Incentive Spirometry and Deep Breathing Exercise for Improving Respiratory Volume in Preoperative Spine Surgery Patients

Watchara Sudachom*, Anchalee Kongsomchom*, Surin Thanapipatsiri, Hathairut Sappasuk*****

**Physical Therapy Unit, **Division of Spine Surgery, Department of Orthopaedic Surgery, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok, ***Department of Physical Therapy and Rehabilitation Medicine Prapokklao Hospital, Chanthaburi, Thailand*

Siriraj Medical Bulletin 2023;16(1):1-9

ABSTRACT

Objective: To investigate the effects of incentive spirometry and deep breathing exercises on forced vital capacity (FVC) and chest expansion in preoperative spine surgery patients.

Material & Methods: Fifty-eight patients who were scheduled for spine surgery were recruited from December 2016 to January 2019. Twenty-eight and 30 patients were scheduled for cervical and thoracic/lumbar spine surgery, respectively. All patients were informed of the study protocol, evaluated by a physical therapist, and provided with respiratory training via incentive spirometry and deep breathing exercises. FVC and chest expansion were measured and recorded prior to training, as well as two weeks and four weeks after respiratory training.

Results: In preoperative spine patients, FVC and chest expansion were significantly increased ($p<0.05$) after respiratory training with incentive spirometry and deep breathing exercises. The FVC in a seated position prior to respiratory training, after 2 weeks of training, and after 4 weeks of training is 2,277.9±599, 2,446.6±614.2, and 2,546.5±591.7 milliliters, respectively. The FVC in the supine position prior to respiratory training, after 2 weeks of training, and after 4 weeks of training is 2,080.2±589, 2,268.3±604.3, and 2,365.9±596.1 milliliters, respectively. Chest expansion in a seated position before respiratory training, after 2-week training, and after 4-week training is 4.2±1.3, 4.6±1.2 and 4.7±1.3 centimeters. Chest expansion in supine position before respiratory training, after 2-week training, and after 4-week training is 3.9±1.2, 4.5±1.3 and 4.5±1.2 centimeters respectively.

Conclusion: Preoperative respiratory training for 2 weeks and 4 weeks using incentive spirometry and conventional deep breathing exercises significantly increased both FVC and chest expansion in patients undergoing spine surgery.

Keywords: incentive spirometry; deep breathing exercise; respiratory volume; preoperative spine surgery patients

Correspondence to: Anchalee Kongsomchom
Email: anchaleekongsomchom@gmail.com
Received: 21 September 2022
Revised: 25 October 2022
Accepted: 21 November 2022
http://dx.doi.org/10.33192/smb.v16i1.259101

การฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ Incentive Spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกเพื่อเพิ่มปริมาตรการหายใจในผู้ป่วยก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลังส่วนคอ ส่วนอกและส่วนเอว

วัชระ สุดาชม*, อัญชลี คงสมชม*, สุรินทร์ ธนพิพัฒนศิริ, หทัยรัตน์ สรรพสุข*****

*สาขากายภาพบำบัด, **สาขาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิคส์โรคทางกระดูกสันหลัง ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิคส์และกายภาพบำบัด คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร, ***งานกายภาพบำบัด กลุ่มงานเวชกรรมฟื้นฟู โรงพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอก ต่อปริมาตรอากาศขณะหายใจออกสูงสุด (forced vital capacity, FVC) และการขยายตัวของทรวงอก (chest expansion) ในผู้ป่วยก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลังส่วนคอ ส่วนอกและส่วนเอว

วิธีการศึกษา: ผู้ป่วยโรคกระดูกสันหลังที่ได้รับนัดหมายเพื่อเข้ารับการผ่าตัดกระดูกสันหลังในช่วงเดือนธันวาคม 2559 ถึง เดือนมกราคม 2562 จำนวน 58 คน (ส่วนคอ 28 คน ส่วนอกและส่วนเอว 30 คน) ได้รับการยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนได้รับการตรวจประเมินจากนักกายภาพบำบัด โดยวัดและบันทึก FVC และ chest expansion ใน 3 ช่วงเวลา คือ ก่อนเริ่มฝึกการหายใจ ภายหลังการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 2 สัปดาห์ และภายหลังการฝึกการหายใจต่อเนื่อง 4 สัปดาห์ด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกก่อนเข้ารับการผ่าตัดกระดูกสันหลัง

