ผลของการหายใจออกผ่านอุปกรณ์ก่อแรงดันบวกแบบใหม่ในขณะออกกำลังกายต่อความสามารถในการออกกำลังกายและการทำงานของปอดและหัวใจในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง: การศึกษาเบื้องต้น

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

มลิพร ภักดีชาติ, ฉัตรชัย พิมพศักดิ์, ชุลี โจนส์*

Malipond Pukdeechat, Chatchai Phimphasak, Chulee Jones*

สายวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

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

บทคัดย่อ

ที่มาและความสำคัญ: พลวัตการโป่งพองของปอดขณะออกกำลังกายเป็นสาเหตุสำคัญของอาการหอบเหนื่อย ทำให้ความทนทานของการออกกำลังกายลดลงในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) การหายใจผ่านอุปกรณ์ก่อแรงดันบวกรูปกรวย (conical positive expiratory pressure, C-PEP) สามารถลดภาวะพลวัตการโป่งพองของปอดและเพิ่มระยะเวลาการออกกำลังกายได้ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ C-PEP เดิมนั้น ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับใช้ขณะออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงพัฒนาหน้ากากก่อแรงดันบวก (C-PEP mask) เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของการหายใจผ่าน C-PEP mask ต่อความทนทานในการออกกำลังกายมอาการหอบเหนื่อย และการทำงานของปอดและหัวใจขณะออกกำลังกายในผู้ป่วย COPD ที่มีระดับความรุนแรงปานกลางถึงรุนแรงมาก

วิธีการ: อาสาสมัคร 9 ราย (อายุ 67.3 ± 3.9 ปี) เข้าร่วมการศึกษาแบบสุ่มไขว่ (randomize cross-over trial) โดยทดสอบออกกำลังกายแบบย้ำเท้าแกว่งแขนสูงอยู่กับที่ (spot marching exercises) ด้วยอัตราการย้ำคงที่ (90±15 ครั้ง/นาที) ใน 2 ภาวะ คือ หายใจผ่าน C-PEP mask (C-PEP) และหายใจปกติ (ภาวะควบคุม) จนกระทั่งไม่สามารถออกกำลังกายต่อได้ (symptom limit) ผู้วิจัยบันทึกระยะเวลาความทนทานของการออกกำลังกาย และติดตามค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดต่างๆตลอดช่วงการทดสอบ ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate, HR), อัตราการหายใจ (respiratory rate, RR), ระดับความหอบเหนื่อย (Rate perceive of breathlessness, RPB), ร้อยละของความอิ่มตัวของก๊าซออกซิเจนในเม็ดเลือดแดงที่ปลายนิ้ว (pulse oxygen saturation, SpO2) และระดับความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสิ้นสุดลมหายใจออก (end tidal CO2, PETCO2) นอกจากนี้ได้วัด ปริมาตรอากาศในลมหายใจออกของแต่ละวงจรการหายใจ (Tidal volume, VT) ณ ก่อนออกกำลังกาย, สิ้นสุดการออกกำลังกาย และสิ้นสุดการพักฟื้น

ผลการศึกษา: พบว่าอาสมัครสามารถออกกำลังกายในภาวะ C-PEP ได้นานขึ้นเฉลี่ย 4 นาที เมื่อเทียบกับภาวะควบคุม (12.2 ± 5.8 และ 8.3 ± 2.1 นาที ตามลำดับ $p<0.05$) ด้วย RPB และ HR ที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการออกกำลังกายพบว่าในภาวะ C-PEP มีค่า RR ที่ต่ำกว่าและค่า VT ที่สูงกว่าภาวะควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนระดับ PETCO2 และ SpO2 อยู่ในช่วงปกติตลอดช่วงออกกำลังกาย นอกจากนี้ค่า RR ของภาวะ C-PEP สามารถฟื้นตัวกลับเข้าสู่ภาวะปกติได้แต่ไม่พบการฟื้นตัวดังกล่าวในภาวะควบคุม

สรุปผลการศึกษา: การใช้ C-PEP mask ขณะออกกำลังกายมีความปลอดภัย ลดระดับความหอบเหนื่อย ขณะออกกำลังกายสามารถเพิ่มระยะเวลาความทนทานในการออกกำลังกาย และส่งเสริมการฟื้นตัวของการทำงานของปอดในผู้ป่วย COPD

*corresponding author: Chulee Jones, School of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University, KhonKaen 40002. Email: joneschulee@gmail.com

ABSTRACT

Background: Dynamic hyperinflation during exercise is a major cause of dyspnea, leads to exercise intolerance in COPD patients. Breathing with conical positive expiratory pressure (C-PEP) device could reduce dynamic hyperinflation and increased exercise time. However, the old C-PEP were not practical to be used during exercise. There for, we have developed a new C-PEP mask for solving this problem.

Objectives: To evaluate the effects of breathing with C-PEP mask on exercise endurance time, dyspnea and cardiopulmonary functions during exercise in moderate to severe COPDs.

Methods: A randomize cross-over trial was conducted in 9 COPDs (67.3 ± 3.9 yrs.). They performed spot marching exercises with constant speed (90±15 step/min) in C-PEP mask (C-PEP) and normal breathing (control) conditions until symptom limit. Exercise time was record. We monitored, Heart rate (HR), respiratory rate (RR), Rate perceive of breathlessness (RPB), pulse oxygen saturation (SpO_2) and end tidal CO_2 ($P_{ET}CO_2$) throughout test trial. Tidal volume (VT) was measured at resting, end exercise and recovery.

Results: They could exercise 4 min longer in C-PEP than Control (12.2 ± 5.8 vs. 8.3 ± 2.1 min; $p<0.05$) with similar levels of RPB and HR. At end exercise, RR was slower and VT was greater in C-PEP than Control ($p<0.05$). $P_{ET}CO_2$ and SpO_2 were within normal range during exercise. RR could return to baseline in C-PEP but not for control.

Conclusion: Using C-PEP mask during exercise is safe, reduces exertional dyspnea, increased exercise time and promoted lung functions recovery in COPD.

Keywords: COPD, Positive expiratory pressure, Dyspnea, Exercise endurance, Cardiopulmonary responses

บทนำ

ผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic Obstructive Pulmonary Disease: COPD) มีอาการหอยเหนื่อยง่ายในขณะพักและออกกำลังกาย ซึ่งอาการจะรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาและความหนักของการออกกำลังกาย ทำให้ความทนทานในการออกกำลังกายลดลง และจำกัดการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน สาเหตุสำคัญเกิดจากการตีบแคบของหลอดลมอย่างรวดเร็วขณะหายใจออกจนมีการกักอากาศเพิ่มขึ้น มากขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะออกกำลังกายหรือทำกิจกรรม[1] เรียกภาวะนี้ว่า พลวัติการโป่งพองของปอด (dynamic lung hyperinflation, DH)[2] ซึ่งเกิดจากพยาธิสรีรวิทยาของโรคที่มีแรงต้านทานในหลอดลมเพิ่มมากขึ้นจากการหนาตัวของผนังหลอดลม การคืนตัวกลับของปอด (elastic recoil) ลดลงจากการทำลายเนื้อปอด สูญเสียการยึดโยงระหว่างถุงลม(alveolar attachment)[1,3] ทำให้เกิดการปิดของหลอดลมก่อนเวลาสิ้นสุดการหายใจออก (premature airways closure) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อหายใจออกแรงในขณะออกกำลังกาย ส่งผลให้อากาศค้างในปอด ซึ่งทำให้ปริมาตรปอดหลังหายใจออก (end expiratory lung volume, EELV) เพิ่มขึ้น และความจุปอดของการหายใจเข้า (inspiratory capacity, IC) ลดลง [4,5] ทำให้มีการระบายอากาศลดลงและนำไปสู่การเพิ่มงานการหายใจมากขึ้นอีก จนผู้ป่วยต้องหยุดทำกิจกรรมนั้นๆ[6] และใช้ระยะเวลานานในการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายหรือทำกิจกรรม[4,5] ส่งผลให้

