

การทดสอบสมรรถภาพการทำงานของระบบหัวใจและปอดด้วยการทดสอบการออกกำลังกายแบบใหม่ (Incremental Spot Marching Exercise Test) ในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง: การศึกษานำร่อง

A new cardiopulmonary exercise testing with the Incremental Spot Marching Exercise Test in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a pilot study

จิราวัฒน์ ลิ้มปัทธการณ¹, วีระพงษ์ ชิดนอ², ขจร สุนทราภรณ์³, ชูลี โจนส์^{1*}

Jirawat Limphatcharaporn¹, Weerapong Chidnok², Kajorn Suntrapiwat³, Chulee Jones^{1*}

¹ สาส์นกายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการฟื้นฟู ภาควิชากายภาพบำบัด

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

³ โรงพยาบาลพุทธชินราช

¹ School of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University

² Exercise and Rehabilitation Sciences Research Unit, Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University

³ Buddhachinaraj hospital

บทคัดย่อ

ที่มาและความสำคัญ: การทดสอบการออกกำลังกายมาตรฐานส่วนใหญ่ เป็นการทดสอบโดยใช้ขาเป็นหลัก ไม่ครอบคลุมกิจกรรมที่ใช้แขนและขา อันเป็นปัญหาในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease: COPD) การทดสอบการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายที่ใช้แขนและขา ร่วมกัน จึงมีความสำคัญในการบ่งชี้สมรรถภาพการออกกำลังกายที่สอดคล้องในชีวิตจริง ดังนั้น การทดสอบการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของการทดสอบแบบใหม่ (Incremental Spot Marching Exercise test: ISMET) จึงถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งให้อาสาสมัครย่ำเท้าข้างละ 90 องศาพร้อมกัน แกว่งแขนสูงอย่างน้อย 90 องศา ด้วยความหนักของการทดสอบ (อัตราเร็วการย่ำเท้า) ที่เพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์: ศึกษาการตอบสนองและความสัมพันธ์ของการตอบสนองต่อความหนักของการทดสอบแบบ ISMET ของระบบหัวใจและปอดในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง

วิธีการวิจัย: ศึกษาแบบตัดขวางในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ระดับรุนแรงน้อยถึงปานกลาง 10 คน เพศชาย อายุเฉลี่ย 64±5 ปี เริ่มการทดสอบแบบ ISMET ด้วย

อัตราเร็ว 70 ก้าวต่อนาที และเพิ่มขึ้น 10 ก้าวต่อนาที ทุก 3 นาที จนไม่สามารถทำต่อไปได้ ประเมินอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate: HR), ปริมาตรอากาศของการหายใจต่อครั้ง (Tidal volume: V_T), ปริมาตรการระบายอากาศต่อนาที (Minute ventilation: V_E), และอาการหอบเหนื่อยด้วย Borg's dyspnea scale (RPB) ในขณะพัก นาทีสุดท้ายของแต่ละความหนัก และสิ้นสุดการทดสอบทันที

ผลการวิจัย: เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ พบว่า HR เพิ่มขึ้นถึง 130±20 ครั้ง/นาที (83±22 % ของ HRmax), V_T และ V_E เพิ่มขึ้นเป็น 1.48±0.25 ลิตร และ 47.27±9.54 ลิตร/นาที ตามลำดับ RPB เพิ่มขึ้นถึงระดับ 4 (IQR 4, 5) พบความสัมพันธ์ระหว่างความหนักของการทดสอบแบบ ISMET และ HR, V_T , V_E และ RPB ($r=0.866, 0.899, 0.920$ และ 0.861 ตามลำดับ) ผลลัพธ์ของการวิจัยทุกตัวแปรตามดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

สรุปผล: การทดสอบแบบ ISMET เป็นการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายระดับความหนักปานกลางจนระดับสูงสุด โดยความหนักของการทดสอบแบบ ISMET นี้มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับการตอบสนองของระบบหัวใจและปอด การทดสอบแบบ

*Corresponding author: Chulee Jones. School of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Science, Khon Kaen

University, Meaung, Khon Kaen, Thailand, 40002. E-mail: joneschulee@gmail.com

Received: 6 Feb 2019; Revised: 22 May 2019; Accepted: 10 Sep 2019

ISMET เป็นการทดสอบที่ง่ายและปลอดภัย จึงอาจเป็นวิธีการทดสอบที่เหมาะสมในผู้ป่วย COPD ซึ่งควรศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: การทดสอบการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักก้าวหน้า การทดสอบการทำกิจกรรมด้วยการออกกำลังกาย การออกกำลังกายแบบใช้กล้ามเนื้อทั้งร่างกาย ผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง การทำงานของระบบหัวใจและปอด

ABSTRACT

Background: Most of standard functional exercise tests involved mainly leg, which irrelevant to activities that involved arm and leg, functional problems of patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Thus, an arm-leg exercise test would be important to indicate the actual functional capacity in real life. Therefore, a new "Incremental Spot Marching Exercise Test" (ISMET) has been developed, where the subject marches on the spot with increasing workload (Stepping rate) and hip flexion to 70 degrees, while arms swing to at least 90 degrees.

Objective: To determine the cardiopulmonary responses and relationship between the responses and workload during ISMET.

Methods: A cross-sectional study was conducted in ten stable mild-moderate COPD, all male, age 64 ± 5 years old. The ISMET began at 70 steps/min, increasing by 10 steps/min every 3 minutes until symptom limit. Heart rate (HR), tidal volume (V_T), minute ventilation (V_E) and Borg's dyspnea score (RPB) were recorded at rest, during the last minute of each workload and at end exercise.

Results: At the end of the test, HR increased to 130 ± 20 beats/min ($83 \pm 22\%$ HRmax), V_T and V_E

increased to 1.48 ± 0.25 L and 47.3 ± 9.5 L/min, respectively. RPB increased to 4 (IQR 4, 5). There were correlations between workloads and HR, V_T , V_E , and RPB ($r=0.866$, 0.899 , 0.920 , and 0.861 , respectively). All outcomes were significant ($p<0.01$).

Conclusion: ISMET provides a moderate intensity of exercise to reach peak capacity. The workload is highly correlated with cardiopulmonary responses. ISMET is simple and safe and may be suitable as an exercise test that requires further study in COPD.

