ผลระยะสั้นของการเคลื่อนไหวผนังทรวงอกแบบทำให้ ต่อพลวัติการยืดขยายตัวของปอด และระยะเวลาในการหายใจด้วยตนเองขณะฝึกหย่าเครื่องช่วยหายใจในผู้ป่วยที่พึงพาเครื่องช่วยหายใจนาน

Short effect of passive chest mobilization exercise on dynamic lung compliance and spontaneous breathing time during weaning period in prolonged mechanical ventilation patients

สายแก้ว เจือจันทร์[1*], จตุพร จาตุรวาณิช[2],จิรายุส ศรีทวี[1], ณัฐกานต์ ชุมทอง[1], พัชรวรรณ ชูทอง[1]

Saikaew Chuachan[1*], Jartuporn Jaturawanit[2], Jirayut Sritawee[1], Nattakarn Chumthong[1], Patcharawan Choothong[1]

[1]สาขาวิชากายภาพบำบัด คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2]หน่วยกายภาพบำบัด โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[1]Department of Physical Therapy, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University

[2]Physical Therapy Unit, Songklanagarind Hospital, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University

บทคัดย่อ

ที่มาและความสำคัญ: การเคลื่อนไหวผนังทรวงอกแบบทำให้ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวกล้ามเนื้อผนังทรวงอก และอาจทำให้ความสามารถในการยืดขยายตัวของปอด เพิ่มขึ้นในผู้ป่วยที่พึ่งพาเครื่องช่วยหายใจเป็นเวลานานได้

วัตถุประสงค์: เพื่อประเมินผลของการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ต่อพลวัติการยืดขยายตัวของปอด และระยะเวลาที่ผู้ป่วยหายใจด้วยตนเองขณะฝึกหย่าเครื่องช่วยหายใจในผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจ

วิธีการวิจัย: ผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจนาน 20 ราย ถูกสุ่มเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มทดลองจำนวน 10 ราย (อายุเฉลี่ย 62.90 ± 29.43 ปี) ได้รับการฝึกการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ 30 ครั้งต่อชุด 3 ชุดต่อวัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน ร่วมกับเทคนิคทางกายภาพบำบัดทรวงอกปกติ (การฝึกหายใจเข้าลึก เคาะปอด สั่นปอด จัดท่าระบายเสมหะ และดูดเสมหะ) กลุ่มควบคุมจำนวน 10 ราย (อายุเฉลี่ย65.30 ± 21.33 ปี) ได้รับเฉพาะการรักษาทางกายภาพบำบัดทรวงอกปกติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอด (dynamic lung compliance: Cdyn) ระยะเวลาการหายใจด้วยตนเองก่อน และหลังการฝึกภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่ม

ผลการวิจัย: หลังจากฝึกเป็นเวลา 5 วัน กลุ่มทดลองมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยของพลวัติการยืดขยายของปอดจาก 26.29 ±11.29 มิลลิลิตร/เซนติเมตรน้ำ เป็น 35.07± 13.09 มิลลิลิตร/เซนติเมตรน้ำ (p<0.05) ส่วนกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการหายใจด้วยตนเองขณะฝึกหย่าเครื่องช่วยหายใจเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก 6.41 ± 7.6 ชั่วโมง เป็น 16.18 ± 9.11 ชั่วโมง ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

สรุปผล: การเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ในผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจนานร่วมกับการรักษาทางกายภาพบำบัดปกติ สามารถเพิ่มพลวัติการขยายตัวของปอด และระยะเวลาในการหายใจเองขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจ การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาในกลุ่มประชากรที่มากขึ้น

คำสำคัญ: ผู้ป่วยที่พึ่งพาเครื่องช่วยหายใจ ระยะเวลาหายใจด้วยตัวเอง พลวัติการยืดขยายตัวของปอด การเคลื่อนไหวผนังทรวงอกแบบทำให้

ABSTRACT

Background: Passive chest mobilization leads to a change in the muscle length of the thoracic wall

*Corresponding author: Saikaew Chuachan. Department of Physical Therapy, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University, Hadyai, Songkhla, Thailand. Email address: saikaew.ch@psu.ac.th

Received: 17 June 2021; Revised: 10 Oct 2021; Accepted: 31 Dec 2021

and may result in increased lung compliance in prolonged mechanical ventilation patients.

Objective: To investigate the effect of passive chest mobilization on dynamic lung compliance and spontaneous breathing time during weaning in prolonged mechanical ventilation patients.

Methods: Twenty prolonged mechanical ventilation patients were randomly divided into two groups. Ten patients in the intervention group (mean age: 62.90 ± 29.43 years) received passive chest mobilization 30 times per set, 3 sets per day, for 5 days combined with conventional chest physical therapy (deep breathing exercise, percussion vibration postural drainage and suction). Ten patients in the control group (mean age 65.30 ± 21.33 years) received only conventional chest physical therapy. Comparison of the differences in dynamic lung compliance and spontaneous breathing time before- and after-training within and between groups.

Results: Five days after the program, the intervention group found significant improvement in mean dynamic lung compliance. Before and after training, it was 26.29 ±11.29 ml/cmH2O, and after training it was 35.07± 13.09 ml/cmH2O ($p<0.05$). The mean of spontaneous breathing time during the weaning period showed significant improvement after the program, it was 6.41 ± 7.6 hours to 16.18 ± 9.11 hours, and the significance was different when compared with the control group ($p<0.05$).

Conclusion: Passive chest mobilization combined with a physiotherapy program could improve dynamic lung compliance and spontaneous breathing time in prolonged mechanical ventilator patients. Further studies should be conducted on a large population.

