

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

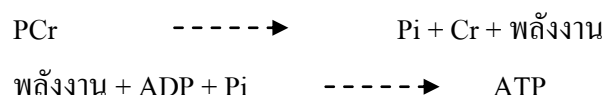
1. พลังงานสำหรับการออกกำลังกายและกีฬา
2. สมรรถภาพทางกาย
3. การทดสอบสมรรถภาพทางกาย
4. ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด
5. การทดสอบความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต
 - 5.1 การทดสอบด้วยลู่วิ่ง (Treadmill test)
 - 5.2 การทดสอบด้วยจักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer test)
 - 5.3 การทดสอบด้วยการก้าวขึ้นลงบันได (Bench stepping test)
 - 5.4 การทดสอบภาคสนาม (Field test)

พลังงานสำหรับการออกกำลังกาย

Wilmore, Costill and Kenney (2008) กล่าวว่า ในการออกกำลังกายนั้น กล้ามเนื้อจะใช้พลังงานจากสารชนิดหนึ่งคือ ATP (Adenosine triphosphate) ซึ่งเป็นสารให้พลังงานสำหรับกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะในกล้ามเนื้อเองนั้นมีปริมาณ ATP อยู่เล็กน้อยเพียงพอที่จะใช้ได้ประมาณ 3 ถึง 15 วินาที ดังนั้นถ้าต้องการให้กล้ามเนื้อทำงานต่อไปเรื่อย ๆ จึงต้องมีการสร้าง ATP ขึ้นมาใหม่ โดยอาศัยสารพลังงานและปฏิกิริยาอื่น ๆ ดังที่ พิซิด ภูติจันทร์ (2545, หน้า 147-160) และ Katch, McArdle, and Katch (2011, pp. 151-183) ได้สรุปและเสนอแนะไว้ดังนี้

ระบบเอทีพี-พีซี (ATP-PCr System)

ในระบบเอทีพี-พีซีนี้ได้พลังงานมาจาก ATP ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของสารประกอบ PCr (Phosphocreatine) โดยผลผลิตที่ได้ก็คือ ฟอสเฟตอินทรีย์ (Pi) และครีเอทีน (Cr) ซึ่งให้พลังงานในทันที และพลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่ ดังสมการ



แต่ Phosphocreatine ในกล้ามเนื้อมีจำนวนจำกัด ถ้าใช้ติดต่อกันจะหมดไป ภายในช่วงเวลาไม่เกิน 30 วินาที ซึ่งกีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้ คือ วิ่ง 100 เมตร ยกน้ำหนัก กระโดดสูง และว่ายน้ำ 50 เมตร เป็นต้น

ระบบกรดแลคติก (Lactic acid system)

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



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

ระบบแอโรบิก (Aerobic system)

ระบบนี้อาจเรียกอีกอย่างว่า “แอโรบิกไกลิโคไลซิส” (Aerobic glycolysis) เป็นการสลายกลูโคสโดยการใช้ออกซิเจน ในระบบแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันดังนี้

1. การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน การสลายกลูโคสจนได้กรดไพรูวิกนั้นเกิดขึ้นในซาร์โคพลาสซึมของเซลล์กล้ามเนื้อในทุกสภาวะและยังไม่ใช้ออกซิเจนผลผลิตที่ได้ คือ

1.1 ได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล

1.2 ได้พลังงานเอทีพีสุทธิ 2 โมเลกุล

1.3 เกิดไฮโดรเจน 4 อะตอม โดยมี NAD^+ (Nicotinamide adenine dinucleotide)

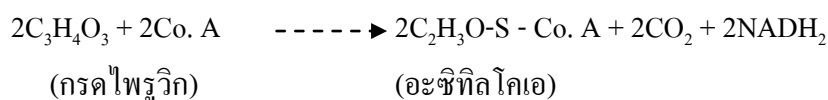
มารับไปกลายเป็น NADH_2 จำนวน 2 โมเลกุล สำหรับกรดไพรูวิก 2 โมเลกุลที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอนไซม์เอ (Acetyl coenzyme A) เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ซึ่งเกิดในไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ต่อไป

2. การสังเคราะห์อะซิติล โคเอนไซม์เอ (Acetyl coenzyme a synthesis) โดยกรดไพรูวิกแต่ละโมเลกุลจะถูกเปลี่ยนเป็นอะซิติล โคเอนไซม์เอ หรือเรียกว่า อะซิติล โคเอ (Acetyl CoA) โดยกลุ่มเอนไซม์หลายชนิดได้ผลผลิต คือ

2.1 เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล แต่จากกลูโคส 1 โมเลกุล ทำให้เกิดกรดไพรูวิก 2 โมเลกุล ดังนั้นจึงได้ คาร์บอนไดออกไซด์รวม 2 โมเลกุลต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส

2.2 เกิดไฮโดรเจนขึ้น 4 อะตอม ซึ่งรวมกับ NAD^+ กลายเป็น NADH_2 1 โมเลกุล
ดังนั้นจึงได้ NADH_2 จำนวน 2 โมเลกุล

2.3 สมการของปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้ คือ



2.4 อะซิทิลโคเอ หากไม่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ อาจเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน ไกลโคเจน หรือโปรตีนก็ได้

3. วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) กรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็น อะซิทิล โคเอ และแตกตัวต่อไปในอนุกรมของปฏิกิริยาที่เรียกว่า วัฏจักรเครบส์ ในวัฏจักรเครบส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้น 2 ประการ คือ การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเดชั่น เช่น การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของกรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสมิได้เข้าไปในวัฏจักรเครบส์ แต่จะเปลี่ยนเป็น อะซิทิล โคเอก่อนจึงจะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ จะมีอนุกรมปฏิกิริยาดังนี้

3.1 ปฏิกริยา A กรดไพรูวิก ถูกออกซิไดซ์โดยคาร์บอนไดออกไซด์ และอะซีทิลโคเอ และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป โดยอะซีทิลโคเอ ทำปฏิกิริยากับกรดออกซาลิอะเซติก ได้เป็นกรดซิตริก ส่วนโคเอนไซม์เอจะแยกตัวออกไป เพื่อรวมกับกรด ไพรูวิก โมเลกุลใหม่ของกรดซิตริกปรับโครงสร้างเป็นกรดซิส-อะ โคนิทิก แล้วจึงปรับโครงสร้างใหม่อีกครั้งได้เป็นกรดไอโซซิตริก

3.2 ปฏิกิริยา B กรดไอโซซิเตรริกเปลี่ยนเป็นออกซาโลซินิก และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH , ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป

3.3 ปฏิกริยา C กรดออกซาโลซึกซินิก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซึกซินิก
คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีก 1 โมเลกุล และเปลี่ยนเป็นกรดแอลฟา-คีโตนกลูตาริก

3.4 ปฏิกริยา D กรดแอลฟา-คีโตนกลูตาริก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซักซินิก
คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีก 1 โมเลกุล และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 เข้าสู่ระบบขนส่ง
อิเล็กตรอนต่อไป ในกระบวนการนี้ จะได้พลังงานออกมามากพอที่จะรวมเอาหมู่ฟอสเฟต
อนินทรีย์เข้ากับเอดีพีจะได้เป็นเอทีพี

3.5 ปฏิกริยา E กรดซักซินิก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดฟูมาริก โดย FAD (Flavin adenine dinucleotide) มารับ H^+ เป็น $FADH_2$ เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไปแล้วกรดฟูมาริกจะเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก

3.6 ปฏิกิริยา F กรดมาลิก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดออกซาลิโคแอซิด โดยมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป แล้วกรดออกซาลิโคแอซิด จะไปรวมกับอะซิetyl โคเอ โมเลกุลกลายเป็นกรดซิตริกได้อีกเพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์รอบใหม่นั้น อะซิetyl โคเอ 2 โมเลกุล (จากกลูโคส 1 โมเลกุล) จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ ปล่อยออกมา 4 โมเลกุล เมื่อรวมกับ 2 โมเลกุล ของคาร์บอนไดออกไซด์ จากการสร้าง อะซิetyl โคเอ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล อาจกล่าวได้ว่า คาร์บอนทั้ง 6 ตัว ในกลูโคส ถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด และจะถูกขนส่งออกนอกเซลล์ต่อไปในวัฏจักรเครบส์ จะมีปฏิกิริยาที่ปล่อยไฮโดรเจนออกมา 4 ปฏิกิริยาในจำนวนนี้ จะมี 3 ปฏิกิริยาที่มี NAD^+ มาเป็นตัวรับ H^+ และอีก 1 ปฏิกิริยาที่มี FAD มารับ H^+ จะเห็นได้ว่าในวัฏจักรเครบส์ยัง ไม่มีการใช้ออกซิเจน สรุปสมการรวมในวัฏจักรเครบส์ ดังนี้



4. ระบบขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport system) โดยระบบขนส่งอิเล็กตรอน ในช่วงนี้เรียกว่า โซ่การหายใจ (Respiratory chain) ในระบบขนส่งอิเล็กตรอนทั้งอิเล็กตรอน และ ไฮโดรเจนไอออนจะถูกถ่ายทอดจากสารประกอบหนึ่งไปยังสารประกอบถัดไป พลังงานที่ใช้ในการขนส่งอิเล็กตรอนได้จาก 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยา A, D และ G ในวัฏจักรเครบส์ พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์ ATP จาก ADP และใช้ในการสังเคราะห์แสง สรุปว่า ในระบบออกซิเจนทั้ง 4 ขั้นตอน คือ การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน การสร้างอะซิetyl โคเอ วัฏจักรเครบส์ และการขนส่งอิเล็กตรอน เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและสัมพันธ์กัน จะเห็นว่า ออกซิเจนจะเข้าไปร่วมในปฏิกิริยาใน ขบวนการขนส่งอิเล็กตรอน ส่วนในกระบวนการอื่น ๆ ออกซิเจนไม่เข้าร่วมในปฏิกิริยาเลยสำหรับ กีฬาที่จัดอยู่ในระบบการใช้พลังงานรูปแบบนี้คือ วิ่ง 5,000 เมตร วิ่งมาราธอน ฟุตบอล และ บาสเกตบอล เป็นต้น ซึ่งระบบการพลังงานนี้ไม่มีขีดจำกัดเวลาหากมี สารตั้งต้นและออกซิเจน เพียงพอ ดังตารางที่ 1 ที่แสดงถึงการสร้างพลังงานในร่างกายขณะออกกำลังกายระบบต่าง ๆ

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

สิ่งเปรียบเทียบ	Anaerobic		Aerobic
	ATP - PCr System	Lactic acid system	Oxygen system
1. ตัวอย่างของการออกกำลังกายที่อาศัยระบบการสร้างพลังงานนั้น ๆ 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	ไม่มีขีดจำกัดเรื่องเวลาหาก มีสารตั้งต้นและออกซิเจน เพียงพอ

ในการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันกีฬาแต่ละประเภทย่อมมีความต้องการพลังงานที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของการออกกำลังกาย รูปแบบการแข่งขัน เทคนิค และทักษะ ซึ่งการออกกำลังกาย และกีฬาบางประเภท อาจต้องใช้ระบบพลังงานทั้ง 3 ระบบ ตามกิจกรรมการเคลื่อนไหว ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (ธีระศักดิ์ อาภาวัฒนาสกุล, 2552, หน้า 17-20)

1. การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก ได้แก่การวิ่ง 100, 200 และ 400 เมตร ยกน้ำหนัก ทุ่มน้ำหนัก ขว้างจักร กระโดดไกล กระโดดสูง เป็นต้น แหล่งพลังงานสำหรับการออกกำลังกายประเภทนี้ คือ คาร์โบไฮเดรต รองลงไป คือไขมัน ส่วนโปรตีนนั้นเกี่ยวข้องน้อยมาก จะเห็นได้ว่าระบบ ATP-PCr และระบบกรดแลคติก ไม่ใช้ออกซิเจนตลอดช่วงของการออกกำลังกาย ดังนั้นพลังงานที่ได้จากการสลายสลายไกลโคเจน จึงทำให้เกิดกรดแลคติกสะสมมาก ส่งผลให้การหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง และเป็นสาเหตุของความเมื่อยล้า

2. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นการออกกำลังกายที่มีระยะเวลายาวนาน และต่อเนื่อง พลังงานสำหรับการออกกำลังกายประเภทนี้ คือ คาร์โบไฮเดรต และไขมัน อย่างไรก็ตามพบว่า ในระยะแรกของการออกกำลังกาย พลังงานที่สำคัญได้จากไกลโคเจน แต่ในตอนที่ท้ายของการออกกำลังกาย ร่างกายจะใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานหลัก เนื่องจากไกลโคเจนที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ และตับถูกใช้หมดไป ในการออกกำลังกายประเภทนี้ ATP-PCr ส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการ

การสร้างพลังงานแบบแอโรบิก ส่วนระบบการสร้างพลังงานแบบ ATP-PCr และระบบกรดแลคติก จะเกี่ยวข้องเพียงในระยะต้นเท่านั้น ดังนั้น กรดแลคติกจึงไม่สะสม และเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูง

สมรรถภาพทางกาย

ประทุม ม่วงมี (2527, หน้า 96) อธิบายว่า “เป็นความสามารถของร่างกายที่ทนต่อการทำงานที่มีความเข้มข้นปานกลางได้เป็นระยะเวลานาน” หรือสิ่งที่ช่วยสนับสนุนให้สามารถทำงานได้เป็นเวลานาน ๆ เช่น ความสามารถในการเดิน การวิ่ง การปีนเขา การว่ายน้ำ ซึ่งรูปแบบการเล่นกีฬา การทำงาน นันทนาการ และกิจกรรมที่ เกี่ยวกับการออกกำลังกายส่วนใหญ่ ล้วนแต่มีพื้นฐานสมรรถภาพด้าน แอโรบิกรวมอยู่ด้วย

พิชิต ภูติจันทร์ (2547) สมรรถภาพทางกาย (Physical fitness) หมายถึง สมรรถภาพทางกายเป็นความสามารถของบุคคลในอันที่จะใช้ระบบต่าง ๆ กระทำกิจกรรมใด ๆ อันเกี่ยวกับการแสดงออก ซึ่งความสามารถทางด้านร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือได้หนักหน่วงเป็นเวลาติดต่อกันโดยไม่แสดงอาการเหน็ดเหนื่อยให้ปรากฏ และสามารถฟื้นตัวกลับสู่สภาพปกติได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว

American College of Sports Medicine (2008) สมรรถภาพทางกาย หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันได้ด้วยตนเอง โดยปราศจากภาวะฟุ้งพา โดยมีความอดทน ต่อการปฏิบัติกิจกรรมนั้น ๆ และเป็นตัวชี้วัดภาวะสุขภาพที่ดีบ่งบอกถึงการดำรงชีวิตของบุคคลโดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาผู้อื่นสำหรับผู้สูงอายุให้ความสำคัญในด้านของความสามารถในการทำหน้าที่ของร่างกาย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพ (Health-related physical fitness) และสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับทักษะ (Skill-related physical fitness)

สมรรถภาพทางด้านร่างกายถือเป็นข้อบ่งชี้ของการมีสุขภาพที่ดีและสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้สำหรับบุคคลทั่วไปในการดำเนินชีวิตและสำหรับนักกีฬาที่จะต้องมีพื้นฐานทางด้านร่างกายที่ใช้สำหรับฝึกซ้อมเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายของการเล่นกีฬาอย่างไรก็ตามสมรรถภาพทางกายสามารถสร้างขึ้นได้จากการออกกำลังกายหรือการเคลื่อนไหวอย่างเป็นประจำโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. องค์ประกอบสมรรถภาพทางกายพื้นฐาน (Health-Related physical fitness)

(Thompson, Gordon, & Pescatello, 2009)

1.1 ระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular system) ในขณะที่กิจกรรมต่าง ๆ ระบบหัวใจและหลอดเลือดจะทำหน้าที่ส่งออกซิเจนไปสนับสนุนเซลล์ต่าง ๆ ให้ทำงานตามหน้าที่

1.2 สัดส่วนของร่างกาย (Body compositions) เป็นความเหมาะสมของกล้ามเนื้อ ไขมัน กระดูก และความเหมาะสมของรูปร่าง

1.3 ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular strength and endurance) เป็นความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดแรงและทนต่อการล้าเมื่อกกล้ามเนื้อหดตัว ติดต่อกันเป็นเวลานาน

1.4 ความยืดหยุ่นของร่างกาย (Flexibility) เป็นความสามารถในการยืดเหยียดข้อต่อ เอ็น และกล้ามเนื้อของร่างกาย

2. องค์ประกอบสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวกับทักษะ (Skill-related physical fitness) (Thompson et al., 2009)

2.1 ความคล่องตัว (Agility) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนตำแหน่งในพื้นที่หนึ่ง โดยมีความเร็ว และความแม่นยำมาเกี่ยวข้อง

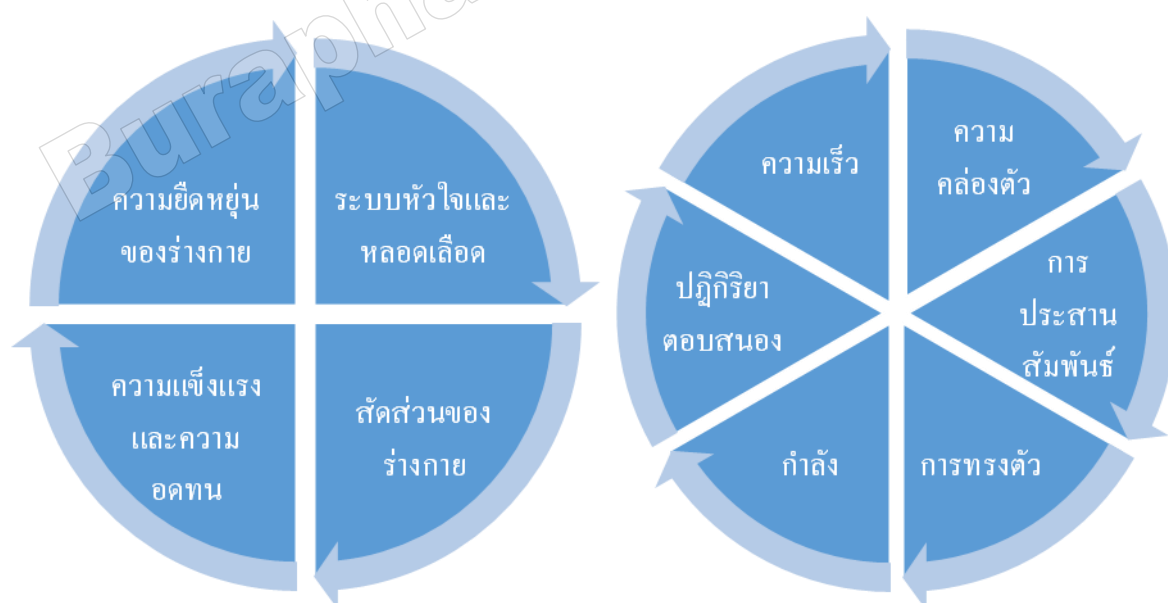
2.2 การประสานสัมพันธ์ (Coordination) คือ ความสามารถในการใช้การรับรู้สัมผัส เช่น การมองเห็นและการได้ยิน ในการเคลื่อนไหวส่วนของร่างกายด้วยความราบรื่นและแม่นยำ

2.3 การทรงตัว (Balance) คือการรักษาการทรงท่าเมื่อ อยู่กับที่หรือเคลื่อนไหว

2.4 กำลัง (Power) คือความสามารถหรือระดับของแรงในการทำงาน

2.5 ปฏิกริยาตอบสนอง (Reaction time) คือ ความไวในการตอบสนองต่อสิ่งที่มากระตุ้น

2.6 ความเร็ว (Speed) คือ ความสามารถในการเคลื่อนไหวในช่วงเวลาสั้น



ภาพที่ 2 สมรรถภาพร่างกายพื้นฐานและทักษะ (Health and skill-related physical fitness components) (Thompson et al., 2009)

สมรรถภาพร่างกายที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ถือเป็นข้อบ่งชี้ของการมีสุขภาพที่ดีสำหรับบุคคลทั่วไปในการดำเนินชีวิตและนักกีฬาใช้สำหรับฝึกซ้อมเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายของการเล่นกีฬา สมรรถภาพทางกายจึงมีความจำเป็นที่จะต้องออกกำลังกายหลาย ๆ ด้านควบคู่กันไป ไม่ว่าจะเป็นการออกกำลังกายเชิงแอโรบิกและการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน แต่ไม่มีความจำเป็นที่จะทำไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งสามารถทำแบบผสมผสานกันไปเพื่อให้ยังคงไว้ซึ่งสมรรถภาพและยังช่วยให้ระบบหัวใจและหายใจดีขึ้นไปพร้อมกับสุขภาพและระบบต่าง ๆ ของร่างกาย ถึงกระนั้นก็ควรที่จะมีกิจกรรมที่หนักบ้างเพื่อให้ไม่เกิดความเบื่อหน่ายโดยแนะนำให้ ออกกำลังกายอย่างน้อยที่ระดับความหนักปานกลาง 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

ซึ่งในการออกกำลังกายและไม่ว่าจะเป็นบุคคลทั่วไปหรือนักกีฬา ซึ่งในการจะบอกได้ว่าสุขภาพดีหรือไม่ดี สมรรถภาพทางกายสูงหรือต่ำนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทดสอบสมรรถภาพทางกายในแต่ละด้านในการจำกัดความว่าสุขภาพดีและเหมาะสมกับการเล่นกีฬาแต่ละชนิด

การทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Physical fitness test)

การทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Physical fitness test) หมายถึงการวัดและประเมินผลความแข็งแรงสมบูรณ์ของร่างกายหรือสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ เช่น ระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular system), สัดส่วนของร่างกาย (Body compositions), ความแข็งแรง

และความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular strength and endurance), ความยืดหยุ่นของร่างกาย (Flexibility) ฯลฯ เป็นต้น เพื่อนำไปสู่การวางแผนปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ส่งเสริมการฝึกฝนของแต่ละบุคคลให้มีสมรรถภาพทางกายถึงจุดสูงสุดและเหมาะสมกับการปฏิบัติกิจกรรมหรือการเล่นกีฬาแต่ละชนิด (Thompson et al., 2009)

ความสามารถของร่างกาย หรือความอดทน คือคุณสมบัติที่ร่างกายสามารถทนต่อการปฏิบัติกิจกรรมหนักได้เป็นระยะเวลานาน ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่า สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิต หมายถึงอยู่ในกิจกรรมที่ต้องการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ของร่างกายเป็นส่วนมาก เช่น วิ่ง ว่ายน้ำ ขี่จักรยาน ทั้งนี้เพราะกิจกรรมเหล่านี้กระตุ้นหัวใจและระบบการไหลเวียนโลหิตกับระบบหายใจได้ ทำงานในระดับสูงขึ้นกว่าปกติอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ไปในเวลา 1 นาที ในภาวะที่ร่างกายออกกำลังจนถึงจุดที่อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในการประเมินความสามารถของระบบหัวใจ ปอดและไหลเวียนโลหิตโดยการออกกำลังกายอย่างหนัก (มากกว่า 70% ของ Max VO_2) หรือการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะต้องใช้เวลาอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 105 นาที โดยการพัก (Rest recovery) เพื่อเคลื่อนย้ายกรดแลคติกที่แพร่กระจายอยู่ทั่วร่างกาย (กรมพลศึกษา, 2534)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ความหมายความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption: VO_2) หมายถึงอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกายในขณะใดขณะหนึ่ง โดยก๊าซออกซิเจนถูกนำไปสันดาปกับกลูโคส ไขมัน โปรตีน เพื่อให้ พลังงาน ATP (Adenosine triphosphate) ซึ่งถูกเซลล์นำไปใช้ ดังนั้นถ้าเซลล์มีการเผาผลาญสูง (Metabolism) อัตราการใช้ออกซิเจนก็จะสูงขึ้นด้วย หน่วยที่ใช้แสดงอัตราการใช้ออกซิเจนมี 2 หน่วย ได้แก่ หน่วยสมบูรณ์ (Absolute unit) แสดงเป็นลิตรต่อนาที (L/ min) หรือ มิลลิลิตรต่อนาที (ml/ min) และหน่วยสัมพัทธ์ (Relative unit) แสดงเป็นมิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (ml/ min/ kg) การใช้ออกซิเจนของร่างกายจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบในร่างกายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

ระบบหัวใจ ในการบีบโลหิต (Pump generator) เพื่อนำก๊าซและสารอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

ระบบหายใจ ในการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Gas exchange) อย่างเพียงพอสำหรับความต้องการของเซลล์ระบบโลหิต ที่มีหน้าที่จับรวมตัวกับนำก๊าซออกซิเจนและนำไปสู่เซลล์ (Oxygen carrying capacity or oxygen transportation)

ระบบกล้ามเนื้อ ที่เป็นระบบปลายทาง และสกัดเอาก๊าซออกซิเจนไปใช้ (Oxygen extraction capacity) เซลล์ทุกเซลล์ในร่างกายไม่ว่าจะเป็นกล้ามเนื้อหรือไม่ ต้องมี Metabolism ทั้งสิ้นทุกเซลล์จึงมีส่วนต่ออัตราการใช้ออกซิเจน แต่ระบบกล้ามเนื้อมีส่วนการใช้ออกซิเจนมากกว่าระบบอื่น ๆ ทั้งในระยะพักและออกกำลังกายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและมีความสัมพันธ์ในทางกายภาพทอดตน

