

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ฝึกหายใจ “BreatheMAX®” เพื่อเพิ่มการระบายเสมหะจากท่อลมในผู้ป่วยที่พึ่งเครื่องช่วยหายใจ

สุจิตรา กล้วยหอมทอง¹, วิไลวรรณ กฤษณะพันธ์², เสกสรรค์ ชัยสุขสันต์³, บุสรี โจนส์^{4 *}

บทคัดย่อ

ประสิทธิภาพของกลไกการกำจัดเสมหะโดยการทำงานของซีเลีย (mucociliary clearance) ในท่อลม มักบกพร่องในผู้ป่วยที่ใส่ท่อช่วยหายใจและพึ่งเครื่องช่วยหายใจ ทำให้เกิดการคั่งค้างของเสมหะ เพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในปอดและทางเดินหายใจ และลดประสิทธิภาพการทำงานของปอด การระบายเสมหะทำได้โดยใช้หลักการและอุปกรณ์ฝึกหายใจต่างๆ ทางกายภาพบำบัด การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ฝึกหายใจ “BreatheMAX®” ต่อการระบายเสมหะและผลของการฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์นี้ต่อการทำงานของหัวใจและปอดในผู้ป่วยที่ใส่ท่อช่วยหายใจและพึ่งเครื่องช่วยหายใจ ทำการศึกษาแบบ single-blinded randomized cross-over trial ในผู้ป่วยพึ่งเครื่องช่วยหายใจที่สามารถหายใจเองโดยปราศจากเครื่องช่วยหายใจได้อย่างน้อย 1 นาที จำนวน 6 คน เพศชาย อายุเฉลี่ย 51.2 ± 25.9 ปี การศึกษาประกอบด้วย 2 ภาวะ คือ ภาวะรักษา (A) โดยผู้ป่วยหายใจเข้าลึกผ่านอุปกรณ์ด้วยแรงต้านจากแรงดันไดน้ำ 20 % ของแรงดันสูงสุดในการหายใจเข้า (peak negative inspiratory pressure: PNIP) 10 ครั้งต่อชุด 10 ชุด พักระหว่างชุด 1 นาที และภาวะหลอก (B) โดยผู้ป่วยหายใจผ่านอุปกรณ์เช่นกัน แต่ไม่ได้รับแรงต้านจากแรงดันไดน้ำ ผู้ป่วยถูกสุ่มลำดับการศึกษาเป็นภาวะรักษาหรือภาวะหลอกในรอบแรก และสลับลำดับในรอบที่สอง (ABBA หรือ BAAB) โดยมีการพัก 24 ชั่วโมงระหว่างภาวะ เสมหะในท่อลมถูกดูดเมื่อมีเสียงเสมหะในท่อลม คือในช่วง 3 ชั่วโมง ก่อนและหลังการฝึกหายใจ โดยดูดเก็บจากท่อช่วยหายใจโดยตรงโดยไม่ใช้ saline เสมหะถูกดูดเก็บแยกเข้าในหลอดเก็บแยกเสมหะ (mucous extractor) ซึ่งมีเสกสอบปริมาตร 0-25 มิลลิลิตร ประเมินอัตราการระบายเสมหะต่อชั่วโมงโดยน้ำหนัก และโดยปริมาตร และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราการระบายเสมหะในช่วงเวลาดังกล่าว วัดระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดผ่านทางผิวหนัง (SpO_2), อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) และอัตราการหายใจ (respiratory rate) ก่อน, ระหว่างและหลังการฝึกทันที ทดสอบความแตกต่างของตัวแปรตามในช่วงระหว่าง ก่อน-หลังการฝึกฯ ในแต่ละภาวะ และความแตกต่างระหว่างภาวะรักษาและภาวะหลอก ด้วย Wilcoxon's matched pairs signed rank test ผลการศึกษาพบว่า อัตราการระบายเสมหะเพิ่มขึ้นในภาวะรักษาหลังการฝึกฯ (3.73 ± 2.20 กรัมต่อชั่วโมง, 3.46 ± 1.88 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึกฯ (0.85 ± 0.64 กรัมต่อชั่วโมง, 0.81 ± 0.59 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.028$) แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในภาวะหลอก อัตราการระบายเสมหะที่เพิ่มขึ้นในภาวะรักษามากกว่าภาวะหลอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอัตราการระบายเสมหะโดยน้ำหนักและโดยปริมาตร คือ 3.23 ± 2.68 กรัมต่อชั่วโมง (95% CI: -2.19 – 2.19 , 696.55 %) และ 3.01 ± 2.48 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง (95% CI: -2.02 – 2.02, 632.66 %) ตามลำดับ ส่วน SpO_2 , HR และ RR ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขณะทำการฝึกฯในภาวะรักษา ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การฝึกหายใจเข้าอย่างช้า ลึก และคงค้าง ด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® มีความปลอดภัยและสามารถเพิ่มการระบายเสมหะในผู้ป่วยที่หายใจด้วยเครื่องช่วยหายใจ ดังนั้นการฝึกหายใจแบบนี้ด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® จึงน่าจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการระบายเสมหะโดยตัวเองหรือน่าจะสามารถใช้เป็นวิธีเสริมกับเทคนิคทางหลักการทางกายภาพบำบัดเพื่อเพิ่มการระบายเสมหะในผู้ป่วยต่อไปได้

คำสำคัญ: การระบายเสมหะ, อุปกรณ์ฝึกหายใจ

¹หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (กายภาพบำบัด) คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ³โรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น

⁴สายวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* ผู้รับผิดชอบบทความ

Effectiveness of a new breathing device “BreatheMAX®” to increase airway secretion clearance in patients with ventilatory dependence

Sujittra Kluayhomthong¹, Wilaiwan Khrisanapant², Seksan Chaisuksant³, Chulee U Jones⁴ *

Abstract

Bronchial mucociliary clearance is impaired in intubated patients receiving mechanical ventilation and thus leads to an accumulation of the secretion in the airway which leads to increase a risk of lung infection and decrease lung function. Physiotherapy airway clearance techniques include conventional manual techniques with and without use of various breathing devices. The present study aimed to determine the effects of a newly developed breathing device (BreatheMAX®) on airway secretions clearance and cardiopulmonary response in intubated patients with mechanical ventilatory dependence. Six patients with mechanical ventilatory dependence (all male, aged 51.2 ± 25.9 yrs) and could breathe spontaneously without the ventilator support for one minute participated in this single blinded randomized cross-over study that had been approved by the Ethical committee. The study consisted of 2 interventions: treatment and sham. In the treatment intervention (A), the patients performed spontaneous deep breathing with steady inspiratory flow against a water pressure resistance of 20 % of their peak inspiratory pressure 10 breaths/set, 10 sets, 1 minute rest between sets. In the sham intervention (B), the protocol was the same but there was no water pressure load. The patients were randomly assigned to receive either treatment or sham in the first round and vice versa in the second round in a balance arm design (ABBA or BAAB). The patients rested for 24 hours between interventions. Airway secretions were collected directly by suction via endotracheal or tracheostomy tube without saline adding. The mucus was sucked into and kept in mucous extractor with volumetric scale (0-25 cc.) during the three hours before and after intervention. Secretion clearance rate by weight and by volume per hour and percentage of the change after compared to before intervention were measured. Pulse oxygen saturation (SpO_2), heart rate (HR) and respiratory rate (RR) were monitored before, during and after the intervention. The differences of the dependent variables within each intervention (before – after) and between interventions (A vs B) were analyzed by Wilcoxon’s matched pairs signed rank test. The results showed that the mean of secretion clearance rate was significantly ($P = 0.028$) increased after (3.73 ± 2.20 g/h or 3.46 ± 1.88 ml/h) compared to before (0.85 ± 0.64 g/h or 0.81 ± 0.59 ml/h) treatment but not with the sham intervention. The mean changes of the clearance rate by weight and by volume was significantly greater by 3.23 ± 2.68 g/h (95% CI: -2.19 – 2.19, 696.55 %) and 3.01 ± 2.48 ml/h (95% CI: -2.02 – 2.02, 632.66 %) respectively. SpO_2 , HR, and RR did not change while breathing with the BreatheMAX®. In conclusion, the slow deep breathing with sustained maximal inspiration breathing exercise with the new device, BreatheMAX® is safe to use with intubated patients, and is an effective technique for increasing airway secretion clearance. This breathing exercise with BreatheMAX® could be used alone or as an adjunct to conventional chest physiotherapy to enhance the clearance of airway secretions.