สมรรถภาพร่างกายลดลง เกิดโรคร่วมของ COPD ได้ง่าย และคุณภาพชีวิตลดลงไปด้วย[2,6] ดังนั้น การลดภาวะหอบเหนื่อยโดยลดหรือชะลอการเกิดพลวัติการโป่งพองของปอดจึงเป็นวิธีการรักษาที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางกาย

การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเพิ่มแรงดันบวกในขณะหายใจออก (positive expiratory pressure, PEP) ทั้งโดยการหายใจออกแบบห่อปาก (pursed lip breathing) หรือการหายใจออกผ่านอุปกรณ์ก่อแรงดันบวก สามารถเพิ่มการระบายอากาศ เพิ่ม IC และ ลดการหอบเหนื่อยขณะออกกำลังกายได้[4,5,7,8] การหายใจออกผ่านอุปกรณ์ PEP สามารถลดอาการหอบเหนื่อยได้มากกว่าการหายใจออกแบบห่อปาก[3] แม้การหายใจแบบห่อปากเป็นวิธีที่เพิ่มแรงดันบวกในขณะหายใจออกได้ แต่ขนาด และลักษณะการห่อปาก ซึ่งขึ้นกับความพยายามของผู้ป่วยเอง มีผลต่อขนาดแรงดันที่เกิดขึ้น ทำให้มีระดับแรงดันที่ต่ำและไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น การหายใจผ่านอุปกรณ์ PEP ซึ่งมีขนาดและลักษณะให้แรงต้าน คงที่กว่า ทำให้เกิดแรงดันบวกมากกว่า และสม่ำเสมอกว่าแรงดันบวกที่เกิดจากการหายใจออกแบบห่อปาก[5] แต่อุปกรณ์ PEP ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้นไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในขณะออกกำลังกาย ส่วนมากผลิตเพื่อใช้สำหรับการกำจัดเสมหะ อุปกรณ์ก่อแรงดันบวกรูปกรวย (Conical-PEP; C-PEP) เป็นอุปกรณ์เดียวที่ประดิษฐ์ขึ้นในประเทศไทย และสามารถใช้ในขณะออกกำลังกายกับที่ ซึ่งการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพในการลดหอบเหนื่อยและเพิ่มความทนทานในการออกกำลังกายในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังได้[7] แต่ยังพบข้อจำกัดในการนำไปใช้ขณะออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนที่หรือทำกิจกรรมที่มีการเคลื่อนที่ อันเป็นกิจกรรมในชีวิตประจำวัน คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาต่อยอดอุปกรณ์ C-PEP โดยประดิษฐ์เป็นแบบหน้ากาก (C-PEP mask) สามารถใส่ครอบปากในขณะทำกิจกรรมในที่สาธารณะได้อย่างมั่นใจ และเพิ่มแรงดันบวกได้ในช่วงที่เหมาะสม ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อ ประเมินประสิทธิภาพและความปลอดภัยของการใช้ C-PEP mask ขณะออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนไหว ต่ออาการหอบเหนื่อยและความทนทานในการออกกำลังกายในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังที่มีความรุนแรงปานกลางถึงมาก

วิธีการวิจัย

1. อุปกรณ์ก่อแรงดันบวกขณะหายใจออกแบบใหม่

อุปกรณ์ก่อแรงดันบวกขณะหายใจออกเป็นอุปกรณ์ก่อแรงดันบวกรูปกรวยแบบหน้ากาก (C-PEP mask) ที่พัฒนาต่อยอดจากอุปกรณ์ก่อแรงดันบวกรูปกรวยแบบ mouth piece (C-PEP)[7] อุปกรณ์ C-PEP เป็นอุปกรณ์รูปกรวย ปลายหนึ่งเป็นรูเปิดที่มีขนาดต่างๆ ทำให้เกิดแรงดันบวกตามขนาดของรูเปิดและความเร็วของลมหายใจออก อุปกรณ์ C-PEP ได้รับการพัฒนาใหม่ เป็นแบบหน้ากาก (C-PEP mask) ซึ่งภายในหน้ากากมี C-PEP และ ลิ้นทางเดียวควบคุมทิศทางของลมหายใจให้เข้าและออกคนละทาง ซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันบวกขณะหายใจออกแรงในขณะออกกำลังกาย C-PEP mask (อยู่ในระหว่างการขอจดสิทธิบัตร เลขที่คำขอ 1701006640) อาสาสมัครสวม C-PEP mask แนบกระชับกับใบหน้า ขนาดของรูเปิดถูกเลือกให้เหมาะสมกับอาสาสมัครแต่ละคนก่อนวันเก็บข้อมูล กล่าวคือ ไม่ทำให้อึดอัดขณะหายใจและทำให้เกิดแรงดันบวกในขณะหายใจออกที่เพียงพอในการบำบัดและปลอดภัย คือ อยู่ในช่วง 5-20 เซนติเมตรน้ำ ซึ่งรายงานการศึกษาพบว่าแรงดันบวกขณะหายใจออก 5 เซนติเมตรน้ำ เป็นระดับที่เพียงพอในการลด intrinsic positive end expiratory pressure (PEEP) และลดงานการหายใจในผู้ป่วย COPD[9] แต่หากแรงดันบวกขณะหายใจออกสูงเกินไปอาจลดการไหลเวียนเลือดกลับเข้าสู่หัวใจ ลดการไหลเวียนเลือดของปอด และลดปริมาตรเลือดที่บีบออกจากหัวใจได้ การศึกษาในอดีต

รายงานช่วงที่เหมาะสมของค่า PEEP ในภาวะพักสำหรับเครื่องช่วยหายใจ คือ 5-24 เซนติเมตรน้ำ[10] อุปกรณ์ PEP ที่ใช้ในผู้ป่วยที่หายใจได้เองนั้นทำให้เกิดแรงดันบวกที่จัดอยู่ในช่วงระดับต่ำ คือ 5-20 เซนติเมตรน้ำ[11] ดังนั้น การศึกษานี้จึงควบคุมให้แรงดันบวกที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 5-20 เซนติเมตรน้ำ ซึ่งเพียงพอให้เกิดผลการบำบัดและปลอดภัย การเลือกขนาดของ C-PEP ให้เหมาะสม โดยจำลองการหายใจ เข้า-ออกเร็วแรงติดต่อกัน 5 วงจรการหายใจคล้ายกับการหายใจขณะออกกำลังกาย ตรวจสอบระดับแรงดันบวกให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จึงทำซ้ำอีกให้ครบ 5 รอบ เพื่อให้แน่ใจว่าระดับแรงดันบวกที่เกิดขึ้นนั้น อยู่ในช่วงของการบำบัดและไม่ทำให้ให้เกิดความไม่สุขสบายระหว่างใช้งาน โดยเลือกจากอุปกรณ์ 3 ขนาด นอกจากนี้ อาสาสมัครแต่ละราย ได้ทดลองหายใจกับ C-PEP mask ที่เลือกจนคุ้นเคยก่อนวันเก็บข้อมูล

2. วิธีการออกกำลังกายในการวิจัย

อาสาสมัครต้องทดสอบการออกกำลังกายแบบ Spot Marching exercise test (SMT) โดยย่ำเท้ายกขาและแกว่งแขนสูงสลับข้างกับขา (ยกเข่าขึ้นให้ข้อสะโพกงออย่างน้อย 70 องศาร่วมกับแกว่งแขนขึ้นสูงให้ข้อไหล่งออย่างน้อย 90 องศา) โดยทำเครื่องหมายไว้ที่ผนัง ความเร็วที่ใช้เป็นความเร็วสูงสุดที่อาสาสมัครเคลื่อนไหวได้อย่างถูกต้องและเป็นความเร็ว ที่มีความหนักปานกลาง ที่ 50% HRR หรือ 70%HRmax หรือ RPB 4 หน่วย ซึ่งได้ถูกทดสอบก่อนวันเก็บข้อมูลจริงอย่างน้อย 2 วัน ในวันเก็บข้อมูลอาสาสมัครออกกำลังกาย SMT ด้วยความเร็วคงที่ตามที่ได้ทดสอบไว้จนกระทั่งไม่สามารถออกกำลังกายต่อได้ (symptom limit exercise) แต่ไม่เกิน 25 นาที หลังจากสิ้นสุดการออกกำลังกาย ผู้วิจัยบันทึกเวลาที่สามารถออกกำลังกายได้และเหตุผลของการหยุดออกกำลังกายก่อนครบ 25 นาที นอกจากนี้ ระหว่างการออกกำลังกายหากพบว่ามีอาการแสดงอย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ มีคลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติ, HR > 80% HRmax, SpO_2 <85% หรือมีอาการแทรกซ้อนอื่นๆ จะหยุดทดสอบและให้อาสาสมัครเข้าสู่ระยะพักทันที ควบคุมตามจังหวะเสียงที่กำหนดโดยอุปกรณ์ให้จังหวะ (metronome)