Keywords: Mechanical Ventilation Patients, Spontaneous Breathing Time, Dynamic Lung Compliance, Passive Chest Wall Mobilization

บทนำ

การใช้เครื่องช่วยหายใจนานกว่า 7 วันทำให้กล้ามเนื้อหายใจอ่อนแรงลงร้อยละ 10[1,2]และความสามารถในการยืดขยายตัวของปอดลดลงร้อยละ 38-62[3,4] จึงเป็นปัจจัยสำคัญทำให้ผู้ป่วยต้องพึ่งเครื่องช่วยหายใจนานขึ้น ดังนั้น เป้าหมายหลักในการรักษาคือส่งเสริมให้ผู้ป่วยสามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจได้เร็วที่สุด[5] พลวัติการยืดขยายตัวของปอด (dynamic lung compliance: Cdyn) เป็นตัวแปรที่สำคัญในการประเมินการหย่าเครื่องช่วยหายใจในปัจจุบัน[6,7] พบว่าค่า Cdyn > 22 ml/cmH_2O มีความสัมพันธ์กับการทำนายความสำเร็จในการหย่าเครื่องช่วยหายใจ[8] อย่างไรก็ตาม การเพิ่มของความสามารถการยืดขยายของปอดยังขึ้นกับความยืดหยุ่นของเนื้อปอด (lung elasticity) ซึ่งจะแตกต่างในแต่ละคนตามพยาธิสภาพของปอด และความสามารถในการขยายตัวของผนังทรวงอก (chest wall compliance)[9] เทคนิคการเพิ่มการขยายตัวของปอดในผู้ที่ใส่เครื่องช่วยหายใจได้แก่ manual hyperinflation (MH)[10,11], intermittent positive-pressure breathing (IPPB)[12] การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหวข้อไหล่ ทรวงอก และลำตัว[13] การจัดท่าและระบายเสมหะ[11,14,15] การเคลื่อนไหวแบบทำให้ นิยมฝึกในผู้ป่วยที่นอนติดเตียงหรือไม่รู้สึกตัว ซึ่งสามารถทำให้โดยผู้ดูแลหรือใช้เครื่องมือช่วยการเคลื่อนไหว รายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเครื่องมือช่วยเคลื่อนไหวที่รยางค์ขา และแขนสามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย และไม่เปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณชีพ[16–18]ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการทำการเคลื่อนไหวแบบทำให้ (passive chest mobilization)ใน

ผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจสามารถทำได้อย่างปลอดภัย นอกจากนั้น การยืดกล้ามเนื้อทรวงอกร่วมกับการหายใจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการระบายอากาศในทางที่ดีขึ้น และส่งเสริมการหย่าเครื่องช่วยหายใจได้[19] ผู้ป่วยที่อ่อนแรง หรือมีระดับความรู้สึกตัวน้อยควรได้รับการส่งเสริม และกระตุ้นให้หายใจเอง เพื่อส่งเสริมการหย่าเครื่องช่วยหายใจสำเร็จโดยเร็ว แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอดในผู้ป่วยกลุ่มดังกล่าว ความสัมพันธ์ระหว่างของความสามารถของพลวัติการยืดขยายตัวของปอด กับผนังทรวงอก เมื่อผนังทรวงอกขยายตัว จะเพิ่มความยอมตามของปอด ปอดถูกดึงให้เกิดการขยายตัวตามผนังทรวงอก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการยืดขยายตัวของปอดตามมา ดังนั้น การเคลื่อนไหวแบบทำให้ช่วยให้ผนังทรวงอกขยายตัวเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้ความสามารถของปอดในการยืดขยายตัวเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาผลระยะสั้นของการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอด และระยะเวลาที่ผู้ป่วยหายใจด้วยตนเองขณะฝึกหย่าเครื่องช่วยหายใจในผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจ โดยสมมุติฐานว่าการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ร่วมกับการหายใจเข้าลึก ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้กล้ามเนื้อกระบังลมทำงานมากขึ้น[19–21] สามารถเพิ่มค่าพลวัติการยืดขยายของปอดและช่วยเพิ่มระยะเวลาการหายใจเองระหว่างการหย่าเครื่องช่วยหายใจ

วิธีการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบสุ่มและมีกลุ่มควบคุม (Randomized control trials) การศึกษานี้ได้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (EC 56-403-11-2)

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการศึกษาครั้งนี้เป็นผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ มีเกณฑ์คัดเข้าคือ อายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป ใช้เครื่องช่วยหายใจมากกว่า 72 ชั่วโมง[20] กำลังหย่าเครื่องช่วยหายใจโดยใช้ชนิด continuous positive airway pressure (CPAP) และ synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV) มีคะแนน Glasgow coma scale (GCS) ≤ 8 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับมีสติแต่ไม่มีแรงพอที่จะยกแขนได้ หรือกล้ามเนื้ออ่อนแรง ส่วนเกณฑ์การคัดออกคือผู้ที่มีกระดูกรยางค์บนหักแบบไม่มั่นคง มีข้อไหล่ติดที่มุม< 90 องศา อาการทางคลินิกที่ไม่คงที่ (ชีพจร >120 ครั้ง/นาที, อัตราการหายใจ > 30 ครั้ง/นาที, ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด<90% , ความดันโลหิตขณะบีบตัว > 140 มิลลิเมตรปรอท หรือ < 90 มิลลิเมตรปรอท โรคของปอดที่ส่งผลต่อความสามารถในการยืดขยายของปอดเช่น ถุงลมโป่งพอง, หลอดลมอักเสบเรื้อรัง, พังผืดในปอด หรือปอดอักเสบ มีคะแนน acute physiology and chronic health evaluation II (APACHE II) <11 (มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตต่ำ การฟื้นตัวเร็ว) หรือ > 20 คะแนน (มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตสูง ฟื้นตัวช้า)[23] และไม่สามารถปรับหัวเตียงขึ้นสูงได้ 45 องศา

การคำนวณกลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการยืดขยายตัวของปอด ระหว่างตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ด้วยโปรแกรม n4Studies แทนค่าโดยอ้างอิงจากสูตร[24,25]

$$n_{trt} = \frac{(z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta})^2 [\sigma^2_{trt} + \frac{\sigma^2_{con}}{r}]}{\Delta^2}$$

กำหนดให้ α = 0.05 ดังนั้น $Z\alpha$ = 1.96 และ β= 0.95 ดังนั้น $Z\beta$ = 0.84 การแทนค่าในสูตรจะใช้ข้อมูลจากการศึกษาของ Ashtankar และ Kazi ในปี 2019 [26] แทนค่าโดยกำหนดให้สัดส่วนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมเท่ากับ 1, ค่าเฉลี่ยของพลวัติ

การยืดขยายของปอดหลังการฝึกในกลุ่มทดลองเท่ากับ 31.45 ± 6.24 และกลุ่มควบคุมเท่ากับ 21.42±7.64 มิลลิลิตร/เซนติเมตรน้ำ เมื่อแทนค่าในสูตรเท่ากับ

$$n_{trt} = \frac{(1.96+0.84)^2[6.24^2+7.64^2]}{(31.35-21.42)^2}$$

จากการคำนวณจะได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 8 คน เมื่อรวมกับอาสาสมัครออกจากการศึกษาร้อยละ 30 เท่ากับ 11 คนต่อกลุ่ม