Keywords: Secretion clearance, Breathing device

¹Physical Therapy Program, Graduate School, ²Department of Physiology, Faculty of Medicine, ³Division of Medicine, Khon Kaen Hospital, ⁴Department of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University
 * Corresponding author (e-mail: chulee@kku.ac.th)

บทนำ

การหายใจด้วยเครื่องช่วยหายใจในผู้ป่วยที่หายใจเองไม่เพียงพอ (พึ่งเครื่องช่วยหายใจ) ต้องหายใจผ่านท่อช่วยหายใจเข้าหลอดลม (endotracheal tube) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ การใส่ท่อช่วยหายใจผ่านทางปาก (orotracheal tube) และผ่านทางรูเจาะคอ (tracheostomy tube)⁽¹⁾ และมักพบว่าผู้ป่วยที่ได้รับการใส่ท่อช่วยหายใจเข้าหลอดลมนั้นจะทำให้ 1) ประสิทธิภาพการพัดโบกของขน cilia (mucociliary) ในการระบายเสมหะลดลง⁽²⁾ เนื่องจากการบาดเจ็บของทางเดินอากาศ (mechanical trauma) 2) เสมหะมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น⁽³⁾ แม้ว่าผู้ป่วยได้รับความชื้นจากเครื่องช่วยหายใจอยู่ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากผู้ป่วยได้รับน้ำหรือของเหลวไม่เพียงพอจนทำให้สมดุลน้ำในร่างกายเป็นลบ (negative fluid balance) ดังเห็นได้จากในขณะดูดเสมหะทางท่อช่วยหายใจ มักพบว่าเสมหะมีความเหนียวหนืดอยู่บ่อยครั้ง และ 3) กลไกการไอลดลง เนื่องจากฝาปิดกล่องเสียงเปิดตลอดเวลา⁽³⁾ ซึ่งจากผลดังกล่าวนี้ทำให้ประสิทธิภาพการระบายเสมหะลดลง และเกิดการคั่งค้างของเสมหะ ทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคแทรกซ้อนของปอด เช่นปอดติดเชื้อ ปอดแฟบได้ นอกจากนี้ภาวะที่มีการอักเสบหรือติดเชื้อของทางเดินหายใจ จะมีการสร้างปริมาณเสมหะที่มากกว่าปกติ กระทั่งเกิดความไม่สมดุลระหว่างการผลิตและการระบายเสมหะ จะยิ่งเพิ่มการคั่งค้างของเสมหะในทางเดินหายใจมากขึ้นอีก^(4,5,6) ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายเสมหะจึงมีความสำคัญในการรักษาหรือลดความเสี่ยง ป้องกันการเกิดความผิดปกติของปอดอันเนื่องจากเสมหะคั่งในผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจ การระบายเสมหะในผู้ป่วยเหล่านี้ต้องใช้ เทคนิคการรักษาทางกายภาพบำบัด ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มการระบายเสมหะ, ลดการติดเชื้อของปอด อีกทั้งสามารถลดการเสื่อมสมรรถภาพของปอดและเพิ่มคุณภาพชีวิต⁽⁷⁾ โดยเทคนิคทางกายภาพบำบัดประกอบด้วยการใช้หัตถการต่างๆ เช่น การเคาะปอด (percussion), การสั่นปอด (vibration) และการเขย่าปอด (shaking), การสอนควบคุมการหายใจออกแรง (forced expiratory technique) และการเคลื่อนไหวกörperแบบ เช่น การออกกำลังกายแขนขาต่างๆ บนเตียง การเปลี่ยนท่าทางบนเตียง การลุกนั่งข้างเตียง ตลอดจนการเดิน^(6,8) ซึ่งในการรักษาดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลาในการรักษาค่อนข้างมาก (30-60 นาที) และนักกายภาพบำบัดต้องมีทักษะในการรักษาเป็นอย่างดี^(6,9) การใช้อุปกรณ์ช่วยในการระบายเสมหะต่างๆ จึง

อาจช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของการระบายเสมหะได้ โดยอุปกรณ์เหล่านี้อาศัยหลักการการเปิดท่อลมด้วยแรงดันบวก (positive expiratory pressure) การให้แรงสั่นภายในและภายนอกท่อลมทางผนังทรวงอก (external/internal percussive device) ด้วยอุปกรณ์แบบต่างๆ เช่น Positive expiratory pressure (PEP), The high frequency chest wall oscillation (HFCWO) และ Intrapulmonary percussive ventilation (IPV) เป็นต้น⁽¹⁰⁾ การใช้แรงสั่นที่มีความถี่สูง (high frequency oscillation) จะมีผลลดการเกาะเกี่ยวพันกันของโมเลกุลของเสมหะ (time-dependence crosslink)⁽¹¹⁾ ซึ่งน่าจะทำให้เสมหะถูกขับเคลื่อนได้ดีขึ้นด้วยผู้ป่วยเอง แต่อุปกรณ์เหล่านี้ ถ้าวินิจฉัยในต่างประเทศ มีราคาแพงมาก บางเครื่อง เช่น HFCWO มีราคาแพงมากถึง 700,000 บาท อีกทั้ง การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการระบายเสมหะยังพบได้น้อย และผลการศึกษา ยังมีความขัดแย้งกันอยู่

ในประเทศไทยมีการผลิตอุปกรณ์ฝึกหายใจแบบใหม่ “BreatheMAX®” ซึ่งใช้แรงดันน้ำ (water pressure threshold breathing bottle, WPTB) โดยอุปกรณ์ BreatheMAX® มีคุณสมบัติให้แรงสั่นกระทำต่อท่อลมขณะหายใจเข้า อุปกรณ์ในต่างประเทศที่ให้แรงกระทำต่อท่อลมโดยตรงในขณะหายใจเข้า มีเพียงชนิดเดียวคือ intrapulmonary percussion ventilator (IPV) ซึ่งเป็นเครื่องอัดอากาศ เข้าสู่ปอดอย่างเป็นจังหวะด้วยความถี่ 1.6-5 Hz ซึ่งเป็นความถี่ในช่วงของการเคาะปอดด้วยมือ เพิ่มความดันสูงสุดของทางเดินอากาศ (peak airway pressure) 15 cmH₂O ในปอด และสามารถให้ฝอยละออง ความชื้นได้ด้วย⁽¹²⁾ ดังนั้น IPV จึงเป็นการเคาะปอดด้วยเครื่องแทนการใช้มือ สำหรับอุปกรณ์ BreatheMAX® ของไทย นั้น คล้ายกับ IPV ที่เป็นการให้แรงกระทำต่อท่อลมโดยตรงเช่นเดียวกัน แต่ต่างกันที่แรงกระทำจาก BreatheMAX® นี้มีความถี่สูงกว่าคือความถี่เฉลี่ย 12 Hz⁽¹³⁾ จึงเป็นอุปกรณ์ให้แรงสั่น (oscillation หรือ vibration) ต่อท่อลม มีความดันของแรงสั่นเฉลี่ย 2 cm H₂O⁽¹³⁾ เหนือความดันการหายใจเข้า ดังนั้นความดันในทางเดินอากาศจึงน้อยกว่า และแรงสั่นเกิดขึ้นได้จากตัวผู้ป่วยเอง โดยการหายใจเข้าด้วยแรงที่มากกว่าแรงต้านจนเกิดการปูดของฟองอากาศเท่านั้น จึงน่าจะสามารถกระตุ้นให้ผู้ป่วยหายใจเข้าลึกขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาตรอากาศที่หายใจเข้า โดยการเพิ่มเวลาของระยะหายใจเข้า และการคงค้างช่วงหายใจเข้าลึกสุด (sustain maximal inspiration) ในขณะที่ให้แรงสั่นไปด้วย