หลังการทำงานของร่างกายที่หนัก ต่อเนื่องนาน ๆ กล้ามเนื้อต้องอาศัยอาหาร และออกซิเจนมาช่วยในการสร้างพลังงานสิ่งเหล่านี้จะมาถึงกล้ามเนื้อได้โดยส่งผ่านทางกระแสโลหิต นอกจากนี้โลหิตยังจะช่วยนำของเสียที่มีอยู่ในโลหิตไปสลาย จะเป็นได้ว่าโลหิตเป็นตัวลำเลียงที่มีประโยชน์การที่โลหิตจะไหลเวียนได้ดีหรือไม่ขึ้น หัวใจและหลอดโลหิตมีส่วนสำคัญยิ่งที่จะกำหนดประสิทธิภาพการไหลเวียนของโลหิตนั่นคือ หัวใจและหลอดโลหิตมีประสิทธิภาพการทำงานดีเท่าใด การลำเลียงอาหาร ออกซิเจน ไปกล้ามเนื้อ และการนำของเสียออกจากกล้ามเนื้อ ก็จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นเท่านั้น องค์ประกอบพื้นฐานทางสรีรวิทยาสามารถบ่งถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ความดันโลหิต (Blood pressure) ปริมาณโลหิตที่ส่งออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output) ปริมาณโลหิตที่หัวใจบีบแต่ละครั้ง (Stroke volume) การทำงานของระบบหายใจและการทำงานของปอด (Respiratory system) ด้วยการนำเอาออกซิเจนเข้าแล้วส่งผ่านกระแสโลหิตไปสู่เซลล์ และนำของเสียออกมาทำลายได้เร็วขึ้น สมรรถภาพของแต่ละบุคคลในการสร้างพลังงานแบบแอโรบิก (Maximum aerobic power หรือ Maximum exercise capacity) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดความสามารถด้านความอดทนของการออกกำลังกายโดยใช้ค่ามาตรฐานและการแปลผลความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ตารางที่ 3 ถึง ตารางที่ 6 เป็นต้น

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทยเพศชาย (มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที)

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

ตารางที่ 5 ค่ามาตรฐานปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดชาวตะวันตกเพศชาย
(มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที) (Heyward, 1998)

ระดับสมรรถภาพ	อายุ (ปี)				
	20-29	30-39	40-49	50-59	≥ 60
ดีเยี่ยม	≥ 49	≥ 48	≥ 45	≥ 42	39
ดีมาก	45-48	43-47	41-44	38-41	35-38
ดี	42-44	40-42	38-40	35-37	31-34
ปานกลาง	38-41	36-39	34-37	31-34	27-30
ต่ำ	≤ 37	≤ 35	≤ 33	≤ 30	≤ 26

ตารางที่ 6 ค่ามาตรฐานปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดชาวตะวันตกเพศหญิง
(มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที) (Heyward, 1998)

ระดับสมรรถภาพ	อายุ (ปี)				
	20-29	30-39	40-49	50-59	≥60
ดีเยี่ยม	≥ 42	≥40	≥37	≥33	32
ดีมาก	38-41	36-39	33-36	30-32	28-31
ดี	35-37	33-35	31-32	28-29	26-27
ปานกลาง	32-34	30-32	28-30	25-27	24-25
ต่ำ	≤37	≤35	≤33	≤ 30	≤26

เมื่อได้ออกกำลังกายจนเกิดภาวะทั้ง 3 ประการข้างต้นหมายความว่า ทุกระบบไม่สามารถให้ออกซิเจนตอบสนองความต้องการของร่างกายได้มากกว่านี้อีกแล้ว เราจึงต้องทดสอบจนแน่ใจว่าถึงภาวะของสูงสุดของความสามารถในการใช้ออกซิเจนจริง ๆ นักวิทยาศาสตร์การกีฬามักจะใช้หลักการว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นเมื่อชีพจรถึงจุดสูงสุดแล้วไม่ว่าจะเพิ่มภาระงาน (Workload) ไปอีกเท่าใดก็ตาม ค่า VO_{2max} นี้ เป็นดัชนีหลักใช้ในการบอกสมรรถภาพที่ร่างกายของแต่ละคนและเนื่องจากการสะท้อนหน้าที่สูงสุดของ 3 ระบบหลักของร่างกายค่า VO_{2max} จึงเป็นดัชนีทั้งทางแอโรบิกของร่างกาย (Aerobic index) และดัชนีความอดทนของหัวใจ (Cardiac endurance) ดังนั้น สมรรถภาพการทำงานของระบบหายใจ และไหลเวียนโลหิต เป็นปัจจัยสำคัญที่บอกระดับความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกาย ซึ่งการมีสมรรถภาพการจับออกซิเจนที่ดีแสดงถึงความสมบูรณ์ของหัวใจในการสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ได้อย่างมีประสิทธิภาพเซลล์ต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อสามารถนำออกซิเจนไปสร้างพลังงานได้ดี ร่างกายมีการประสานงานกันเป็นอย่างดีของระบบหายใจ และไหลเวียนโลหิต จึงส่งผลให้สุขภาพดี (Fossdi & Keteyian, 1998; รุ่งชัย ชวนไชยะกุล, 2552, ฌัฐพล ไตรเพิ่ม, 2546; เพ็ญพิมล ธรรมรัตน์, 2537)

การทดสอบความอดทนของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต (Tritschler, 2000)

การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ศึกษาได้จากการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต และความสามารถในการเคลื่อนไหวของกลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ทำงานได้อย่างสัมพันธ์กันอย่างดีที่ระดับความหนักปานกลางจนถึงระดับความหนักสูงสุดในระยะเวลาที่ยาวนานต่อเนื่องกัน (American College of Sports Medicine, 2000)

การทดสอบความอดทนของหัวใจ ปอดและหลอดโลหิตจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของสุขภาพทางกายบางอย่างเช่น ผู้ที่มีปัจจัยเสี่ยงทางโรคหัวใจ โรคระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น การทดสอบจะแบ่งเป็น Maximum exercise test เป็นการออกกำลังกายที่ใช้แรงมากที่สุดหรือที่ระดับความหนักสูงสุด (80-90% อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด) ใช้เวลาน้อยและก่อให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย เช่น การวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill) และการปั่นจักรยานวัดงาน (Ergometer) Submaximum exercise test (70-80% อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด) เป็นการออกกำลังกายแบบปานกลางหรือที่ระดับความหนักปานกลาง จะใช้กับบุคคลที่มีอายุมาก ๆ และในคนที่ไม้ออกกำลังกายหรือออกกำลังกายอย่างไม่สม่ำเสมอ เช่น การก้าวขึ้น-ลง (Step test), การวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill) และการปั่นจักรยาน ซึ่งผู้ที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่าจะเป็นเครื่องแสดงถึงความสมบูรณ์ของหัวใจในการสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปอดสามารถรับอากาศได้มาก เซลล์กล้ามเนื้อสามารถรับเอาออกซิเจนไปสร้างเป็นพลังงาน และกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีเช่นกัน (ประทุม ม่วงมี, 2527) โดยเฉลี่ยคนทั่วไปขณะพักในท่านั่ง อัตราการใช้ออกซิเจนจะมีค่าประมาณ 200-300 มิลลิลิตร/ นาที หรือ 3.5 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที ค่า VO_2 ขณะพักนี้เรียกว่า 1 Metabolic equivalent หรือ MET การประเมินด้วยการก้าวขึ้น-ลงบนกล่อง ที่มีความสูงเท่ากัน (Step test) ซึ่งเป็นการประเมินที่ใช้ระยะเวลาสั้น ๆ 3 - 5 นาที วิธีการทดสอบจะขึ้นอยู่กับผู้คิดค้น ที่จะสามารถใช้ประเมินสมรรถภาพและหัวใจได้ดีโดยมีวิธีการทดสอบหาค่าความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุดกระทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีวัดโดยตรง (Direct method) จากการวัดโดยการวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzing method) จากเครื่องมือ ซึ่งมีอุปกรณ์ประกอบด้วยลู่วิ่ง (Treadmill) จักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer) เครื่องวัดและแสดงปริมาณอากาศ (Gasometer) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas-analyzer) เครื่องให้จังหวะ (Metronome) และนาฬิกาจับเวลา (Stopwatch) โดยให้ผู้รับการทดสอบออกกำลังกาย และหายใจเข้า-ออก เข้าเครื่องวิเคราะห์ ซึ่งมีทั้งแบบวงจรปิด - ปิด (Closed or opened circuit spirometer) และวิเคราะห์อัตราส่วนของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศที่หายใจเข้าออก เพื่อคำนวณหาจำนวนออกซิเจนที่ร่างกายจับได้ในแต่ละนาทีแต่วิธีนี้ไม่สะดวกที่ต้องทดลองในห้องปฏิบัติการ วิธีการยุ่งยากซับซ้อนและเสียเวลานานในการทดลองแต่มีความแม่นยำตรงสูง

วิธีวัดทางอ้อม (Indirect method) โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำงานหนักในระดับเกือบสูงสุด ระยะเวลาประมาณ 5 - 10 นาที ไม่ถึงกับหมดแรงเพื่อประมาณค่าสูงสุดของความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกายวิธีนี้สะดวกเพราะใช้เวลาน้อยกว่า วิธีการไม่ยุ่งยากและหลีกเลี่ยงอันตรายจากผู้รับการทดสอบที่สูงอายุ ในปี ค.ศ. 1996 บุคส์, ฟาเฮย์ และไวท์ (Books, Fahey, & White, 1996) ได้กล่าวว่า วิธีการวัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทดสอบได้โดยใช้ลู่วิ่ง (Treadmill)

จักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer) การก้าวขึ้นลงบันได (Bench stepping test) และการทดสอบภาคสนาม (Field test) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การทดสอบด้วยลู่วิ่ง (Treadmill test) ลู่วิ่งเป็นอุปกรณ์ที่ดีที่สุดสำหรับการวัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด การทดสอบด้วยเครื่องลู่วิ่งแบบความหนักของงานในระดับสูงสุด (Maximal exercise test) ตามวิธีทดสอบต่าง ๆ ทั้งแบบวิ่งต่อเนื่อง และวิ่งสลับหยุดพักที่มีความแม่นยำในการทดสอบนักวิจัยและแพทย์นิยมนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการเพราะได้ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่าอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการใช้ลู่วิ่งวัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดกับอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ (ลู่วิ่ง = 100%) (Books et al., 1996)

การทดสอบ	ชาย (%)	หญิง (%)
Bicycle ergometer (Seated)	93	91
Bicycle ergometer (Reclining)	90	88
Arm ergometer	88	85
Bench stepping test	96	98

จากตารางที่ 7 การทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได (Bench stepping) สามารถวัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ใกล้เคียงกับลู่วิ่ง (Treadmill) ซึ่งการทดสอบมีความคล้ายคลึงกับการเดินหรือวิ่งในผู้ชาย 96% และผู้หญิง 98% จึงน่าจะเป็นอุปกรณ์ทดสอบที่สามารถใช้แทนลู่วิ่งได้เนื่องจากมีราคาที่ย่อมเยาขึ้นสูง ขนาดใหญ่ การเคลื่อนย้ายไม่สะดวก มีความยุ่งยากในการวัดความดันโลหิตหรือคลื่นไฟฟ้าหัวใจซึ่งเกิดจากแรงกระแทกส่งผลให้วัตถุเคลื่อนไหว และไม่สามารถทดสอบกับบุคคลที่มีความพิการเดินไม่ได้ เช่น อัมพาตครึ่งท่อน หรือบุคคลที่ควบคุมระบบประสาทไม่ได้ ความหลากหลายของวิธีการทดสอบด้วยลู่วิ่ง สามารถทดสอบที่ความหนักระดับสูงสุด หรือที่ความหนักระดับเกือบสูงสุด โดยทั่วไปนิยมทดสอบด้วยวิธีของ Bruce, Balke, Naughton และ Ellestad ในแต่ละวิธีทดสอบมีความหลากหลายโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของความเร็ว ความชัน ในแต่ละวิธีการทดสอบ ระดับความหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องกัน จะไม่มีการพักในแต่ละช่วงของการทดสอบ ผู้ใช้ต้องมีประสบการณ์ในการพิจารณาเลือกวิธีการทดสอบให้เหมาะสม