Keywords: Progressive exercise test, Functional exercise test, Whole body exercise, COPD, Cardiopulmonary function

บทนำ

การฝึกออกกำลังกายเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการฟื้นฟูสมรรถภาพปอดในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease: COPD) เพื่อเพิ่มสมรรถภาพปอด ความทนทานในการออกกำลังกาย (exercise capacity) และคุณภาพชีวิต การกำหนดโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกาย (exercise testing) ก่อนเริ่มการฝึกออกกำลังกายและทดสอบอีกครั้งหลังสิ้นสุดการฝึกออกกำลังกาย เพื่อประเมินประสิทธิผลและคุณภาพของโปรแกรมฟื้นฟูสมรรถภาพปอด¹ ดังนั้นการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการฟื้นฟูสมรรถภาพปอด

การทดสอบสมรรถภาพการทำงานของระบบหัวใจและปอดขณะออกกำลังกาย (cardiopulmonary exercise testing: CPET) ตามมาตรฐาน จะต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการในโรงพยาบาลใหญ่หรือห้อง

วิจัย และใช้เครื่องมือราคาแพง เช่น ปั่นจักรยานวัดงานวิ่งบนลู่วิ่ง เป็นต้น โดยวิเคราะห์ก๊าซขณะออกกำลังกาย² ดังนั้น การทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกาย (functional exercise testing) จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ประหยัด และมีรูปแบบการออกกำลังกายสอดคล้องกับลักษณะการออกกำลังกายประจำวันของผู้ป่วย COPD²⁻⁵ ปัจจุบันการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายมีหลายรูปแบบ เช่น การทดสอบมาตรฐานด้วยการเดิน 6 นาที (6 minute walk test: 6WMT) การทดสอบก้าวขึ้นลง (step test) การทดสอบแบบเพิ่มความเร็วการเดินตามกำหนด (incremental shuttle walk test) เป็นต้น⁶ อย่างไรก็ตาม การทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายด้วยรูปแบบดังกล่าวเป็นการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ของขาเป็นหลัก แต่ยังไม่ครอบคลุมกิจกรรมที่ต้องใช้แขนและขาพร้อมกัน และต้องการพื้นที่ในการทดสอบมาก

การทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายที่มีการใช้แขนด้วยนั้นมีความสำคัญเนื่องจากสอดคล้องกับการออกกำลังกายในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอาชีพเกษตรกรรม อีกทั้งการทำงานของปอดและกล้ามเนื้อหายใจระหว่างการออกกำลังกายด้วยแขนมีความแตกต่างจากการออกกำลังกายด้วยขาเป็นหลัก การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายด้วยแขนในผู้ป่วย COPD การทำงานของปอดขณะออกกำลังกายเพิ่มมากกว่าการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายด้วยขาที่ระดับความหนักของการออกกำลังกายเท่ากัน⁷ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายโดยการยกแขนสูงเหนือระดับไหล่หรือยกแขนสูงมากกว่า 90 องศา อันเป็นท่าที่เพิ่มการทำงานของปอด เพิ่มความหนักในการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจเข้า เนื่องจากปอดถูกจำกัดการขยายตัวจากการยึดติดของกล้ามเนื้อทรวงอก ส่งผลให้งานในการหายใจขณะออกกำลังกายเพิ่มขึ้น⁸⁻⁹ จึงอาจกระตุ้นการเกิดพลวัตการโป่งพองของ

ปอด (dynamic hyperinflation)⁸ ทำให้หอบเหนื่อยเร็วและความทนทานในการทำกิจกรรมที่มีการทำงานของแขนสูงเหนือระดับไหล่ลดลง อันเป็นปัญหามากต่อผู้ป่วยโรค COPD¹⁰

แม้มีการศึกษาการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายด้วยแขนในผู้ป่วย COPD แต่เป็นการทดสอบที่ใช้กล้ามเนื้อแขนอย่างเดียว¹¹ ดังนั้น ผลการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายด้วยขาหรือแขนอย่างเดียวจึงไม่ครอบคลุมสมรรถภาพการออกกำลังกายหรือการทำงานที่ต้องใช้ในชีวิตจริง ซึ่งมีการใช้แขนร่วมกับขาพร้อมกัน

ดังนั้น การทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายแบบ Spot Marching Exercise test (SMET) ซึ่งสอดคล้องกับการออกกำลังกายในชีวิตจริงและอาจบ่งชี้ถึงสมรรถภาพปอดที่จำเพาะมากกว่าการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายแบบเดิมจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยการยกเท้าอยู่กึ่งที่ยกเข้าสูงให้ข้อสะโพก 70 องศา เพื่อเพิ่มการทำงานของหัวใจ¹² ร่วมกับแกว่งแขนตรงข้ามสูงอย่างน้อย 90 องศา (เหนือระดับหัวไหล่) เพื่อเพิ่มการทำงานของปอด⁸⁻⁹ สอดคล้องกับการใช้ชีวิตประจำวันของผู้ป่วย COPD ที่มีกิจกรรมที่ยกแขนสูงร่วมด้วย

การทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายแบบ SMET มี 3 แบบ คือ 1) แบบควบคุมความเร็วในการยกเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่คงที่ (constant stepping rate)¹³ 2) แบบไม่ควบคุมความเร็วในการยกเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่ โดยผู้ถูกทดสอบกำหนดความเร็วเอง (self-pacing stepping rate)^{14,15} และ 3) แบบเพิ่มความเร็วในการยกเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่แบบก้าวหน้า (progressively incremental stepping rate) หรือ Incremental Spot Marching Exercise Test (ISMET)¹⁶ การศึกษาการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดขณะทดสอบแบบ ISMET ในอาสาสมัครสุขภาพปกติ พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate: HR) เพิ่มถึงความหนักใน

การออกกำลังกายระดับปานกลาง และการเพิ่มความเร็วในการย่างเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่ (stepping rate) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในระดับดีมากกับ HR ที่เพิ่มขึ้น ด้วยค่า $r = 0.98^{16}$ ซึ่งแสดงว่าความเร็วในการย่างเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่ บ่งชี้ถึงความหนัก (workload) ของการทดสอบแบบ ISMET ในคนปกติได้ นอกจากนั้น การศึกษาเปรียบเทียบการทดสอบแบบ SMET แบบผู้ป่วยกำหนดความเร็วเอง 6 นาที (6SMET) กับ 6MWT ในอาสาสมัคร COPD พบว่า 6SMET เพิ่มอาการหอบหายใจลำบากมากกว่า 6MWT แม้ว่า HR ไม่แตกต่างกัน¹⁵ แสดงว่า การทดสอบแบบ 6SMET น่าจะเป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่เพิ่มการทำงานของปอดมากกว่าการทดสอบ 6MWT ที่ใช้ขาเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม อาการหอบหายใจลำบากเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่ไม่มาตรฐาน จึงยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าการทดสอบแบบ SMET สามารถเพิ่มการทำงานของปอดได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังไม่เคยมีการศึกษาโดยใช้การทดสอบแบบ ISMET ซึ่งเป็นการทดสอบจนถึงสมรรถภาพสูงสุดจนไม่สามารถออกกำลังกายต่อไปได้ (symptom limit) ในผู้ป่วย COPD ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษามลการตอบสนองของระบบหัวใจและปอดต่อการทดสอบแบบ ISMET จนถึงสมรรถภาพสูงสุด และหาความสัมพันธ์ของความหนักของการทดสอบแบบ ISMET (stepping rate) กับการตอบสนองดังกล่าว ตลอดจนความปลอดภัยในการทดสอบแบบ ISMET ในอาสาสมัคร COPD