3. ตัวชี้วัด

3.1) ระยะเวลาความทนทานของการออกกำลังกาย โดยจับเวลาจากเริ่มการออกกำลังกายจนถึงเมื่ออาสาสมัครหยุดออกกำลังกาย

3.2) ระดับความหอบเหนื่อย (Rating of perceived breathlessness, RPB) ประเมินโดย modified Borg's scale (10 scale) (ตารางที่1) อาสาสมัครได้รับการอธิบายถึงความหมายของตัวเลขตามระดับความรุนแรงของความรู้สึกหอบเหนื่อยจนเข้าใจ ผู้วิจัยสอบถามระดับ RPB ขณะพัก, ออกกำลังกายและช่วงพักฟื้น ทุกๆ 1 นาที

3.3) ระดับความล้าของกล้ามเนื้อ ประเมินโดยใช้ modified Borg's scale เต็ม 10 หน่วย แต่เปลี่ยนจากระดับความหอบเหนื่อยเป็นระดับความล้าของกล้ามเนื้อ โดยเก็บข้อมูลเช่นเดียวกับ RPB

3.4) การติดตามและบันทึกค่าอัตราการหายใจ (respiratory rate: RR) และค่าแรงดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสิ้นสุดการหายใจออก (partial pressure of end tidal CO_2, $P_{ET}CO_2$) ประเมินผ่านทางลมหายใจ โดยใช้ nasal-cannula ของเครื่อง capnometer (BCI 9004, BCI capnocheck® plus, SIMS BCI Inc., Nagold Germany) ในขณะออกกำลังกายในภาวะควบคุม ส่วนในภาวะ C-PEP วัดผ่านทาง cannula สายที่ต่อจาก C-PEP mask

3.5) ระดับความอิ่มตัวของออกซิเจน (pulse oxygen saturation, SpO_2) ประเมินโดยใช้pulse oxymeter ของ เครื่อง bedside monitor (Nihon Kohden Corporation, Japan)

3.6) แรงดันขณะหายใจ วัดโดยต่อสายจาก C-PEP mask ไปสู่pressure transducer และส่ง

สัญญาณไปวิเคราะห์และแปลผลด้วยเครื่องวัดสัญญาณทางสรีรวิทยา (MP100, Biopac System Inc., Santa Barbara, CA) โดยมีการสอบเทียบ ปรับตั้งความแม่นยำ (calibration) ของอุปกรณ์ทุกครั้งก่อนการเก็บข้อมูล

3.7) การติดตาม คลื่นสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (lead II) และบันทึกค่าอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate, HR) โดยการติดขั้วรับสัญญาณไฟฟ้าที่หน้าอก ซึ่งแสดงผลที่ Bedside monitor (Nihon Kohden Corporation, Japan)

3.8) ปริมาตรการหายใจออกต่อครั้ง (expire tidal volume , VT) และปริมาตรลมหายใจออกใน 1 นาที (minute ventilation, VE) วัดโดยใช้เครื่อง Spirometer (KoKo spirometer, PDS Healthcare Products, Inc., USA) วัดก่อน หลังออกกำลังกายทันที และหลังพักฟื้น 10 นาที โดยใช้วิธีการตรวจวัดตามมาตรฐานของ American Thoracic Society (1995) โดยให้อาสาสมัครหายใจเข้าออก 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.9) ความดันโลหิต (Blood pressure, BP) วัดขณะพัก, หลังสิ้นสุดออกกำลังกายทันที และทุกๆ 2 นาทีในช่วงพักฟื้น ด้วย arm pressure cuff ของเครื่อง Bedside monitor (Nihon Kohden Corporation, Japan)

4. กระบวนการเก็บข้อมูลวิจัย

การศึกษาเป็นแบบสุ่มลำดับ (randomized cross over trial, AB หรือ BA) ซึ่งได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น การศึกษาแบ่งเป็น 2 ภาวะ คือ ภาวะออกกำลังกายที่ร่วมกับการใช้ (C-PEP) และไม่ใช้ C-PEP mask (ควบคุม) อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์คัดเข้าร่วมงานวิจัยเดินทางมาที่ห้องวิจัย 3 วัน โดย

วันที่ 1 สร้างความคุ้นเคย (Familiarization) ประกอบด้วย 3 กิจกรรม 1) การตรวจข้อมูลพื้นฐานและเรียนรู้สร้างความคุ้นเคยวิธีการวิจัยโดยอาสาสมัครได้รับการอธิบาย วัตถุประสงค์และกระบวนการวิจัย และลงชื่อยินยอมเข้าร่วมการศึกษา จากนั้นอาสาสมัครได้รับการเก็บข้อมูลพื้นฐาน และทดลองวิธีการต่างๆที่ใช้ในกระบวนการวิจัยทดลอง 2) การทดสอบหาขนาดของอุปกรณ์ที่เหมาะสมและทดลองใช้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น 3) การฝึกออกกำลังกายแบบ SMT และทดสอบหาความเร็วมากที่สุดในการออกกำลังกาย ที่ทำให้เกิดอาการหอบระดับปานกลาง โดยการทำ SMT แบบเพิ่มความเร็วต่างๆตามความสามารถของอาสาสมัคร โดยมีการวัด HR และ RPB ขณะทดสอบ จังหวะความเร็วที่อาสาสมัครทำได้ดีที่สุดและมีระดับความหนักดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นถูกเลือกใช้ทดสอบในวันเก็บข้อมูล ทั้ง 2 ภาวะ ซึ่งห่างกันอย่างน้อย 2 วัน อาสาสมัคร ได้รับแจ้งการงดเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ คาเฟอีนอย่างน้อย 6 ชม. และงดทานอาหารอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนการเก็บข้อมูล

วันที่ 2 เก็บข้อมูลครั้งที่ 1 อาสาสมัครได้รับการสุ่มลำดับภาวะ C-PEP หรือภาวะควบคุม พ่นยาขยายหลอดลม (bronchodilator) และนั่งพัก 15 นาที หรือจนกว่าชีพจรเข้าสู่ระยะพักคงที่ หลังจากนั้นทดสอบออกกำลังกายแบบ SMT ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

วันที่ 3 เก็บข้อมูลครั้งที่2 อาสาสมัครออกกำลังกายและประเมินตัวแปรตามในภาวะที่เหลือ โดยเว้นระยะห่างจากวันที่ 2 อย่างน้อย 1 วัน หรือจนกว่าอาสาสมัครจะหายจากอาการล้าและค่าตัวชี้วัดต่างๆ ได้แก่ HR, BP, RPB และความล้าของกล้ามเนื้อกลับมาสู่ระยะพักใกล้เคียงกับครั้งเริ่มต้น[7]

<u>การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ</u>

วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครโดยการใช้สถิติแบบพรรณนา แสดงค่าตัวแปรตามของแต่ละภาวะเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) ใช้สถิติ Student's paired *t* test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัด ที่เป็นข้อมูลแบบต่อเนื่องทั้งหมด ระหว่าง 2 ภาวะ (C-PEP และ

