J Med Biosci Vol. 4 No. 1 January - June 2022;25-35 DOI: 10.14456/jmbs.2022.XX

Review article

Physical therapy management for enhanced recovery in postoperative patients and prevention of pulmonary complications

Thitapa Issaragraisin*

**Department of Rehabilitation Medicine, King Chulalongkorn Memorial Hospital, The Thai Red Cross Society, Bangkok, Thailand*

Abstract

Postoperative pulmonary complications are common after cardiac, lung or abdominal surgery. Postoperative pulmonary complications such as atelectasis, pneumonia and respiratory failure are involved respiratory problems. Patients presented with abnormal breathing pattern, impaired gas exchange, airway obstruction, and decreased physical capacity caused by reduced lung volume, decreased lung expansion, reduced mucociliary clearance and impaired lung function. The objective of the study was to review physical therapy management and how to enhance recovery after cardiac, lung or abdominal surgery in postoperative patients. A systematic search using PubMed and Elsevier database was selected from 2016 to 2021. Studies suggest that physical therapy technique including deep breathing exercise, using incentive spirometry, enhancing sputum expectoration, range of motion exercises of thoracic and extremities, early mobilization, early ambulation are widely used in hospital. Furthermore, physical therapy program can effort clinically to increase lung expansion, lung function, prevent lung atelectasis and reduce the risk of other incidences of postoperative pulmonary complications, a shorter hospital length stays, decrease mortality rate and promote patient's recovery in postoperative patients.

Keywords: Physical therapy, postoperative pulmonary complications, enhanced recovery after surgery.

***Correspondence to**: **Thitapa Issaragraisin,** Department of Rehabilitation Medicine, King Chulalongkorn Memorial Hospital, The Thai Red Cross Society, Bangkok 10330, Thailand**.**
E-mail**:** thitapa**.**issa@gmail**.**com
Received: July 29, 2021
Revised: September 14, 2021
Accepted: October 15, 2021

บทฟื้นฟูวิชาการ

แนวทางการรักษาทางกายภาพบำบัดเพื่อฟื้นฟูสมรรถภาพปอดและป้องกันภาวะแทรกซ้อนในผู้ป่วยหลังการผ่าตัด

ฐิตาภา อิสรไกรศีล

งานกายภาพบำบัด ฝ่ายเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

บทคัดย่อ

ผู้ที่ได้รับการผ่าตัดหัวใจ ทรวงอก และช่องท้อง มักพบภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ ภาวะปอดแฟบ ปอดอักเสบ ระบบหายใจล้มเหลว ผู้ป่วยมักแสดงรูปแบบการหายใจที่ผิดปกติ การแลกเปลี่ยนก๊าซบกพร่อง ทางเดินหายใจอุดตัน และความสามารถในการทำกิจกรรมลดลง อันเป็นผลจากการที่ปริมาตรปอดลดลง ปอดขยายตัวลดลง ความสามารถในขจัดสารคัดหลั่งลดลง และสมรรถภาพปอดลดลง

วัตถุประสงค์ของบทฟื้นฟูวิชาการนี้เพื่อศึกษาแนวทางการรักษาทางกายภาพบำบัดทางคลินิกและการส่งเสริมโปรแกรมฟื้นฟูหลังจากผ่าตัดหัวใจ ทรวงอก และช่องท้องในผู้ป่วย โดยการรวบรวมการศึกษาจากแหล่งข้อมูล PubMed และ Elsevier ในระหว่างปีพ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2564 ได้ผลสรุปว่าแนวทางการรักษาทางกายภาพบำบัด ได้แก่ การฝึกหายใจ การฝึกบริหารปอดด้วยอุปกรณ์ฝึกหายใจ การขับเสมหะ การบริหารออกกำลังกล้ามเนื้อทรวงอก รยางค์แขนและขา และการส่งเสริมการเคลื่อนไหว ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย มีผลเพิ่มการขยายตัวของปอด ฟื้นฟูสมรรถภาพปอด ลดการเกิดภาวะปอดแฟบ และภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดที่อื่น ๆ ลดระยะเวลานอนโรงพยาบาล ลดอัตราการเสียชีวิต และทำให้ผู้ป่วยสามารถกลับมาทำกิจวัตรประจำวันได้

คำสำคัญ: การรักษาทางกายภาพบำบัด, ภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัด, การส่งเสริมการฟื้นฟูหลังผ่าตัด.

ภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ (postoperative pulmonary complications)

ภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดหัวใจ ทรวงอก และช่องท้องที่พบบ่อยที่สุด คือ ปอดขยายตัวได้น้อยลง (decreased lung expansion)[1 - 3] เกิดภาวะปอดแฟบ (atelectasis)[4 - 5] และปอดอักเสบ (pneumonia)[6] โดยสามารถพบภาวะภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ในผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดทรวงอก ร้อยละ 25 - 49[4, 7 - 8] ผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดช่องท้อง ร้อยละ 17 - 88[2] ผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดหัวใจ ทรวงอก และช่องท้อง มักมีรูปแบบการระบายอากาศ (ventilation pattern) เปลี่ยนแปลงไป ผู้ป่วยหายใจสั้น ตื้น (monotonous shallow breathing pattern) โดยที่ไม่สามารถหายใจเข้าหรือออกยาว ๆ ได้ อัตราการไหลของอากาศขณะหายใจออก (expiratory flow rates) ลดลง กระทบต่อการทำงานของระบบหายใจในภาวะปกติ กลไกการนำออกซิเจนเปลี่ยนแปลง (oxygenation) การแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ความสามารถในการผ่อนตามของปอดลดลง (lung compliance) ปริมาตรปอด (lung volume) และความจุปอด (lung capacity) ลดลง กล้ามเนื้อหายใจทำงาน (respiratory muscle function) ลดลง[3] กระบังลมทำงานผิดปกติไป (diaphragm dysfunction)[2, 4, 9 - 10] กลไกป้องกันตัวเองของทางเดินหายใจ (pulmonary defense mechanism) ลดลง และความสามารถขจัดสารคัดหลั่ง (mucociliary clearance) ลดลง [3, 10] ความสามารถในการไออย่างมีประสิทธิภาพจึงลดลงด้วยเช่นกัน ส่งผลให้เกิดภาวะปอดแฟบ (atelectasis)[4, 10] อีกทั้งการคั่งค้างของเสมหะยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดปอดอักเสบ[11] ในการศึกษาก่อนหน้านี้สามารถตรวจสอบสมรรถภาพปอดได้จากการตรวจการทำงานของปอด (pulmonary function testing) โดยการประเมินค่า forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in first second (FEV1), peak expiratory flow rate (PEFR)[2, 12] และพบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 20 ถึง 30 ภายหลังผ่าตัด 1 - 2 วัน เมื่อเทียบกับก่อนผ่าตัด[2, 12 - 13] การหดตัวของกระบังลม (diaphragm excursion) และรวมไปถึงค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (pulse oximetry oxygen saturation)[3] ที่มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งค่าที่ลดลงเหล่านี้ แสดงให้เห็นถึงสมรรถภาพปอดที่ลดลง และส่งผลให้ความสามารถในการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยลดลงด้วย ซึ่งประเมินได้จากการทำ six-minute walk test [2, 6, 13] นอกจากนี้ขณะให้การรักษาข้างเตียง ยังสามารถใช้ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในหลอดเลือดแดง (arterial blood gas) การฟังเสียงปอด (chest wall auscultation) และภาพรังสีวินิจฉัย (radiographic imaging) เป็นตัวประเมินประสิทธิผลของการรักษาด้วยเทคนิคที่ช่วยขยายปอดได้ด้วย[1, 14]