2. การทดสอบด้วยจักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer test) จักรยานวัดงานเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ (Cycle ergometer หรือ Stationary bicycle ergometer) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกกำลังกาย และการทดสอบสมรรถภาพในห้องปฏิบัติการหรือการทดสอบทางคลินิก เช่น การทดสอบสมรรถภาพทางด้านแอโรบิก (Aerobic fitness) และการทดสอบสมรรถภาพทางด้านแอนแอโรบิก (Anaerobic fitness) ข้อดีของจักรยานวัดงาน คือ ราคาถูก เคลื่อนย้ายสะดวก ผู้ทดสอบจะให้ความร่วมมือมากกว่าการใช้ลู่วิ่ง และยังสามารถนำจักรยานวัดงานที่มีลักษณะแบบตั้งตรง (Upright) หรือแบบเอนนอน (Reclining) มาทำการทดสอบได้ ส่วนข้อเสียเปรียบเทียบในการทดสอบพบในผู้หญิง ผู้สูงอายุ และผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับการปั่นจักรยานการปั่นจักรยานทำให้เกิดความหนักกับกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) จึงเกิดความล้าต่อกล้ามเนื้อ และจำกัดสมรรถภาพของระบบไหลเวียนก่อนจะถึงระดับสูงสุด โดยทั่วไปการใช้จักรยานวัดงานในการทดสอบจะขึ้นอยู่กับแรงจูงใจของผู้ทดสอบ ถ้าจำนวนรอบในการปั่นลดลงจะส่งผลต่อการใช้ออกซิเจนลดลงด้วย ความล้าของผู้ทดสอบจะมีผลทำให้หยุดการทดสอบก่อนถึงเวลาที่กำหนด และจะทำให้การประเมินค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนต่ำไปด้วย การทดสอบด้วยจักรยานวัดงานประกอบด้วยตัวบ่งชี้แรงต้าน และจำนวนรอบในการปั่น/ นาที (rpm) การเริ่มต้นของระดับความหนักในการทดสอบ (Power output) การเพิ่มขึ้นของระดับความหนักหรือกำลังงานจะใช้ผลของอัตราการเต้นของหัวใจที่สะท้อนกลับมา โดยทั่วไปวิธีที่นิยมในการทดสอบด้วยจักรยานวัดงานประกอบด้วยวิธีการทดสอบของ Astrand-Rhyming, Fox, McArdle, ACSM และ YMCA (Heyward, 2002) ผู้ทดสอบมีสุขภาพดีเริ่มต้นจากระดับความหนักที่ 50 วัตต์ สำหรับผู้หญิง และ 100 วัตต์ สำหรับผู้ชาย และเพิ่มระดับความหนักที่ 25 - 30 วัตต์ทุก ๆ 2 - 3 นาที สำหรับผู้ปวยระดับความหนักควรเริ่มต้นจาก 25 - 50 วัตต์ และเพิ่มระดับความหนักที่ 5 - 25 วัตต์ ในแต่ละช่วงของการทดสอบ ที่ความหนักของงานระดับสูงสุด (Maximal bicycle ergometer test) การใช้จักรยานวัดงานเป็นที่นิยมเมื่อเทียบกับเครื่องลู่วิ่งสามารถยกเคลื่อนที่ได้ ใช้พื้นที่ทดสอบน้อย และติดตั้งเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) และเครื่องทดสอบความดันโลหิตได้ ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ได้โดยทั่วไปจะต่ำกว่าค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการใช้เครื่องลู่วิ่ง อาทิ วิธีการทดสอบของ บี คอน แฟรงค์, พี เอ โมแล เป็นต้น จักรยานวัดงานที่คิดคำนวณกำลังงานได้ เรียกว่า Mechanically brake cycle ergometer เช่น จักรยานวัดงานยี่ห้อ Monark ยี่ห้อ Body guard และยี่ห้อ Tuntury เป็นต้น โดยจักรยานวัดงานยี่ห้อ Monark และยี่ห้อ Body guard นั้น จะมีเส้นรอบวงของล้อยาวประมาณ 1.62 เมตร เมื่อบั่นให้หมุน 1 รอบบันได ล้อจักรยานจะหมุน 3.7 รอบ ดังนั้นในการปั่นจักรยาน 1 รอบบันได จะได้ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งหมดประมาณ 6 เมตร ส่วนจักรยานวัดงานยี่ห้อ Tuntury นั้นเมื่อบั่นจักรยานวัดงานไป 1 รอบ

จะได้ระยะทาง 3 เมตร (Gledhill & Jamnik, 1995) ถ้าหากต้องการที่จะทราบว่าจักรยานวัดงานที่เราใช้เมื่อ ปั่น 1 รอบแล้วจะเคลื่อนที่ได้ระยะทางกี่ เมตร ก็สามารถตรวจสอบได้โดยวิธีการดังนี้

วัดเส้นรอบวงของล้อจักรยาน โดยวัดที่ตำแหน่ง รองสายรัดซึ่งทำให้เกิดแรงต้านให้ออกแรงปั่น 1 รอบบันได แล้วคว่ำวงล้อจักรยานหมุนได้ก็รอบ จากนั้นให้นำจำนวนรอบที่วงล้อหมุนไปคูณกับเส้นรอบวงล้อที่วัดได้ Flood (1996) ได้เสนอตัวอย่างในการคิดคำนวณกำลังงานในการปั่นจักรยานวัดงานดังนี้ คือ ในการปั่นจักรยานวัดงานยี่ห้อ Monark โดยใช้ความหนัก 3 กิโลกรัม ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที กำลังงาน (Power output) ที่ ได้จะเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{กำลังงาน (Power output)} &= 3 \text{ กก. (kg)} \times 6 \text{ เมตร (m)} \times 50 \text{ รอบต่อนาที (rev.min}^{-1}\text{)} \\ &= \frac{900}{6} \text{ กก.เมตรต่อนาที (kgm. min}^{-1}\text{)} \\ &= 150 \text{ วัตต์ (Watts)}\end{aligned}$$

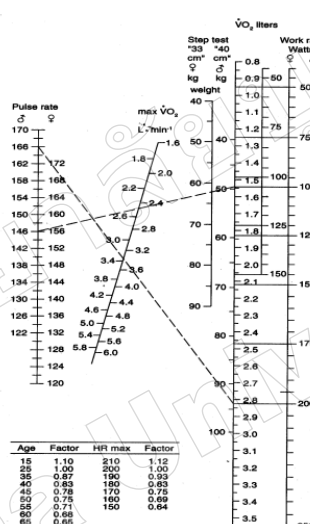
โดย 1 วัตต์มีค่าเท่ากับ 6.12 กก.เมตรต่อนาที หรืออาจใช้ค่าประมาณ คือ 6 กก.เมตรต่อนาทีก็ได้ (American College of Sports Medicine, 2000) การแปลงค่ากำลังงานนั้นสามารถใช้ตารางสำเร็จรูปดังตารางที่ 24

การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยจักรยานวัดงานโดยทั่วไปการทดสอบสามารถแบ่งการทดสอบโดยการออกกำลังกายที่ระดับความสามารถสูงสุด (Maximal exercise test) และการทดสอบโดยการออกกำลังกายที่ระดับความสามารถเกือบสูงสุด (Submaximal exercise test) รวมไปถึงการทดสอบโดยใช้การออกกำลังกาย (Exercise tests) และการทดสอบโดยไม่ใช้การออกกำลังกาย (Non-exercise tests) อย่างไรก็ตามวิธีการทดสอบที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถวัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุด คือ วิธีการทดสอบโดยการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์หิวเคราะห์ก๊าซ (Gas analyzer) ซึ่งใช้หลักการและวิธีการเช่นเดียวกับวิธีการหาพลังงานที่ใช้ในขณะออกกำลังกายด้วยวิธีการวัดความร้อนทางอ้อม (Indirect calorimetry)

วิธีการของออสตรานด์และไรมิง (Astrand-Ryhming test)

วิธีการของ Astrand and Ryhming ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1954 เป็น การทดสอบแบบระดับเดียวโดยใช้โนโมแกรม (Nomogram) ในการทำนาย ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากอัตราการเต้นหัวใจที่ตอบสนองต่องานในนาที่ที่ 6 ระดับความหนักของงานที่ทำในวิธีการนี้จะมีผลให้อัตราการเต้นหัวใจ อยู่ระหว่าง 125 และ 170 ครั้งต่อนาที งานเริ่มต้นสำหรับผู้ชาย 600-900 กิโลกรัม.เมตรต่อนาที (100-160 วัตต์) และสำหรับผู้หญิง คือ 450-600 กิโลกรัม.เมตรต่อนาที

(75-100 วัตต์) ถ้าหากเป็นผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายต่ำ หรือผู้สูงอายุ ความหนักของงานเริ่มต้นที่ใช้คือ 300 กิโลกรัม.เมตรต่อนาที หรือ 50 วัตต์ระหว่างการทดสอบจะทำการวัดอัตราการเต้นหัวใจทุกนาทีหากอัตราการเต้นหัวใจในนาทีที่ 5 และ 6 ต่างกันเกิน 5 ครั้งต่อนาที ก็ให้ทดสอบต่อไปจนกระทั่งอัตราการเต้นหัวใจอยู่ในช่วง ภาวะคงที่ (steady-state) และให้เพิ่มเวลาของการทดสอบอีก 1 นาที การทดสอบที่ระดับเกือบสูงสุดโดยนำอัตราการเต้นหัวใจ จากการทดสอบและงานที่ทำได้ไปกำหนดจุดลงบน โนโมแกรม (Nomogram) และลากเส้นเชื่อมจุด 2 จุด เพื่อจะประเมินค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดซึ่งวิธีการนี้จะมีค่าความเที่ยงตรงค่อนข้างสูง โดย $r = 0.74$



ภาพที่ 3 แผนภูมิมาตรฐานของ Astrand-Ryhming Nomogram (Heyward, 2002)

ชัยสิทธิ์ ลิขณะวานิชพันธ์ และคณะ (2533) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาถึงแผนภูมิมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ในนักกีฬาไทยโดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาชาย ซึ่งมีอายุ ระหว่าง 16-30 ปีจำนวน 19 คน แบ่งเป็นกลุ่มที่มีระดับสมรรถภาพทางกายสูง (Trained group) จำนวน 10 คน และกลุ่มที่มีระดับสมรรถภาพทางกายดีเยี่ยม (Well-trained group) จำนวน 9 คน โดยช่วงแรกได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการทดสอบโดยใช้จักรยานวัดงาน 3 วิธี ผลการวิจัยพบว่า ค่า VO_{2max} ที่ได้วิธีของออสตรานด์และไรมิงมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีของ เบนิสเตอร์และลิกก์ และวิธีการวัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 เฉพาะในกลุ่มสมรรถภาพทางกายดีเยี่ยมเท่านั้น แต่ค่า VO_{2max} ที่ได้จากวิธีของเบนิสเตอร์และลิกก์และวิธีการวัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในกลุ่มที่มีระดับสมรรถภาพทางกายดีเยี่ยมและกลุ่มที่มีระดับ

สมรรถภาพทางกายสูง นอกจากนั้นค่าความสัมพันธ์ของค่า VO_{2max} ที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 วิธี พบว่ามีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง ($r \geq 0.87$)

พานิช ไชยศรี และคณะ (2538) ได้ทำการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์เครื่องมือทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยจักรยานวัดงาน 2 แบบ คือ จักรยานวัดงานยี่ห้อ Monark bicycle ergometer และจักรยานวัดงานยี่ห้อ Cateye bicycle ergociser รุ่น E.C. 1000 และ E.C. 1200 โดยจักรยานวัดงานดังกล่าว นำมาใช้ทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทั้งหมด 5 วิธี คือ

1. วิธีของออสตรานด์และไรมิง (Astrand & Rhyming)
2. วิธีของโปรแกรมทดสอบ (Test mode) ของแคทอาย E.C. 1000
3. วิธีของโปรแกรมทดสอบ (Test Mode) ของแคทอาย E.C. 1200
4. วิธีประยุกต์จากโปรแกรม (Manual mode) ของแคทอาย E.C. 1000 โดยใช้วิธีของออสตรานด์ และไรมิง (Astrand & Rhyming)
5. วิธีประยุกต์จากโปรแกรม (Manual mode) ของแคทอาย E.C. 1200 โดยใช้วิธีของออสตรานด์ และไรมิง (Astrand & Rhyming)

โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยมีทั้งหมด 127 คน แบ่งเป็นกลุ่มของกำลังพลของกองพันอากาศโยธิน กองบิน 41 จำนวน 40 คน นักเรียนพลตำรวจชายแดน ค่ายนเรศวรมหาราชจำนวน 42 คน และนักศึกษาวิทยาลัยพลศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 45 คน (ชาย 21 คน หญิง 24 คน) ผลการวิจัยพบว่าค่า VO_{2max} ที่ได้จากวิธีของออสตรานด์ และไรมิงที่ระดับงาน 300, 600 และ 900 กิโลกรัม.เมตรต่อนาที กับค่าที่ได้จากวิธีทดสอบตามโปรแกรมทดสอบ Test mode ของ แคทอาย E.C. 1000 และ E.C. 1200 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกระดับความหนัก และค่า $VO_2 max$ ที่ได้จากวิธีของออสตรานด์และไรมิง กับค่าที่ได้ จากวิธีประยุกต์จากโปรแกรม Manual mode ของแคทอาย E.C. 1000 และ E.C. 1200 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังนั้นจึงสามารถนำจักรยานวัดงานแคทอาย (Cateye bicycle ergociser) รุ่น E.C. 1000 และ E.C. 1200 มาใช้ในการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยใช้แบบทดสอบตามวิธีของออสตรานด์และไรมิงได้

วิธีการทำนาย (Prediction methods) โดยให้ผู้รับการทดสอบทำงานหนักในระดับสูงสุด (Maximal work load) หรือทำงานหนักระดับเกือบสูงสุด (Submaximal work load) ซึ่งการทำงานหนักระดับเกือบสูงสุดจะใช้ระยะเวลาประมาณ 5 - 10 นาที ไม่ถึงกับหมดแรงเพื่อประมาณค่าสูงสุดของความสามารถในการใช้ออกซิเจน ของร่างกายวิธีนี้สะดวกเพราะใช้เวลาในการทดสอบน้อย วิธีการไม่ยุ่งยาก และนอกจากนี้ การทำงานหนักระดับเกือบสูงสุด (Submaximal work load)

ยังสามารถหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้กับผู้เข้ารับการทดสอบ ดังนั้น จึงมีการตัดสิน การวัดความสามารถในการทำงานของร่างกายระดับเกือบสูงสุด (Submaximal work load) เพื่อประมาณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดวิธีนี้มีประโยชน์เพราะเป็นวิธีที่ง่ายกว่าไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสะดวกในการทดสอบกับผู้ทำการทดสอบจำนวนมากในสถานที่ทั่ว ๆ ไปได้ และผู้วิจัยสามารถตัดปัญหาเรื่องแรงจูงใจของผู้เข้ารับการทดสอบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในเรื่องสมรรถภาพทางกาย และหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในผู้ที่สุขภาพไม่แข็งแรงหรือผู้สูงอายุ (Davey, 1987, p. 188)

3. การทดสอบด้วยการก้าวขึ้น-ลง (Bench stepping test) การทดสอบด้วยการก้าวขึ้นลง ที่ความหนักของงานระดับสูงสุด (Bench stepping maximal exercise test) ได้แก่ การทดสอบการก้าวขึ้นบนม้านั่งโดยวิธีของ Nagle Balke และ Naughton ทดสอบปฏิบัติโดยการก้าวขึ้นลงม้านั่ง 4 ครั้ง เรียก 1 ชุดการก้าวใช้อัตราเร็วของการก้าวขึ้น-ลง 30 ชุดการก้าว/นาที และใช้เครื่องที่สามารถปรับความสูงของม้านั่งแบบอัตโนมัติโดยให้ความสูงของม้านั่งสูง 2 - 50 เซนติเมตร หรือ 0.8 - 19.6 นิ้ว จัดให้ม้านั่งเริ่มต้นที่ความสูง 2 เซนติเมตรทุก ๆ 1 นาที ตั้งเครื่องให้จังหวะ 120 (30 x 4) ครั้ง/ นาที หยุดการทดสอบเมื่อผู้ทดสอบอ่อนล้า หรือก้าวต่อไปไม่ไหว ไม่สามารถก้าวขึ้นลงตามจังหวะที่กำหนดไว้ได้ การคำนวณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดใช้สมการของ ACSM ดังนี้ (Heyward, 1998)

$$VO_2\max \text{ (ml/kg}^{-1}\text{/ min}^{-1}\text{)} = \text{Horizontal component} + \text{Vertical component}$$

$$\text{Horizontal component (H)} = \text{Stepping rate} \times 0.35$$

$$\text{Vertical component (V)} = \text{Bench height (m)} \times \text{Stepping rate} \times 1.33 \times 1.8$$

การแปลผลโดยใช้สมการแปลผลของ ACSM (ACSM Stepping equation) คำนวณความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการที่ได้กำหนดความสูงของอุปกรณ์ทดสอบและจังหวะในการก้าวขึ้น-ลง วิธีการทดสอบก้าวขึ้นลงบันไดที่ความหนักระดับสูงสุด (Bench stepping maximal exercise test) โดยที่สามารถกำหนดความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ จำนวนครั้งของการก้าวขึ้นลงบันได ความหนักของงานและระยะเวลาของการทดสอบ (Heyward, 1998) สมการดังนี้คือ

$$\text{Work (kg/m. min}^{-1}\text{)} = \text{Step height (m)} \times \text{Body weight (kg)} \times \text{Stepping rate}$$

$$\text{Step height (m)} = \text{Work (kg/m. min}^{-1}\text{)} / \text{Body weight (kg)} \times \text{Stepping rate}$$

$$\text{Stepping rate (steps. min}^{-1}\text{)} = \text{work (kg/m/min}^{-1}\text{)} / \text{body weight (kg)} \times \text{step height (m)}$$

โดยที่	Step height	=	ความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ หน่วยเป็นเมตร
	Stepping rate	=	จังหวะการก้าวขึ้น-ลง หน่วยเป็นรอบต่อนาที
	Body weight	=	น้ำหนัก หน่วยเป็นกิโลกรัม
	Work	=	ความหนักของงาน หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อ เมตรต่อนาที

อีกทางเลือกหนึ่ง กำหนดให้ความสูงของอุปกรณ์ทดสอบคงที่ และมีการเปลี่ยนจังหวะการก้าวในแต่ละช่วงของการทดสอบ ยกตัวอย่างเช่น ความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ 30 เซนติเมตร (0.30 เมตร) ผู้ทดสอบน้ำหนัก 60 กิโลกรัม ทดสอบที่ความหนักของงาน 450 กิโลกรัมเมตรต่อนาที ต้องคำนวณจังหวะการก้าวดังต่อไปนี้

$$\text{Stepping rate (steps. min}^{-1}\text{)} = 450 \text{ (kg/m/min}^{-1}\text{)} / [60 \text{ (kg)} \times 0.30 \text{ (m)}] = 25 \text{ steps/min}^{-1}$$

ในการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการเผาผลาญ จะใช้สมการเผาผลาญของ ACSM (ACSM Stepping equation) เพื่อประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2) จะใช้ความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ จำนวนครั้งของการก้าวขึ้นลงของช่วงของการทดสอบสุดท้ายในการคำนวณ ดังสมการต่อไปนี้ (Heyward, 1998)

$$\text{VO}_2 \text{ (ml/kg}^{-1}\text{/min}^{-1}\text{)} = (F \times 0.2) + (ht \times F \times 1.8) + 3.5$$

โดย VO_2 = ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในแต่ละช่วงของการทดสอบ
(Submaximal work load, SM)

F = จำนวนครั้งในการก้าวขึ้น-ลง หน่วยเป็นรอบต่อนาที

Ht = ความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ หน่วยเป็นเมตร

การทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดที่ความหนักระดับสูงสุด เป็นวิธีการที่มีการเพิ่มความหนักของงานเพิ่มระดับความสูงของอุปกรณ์การทดสอบ และการเพิ่มจังหวะในการก้าวขึ้นลงในแต่ละช่วงของการทดสอบตามที่กำหนด แต่ทั้งนี้ต้องดูพื้นฐานร่างกายของผู้ทดสอบแต่ละคนเพราะถ้าในการทดสอบใช้อุปกรณ์ที่มีความสูงมากจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการล้า ทำให้ต้องหยุดการทดสอบก่อนจะถึงเวลาของการทดสอบ และได้ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไปมาก ดังนั้นผู้วิจัยต้องทำการศึกษาขั้นตอนและวิธีการให้เข้าใจเพื่อกำหนดความสูงของอุปกรณ์ หรือจังหวะการก้าวให้เหมาะสมมากที่สุดการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดที่ความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุดการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดที่ความหนักระดับต่ำกว่าสูงสุด (Bench stepping submaximal exercise test) (American College of Sports Medicine, 2000)

โดยทั่วไปนิยมการทดสอบของ Astrand-Rhyming และ Queen college ซึ่งทั้งสองวิธีการทดสอบนี้จะใช้ชีพจรในระยะพักฟื้นในการทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และอีกวิธีหนึ่งก็คือการใช้ชีพจรขณะออกกำลังกายมาคำนวณ โดยใช้สมการเผาผลาญของ ACSM (ACSM Stepping equation) จากการทดสอบก้าวขึ้นลงบันได ด้วยการกำหนดความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ จำนวนครั้งของการก้าวขึ้นลงบันได และความหนักของงานในการทดสอบ (Heyward, 1998) เช่น Harvard step test, Home step test, Astrand - Rhyming step test, ACSM Step test, Queen's college step test ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การทดสอบก้าวขึ้นลงบันได ด้วยการกำหนดความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ จำนวนครั้งของการก้าวขึ้นลงบันได และระยะเวลาในการทดสอบ (Heyward, 1998)

การทดสอบ	จังหวะ (ครั้ง/ นาที)		ความสูง (นิ้ว)		ระยะเวลา (นาที)	
	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง
- Harvard step test	120	120	20	18	5	4
- Home step test	96	88	12	12	3	3
- Astrand - Rhyming step test	90	90	15 ^{3/4}	13	5	5
- Queen's college step test	96	88	16.25	16.25	3	3
- ACSM Step test	ACSM Stepping equation					

ตารางที่ 9 วิธีการคิดคะแนนการทดสอบก้าวขึ้นลงบันได (Heyward, 1998)

การทดสอบ		การคิดคะแนน
		$\text{Index} = \frac{100 \times (\text{ระยะเวลาของการออกกำลังกายในหน่วยเวลานาที})}{2 \times (\text{ผลรวมของชีพจรในช่วงฟื้นตัว})}$
- Harvard step test	Index =	
- Home step test		วัดชีพจรนำค่าเทียบกับตาราง
- Astrand - Rhyming step test	แทนค่า	ผู้ชาย $\text{VO}_2\text{max (L.kg}^{-1}\text{/min}^{-1}) = 3.744[(\text{BW}+5) / (\text{HR}-62)]$
	สมการ	ผู้หญิง $\text{VO}_2\text{max (L.kg}^{-1}\text{/min}^{-1}) = 3.750 [(\text{BW}-3) / (\text{HR}-65)]$
- ACSM Step test		Multi stage model
- Queen's college step test	แทนค่า	เพศชาย: $\text{VO}_2\text{max (ml/kg-1/ min-1)} = 111.33 - 0.42 (\text{RHR})$
	สมการ	เพศหญิง: $\text{VO}_2\text{max (ml/kg-1/ min-1)} = 65.81 - 0.1847 (\text{RHR})$

Harvard step test (Brouha, 1943)

การก้าวขึ้น-ลงแบบ ฮาร์วาร์ด เป็นการทดสอบสมรรถภาพของระบบหัวใจและไหลเวียน โดยถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1943 ในห้องทดลองของมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ดสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดย Brouha และคณะ ซึ่งการทดสอบนี้มีลักษณะเด่นที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและใช้อุปกรณ์น้อย การทดสอบนี้ใช้การเดินก้าวขึ้นลงกล่องไม้สูง 20 นิ้ว สำหรับผู้ชาย และ 18 นิ้ว สำหรับผู้หญิง และระยะเวลาของการออกกำลังกายและอัตราการเต้นหัวใจขณะฟื้นตัว (Recovery HR) มาคำนวณ หาค่าดัชนีของความสามารถในการจับออกซิเจน (Index of aerobic capacity)

$$\text{Index} = \frac{100 \times (\text{ระยะเวลาของการออกกำลังกายในหน่วยเวลานาที})}{2 \times (\text{ผลรวมของชีพจรในช่วงฟื้นตัว})}$$

ผลรวมของชีพจร ในนับอัตราการเต้นหัวใจใน 1-1.5 นาทีแรก, 2-2.5 นาที และ 3-3.5 นาที แล้วรวมอัตราการเต้นของหัวใจที่จับทั้ง 3 ครั้ง ค่าดัชนีที่คำนวณได้สามารถเทียบคะแนนได้ดังนี้

ตารางที่ 10 ค่าระดับสมรรถภาพของคนอายุ 16 ปี เมื่อวัดโดยวิธี Harvard step test
(Mackenzie, 2007)

ค่าระดับสมรรถภาพ	ระดับ
>90	ยอดเยี่ยม
80-89	ดี
65-79	สูงกว่าเกณฑ์
55-64	ต่ำกว่าเกณฑ์
<55	แย่มาก

วิธีการทดสอบ

1. ตั้งเครื่องให้จังหวะที่ 120 ครั้ง/นาที เพื่อให้อัตราการก้าวขึ้นลง 30 ครั้งต่อนาที
2. ในจังหวะการก้าวขึ้นลงนั้นให้นับ 4 ครั้ง นับครั้งที่ 1 ให้วางเท้าบนกล่องไม้ (step) นับครั้งที่สอง ให้ก้าวอีกข้างก้าวขึ้นบน step และยืนตรง นับครั้งที่ 3 ให้เท้าที่ก้าวขึ้นก่อนนั้นก้าวลงมาถึงพื้น และนับครั้งที่ 4 ก้าวเท้าอีกข้างตามลงมา
3. ให้ก้าวขึ้นลงด้วยอัตรา 30 ครั้งต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาทีสำหรับชาย และ 4 นาทีสำหรับหญิง หรือจนกระทั่งเหนื่อย (Exhaustion) หรืออัตราการก้าวขึ้นลงช้าเกินไป
4. เมื่อการทดสอบสิ้นสุดให้ผู้ถูกทดสอบนั่งลงทันที บันทึกระยะเวลาที่ออกกำลังกาย และจับชีพจร (30 วินาที) ใน 1-1.5 นาทีแรก, 2-2.5 นาทีที่ 2 และ 3-3.5 นาทีที่ 3 และรวมจำนวนชีพจร

Home step test (Mackenzie, 2005)

เป็นการทดสอบโดยใช้ กล่องที่มีความสูง 12 นิ้วหรือ 30 เซนติเมตร โดยก้าวขึ้น-ลงกล่อง 22 รอบสำหรับเพศหญิงและ 24 รอบสำหรับเพศชาย โดยก้าวขึ้นลงตามจังหวะที่ตั้งโดยเครื่องตั้งจังหวะ ตั้งไว้ที่ 88 ครั้งต่อนาทีสำหรับเพศหญิงและ 96 ครั้งต่อนาทีสำหรับเพศชาย ก้าวขึ้น-ลง เป็นเวลา 3 นาที หลังจากหยุดให้ผู้ถูกทดสอบยืนและวัดชีพจรเป็นเวลา 15 วินาที นำค่าที่ได้มาคูณด้วย 4 นำค่าที่ได้ไปเทียบกับตารางเพื่อดูระดับสมรรถภาพ ดังแสดงในตารางที่ 11 และตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ค่าระดับสมรรถภาพของเพศชายในช่วงอายุต่าง ๆ เมื่อวัดโดยวิธี Home step test