ผลการศึกษา: FVC และ chest expansion ของอาสาสมัครจำนวน 58 คน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ภายหลังการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์ และภายหลังการฝึกต่อเนื่อง 4 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึกการหายใจ ทั้งในท่านั่งและท่านอนราบ พบว่า FVC ในท่านั่งก่อนการฝึกหายใจ ภายหลังการฝึกนาน 2 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 2,277.9±599.1, 2,446.6±614.2 และ 2,546.5±591.7 มิลลิลิตร FVC ในท่านอนราบก่อนการฝึกหายใจ ภายหลังการฝึกนาน 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 2,080.2±589.8, 2,268.3±604.3 และ 2,365.9±596.1 มิลลิลิตร ค่า chest expansion ในท่านั่งก่อนการฝึกหายใจ ภายหลังการฝึกนาน 2 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 4.2±1.3, 4.6±1.2 และ 4.7±1.3 เซนติเมตร ค่า chest expansion ในท่านอนราบก่อนการฝึกหายใจ ภายหลังการฝึกนาน 2 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 3.9±1.2, 4.5±1.3 และ 4.5±1.2 เซนติเมตร ตามลำดับ

สรุป: การฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกอย่างต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์ สามารถเพิ่ม FVC และ chest expansion ในผู้ป่วยก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลังได้

คำสำคัญ: Incentive spirometry; การฝึกหายใจอย่างมีประสิทธิภาพ; ปริมาตรการหายใจ; ผู้ป่วยก่อนผ่าตัดกระดูกสันหลัง

บทนำ

โรคทางกระดูกสันหลัง เป็นกลุ่มโรคทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่พบได้บ่อย จำนวนผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยวิธีการผ่าตัดกระดูกสันหลังมีแนวโน้มสูงขึ้น ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยวิธีการผ่าตัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งการผ่าตัดกระดูกสันหลังหลายระดับอาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดได้[1] เช่น ภาวะเสียเลือดมาก หลอดเลือดดำส่วนลึกอุดตัน แผลติดเชื้อ รากประสาทหรือไขสันหลังได้รับบาดเจ็บ เป็นต้น[2] ภาวะแทรกซ้อนทางระบบการหายใจ (pulmonary complication) เป็นภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดที่พบได้บ่อยและเป็นอันตรายต่อชีวิต[3] ภาวะแทรกซ้อนทางระบบการหายใจภายหลังการผ่าตัดกระดูกสันหลังพบได้ถึงร้อยละ 2-5[4] โดยมีโอกาสเกิดภาวะปอดติดเชื้อ (pneumonia) ได้ถึงร้อย

ละ 13[4] ภาวะแทรกซ้อนทางระบบการหายใจอาจเกิดจากผู้ป่วยได้รับยาระงับความรู้สึกขณะผ่าตัดทำให้การทำงานของขนโบกพัด (cilia) ในทางเดินหายใจบกพร่อง เกิดการคั่งค้างของเสมหะ[5,6] หรือความเจ็บปวดจากแผลผ่าตัดโดยเฉพาะแผลผ่าตัดที่อยู่ใกล้ตำแหน่งทรวงอกและกระบังลม ทำให้ผู้ป่วยมีลักษณะการหายใจตื้นและเร็วขึ้น[31,32] ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้า และหายใจออกลดน้อยลง รวมทั้งผนังทรวงอกขยายตัวไม่เต็มที่ และยังทำให้ประสิทธิภาพการไอเพื่อขับเสมหะลดลงด้วย[7] เป็นสาเหตุให้เกิดถุงลมแฟบ (atelectasis) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ผู้ป่วยหลังการผ่าตัดหัวใจที่มีแผลผ่าตัดบริเวณทรวงอก มี FVC ลดลงร้อยละ 26.7 ในวันแรกหลังการผ่าตัด และค่อยๆเพิ่มขึ้นแต่ไม่ถึงระดับปกติภายในห้าวันหลังการผ่าตัด ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนทางระบบการหายใจ[36] ความเจ็บปวดจากแผลผ่าตัดนอกจากทำให้ปริมาตรการหายใจเข้าและหายใจออกลดน้อยลงแล้ว ยังทำให้ความสามารถในการเคลื่อนไหวและลุกจากเตียงได้ช้าลง[8]