จากการศึกษาของ Alaparthi GK. และคณะ[12] พบว่าการที่กล้ามเนื้อหายใจทำงานลดลง โดยเฉพาะกระบังลมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้การทำงานของปอดลดลง กระบังลมทำงานบกพร่อง (diaphragm dysfunction) ส่งผลต่อการยับยั้งการทำงานของเส้นประสาทฟรีนิก (phrenic nerve) รูปแบบการหายใจสั้น ตื้น และการระบายอากาศลดลง ซึ่งปัญหาจากอาการปวด อาจเป็นอาการปวดเฉพาะตำแหน่งที่ได้รับการผ่าตัด เช่น บริเวณที่ได้รับบาดเจ็บใกล้กับกระบังลมและผนังทรวงอก หรือซี่โครง ส่งผลให้เกิดรีเฟล็กซ์ที่ยับยั้งการทำงานของเส้นประสาทฟรีนิก (phrenic nerve) และรีเฟล็กซ์กระบังลมอ่อนแรง รบกวนการทำงานของกล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจดังกล่าวได้ ประกอบกับการที่ผู้ป่วยนอนนิ่งเป็นระยะเวลายาวในช่วงหลังการผ่าตัด ไม่มีการเคลื่อนไหวของอวัยวะต่าง ๆ ภายในช่องท้อง ก็เป็นตัวจำกัดการหดตัวของกระบังลมเช่นกัน[9, 12, 14] หรือการได้รับยาระงับความปวด ก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้สมรรถภาพปอดลดลงเช่นกัน[2, 6 – 7, 10, 12, 15] โดยทั่วไปผลของยาระงับความปวดส่งผลให้การทำงานของผนังทรวงอก และกลไกการทำงานของปอดไม่ประสานสัมพันธ์กัน เกิดพื้นที่ที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านเยื่อหุ้มถุงลมในทางเดินหายใจ (dead space) เพิ่มขึ้น เกิดภาวะพร่องออกซิเจนในเลือด (hypoxemia) ยาระงับความปวดประเภทโอปิออยด์ (opioid) จะส่งผลต่อการควบคุมการหายใจส่วนกลาง รบกวนการส่งกระแสประสาทต่อการทำงานของทรวงอกส่วนบน และกล้ามเนื้อทรวงอก ก่อให้เกิดภาวะ hypoventilation[2] รบกวนศูนย์ระบบหายใจในการตอบสนองต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และหายใจสั้น ตื้น มีภาวะหอบเหนื่อย (dyspnea)[13, 16] กดการทำงานของรีเฟล็กซ์การไอ และทำให้การผลิตสารคัดหลั่งผิดปกติ[11 - 12] จากเหตุที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจได้ ดังนี้

1. Compression atelectasis เกิดขึ้นจากการมีรอยโรคอยู่ภายในทรวงอก (intrapulmonary และ/หรือ intrapleural) ซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงดันกดเบียดเนื้อปอดส่วนที่อยู่ข้างเคียง

ให้แฟบลง ขั้นตอนการผ่าตัด ผลตกค้างจากยาระงับความปวด อาการปวด บริเวณที่ได้รับการผ่าตัด ระยะเวลาที่เข้ารับการผ่าตัด ระยะเวลานอนพัก และการหายใจสั้น ตื้น ล้วนแต่เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดภาวะปอดแฟบ[1-2,6] เมื่อความสามารถในการผ่อนตามของปอดลดลง ปริมาตรอากาศที่ยังเหลือตกค้างอยู่ในปอดหลังจากหายใจออกตามปกติลดลง ทำให้ปริมาตรปอดลดลง และต้องการแรงดันที่เพิ่มขึ้น เพื่อขยายถุงลมในแต่ละครั้งของการหายใจเข้า ซึ่งภาวะปอดแฟบเป็นปัญหาที่พบได้ร้อยละ 80 ถึง 90 ของผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด [3, 5] โดยเฉพาะในช่วง 2 ถึง 3 วันแรกหลังผ่าตัด[1] และส่งผลให้เพิ่มระยะเวลาเข้าพักรักษาตัวในหอผู้ป่วยวิกฤต เพิ่มระยะเวลานอนโรงพยาบาล เพิ่มโอกาสเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลอีกครั้ง (readmission) และเพิ่มอัตราการเสียชีวิต (mortality rate)[1, 5-6, 17]

2. ภาวะติดเชื้อ (infections) [3, 5-6, 14-15, 17, 19] การสูญเสียปริมาตรปอดในภาวะปอดแฟบ โดยยังคงปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าและออกในแต่ละครั้งสำหรับการหายใจปกติไว้ทั้งหมด สามารถนำไปสู่การบาดเจ็บที่ปอดแบบเฉียบพลัน (acute lung injury) เมื่อมีการเปิดปิดของถุงลมซ้ำไปซ้ำมา (atelectrauma) ในแต่ละครั้งของการหายใจ (respiratory cycle) ทำให้สารชักนำการอักเสบ (inflammatory mediators) ถูกกระตุ้น จึงเกิดภาวะติดเชื้อ เช่น ปอดอักเสบ (pneumonia) หนองในช่องเยื่อหุ้มปอด (empyema) เยื่อหุ้มปอดอักเสบ (pleural effusion) หลอดลมอักเสบ (bronchitis)

3. โรคลิ่มเลือดอุดกั้นในปอด (pulmonary embolism) [5] ภาวะพร่องออกซิเจนในเลือด จากภาวะปอดแฟบ ทำให้แรงเสียดทานของหลอดเลือดในปอดเพิ่มขึ้น (pulmonary vascular resistance) ซึ่งอาจส่งผลให้หัวใจห้องล่างขวาทำงานผิดปกติ (right ventricular dysfunction) เกิดลิ่มเลือดมาอุดกั้นที่หลอดเลือดในปอดได้