อายุ	อายุ					
	18-25	26-35	36-45	46-55	65-65	65+
ยอดเยี่ยม	<79	<81	<83	<87	<86	<88
ดี	79-89	81-89	83-96	87-97	86-97	88-96
สูงกว่าเกณฑ์	90-99	90-99	97-103	98-105	98-103	97-103
ต่ำกว่าเกณฑ์	100-105	100-107	104-112	103-116	104-112	104-113
แย่	106-105	108-117	113-119	117-122	113-120	114-120
ต่ำ	117-128	118-128	120-130	123-132	121-129	121-130
ต่ำมาก	>128	>128	>130	>132	>129	>130

ตารางที่ 12 ค่าระดับสมรรถภาพของเพศหญิงในช่วงอายุต่าง ๆ เมื่อวัดโดยวิธี Home step test

อายุ	อายุ					
	18-25	26-35	36-45	46-55	65-65	65+
ยอดเยี่ยม	<85	<88	<90	<94	<95	<90
ดี	85-98	88-99	90-102	94-104	95-104	90-102
สูงกว่าเกณฑ์	99-108	100-111	103-110	105-115	105-112	103-115
ต่ำกว่าเกณฑ์	109-117	112-119	111-118	116-120	113-118	116-122
แย่	118-126	120-126	119-128	121-129	119-128	123-128
ต่ำ	127-140	127-138	129-140	130-135	129-139	129-134
ต่ำมาก	>140	>138	>140	>135	>139	>134

Astrand - Rhyming step test

การทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได วิธีนี้สามารถใช้แผนภูมิมาตรฐานของ Astrand และ Rhyming (Astrand - Rhyming nomogram) ในการทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2 \text{ max}$) โดยใช้ชีพจร (Heart rate) หลังสิ้นสุดการทดสอบ และน้ำหนักตัว (Body weight) ของผู้ทดสอบมาทำนายด้วยแผนภูมิมาตรฐานสำหรับวิธีการทดสอบนี้ผู้ทดสอบจะใช้จังหวะในการก้าว 22.5 รอบต่อนาที (ปรับเครื่องให้จังหวะ 90 ครั้งต่อนาที) ระยะเวลาในการทดสอบ 5 นาที

ความสูงอุปกรณ์ทดสอบ 33 เซนติเมตร (13 นิ้ว) สำหรับผู้หญิงและ 40 เซนติเมตร ($15^{3/4}$ นิ้ว) สำหรับผู้ชาย จับชีพจรหลังจากการทดสอบ จากการนับทันทีหลังจากการทดสอบระหว่าง 15 และ 30 วินาที (โดยเปลี่ยนจำนวนครั้งที่จับชีพจรได้ใน 15 วินาทีคูณด้วย 4) หรือนำมาแทนค่าในสมการที่ใช้คำนวณความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งมีหน่วยเป็นลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ($\text{L.kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$) ดังสมการในการคำนวณดังนี้ (Heyward, 1998)

$$\text{ผู้หญิง } \text{VO}_2 \text{ max } (\text{L.kg}^{-1}/\text{min}^{-1}) = 3.750 [(BW-3) / (HR-65)]$$

$$\text{ผู้ชาย } \text{VO}_2 \text{ max } (\text{L.kg}^{-1}/\text{min}^{-1}) = 3.744[(BW+5) / (HR-62)]$$

โดยที่ HR = การจับชีพจรในช่วงระยะพักฟื้นเป็นเวลา 15 วินาที คูณ ด้วย 4
หน่วยเป็นครั้ง/นาที

BW = น้ำหนักตัว หน่วยเป็นกิโลกรัม

เพื่อความเหมาะสมในการทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากแผนภูมิมาตรฐาน (Nomogram) ผู้ทดสอบที่มีอายุตั้งแต่ 15-65 ปี ให้ใช้อัตราที่แปลงตามอายุของผู้ทดสอบมาคูณ ดังตารางที่ 13 ดังนี้

ตารางที่ 13 ค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุ (Age factor) เพื่อทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของ Astrand และ Rhyiming

อายุ (ปี)	ค่าปัจจัย	อายุ (ปี)	ค่าปัจจัย
15	1.10	50	0.75
25	1.00	55	0.71
35	0.87	60	0.68
40	0.83	65	0.65
45	0.78		

จากตารางที่ 12 เพื่อความเหมาะสมในการทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากแผนภูมิมาตรฐาน (Nomogram) ที่ส่งผลต่ออายุ ยกตัวอย่างเช่น ผู้ทดสอบอายุ 40 ปี น้ำหนัก 60 กิโลกรัม จับชีพจรหลังจากการทดสอบได้ 33 ครั้งต่อนาทีโดยเปลี่ยนจำนวนครั้งที่จับชีพจรได้ใน 15 วินาทีคูณด้วย 4 ชีพจรที่วัดได้หลังสิ้นสุดการทดสอบเท่ากับ 132 ครั้งต่อนาที ปริมาณ

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากแผนภูมิมาตรฐาน เท่ากับ 3.5 ลิตรต่อนาทีที่ปรับเปลี่ยนค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยใช้อัตราที่ดัดแปลงตามอายุเท่ากับ 2.82 ลิตรต่อนาที ($3.5 \times 0.83 = 2.905$ ลิตรต่อนาที) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการใช้จักรยานวัดงานทดสอบด้วยวิธีของออสตรานด์ และจากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดด้วยวิธีของออสตรานด์

จิตตรามณี ประสงค์เจริญ (2531) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในนักเรียนชายชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 100 คน ผลการวิจัยพบว่า ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการใช้จักรยานวัดงานทดสอบด้วยวิธีของออสตรานด์ มีค่าเท่ากับ 45.62 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที และค่าได้จากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดด้วยวิธีของออสตรานด์ มีค่าเท่ากับ 49.91 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 วิธีอยู่ในเกณฑ์ดีเช่นเดียวกัน และความสัมพันธ์ของวิธีการทดสอบทั้ง 2 วิธีการ มีค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.845 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง จึงสรุปผลการวิจัยได้ว่าการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดด้วยวิธีของออสตรานด์สามารถใช้ทดสอบได้เช่นเดียวกับการใช้จักรยานวัดงานทดสอบด้วยวิธีของออสตรานด์ เพราะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

ACSM (ACSM Step test)

สุภาวดี กลสิกรรม (2548) วิธีการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดโดยทั่วไปสามารถกำหนดความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ จำนวนครั้งของการก้าวขึ้นลงบันได ระยะเวลาการทดสอบ และความหนักของงาน วิธีการทดสอบนี้ต้องใช้ช่วงในการทดสอบ 2 ช่วงการทดสอบ (Stage) ใช้ชีพจรขณะออกกำลังกายมาคำนวณความสามารถในการใช้ออกซิเจนในแต่ละช่วงของการทดสอบแทนค่าในสมการเผาผลาญของ ACSM (ACSM Stepping equation) ดังต่อไปนี้

$$\text{VO}_2 (\text{ml} / \text{kg}^{-1} / \text{min}^{-1}) = (F \times 0.2) + (\text{ht} \times F \times 1.33 \times 1.8) + 3.5$$

โดยที่ VO_2 = ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในแต่ละช่วงการทดสอบ

(Submaximal word load, SM)

F = จำนวนครั้งในการก้าวขึ้น-ลง หน่วยเป็นรอบต่อนาที

Ht = ความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ หน่วยเป็นเมตร

นำค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนในแต่ละช่วงการทดสอบค่าในสมการใช้ Multi stage model คำนวณความชันของกราฟระหว่างความหนักของงาน slope (b) และคำนวณความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Slope (b)} = \frac{(\text{SM2} - \text{SM1})}{\text{HR2} - \text{HR1}}$$

$$\text{VO}_2 \text{ max (ml/kg}^{-1}\text{/min}^{-1}\text{)} = \text{SM2} + \text{b (HRmax - HR2)}$$

- โดยที่ b = ความชันของกราฟระหว่างความหนักของงาน (work load)
- SM1 = ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) ในช่วงการทดสอบที่ 1 (Submaximal work load at stage I, SM1)
- SM2 = ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) ในช่วงการทดสอบที่ 2 (Submaximal work load at stage II, SM2)
- HR1 = ชีพจรในขณะออกกำลังกายช่วงการทดสอบที่ 1
- HR2 = ชีพจรในขณะออกกำลังกายช่วงการทดสอบที่ 2
- HRmax = อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด มีค่าเท่ากับ 220 - อายุ

Yoopat Vanwonderghem and Louhevaara (2002) ได้ทำการศึกษาความแม่นยำตรงจากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดโดยการจับชีพจรขณะออกกำลังกายเปรียบเทียบกับทดสอบด้วยจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักสูงสุด เพื่อประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\text{VO}_{2\text{max}}$) อาสาสมัครเป็นผู้ที่มีสุขภาพดี ประกอบด้วยผู้ชายจำนวน 18 คน และผู้หญิง 17 คน อายุระหว่าง 19 - 20 ปี อาสาสมัครทุกคนจะต้องทำการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ทดสอบที่ระดับความหนักสูงสุดจักรยานวัดงาน วัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ จำนวนรอบในการปั่น 50 รอบ/นาที ระดับความหนักของงานเริ่มต้นที่ 50 วัตต์ และเพิ่มขึ้น 25 วัตต์ ทุก ๆ 2 นาที จนกระทั่งถึงชีพจรเป้าหมาย (Target heart rate) 90% ในผู้ชาย และ 85% ในผู้หญิง หาได้จาก 220 - อายุ (ปี) คำนวณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากสมการเชิงเส้น ระหว่างชีพจรกับปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายจากการบันทึกผลทุก ๆ 30 วินาที

2. ทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได ใช้อุปกรณ์ทดสอบสูง 22 เซนติเมตร จังหวะการก้าว ขึ้น-ลง 25 รอบ/นาที ระยะเวลาในการทดสอบ 12 นาที มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได แบบที่ 1 จะบันทึกชีพจรทุก ๆ นาที เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ คำนวณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากสมการของ Von Donbeln et al. ดังต่อไปนี้

$$\text{VO}_2 \text{ max (ml/kg}^{-1}\text{/ min}^{-1}\text{)} = 1.29 \left[\sqrt{\frac{L}{\text{HR} - 60}} \right] e^{-0.00884 \cdot T}$$

โดยที่ L = ระดับความหนักของงาน หน่วยเป็นกิโลกรัมเมตร/นาที
 HR = ชีพจรเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ หน่วยเป็นครั้ง/นาที
 T = อายุ (ปี)
 e = Nepierian logarithm for age T
 L = [(f x ht x BW) + 1/3 (f x ht x BW)]
 f = จำนวนครั้งในการก้าวขึ้น-ลง หน่วยเป็นรอบ/นาที
 ht = ความสูงของอุปกรณ์ทดสอบ หน่วยเป็นเมตร
 BW = น้ำหนักตัว หน่วยเป็นกิโลกรัม

2.2 การทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได แบบที่ 2 วัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

คำนวณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ระหว่างชีพจรกับปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย จากการบันทึกทุก ๆ 30 วินาที ผลการวิจัยพบว่า การทดสอบจักรยานวัดงาน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และการจับชีพจรขณะออกกำลังกายมีความสัมพันธ์เท่ากับ 0.93 ในผู้ชาย และ 0.84 ในผู้หญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.1 ส่วนในการประมาณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\text{VO}_2 \text{ max}$) ในผู้ชายจากการทดสอบ แบบที่ 1 มีค่าต่ำกว่าการทดสอบ จักรยานวัดงาน 15% และจากการทดสอบ แบบที่ 1 มีค่าต่ำกว่า STEP 2 24% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 และในการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบ จักรยานวัดงาน กับ แบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.71 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.1 ในผู้หญิงจากการทดสอบด้วย จักรยานวัดงาน, แบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากัน และค่าความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบ จักรยานวัดงาน กับแบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.94 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่า จากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได แบบที่ 1 ในผู้ชายไม่มีความแม่นยำตรงในการประมาณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\text{VO}_2 \text{ max}$) แต่มีความแม่นยำตรงในการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได แบบที่ 1 ในผู้หญิง โดยส่วนใหญ่ในแต่ละวิธีการทดสอบ จะจับชีพจรในระยะพักฟื้นมาทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เพราะการจับชีพจรขณะออกกำลังกายในการทดสอบเป็นเทคนิคที่ยุ้งยากกว่าการใช้ชีพจรในระยะพักฟื้น ข้อดี จากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได ได้แก่ อุปกรณ์ราคาค่อนข้างถูก เคลื่อนย้ายสะดวก และเทคนิคในการปฏิบัติง่าย จึงสามารถนำมาใช้นอกห้องปฏิบัติการ เช่น ในชั่วโมงเรียนพลศึกษา เพราะสามารถดำเนินการทดสอบกับกลุ่มประชากรที่มีจำนวนมากได้