พร้อมๆ กัน นอกจากนั้น BreatheMAX® ยังให้ความชื้นกับอากาศที่หายใจเข้า เช่นเดียวกับ IPV เนื่องจากมีลักษณะการให้ความชื้นแบบ bubble-type (diffusion) humidifier⁽¹⁴⁾

มีการศึกษาอุปกรณ์ WPTB หลายด้านด้วยกัน พบว่ามีความปลอดภัย⁽¹⁵⁾, สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้า และเพิ่มการขยายของทรวงอกและช่องท้อง (chest-abdominal expansion)⁽¹⁶⁾ จากการศึกษาการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้าต่อการหยา่เครื่องช่วยหายใจนั้น ผู้วิจัยสังเกตพบวาระหว่างและหลังจากการใช้อุปกรณ์ฝึกหายใจ BreatheMAX® ผู้ป่วยมีการระบายเสมหะออกมาได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนใช้⁽¹⁷⁾ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ฝึกหายใจ “Breathe MAX®” ในการเพิ่มการระบายเสมหะและผลของการฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์นี้ต่อการทำงานของหัวใจและปอดในผู้ป่วยที่พึ่งเครื่องช่วยหายใจ

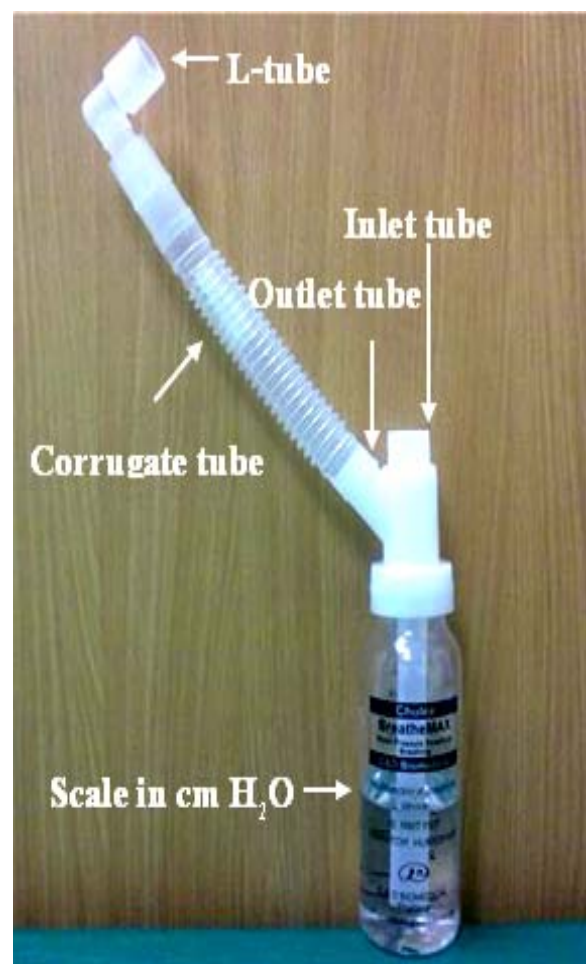
วิธีการศึกษา

อาสาสมัคร

การศึกษาค้างนี้เป็นแบบ Single blinded randomized cross-over trial ซึ่งได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์โรงพยาบาลขอนแก่น ทำการศึกษาในผู้ป่วยที่พึ่งเครื่องช่วยหายใจ ผ่านทางท่อหลอดลม tracheostomy tube หรือผ่านทางปาก (endotracheal tube) และนอนรักษาที่โรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น จำนวน 6 คน (เพศชาย) อายุระหว่าง 16-75 ปี (เฉลี่ย 51.1 ± 25.9 ปี) ซึ่งลงชื่อในใบยินยอมก่อนเข้าร่วมการศึกษา โดยมีเกณฑ์การคัดเข้าร่วมการศึกษาคือมีการค้างค้างของเสมหะในปอดซึ่งสามารถฟังได้เสียงผิดปกติของปอดเช่น medium-coarse crackle หรือ wheezes หรือ rhonchi สามารถหายใจได้ด้วยตัวเองเป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที มีการทำงานของหัวใจและปอดคงที่ และมีความตระหนักรู้และให้ความร่วมมือในการฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์เป็นอย่างดี และมีเกณฑ์การคัดออกในภาวะดังนี้คือลมในช่องเยื่อหุ้มปอดที่ไม่ได้รับการเจาะระบาย (intercostal drainage, ICD) อาการไอเป็นเลือด (massive hemoptysis) และหัวใจขาดเลือดเฉียบพลัน (acute myocardial infarction)

อุปกรณ์ฝึกหายใจ

อุปกรณ์ BreatheMax® v.2 (C&D Biomedical, Thailand) เป็นอุปกรณ์ฝึกหายใจแบบใหม่ ซึ่งให้แรงต้านต่อการหายใจชนิด threshold loading ประกอบด้วยขดรูปทรงกระบอกสำหรับบรรจุน้ำที่ได้น้ำซึ่งให้แรงต้านในการหายใจ (loading inlet tube) ระดับของแรงต้านขึ้นอยู่กับความลึกของปลายท่อที่ต่ำจากผิวน้ำ มีหน่วยเป็นเซนติเมตรน้ำ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ท่อหยัก (corrugate tube) ต่อเข้ากับท่อหายใจ (outlet tube) และท่อหายใจรูปตัวแอล (L-tube) สำหรับต่อกับท่อช่วยหายใจ (endotracheal tube) ของผู้ป่วย มีลักษณะและส่วนประกอบดัง รูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์ฝึกหายใจ BreatheMax® v.2 และส่วนประกอบ

ขั้นตอนการศึกษา

การฝึกหายใจแบ่งออกเป็น 2 ภาวะ คือภาวะทดลอง (treatment intervention, A) และภาวะหลอก (sham intervention, B)

* **ภาวะทดลอง (A):** ผู้ป่วยสุดหายใจเข้าอย่างช้าๆ และลึกๆ โดยค่อยๆ สุดหายใจเข้าให้ปอดและทรวงอกขยายอย่างช้าๆ กระทั่งทรวงอกขยายมากที่สุดโดยหลีกเลี่ยงการใช้กล้ามเนื้อช่วยหายใจในการฝึก และคงค้างการหายใจเข้าลึกไว้อย่างน้อย 3 วินาที ผู้ป่วยฝึกหายใจดังกล่าวผ่านอุปกรณ์ BreatheMAX® ที่ต่อกับท่อช่วยหายใจผู้ป่วยโดยตรง ดังรูปที่ 2 ด้วยแรงต้าน 20 % peak negative inspiratory pressure (PNIP) ซึ่งอุปกรณ์ทำให้เกิดแรงดัน, ให้ความชื้น และเสียงป้อนกลับกระตุ้นการหายใจลึกขณะฝึกหายใจ ทำการฝึกจำนวน 10 ชุดๆ ละ 10 ครั้ง ผู้ป่วยพักระหว่างการฝึกแต่ละชุด 1 นาทีด้วยการหายใจด้วยเครื่องช่วยหายใจ