4. หลอดลมหดเกร็งเฉียบพลัน (acute bronchospasm) [5]

5. เสมหะคั่งค้าง (retention of bronchial secretions) จากการที่มีความบกพร่องของการทำงานของ mucociliary ในการขจัดเสมหะ[2] ความสามารถในการไอลดลง เกิดการคั่งค้างของเสมหะ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ต้องมีการใส่ท่อช่วยหายใจ[16]

6. ระบบทางเดินหายใจล้มเหลว (respiratory failure) เช่น ภาวะ acute respiratory distress syndrome (ARDS)[1, 3, 11, 17, 19, 22]

ภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดที่ไม่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจ[5-6, 18] ได้แก่

1. ภาวะติดเตียง (bed rest syndrome) เช่น ข้อต่อยึดติด (stiffness/joint blocks) กล้ามเนื้อหดสั้นหรือกล้ามเนื้อหดเกร็ง (shortening/retraction) เกิดแผลกดทับ (decubitus wounds)

2. เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system alterations) เช่น ภาวะโคม่า (coma) อัมพาตครึ่งซีกหรืออ่อนแรงครึ่งซีก (hemiplegia/paresis) อัมพาตครึ่งท่อน (paraplegia) อัมพาตทั้งตัว (tetraplegia)

3. เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทส่วนปลาย (peripheral nervous system alterations) เช่น เกิดการกดทับหรือยืดเหยียดที่บริเวณเส้นประสาทส่วนปลาย

แนวทางการรักษาทางกายภาพบำบัดเพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัด (physical therapy program for prevent postoperative pulmonary complications)

จากการทบทวนวรรณกรรม การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา และอ้างอิงจาก The American Association for Respiratory Care (AARC)[11, 15, 17], European Society of Respiratory Society, European Society of Thoracic Surgeons และ The American College of Chest Physicians[6] พบว่าเป้าหมายหลักที่สำคัญของการรักษาและฟื้นฟูผู้ป่วยหลังผ่าตัด[1-2, 6, 9, 11-12, 14, 17, 23-24] มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนหลังผ่าตัด ด้วยการฝึกออกกำลังกาย ซึ่งมุ่งเน้น 1) เพิ่มการขยายตัวของปอด (lung expansion)[1] ประกอบด้วย การฝึกหายใจเข้าลึกโดยใช้กระบังลม (diaphragmatic breathing exercise) การใช้อุปกรณ์ฝึกหายใจ (respiratory devices) ร่วมกับเทคนิคการขับเสมหะ 2) การขับเสมหะ (airway clearance technique) และ 3) การส่งเสริมการเคลื่อนไหว (early mobilization) ด้วยโปรแกรมการรักษาทางกายภาพบำบัด ซึ่งสามารถป้องกันหรือลดภาวะแทรกซ้อนหลังผ่าตัด และลดอัตราการเสียชีวิตได้ [6, 18]

1. เพิ่มการขยายตัวของปอด

1.1 การฝึกหายใจเข้าลึกโดยใช้กระบังลม (diaphragmatic breathing exercise)

การฝึกหายใจเข้าลึกโดยใช้กระบังลม เป็นการส่งเสริมการหดตัวของกระบังลม ในขณะที่หายใจเข้า และ

คลายตัวของกระบังลมในขณะที่หายใจออก อากาศกระจายไปทั่วทั้งปอด โดยเฉพาะปอดส่วนล่าง (basal lung segments)[12] เกิดการขยายตัวของถุงลม (alveolar inflation) แก้ไขภาวะพร่องออกซิเจนในเลือด (hypoxemia)[2] ส่งเสริมการระบายอากาศ การนำออกซิเจน ลดงานที่ใช้ในการหายใจ และเพิ่มความสามารถในการหดตัวของกระบังลม[1, 14, 25] จึงควรเริ่มฝึกหายใจเข้าลึกโดยใช้กระบังลมโดยเร็วที่สุดและถูกวิธี จะช่วยลดโอกาสเกิดปอดแฟบ หรือหยุดการเกิดปอดแฟบในภาวะที่รุนแรงขึ้น ซึ่งในภาวะรุนแรงนั้น ปอดที่แฟบไปจะสูญเสียความสามารถในการผ่อนตามและการตอบสนองต่อการฝึกหายใจได้น้อยลง[3, 14]

วิธีการฝึก คือ ให้ผู้ป่วยนั่งในลักษณะกึ่งนั่งกึ่งนอน หลังและศีรษะมีที่พิง เอน 45 องศา และผ่อนคลายกล้ามเนื้อท้อง โดยอาจใช้หมอนรองใต้บริเวณข้อพับเข่า ฝึกหายใจใช้กระบังลม โดยนักกายภาพบำบัด หรือผู้ป่วยวางมือบริเวณใต้ชายโครง บนกล้ามเนื้อท้อง ขณะผู้ป่วยพยายามหายใจเข้าลึก และช้าผ่านจมูก[12] คงค้างการหายใจเข้าค้างไว้ 3 วินาที ซึ่งเป็นการหายใจด้วยปริมาตรอากาศที่ยังเหลือตกค้างอยู่ในปอดหลังจากหายใจออกตามปกติ (functional residual capacity) ของปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ปอดจุได้เต็มที่ หลังจากหายใจเข้าเต็มที่ (total lung capacity)[6, 18] แนะนำให้ผู้ป่วยผ่อนคลายบริเวณหัวไหล่ เลี่ยงการใช้กล้ามเนื้อบริเวณทรวงอกส่วนบน และหายใจออกช้า ๆ ผ่านปาก ฝึกบริหาร 5 ครั้ง 3 ชุด ในทุกชั่วโมงที่ตื่น[4, 12 - 13]

1.2 การฝึกบริหารปอดด้วยอุปกรณ์ฝึกหายใจ (respiratory devices)