ภาวะแทรกซ้อนหลังการผ่าตัดที่เกิดขึ้นดังกล่าว ส่งผลให้ระยะเวลาการพักรักษาตัวในโรงพยาบาลนานมากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการรักษาเพิ่มขึ้นและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยแย่ลง มีการรายงานว่าอายุและโรคร่วมเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อนทางระบบการหายใจ[10] เช่น โรคเบาหวาน ทำให้แผลหายช้า ปอดติดเชื้อง่าย เป็นต้น[11] ผู้ป่วยที่สูบบุหรี่มีความเสี่ยงของกระดูกไม่เชื่อมติดของข้อกระดูกสันหลัง (spinal fusion) และเกิดภาวะแทรกซ้อนทางระบบการหายใจได้มากกว่าผู้ป่วยที่ไม่สูบบุหรี่[12,13] เคยมีการรายงานว่าผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดเชื่อมข้อกระดูกสันหลังส่วนคอทางด้านหน้า (anterior cervical discectomy and fusion, ACDF) มีโอกาสเกิดภาวะทางเดินหายใจอุดกั้นหลังการผ่าตัดได้ถึงร้อยละ 6.1[14]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ผู้ป่วยที่ได้รับการเตรียมความพร้อมก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลัง มีความวิตกกังวลและความเจ็บปวดภายหลังการผ่าตัดลดลง ส่งผลดีต่อการฟื้นตัวอย่างเร็วหลังการผ่าตัด[15] ผู้ป่วยที่ได้รับการฟื้นฟูสภาพร่างกายก่อนการผ่าตัด (prehabilitation) เป็นเวลานาน 2 เดือน และได้รับการฟื้นฟูสภาพร่างกายโดยเร็วหลังการผ่าตัด (early rehabilitation) จะฟื้นตัวได้เร็วขึ้น ระยะเวลาของการนอนในโรงพยาบาลลดลงและมีความพึงพอใจต่อการรักษามากกว่ากลุ่มควบคุม[1] จากการศึกษาประสิทธิผลของการฝึกกล้ามเนื้อหายใจก่อนการผ่าตัด รวมทั้งการใช้ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจ (deep breathing exercise) ในผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดบริเวณต่าง ๆ เช่น ศีรษะ ช่องท้อง หัวใจและหลอดเลือด พบว่า กล้ามเนื้อหายใจแข็งแรงขึ้น vital capacity และ forced vital capacity (FVC) ดีขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหายใจ ลดการเกิดภาวะ atelectasis และ pneumonia[16-19] อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบรายงานการศึกษาในกลุ่มผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดกระดูกสันหลัง

คณะผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษานี้ในกลุ่มผู้ป่วยก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลัง เพื่อศึกษาผลของการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกต่อประสิทธิภาพการหายใจ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอก ต่อการเพิ่มปริมาตรอากาศขณะหายใจออกสูงสุด (forced vital capacity, FVC) และการขยายตัวของทรวงอก (chest expansion) ในผู้ป่วยก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลังระดับส่วนคอ ส่วนอกและส่วนเอว

วิธีการศึกษา

ผู้เข้าร่วมงานวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล เลขที่ 553/2559 (EC1) ผู้เข้าร่วมงานวิจัยเป็นผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ออร์โธปิดิกส์ว่าเป็นโรคทางกระดูกสันหลังและได้รับการนัดหมายให้รักษาด้วยวิธีการผ่าตัด จะได้รับคำอธิบายรายละเอียดของการศึกษานี้และลงนามยินยอมเพื่อเข้าร่วมงานวิจัยด้วยความสมัครใจก่อนเข้ารับการผ่าตัดอย่างน้อย 1 เดือน ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 – มกราคม พ.ศ. 2562 จำนวน 60 คน (กระดูกสันหลังส่วนคอ 30 คน กระดูกสันหลังส่วนอกและส่วนเอว 30 คน) ผู้ที่ไม่เข้าเกณฑ์การเข้าร่วมงานวิจัย คือ ผู้ป่วยที่เคยฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry มาก่อน ผู้ป่วยที่ไม่เข้าเกณฑ์ดังกล่าวและผู้ป่วยที่ไม่ประสงค์เข้าร่วมงานวิจัย จะยังคงได้รับคำแนะนำการเตรียมความพร้อมก่อนการผ่าตัดตามมาตรฐานการรักษาของโรงพยาบาล

วิธีการฝึก

ก่อนได้รับการฝึกการหายใจ นักกายภาพบำบัดบันทึก FVC และ chest expansion ของผู้ป่วยเพื่อเป็นฐานข้อมูลเริ่มต้น จากนั้นนักกายภาพบำบัดแนะนำวิธีการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry และการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกอย่างถูกวิธี และนัดหมายผู้ป่วยเพื่อมาบันทึก FVC และ chest expansion ภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์[33]

การฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry

การฝึกหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry (รุ่น Pulmo-gain บริษัท ฟาร์ ทริลเลียน จำกัด) ผู้ป่วยอยู่ในท่านั่งตัวตรงหรือนอนราบ ถืออุปกรณ์ incentive spirometry สูงระดับอก ให้ผู้ป่วยสูดลมหายใจเข้าทางปากลึก ๆ แรง ๆ ผ่านท่อต่อจากอุปกรณ์

พยายามให้ลูกบอลทั้งสามลูกลอยค้างไว้ 3-5 วินาที (ภาพ 1A) จากนั้นหายใจออกทางจมูก ปล่อยให้ลูกบอลตกลงที่เดิม ทำซ้ำ 10 ครั้ง วันละ 3 รอบ (เช้า เที่ยง เย็น)

การฝึกการหายใจโดยใช้กล้ามเนื้อทรวงอก (costal breathing exercise) ในท่านั่งตัวตรงหรือนอนราบ ผู้ป่วยวางมือทั้งสองข้างบริเวณชายโครง สูดลมหายใจเข้าลึก ๆ เต็มที่ทางจมูก จนรู้สึกได้ว่าชายโครงบานขยายออกทางด้านข้าง จากนั้นให้หายใจออกจนสุด จนรู้สึกได้ว่าชายโครงยุบลงกลับที่เดิม (ภาพ 1B) ทำซ้ำ 10 ครั้ง วันละ 3 รอบ (เช้า เที่ยง เย็น)

การฝึกการหายใจโดยใช้กล้ามเนื้อกระบังลม (diaphragmatic breathing exercise) ในท่านั่งตัวตรงหรือนอนราบ ผู้ป่วยวางมือทั้งสองข้างบริเวณลิ้นปี่ สูดลมหายใจเข้าลึก ๆ เต็มที่ทางจมูก จนรู้สึกได้ว่าท้องป่องดันมือขึ้น จากนั้นหายใจออกจนสุด จนรู้สึกได้ว่าท้องแฟบลง (ภาพ 1C) ทำซ้ำ 10 ครั้ง วันละ 3 รอบ (เช้า เที่ยง เย็น)

การวัดผลลัพธ์

คณะผู้วิจัยทำการวัด FVC และ chest expansion ภายหลังการฝึกการหายใจต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับ FVC และ chest expansion ก่อนการฝึกการหายใจ

การประเมินผู้ป่วยและการเก็บข้อมูล

ผู้ป่วยได้รับการประเมินร่างกายและบันทึกข้อมูลโดยนักกายภาพบำบัด ประกอบด้วย ข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วย (ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าดัชนีมวลกาย) โรคประจำตัว พฤติกรรมการสูบบุหรี่ ตำแหน่งของการผ่าตัดกระดูกสันหลัง วิธีการผ่าตัด FVC และ chest expansion

การวัด FVC ใน 2 อิริยาบถ คือ ผู้ป่วยอยู่ในท่านั่งตัวตรงและท่านอนราบ ใช้เครื่องวัดปริมาตรลมหายใจ (Model 00-295; Anesthesia Associates, Inc., San Marcos. CA, USA บริษัทอัลลายด์ เมดิคอล จำกัด) โดยให้ผู้ป่วยสูดลมหายใจเข้าทางจมูกเต็มที่ และหายใจออกทางปากอย่างเร็วและแรงจนหมด (ภาพ 2A) วัด FVC จากเครื่องวัด ทำซ้ำ 3 ครั้ง เลือกครั้งที่ได้ค่ามากที่สุด

การวัดค่า chest expansion ใน 2 อิริยาบถ คือ ผู้ป่วยอยู่ในท่านั่งตัวตรงและท่านอนราบ นักกายภาพบำบัดใช้สายวัดตัว วัดรอบทรวงอกตรงตำแหน่งของกระดูกลิ้นปี่ ขณะที่ผู้ป่วยหายใจเข้าเต็มที่และหายใจออกเต็มที่ (ภาพ 2B) ค่า chest expansion คือ ค่าความต่างของรอบทรวงอกขณะหายใจเข้าเต็มที่ และหายใจออกเต็มที่ วัดซ้ำ 3 ครั้ง เลือกครั้งที่มีค่าความต่างกันมากที่สุด