<u>กระบวนการวิจัย</u>

ผู้เข้าร่วมการศึกษาให้ความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยทำการประเมินข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ ประวัติความเจ็บป่วย โรคประจำตัว การรักษาทางการแพทย์ที่ได้รับ ระยะเวลาที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ รูปแบบที่ใช้หย่าเครื่องช่วยหายใจ ประเมินความสามารถในการยืดขยายตัวของปอด และเก็บข้อมูลระยะเวลาที่ผู้ป่วยสามารถหายใจได้ด้วยตนเอง (spontaneous breathing time) ขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจก่อนเข้าร่วมงานวิจัย 1 วัน จากนั้นผู้ป่วยจะถูกสุ่มด้วยวิธี random block allocation ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มทดลองจะได้รับการฝึกออกกำลังกายแบบยกแขนทั้งสองข้างเพื่อเพิ่มการเคลื่อนไหวผนังทรวงอกทางด้านหน้าแบบทำให้ (passive anterior chest mobilization exercise) ในท่าศีรษะสูง 45 องศา ประเมินสัญญาณชีพก่อนการและหลังการฝึกทุกครั้ง การออกกำลังกายแบบทำให้เริ่มด้วยการจับแขนผู้ป่วยในท่ากอดอก ยกแขนขึ้นจนสุดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อไหล่ให้สัมพันธ์กับการหายใจเข้า และยกแขนลงลงเมื่อผู้ป่วยเริ่มหายใจออกนับเป็น 1 ครั้ง (รูปที่ 1) ทำ 30 ครั้ง/ชุด 3 ชุด/วัน[19,26]แต่ละชุดมีช่วงพัก 1 นาที ผู้ป่วยจะได้รับการฝึกในช่วงเช้าของทุกวันหลังจากได้รับการรักษาทางกายภาพบำบัดทรวงอกปกติได้แก่ การฝึกหายใจเข้าลึก (deep breathing exercise) การเคาะปอด (percussion) สั่นปอด (vibration) จัดท่าระบายเสมหะ (postural drainage) และดูดเสมหะ(suction) โดยนักกายภาพบำบัดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์คนเดิมตลอดการศึกษา



A: ท่าเริ่มจัดท่าผู้ป่วยในท่ากอดอก

B: ยกแขนผู้ป่วยให้สัมพันธ์กับการหายใจเข้าจนสุดช่วงการเคลื่อนไหวของข้อไหล่

รูปที่ 1 แสดงการจำลอง passive anterior chest wall mobilization

ส่วนกลุ่มควบคุมจะได้รับเฉพาะการรักษาทางกายภาพบำบัดทรวงอกปกติ จากนักกายภาพบำบัด โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ทั้งสองกลุ่มจะได้รับเหมือนกัน โดยใช้เวลาในการรักษาประมาณ 30 นาที ติดต่อกันอย่างต่อเนื่องเป็นระยะ 5 วัน บันทึกค่าปริมาตรการหายใจออกในแต่ละครั้ง (expired tidal volume: expired V_T), ความดันในหลอดลมที่วัดได้สูงสุดในจังหวะการหายใจเข้า (peak inspiratory pressure: P_{peak}) และ แรงดันบวกช่วงสุดท้ายในขณะหายใจออก (positive end expiratory pressure: PEEP) จากเครื่องช่วยหายใจก่อนการฝึก 1 วันและวันที่ 6 หลังสิ้นสุดโปรแกรมการฝึก แล้วนำไปคำนวณหาค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอดจากสูตร C_{dyn} = expired V_T – [(P_{peak} – PEEP) x 3 mL/cm H_2O]/ (P_{peak} – PEEP)[22] ระยะเวลาที่ผู้ป่วยสามารถหายใจได้ด้วยตนเองนำข้อมูลจากการฝึกหย่าเครื่องช่วยหายใจด้วย CPAP, SIMV และ T-piece ในแฟ้มประวัติการหย่าเครื่องช่วยหายใจของผู้ป่วยก่อนการฝึก 1 วันและวันที่ 6 หลังสิ้นสุดโปรแกรมการฝึก

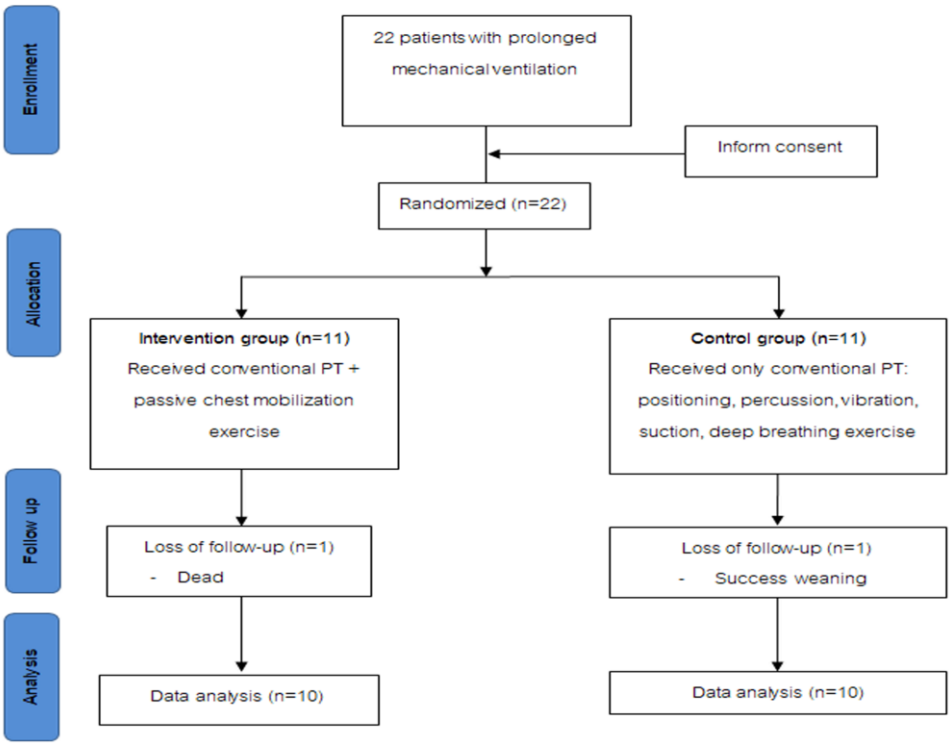
<u>การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ</u>