โปรแกรมทางกายภาพบำบัด ในผู้ป่วยหลังผ่าตัด โดยเฉพาะผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดหัวใจ ทรวงอก หรือช่องท้อง มักใช้อุปกรณ์การฝึกหายใจ[2 – 3, 10, 14 – 16, 26 - 27] โดยแบ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับการฝึกหายใจเข้า (incentive spirometry) และอุปกรณ์สำหรับการฝึกหายใจออก (positive expiratory pressure-mask)[1, 6, 15] นอกเหนือจากการใช้วิธีการทางกายภาพบำบัดตามแบบแผนทั่วไป (conventional physical therapy) เพื่อส่งเสริมให้ผู้ป่วยหายใจเข้าลึก และคงค้างการหายใจเข้า (sustained maximal inspiration)[2, 11, 16, 22, 25, 28 - 29] เลียนแบบการถอนหายใจโดยธรรมชาติ มีประสิทธิผลป้องกันและฟื้นฟูภาวะปอดแฟบ[14] และให้ผลสะท้อนกลับทางสายตา (visual feedback)[16 - 17, 22, 28 - 30] หากสามารถทำสำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งการฝึกใช้อุปกรณ์สำหรับการฝึกหายใจเข้าอย่างต่อเนื่อง ลดการเกิดความไม่สมดุลของอากาศที่เข้าไปในถุงลมและเลือดผ่านปอด (ventilation/perfusion mismatch) ช่วยเพิ่ม transpulmonary pressure เป็นเวลาหลายวินาที จนกระทั่งถึงจุดที่ถุงลมขยายตัว[5, 16 - 18] ช่วยรักษาความสามารถในการหายใจออกของทางเดินหายใจ (airway patency) ที่เสี่ยงต่อการปิด ขจัดสารคัดหลั่งของทางเดินหายใจที่สะสมอยู่ออกได้[2, 14] และเพิ่มปริมาตรปอด (lung volume)[10] ซึ่งอุปกรณ์สำหรับฝึกหายใจนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทางคลินิก[5, 16] ช่วยลดอัตราการเกิดปอดอักเสบหลังการผ่าตัด[2] และการใส่ท่อช่วยหายใจโดยที่ไม่ได้วางแผนไว้[15, 27] ส่งเสริมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ ส่งเสริมให้ปอดขยายตัวเพิ่มขึ้น[2, 15, 20]

อุปกรณ์ฝึกหายใจเข้า แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดป้อนกลับขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ (flow Incentive spirometry) และชนิดป้อนกลับขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศ (volumetric Incentive spirometry) (รูปที่ 1 A, B) โดยชนิดป้อนกลับขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ จะประกอบไปด้วย ช่อง 3 ช่อง และลูกบอลลอย 3 ลูก เชื่อมต่อกับท่อที่มีความยืดหยุ่น และ mouthpiece ผู้ป่วยสูดลมหายใจเข้าผ่าน mouthpiece ให้ลูกบอลลอยสูงขึ้น จากการที่เกิดแรงดันลบขึ้นภายในช่องอก โดยเมื่อสูดหายใจเข้าผ่านอุปกรณ์ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 600 มิลลิลิตรต่อวินาทีลูกบอลลูกแรกลอยขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นถึง 900 มิลลิลิตรต่อวินาทีลูกบอลลูกที่สองลอยขึ้น และเมื่อสูดหายใจเร็วขึ้นด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1,200 มิลลิลิตรต่อวินาทีลูกบอลลูกที่สามจะลอยขึ้นตามลำดับ ส่วนชนิดป้อนกลับขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศ ตัวอุปกรณ์เชื่อมต่อกับท่อที่มีความยืดหยุ่น และเป็นวาล์วเปิดทางเดียว (one way valve) ต่อเข้ากับ mouthpiece ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้ป่วยใช้สูดลมหายใจเข้าเช่นกัน โดยสามารถสังเกตค่าปริมาตรอากาศได้จากความสูงของลูกสูบที่ถูกทำให้ลอยสูงขึ้น ซึ่งมีความจุสูงสุดที่ปริมาตร 2,500, 4,000, 5,000 มิลลิลิตร แตกต่างกันไป อุปกรณ์การฝึกหายใจเข้ายังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ง่าย นักกายภาพบำบัดแนะนำให้เริ่มบริหารภายใน 24 ชั่วโมงหลังผ่าตัด[1] ไปจนถึง 72 ชั่วโมงหลังผ่าตัด[16, 21] หรือเริ่มภายใน 4 ชั่วโมงแรกหลังถอดท่อช่วยหายใจออก[16] แนะนำให้ผู้ป่วยนั่งในลักษณะกึ่งนั่งกึ่งนอน หลังและศีรษะมีที่พิง เอนอย่างน้อย 45 องศา โดยอาจใช้หมอนรองใต้บริเวณข้อพับเข่า หายใจออกปกติ แล้วอม mouthpiece ให้สนิท สูดหายใจเข้าให้ลึกและยาวจนลูกบอล

หรือลูกสูบลอยสูงขึ้น พยายามสูดค้างลูกบอล อย่างน้อย 3 วินาที หรือควบคุมความเร็วของการไหลของอากาศขณะหายใจเข้าให้คุณภาพการไหลของอากาศอยู่ที่ Good Better Best ซึ่งแสดงเครื่องหมายการหายใจที่ดี ดีขึ้น และดีที่สุดตามลำดับ[18] ทำซ้ำ อย่างน้อย 10 ครั้งต่อชุด ทุกชั่วโมงที่ตื่น[13] โดยมีเป้าหมายให้ถึง 100 ครั้งต่อวัน[10] (รูปที่ 2)

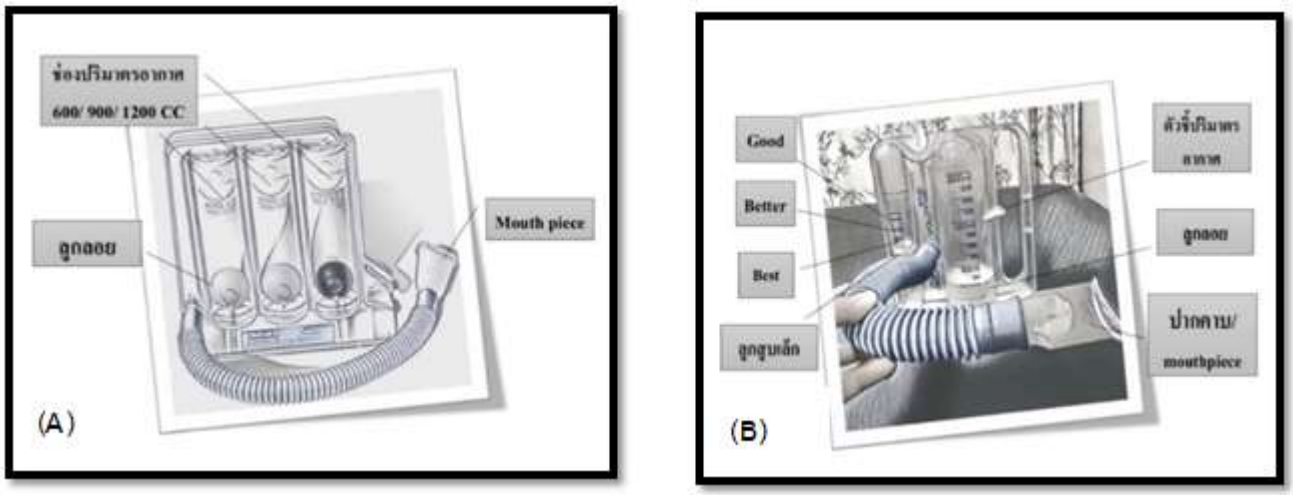
จากการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้อุปกรณ์ฝึกหายใจเข้าทั้งสองกลุ่ม พบว่าในกลุ่มชนิดป้อนกลับขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ ส่งผลให้ใช้งานในการหายใจเพิ่มขึ้น และเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อในส่วนของทรวงอกด้านบนมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกลุ่มชนิดป้อนกลับขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศ ใช้งานในการหายใจ (work of breathing) น้อยกว่า และเพิ่มการทำงานของกระบังลม[2, 12, 16] ดังนั้นในทางคลินิกจึงแนะนำให้เลือกใช้อุปกรณ์ฝึกหายใจเข้า ชนิดป้อนกลับขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศมากกว่ากลุ่มชนิดป้อนกลับขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ [2, 12, 16, 25] อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้อุปกรณ์ฝึกหายใจเข้าเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัด หรือทดแทนบทบาทของนักกายภาพบำบัดได้ จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคอื่นทางกายภาพบำบัดร่วมด้วย[6, 10, 14 - 16]