ควบคุม) และใช้สถิติ Repeated measure ANOVA และ Post hoc test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างในช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการออกกำลังกายในภาวะเดียวกัน เนื่องจากอาสาสมัครออกกำลังกายโดยมีช่วงเวลาต่างกัน ดังนั้นจึงเปรียบเทียบความแตกต่างพื้นที่ใต้กราฟของ RPB และ HR ด้วย normalize time analysis โดยแบ่งช่วงเวลาในทุกๆ 10 percentile ของระยะเวลาความทนทานในการออกกำลังกายของอาสาสมัครแต่ละรายที่ทำได้ ระหว่างสองภาวะโดยใช้ pared t-test เปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของ isotime ณ เวลาที่อาสาสมัครออกกำลังกายได้สูงสุด ประมวลผลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17.0 กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ผลการศึกษา

อาสาสมัคร COPD เข้าร่วมการศึกษา 11 คน ขอถอนตัว 2 คน เนื่องจากป่วย เหลืออาสาสมัคร 9 คน ชาย 8 คน หญิง 1 คน อายุเฉลี่ย 67.3 ± 3.9 ปี มีระดับความรุนแรงของโรคอยู่ในระยะปานกลางถึงมาก (FEV_1/FVC = 49 ± 12%) GOLD II =3 คน, GOLD III= 5 คน, GOLD IV = 1 คน (ดังตารางที่ 2) การหายใจออกผ่านอุปกรณ์ C-PEP mask ทำให้เกิดแรงดันบวกขณะหายใจออก ในระยะพักเฉลี่ย 2.2± 0.8 เซนติเมตรน้ำ และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็น 7.3±2.4 เซนติเมตรน้ำ ในขณะออกกำลังกาย SMT ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 90±15 ครั้ง/นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อัตราการเต้นของหัวใจ เพิ่มขึ้นจากขณะพักอย่างรวดเร็วในช่วงนาทีแรกของการออกกำลังกาย และไม่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการออกกำลังกายในทั้ง 2 ภาวะ อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มเป็น 106.2±8.4 และ 108.5±11.7 ครั้ง/นาที ซึ่งเทียบเท่ากับ 72.5±3.1 และ 71.7±3.1%HRmax ในภาวะ C-PEP และภาวะควบคุมตามลำดับ (ตารางที่ 3) จำนวนอาสาสมัครที่ออกกำลังกายได้นานถึง 11 นาที ในภาวะ C-PEP 5 ราย (56 %) มากกว่าภาวะควบคุม 2 ราย (22 %) (รูปที่ 1) และมีเพียงภาวะ C-PEP เท่านั้น (1 คน) ที่ออกกำลังกายได้นานที่สุด 25 นาที (รูปที่ 2) ช่วงเวลาเฉลี่ยที่อาสาสมัครสามารถออกกำลังกายในภาวะ C-PEP นานกว่าภาวะควบคุม ประมาณ 4 นาที (12.2 ± 5.8 เทียบกับ 8.3 ± 2.1 นาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p = 0.03) (รูปที่ 2) อาสาสมัครไม่มีอาการหอบเหนื่อยก่อนออกกำลังกาย แต่เมื่อหยุดออกกำลังกายทันที RPB เพิ่มขึ้น เป็น 4.6±2.7 และ 4.1±1.8 หน่วย และระดับความล้าของกล้ามเนื้อเพิ่มเป็น 4±2 และ 4±2 หน่วย ในภาวะควบคุม และ C-PEP ตามลำดับ ซึ่งทั้ง RPB และระดับความล้าไม่แตกต่างกันระหว่างภาวะ ณ สิ้นสุดการออกกำลังกาย ค่าตัวชี้วัดทางสรีรวิทยาในระยะพัก, สิ้นสุดการออกกำลังกาย และสิ้นสุดระยะพักฟื้น ได้แสดงในตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของ normalize time HR (รูปที่ 3) ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างสองภาวะ (รูปที่ 4) แต่พบว่าพื้นที่ใต้กราฟ RPB ของภาวะ C-PEP น้อยกว่าภาวะควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 5) การหายใจด้วย C-PEP mask ขณะการออกกำลังกาย SMT ไม่ทำให้ SpO_2 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือมีค่า 94.8±5.0 และ 96.4±5.4% ขณะพัก และมีค่า 94.3±3.2 และ 94.1±3.2% สิ้นสุดการออกกำลังกายค่า $P_{ET}CO_2$ เพิ่มขึ้นจาก ขณะพัก 35.5±6.6 และ 35.4±6.6 mmHg เป็น 43.0±4.0 และ 43.7±5.0 mmHg ทั้งในภาวะ C-PEP และควบคุมตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างภาวะ ความดันโลหิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการออกกำลังกายทันที แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างภาวะ (ตารางที่ 3) ไม่พบความผิดปกติของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรืออาการไม่พึงประสงค์ในทั้ง 2 ภาวะ ตลอดช่วงการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 1 การประเมินระดับความหอบเหนื่อย (rating of perceived breathlessness; RPB) 10 หน่วย

ระดับ	ความหอบเหนื่อย
0	ไม่มีอาการหอบเหนื่อย
0.5	เริ่มรู้สึกหายใจลำบาก
1	หายใจลำบากน้อยมาก
2	หายใจลำบากเล็กน้อย
3	หายใจหอบเหนื่อยปานกลาง
4	หายใจหอบเหนื่อยค่อนข้างมาก
5	หายใจหอบเหนื่อยมาก
6	-
7	หายใจหอบเหนื่อยมากๆ
8	-
9	-
10	หายใจหอบเหนื่อยมากที่สุด

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วย COPD

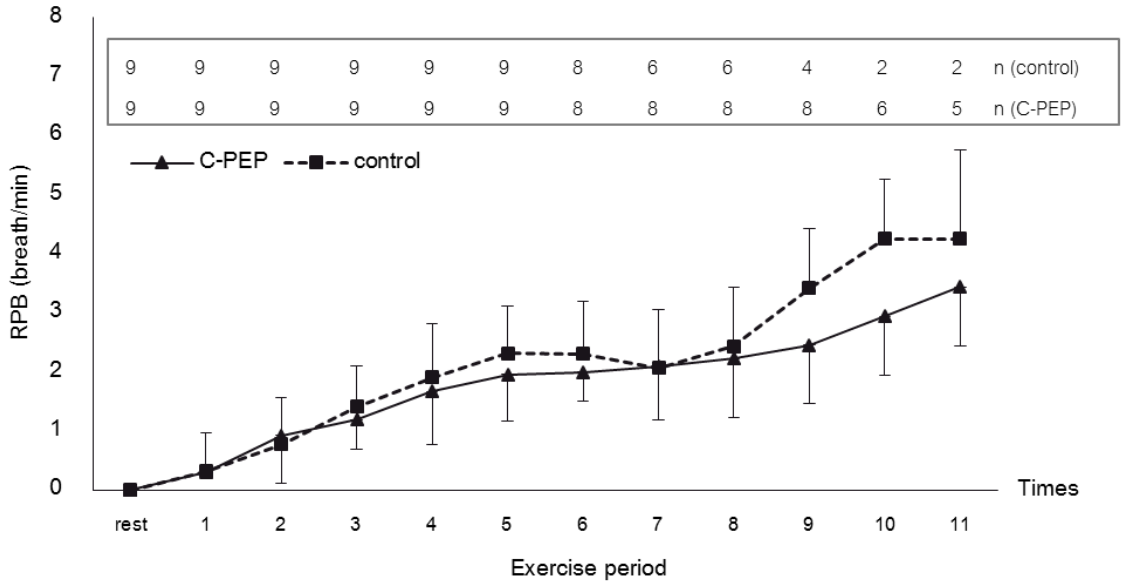
อาสาสมัคร (ทั้งมด 9 คน เป็นชาย 8 คน)	
อายุ (ปี)	67.3 (3.9)
ดัชนีมวลกาย (kg/m^2.)	23.6 (1.2)
FEV_1 (%predicted) GOLD stage II (n=3)	68.66 (13.6)
FEV_1 (%predicted) GOLD stage III (n=5)	44.4 (4.7)
FEV_1 (%predicted) GOLD stage IV (n=1)	12.0 (0)
FEV_1 / FVC (%)	49.2 (12.0)
Co-morbidity (n)	
- Hypertension	3
Medication	
- Inhale glucocorticosteroids	7
- Combination β_2-agonist + glucocorticosteroid	9
- Theophylline	9
- Amlodipine	3