นำเสนอข้อมูลในรูปแบบ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ จำนวน เปรียบเทียบข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัยระหว่างกลุ่มด้วย Wilcoxon sign rank test และ Fisher exact test ส่วนค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอด และระยะเวลาที่ผู้ป่วยหายใจด้วยตนเองขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจ (spontaneous breathing time) ก่อนและหลังสิ้นสุดโปรแกรมการรักษาภายในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ Mixed design with two-way repeated ANOVA โดยกำหนดให้ $p < 0.05$

ผลการวิจัย

ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจเข้าร่วมการศึกษาทั้งสิ้น 22 ราย ถูกสุ่มเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 11 ราย และในจำนวนนี้ต้องออกจากการศึกษา 2 ราย เนื่องจากอาการแย่ลงและเสียชีวิต 1 ราย ส่วนอีก 1 รายสามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจสำเร็จก่อนสิ้นสุดโปรแกรมการรักษา ทำให้มีผู้ป่วย 20 รายที่สามารถเข้าร่วมครบตามโปรแกรม (รูปที่ 2) กลุ่มควบคุมเป็นเพศชาย 4 ราย เพศหญิง 6 ราย มีค่าเฉลี่ยของอายุ 65.30 ± 21.33 ปี คะแนน APACHE II เท่ากับ 17.20 ± 2.17 คะแนน ระยะเวลาการใช้เครื่องช่วยหายใจ 37.30 ± 36.35 วัน คะแนน Glasgow coma score เท่ากับ 4.70 ± 2.20 คะแนน ได้รับการวินิจฉัยเป็นผู้ป่วยที่มีพยาธิสภาพที่สมอง 1 ราย บาดเจ็บไขสันหลัง 2 ราย ปอดติดเชื้อ 3 ราย ติดเชื้อในกระแสเลือด 2 รายและผู้ป่วยหลังผ่าตัดช่องท้อง 1 ราย ส่วนกลุ่มทดลองมีเพศชาย 5 ราย เพศหญิง 5 ราย ค่าเฉลี่ยของอายุ 62.90 ± 29.43 ปี คะแนน APACHE II เท่ากับ 16.60 ± 3.19 คะแนน ระยะเวลาการใส่เครื่องช่วยหายใจเท่ากับ 41.80± 34.48 วัน คะแนน Glasgow coma score เท่ากับ 7.40 ± 3.20 คะแนน ได้รับการวินิจฉัยเป็นผู้ป่วยที่มีพยาธิสภาพที่สมอง 7 ราย ติดเชื้อในกระแสเลือด 2 ราย และเป็นผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดช่องอกและท้อง 2 ราย (ตารางที่ 1)

ค่าเฉลี่ยพลวัติการยืดขยายตัวของปอด ก่อนการฝึกในกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 26.29 ± 11.29 มิลลิลิตร/เซนติเมตรน้ำ และเพิ่มเป็น 35.07 ± 13.09 มิลลิลิตร/เซนติเมตรน้ำหลังการฝึก ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p = 0.011) ส่วนในกลุ่มควบคุมก่อนการฝึกมีค่าเท่ากับ 22.76 ± 4.73 มิลลิลิตร/เซนติเมตรน้ำ หลังการฝึกมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่ากับ 24.79 ± 5.11 มิลลิลิตร/เซนติเมตรน้ำ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p = 0.161) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p = 0.092) (ตารางที่ 2, รูปที่ 3)



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

	Intervention (n=10)	Control (n=10)	p-value
Sex n (%)			1[a]
Female	5 (50)	6 (60)	
Male	5 (50)	4 (40)	
Age (yrs.) in mean ± SD	62.90 ± 29.43	65.30 ± 21.33	0.83[b]
Ventilator day (days) in mean ± SD	41.80± 34.48	37.30 ± 36.35	0.78[b]
APACHE II score in mean ± SD	16.60 ± 3.19	17.20 ± 2.17	0.62[b]
Glasgow coma score in mean ± SD	4.70 ± 2.20	7.40 ± 3.20	0.04[b]
Diagnosis (n)			
- neurologic disorder	7	1	
- spinal cord injury	-	2	
- pneumonia	-	3	
- vascular surgery	1	-	
- sepsis	2	2	
- gastrointestinal surgery	1	1	

หมายเหตุ: n; number, yrs. ; years, APACHE II; acute physiology and chronic health evaluation II, SD; standard deviation.

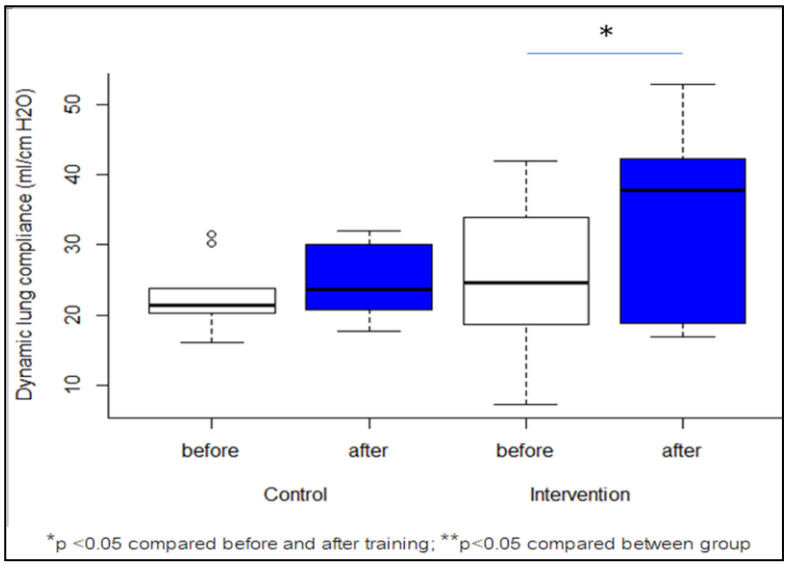
[a] Fisher's exact test, [b] T-test หมายเหตุ; ventilator day หมายถึง ระยะเวลาที่ผู้ป่วยใช้เครื่องช่วยหายใจติดต่อกันมาจนถึงก่อนเริ่มโปรแกรมการรักษา