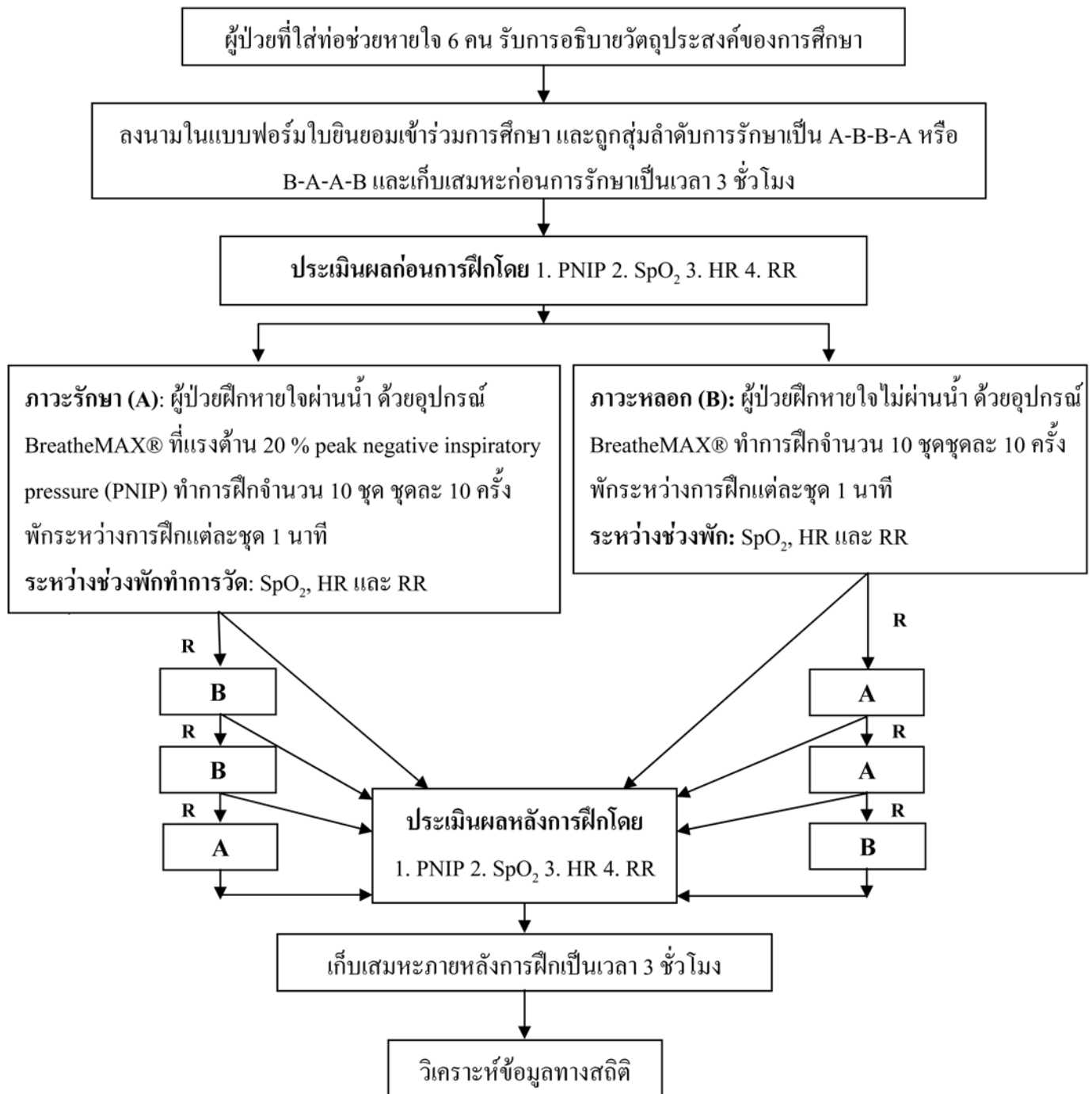
รูปที่ 2 การฝึกหายใจโดยใช้อุปกรณ์ BreatheMax® ผ่านท่อช่วยหายใจในผู้ป่วยที่พึ่งเครื่องช่วยหายใจ

* **ภาวะหลอก (B):** ผู้ป่วยสุดหายใจเข้าลึกและค้างการหายใจเข้าลึกไว้ 3 วินาที ผ่านอุปกรณ์ BreatheMAX® เช่นกัน แต่ไม่ได้รับแรงต้าน, แรงดัน, ความชื้น และเสียงป้อนกลับขณะฝึกหายใจ

ผู้ป่วยถูกสุ่มลำดับวิธีการฝึกหายใจด้วยวิธีจับสลาก ซึ่งอาจเป็น A-B-B-A หรือ B-A-A-B พักการศึกษาระหว่างภาวะ 24 ชั่วโมง รวมระยะเวลาการเก็บข้อมูลในผู้ป่วยแต่ละราย 7 วัน ผู้ป่วยได้รับการทางกายภาพบำบัดตามปกติ ทั้ง

การระบายเสมหะและการเคลื่อนไหว โดยการออกกำลังกายแบบช่วยเหลือหรือทำให้ในการยกแขน ขา ท่าละ 10 ครั้ง การเปลี่ยนท่าทางบนเตียง ในวันพักยกเว้นวันฝึกหายใจด้วย BreatheMAX® และเก็บข้อมูล ซึ่งได้รับเฉพาะบริการด้านการเคลื่อนไหวตามปกติดังกล่าวในช่วงหลังการเก็บข้อมูลเหมือนกันทั้ง 2 ภาวะ การฝึกหายใจดังกล่าวหยุดชั่วคราวถ้ามีอาการอย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้คือ อัตราการหายใจ (respiratory rate) มากกว่า 30 ครั้งต่อนาที, อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) มากกว่า 120 ครั้งต่อนาที, ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) ต่ำกว่า 90 % และมีแบบแผนการหายใจผิดปกติ (paradoxical breathing) ผู้ป่วยได้รับการฝึกหายใจต่อไปจนครบโปรแกรม หลังจากพักด้วยการหายใจด้วยเครื่องช่วยหายใจแล้วมีอาการกลับเป็นปกติ ก่อนการฝึก ผู้ป่วยได้รับการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้า (peak negative inspiratory pressure, PNIP) โดยใช้ occlusion technique ผ่านทาง NIF-Tee (55-4700, Diemolding Healthcare Division, USA) และ pressure manometer (55-0120, Diemolding Healthcare Division, USA) ซึ่งต่อกับท่อช่วยหายใจของผู้ป่วย โดยให้ผู้ป่วยหายใจเข้า อย่างเร็วและแรงเต็มที่หลังจากหายใจออกปกติหรือที่ระดับ functional residual capacity (FRC)⁽¹⁸⁾ เสมหะถูกดูดเก็บในหลอด mucous extractor ขนาด 25 ml. ซึ่งมี เสกล 0.0-25.0 ml (Hangzhou Medtec Medical Devices Co., Ltd, China) ในระยะเวลา 3 ชั่วโมง ก่อน-หลังการฝึก และเก็บรักษาในภาชนะบรรจุน้ำแข็ง การดูดเสมหะทำผ่านท่อช่วยหายใจโดยไม่ใส่น้ำ sterile ซึ่งทำโดยพยาบาลที่ปฏิบัติงานประจำหอผู้ป่วย ผู้วิจัยวัดปริมาตร (มิลลิลิตร) และชั่งน้ำหนักเปียก (กรัม) ของเสมหะโดยใช้ 2 decimal Balance (METTLER TOLEDO, PL202S, Switzerland)

ประเมินความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2), อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) (โดยใช้ pulse oximeter: Nihon Kohden-life scope®) และอัตราการหายใจ (respiratory rate) ก่อน, ระหว่าง และหลังการรักษาทันที รายละเอียดและขั้นตอนการศึกษาแสดงใน รูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการศึกษา, PNIP คือ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในการหายใจเข้า; SpO₂ คือ ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดผ่านทางผิวหนัง; HR คือ อัตราการเต้นของหัวใจ; RR คือ อัตราการหายใจ; R คือ พัก 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำตัวแปรตามทั้ง 2 รอบของแต่ละคน แต่ละภาวะคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปรนั้นในแต่ละคน และแสดงค่าตัวแปรตามของแต่ละภาวะเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) และค่าความเชื่อมั่น (95%

CI) ทดสอบความแตกต่างก่อน-หลังการฝึกในแต่ละภาวะและความแตกต่างระหว่างภาวะรักษาและภาวะหลอก ด้วย Wilcoxon's matched pairs signed rank test โดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน (α) ไว้ที่ 0.05 การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 17.0

ผลการศึกษา

ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร

ผู้ป่วยอาสาสมัครหายใจด้วยเครื่องช่วยหายใจก่อนการเริ่มการศึกษา 7-68 วัน ปัจจุบันหายใจด้วย pressure control ventilator (Bird ventilator) แบบ assist-control, pressure 20 cm H₂O, sensitivity -2) 4 คน และ volume

control ventilator (SIMV, CPAP) 2 คน มีลักษณะและประวัติการรักษาทางการแพทย์ ดังแสดงใน ตารางที่ 1 ผู้ป่วย 5 คนฝึกหายใจครบทั้ง 2 รอบ (A-B-B-A หรือ B-A-A-B) ส่วนผู้ป่วย 1 คนฝึกหายใจครบเพียงรอบแรก (A-B) เนื่องจากผู้ป่วยถูกถอดท่อช่วยหายใจก่อนเริ่มทำการฝึกในรอบที่สอง

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและการรักษาทางการแพทย์ของผู้ป่วย

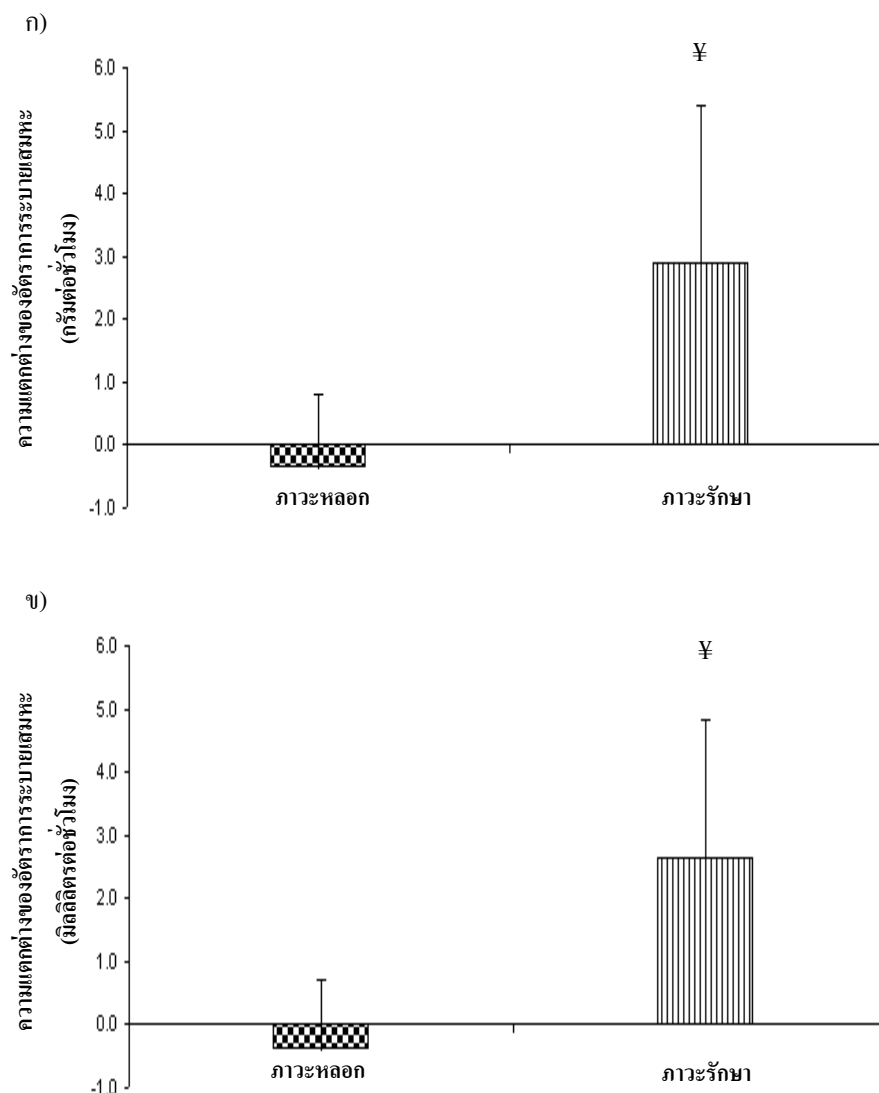
	No.	mean $\pm$ SD
อายุ (ปี) (เพศชาย)	6	21.1 $\pm$ 25.9
ปัญหาปัจจุบัน (เสหะคั้งค้างในปอด)	6	
การวินิจฉัย		
COPD with acute exacerbation	2	
Tetanus infection with respiratory failure	1	
Pleural effusion	1	
Pneumonia	1	
Lung contusion with pneumothorax	1	
เครื่องช่วยหายใจ	6	
ชนิดของเครื่องช่วยหายใจ		
Bird respirator (assist-control mode, sensitivity -2)	4	
Volume ventilator (SIMV, CPAP)	2	
จำนวนวันในการได้รับเครื่องช่วยหายใจ (วัน)	6	46.2 $\pm$ 27.8
Pressure setting (เซนติเมตรน้ำ)	6	15.8 $\pm$ 6.7
อัตราการหายใจ (ครั้งต่อนาที)	6	19.5 $\pm$ 3.7
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในการหายใจเข้า (เซนติเมตรน้ำ)	6	23.2 $\pm$ 8.8
การใช้ยา		
Berodual	4	
Ventolin	1	
Theodur	1	
Acetin	2	
Seretide	1	

SIMV: synchronized intermittent mandatory ventilation; CPAP: Continuous positive airway pressure.

ผลของการฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® ต่อการระบายเสมหะ

อัตราการระบายเสมหะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังการฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® ในภาวะรักษาโดยก่อนและหลังการฝึกฯ อัตราการระบายเสมหะโดยน้ำหนัก คือ 0.85 ± 0.64 กรัมต่อชั่วโมง และ 3.73 ± 2.20 กรัมต่อชั่วโมง และอัตราการระบายเสมหะโดยปริมาตร คือ 0.81 ± 0.59 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และ 3.46 ± 1.88 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ อัตราการระบายเสมหะโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.88 ± 2.51 กรัมต่อชั่วโมง (95% CI: -2.05 – 2.05, $P = 0.028$) และ 2.65

± 2.16 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง (95% CI: -1.77 – 1.77, $P = 0.028$) ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่พบในภาวะหลอก (อัตราการระบายเสมหะโดยน้ำหนัก 2.11 ± 1.77 และ 1.76 ± 1.16 กรัมต่อชั่วโมง และโดยปริมาตร 2.06 ± 1.59 และ 1.69 ± 1.17 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง, ก่อนและหลังการฝึกฯ ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การระบายเสมหะในภาวะรักษามากกว่าภาวะหลอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างคือ 3.23 ± 2.68 (696.55 %) กรัมต่อชั่วโมง (95% CI: -2.19 – 2.19, $P = 0.028$) และ 3.01 ± 2.48 (632.66 %) มิลลิลิตรต่อชั่วโมง (95% CI: -2.02 – 2.02, $P = 0.028$) (รูปที่ 4, ตารางที่ 2)