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, FEV_1: forced expiratory volume in one second, FVC: force vital capacity, GOLD: Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease

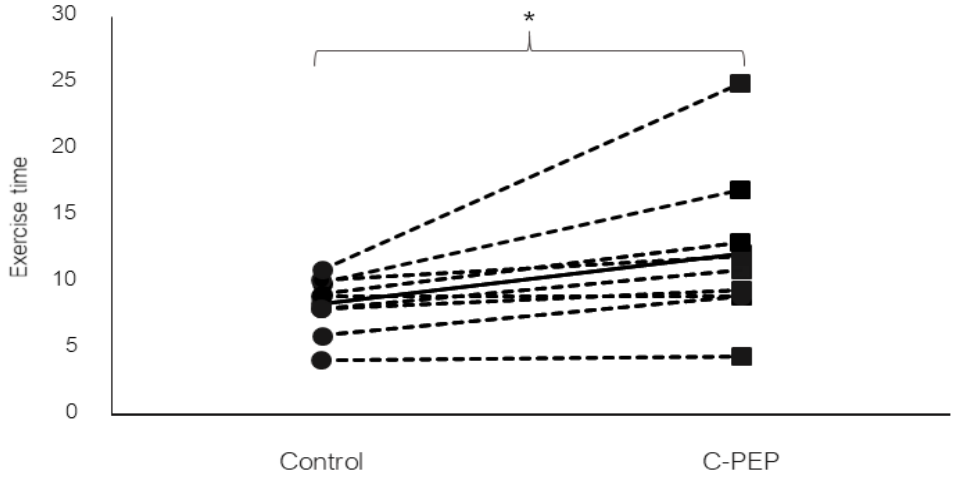
ตารางที่ 3 ผลของการหายใจออกผ่าน C-PEP ต่อระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิตในขณะพัก หลังออกกำลังกายทันที และหลังพักฟื้น 10 นาที

Parameters	Control			C-PEP		
	Rest	End exercise	End recovery	Rest	End exercise	End recovery
HR, bpm	75.4±8.8	108.5±11.7$^{\#}$	83.77±6.9$^{\#\#}$	75.2±11.4	106.2 ± 8.4$^{\#,}$	85.7±9.1$^{\#\#}$
RR, breath/min	17.9±2.4	28.0± 3.0$^{\#}$	19.9±1.6$^{\#\#}$	17.6±2.4	24.0±6.0$^{\#,\ ¥}$	19.0±2.5
VT, ml	620±145	974±279$^{\#}$	682±224	654±109	1018±189$^{\#,\ ¥}$	671±135
VE, L/min	12.3±3.7	28.6±6.6$^{\#}$	14.2±4.9	11.9±2.9	23.5±6.1$^{\#}$	14.2±4.9
$P_{ET}CO_2$, mm Hg	35.4±6.6	43.7±5.0	34.8±4.9	35.5±6.6	43.0±4.0	35.4±6.2
SpO_2, %	96.4±5.4	94.1±3.2	97.2±1.1	94.8±5.4	94.3±3.2	97.4±1.5
SBP, mm Hg	116.2±13.3	144.7±18.0$^{\#}$	127.1±15.8$^{\#\#}$	116.4±20.8	146.4±15.6$^{\#}$	129.0±16.4$^{\#\#}$
DBP, mm Hg	65.8±8.1	75.1±7.1$^{\#}$	72.3±6.6$^{\#\#}$	67.9±9.5	81.33±7.9$^{\#,\ ¥}$	72.3±8.8$^{\#\#}$
MAP, mm Hg	78.9±9.2	99.3±7.1$^{\#}$	83.2±8.0	81.2±13.0	98.4±10.1$^{\#}$	87.5±11.1
Leg fatigue	0.0±0.0	4.0±2.0	0.0±0.0	0.0±0.0	4.0±2.0	0.0±0.0

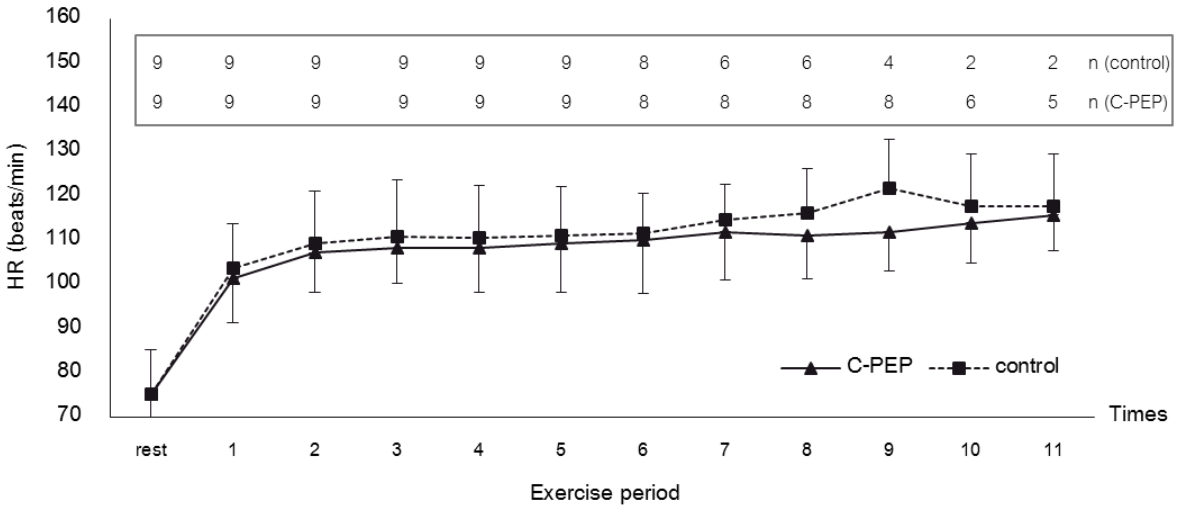
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน HR: heart rate, RR: respiratory rate, VT: tidal volume, VE: minute ventilation, $P_{ET}CO_2$: partial pressure of end tidal carbon dioxide, SpO_2 : pulse oxygen saturation, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, MAP: mean arterial pressure. #: แสดงความแตกต่างทางสถิติระหว่าง end exercise กับ rest; ##: แสดงความแตกต่างทางสถิติระหว่าง rest กับ end recovery; ¥: แสดงความแตกต่างทางสถิติ ณ end exercise C-PEP กับ end exercise sham, p-value < 0.05



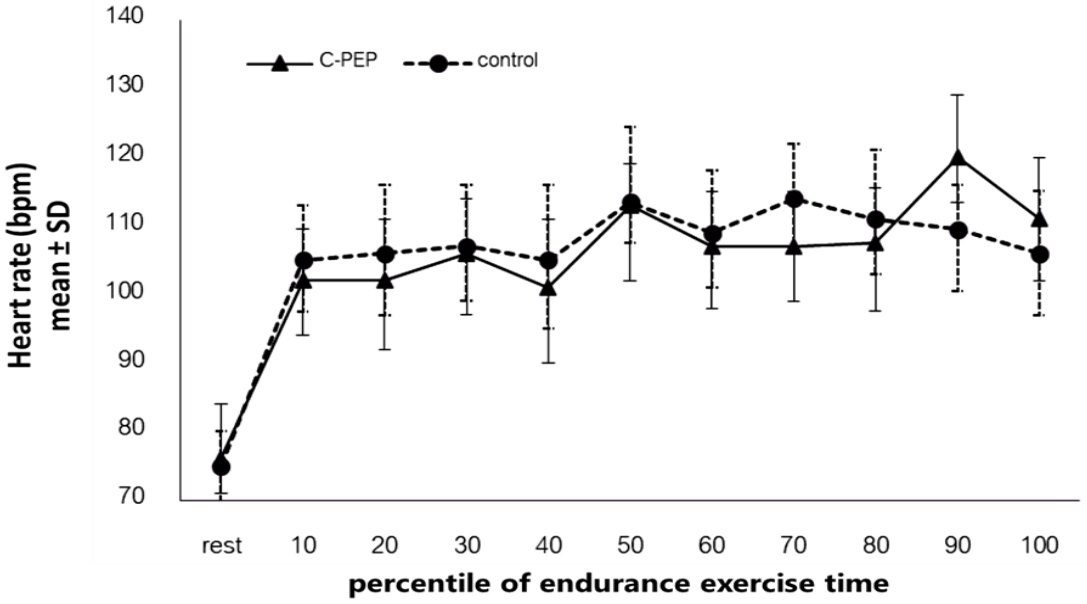
รูปที่ 1 ระดับอาการหอบเหนื่อย (RPB) ที่ขณะพัก ขณะออกกำลังกาย 11 นาที (ซึ่งเป็นเวลาสูงสุดที่อาสาสมัครออกกำลังกายได้ในกลุ่มควบคุม) ในภาวะทดลอง (C-PEP) และภาวะควบคุม (control) แสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD), n แสดง จำนวนอาสาสมัครที่ยังคงออกกำลังกายได้ในแต่ละนาที