2. **การขับเสมหะ** (airway clearance technique)

ปัญหาเรื่องการคั่งค้างของสารคัดหลั่งภายในท่อทางเดินหายใจ และการไออย่างไม่มีประสิทธิภาพเป็นปัญหาสำคัญของผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดหัวใจ ทรวงอก และช่องท้อง[7, 11, 17] ซึ่งเป็นผลจากยาระงับความปวด ทำให้กลไกกำจัดสารคัดหลั่งภายในระบบทางเดินหายใจทำงานลดลง การทำงานของปอดบกพร่อง และเกิดการคั่งค้างของสารคัดหลั่ง และเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะ hypoventilation ที่ทำให้ต้องใช้แรงในการหายใจเพิ่มขึ้น[7] การขับเสมหะจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีสำคัญที่ช่วยป้องกันภาวะแทรกซ้อนที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจได้[6] ซึ่งวิธีการทางกายภาพบำบัดสามารถแยกออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

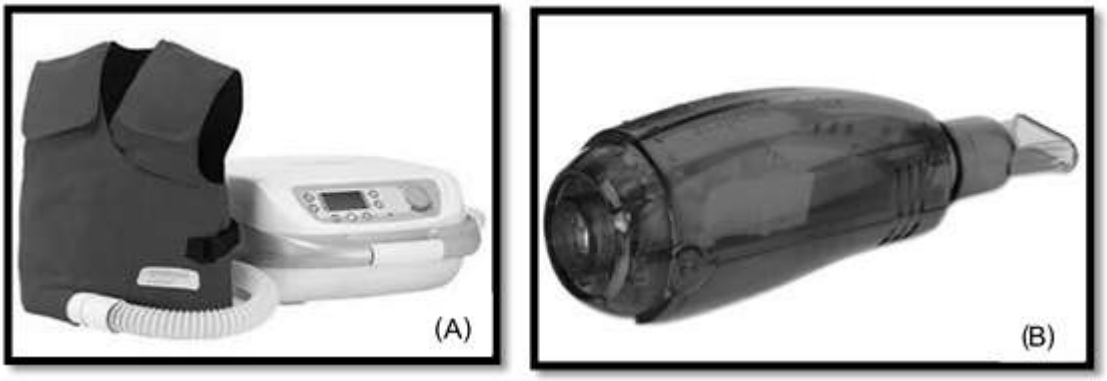
2.1 การรักษาด้วยเทคนิคแบบ passive[11] โดยนักกายภาพบำบัดให้แรงเคาะ (percussion) แรงสั่น (vibration) หรือแรงเขย่า (shaking) เพื่อช่วยกำจัดสารคัดหลั่งภายในระบบทางเดินหายใจ ส่งเสริมการกำจัดอากาศ (air removal)

2.2 การรักษาด้วยเทคนิคแบบ passive with device[11] เช่น เครื่องร่อนระบายเสมหะความถี่สูงที่ทำงานด้วยระบบการสั่นตัวของอากาศ (high frequency chest wall oscillation) (รูปที่ 3)



รูปที่ 1. **(A)** อุปกรณ์ฝึกหายใจเข้า โดยการป้อนกลับขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ (incentive spirometry ชนิด flow orientation) **(B)** อุปกรณ์ฝึกหายใจเข้า โดยการป้อนกลับขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศ (incentive spirometry ชนิด volume orientation)

รูปที่ 2. แสดงวิธีการใช้อุปกรณ์สำหรับการฝึกหายใจเข้า



รูปที่ 3. (A) แสดงเครื่องร่อนระบายเสมหะความถี่สูงที่ทำงานด้วยระบบการสั่นตัวของอากาศ (B) แสดง Acapella

2.3 การรักษาด้วยเทคนิคแบบ active ได้แก่ 1) การฝึกถอนหายใจแรง (huffing) ฝึกไอ (coughing) ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารคัดหลั่งภายในระบบทางเดินหายใจ การไอที่มีประสิทธิภาพ คือ การไอด้วยความเร็วสูง (high velocity) เพื่อให้ก๊าซถูกขับออก (expulsion of gas) และล้างสารคัดหลั่งในทางเดินหายใจออกมาประสิทธิภาพของการไอยังขึ้นอยู่กับกลไกการไอที่เหลืออยู่ และลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ รวมทั้งความสามารถในการขยายทางเดินหายใจ (airway caliber) ที่เพียงพอ ลักษณะของสารคัดหลั่ง ความเหนียว ปริมาณน้ำในสารคัดหลั่ง และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ[31] 2) การฝึกถอนหายใจแรงสลับกับการควบคุมอัตราและจังหวะการหายใจ (forced expiratory technique; FET)[6] ไว้เล็กน้อย แล้วถอนหายใจแรง หนึ่งหรือสองครั้ง 3) การฝึกหายใจแบบวงจร active cycle breathing technique (ACBT) และ self-efficacy-enhancing active cycle breathing exercise; SEE-ACBT[8] เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจากเทคนิค FET ประกอบไปด้วยการควบคุมการหายใจ (breathing control) การถอนหายใจแรง (huffing) การหายใจให้ทรวงอกขยาย (thoracic expansion exercises; TEE) และการฝึกถอนหายใจแรงสลับกับการควบคุมอัตราและจังหวะการหายใจ (FET) ความถี่ของการฝึก ACBT สามารถยืดหยุ่นได้ แต่ต้องรวมทุกส่วนของวงจรและสลับกันด้วยการควบคุมการหายใจ โดย SEE-ACBT นั้นในระหว่างฝึกผู้ฝึกจะได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ ได้รับเอกสารประกอบการฝึก ตั้งเป้าหมายร่วมกัน และบันทึกความก้าวหน้า โดยสามารถฝึกร่วมกันเป็นกลุ่ม เพื่อแบ่งปันประสบการณ์และเรียนรู้จากผู้ป่วยอื่นขณะใช้เทคนิคแบบ active นี้ผู้ป่วยสามารถใช้มืออีกด้านอ้อมไปเพื่อประกบ หรือประคองบริเวณแผลผ่าตัด หรือบริเวณสายระบายทรวงอก (chest tube) ในขณะที่จาม ถอนหายใจแรง หรือไอ[6, 23]