สถิติที่ใช้ในการศึกษา

1. สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ จะรายงานค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนตัวแปรไม่ต่อเนื่อง จะรายงานในรูปตารางแจกแจงความถี่และร้อยละ

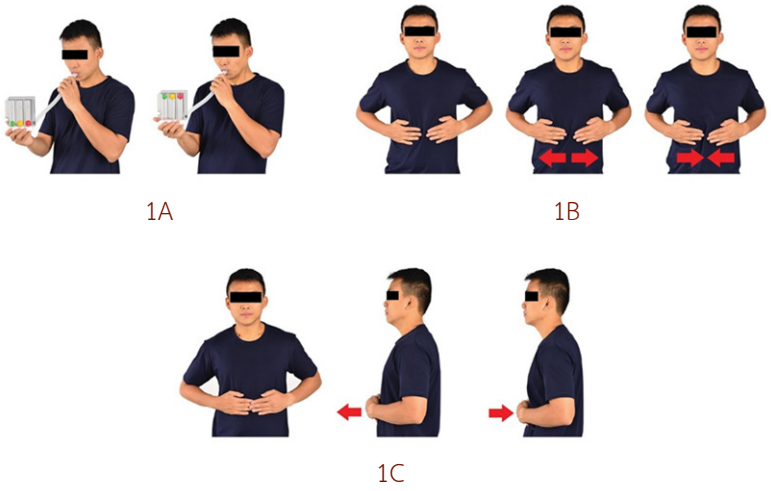
2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปร FVC และ chest expansion สถิติที่ใช้คือ One-way repeated (ANOVA) ถ้าการทดสอบค่าเฉลี่ยมีนัยสำคัญทางสถิติ ทดสอบรายคู่ Post hoc test ด้วยวิธี Bonferroni Method วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS Statistics software (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

ผลการศึกษา

ผู้ป่วยโรคทางกระดูกสันหลังส่วนคอยินยอมเข้าร่วมงานวิจัยจำนวน 30 คน แต่ไม่สามารถมาติดตามผลได้ครบตามกำหนดจำนวน 2 คน และผู้ป่วยโรคทางกระดูกสันหลังส่วนอกและส่วนเอวจำนวน 30 คน สามารถมาติดตามผลได้ครบทุกคน อายุเฉลี่ยของอาสาสมัครจำนวน 58 คนเท่ากับ 60.4±9.0 ปี เป็นเพศหญิงร้อยละ 75.9 ค่าดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์โรคอ้วนร้อยละ 55.2 มีประวัติสูบบุหรี่จำนวน 3 คน (ส่วนคอ 1 คน ส่วนอกและส่วนเอว 2 คน) ดังตารางที่ 1

การฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกในผู้ป่วยก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลัง ส่งผลให้ FVC เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า FVC เพิ่มขึ้นหลังจากการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 2 สัปดาห์และหลังจากการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 4 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึกการหายใจ และ FVC ภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 4 สัปดาห์มีค่าเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อเปรียบเทียบกับภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 2

หลังจากการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอก พบว่าค่า chest expansion เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 2 สัปดาห์และหลังจากการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 4 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึกการหายใจ นอกจากนี้ ค่า chest expansion ของผู้ป่วยกระดูกสันหลังส่วนคอในท่านั่งตัวตรง ยังเพิ่มขึ้นระหว่างภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์ และภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 4 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 3



1A 1B

1C

ภาพที่ 1 การฝึกการหายใจ (1A) การฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry (1B) การฝึกการหายใจโดยใช้กล้ามเนื้อทรวงอก (1C) การฝึกการหายใจโดยใช้กล้ามเนื้อกระบังลม
ที่มา: ถ่ายภาพโดย กวิศรา เอี่ยมบรรณพงษ์ ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิคส์และกายภาพบำบัด

2A 2B

ภาพที่ 2 การวัด FVC ด้วยเครื่องวัดปริมาตรลมหายใจ (2A) และการวัด chest expansion ด้วยสายวัดตัว (2B)
ที่มา: ถ่ายภาพโดย กวิศรา เอี่ยมบรรณพงษ์ ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิคส์และกายภาพบำบัด

ตารางที่ 1 ลักษณะทั่วไปและข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยกระดูกสันหลังระหว่างกลุ่มและทั้งหมด