ตารางที่ 2 แสดงความแตกต่างค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอดระยะเวลาการหายใจด้วยตนเองก่อน และหลังเข้าร่วมโปรแกรม ภายในและระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

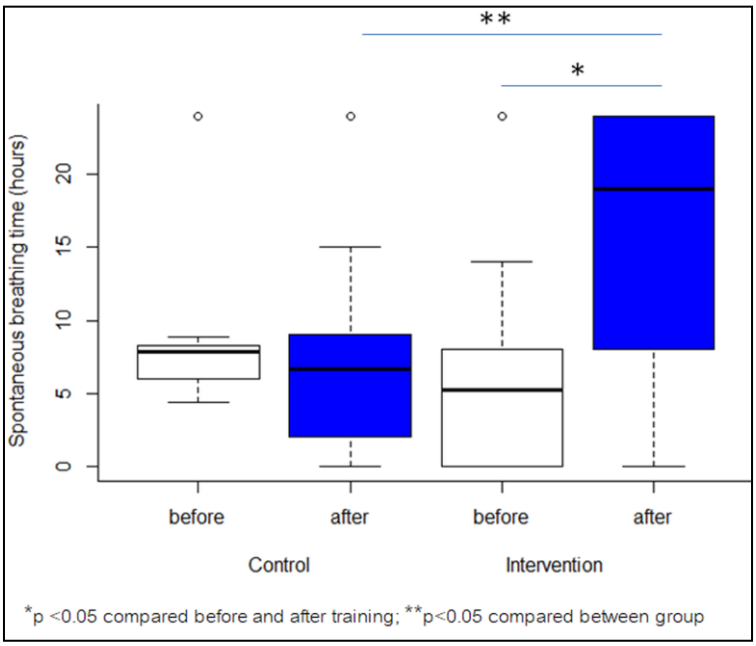
Measure	Within groups						Between groups
	Control (n=10)			Intervention (n=10)			
	before	after	p-value	before	after	p-value	p-value
Dynamic lung compliance (ml/ cm H_2O) in mean±SD	22.76 ± 4.73	24.79 ± 5.11	0.161	26.29 ± 11.29	35.07 ± 13.09	0.011*	0.092
Spontaneous breathing time (hours) in mean ±SD	8.74 ± 5.56	7.63 ±7.42	0.813	6.41 ± 7.64	16.18 ± 9.11	0.031*	0.009*

หมายเหตุ: SD; standard deviation, *significant $p<0.05$

ระยะเวลาในการหายใจด้วยตนเองขณะฝึกหย่าเครื่องช่วยหายใจก่อนการฝึกในกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.41 ± 7.64 ชั่วโมง หลังจากฝึกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเป็น 16.18 ± 9.11 ชั่วโมง (p =0.031) ส่วนกลุ่มควบคุมก่อนการฝึกมีค่าเท่ากับ 8.74 ± 5.56 ชั่วโมง หลังการฝึกมีค่าลดลงเล็กน้อยเป็น 7.63 ±7.42 ชั่วโมง แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p = 0.813) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระยะเวลาการหายใจด้วยตนเองขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจระหว่างกลุ่มพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p = 0.009) (ตารางที่ 2, รูปที่ 4)



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าพลวัติการขยายตัวของปอดก่อนและหลังการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการหายใจด้วยตนเองขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจก่อนและหลังการฝึกระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

บทวิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้ศึกษาในกลุ่มผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจนานในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เพื่อเปรียบเทียบผลระยะสั้นของการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ร่วมกับเทคนิคการรักทางกายภาพบำบัดปกติ (การฝึกหายใจเข้าลึก การเคาะปอด สั่นปอด จัดท่าระบายเสมหะ และดูดเสมหะ) เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 5 วัน ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอด และระยะเวลาการหายใจด้วยตนเองขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจในผู้ที่ใส่เครื่องช่วยหายใจเป็นเวลานาน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับเฉพาะเทคนิคทางกายภาพบำบัดทรวงอกปกติเพียงอย่างเดียว ผลการศึกษาพบว่าการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้มีแนวโน้มในการเพิ่มค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอด และเพิ่มระยะเวลาที่ผู้ป่วยหายใจด้วยตนเองขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจนานทำให้กล้ามเนื้อหายใจอ่อนแรง[1,2]และทำให้หย่าเครื่องหายใจลำบากตามมา เมื่อกล้ามเนื้อหายใจทำงานลดลงร่วมกับไม่ได้เคลื่อนไหวเป็นเวลานาน เนื่องจากต้องถูกจำกัดอยู่บนเตียงทำให้ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อและข้อต่อบริเวณสันหลังลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อต่อ costovertebral จะมีการยึดติด[13,28] ทำให้ขณะหายใจเข้ากล้ามเนื้อกระบังลม และกล้ามเนื้อระหว่างซี่โครง ซึ่งมีจุดเกาะบริเวณดังกล่าวหดตัวได้ไม่เต็มที่ ส่งผลต่อปอดขยายตัวลดลง[13] เมื่อแพทย์เริ่มต้นการหย่าเครื่องช่วยหายใจ ผู้ป่วยจะต้องหายใจเองโดยไม่มีเครื่องช่วยทำให้กล้ามเนื้อหายใจต้องทำงานหนักขึ้น ในขณะที่กล้ามเนื้อหายใจอ่อนแรง ทำให้ได้ปริมาตรอากาศไม่เพียงพอต่อความต้องการ เกิดการคั่งของกาซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น กระตุ้นศูนย์ควบคุมการหายใจส่งสัญญาณให้กล้ามเนื้อหายใจทำงานมากขึ้น ทำให้ผู้ป่วยหายใจหายใจเร็วขึ้นขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจ แต่เป็นการหายใจที่ไม่มีประสิทธิภาพจึงทำให้ไม่สามารถหายใจด้วยตนเองได้นาน[29,30] ในการศึกษานี้พบว่าหลังสิ้นสุดโปรแกรมการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ ร่วมกับเทคนิคทางกายภาพบำบัดทรวงอกปกติ พบว่ามีค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็น