รูปที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างภาวะ (ก): อัตราการระบายเสมหะโดยน้ำหนัก (กรัมต่อชั่วโมง) (ข): อัตราการระบายเสมหะโดยปริมาตร (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง) และ * แสดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับภาวะหลอก ที่ระดับ $P < 0.05$

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของอัตราการระบายเสมหะโดยน้ำหนัก (กรัมต่อชั่วโมง) อัตราการระบายเสมหะโดยปริมาตร (มิลลิตรต่อชั่วโมง) และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอัตราการระบายเสมหะ

อัตราการระบายเสมหะ	ภาวะหลอด		ภาวะรักษา		ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างภาวะทั้งสอง	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	P value	P value
โดยน้ำหนัก (กรัมต่อชั่วโมง)	2.11 ± 1.77	1.76 ± 1.16	0.85 ± 0.64	3.73 ± 2.20	0.028	3.23 ± 2.68 *
ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%)		-5.80 %		690.75 %		696.55 % *
(95% CI)		(-0.95 – 0.95)		(-2.05 – 2.05)		(-2.19 – 2.19)
โดยปริมาตร						
(มิลลิตรต่อชั่วโมง)	2.06 ± 1.59	1.69 ± 1.17	0.81 ± 0.59	3.46 ± 1.88	0.028	3.01 ± 2.48 *
ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%)		-4.59 %		628.07 %		632.66 % *
(95% CI)		(-0.87 – 0.87)		(-1.77 – 1.77)		(-2.02 – 2.02)

ข้อมูลแสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD), *, ‡ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ เมื่อเปรียบเทียบภายในภาวะ และ * ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาวะรักษาและภาวะหลอด

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate, ครั้งต่อนาที), อัตราการหายใจ (respiratory rate, ครั้งต่อนาที) และระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดผ่านทางผิวหนัง (SpO₂, %)

อัตราการระบายสมหะ	ภาวะหลอด		ความแตกต่าง		P value	ภาวะรักษา		ความแตกต่าง		P value	ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างภาวะทั้งสอง		P value
	ก่อน	หลัง	หลัง-ก่อน			ก่อน	หลัง	หลัง-ก่อน					
อัตราการเต้นของหัวใจ (95% CI)	96.75±17.31	98.58±16.41	1.83±3.78 (-14.14 – 14.14)		0.248	94.67±17.31	98.33±14.25	3.67±5.42 (-14.13 – 14.13)		0.115	1.83±3.91 (-3.19 – 3.19)		0.345
อัตราการหายใจ (95% CI)	19.83±4.26	19.92±4.54	0.08±1.56 (-3.48 – 3.48)		0.492	21.25±3.37	20.50±2.74	-0.75±2.56 (-2.75 – 2.75)		0.465	-0.83±1.47 (-1.20 – 1.20)		0.197
SpO ₂ (%) (95% CI)	99.33±0.98	98.92±0.58	-0.42±0.58 (-0.80 – 0.80)		0.129	99.42±0.80	98.33±1.54	-1.08±1.16 (-0.65 – 0.65)		0.066	-0.67±1.37 (-1.12 – 1.12)		0.336

ข้อมูลแสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD)

ผลของการฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® ต่อการทำงานของปอดและหัวใจ

ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจ, อัตราการหายใจ และระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังการฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® เมื่อเทียบกับก่อนการฝึกหายใจ ทั้งในภาวะรักษา ($HR = 94.67 \pm 17.31$ vs 98.33 ± 14.25 ครั้งต่อนาที, $RR = 21.25 \pm 3.37$ vs 20.50 ± 2.74 ครั้งต่อนาที และ $SpO_2 = 99.42 \pm 0.80$ vs $98.33 \pm 1.54\%$) และภาวะหลอก ($HR = 96.75 \pm 17.31$ vs 98.58 ± 16.41 ครั้งต่อนาที, $RR = 19.83 \pm 4.26$ vs 19.92 ± 4.54 ครั้งต่อนาที และ $SpO_2 = 99.33 \pm 0.98$ vs $98.92 \pm 0.58\%$) ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® ในการเพิ่มการระบายเสมหะและผลต่อการทำงานของหัวใจและปอดในผู้ป่วยที่พึ่งเครื่องช่วยหายใจ ผลการศึกษาพบว่า การฝึกหายใจเข้าช้า ลึก และคงค้าง ด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® ที่แรงดันต่ำๆ ที่ 20 % PNIP ซึ่งมีแรงดันของการหายใจเฉลี่ย $4.67 \text{ cm H}_2\text{O}$ มีประสิทธิภาพเพิ่มอัตราการระบายเสมหะทั้งโดยปริมาตรและโดยน้ำหนักได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหลังการฝึก (ตารางที่ 2) โดยไม่มีผลเสียต่อทำงานของปอดและหัวใจขณะทำการฝึก (ตารางที่ 3)

อุปกรณ์ BreatheMAX® มีประสิทธิภาพในการระบายเสมหะเช่นเดียวกับหรืออาจมากกว่าอุปกรณ์ระบายเสมหะจากต่างประเทศ เช่น Flutter® และ intrapulmonary percussive ventilator (IPV) ดังการศึกษาของ Burioka และคณะ⁽¹⁹⁾ พบว่าปริมาณเสมหะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติประมาณ 35.42 % ในผู้ป่วยหลอดลมฝอยอักเสบ (diffuse panbronchiolitis) หลังการใช้ Flutter® วันละ 4 ครั้งๆ ละ 5 นาที เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และการศึกษาของ Bellone และคณะ⁽²⁰⁾ ได้เปรียบเทียบผลทันทีของการใช้ Flutter® การจัดทำนอนเพื่อระบายเสมหะ (postural drainage, PD) และเทคนิค expiration with the glottis open in the lateral posture (ELTGOL) ในผู้ป่วยหลอดลมอักเสบเรื้อรัง ผลการศึกษาพบว่าหลังจากเริ่มการรักษาทั้ง 3 วิธี ปริมาณเสมหะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมี

การเพิ่มขึ้น 57.89 %, 66.67 % และ 65.05 % ตามลำดับ แต่ผลดังกล่าวคงอยู่เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในกลุ่มที่ได้รับการฝึกด้วย Flutter® โดยมีการเพิ่มขึ้น 26.67 % ดังนั้นการระบายเสมหะที่เพิ่มขึ้นในการศึกษาของเราซึ่งเพิ่ม 690.75 % ในช่วง 3 ชั่วโมงนั้น จึงมากกว่า Flutter® (26.67 %) และผลของการเพิ่มการระบายเสมหะคงอยู่นานกว่า (3 vs 1 ชั่วโมง)

ผลดังกล่าวนี้อาจเกิดจากการฝึกหายใจด้วย BreatheMAX® สามารถทำให้เกิดผลดังนี้คือ 1) ให้ความชื้นแก่อากาศที่หายใจเข้า อันเป็นคุณสมบัติที่ดีกว่า ซึ่งไม่มีใน Flutter® 2) ให้แรงสั่นของอากาศในช่วงหายใจเข้า ที่ความถี่เฉลี่ย 12 Hz ⁽¹³⁾ อาจมีผลลดความเหนียวของเสมหะ ทำให้การขับเคลื่อนเสมหะระหว่างการหายใจออกมากขึ้น ในขณะที่ Flutter® ให้แรงสั่น อันเกิดจากการสะท้อนกลับของอากาศที่เป่าออกไปกระทบกับลูกโลหะ⁽¹⁰⁾ ทำให้แรงสั่นกลับเข้าสู่ท่อลมในช่วงหายใจออก ซึ่งมีทิศสวนทางกับกระแสลมหายใจออก และ 3. อาจเพิ่มการระบายอากาศผ่าน collateral pathway จากลักษณะการฝึกหายใจด้วย BreatheMAX® ที่เน้นการหายใจเข้าช้า ลึก และคงค้าง อาจทำให้เพิ่มแรงขับเคลื่อนเสมหะจากส่วนล่าง (distal) ต่อเสมหะ⁽²¹⁾