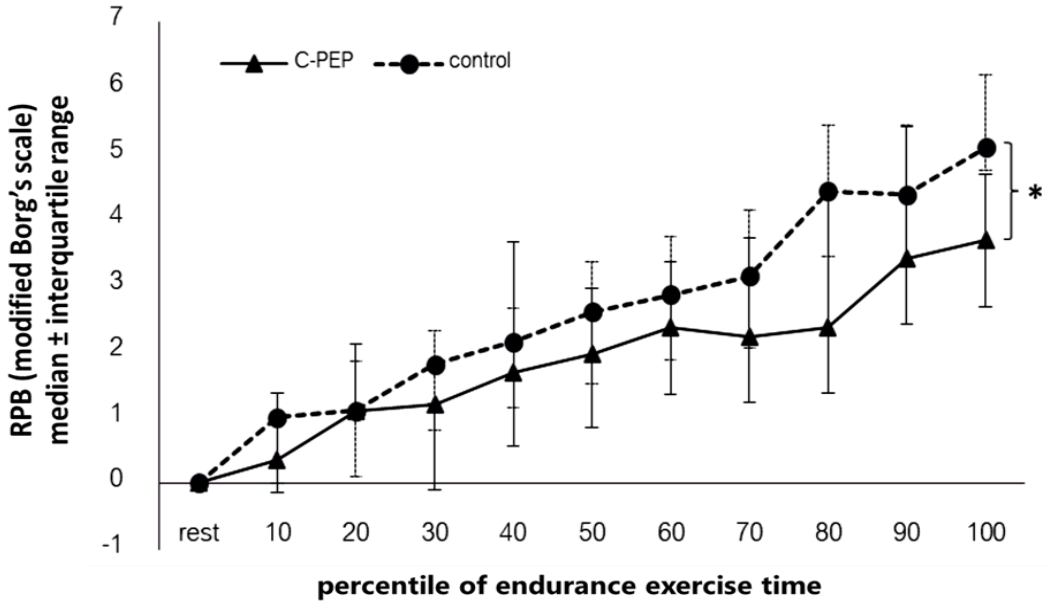
รูปที่ 2 ความทนทานในการออกกำลังกายในภาวะทดลอง (C-PEP) และ ภาวะควบคุม (control) (n=9) Exercise time คือช่วงเวลาที่เริ่มออกกำลังกายจนหยุดออกกำลังกาย เส้นประแสดงความแตกต่างของ exercise time ของอาสาสมัครแต่ละรายออกกำลังกายในทั้งสองภาวะ เส้นทึบแสดงความแตกต่างของ ค่าเฉลี่ยของ exercise time ในการออกกำลังกายของสองภาวะ, *: $p = 0.03$



รูปที่ 3 การตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจ (HR) ที่ขณะพัก ขณะออกกำลังกาย 11 นาที (ซึ่งเป็นเวลาสูงสุดที่อาสาสมัครออกกำลังกายได้ในกลุ่มควบคุม) ในภาวะทดลอง (C-PEP) และ ภาวะควบคุม (control) แสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD); n แสดง จำนวนอาสาสมัครที่ยังคงออกกำลังกายได้ในแต่ละนาที



รูปที่ 4 อัตราการเต้นของหัวใจ (HR) ทุกๆ 10 เปอร์เซ็นไทล์ของระยะเวลาการออกกำลังกายในอาสาสมัคร ของภาวะ C-PEP และภาวะควบคุม



รูปที่ 5 ระดับความหอบเหนื่อย (RPB) ทุกๆ 10 เปอร์เซ็นไทล์ของระยะเวลาการออกกำลังกายในอาสาสมัคร ของภาวะC-PEP และภาวะควบคุม แสดงค่าเป็น median ± interquartile range, *: พื้นที่ใต้กราฟแตกต่างกันทางสถิติ $p<0.05$

บทวิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแรกที่ใช้อุปกรณ์ก่อแรงดันบวกที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ขณะมีการออกกำลังกายแบบเคลื่อนไหว ในอาสาสมัคร COPD ความรุนแรงระดับปานกลางถึงมาก ซึ่งพบว่าการหายใจผ่าน C-PEP mask ขณะออกกำลังกายสามารถเพิ่ม ความทนทานในการออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลางได้นานขึ้นเฉลี่ยประมาณ 4 นาที และมีอาการหอบเหนื่อยลดลง ในขณะที่ไม่ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง และไม่เพิ่มการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด อีกทั้งไม่มีอาการไม่พึงประสงค์ระหว่างการออกกำลังกาย

HR เป็นตัวแปรมาตรฐานที่ใช้ในการบ่งชี้ถึงความหนักของการออกกำลังกาย การเพิ่มขึ้นของ HR, BP เมื่อหยุดออกกำลังกาย มีค่าไม่แตกต่างกัน ในทั้ง 2 ภาวะ ทั้งๆ ที่ระยะเวลาในการออกกำลังกายของภาวะ C-PEP สูงกว่าภาวะควบคุม นั่นแสดงว่าปัจจัยที่จำกัดการออกกำลังกายไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบสองภาวะระหว่างออกกำลังกายโดยใช้ normalize time analysis อาสาสมัครหยุดออกกำลังกายด้วย RPB ความล้ากล้ามเนื้อ และ VE ไม่แตกต่างกัน ทั้งๆ ที่เวลาการออกกำลังกายในภาวะ C-PEP ทำได้นานกว่านั้น แสดงว่า C-PEP น่าจะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของ RPB, VE และความล้ากล้ามเนื้อได้[13] ดังนั้นการหายใจด้วย C-PEP น่าจะลดปัจจัยนอกเหนือจากความต้องการของกล้ามเนื้อแขน-ขา-ลำตัว และกล้ามเนื้อหายใจทีเพิ่มการระบายอากาศ อาการเหนื่อยล้า และอาการหอบเหนื่อยได้ การวิเคราะห์เปรียบเทียบอาการหอบเหนื่อยระหว่างออกกำลังกายในสองภาวะโดยใช้พื้นที่ใต้กราฟของ normalize time analysis ซึ่งพบว่าภาวะ C-PEP มีระดับความหอบเหนื่อยระหว่างออกกำลังกาย น้อยกว่าภาวะควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ช่วยยืนยันว่าการหายใจผ่าน C-PEP ลดอาการหอบเหนื่อยได้ ผลการศึกษาที่น่าสนใจยิ่งคือการเพิ่มของ RR ในภาวะ C-PEP น้อยกว่าและ VT มากกว่าภาวะควบคุมในขณะที่ VE ไม่แตกต่างกัน ขณะที่ออกกำลังกายได้นานกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการหายใจผ่าน C-PEP mask ในการลดอาการหอบเหนื่อยที่อาจเกิดจากกลไกของภาวะพลวัติโป่งพองของปอด เนื่องจากการหายใจที่ช้าลง ทำให้เพิ่มเวลาให้ลมหายใจออกถูกระบายออกจากปอดมากขึ้น[12] ผ่านหลอดลมที่ยังไม่ปิดหรือปิดน้อยลง ทำให้ลดการกักอากาศ และภาวะโป่งพองของปอดได้ ทำให้งานการหายใจลดลงและเพิ่มความทนทานในการออกกำลังกายมากขึ้นได้ และการที่อาสาสมัครหยุดออกกำลังกายด้วยการทำงานของหัวใจและปอด รวมทั้งความรู้สึกของอาการหอบเหนื่อยและความเหนื่อยล้า ไม่ต่างกันนั้น แสดงถึงความเที่ยงของเกณฑ์ที่ใช้ในการหยุดออกกำลังกายในทั้ง 2 ภาวะ