ผลมาจากกล้ามเนื้อบริเวณผนังทรวงอกถูกยืดให้ยาวออก เพิ่มความยืดหยุ่น รวมทั้งการเคลื่อนไหวของผนังทรวงอก ขณะยกแขนในท่างอข้อศอกให้อยู่ในท่ากอดอก ขณะที่ฝึกจะช่วยลดคานของการช่วยยก และเน้นการขยับในส่วนของกระดูกสันหลังระดับอกมากขึ้น ทำให้ผนังทรวงอกถูกยืดและขยายออกมากขึ้น[13] ความดันภายในช่องเยื่อหุ้มปอดเป็นลบเพิ่มขึ้น ปอดจึงถูกดึงให้ขยายตัวตามผนังทรวงอก เป็นการเพิ่มความสามารถในการยืดขยายตัวของปอด[31] การศึกษาของ Ashtankar และ Kazi ในปี 2019[26] ใช้วิธีการยืดผนังทรวงอกแบบทำให้ผ่านการกระตุ้นระบบประสาทกล้ามเนื้อจากตัวรับความรู้สึก (proprioception) บริเวณผนังทรวงอกร่วมกับการรักษาทางกายภาพบำบัดทรวงอก ประกอบด้วยการจัดท่าระบายเสมหะ เคาะปอด สั่นปอด และดูดเสมหะในผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจหลังจากฝึกเป็นเวลา 5 วัน พบว่าทำให้พลวัติการยืดขยายตัวของปอดเท่ากับ 31.45 ± 6.24 มิลลิลิตร/เซนติเมตรน้ำ มากกว่ากลุ่มที่ได้รับเฉพาะการรักษาทางกายภาพบำบัดทรวงอกอย่างเดียว นอกจากนั้น ผู้ป่วยที่ใส่เครื่องช่วยหายใจที่ช่วยเหลือตัวเองได้น้อยยังส่งผลให้ข้อต่อเคลื่อนไหวได้น้อยลงจึงเกิดภาวะข้อไหล่ติดแข็งได้จากการนอนติดเตียงนาน[32,33] การจำกัดการเคลื่อนไหวจะส่งผลต่อเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างรอบ ๆ ข้อ ทำให้เกิดการหดสั้นของเยื่อหุ้มข้อ เอ็น และกล้ามเนื้อ และทำให้เคลื่อนไหวยากขึ้น[34] การเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้อาจช่วยป้องกัน และลดปัญหาของการยึดติดของข้อไหล่ เนื่องจากการเคลื่อนไหวรยางค์โดยผู้อื่นจะใช้แรงไปกระทำให้เกิดการช่วยยืดของเนื้อเยื่อที่ถูกจำกัดได้[35]

ส่วนภายในกลุ่มควบคุมมีค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเทคนิคทางกายภาพบำบัดทรวงอกปกติได้แก่ การฝึกหายใจเข้าลึก การจัดท่าระบายเสมหะ เคาะปอด สั่นปอด และดูดเสมหะ เพื่อให้ทางเดินหายใจโล่ง ลดความต้านทานในทางเดินอากาศ อากาศจึงเข้าไปได้มากขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซ ผู้ป่วยจำนวน 2 รายในกลุ่มควบคุมมีพยาธิสภาพที่ส่งผลต่อการสั่งการของระบบประสาท และกล้ามเนื้อจากการบาดเจ็บที่ไขสันหลัง ซึ่งมี 1 รายที่ประสาทไขสันหลังถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ (complete cord lesion) ส่วนอีก 1 รายมีการบาดเจ็บบริเวณกระดูกไขสันหลังระดับคอที่ 1, 5 และ 6 ส่งผลให้กล้ามเนื้อหายใจไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากประสาทสั่งการจากสมองถูกตัดขาด[36] ทำให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการหายใจ และการเปลี่ยนแปลงของค่าพลวัติการยืดขยายของปอด ในการศึกษานี้ผู้วิจัยประเมินความรุนแรงของโรคจากค่า APACHE II score เป็นการนำผลรวมของค่าสัญญาณชีพ (vital sign) การทำงานของระบบในร่างกายจากผลทางห้องปฏิบัติการ (laboratory test) ระดับออกซิเจน (oxygenation) ระดับการรับรู้สติ (conscious) อายุ และโรคเรื้อรังมาใช้เพื่อประเมินโอกาสที่จะเสียชีวิต ในการศึกษานี้พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15-19 หมายถึงผู้ป่วยมีความน่าจะเป็นของอัตราการเสียชีวิตร้อยละ 24[37] ระดับความรุนแรงของผู้ป่วยดังกล่าวอาจมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอด หากมีค่า APACHE II score สูง อาจทำให้ค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอดเปลี่ยนแปลงน้อย นอกจากนั้น ค่า Glasgow coma score มีค่าน้อยทั้ง 2 กลุ่ม โดยกลุ่มควบคุมพบว่ามีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลอง จากพยาธิสภาพของผู้ป่วยพบว่ากลุ่มทดลองมีพยาธิสภาพที่สมอง 7 ราย ซึ่งส่งผลต่อการรับรู้สติที่น้อยกว่า ส่วนกลุ่มควบคุมพบ 3 รายที่มีภาวะปอดจากปอดติดเชื้อ และอีก 2 รายมีการบาดเจ็บที่ไขสันหลังที่ คอ ระดับ C5-C6 ซึ่งส่งผลกระทบต่อกล้ามเนื้อหายใจและปอด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอดโดยตรงจากพยาธิสภาพที่เป็นปัญหาหลักของผู้ป่วย ในขณะที่กลุ่มทดลองส่วนใหญ่มีพยาธิสภาพที่สมองซึ่งอาจส่งผลต่อการสั่งการกล้ามเนื้อหายใจน้อยกว่าทำให้พบการเปลี่ยนแปลงที่ดีกว่า อย่างไรก็ตามการให้โปรแกรมการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ในผู้ป่วยที่มี

ระดับความรู้สึกตัวน้อย กล้ามเนื้ออ่อนแรง และต้องพึ่งพาเครื่องช่วยหายใจเป็นเวลานาน ให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าพลวัติการยืดขยายตัวของปอดเพิ่มขึ้น สามารถที่จะกระตุ้นให้หายใจด้วยตนเองได้นาน และส่งเสริมการหย่าเครื่องช่วยหายใจได้สำเร็จ ควรเลือกฝึกในผู้ป่วยที่ไม่ได้มีพยาธิสภาพที่ส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจโดยตรง

ในการศึกษานี้ถึงแม้ว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่จะมีปัญหากล้ามเนื้อหายใจที่ทำให้หย่าเครื่องช่วยหายใจลำบาก ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดจากภาวะการขาดการเคลื่อนไหว แต่ในกลุ่มควบคุมมีปัญหากล้ามเนื้อหายใจที่เกิดจากพยาธิสภาพโดยตรง แตกต่างจาก การศึกษาที่ผ่านมาที่ฝึกในผู้ป่วยที่มีปัญหาจำกัดการขยายของทรวงอก[13] และเป็นผู้ป่วยที่ไม่ได้อ่อนแรงทั้งหมด[17,18] การศึกษาครั้งนี้พบว่าหลังการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายทำให้ระยะเวลาในการหายใจได้ด้วยตนเองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้เมื่อยกแขนขึ้นในขณะหายใจเข้า ทำให้มีปริมาตรอากาศไหลเข้าสู่ปอดได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากขณะฝึกผู้ป่วยจะได้รับการกระตุ้นให้หายใจเข้าลึกตามการทำงานของเครื่องช่วยหายใจ ขณะที่ผู้ฝึกจับแขนผู้ป่วยในท่ากอดอกแล้วยกขึ้นไปทางศีรษะ ส่งผลให้กล้ามเนื้อทางด้านหน้า ด้านข้างของทรวงอก รวมทั้งกล้ามเนื้อหน้าท้องถูกยืด และมีความตึงตัวลดลง ปอดขยายได้เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้กระบังลมและกล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงทำงานง่ายขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลวัติการยืดขยายของปอดที่จะส่งผลดีต่อกลศาสตร์การหายใจ อาจนำไปสู่การหายใจด้วยตนเองที่นานขึ้นได้ ลดแรงในการหายใจ ทำให้ไม่เกิดอาการหอบเหนื่อยขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจ[38] ผู้ป่วยจึงมีความทนทานต่อการหย่าเครื่องช่วยหายใจเพิ่มขึ้น[8] ทำให้ระยะเวลาของการหายใจด้วยตนเองนานขึ้น นอกจากนั้นการจัดท่าระบายเสมหะ เคาะปอด สั่นปอด และดูดเสมหะจากนักกายภาพบำบัดทรวงอก ช่วยทำให้ทางเดินหายใจโล่งขึ้น ลดแรงต้านในการหายใจ ทำให้หายใจด้วยตัวเองได้นานขึ้นขณะที่หย่าเครื่องช่วยหายใจ ในกลุ่มควบคุมพบผู้ป่วย 2 รายที่ไม่สามารถหายใจด้วยตนเองได้นาน เนื่องจากอายุมาก (อายุ 87 และ 91 ปี) ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ และทำให้หย่าเครื่องช่วยหายใจลำบาก นอกจากนั้นผู้ป่วยที่มีภาวะบาดเจ็บไขสันหลัง ส่งผลอาจส่งผลต่อความแข็งแรงกล้ามเนื้อหายใจ ความทนทานในการหายใจโดยไม่พึ่งเครื่องช่วยหายใจน้อย ทำให้ระยะเวลาในการหายใจด้วยตนเองในผู้ป่วยกลุ่มนี้น้อย จำเป็นต้องเพิ่มการฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อหายใจ เพื่อส่งเสริมให้สามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจได้[39]

อย่างไรก็ตาม โปรแกรมการเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยที่มีภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรง หรือมีระดับความรู้สึกตัวลดลง เนื่องจากช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการหายใจ และมีความปลอดภัย[17,18]แต่ทั้งนี้ก่อนให้การรักษาควรได้รับการตรวจประเมินจากแพทย์ พยาบาล หรือนักกายภาพบำบัดว่าผู้ป่วยมีความพร้อม และไม่มีข้อห้ามสำหรับการเริ่มต้นการขยับหรือเคลื่อนไหวร่างกาย การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่ มีพยาธิภาพของโรคใกล้เคียงกัน โดยเลือกเฉพาะกลุ่มที่มีปัญหาทางระบบประสาทแทนกลุ่มที่มีการบาดเจ็บที่ประสาทไขสันหลัง และควรติดตามผลการฝึกในระยะยาวจนกระทั่งสามารถหย่าเครื่องช่วยหายใจสำเร็จ เพื่อยืนยันผลการฝึกในการส่งเสริมการหย่าเครื่องช่วยหายใจในผู้ป่วยดังกล่าว

สรุปผลการวิจัย

การเคลื่อนไหวทรวงอกแบบทำให้ร่วมกับเทคนิคทางกายภาพบำบัดทรวงอก มีแนวโน้มในการเพิ่มพลวัติการยืดขยายของปอด และระยะเวลาที่ผู้ป่วยหายใจได้ด้วยตนเองขณะหย่าเครื่องช่วยหายใจ สามารถนำโปรแกรมนี้ไปประยุกต์ใช้ในผู้ป่วยวิกฤตที่ใส่เครื่องช่วยหายใจเป็นระยะเวลานาน เพื่อส่งเสริมช่วยให้ผู้ป่วยหย่าเครื่องช่วยหายใจได้เร็วขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนจากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ นายแพทย์ชนนท์ กองกมลที่ให้คำแนะนำเรื่องการจัดการข้อมูลทางสถิติ และขอขอบคุณผู้ป่วย และญาติผู้ป่วยทุกท่านในหอผู้ป่วยเป็นอย่างยิ่งที่เสียสละเวลา และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. O'Connor ED, Walsham J. Should we mobilise critically ill patients? A review. Crit Care Resusc. 2009;11(4):290–300.
2. Garzon-Serrano J, Ryan C, Waak K, Hirschberg R, Tully S, Bittner EA, et al. Early mobilization in critically ill patients: patients' mobilization level depends on health care provider's profession. PMR. 2011;3(4):307–13.
3. Mackenzie L. Core topics in mechanical ventilation. New York: Cambridge Uiversity Press; 2008.
4. Gosselink R, Clerckx B, Robbeets C, Vanhullebusch T, Vanpee G, Segers J. Physiotherapy in the intensive care unit. Neth J Crit Care. 2011;15:66–75.
5. Denehy L, Berney S, Skinner E, Edbrooke L, Warrillow S, Hawthorne G, et al. Evaluation of Exercise Rehabilitation for Survivors of Intensive Care: Protocol for a Single Blind Randomised Controlled Trial. Open Crit Care Med J. 2008;1(1):39–47.
6. Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. N Engl J Med. 1991;324(21):1445–50.
7. Chatmongkolchart S, Wansuwanakul T, Songwanthana P. Respiratory care. Songkhla: Chanmuang press; 2007.
8. Agmy GR, Mohammad HA, Hassanin AAM. The prognostic value of the dead-space fraction and other physiological parameters in the weaning process of mechanical ventilation in patients with obstructive air flow. Egypt J Bronchol. 2015;9(3):245–52.
9. Wongsa A, Whahanadhama A, Wacharasint P. Mechanical ventilation: made incredibly easy. Bangkok: Beyond Enterprise Company Limited; 2010.
10. Paulus F, Binnekade JM, Vroom MB, Schultz MJ. Benefits and risks of manual hyperinflation in intubated and mechanically ventilated intensive care unit patients: a systematic review. Crit Care Lond Engl. 2012;16(4):R145.
11. Ambrosino N, Venturelli E, Vagheggini G, Clini E. Rehabilitation, weaning and physical therapy strategies in chronic critically ill patients. Eur Respir J. 2012;39(2):487–92.
12. Handelsman H. Intermittent positive pressure breathing (IPPB) therapy. Health Technol Assess Rep. 1991;(1):1–9.
13. Leelarungrayub D, Pothongsunun P, Yankai A, Pratanaphon S. Acute clinical benefits of chest wall-stretching exercise on expired tidal volume, dyspnea and chest expansion in a patient with chronic obstructive pulmonary disease: a single case study. J Bodyw Mov Ther. 2009;13(4):338–43.
14. Venturelli E, Crisafulli E, Antoni F, Trianni L, Clini E. Rehabilitation in critically ILL patients. Ann Respir Med. 2011;1–7.