2.4 การรักษาด้วยเทคนิคแบบ active with devices เหมาะกับผู้ป่วยที่สามารถทำตามคำสั่ง และสื่อสารได้[5] ให้ผู้ป่วยฝึกด้วยอุปกรณ์ฝึกหายใจก่อแรงดันบวก ร่วมกับแรงสั่นขณะหายใจออก (oscillating positive expiratory pressure)[5] เช่น PEP-mask (positive expiratory pressure-mask) เป็นระบบวาล์วเปิดทางเดียวเชื่อมต่อกับหน้ากาก

พร้อมตัวต้านทานปรับระดับความดันขณะที่หายใจผ่านอุปกรณ์[21], PEP-bottle (positive expiratory pressure-bottle) เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับขวดน้ำ โดยปรับระดับความดันในทางเดินหายใจที่ระดับ 10 เซนติเมตรน้ำ หายใจเข้าลึกด้วยปริมาตรอากาศที่มากกว่าปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าและออกในแต่ละครั้ง สำหรับการหายใจปกติ (tidal volume) และหายใจออกช้า ๆ จำนวน 10 ครั้ง ทำซ้ำ 3 ชุด ระหว่างชุดพัก 1 นาที ทำซ้ำทุกชั่วโมงที่ตื่น[21, 23], acapella (รูปที่ 3) ช่วยให้เกิดแรงดันบวกภายในช่องท้อง และแรงสั่นสะเทือนขณะฝึกบริหารหายใจผ่านอุปกรณ์[6] ด้วยเทคนิคนี้ผู้ป่วยสามารถกระตุ้นการขับเสมหะด้วยตนเอง ร่วมกับการฝึกถอนหายใจแรง หรือไอ

จากการศึกษาพบว่าการใช้อุปกรณ์ฝึกหายใจก่อแรงดันบวกร่วมกับแรงสั่นขณะหายใจออกไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อแผลผ่าตัด และปลอดภัยกับผู้ป่วยเช่นเดียวกับการใช้แรงเคาะ แรงสั่น หรือแรงเขย่า[11]

3. การส่งเสริมการเคลื่อนไหว

ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด มักมีแนวโน้มเสี่ยงต่อการมีพฤติกรรมเนือยนิ่ง (sedentary behavior)[23] ซึ่งมีสาเหตุจากอาการปวดบริเวณแผลผ่าตัด ที่เป็นตัวยับยั้งการเคลื่อนไหวของผู้ป่วย โดยนักกายภาพบำบัดสามารถประเมินอาการปวดได้จากแบบประเมินระดับความรุนแรงของอาการปวด numeric rating scale ตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 10 โดยอธิบายให้ผู้ป่วยเข้าใจก่อนว่า 0 หมายถึง ไม่มีอาการปวด และ 10 หมายถึงอาการปวดมากที่สุด[14] และผู้ป่วยควรได้รับกระตุ้นการเคลื่อนไหวโดยเร็วที่สุด[3, 10] และเริ่มทันทีเมื่อไม่มีข้อห้าม ภายหลังจากได้รับการประเมินระดับความรุนแรงของอาการปวดด้วยแบบประเมินระดับความรุนแรงของอาการปวด numeric rating scale แล้ว มีค่าน้อยกว่า 3[14] หลังจากที่ผู้ป่วยฟื้นจากการผ่าตัดภายใน 4 ถึง 12 ชั่วโมงแรก[6] หรือในวันแรกหลังผ่าตัด[4, 10] และประเมินอาการหอบเหนื่อย (dyspnea) ได้จากแบบประเมินภาวะหายใจลำบาก modified medical research council dyspnea scale; mMRC[13, 22] มีเกณฑ์การให้คะแนน ตั้งแต่ 0 ถึง 4 โดยอธิบายให้ผู้ป่วยเข้าใจก่อนว่า 0 หมายถึง ไม่มีภาวะหายใจลำบาก และ 4 หมายถึง หายใจหอบเหนื่อยขณะอาบน้ำ หรือแต่งตัว จากการศึกษาพบว่าการกระตุ้นการเคลื่อนไหวให้เร็วที่สุดได้ประสิทธิผลดีกว่าการฝึกบริหารหายใจเพียงอย่างเดียว[2, 21] ผู้ให้การรักษาสามารถเริ่มจากการกระตุ้นทีละน้อย[2] เพื่อกระตุ้นการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด ส่งเสริมให้มีการนำออกซิเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย[6] ได้แก่ การไขปรับระดับหัวเตียงสูง กระตุ้นการเคลื่อนไหวตัวบนเตียง การบริหารออกกำลังกล้ามเนื้อทรวงอก รยางค์แขนและขา[3, 6, 12 - 13] (รูปที่ 4) ร่วมกับการฝึกบริหารหายใจเข้าลึก[13] ทำท่าละ 5 ครั้ง อย่างน้อย 2 ชุดต่อวัน[23] การลุกนั่งบนเตียงภายใน 3.5 ชั่วโมงแรกหลังฟื้นตัวจากการผ่าตัดเป็นระยะเวลา 30 นาที[6] การลุกนั่งข้างเตียง การยืน การเดินให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ระยะทางประมาณ 15 ถึง 200 เมตร[13] ต่อวัน หรือเดินเป็นระยะเวลามากกว่าเท่ากับ 20 นาที อย่างน้อย 3 เวลาต่อวัน[6] ร่วมกับการใช้เครื่องช่วยเดินแรงช่วย หรือไม่ใช้ก็ได้ และการขึ้นบันได ก่อนที่จะจำหน่ายออกจากโรงพยาบาล[6] ซึ่งมีส่วนช่วยในการลดอัตราการเกิดภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัด[16, 23] ลดระยะเวลานอนรักษาตัวในโรงพยาบาล และฟื้นฟูกิจกรรมทางกาย (physical activity)[23]