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ ได้แก่ 1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของระบบหัวใจและปอดต่อการทดสอบแบบ ISMET ในอาสาสมัคร COPD 2) หาความสัมพันธ์ระหว่างหนักของการทดสอบแบบ ISMET กับการทำงานของปอด หัวใจ และอาการหอบเหนื่อยขณะออกกำลังกายในอาสาสมัคร COPD

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาทดลองนำร่องแบบตัดขวาง (cross-sectional experimental design)

อาสาสมัคร

ผู้ป่วย COPD (FEV_1/FVC 38-69 %) ระดับความรุนแรงน้อยถึงปานกลาง (FEV_1 %_{predicted} 51-88 %) ตามเกณฑ์กำหนดของ Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease Guideline (GOLD)¹ จำนวน 10 คน อายุ 35-80 ปี เพศชาย (ตารางที่ 1) จากคลินิกโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก เข้าร่วมการศึกษาซึ่งผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่โครงการ HE602173 โดยได้แสดงความยินยอมเข้าร่วมการศึกษาก่อนเป็นลายลักษณ์อักษร เกณฑ์คัดเข้า คือ อาการทางคลินิกที่ไม่มีอาการกำเริบภายใน 1 เดือนก่อนเข้าร่วมโครงการ ไม่พึ่งเครื่องให้ออกซิเจนที่บ้าน สื่อสารได้ดี และสามารถเดินโดยไม่ใช้อุปกรณ์ช่วย และเกณฑ์การคัดออกคือ มีความผิดปกติของหัวใจและปอดที่เป็นข้อห้ามในการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายตาม American College of Sport Medicine guideline (2014)¹⁷ ความดันโลหิต systolic blood pressure มากกว่า 160 มิลลิเมตรปรอท และ/หรือ diastolic blood pressure มากกว่า 100 มิลลิเมตรปรอท ภาวะไตวายเรื้อรังขั้นสุดท้าย โรคเบาหวานที่ไม่สามารถควบคุมได้ ความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (SpO_2) น้อยกว่า 90% มีความผิดปกติของกระดูกและกล้ามเนื้อที่ไม่สามารถออกกำลังกายได้ การมองเห็นและการทรงตัวบกพร่อง และดัชนีมวลกายมากกว่า 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

การทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายแบบ Incremental Spot Marching Exercise Test (ISMET)

การทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายแบบ ISMET คือ การย่างเท้าอยู่กับที่โดยยกเข่าสูงให้ข้อสะโพกงอทำมุมกับลำตัวอย่างน้อย 70 องศา ร่วมกับแกว่งแขนตรงข้ามสูงโดยข้อไหล่ยกทำมุมกับลำตัวอย่างน้อย 90 องศา (เหนือระดับหัวไหล่) ระดับ

ความสูงของการยกขาและแขนสูงในระดับดังกล่าวของอาสาสมัครแต่ละคนถูกทำเครื่องหมายเป็นแนวเส้นกำกับไว้ที่ผนัง (รูปที่ 1) การทดสอบแบบ ISMET เริ่มโดยย่อเท้าและแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่สลับกันด้วยความเร็ว (ความหนักของการทดสอบแบบ ISMET) ของการทดสอบแบบ ISMET ที่ 70 ก้าวต่อนาที ตามจังหวะที่กำหนดโดยเครื่องนับจังหวะ และเพิ่มความเร็วแบบก้าวหน้าเป็นระดับๆละ 10 ก้าวต่อนาที ในทุกๆ 3 นาที โปรแกรมการทดสอบแบบ ISMET ดังกล่าวนี้นี้เป็นผลจากการศึกษานำร่องในอาสาสมัคร COPD 3 คน ซึ่งทดสอบจนถึงสมรรถภาพสูงสุดที่ไม่สามารถออกกำลังกายต่อไปได้ (symptom limit) หรือมีอาการหอบเหนื่อยมาก (Borg's RPB เท่ากับ 5/10) หรือเหนื่อยล้าของขาหรือแขนมากๆ (Borg's RPE เท่ากับ 7/10) หรือความอิ่มตัวของออกซิเจน (SpO_2) ลดลงจากค่าก่อนออกกำลังกายมากกว่า 4% หรือมีอาการหน้ามืดวิงเวียน หรือพบคลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติที่เกิดขึ้นในขณะออกกำลังกาย หรืออัตราการเต้นของหัวใจ เพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุด

หรือมากกว่า 90% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximum heart rate: HRmax) คำนวณจาก 220-อายุ¹⁷

ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

อาสาสมัครเดินทางมาที่หน่วยวิจัยการออกกำลังกายและฟื้นฟูสมรรถภาพ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อรับการประเมินตัวแปรตามโดยอาสาสมัครดัดเครื่องตีกลองหรือเครื่องตีที่มีคาเฟอีนงดสูบบุหรี่ รับประทานอาหารอย่างเพียงพอ อย่างน้อย 3 ชั่วโมง สวมเสื้อผ้าที่เหมาะสม (ไม่รัดรูปหรือหลวมจนเกินไป) รับประทานยาประจำตามปกติ และได้รับยาขยายหลอดลมก่อนการประเมินอย่างน้อย 2 ชั่วโมง อาสาสมัครได้รับการตรวจร่างกายพื้นฐาน ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง และประเมินสมรรถภาพปอด ทำความคุ้นเคยวิธีการทดสอบแบบ ISMET และการวัดตัวแปรตามและพักอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล

ก



ข



รูปที่ 1 การย่อเท้าอยู่กับที่โดยยกเข่าสูงและแกว่งแขนตรงข้ามสูงในการออกกำลังกายแบบ ISMET

หลังจากพักในท่านั่ง 5 นาที เริ่มการเก็บข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ พักในท่านั่งก่อนเริ่มการทดสอบ 3 นาที นาทีสุดท้ายระหว่างการทดสอบของแต่ละระดับความหนัก หลังหยุดการทดสอบทันที และช่วงฟื้นตัว 10 นาที โดยวัดทุกนาที ยกเว้นความดันโลหิตซึ่งวัดทุก 2 นาที

การวัดการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต และการเฝ้าระวัง

1) สมรรถภาพปอด (Pulmonary function): ทำการประเมินสมรรถภาพปอดทั้งหมด 2 ครั้ง ได้แก่ ก่อนและหลังการพ่นยาขยายหลอดลม 20-30 นาที ตามวิธีการมาตรฐานที่กำหนดใน American Thoracic Society/ American College of Chest Physicians (2003)¹⁸ โดยใช้เครื่อง spirometer (KoKo® Spirometer, nSpire Health, USA) ทำการวัดปริมาตรของอากาศที่เป่าออกเร็วแรงในวินาทีที่ 1 (Forced Expiratory Volume at one second; FEV₁) และปริมาตรของอากาศที่เป่าออกอย่างเร็วแรงจนหมดหลังจากหายใจเข้าเต็มที่ (Forced Vital Capacity: FVC) เพื่อยืนยันคำวินิจฉัย COPD และกำหนดความรุนแรงของโรคตามเกณฑ์ที่กำหนดของ GOLD 2017¹

2) อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate, HR): วัดโดยใช้อุปกรณ์วัด HR แบบไร้สาย (Polar heart rate monitors, Finland)

3) คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiography): ติดขั้วไฟฟ้าบนหน้าอก ติดตามสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จาก limb leads II (BIOPAC-MP30, BIOPAC® System, Inc., USA) เพื่อเฝ้าระวังระหว่างและหลังการทดสอบแบบ ISMET

4) ความดันโลหิต (Blood pressure, BP): วัดด้วยเครื่องวัดความดันโลหิตแบบอัตโนมัติที่หลอดเลือดแขน brachial artery (Omron HEM-7130, Japan)

5) ปริมาตรการระบายอากาศต่อนาที (Minute ventilation, V_E): วัดผ่านหน้ากากเก็บก๊าซ และวิเคราะห์

ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซลมหายใจออก (expired gas analyzer; CortexBiophysik, Metalyzer 3B)

6) อัตราการหายใจ (Respiratory rate, RR): วัดเช่นเดียวกับปริมาตรการระบายอากาศต่อนาที

7) ปริมาตรอากาศการหายใจต่อครั้ง (Tidal volume, V_T): วัดโดยการคำนวณจากสูตร V_E/RR

8) ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Oxygen saturation, SpO₂): วัดโดยใช้ Finger pulse oximeter (Jumper JPD-500A, China)

9) ระดับอาการหอบเหนื่อย (Rate of perceived breathless, RPB): วัดโดยการให้ระดับความรู้สึกหอบเหนื่อยจาก 0-10 ระดับ ที่แผ่น Borg's CR10 scale

10) ระดับอาการเหนื่อยล้าของแขน (rate of perceived exertion of arm, RPE_{arm}): วัดเช่นเดียวกับระดับความรู้สึกหอบเหนื่อยจาก 0-10 ระดับ ที่แผ่น Borg's CR10 scale

11) ระดับอาการเหนื่อยล้าของขา (rate of perceived exertion of leg, RPE_{leg}): วัดเช่นเดียวกับระดับความรู้สึกหอบเหนื่อยจาก 0-10 ระดับ ที่แผ่น Borg's CR10 scale

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

แสดงผลการศึกษาด้วยค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ยกเว้น RPB, RPE_{arm}, และ RPE_{leg} ใช้ข้อมูลของอาสาสมัครเพียง 9 คน เนื่องจากไม่น่าเชื่อถือ 1 ข้อมูล ซึ่งแสดงด้วยค่ามัธยฐาน (ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ที่ 1 และ 3 ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk test วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างก่อนและสิ้นสุดการทดสอบแบบ ISMET ด้วย Student pair T test และ Wilcoxon signed rank test สำหรับข้อมูล RPB, RPE_{arm}, และ RPE_{leg} ที่มีการกระจายตัวไม่ปกติ วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและสร้างสมการทำนายระหว่าง ความหนักของการทดสอบแบบ ISMET (ความเร็วในการย่ำเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่) กับ HR, V_T, V_E, RPB, RPE_{arm}, และ RPE_{leg} ด้วย Pearson correlation coefficient และ Simple linear regression กำหนดระดับนัยสำคัญทาง

สถิติ $p < 0.05$ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 22

ผลการวิจัย

อาสาสมัคร COPD 10 คน ทั้งหมดเป็นเพศชายอายุเฉลี่ย 64 ± 5 ปี มีระดับความรุนแรงของโรคน้อย 3 คน และปานกลาง 7 คน มีลักษณะทางกายภาพ การได้รับยา และมีการทำงานของหัวใจและปอดระยะพักในช่วงปกติ ดังแสดงในตารางที่ 1 อาสาสมัครสามารถออกกำลังกายตามโปรแกรมการทดสอบแบบ ISMET จนไม่สามารถออกกำลังกายต่อไปได้ โดยใช้เวลาทดสอบ $6.16 (2.00-10.00)$ นาที หยุดการทดสอบที่ความหนัก 70 ก้าวต่อนาที จำนวน 2 คน, 80 ก้าวต่อนาที จำนวน 3 คน, 90 ก้าวต่อนาที จำนวน 3 คน, และ 100 ก้าวต่อนาที จำนวน 2 คน โดยมีสาเหตุที่หยุดการออกกำลังกาย คือ อาการหอบเหนื่อยมาก (RPB เท่ากับ $5/10$) 6 คนมี HR มากกว่า 90% HRmax จำนวน 2 คน และอาการเหนื่อยล้าขามาก (RPE เท่ากับ $5/10$) จำนวน 2 คน

เมื่อสิ้นสุดการทดสอบแบบ ISMET การทำงานของหัวใจและปอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความดันโลหิต Diastolic blood pressure และ ความ อิ่ม ตัว ของ ออกซิเจนในเลือด ($p > 0.05$) และการทำงานของปอดและหัวใจกลับสู่ระยะพักก่อนออกกำลังกายในช่วงพักตัวได้ (ตารางที่ 2) โดย HR เพิ่มขึ้น $49 \pm 16 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ($66 \pm 19\%$) ที่ HR สูงสุด เท่ากับ $83 \pm 22\%$ HRmax เทียบเท่าความหนักปานกลาง-มาก, ความดันโลหิต Systolic blood pressure เพิ่มขึ้น $39 \pm 12 \text{ mmHg}$ ($30 \pm 10\%$), V_E เพิ่มขึ้น $35.39 \pm 8.9 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ($303.35 \pm 87.93\%$), และ RR เพิ่มขึ้น $13.2 \pm 4.6 \text{ breaths} \cdot \text{min}^{-1}$ ($69.6 \pm 25.8\%$)

การเปลี่ยนแปลงของ HR, V_T , V_E , และ RPB ระหว่างการทดสอบในแต่ละระดับความหนัก มีความสัมพันธ์กับความหนักของการทดสอบแบบ ISMET อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยมีค่าสัมประ

สิทธิ์ของความสัมพันธ์ในระดับสูง ($r = 0.866, 0.899, 0.920$ และ 0.861) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2