ในเวลาค่อนข้างน้อย ส่วนข้อเสีย จากการทดสอบเกิดจากการก้าวเร็ว หรือช้าเกินไป ไม่ตรงตามเครื่องให้จังหวะ หรือความสูงของอุปกรณ์ ถ้ามีระดับความสูงมาก ต้องใช้ทดสอบในเด็กวัยรุ่น หรือผู้มีสุขภาพดี สำหรับคำแนะนำเพื่อความปลอดภัย ถ้าทดสอบในผู้สูงอายุไม่ควรใช้อุปกรณ์สูงมาก และไม่ควรทดสอบกับผู้มีปัญหาเกี่ยวกับกระดูกหรือระบบประสาท ส่วนประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดจะมีความถูกต้อง และแม่นยำ ผู้ทดสอบต้องยืนในแนวตั้งตรง และไม่เอียงลำตัวไปข้างหน้ามากเกินไปขณะก้าวขึ้นบนอุปกรณ์ทดสอบ อีกทั้งค่าที่ได้จากการประเมินต่ำกว่าการทดสอบด้วยลูกล้อประมาณ 5-7% (Books et al., 1996) การทดสอบด้วยการก้าวขึ้นลงบันไดจะใช้เครื่องตั้งจังหวะ (Metronome) รักษาจังหวะในการก้าวขึ้น-ลง ซึ่งจังหวะการก้าวขึ้น-ลง 1 รอบ ให้ปรับเครื่องให้จังหวะ 4 จังหวะต่อรอบ ผู้ทดสอบยืนอยู่ด้านหน้าของอุปกรณ์ทดสอบ จังหวะที่ 1 ก้าวเท้าซ้ายขึ้นบนอุปกรณ์ จังหวะที่ 2 ก้าวเท้าขวาขึ้นตาม จังหวะที่ 3 ก้าวเท้าซ้ายลงสู่พื้น จังหวะที่ 4 ก้าวเท้าขวาลงตามสู่พื้นในตำแหน่งเดิม (American College of Sport Medicine, 2000)

Queen's college step test (Mackenzie, 2005)

เป็นการทดลองที่ใช้เวลาน้อย และสามารถใช้กับคนจำนวนมาก ๆ ได้แต่ จะไม่ใช้ในคนที่มีการหรือโรคบางอย่าง เช่น โรคหัวใจ หรือในบางคนที่มีน้ำหนักมากเกินไป หรือมีปัญหาของข้อต่อของขา ในการทดสอบจะใช้กล่องที่มีความสูง 16.25 นิ้ว หรือ 41.3 เซนติเมตร ใช้เครื่องตั้งจังหวะในการตั้งจังหวะก้าวขึ้น-ลงกล่อง โดยเพศชายจะตั้งจังหวะ 96 ครั้งต่อนาที (ก้าวขึ้น-ลง 24 ครั้งต่อนาที) และผู้หญิงจะตั้งจังหวะ 88 ครั้งต่อนาที (ก้าวขึ้น-ลง 22 ครั้งต่อนาที) โดยมีวิธีการทดสอบคือ ผู้ทดสอบสาธิตการก้าวขึ้น-ลง ให้ผู้ถูกทดสอบดูก่อน ซึ่งในการก้าวขึ้น-ลงจะนับเป็น 4 จังหวะคือ จังหวะที่ 1 ก้าวเท้าขวาขึ้นบนกล่อง จังหวะที่ 2 ก้าวเท้าซ้ายขึ้นบนกล่อง แล้วยืนตรง จังหวะที่ 3 ก้าวเท้าขวาลงจากกล่อง และจังหวะที่ 4 ก้าวเท้าซ้ายลงจากกล่อง มายืนบนพื้นทำการทดสอบเป็นเวลา 3 นาที แล้วให้ผู้ถูกทดสอบยืนนิ่ง ๆ วัดชีพจรในวินาทีที่ 5 ถึงวินาทีที่ 20 หลังจากหยุดเวลา นำค่าที่ได้มาคูณด้วย 4 จะได้ค่า Recovery heart rate (RHR) ซึ่งจะนำไปคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{เพศชาย: } \text{VO}_2\text{max (ml/kg}^{-1}\text{/ min}^{-1}\text{)} = 111.33 - 0.42 (\text{RHR})$$

$$\text{เพศหญิง: } \text{VO}_2\text{max (ml/kg}^{-1}\text{/ min}^{-1}\text{)} = 65.81 - 0.1847 (\text{RHR})$$

โดยที่ RHR (bpm) คือการจับชีพจรในช่วงระยะพักพื้นเป็นเวลา 15 วินาที คูณด้วย 4 หน่วยเป็นครั้ง/ นาที จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้มาเทียบในตารางที่ 14 และตารางที่ 15

ตารางที่ 14 ค่าระดับสมรรถภาพของชายช่วงอายุต่าง ๆ เมื่อวัดโดยวิธี Queen's college step test

ระดับ	อายุ (ปี)					
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
ยอดเยี่ยม	>60	>56	>51	>45	>41	>37
ดี	52-60	49-56	43-51	39-45	36-40	33-37
สูงกว่าเกณฑ์	47-51	43-48	39-42	36-38	32-35	29-32
ปานกลาง	42-46	40-42	35-38	32-35	30-31	26-28
ต่ำกว่าเกณฑ์	37-41	35-39	34-34	29-31	26-29	22-25
แย่	30-36	30-34	26-30	25-28	22-25	20-21
แย่มาก	<30	<30	<26	<25	<22	<20

ตารางที่ 15 ค่าระดับสมรรถภาพของหญิงช่วงอายุต่าง ๆ เมื่อวัดโดยวิธี Queen's college step test (Mackenzie, 2001)

ระดับ	อายุ (ปี)					
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
ยอดเยี่ยม	>56	>52	>45	>40	>37	>32
ดี	47-56	45-52	38-45	34-40	32-37	28-32
สูงกว่าเกณฑ์	42-46	39-44	34-37	31-33	28-31	25-27
ปานกลาง	38-41	35-38	31-33	28-30	25-27	22-24
ต่ำกว่าเกณฑ์	33-37	31-34	27-30	25-27	22-24	19-21
แย่	28-32	26-30	22-26	20-24	18-21	17-18
แย่มาก	<28	<26	<22	<20	<18	<17

Chatterjee, Chatterjee, Mukherjee and Bandyopadhyay (2004) ได้ศึกษาความเที่ยงตรงของการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดด้วยวิธีการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได (Queen college step test) ในวัยรุ่นอินเดียเพศชาย วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ศึกษาความเหมาะสมของวิธีการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดของ (Queen college step test) เพื่อประเมินความสามารถในการใช้

ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้มีสุขภาพดีจำนวน 30 คน มีค่าเฉลี่ยอายุ 22.6 ปี ความสูง 166.4 เซนติเมตร และน้ำหนักตัว 53.8 กิโลกรัม มีรายละเอียดในการทดสอบ ดังต่อไปนี้

1. ทดสอบการใช้ออกซิเจนสูงสุดวิธีวัดทางอ้อม จากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได ด้วยวิธีของ (Queen college step test) ความสูงของอุปกรณ์ 16 ¼ นิ้ว (0.406 เมตร) จังหวะการก้าว ขึ้น-ลง 24 รอบ/นาที ระยะเวลาในการทดสอบ 3 นาที เมื่อสิ้นสุดการทดสอบจะหยุดพัก 5 วินาที หลังจากนั้นจับชีพจรในระยะพักฟื้น 15 วินาที แล้วนำค่าที่ได้มาแทนค่าในสมการทำนาย ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดดังนี้

$$\text{VO}_2 \text{ max (ml/kg}^{-1}\text{/ min}^{-1}\text{)} = 111.33 - [0.42 \times \text{recovery HR (bpm)}]$$

2. ทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทดสอบจนถึงระดับความสามารถ เกือบสูงสุด ด้วยจักรยานวัดงานด้วยวิธี Muller's magnetic brake วัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ระบบวงจรเปิด ด้วยวิธี Douglas bag technique ระดับความหนักเริ่มต้นที่ 450 กิโลกรัมเมตร/ นาที เป็นเวลา 5 นาที ทันทีที่ครบเวลาจะปรับระดับความหนักเป็น 950 กิโลกรัม เมตร/ นาที หลังจากนั้น จะเพิ่มระดับความหนัก 150 กิโลกรัมเมตร/ นาที ทุก ๆ 3 นาที หยุดการทดสอบ เมื่อเกิดความเมื่อยล้า อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดถึงระดับ 90% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดซึ่งคำนวณจาก 220 - อายุ (ปี) หรือปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) อยู่ในระดับคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 100 มิลลิลิตร/ นาที แม้จะมีการเพิ่มระดับความหนักให้สูงขึ้นก็ตาม

จากผลการวิจัยพบว่า ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\text{VO}_{2\text{max}}$) จากวิธีวัด ทางอ้อมทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดด้วยวิธีของ (Queen college step test) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.3 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที และค่าที่ได้จากการทดสอบจนถึงระดับความสามารถเกือบสูงสุดด้วย จักรยานวัดงาน วัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.8 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .10 ส่วนค่าความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบ ทั้ง 2 วิธีค่าเท่ากับ 0.95 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 การวิจัยครั้งนี้จึงสรุปผลได้ว่าสามารถ นำวิธีการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดด้วยวิธี Queen college step test มาประเมินค่าความสามารถ ในการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบนอกห้องปฏิบัติการ และในกลุ่ม ประชากรขนาดใหญ่ และต่อมาในปี ค.ศ. 2005 แชทเทอร์จี และคณะ (Chatterjee et al., 2005) ได้ทำการวิจัยเรื่อง ความเที่ยงตรงของการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดด้วยวิธีของ Queen college step test ในนักศึกษาหญิง วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ศึกษาความเหมาะสมของวิธีการทดสอบ

การก้าวขึ้นลงบันไดของ Queen college step test เพื่อประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาหญิงในมหาวิทยาลัย West Bengal ในประเทศอินเดีย เป็นผู้มีสุขภาพดีจำนวน 40 คน มีค่าเฉลี่ยอายุ 21.9 ปี ความสูง 157.2 เซนติเมตร และน้ำหนักตัว 49.6 กิโลกรัม ทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดด้วยวิธีของ Queen college step test ทดสอบเป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นจับชีพจรในระยะพักฟื้น 15 วินาที แล้วนำค่าที่ได้มาแทนค่าในสมการทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดดังนี้

$$VO_2\text{max (ml/kg}^{-1}\text{/ min}^{-1}) = 65.81 - [0.1847 \times \text{recovery HR (bpm)}]$$

หลังจากนั้นทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ทดสอบจะถึงระดับความสามารถเกือบสูงสุด ด้วยจักรยานวัดงานด้วยวิธี Muller's magnetic brake วัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซระบบวงจรเปิด ด้วยวิธี Douglas bag technique ระดับความหนักเริ่มต้นที่ 300 กิโลกรัมเมตร/ นาที เป็นเวลา 5 นาที ทันทีที่ครบเวลาจะปรับระดับความหนักเป็น 600 กิโลกรัมเมตร/ นาที หลังจากนั้นจะเพิ่มระดับความหนัก 150 กิโลกรัมเมตร/ นาที ทุก ๆ 3 นาที หยุดการทดสอบเมื่อเกิดความเมื่อยล้า อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดถึงระดับ 90% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ซึ่งคำนวณจาก 220 - อายุ (ปี) หรือปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) อยู่ในระดับคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 100 มิลลิลิตร/ นาที แม้จะมีการเพิ่มระดับความหนักให้สูงขึ้นก็ตามจากผลการวิจัยพบว่าค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\text{max}$) จากวิธีวัดทางอ้อมทดสอบการขึ้นลงบันไดด้วยวิธีของ Queen college step test มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.5 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที และค่าที่ได้จากการทดสอบจนถึงระดับความสามารถเกือบสูงสุดจักรยานวัดงาน วัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.8 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ส่วนค่าเฉลี่ยสัมพันธ์ระหว่างทดสอบทั้ง 2 วิธี มีค่าความสัมพันธ์กันทางลบ ($r = 0.83$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า .0344 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/ นาที ดังนั้นจึงสรุปผล และให้คำแนะนำว่าควรจะมีการพัฒนาปรับปรุงสมการที่ใช้ทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีของ Queen college step test ขึ้นมาใหม่ เนื่องจากสมการเดิม ไม่สามารถทำนายผลได้อย่างถูกต้อง เมื่อไปทดสอบกับกลุ่มประชากรที่มีขนาดใหญ่

การทดสอบภาคสนาม (Field test)

การทดสอบภาคสนาม (Field test) เป็นการทดสอบภาคสนามที่ใช้กับคนกลุ่มใหญ่หรือใช้เมื่อมีข้อจำกัดของเวลาหรืออุปกรณ์ การเลือกใช้วิธีการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผู้วิจัยต้องศึกษาให้เข้าใจในขั้นตอน และวิธีการทดสอบ การเลือกอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับ

ผู้ทดสอบ พื้นฐานสมรรถภาพทางกายได้แก่ อายุ เพศ หรือข้อจำกัดของโรคบางชนิดเช่น โรคหัวใจ เป็นต้น ซึ่งค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบด้วยลู่วิ่ง (Treadmill test) กับการทดสอบภาคสนาม (Field test) จะได้ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดตรงกับความสามารถของผู้ทดสอบมากที่สุด เพราะทดสอบด้วยการเดิน หรือวิ่ง แต่การทดสอบด้วยลู่วิ่งจะมีการเพิ่มระดับความหนักไปเรื่อย ๆ จนถึงสิ้นสุดการทดสอบ ฉะนั้นการทดสอบภาคสนามจึงเหมาะกับผู้สูงอายุ ส่วนการทดสอบด้วยจักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer test) ค่าที่ได้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากความจริง เนื่องจากผู้ทดสอบไม่สามารถควบคุมจำนวนรอบในการปั่น จนถึงสิ้นสุด การทดสอบด้วยการก้าวขึ้นลงบันได (Bench stepping test) ผู้ทดสอบต้องควบคุมจังหวะในการก้าวขึ้นลงให้คงที่ให้ตรงกับเครื่องให้จังหวะ (Metronome) ถ้าไม่สามารถควบคุมจังหวะการก้าวให้สม่ำเสมอจะต้องหยุดการทดสอบทำให้ค่าที่เกิดความคลาดเคลื่อนไปมาก อีกทั้งยังความชำนาญ และประสบการณ์ในการจับชีพจรในขณะที่ออกกำลังกาย หรือในระยะพักฟื้น เพื่อจะนำจำนวนครั้งที่จับชีพจรได้มาคำนวณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยมีวิธีการทดสอบในภาคสนามที่ใช้กันแพร่หลายมีดังนี้ (Heyward, 1998)

การทดสอบโดยวิธีการวิ่ง 12 นาที (Twelve - minute run test)

การทดสอบโดยวิธีการวิ่ง 12 นาที เป็นการทดสอบวิ่งให้ได้ระยะมากที่สุด หรือวิ่งให้เร็วที่สุดในเวลาที่กำหนดคือ 12 นาที เมื่อสิ้นสุดการทดสอบให้วัดระยะทางเป็นเมตร และคำนวณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากสมการ

$$\text{Run } \text{VO}_2\text{max (ml/kg}^{-1}\text{/min}^{-1}) = [\text{Distance (meter)} - 504.9] / 44.73$$

การทดสอบโดยวิธีการวิ่งระยะทาง 1.5 ไมล์ (One - half mile run test)

การทดสอบโดยวิธีการวิ่งระยะทาง 1.5 ไมล์ เป็นการทดสอบโดยใช้เวลาน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เมื่อสิ้นสุดการทดสอบให้จับเวลาเป็นนาที ถ้ามีส่วนวินาที ให้ทำเป็นนาทิจำกัดด้วย 60 และ คำนวณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากสมการ

$$\text{VO}_2\text{ max (ml/kg}^{-1}\text{/min}^{-1}) = 88.02 - [0.1656 \times \text{BW}] - [2.76 \times \text{time}] + [3.716 \times \text{Gender}]$$

โดยที่ BW = น้ำหนักตัว หน่วยเป็นกิโลกรัม

Time = เวลาที่วิ่งได้ หน่วยเป็นนาที

Gender = เพศ; ชาย = 1 หญิง = 2

การทดสอบโดยวิธีการวิ่งเหยาะ 1 ไมล์ (One - mile jogging)

การทดสอบโดยวิธีการวิ่งเหยาะ 1 ไมล์ การทดสอบนี้ให้ผู้ทดสอบเลือกการก้าววิ่งเหยาะที่สะดวกที่สุด ก่อนทดสอบให้อบอุ่นร่างกายโดยการวิ่งเหยาะ 2-3 นาที และหลังการทดสอบจะวัดอัตราการเต้นของหัวใจทันที เวลาที่ใช้สำหรับการวิ่งเหยาะ 1 ไมล์ควรเป็นอย่างน้อย 8 นาทีในเพศชาย และ 9 นาที สำหรับ เพศหญิง ชีพจรหลังการทดสอบไม่ควรเกิน 180 ครั้ง / นาที คำนวณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากสมการดังนี้

$$\text{VO}_2 \text{ max (ml/kg}^{-1}\text{/min}^{-1}\text{)} = 100.5 - [0.1636 \times \text{BW}] - [1.438 \times \text{Time}] - [0.1928 \times \text{HR}] + (8.344 \times \text{Gender})$$

โดยที่ BM = น้ำหนักตัว หน่วยเป็นกิโลกรัม
 Time = เวลาที่ใช้วิ่งเหยาะ หน่วยเป็นนาที
 HR = ชีพจรหลังจากสิ้นสุดการทดสอบ หน่วยเป็นครั้ง/นาที
 Gender = เพศ; ชาย = 1 หญิง = 0

การทดสอบโดยวิธีการเดิน 1 ไมล์ (Rockport)

การทดสอบโดยวิธีการเดิน 1 ไมล์เป็นวิธีการทดสอบภาคสนามวิธีหนึ่ง เพื่อประมาณค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จุดประสงค์ของการทดสอบให้เดินเป็นระยะทาง 1 ไมล์ โดยใช้เวลาน้อยที่สุด อุปกรณ์ที่ใช้คือ นาฬิกาจับเวลา และสนามลู่วิ่ง วิธีการทดสอบมีดังนี้คือ ชั่งน้ำหนักผู้ถูกทดสอบ (กิโลกรัม) กำหนดให้ผู้ถูกทดสอบต้องเดินด้วยความเร็วมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ครบ 1 ไมล์หลังการทดสอบวัดชีพจรทันทีในเวลา 15 นาที (นำจำนวนครั้งที่นับได้คูณด้วย 4 จะได้อัตราชีพจรมีหน่วยเป็นครั้ง/ นาที) นำเวลาที่ได้ไปคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{VO}_2 \text{ max (ml/kg}^{-1}\text{/min}^{-1}\text{)} = 132.853 + 6.31 (\text{Gender}) - 0.3877 (\text{age}) - 0.1692 (\text{wt}) - 3.2649 (\text{Time}) - 0.1565 (\text{HR})$$

โดยที่ BM = น้ำหนักตัว หน่วยเป็นกิโลกรัม
 Age = อายุ หน่วยเป็นปี
 Time = เวลาที่ใช้วิ่งเหยาะ หน่วยเป็นนาที
 HR = ชีพจรหลังจากสิ้นสุดการทดสอบ หน่วยเป็นครั้ง/นาที
 Gender = เพศ; ชาย = 1 หญิง = 0

Fitchett (1985) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการทำนายค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการทดสอบที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุดโดยใช้จักรยานวัดงาน และจากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะทำการทดสอบโดยการเพิ่มระดับความหนักของงาน (Progression) ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ และทดสอบโดยให้ระดับความหนักของงานคงที่ (Steady stage) ทดสอบโดยใช้จักรยานวัดงาน และจากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได ทำการศึกษาในผู้ชายที่มีสุขภาพดีจำนวน 12 คน อายุระหว่าง 23 - 58 ปี โดยใช้ชีพจรเป็นตัวทำนายค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผลการวิจัยพบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยให้ระดับความหนักของงานคงที่จะประเมินค่าได้ต่ำกว่าการทดสอบโดยการเพิ่มระดับความหนักของงานต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.13 - 0.55 ลิตร/ นาที และค่าที่ได้จากการทดสอบในแต่ละวิธีการมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงสรุปผลการวิจัยว่าการทดสอบค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการเพิ่มระดับความหนักของงานต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ โดยใช้จักรยานวัดงาน หรือการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดจะเกิดความผิดพลาดน้อยกว่าการทดสอบโดยให้ระดับความหนักของงานคงที่

Francis & Brasher (1992) ได้ทำการศึกษาการกำหนดความสูงของอุปกรณ์ทดสอบการก้าวขึ้นลงบันได เพื่อทำนายความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเที่ยงตรงของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ในผู้ชายจำนวน 33 คน อายุ 18 - 47 ปี (ค่าเฉลี่ยอายุของผู้ทดสอบ 28 ปี) โดยการทดสอบครั้งนี้ใช้การก้าวขึ้นลงบันได ความสูงของอุปกรณ์กำหนดจากการให้ผู้ทดสอบยกสะโพกที่มุม 73.3 องศา ความสูงของอุปกรณ์ทดสอบอยู่ในช่วงระหว่าง 32 - 36 เซนติเมตร จังหวะการก้าวขึ้น-ลง 22, 26 และ 30 รอบ/นาที ระยะเวลาทดสอบ 3 นาที จับชีพจรในระยะพักฟื้น 15 วินาที เว้นระยะเวลาในการทดสอบในแต่ละวิธีการ 24 - 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการทดสอบโดยการเดินบนลู่วิ่ง ด้วยวิธีการของ Bruce protocol treadmill test ทดสอบจนถึงระดับความสามารถสูงสุดวัดโดยตรงด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ความเร็วในการทดสอบเริ่มต้นที่ 1.7 ไมล์/ ชั่วโมง และระดับความชัน 10% มีการเพิ่มระดับความหนักของการทดสอบทุก ๆ 3 นาที โดยการเพิ่มความเร็ว 0.8 ไมล์ต่อชั่วโมง และเพิ่มระดับความชัน 2 % ทดสอบต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนกว่าผู้ทดสอบ 1) ไม่สามารถควบคุมความเร็วให้สม่ำเสมอในแต่ละช่วงของการทดสอบ 2) อัตราส่วนระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (Respiratory exchange หรือ RER) มีค่ามากกว่า 1.1 และ 3) อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดถึง 90% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ซึ่งคำนวณจาก 220 - อายุ (ปี) ผลการวิจัยพบว่า จากการทดสอบการก้าวขึ้นลงบันไดจังหวะการก้าวขึ้น-ลง 22, 26 และ 30 รอบ/ นาที มีความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.56 และ 0.557 ตามลำดับ ซึ่งจังหวะการก้าวขึ้น-ลง 26 รอบ/ นาที มีค่าความสัมพันธ์มากที่สุด ส่วนจังหวะการก้าวขึ้น-ลง 22 และ 30 รอบ/ นาที มีค่าความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับจังหวะการก้าวขึ้น-ลง 26 รอบ/นาที ผู้วิจัยจึงสรุปผลการวิจัยว่า ผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายต่ำควรใช้จังหวะการก้าวขึ้น 22 รอบ/ นาที และในผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายสูงสามารถเลือกใช้จังหวะการก้าวขึ้น-ลง 26 หรือ 30 รอบ/ นาที จากการทดสอบการก้าวขึ้น-ลงบนบันได เพื่อประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Francis & Brasher, 1992)

Jia (2012) ได้ศึกษาสมรรถภาพทางกายแบบแอโรบิก โดยเปรียบเทียบกับ การวัด โดยวิธีการที่แตกต่างกันในนักกีฬาบาสเกตบอล ด้วยวิธีการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยการ ปั่นจักรยานวัดงานตามวิธีของ Astrand-Rhyming กับ YMCA Cycle ergometer (เพศชาย = 44.82 ± 8.41 , เพศหญิง = 43.71 ± 6.36), Rockport fitness walking test (เพศชาย = 51.48 ± 2.92 , เพศหญิง = 43.68 ± 6.54), Cooper 12 min. Run-walk test (เพศชาย = 47.51 ± 3.13) and Step test (เพศชาย = 52.71 ± 7.95 , เพศหญิง = 37.68 ± 1.71) พบว่าการวัดทั้ง 4 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับ Astrand-Rhyming test (เพศชาย = 50.24 ± 6.90 , เพศหญิง = 40.78 ± 6.14)

จึงเห็นได้จากการศึกษาวิธีการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการก้าวขึ้น-ลง ยังมีการศึกษาในเรื่องระดับความสูงของม้าก้าวในแต่ละระดับความสูงไม่แพร่หลายโดยใช้วิธีการทำนายค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และนำไปศึกษาความสัมพันธ์กับการทดสอบจักรยานวัดงาน โดยทั่วไปการทดสอบที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดแบบ Astrand-Rhyming test (Submaximal exercise test) ที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถวัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ได้ค่าที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับ วิธีการทดสอบโดยการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์หัวใจและที่ก๊าซ (Actual $VO_2\max$ method) ผู้วิจัยจึงได้กำหนดวิธีการทดสอบแบบ Astrand-Rhyming test เป็นค่ามาตรฐานในการวิจัยในครั้งนี้ และการทดสอบแบบก้าวขึ้นลงแบบ Queen's college step test ที่ระดับความสูงของม้าก้าว 13.25 นิ้ว, 14.25 นิ้ว, 15.25 นิ้ว และ 16.25 นิ้ว เนื่องจากเป็นแบบทดสอบวิธีการหนึ่งที่ไม่มีความซับซ้อนของวิธีการ พื้นที่ในการทดสอบมีความใกล้เคียงกับอุปกรณ์ในการทดสอบ (Step 16.25 inch) จังหวะในการก้าวขึ้นลงไม่เร็วจนเกินไป ชาย 96 ครั้ง/ นาที, หญิง 88 ครั้ง/ นาที ใช้ระยะเวลาการทดสอบที่ไม่มากจนเกินไป 3 นาที ในการทดสอบ และวิธีการคิดคำนวณให้ได้มาซึ่งความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการใช้อัตราการเต้นของชีพจรหลังการออกกำลังกายในการทำนาย และมีความเที่ยงตรงเป็นที่เชื่อถือในวงการวิทยาศาสตร์การกีฬา ผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการทดสอบแบบ Queen's college step test ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้