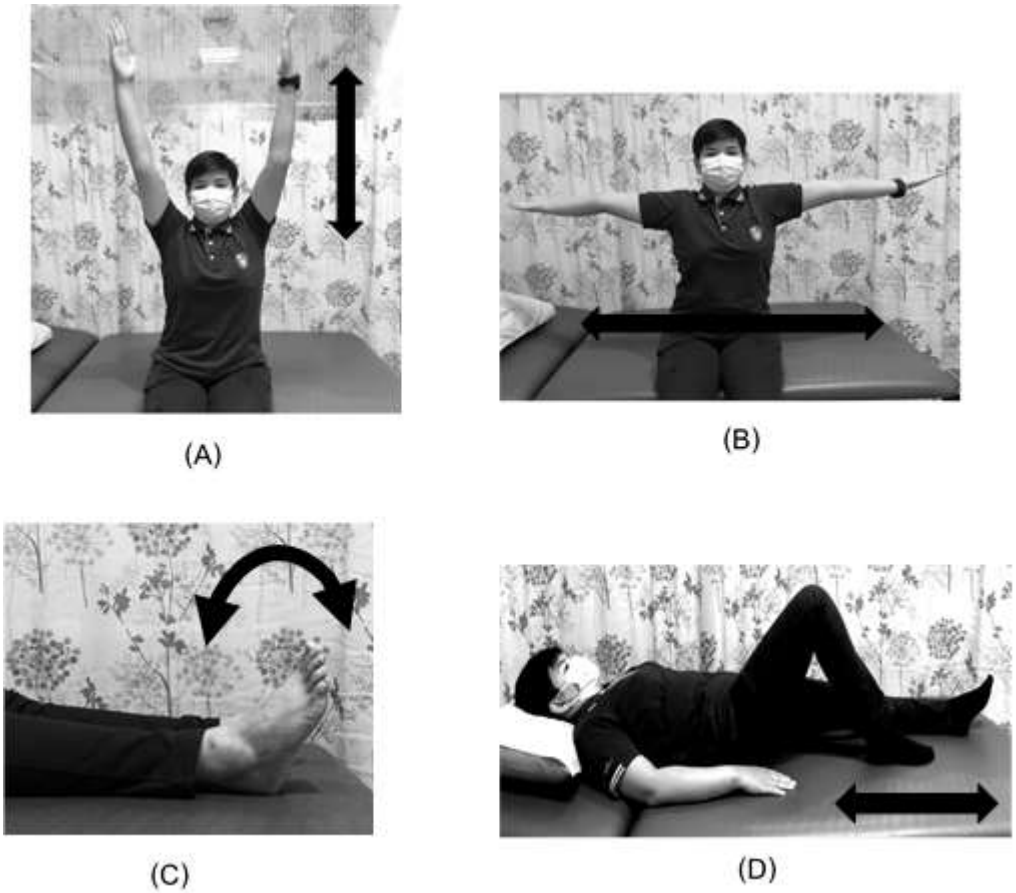
ข้อห้ามและข้อควรระวังในการทำกายภาพบำบัดในผู้ป่วยหลังผ่าตัด[3, 6, 17, 21]

1. ข้อห้าม

- ภาวะโพรงเยื่อหุ้มปอดมีอากาศ (active pneumothorax)
- ภาวะที่งานในการหายใจเพิ่มขึ้นมาก (inability to tolerate highest respiratory load) ได้แก่ หลอดลมตีบ (bronchoconstriction) เสมหะอุดกั้น (retained secretions) สูญเสียความสามารถในการผ่อนตามของปอด
- ความบกพร่องของระบบทางเดินหายใจรุนแรง (severe respiratory impairment)
- ภาวะหัวใจเต้นผิดปกติ (unaddressed atrial fibrillation)
- การไหลเวียนโลหิตไม่คงที่อย่างรุนแรง (severe hemodynamic instability)
- อยู่ในระหว่างฟอกเลือด (dialysis in progress)

2. ข้อควรระวัง

- การไหลเวียนโลหิตไม่คงที่ (hemodynamic instability)
- หอบหืดเฉียบพลัน (acute asthma)
- โรคลิ่มเลือดอุดกั้นในปอดเฉียบพลัน (acute pulmonary embolism)
- โรคหลอดเลือดโคโรนารีแบบไม่คงที่ อาการเจ็บแน่นหน้าอกแบบไม่คงที่ (unstable coronary artery disease, unstable angina)



รูปที่ 4. การบริหารออกกำลังกล้ามเนื้อทรวงอก และรยางค์แขนขา (A) ท่าที่ 1 ยกแขนขึ้นลง (shoulder flexion), (B) ท่าที่ 2 กางแขนขึ้นลง (horizontal shoulder abduction), (C) ท่าที่ 3 กระดกข้อ เท้าขึ้นลง (foot and ankle pumping), (D) ท่าที่ 4 งอ เหยียดสะโพก และเข่า (hip and knee exercises)

- โรคกรดไหลย้อน (gastroesophageal reflux)
- หลอดอาหารติดต่อหลอดลมคอ (tracheoesophageal fistula)
- คลื่นไส้ อาเจียน (nausea or vomiting)
- ภาวะความดันในกะโหลกศีรษะสูง (Intracranial pressure) มากกว่า 20 มิลลิเมตรปรอท

สรุป

ภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดเป็นภาวะที่สามารถเกิดขึ้นได้หลังการผ่าตัดหัวใจ ทรวงอก และช่องท้อง ซึ่งการรักษาทางกายภาพบำบัด และการส่งเสริมการฟื้นฟูเป็นแนวทางสำคัญในการช่วยป้องกันและลดภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัด ซึ่งประกอบไปด้วย การฝึกหายใจเข้าลึกโดยใช้กระบังลม การใช้อุปกรณ์ฝึกหายใจ ร่วมกับเทคนิคการขับเสมหะ การขับเสมหะ และการกระตุ้นการเคลื่อนไหวให้เร็วที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

บทฟื้นฟูวิชาการนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความขอบคุณอาจารย์แพทย์หญิงจิรภา แจ่มไพบูลย์ และอาจารย์แพทย์หญิงทิมภ์พร วิทูรพงศ์ แพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟู ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษา คุณจุฑาทิพย์ มีบุญ เจ้าหน้าที่เวชศาสตร์ฟื้นฟูผู้เป็นแบบประกอบผู้เขียนจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

1. Rowley DD, Malinowski TP, Di Peppe JL, Sharkey RM, Gochenour DU, Enfield KB. A randomized controlled trial comparing two lung expansion therapies after upper abdominal surgery. Respir Care 2019;64:1181-92.
2. Kumar S. Comparison of flow and volume incentive spirometry on pulmonary function and exercise

tolerance in open abdominal surgery – A randomized clinical trial. J Clin Diagn Res 2016;10:KC01-6.