บทวิจารณ์

เนื่องจากวิธีการประเมินสมรรถภาพการทำงานของระบบหัวใจและปอดด้วยการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกาย (functional exercise testing) ที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น 6 min Walk Test (6MWT) หรือ 6 min Stepper Test (6MST) เป็นการใช้กล้ามเนื้อขาเป็นหลัก ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทำกิจกรรมที่มีการใช้แขนและขาพร้อมกัน เช่น การสระผม หรือ เกษตรกรรม ทำสวน ซึ่งการใช้แขนโดยเฉพาะที่ระดับสูงเหนือหัวไหล่จะเพิ่มความหนักต่อการทำงานของปอดและเป็นข้อจำกัดในการทำกิจกรรมที่มีการใช้แขนระดับเหนือหัวไหล่ของผู้ป่วย COPD¹⁰ ดังนั้น การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การออกกำลังกายด้วยแขนในผู้ป่วย COPD ทำให้การทำงานของปอดในขณะที่ออกกำลังกายเพิ่มมากกว่าการออกกำลังกายด้วยขาที่ระดับความหนักของการออกกำลังกายเท่ากัน⁷ การที่ปอดทำงานเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการยกแขนสูงเหนือระดับไหล่หรือยกแขนสูงมากกว่า 90 องศา นั้น เกิดจากปอดถูกจำกัดการขยายตัวจากการยึดติดของผนังทรวงอก ทำให้กล้ามเนื้อหายใจเข้าทำงานของเพิ่มขึ้น และเพิ่มงานในการหายใจขณะออกกำลังกาย⁹ อีกทั้งสามารถกระตุ้นการเกิดพลวัตการโป่งพองของปอด (dynamic hyperinflation)⁸ ดังนั้น ผลการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกายที่ใช้ขาเป็นหลักจึงอาจไม่สะท้อนสมรรถภาพทางกายที่ถูกจำกัดอย่างแท้จริง อีกทั้งยังไม่มี การทดสอบสมรรถภาพทางกายที่เน้นเพิ่มการทำงานของปอดในผู้ป่วยโรคปอดซึ่งมีการทำงานของปอดบกพร่อง นอกจากนั้น ยังเป็นวิธีการที่ต้องการพื้นที่ในการทดสอบยาว 30 เมตร หรือต้องใช้อุปกรณ์ Stepper ทำให้เป็นปัญหาในทางปฏิบัติในบางพื้นที่

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายด้วยการออกกำลังกาย

รูปแบบใหม่ โดยใช้รูปแบบการย่ำเท้าอยู่กับที่ ยกขาและ
แกว่งแขนสูงเหนือระดับหัวไหล่ เรียกว่า Spot Marching
Exercise Test (SMET) ซึ่งมีรูปแบบกิจกรรมทางกาย
สอดคล้องกับกิจกรรมที่ใช้ในชีวิตจริงดังกล่าวแล้ว ยัง
ครอบคลุมการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งร่างกายเพื่อรักษา
สมดุลท่าทางของลำตัวในขณะออกกำลังกาย และเพิ่ม
งานการหายใจมากขึ้น เพื่อประเมินสมรรถภาพสูงสุด
ของปอดให้เด่นชัดขึ้น และแก้ไขข้อจำกัดเรื่องพื้นที่และ
อุปกรณ์ของวิธีอื่น การทดสอบแบบ SMET มี 3 แบบ คือ
1) แบบควบคุมความหนัก (ความเร็วในการย่ำเท้าแกว่ง

แขนสูงเหนือไหล่) คงที่ (constant stepping rate)¹³ 2)
แบบไม่ควบคุมความหนักโดยผู้ถูกทดสอบกำหนด
ความเร็วเอง (self-pacing stepping rate)^{14,15} และ 3)
แบบเพิ่มความหนักก้าวหน้า (incremental stepping
rate) หรือ Incremental Spot Marching Exercise
Test (ISMET)¹⁶ การทดสอบแบบ SMET ทั้งแบบ 1)
และ 2) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถภาพในด้าน
ความทนทานของการทำงานของระบบหัวใจและปอด
และกล้ามเนื้อโครงร่าง ในระดับความหนักระดับหนึ่ง
เท่านั้น ซึ่งไม่ใช่สมรรถภาพสูงสุด¹³

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและภาวะสุขภาพของอาสาสมัครชาย จำนวน 10 คน

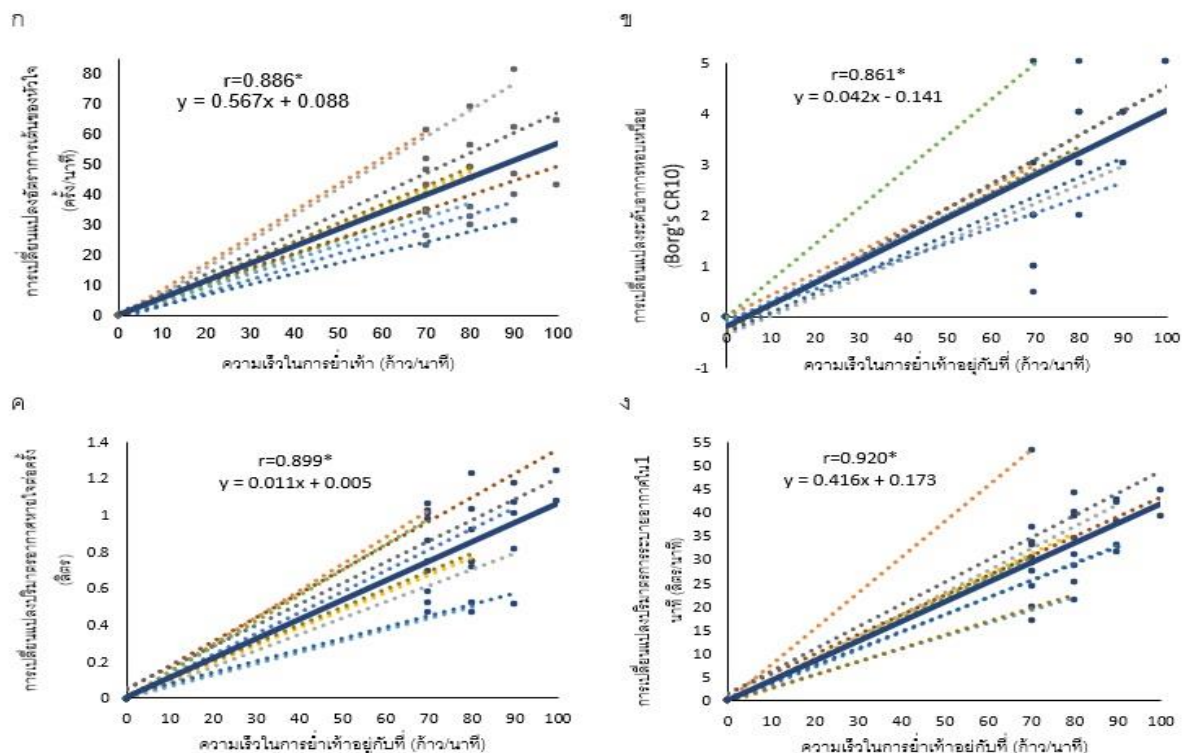
ข้อมูล	ค่าที่วัดได้ (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่าน้อยสุด-มากที่สุด
อายุ (ปี)	64±5	57-71
ดัชนีมวลกาย (kg/m ²)	23.4±2.9	19.3-28.0
FEV ₁ /FVC (%)	55±10	38-69
FEV ₁ (%predicted)	71±12	51-88
GOLD Stage I (n, FEV ₁ %predicted)	3, 84±4	80 - 88
GOLD Stage II (n, FEV ₁ %predicted)	7, 65±9	51 - 78
HR (beats min ⁻¹)	78 ± 9	63-93
SBP (mmHg)	127 ±9	116-142
DBP (mmHg)	82 ±7	72-98
RR (breaths min ⁻¹)	18.0 ± 2.4	15-21
SpO ₂ (%)	97 ±1	95-99
Medication		
SABA (n)	5	
LAMA (n)	6	
Combined Corticosteroid and LABA (n)	8	
Xanthine derivative (n)	3	
Other drug (n)		
Antihypertensive drugs	4	
Anti-inflammatory drugs	4	

หมายเหตุ: FVC; forced vital capacity; FEV₁; forced expiratory volume in one second; HR: heart rate; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure; RR: respiratory rate; SpO₂: pulse oxygen saturation; SABA; short-acting beta₂-agonists, LAMA; long-acting antimuscarinic antagonists, LABA; long-acting beta₂-agonists.