การศึกษาศักยภาพของอุปกรณ์ IPV โดย Tous-saint และคณะ⁽²²⁾ ในผู้ป่วยโรคกล้ามเนื้อลีบจากกรรมพันธุ์ ชนิด duchene muscular dystrophy ที่ได้รับการเจาะคอ และมีปริมาณเสมหะมากกว่าปกติ (hypersecretion) จำนวน 5 ราย พบว่าหลังจากการใช้ IPV ที่แรงดัน 20-40 psi ความถี่ 2 Hz ผู้ป่วยมีปริมาณเสมหะที่ขับออกได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 68.7 % ซึ่งน้อยกว่าการฝึกหายใจด้วย BreatheMAX® ในการศึกษาครั้งนี้ แม้ว่า IPV ให้แรงสั่นเข้าสู่ท่อย่อยโดยตรงระหว่างการหายใจเข้าและมีความชื้นของอากาศเช่นเดียวกับ BreatheMAX® การที่มีประสิทธิภาพเพิ่มการระบายเสมหะแตกต่างกันนี้ อาจเนื่องจากผลของลักษณะการหายใจที่ต่างกัน กล่าวคือลักษณะการหายใจเข้าที่ลึกและคงค้าง ทำให้เพิ่มการระบายในส่วนล่าง (distal) ต่อเสมหะผ่าน collateral pathway จึงอาจเพิ่มแรงขับเคลื่อนเสมหะดังกล่าวแล้วข้างต้น⁽²¹⁾ ในขณะที่ IPV ใช้แรงผลักดันอากาศเข้าปอดเป็นจังหวะรวดเร็ว โดยไม่มีการคงค้าง⁽¹⁰⁾

อย่างไรก็ตามความแตกต่างของประสิทธิภาพในการระบายเสมหะของการศึกษาเมื่อใช้อุปกรณ์ที่ต่างกัันดังกล่าว อาจเกิดจากความแตกต่างในด้าน ภาวะของผู้ป่วย, จำนวนครั้งของการฝึกหายใจ, ระยะเวลาในการรักษา, เวลา

ในการเก็บเสมหะด้วย ดังนั้นผลการศึกษาค้นคว้าที่พบว่าหลังจากการใช้อุปกรณ์ฝึกหายใจ BreatheMAX® ผู้ป่วยมีการระบายเสมหะออกมาได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนใช้ จึงสอดคล้องกับข้อสังเกตในรายงานของ Chuachan และคณะ ที่กล่าวว่า ระหว่างการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจโดยใช้อุปกรณ์ BreatheMAX® มีการเพิ่มขึ้นของการระบายเสมหะระหว่างและหลังจากการใช้อุปกรณ์เมื่อเทียบกับก่อนใช้ โดยสังเกตพบว่าผู้ป่วยมีการไอขับเสมหะ 3 ใน 4 คน และหายใจมีเสียงเสมหะครืดคราด 3 ใน 4 คน⁽¹⁷⁾

กลไกที่มีความเป็นไปได้ในการทำให้การระบายเสมหะเพิ่มขึ้นเมื่อฝึกหายใจด้วย BreatheMAX® อาจเกิดจากกลไกดังต่อไปนี้คือ

1. ผลของ แรงสั่นขณะหายใจเข้า (inspiratory intra-airway oscillation) ที่เกิดจากอุปกรณ์ มีช่วง 8-13 Hz เฉลี่ย 12 Hz เนื่องจากมีการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการเคลื่อนของเสมหะ ขึ้นกับความถี่ (frequency dependent)⁽²³⁾ ความถี่ที่พบว่ามีประสิทธิภาพในการระบายเสมหะสูงสุดคือ 10-15 Hz⁽²⁴⁾ หรือ 10-20 Hz⁽²⁵⁾ และจากการศึกษา in vitro พบว่า ความถี่ที่ 13 Hz เป็นความถี่ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มการขับเคลื่อนเสมหะ⁽²⁶⁾ ดังนั้นความถี่ของอุปกรณ์ BreatheMAX ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่นี้ จึงอาจจะช่วยเพิ่มการขับเคลื่อนของเสมหะได้ แม้ว่ามีความถี่ที่ต่ำกว่า แต่โดยเฉลี่ยตกอยู่ในช่วงความถี่ที่มีประสิทธิภาพในการทำให้เสมหะเคลื่อนตัว

การที่แรงสั่นที่มีความถี่เหมาะสมดังกล่าวมีผลเพิ่มการเคลื่อนของเสมหะนั้น อาจเกิดจาก

ความถี่ในการสั่นซึ่งเฉลี่ยที่ 12 Hz มีความใกล้เคียงหรือคาบเกี่ยวกับความถี่ธรรมชาติ ในการพับโคกของขนซีเลีย (12-15 Hz)⁽²⁷⁾ ที่ผนังเยื่อบุทางเดินหายใจ จึงอาจเพิ่มประสิทธิภาพการพับโคกของขนซีเลีย นอกจากนั้นอาจมีผลต่อการลักษณะภายใน หรือการไหล (rheology) ของเสมหะ⁽²³⁾ โดยอาจทำให้เกิดการสลายการเกาะเกี่ยวพันกันของโมเลกุลของเสมหะ (time-dependence crosslink) ระหว่างโมเลกุลของเสมหะ อาจส่งผลให้คุณสมบัติหนืดหยุ่นของเสมหะ (viscoelasticity) ลดลงได้⁽¹¹⁾

2. ความชื้นในอากาศที่หายใจเข้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศที่หายใจเข้าเป็นอากาศภายในฟองอากาศที่ลอยขึ้นเหนือผิวน้ำ จึงสามารถจัดเป็น bubble type humidifier ซึ่งทำให้อากาศในฟองอากาศได้รับความชื้นจาก ผิวด้านในของ

ฟองอากาศ เมื่อฟองอากาศแตก เหนือหน้า อากาศที่หายใจเข้าจึงเป็นอากาศที่ชื้น⁽¹⁴⁾ นอกจากนั้นยังได้รับความชื้นจากการระเหยของน้ำบริเวณผิวน้ำในอุปกรณ์ร่วมด้วย จึงคิดว่าจะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูง อย่างไรก็ตามยังขาดการศึกษาถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ผู้ป่วยได้รับเข้าสู่ปอดว่าจะลดลงเหลือเท่าไร ซึ่งขึ้นกับหลายปัจจัย นอกจากนี้ความชื้นของอากาศขณะหายใจเข้าอาจทำให้ surface tension และความหนืดของเสมหะลดลง และทำให้ mucus airflow interaction เพิ่มขึ้นในขณะที่กระแสอากาศไหลผ่าน⁽²⁸⁾

3. อาจเพิ่มแรงขับเคลื่อนเสมหะจากส่วนล่าง (distal) ต่อเสมหะ โดยจากทฤษฎีการปฏิสัมพันธ์ของปอดและผนังทรวงอก (lung-chest wall interdependence) การเพิ่มแรงดันลบในช่องเยื่อหุ้มปอด (pleural pressure) จะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มแรงการหายใจเข้าลึกผ่านแรงต้าน ทำให้เกิดการเพิ่มแรงดันลบในช่องเยื่อหุ้มปอดเฉพาะส่วนในปอดที่มีหลอดลมอุดตัน ส่งผลเพิ่มแรงดันลบในส่วนของถุงลมบริเวณนั้นที่อยู่ล่างต่อตำแหน่งอุดตันซึ่งขยายได้ช้าอยู่แล้ว ทำให้เพิ่มความแตกต่างของแรงดันระหว่างปากถุงลมและถุงลม ส่งผลให้เพิ่มการระบายอากาศในถุงลมบริเวณส่วนล่างนั้นมากขึ้น^(29, 30) ซึ่งจากลักษณะการฝึกหายใจด้วย BreatheMAX® ที่เน้นการหายใจเข้าช้า ลึก โดยผ่านแรงต้านทำให้เพิ่มแรงดันลบในช่องเยื่อหุ้มปอด ร่วมกับการเพิ่มเวลาหายใจเข้าและคงค้าง อาจทำให้เสมหะถูกขับเคลื่อนไปตามกระแสลมหายใจออกจากส่วนล่างได้มากขึ้น