3. Bilyy A, El-Nakhal T, Kadlec J, Bartosik W, Tornout FV, Kouritas V. Preoperative training education with incentive spirometry may reduce postoperative pulmonary complications. Asian Cardiovasc Thorac Ann 2020;28:592-7.
4. Malik PRA, Fahim C, Vernon J, Thomas P, Schieman C, Finley CJ, et al. Incentive spirometry after lung resection: A randomized controlled trial. Ann Thorac Surg 2018;106:340-5.
5. Eltorai AEM, Baird GL, Eltorai AS, Healey TT, Agarwal S, Ventetuolo CE, et al. Effect of an incentive spirometer patient reminder after coronary artery bypass grafting. JAMA Surg 2019;154:579-88.
6. Bertani A, Ferrari P, Terzo D, Russo E, Burgio G, De Monte L, et al. A comprehensive protocol for physiokinesis therapy and enhanced recovery after surgery in patients undergoing video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy. J Thorac Dis 2018;10(Suppl 4):S499-S511.
7. Pascoal LM, de Carvalho JPA, de Sousa VEC, Santos FDRP, Lima Neto PM, Nunes SFL, et al. Ineffective airway clearance in adult patients after thoracic and upper abdominal surgery. Appl Nurs Res 2016;31:24-8.
8. Yang M, Zhong J, Zhang J, Huang X, Li C, Hong Z, et al. Effect of the self-efficacy-enhancing active cycle of breathing technique on lung cancer patients with lung resection: A quasi-experimental trial. Eur J Oncol Nurs 2018;34:1-7.
9. Narayanan AL, Hamid SR, Supriyanto E. Evidence regarding patient compliance with incentive spirometry interventions after cardiac, thoracic and abdominal surgeries: A systematic literature review. Can J Respir Ther 2016;52:17-26.
10. Narayanan LT, Hamid SRGS. Incentive spirometry inspiratory capacity changes and predictors after open heart surgery: a 5-day prospective study. Med J Malaysia 2020 ;75:226-34.
11. Alam M, Hussain S, Shehzad MI, Mushtaq A, Rauf A, Ishaq S. Comparing the effect of incentive spirometry with acapella on blood gases in physiotherapy after coronary artery bypass graft. Cureus 2020;12:e6851
12. Alaparthi GK, Augustine AJ, Anand R, Mahale A. Comparison of diaphragmatic breathing exercise, volume and flow incentive spirometry, on diaphragm excursion and pulmonary function in patients undergoing laparoscopic surgery: A randomized controlled trial. Minim Invasive Surg 2016;2016: 1967532.
13. Jonsson M, Hurtig-Wennlöf A, Ahlsson A, Vidlund M, Cao Y, Westerdahl E. In-hospital physiotherapy improves physical activity level after lung cancer surgery: a randomized controlled trial. Physiotherapy 2019;105:434-41.
14. Sum SK, Peng YC, Yin SY, Huang PF, Wang YC, Chen TP, et al. Using an incentive spirometer reduces pulmonary complications in patients with traumatic rib fractures: a randomized controlled trial. Trials 2019;20:797.
15. Eltorai AEM, Baird GL, Eltorai AS, Pangborn J, Antoci V, Cullen HA, et al. Perspectives on incentive spirometry utility and patient protocols. Respir Care 2018;63:519-31.
16. Eltorai AEM, Szabo AL, Antoci V, Ventetuolo CE, Elias JA, Daniels AH, et al. Clinical effectiveness of incentive spirometry for the prevention of postoperative pulmonary complications. Respir Care 2018;63:347-52.
17. Liu CJ, Tsai WC, Chu CC, Muo CH, Chung WS. Is incentive spirometry beneficial for patients with lung cancer receiving video-assisted thoracic surgery? BMC Pulm Med 2019;19:121.
18. Mendes LPS, Teixeira LS, da Cruz LJ, Vieira DSR, Parreira VF. Sustained maximal inspiration has similar effects compared to incentive spirometers. Respir Physiol Neurobiol 2019;261:67-74.
19. Lumb AB. Pre-operative respiratory optimisation: an expert review. Anaesthesia 2019;74 Suppl 1:43-8.

20. Chen X, Hou L, Zhang Y, Liu X, Shao B, Yuan B, et al. The effects of five days of intensive preoperative inspiratory muscle training on postoperative complications and outcome in patients having cardiac surgery: a randomized controlled trial. Clin Rehabil 2019;33:913-22.
21. Pieczkoski SM, de Oliveira AL, Haeffner MP, Azambuja A de CM, Sbruzzi G. Positive expiratory pressure in postoperative cardiac patients in intensive care: A randomized controlled trial. Clin Rehabil 2021;35:681-91.
22. Pantel H, Hwang J, Brams D, Schnelldorfer T, Nepomnayshy D. Effect of incentive spirometry on postoperative hypoxemia and pulmonary complications after bariatric surgery: A randomized clinical trial. JAMA Surg 2017;152:422-8.
23. Jonsson M, Ahlsson A, Hurtig-Wennlöf A, Vidlund M, Cao Y, Westerdahl E. In-hospital physiotherapy and physical recovery 3 months after lung cancer surgery: A randomized controlled trial. Integr Cancer Ther 2019;18:1534735419876346.
24. Haines KL, Agarwal S. Postoperative pulmonary complications-a multifactorial outcome. JAMA Surg 2017;152:166-7.
25. Leelarungrayub J, Puntumetakul R, Sriboonreung T, Pothasak Y, Klaphajone J. Preliminary study: comparative effects of lung volume therapy between slow and fast deep-breathing techniques on pulmonary function, respiratory muscle strength, oxidative stress, cytokines, 6-minute walking distance, and quality of life in persons with COPD. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis 2018;13:3909-21.
26. Eltorai AEM, Baird GL, Pangborn J, Eltorai AS, Antoci Jr V, Paquette K, et al. Financial impact of incentive spirometry. Inquiry 2017;55:4695801879-4993.
27. Martin T, Patel S, Tran M, Eltorai AS, Daniels AH, Eltorai AEM. Patient factors associated with successful incentive spirometry. R I Med J (2013) 2018;101:14-8.
28. Dote H, Homma Y, Sakuraya M, Funakoshi H, Tanaka S, Atsumi T. Incentive spirometry to prevent pulmonary complications after chest trauma: a retrospective observational study. Acute Med Surg 2020;7:e619.
29. Eltorai AE, Martin TJ, Patel SA, Tran M, Eltorai AS, Daniels AH, et al. Visual obstruction of flow indicator increases inspiratory volumes in incentive spirometry. Respir Care 2019;64:590-4.
30. Eltorai AEM, Baird GL, Eltorai AS, Pangborn J, Antoci V, Cullen HA, et al. Incentive spirometry adherence: a national survey of provider perspectives. Respir Care 2018;63:532-7.
31. Li X, Li X, Zhang W, Liu Q, Gao Y, Chang R, et al. Factors and potential treatments of cough after pulmonary resection: A systematic review. Asian J Surg 2021;44:1029-36.