ตารางที่ 2 การตอบสนองของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต อาการหอบเหนื่อย และอาการเหนื่อยล้าของกล้ามเนื้อ แขน-ขา ก่อนและหลังสิ้นสุดการออกกำลังกายทันที และสิ้นสุดการพักฟื้นตัว

ข้อมูล	ก่อนออกกำลังกาย	สิ้นสุดออกกำลังกายทันที	สิ้นสุดการฟื้นตัว
HR (beats.min ⁻¹) (n=10)	81 ± 9	130 ± 20*	87 ± 12
HR maximum (%) (n=10)	63 ± 7	83 ± 22*	67 ± 5
SBP (mmHg) (n=10)	132 ± 12	171 ± 14*	132 ± 11
DBP (mmHg) (n=10)	84 ± 12	85 ± 12	81 ± 8
SpO ₂ (%) (n=10)	96 ± 2	96 ± 2	97 ± 1
RR (breaths min ⁻¹) (n=10)	19.3 ± 2	32.4 ± 5.2*	18.7 ± 3.3
V _T (L) (n=10)	0.62 ± 0.07	1.48 ± 0.25*	0.77 ± 0.21
V _E (L.min ⁻¹) (n=10)	11.88 ± 1.71	47.27 ± 9.54*	13.54 ± 1.9
RPB [‡] (n=9)	0	4 (4, 5)*	0
RPE _{arm} [‡] (n=9)	0	4 (3, 5)*	0
RPE _{leg} [‡] (n=9)	0	5 (3, 5)*	0

หมายเหตุ: แสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ยกเว้น ‡: แสดงค่ามัธยฐาน (ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ที่ 1 และ 3); HR: heart rate; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure; SpO₂: oxygen saturation; V_T: tidal volume, V_E: minute ventilation, RPB: rate of perceived breathless (Borg's CR 10 scale); RPE_{arm}: rate of perceived exertion of arm; RPE_{leg}: rate of perceived exertion of leg; *p< 0.01 เทียบกับ ก่อนออกกำลังกาย และสิ้นสุดการฟื้นตัว



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการออกกำลังกายอยู่กับที่กับการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของหัวใจ และปอด ณ จุดสิ้นสุดออกกำลังกายเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย

ก) อัตราการเต้นหัวใจ ข) ระดับความหอบเหนื่อย ค) ปริมาตรอากาศต่อครั้งและ ง) ปริมาตรการระบายอากาศใน 1 นาที
เส้นประ แสดง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอาสาสมัครแต่ละคน เส้นหนา แสดง เส้นความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร

การตอบสนองของระบบหัวใจและปอดต่อการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักก้าวหน้า (incremental exercise test) นั้น จะเพิ่มขึ้นตามความหนักที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง ใช้ประเมินสมรรถภาพการออกกำลังกายสูงสุด (peak exercise capacity) ต่างจากการทดสอบแบบความหนักคงที่ (constant workload) ซึ่งจะเพิ่มจนถึงระดับเหมาะสมกับความหนักระดับนั้นๆ และคงอยู่สม่ำเสมอจนถึงสิ้นสุดการออกกำลังกาย¹⁹ ใช้ในการประเมินความทนทานในการออกกำลังกายระดับต่ำกว่าสมรรถภาพการออกกำลังกายสูงสุด ผลลัพธ์ของการทดสอบเป็นเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกาย ระดับอาการเหนื่อย ระดับอาการเหนื่อยล้า ดังนั้น การทดสอบแบบ ISMET ซึ่งออกแบบให้มีการเพิ่มความหนักแบบก้าวหน้าต่อเนื่องเป็นลำดับขั้น จนผู้ป่วยต้องการหยุดการทดสอบเองเนื่องจากข้อจำกัดทางอาการ (symptom limit) อันเป็นจุดสูงสุดที่ผู้ป่วยสามารถทำได้ จึงเป็นแบบที่ใช้ประเมินสมรรถภาพสูงสุด แตกต่างจากการทดสอบแบบ SMET แบบ 1) และ 2)

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความปลอดภัยของการทดสอบแบบ ISMET เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาต่อไป โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้เป็นวิธีการทดสอบสมรรถภาพสูงสุดที่ทำได้ง่ายในทุกสถานที่ในผู้ป่วย COPD โดยมีสมมุติฐานว่า การทำงานของระบบหัวใจและปอดเพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุดตามอาการของผู้ป่วยได้ (symptom limited peak exercise capacity) และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในระดับสูงกับความหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการศึกษา (ตารางที่ 2) พบว่า การทดสอบแบบ ISMET นี้ มีประสิทธิภาพเพิ่มการทำงานของระบบหัวใจและปอดได้ถึงจุดสูงสุด โดยมี HR สูงสุดเท่ากับ $83 \pm 22\%$ HRmax ซึ่งสะท้อนสมรรถภาพของระบบหัวใจที่ระดับความหนักที่สูงเมื่ออ้างอิงตามเกณฑ์ของคนปกติ¹⁷ ระดับอาการเหนื่อยเพิ่มจนถึงระดับมาก (RPB เท่ากับ 4/10) ระดับอาการเหนื่อยล้าของแขนและขาเพิ่ม