นอกจากนั้น ไม่มีอาสาสมัครแสดงอาการอึดอัด รำคาญในการสวมใส่ C-PEP mask ในขณะออกกำลังกาย ทั้งนี้เกิดจากขนาดของแรงดันบวกขณะหายใจออกที่เกิดจากแรงต้านของ C-PEP ไม่คงที่ปรับเปลี่ยนไปตามความเร็ว แรงของลมหายใจออก จึงทำให้อาสาสมัครหายใจได้ ไม่เป็นอุปสรรค หรือทำให้เกิดความอึดอัดในการหายใจช่วงแรกที่เริ่มออกกำลังกายซึ่งอาจยังไม่ต้องการแรงดันบวกที่มาก อีกทั้งเป็นการหายใจแบบธรรมชาติมากกว่าเนื่องจากสามารถหายใจได้ทั้งทางปากและจมูก ไม่มีแรงต้านในการหายใจเข้า เนื่องจากหายใจเข้าผ่านลิ้นทางเดียวของช่องทางอื่น

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการหายใจออกผ่านอุปกรณ์ C-PEP mask มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความทนทานในการออกกำลังกายได้นานขึ้น และเป็นที่ยอมรับของอาสาสมัครในการใช้ได้ดี

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้อุปกรณ์ C-PEP ครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Padkao และ

คณะ[7] ซึ่งพบว่ากลุ่มที่ใช้ PEP สามารถออกกำลังกายได้นานขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใช้อุปกรณ์ PEP ซึ่งอุปกรณ์ PEP ที่ใช้ขณะออกกำลังกายในการศึกษาของ Wibmer และคณะ[8] ใช้ได้ค่อนข้างลำบากและมีน้ำหนักมากกว่า C-PEP mask การหายใจผ่านอุปกรณ์ C-PEP mask ในการศึกษานี้ ช่วยเพิ่มระยะเวลาการออกกำลังกายได้นานขึ้นมากกว่าการศึกษาของ Padkao และคณะ เมื่อใช้อุปกรณ์ C-PEP ที่ไม่มีหน้ากาก ถึง 2 นาที อาจเนื่องจากการออกกำลังกายแบบ SMT มีการเคลื่อนไหวทั้ง แขน-ขา มาก ทำให้เพิ่มความหนักของการออกกำลังกายถึงระดับปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ขจรศักดิ์ และคณะ[14] ที่รายงานว่าการออกกำลังกาย SMT 5 นาที สามารถเพิ่ม HR ถึง 72% HRmax นอกจากนั้นการยกแขนสูงของการออกกำลังกาย SMT ทำให้เพิ่มงานของการหายใจมากกว่าจึงกระตุ้นให้เกิดอาการหอบเหนื่อยได้มากกว่าการการนั่งออกกำลังกายเหยียดเข่า (30% 1 RM) ของ Padkao และคณะหรือทดสอบออกกำลังกายแบบอื่น ทำให้ความเร็วของลมหายใจออกมากกว่า และเพิ่มความดันบวกขณะหายใจออกมากกว่า จึงทำให้เพิ่มผลของการใช้ PEP ชัดเจนขึ้น จึงเห็นได้ว่าการศึกษานี้ อาสาสมัครสามารถออกกำลังกายได้นานขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

การทดสอบการออกกำลังกายด้วยวิธี SMT เป็นการทดสอบที่เหมาะสมมากกว่าการศึกษาที่ผ่านมา โดยนอกจากทำให้เกิดอาการหอบเหนื่อยชัดเจนแล้ว ยังเป็นการเลียนแบบกิจวัตรประจำวันที่มีการเคลื่อนไหวทั้งแขนและขา ไม่ได้เคลื่อนไหวเฉพาะขาเพียงอย่างเดียว ในระยะพักฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย 10 นาที ทั้งอัตราการเต้นของหัวใจ และความดันเลือด ไม่สามารถกลับเข้าสู่ระยะพักก่อนออกกำลังกายได้ ในทั้ง 2 ภาวะ ซึ่งแสดงว่าการควบคุมการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตโดยระบบประสาทอัตโนมัติใน COPD อาจมีความผิดปกติแตกต่างจากคนปกติที่อัตราการเต้นของหัวใจสามารถกลับสู่ระยะพักได้ใน 5 นาที การฟื้นตัวของอัตราการหายใจในภาวะ C-PEP เร็วกว่าภาวะควบคุม โดยสามารถกลับเข้าสู่ระยะพักได้ ใน 10 นาที อาจเกิดจาก อัตราการหายใจที่เพิ่มน้อยกว่า จึงฟื้นตัวเร็วกว่า เช่นเดียวกับการศึกษาของขจรศักดิ์ และคณะ (2015)[14] พบว่า การหายใจออกผ่านอุปกรณ์ก่อแรงดันบวกหลังการออกกำลังกาย สามารถเร่งการฟื้นตัวของอาการหอบเหนื่อยได้ใน 3 นาที ในขณะที่การฟื้นตัวของภาวะควบคุม ใช้เวลา 6 นาที

กลไกที่ C-PEP mask สามารถลดความหอบเหนื่อยและเพิ่มเวลาการออกกำลังกายได้นั้น อาจเนื่องจากพยาธิสรีรวิทยาของโรคCOPD มีลักษณะของผนังหลอดลมที่ไม่สามารถทรงรูปอยู่ได้ตลอดช่วงการหายใจออก มีการปิดก่อนที่ลมหายใจออกระบายออกหมด มีลมคั่งค้างในถุงลม มีความดันบวกค้างในปอดเมื่อหายใจออกสุด หรือที่เรียกว่า auto-positive end-expiratory pressure (auto หรือ intrinsic PEEP) ทำให้เกิดภาวะโป่งพองของปอด (hyperinflation) ซึ่งทำให้ผู้ป่วยต้องใช้ความพยายามมากขึ้นในการหายใจเข้า เนื่องจากความดันในเยื่อหุ้มปอดและความดันในถุงลมใกล้เคียงกันมาก ภาวะโป่งพองนี้เกิดมากขึ้นเรื่อยในขณะออกกำลังกาย เนื่องจากเกิดการปิดของหลอดลมเร็วขึ้น เกิดเป็นพลวัติการโป่งพองของปอด (dynamic hyperinflation, DH) ซึ่งทำให้ inspiratory capacity ลดลง และหายใจเข้าจากปริมาตรปอดสูง ทำให้เพิ่มงานการหายใจ และเกิดอาการหอบเหนื่อยง่าย เมื่อหายใจออกผ่าน C-PEP ทำให้เกิดแรงดันบวกในขณะหายใจออก ประมาณ 7.3±2.4 เซนติเมตรน้ำ ซึ่งอยู่ในช่วงของเกณฑ์การบำบัดด้วยแรงดันบวกขณะหายใจออกทางการแพทย์ (5-20 เซนติเมตรน้ำ)[14] ดังนั้นการใช้ความดันบวกที่เกิดจาก C-PEP 7 cmH_2O จึงเป็น external PEEP ที่เหมาะสม จึงทำให้เกิดการปิดของหลอดลมช้าลง โดยอาจมีการเคลื่อนของจุดปิดของหลอดลม (equal pressure point; EPP) มาสู่ตำแหน่งหลอดลมในส่วนต้นมากขึ้น ทำให้ผู้ป่วยหายใจออกได้

