอฮอล์หรือไม่ ดื่ม ไม่ดื่ม
 ถ้าดื่ม ปริมาณที่ดื่ม..... แก้ว/วัน ความถี่..... ครั้ง/สัปดาห์
 ชนิดของเครื่องดื่มที่ท่านดื่ม.....
7. ภายใน 1 ปีที่ผ่านมา ท่านได้รับการตรวจสุขภาพประจำปีหรือไม่
 ตรวจ พบว่า..... ไม่ได้ตรวจ
8. ท่านมีบุคคลในครอบครัวเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือดหรือไม่
 ใช่ โปรตระบุ..... ไม่ใช่ ไม่แน่ใจ

หมายเหตุ

บุคคลที่สามารถติดต่อได้กรณีฉุกเฉิน

เบอร์โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้ในกรณีฉุกเฉิน

ภาคผนวก ค
แบบบันทึกผลการทดสอบ

แบบบันทึกผลการทดสอบ

เลขที่

1. น้ำหนัก.....กิโลกรัม
2. ส่วนสูง.....เซนติเมตร ดัชนีมวลกาย.....กก./ม²
3. อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก.....ครั้ง/นาที
4. ระดับความดันโลหิตขณะพัก.....มม.ปรอท
5. Predicted HR_{max}ครั้ง/นาที
6. ความยาวของรยางค์ขา.....เซนติเมตร ความยาวของช่วงต้นขา.....เซนติเมตร
7. อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด วัดโดยวิธี Graded Exercise Test (GXT)
 อัตราการเต้นของหัวใจก่อนการทดสอบ.....ครั้ง/นาที
 ระดับความดันโลหิตก่อนการทดสอบ.....มม.ปรอท

Stages	ความเร็ว	ความชัน	Heart Rate	Met	RPE	BP
Rest	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1	...1.7...	...10....	.....	.....	.....	.....
2	...2.5...	...12...	.....	.....	.....	.....
3	...3.4...	...14....	.....	.....	.....	.....
4	...4.2...	...16...	.....	.....	.....	.....
5	...5.0...	...18...	.....	.....	.....	.....
Immed Post	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2 min Post	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4 min Post	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ.....

อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด.....

อุปสรรค.....
.....สรุป.....
.....VO₂max =ml/kg/min

8. การประมาณค่า $VO_2\max$ จากการทดสอบก้าวขึ้นลง 3 นาที กล่องสูง 12 นิ้ว

ชีพจรขณะพัก..... ความดันโลหิตขณะพัก.....

ชีพจรหลังทดสอบ..... ความดันโลหิตหลังทดสอบ.....

หลังทดสอบ 15 sec.....

หลังทดสอบ 20 sec.....

หลังทดสอบ 1 min.....

ประวัตินักวิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิสา บุญมาก

วท.บ. (วิทยาศาสตร์การกีฬา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ม. (เวชศาสตร์การกีฬา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วท.ด. (วิทยาศาสตร์การกีฬา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. อาจารย์ ดร.คุณันต์ พิธิพรชัยกุล

วท.บ. (สันทนาการ) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปร.ด. (วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา) มหาวิทยาลัยบูรพา

3. อาจารย์นรินทร่า จันทศร

วท.บ. (วิทยาศาสตร์การกีฬา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วท.ม. (วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กำลังศึกษาต่อ ปร.ด. (การจัดการกีฬา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์