จนถึงระดับมาก (RPE เท่ากับ 4/10 และ 5/10 ตามลำดับ) V_E เพิ่มขึ้นเท่ากับ $47.27 \pm 9.54 \text{ L.min}^{-1}$ ($303.35 \pm 87.93\%$) บ่งชี้ว่าอาสาสมัครหยุดออกกำลังกายที่สมรรถภาพสูงสุดเนื่องจากมีอาการจริง (symptom limitation) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการในผู้ป่วย COPD ด้วยจักรยานวัดงาน กล่าวคือ HR เพิ่มถึงจุดสูงสุดเท่ากับ $128 \pm 22 \text{ beats.min}^{-1}$ ($82.58\% \text{ HRmax}$), V_E เพิ่มเท่ากับ $48.10 \pm 14.60 \text{ L.min}^{-1}$, และ RPB เพิ่มถึง 5 ± 2 จาก 10^{20} การศึกษาที่ทดสอบด้วยลู่วิ่งพบว่า V_E เพิ่มถึงจุดสูงสุดเท่ากับ $38.6 \pm 16.0 \text{ L.min}^{-1}$ และ RPB เท่ากับ 6.5 ± 2^{21} HR เพิ่มถึงจุดสูงสุดเท่ากับ $133 \pm 18 \text{ beats.min}^{-1}$ ($83.64\% \text{ HRmax}$), V_E เท่ากับ $44.2 \pm 14.1 \text{ L.min}^{-1}$, และ RPB เท่ากับ 6.5 ± 2.1^{22} นอกจากนั้นผลการศึกษายังพบว่า การตอบสนองของระบบหัวใจและปอดของการทดสอบแบบ ISMET มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับความหนักที่เพิ่มขึ้น ($r = 0.861-0.920$) (รูปที่ 2) ตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักก้าวหน้า สอดคล้องกับการศึกษา ISMET ในคนปกติที่ผ่านมา ซึ่งพบความสัมพันธ์กับความหนักที่เพิ่มขึ้นระดับสูงมาก ($r = 0.98-0.99$)¹⁶

การเพิ่มความหนักแบบก้าวหน้าของการทดสอบแบบ ISMET ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการค่อยๆเพิ่มทีละน้อย โดยเพิ่มความเร็วในการย่ำเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่เพียงระดับละ 10 ก้าวต่อนาที การที่ใช้เวลา ระดับละ 3 นาทีในการออกกำลังกายในแต่ละระดับความหนักนั้น เนื่องจากเป็นเวลาที่ระบบหัวใจและปอดเพิ่มการทำงานได้เหมาะสมและคงที่กับงานในระดับนั้นๆ อันเป็นเวลาที่ใช้ตามมาตรฐานปกติของการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกาย¹⁹ ความเร็วในการย่ำเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่เริ่มต้นที่ 70 ก้าวต่อนาที และขนาดความเร็วที่เพิ่มขึ้นแต่ละขั้น 10 ก้าวต่อนาที ตามวิธีการในการศึกษานี้ ออกแบบจากผล

การศึกษานำร่องในผู้ป่วย COPD ก่อนการเก็บข้อมูล ซึ่งค่อยๆเพิ่มการทำงานของระบบหัวใจและปอดจนถึงจุดสูงสุดได้โดยใช้เวลานั้น ลดความเสี่ยงในการเกิดภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ (hypoxemia) แต่มีระยะเวลาในการออกกำลังกายนานเพียงพอสำหรับการเพิ่มการทำงานของระบบหัวใจและปอดให้ถึงระดับสูงสุด ก่อนที่กล้ามเนื้อขาและแขนจะล้าซึ่งมักเกิดขึ้นเร็วในผู้ป่วย COPD

การทำงานของระบบหัวใจและปอดใน COPD เพิ่มขึ้นอย่างมากในเวลาเพียง 3 นาทีแรกของการทดสอบแบบ ISMET ที่ความเร็วในการย่ำเท้าแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่ขึ้นแรกเพียง 70 ก้าว/นาที โดยเฉพาะระบบหายใจมี V_E และ RPB เพิ่มมากจนต้องหยุดออกกำลังกายในเวลาอันสั้นเพียง 6.16 นาที ซึ่งน้อยกว่าที่ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการด้วยจักรยานวัดงาน 8.4 ± 3.4 นาที²⁰ และลู่วิ่ง 11.5 ± 2.8 นาที²¹ และเฉลี่ย 7.1 นาที²² ในผู้ป่วย COPD ที่ HR, V_E , RPB เพิ่มถึงจุดสูงสุดในระดับเดียวกับการศึกษานี้ ดังนั้น การทดสอบแบบ ISMET จึงเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพในการประเมินสมรรถภาพสูงสุดใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการมาตรฐานโดยใช้เวลาในการทดสอบน้อยเมื่อเทียบกับการศึกษาของการทดสอบสมรรถภาพด้วยการออกกำลังกายแบบมาตรฐานที่ผ่านมา บ่งชี้ว่ารูปแบบการออกกำลังกายด้วยการเพิ่มการแกว่งแขนสูงเหนือระดับหัวไหล่ร่วมกับการออกกำลังกายขา สามารถเพิ่มอัตราการการทำงานของระบบหัวใจและปอดเร็วขึ้น มีการใช้ขบวนการสร้างพลังงานจากการใช้ออกซิเจนสูงมากในช่วงเริ่มออกกำลังกาย²³ และอาจใช้ขบวนการสร้างพลังงานจากการไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) ในการออกกำลังกายร่วมด้วยมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความบกพร่องของการแลกเปลี่ยนก๊าซจากพยาธิสรีรวิทยาของปอดในอาสาสมัคร COPD¹⁹ หรือการกระตุ้นให้เกิดอาการหอบ

เนื่องจากการเพิ่มงานของกล้ามเนื้อหายใจในขณะแกว่งแขนสูงเหนือหัวไหล่

ดังนั้น การทดสอบแบบ ISMET จึงเป็นรูปแบบการทดสอบสมรรถภาพการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีประสิทธิภาพในการประเมินสมรรถภาพสูงสุดได้ในผู้ป่วย COPD เนื่องจากการเคลื่อนไหวต่อเนื่อง โดยใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ในขณะออกกำลังกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการทำงานของกล้ามเนื้อแขน ขาและลำตัวพร้อมกัน จึงสามารถเพิ่มการทำงานของระบบหัวใจและปอดได้ การเพิ่มการทำงานของระบบหัวใจและปอด ณ จุดสิ้นสุดการออกกำลังกายอยู่ในเกณฑ์การตอบสนองที่ปลอดภัยทั้งหัวใจและปอดในทุกตัวแปร และไม่เกิดอาการไม่พึงประสงค์ ผู้ป่วยไม่เกิดภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ และไม่มีคลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติ และสามารถฟื้นตัวเข้าสู่ภาวะปกติก่อนการทดสอบได้ใน 10 นาที (ตารางที่ 2) แสดงว่าการทดสอบแบบ ISMET มีความปลอดภัยน่าจะนำไปใช้ได้ผู้ป่วย COPD ระดับความรุนแรงน้อย-ปานกลางได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาต่อไปในกลุ่ม COPD จำนวนมากขึ้น การทดสอบแบบ ISEMT นี้มีความปลอดภัย ทำได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อย และใช้อุปกรณ์เพียงตัวกำหนดจังหวะ ลักษณะการออกกำลังกายครอบคลุมกิจกรรมในชีวิตจริงซึ่งเป็นข้อจำกัดในผู้ป่วย COPD