ยาวขึ้น[9] หายใจเข้าได้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จาก Tidal volume ของกลุ่ม C-PEP มากกว่าควบคุม อัตราการหายใจช้าลง (ตารางที่ 2) ทำให้ลมที่ค้างในปอดลดลง อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ไม่ได้มีการวัดการเกิดภาวะ DH โดยตรง

ความปลอดภัย

การใช้แรงดันบวกในขณะหายใจออก เป็นวิธีที่ใช้ในทางการแพทย์โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่หายใจด้วยเครื่องช่วยหายใจ เพื่อลดการตีบแคบของหลอดลมเล็กส่วนปลาย เพิ่มการระบายอากาศในถุงลม และเพิ่มการแลกเปลี่ยนก๊าซ อย่างไรก็ตามขนาดของแรงดันบวกต้องเหมาะสม ไม่มากเกินไปจนกดหลอดเลือดดำใหญ่ในทรวงอกแล้วทำให้ลดของการไหลเวียนเลือดดำกลับเข้าสู่หัวใจ จนเกิดผลเสียกระทบต่อการทำงานของหัวใจ โดยมีประสิทธิภาพในการลดการกดตีบของหลอดลม และไม่ทำให้ BP และ HR ไม่แตกต่างระหว่าง ภาวะ C-PEP และ ควบคุม (รูปที่3 ตารางที่ 2) และไม่มีผลทำให้คลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติ แม้ว่าการหายใจออกผ่านแรงต้าน สามารถก่อแรงดันบวกได้ แต่หากแรงต้านมากเกินไปอาจทำให้การระบายอากาศลดลง คาร์บอนไดออกไซด์ถูกขับออกไม่หมด จนเกิดการคั่งในเลือด และการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลงจนระดับความดันออกซิเจนในเลือดลงได้ ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์ก่อแรงดันบวกจึงมีความสำคัญทั้งในด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย ซึ่งผลการศึกษาของเรานี้พบว่าการหายใจออกผ่านแรงต้านของอุปกรณ์รูปกรวยในหน้ากาก C-PEP ไม่ทำให้เกิดการคั่งของคาร์บอนไดออกไซด์ ($P_{ET}CO_2$ เพิ่มขึ้นแต่อยู่ในเกณฑ์ปกติ) ไม่ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง (SpO_2 ไม่ลดลง) ดังนั้นวิธีการหายใจออกผ่าน C-PEP mask จึงมีความปลอดภัย สามารถนำไปใช้ในการลดอาการหอบเหนื่อยขณะออกกำลังกายในผู้ป่วย COPD ต่อไปได้

การประยุกต์ใช้

หน้ากากก่อแรงดันบวก (C-PEP mask) สามารถใช้เพิ่มความทนทานในขณะออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งแตกต่างจากอุปกรณ์ PEP ทั่วไปซึ่งจะไม่ค่อยสะดวกในการใช้ขณะออกกำลังกาย โดยที่อุปกรณ์ C-PEP mask และ PEP ทั่วๆไป มีผลต่อระบบสรีรวิทยาไม่แตกต่างกัน ในผู้ป่วย COPD ดังนั้น จึงสามารถนำอุปกรณ์ C-PEP mask นี้มาใช้เพื่อฟื้นฟูสมรรถภาพ โดยไม่ทำให้เกิดความอึดอัด หรือผลเสียต่อระบบการไหลเวียนเลือดและการหายใจ ทำให้สามารถเพิ่มเวลาการฝึกแต่ละครั้งได้นานขึ้น ทำให้เห็นผลจากการฝึกออกกำลังกายได้เร็วขึ้น และทำให้การฟื้นตัวเข้าสู่ระยะพักได้เร็วขึ้น สามารถใช้ C-PEP mask ในขณะทำกิจกรรมทางกายต่างๆ ในชีวิตประจำวันเพื่อเพิ่มกิจกรรมทางกาย ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไป

ข้อจำกัดของการศึกษา

1) ไม่มีการประเมินปริมาตรความจุปอด (inspiratory capacity; IC, slow vital capacity; SVC) เพื่ออธิบายถึงผลของการลดภาวะพลวัติการโป่งพองของปอด ซึ่งจะทำให้ทราบกลไกการลดภาวะหอบเหนื่อยและเวลาในการออกกำลังกายที่เพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

2) จำนวนอาสาสมัคร ที่ยังมีจำนวนน้อย

สรุปผลงานวิจัย

การหายใจผ่านอุปกรณ์ก่อแรงดันบวกแบบใหม่ (C-PEP mask) ขณะออกกำลังกายสามารถเพิ่มความทนทานในการออกกำลังกาย ได้นานขึ้น และมีความปลอดภัย เนื่องจากลดอาการหอบเหนื่อยและอัตราการหายใจขณะออกกำลังกายได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนคณาจารย์จากบัณฑิตวิทยาลัยและคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย นัก

กายภาพบำบัด และบุคลากร แผนกกายภาพบำบัด โรงพยาบาลพระยืนสำหรับการเอื้อเฟื้อ และให้ความสะดวกด้านสถานที่ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). Global strategy for the diagnosis, management and prevention of COPD. [Online] 2015 [cited 2015 May 21]. Available from http://www.goldcopd.org/uploads/users/files/GOLD_Report_2015.pdf.
2. O'Donnell DE, Banzett RB, Carrieri-Kohlman V, Casaburi R, Davenport PW, Gandevia SC. Pathophysiology of Dyspnea in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Proc Am Thorac Soc 2007; 4: 145–68.
3. Cooper CB. The connection between chronic obstructive pulmonary disease symptoms and hyperinflation and its impact on exercise and function. Am J Med 2006; 119(10): 21-31.
4. Sridhar SA, Vaishali K, Alaparthi GK, Krishnan S, Zulfeequer, Anand R. Effect of Threshold Positive Expiratory Pressure on Dynamic Hyperinflation & Dyspnea in COPD: A Randomized Cross Over Trial. Int J Health Sci Res 2012; 2(5): 7-16.
5. Saetta M, Turato G, Baraldo S, et al. Goblet cell hyperplasia and epithelial inflammation in peripheral airways of smokers with both symptoms of chronic bronchitis and chronic airflow limitation. Am J Respir Crit Care Med 2000; 161: 1016–21.
6. Calverley PMA. Exercise and dyspnoea in COPD. EurRespir Rev 2006; 15(100): 72–9.
7. Padkao T, Boonsawat W, Jones CU. Conical-PEP is safe, reduces lung hyperinflation and contributes to improved exercise endurance in patients with COPD: a randomized cross-over trial. J Physiother 2010; 56(1): 33-9.
8. Wibmer T, Rudiger S, Heitner C, et al. Effects of Nasal Positive Expiratory Pressure on Dynamic Hyperinflation and Six Minute Walk Test in Patients with COPD. Respir care 2014; 59(5): 699-708.
9. Mancebo J, Albaladejo P, Touchard D, et al. Airway occlusion pressure to tritate positive end-expiratory pressure in patients with dynamic hyperinflation. Anesthesiology 2000; 93(1): 81-90.
10. Cairo JM. Pilbeam's Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Applications. 6th ed. 2016, Elsevier St Louise, p234.
11. Myers RT. Positive Expiratory Pressure and Oscillatory Positive Expiratory Pressure Therapies. Resp care 2007; 50(10): 1308-27.
12. Mughal MM, Culver AD, Minai AO, et al. Auto-positive end-expiratory pressure: Mechanisms and treatment. Cleve Clin J Med 2014; 72(9): 801-9.
13. Marini JJ. Dynamic Hyperinflation and Auto–Positive End-Expiratory Pressure. Am J Respir Crit Care Med 2011; 184: 756-62.
14. Pongpanit K, Boonsawat W, Jones DA, and Jones CU. Positive expiratory pressure breathing increases the recovery of dyspnea in patients with COPD. Thai Journal of Physical Therapy 2015; 37(1): 41-53.