ข้อจำกัดของการศึกษา

จำนวนผู้ป่วยในการศึกษานี้ยังมีน้อย และผู้ป่วยมีภาวะที่ต่างกันอาจมีผลต่อปริมาณเสมหะในท่อนลม ที่เก็บได้ก่อนการฝึกหายใจ ซึ่งมีผลต่อการระบายเสมหะหลังการฝึกได้ อีกทั้งความแตกต่างของการรักษาทางกายภาพบำบัดที่ผู้ป่วยได้รับก่อนการเข้าร่วมการศึกษาอาจมีผลต่อปริมาณเสมหะในท่อนลม ที่เก็บได้ก่อนการฝึกหายใจด้วย

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษานี้การฝึกหายใจเข้า ช้า ลึกและคงค้างด้วยอุปกรณ์ BreatheMAX® เพิ่มการระบายเสมหะได้ อีกทั้งมีความปลอดภัยต่อผู้ป่วยที่ได้รับการใส่ท่อช่วยหายใจและฟังเครื่องช่วยหายใจ จึงจะนำไปใช้ในการระบายเสมหะได้ อย่างไรก็ตามยังต้องการศึกษาในกลุ่มผู้ป่วยที่มีจำนวนมากขึ้น

ซึ่งจะทำให้มีความมั่นใจในการนำไปใช้ทางคลินิกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยและคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Pruitt B. Weaning patients from mechanical ventilation. *nursing. Nursing* 2006; 36: 36-41.
2. Konrad FX, Schreiber T, Brecht-Kraus D. Mucociliary transport in ICU patients. *Chest* 1994, 105: 237-41.
3. Nakagawa NK, Macchione M, Petrolino HM, Guimarães ET, King M, Saldiva PH, Lorenzi-Filho G. Effects of a heat and moisture exchanger and a heated humidifier on respiratory mucus in patients undergoing mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2000; 28: 312-7.
4. Sleigh MA, Blake JR, Liron N. The propulsion of mucus by cilia. *Am Rev Respir Dis* 1988; 137: 726-41.
5. Wanner A. Possible control of airway hypersecretion. In: Takishima T, Shimura S, eds. *Airway Secretion*. New York, Dekker 1994; pp. 629-646.
6. van der Schans CP, Pastma DS, Koeter GH, Rubin BK. Physiotherapy and bronchial mucus transport. *Eur Respir J* 1999; 13: 1477-86.
7. van der Schans CP. Conventional physical therapy for obstructive lung disease. *Respir Care* 2007; 52: 1198-209.
8. Thomas J, Cook DJ, Brooks D. Chest physical therapy management of patients with cystic fibrosis: a meta-analysis. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151 (3 Pt 1): 846-50.
9. McCool FD, Rosen MJ. Nonpharmacologic airway clearance therapies: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 2006; 129: 250s-9s.
10. Marks JS. Airway clearance device in cystic fibrosis. *Paediatr Respir Rev* 2007; 8: 17-23.
11. King M. Types of bonds occurring in mucous gel [online] 2002 [cited 2010 Apr 17]. Available from: <http://www.ualberta.ca/~king/KING.html>.
12. Intrapulmonary percussive ventilation: Application guide. Medical specialties New Orleans, <http://tlforrette.com/IPV%20Clinical%20Application%20Guide.pdf>
13. Phongern J, Ngodklang S, Prayodmee W. Study of new loaded breathing device “BreatheMAX v.2”: Relationship of vibratory frequency-amplitude and inspiratory load. [Bachelor degree of Science research project in Physical Therapy]: The Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University; 2009.
14. Wyka KA, Mathews PJ, Clark WF. *Foundations of respiratory care*. Delmar Thomson Learning 2000; pp. 516-7
15. Jones C, Laoakka T, Boonsawat W. Inspiratory muscle training increase elevated arm exercise endurance but not 6-minute walk distance in the elderly. *Thai Journal of Physical Therapy* 2006; 3: 23-34.
16. Laoakka T, Jones CU, Khrisanapant W. Inspiratory muscle training increases elevated arm exercise endurance but not 6 minutes walk distance in the elderly. *Eur Respir J* 2006; 28 (supplement 50): 284s.
17. Chuachan S, Jones C, Reechaipichitkul W. Specific inspiratory muscle training in patients with ventilatory dependence: The effect on lung function and weaning outcomes. [Master of Science Thesis in Physical Therapy]. Khon Kaen: The Graduate School, Khon Kaen University; 2008.
18. Hughes JMB, Pride NB. *Lung function test: physiological principles and clinical applications*. England: W.B. SAUNDERS; 2000.
19. Burioka N, Sugimoto Y, Suyama H, Hori S, Chikumi H, Sasaki T. Clinical efficacy of the Flutter device for airway mucus clearance in patients

- with diffuse panbronchiolitis. *Respirology* 1998; 3: 183-6.
20. Bellone A, Laschioli R, Raschi S, Guzzi L, Adone R. Chest physiotherapy in patients with an acute exacerbation of chronic bronchitis: Effectiveness of three method. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81: 558-60.
 21. Eman Namati, Jacqueline Thiesse, essica de Ryk, Geoffrey McLennan. Alveolar dynamics during respiration: Are the Pores of Kohn a pathway to recruitment. *Am J Respir Cell Mol Biol* 2008; 38: 572-8.
 22. Toussaint M, Win HD, Steens M, Soudon P. Effects of Intrapulmonary Percussive ventilation on mucus clearance in Duchene muscular dystrophy patients: A preliminary report. *Respir Care* 2003; 48: 940-7.
 23. King M, Phillips DM, Gross D, Vartian V, Chang HK, Zidulka A. Enhanced tracheal mucus clearance with high frequency chest wall compression. *Am Rev Respir Dis* 1983; 128: 511-5.
 24. Rubin EM, Scantlen GE, Champman GA, Eldridge M, Menendez R, Wanner A. Effect of chest wall oscillation on mucus clearance: comparison of two vibrators. *Pediatr Pulmonol* 1989; 6: 122-6.
 25. Warwick WJ. Airway clearance by high frequency chest compression. *Pediatr Pulmonol* 1992; S8: 138-9.
 26. Chang HK, Weber ME, King M. Mucus transport by high-frequency nonsymmetrical airflow. *J Appl Physiol* 1988; 65: 1203-9.
 27. Helleday R, Huberman D, Blomberg A, Stjernberg N, Sandstrom T. Nitrogen dioxide exposure impairs the frequency of the mucociliary activity in healthy subjects. *Eur Respir J* 1995; 8: 1664-8.
 28. Freitag L, Bremme J, Schoer M. High frequency oscillation for respiratory physiotherapy. *Br J Anaesth* 1989; 63 (7 suppl 1): S44-S6.
 29. Terry PB, Traystman RJ, Newball HH, Batra G, Menkes HA, Collateral ventilation in man. *N Engl J Med* 1978; 298: 10-5.
 30. Light RW. Mechanisms of respiration In: George RB, Light RW, Matthay MA, Matthay RA. *Chest Medicine: Essentials of Pulmonary and Critical Care Medicine* 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins 2005; pp. 24-38.