ข้อจำกัดในงานวิจัย

จำนวนอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการมีน้อย (10 คน) เนื่องจากอาสาสมัครไม่สะดวกในการเข้าร่วมโครงการและมีปัญหาในการเดินทาง อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือเนื่องจากผลการวิเคราะห์สถิติมีอำนาจในการทดสอบสูงเท่ากับ 92.9% อาสาสมัครเป็นเพศชายทั้งหมดเนื่องจากอาสาสมัคร COPD เพศหญิงมีน้อยมาก อาสาสมัครมีความรุนแรงของโรคระดับน้อย-ปานกลาง ไม่ครอบคลุมถึงระดับรุนแรงที่ต้องการการฟื้นฟูสมรรถภาพปอดอย่างมาก เนื่องจากประสบปัญหาในการขอการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ นอกจากนั้น

วิธีการวัดปริมาตรการระบายอากาศต้องวัดผ่านหน้ากากครอบจมูกและปากอาจทำให้อาสาสมัครบางคนรู้สึกอึดอัด ซึ่งอาจส่งผลต่อความรู้สึกหอบเหนื่อยหรือขอหยุดการทดสอบได้ อย่างไรก็ตาม วิธีการวัดดังกล่าวนี้เป็นวิธีการวัดตามมาตรฐาน

สรุปผลงานวิจัย

การทดสอบสมรรถภาพการทำกิจกรรมด้วยการออกกำลังกายแบบ Incremental Spot Marching Exercise Test สามารถเพิ่มการทำงานของระบบหัวใจและปอดได้ถึงระดับสูงสุด ที่ความหนักของการออกกำลังกายปานกลาง-สูงโดยใช้เวลาในการทดสอบน้อยและการทำงานของระบบหัวใจและปอดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในระดับสูงกับความหนักที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับลักษณะมาตรฐานของการทดสอบแบบเพิ่มความหนักก้าวหน้า และมีความปลอดภัย จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปศึกษาต่อไป โดยเพิ่มขนาดตัวอย่าง และเพศหญิง ครอบคลุมระดับความรุนแรงมาก เพื่อใช้ในการกำหนดและประเมินโปรแกรมการฟื้นฟูสมรรถภาพปอดในผู้ป่วย COPD ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณพยาบาลและเจ้าหน้าที่ของคลินิกโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้ความสะดวกในการคัดกรองอาสาสมัครและอาสาสมัครที่สละเวลาในการเข้าร่วมการศึกษา ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลกองทุนวิจัยกายภาพบำบัดทรวงอกและคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease [GOLD] . Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of

chronic obstructive pulmonary disease [Internet]. 2017 [cited 2018 Oct 12]. Available from: https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2017/11/GOLD-2018-v6.0-FINAL-revised-20-Nov_WMS.pdf.

2. Rabinovich RA, Vilaró J, Roca J. Evaluation exercise tolerance in COPD patients: the 6-minute walking test. Arch Bronconeumol. 2004; 40(2): 80-5.
3. Stevens D, Elpern E, Sharma K, Szidon P, Ankin M, Kesten S. Comparison of hallway and treadmill six-minute walk tests. Am J Respir Crit Care Med. 1999; 160: 1540-3.
4. Guyatt GH, Thompson PJ, Berman LB, Sullivan MJ, Townsend M, Jones NL, et al. How should we measure function in patients with chronic heart and lung disease?. J Chronic Dis. 1985; 38(6):517-24.
5. Solway S, Brooks D, Lacasse Y, Thomas S. A qualitative systematic overview of the measurement properties of functional walk tests used in the cardiorespiratory domain. Chest. 2001; 119(1): 256-70.
6. Borel B, Provencher S, Saey D, Maltais F. Responsiveness of various exercise-testing protocols to therapeutic interventions in COPD. Pulm Med. 2013; 2013: 410748.
7. Owens GR, Thompson FE, Sciurba FC, Robertson R, Metz KF, Volmer RR. Comparison of arm and leg ergometry in patient with moderate chronic obstructive pulmonary disease. Thorax. 1988; 43(11):911-5.
8. McKeough ZJ, Alison JA, Bye PT. Arm exercise capacity and dyspnea ratings in subjects with chronic obstructive pulmonary

- disease. J Cardiopulm Rehabil. 2003; 23(3) : 218-25.
9. Dolmage TE, Maestro L, Avendano MA, Goldstein RS. The ventilatory response to arm elevation of patient with chronic obstructive pulmonary disease. Chest. 1993; 104(4): 1097-100.
10. Celli BR, Rassulo, J, Make BG. Dyssynchronous breathing during arm but not leg exercise in patients with chronic airflow obstruction. N Engl J Med. 1986; 314: 1485-90.
11. Janaudis-Ferreira T, Beauchamp K, Goldstein RS, Brooks D. How should we measure arm exercise capacity in patient with COPD?. Chest. 2012; 141(1): 111-20.
12. Borel B, Fabre C, Saison S, Bart F, Grosbois JM. An original field evaluation test for chronic obstructive pulmonary disease population: the six-minute stepper test. Clini Rehabil. 2010; 24(1): 82-93.
13. Pukdeecheat M, Phimphasak C, Jones C. Effect of breathing with a new positive expiratory pressure device during exercise on exercise capacity and cardiopulmonary responses in patients with chronic obstructive pulmonary disease: Preliminary study. Thai Journal of Physical Therapy. 2017; 39(3): 97-110.
14. Pongpanit K, Jones C, Jones D, Boonsawat W. Positive expiratory pressure breathing increase the recovery of dyspnea in patients with COPD. Thai Journal of Physical Therapy. 2015; 37(1): 41-53.
15. Khaweephap V, Jones C, Phimphasak C, Jones D. Comparison of cardiopulmonary responses between a new spot marching test and six minute walk test in mild to moderate COPD patients. Poster session presented at European Respiratory Society International Congress 2016; 2016 Sep 3-7; London, United Kingdom. PA1592.
16. Naosang S, Wannachit N, Jones C. A new endurance exercise test “ Spot Brisk Marching” : Lung capacity?. Poster session presented at The 8th National Physical Therapy Conference; 2016 Jun 20-23; Bangkok, Thailand.
17. American College of Sport Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 9th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
18. American Thoracic Society and American College of Chest Physicians. ATS/ ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. Am J Respir Crit Care Med. 2003; 167(2): 211-77.
19. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Sietrema KE, Sun XG, et al. Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical application. 5th ed. Baltimore,ML: Lippincott William & Wilkins; 2012.
20. Luxton N, Alison JA, Wu J, Mackey MG. Relationship between field walking tests and incremental cycle ergometry in COPD. Respirology. 2008; 13(6): 856-62.
21. Hsia D, Casaburi R, Pradhan A, Torres E, Porszasz J. Physiological responses to linear treadmill and cycle ergometer exercise in COPD. Eur Respir J. 2009; 34(3): 605-15

22.Singh SJ, Morgan MD, Hardman AE, Rowe C, Bardsley PA. Comparison of oxygen uptake during a conventional treadmill test and the shuttle walking test in chronic airflow limitation. Eur Respir J.1994; 7(11): 2016-20.

23.Rabinovich RA, Vilaró J, Roca J. Evaluation exercise tolerance in COPD patients: the 6-minute walking test. Arch Bronconeumol 2004; 40(2): 80-85.