15. Thomas AJ. Physiotherapy led early rehabilitation of the patient with critical illness. Phys Ther Rev. 2011;16(1):46–57.
16. Burtin C, Clerckx B, Robbeets C, Ferdinande P, Langer D, Troosters T, et al. Early exercise in critically ill patients enhances short-term functional recovery. Crit Care Med. 2009;37(9): 2499–505.
17. Amidei C, Sole ML. Physiological responses to passive exercise in adults receiving mechanical ventilation. Am J Crit Care. 2013; 22(4):337–48.
18. Freitas ERFS de, Bersi RS da S, Kuromoto MY, Slembarski S de C, Sato APA, Carvalho MQ. Effects of passive mobilization on acute hemodynamic responses in mechanically ventilated patients. Rev Bras Ter Intensiva. 2012;24(1):72–8.
19. Leelarungrayub D. Chest Mobilization Techniques for Improving Ventilation and Gas Exchange in Chronic Lung Disease. In: Ong K, editor. Chronic Obstructive Pulmonary Disease - Current Concepts and Practice. Croatia: InTech; 2012. p. 399–422.
20. Park S-J, Kim S-H, Min K-O. The immediate effects of rib cage joint mobilization and chest wall stretch on muscle tone and stiffness of respiratory muscles and chest expansion ability in patients with chronic stroke. J Phys Ther Sci. 2017;29(11):1960–3.
21. Carlucci A, Ceriana P, Prinianakis G, Fanfulla F, Colombo R, Nava S. Determinants of weaning success in patients with prolonged mechanical ventilation. Crit Care Lond Engl. 2009;13(3):R97.
22. Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. Eur Respir J. 2007; 29(5):1033–56.
23. Chanduykit T, Patthong W, Sirikul S. The result of assessment risk of death and outcome of TBI patients in surgery and trauma intensive care unit, Nopparat Rajathanee Hospital. RTA Med J. 2009;62(3):123–30.
24. Rosner B. Fundamentals of biostatistics. 5th ed. Duxbery: Thomson learning; 2000. 307 p.
25. Ngamjarus C, Chongsuvivatwong V. n4Studies: Sample size and power calculations for iOS. The Royal Golden Jubilee Ph.D. Program- The Thailand Research Fund&Prince of Songkla University; 2014.
26. Ashtankar A, Kazi A. Comparative Effect of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF) and Chest Physiotherapy with Chest Physiotherapy alone on SP02, Heart Rate, Respiratory Rate, & Lung Compliance in Mechanically Ventilated Patient. J Pharm Sci Res. 2019;11(10):3514–8.
27. Chang DW. Respiratory Care Calculations. USA: Delmar Publisher Inc; 1994. 22–23 p.
28. Frownfelter D. Chest Physical Therapy and Pulmonary Rehabilitation. 2nd ed. Chicago: Year book medical publisher; 1987.
29. Vassilakopoulos T, Zakynthinos S, Roussos C. Respiratory muscles and weaning failure. Eur Respir J. 1996;9(11):2383–400.
30. Goldstone J. The pulmonary physician in critical care • 10: Difficult weaning. Thorax. 2002;57(11):986–91.

31. Ninon W. Respiratory Physiology. Songkhla: Department of Physiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University; 1996.
32. Thomas DC, Kreizman IJ, Melchiorre P, Ragnarsson KT. Rehabilitation of the patient with chronic critical illness. Crit Care Clin. 2002;18(3):695–715.
33. Needham DM. Mobilizing patients in the intensive care unit: improving neuromuscular weakness and physical function. JAMA. 2008;300(14):1685–90.
34. Akeson WH, Amiel D, Abel MF, Garfin SR, Woo SL. Effects of immobilization on joints. Clin Orthop. 1987;(219):28–37.
35. Flowers K, Michlovitz S. Assessment and management of loss of motion in orthopedic dysfunction. Postgrad Adv Phys Ther. 1988;1–12.
36. McDonald JW, Sadowsky C. Spinal-cord injury. Lancet Lond Engl. 2002;359(9304):417–25.
37. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, Zimmerman JE. APACHE II: a severity of disease classification system. Crit Care Med. 1985;13(10):818–29.
38. Wongrostrai Y, Panpakdee O, Monkong S. Clinical Nursing Practice Guideline for Successful Weaning from Mechanical Ventilation. Ramathibodi Nurs J. 2008;14(3): 347–64.
39. McDonald T, Stiller K. Inspiratory muscle training is feasible and safe for patients with acute spinal cord injury. J Spinal Cord Med. 2019;42(2):220–7.