	Cervical Spine (n=28)	Thoracic Spine และ Lumbar Spine (n=30)	รวม (n=58)
เพศ			
ชาย	10 (ร้อยละ 35.7)	4 (ร้อยละ 13.3)	14 (ร้อยละ 24.1)
หญิง	18 (ร้อยละ 64.3)	26 (ร้อยละ 86.7)	44 (ร้อยละ 75.9)
อายุ (ปี), mean±SD	58.7±9.9	61.8±7.9	60.4±9.0
น้ำหนัก (กก.), mean±SD	62.0±13.2	65.0±10.2	63.5±11.8
ความสูง (ซม.), mean±SD	159.8±8.0	156.1±7.0	157.9±7.7
ดัชนีมวลกาย (กก./ม.^{2}), mean±SD	24.1±3.8	26.6±3.6	25.4±3.9
น้ำหนักน้อย (<18.5 กก./ม.^{2}), n (ร้อยละ)	2 (ร้อยละ 7.1)	0 (ร้อยละ 0.0)	2 (ร้อยละ 3.4)

	Cervical Spine (n=28)	Thoracic Spine และ Lumbar Spine (n=30)	รวม (n=58)
น้ำหนักปกติ (18.5-22.9 กก./ม.^{2}), n (ร้อยละ)	9 (ร้อยละ 32.1)	6 (ร้อยละ 20.0)	15 (ร้อยละ 25.9)
น้ำหนักมาก (23.0-24.9 กก./ม.^{2}), n (ร้อยละ)	4 (ร้อยละ 14.3)	5 (ร้อยละ 16.7)	9 (ร้อยละ 15.5)
ภาวะอ้วน (25.0-29.9 กก./ม.^{2}), n (ร้อยละ)	13 (ร้อยละ 46.4)	19 (ร้อยละ 63.3)	32 (ร้อยละ 55.2)
โรคร่วม, n (ร้อยละ)			
ความดันโลหิตสูง	7 (ร้อยละ 25.0)	27 (ร้อยละ 93.1)	34 (ร้อยละ 59.6)
เบาหวาน	4 (ร้อยละ 14.3)	9 (ร้อยละ 31.0)	13 (ร้อยละ 22.8)
ไขมันในเลือดสูง	5 (ร้อยละ 17.9)	7 (ร้อยละ 24.1)	12 (ร้อยละ 21.1)
ปอดอุดกั้นเรื้อรัง	0 (ร้อยละ 0.0)	0 (ร้อยละ 0.0)	0 (ร้อยละ 0.0)
กล้ามเนื้อหัวใจตาย	1 (ร้อยละ 3.6)	1 (ร้อยละ 3.4)	2 (ร้อยละ 3.5)
ประวัติการสูบบุหรี่, n (ร้อยละ)	1 (ร้อยละ 3.6)	2 (ร้อยละ 6.7)	3 (ร้อยละ 5.2)
เคยผ่าตัดกระดูกสันหลัง, n (ร้อยละ)	1 (ร้อยละ 3.3)	2 (ร้อยละ 6.7)	3 (ร้อยละ 5.2)

ตัวย่อ: SD, standard deviation

ตารางที่ 2 แสดง FVC ก่อนการฝึกการหายใจ ภายหลังการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 2 สัปดาห์ และหลังการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 4 สัปดาห์ โดยแบ่งตามจำนวนผู้ป่วยกระดูกสันหลังระหว่างกลุ่มและทั้งหมดในท่านั่งตัวตรงและท่านอนราบ

	ก่อนการฝึก (mean±SD)	ฝึกนาน 2 สัปดาห์ (mean±SD)	ฝึกนาน 4 สัปดาห์ (mean±SD)	p-value
กระดูกสันหลังส่วนคอ (n=28)				
- FVC (มล.)				
- ท่านั่ง	2,459±606.5	2,645.4±643.3[a]	2,721.1±652.0[b, c]	<0.001*
- ท่านอนราบ	2,254.3±604.6	2,429.6±672.0[a]	2,546.4±648.5[b, c]	0.025*
กระดูกสันหลังส่วนอกและส่วนเอว (n=30)				
- FVC (มล.)				
- ท่านั่ง	2,108.3±549.0	2,261.0±531.5[a]	2,383.7±485.0[b, c]	<0.001*
- ท่านอนราบ	1,917.7±522.4	2,117.7±498.7[a]	2,197.3±495.9[b, c]	<0.001*
ทั้งหมด (n=58)				
- FVC (มล.)				
- ท่านั่ง	2,277.9±599.1	2,446.6±614.2[a]	2,546.5±591.7[b, c]	<0.001*
- ท่านอนราบ	2,080.2±589.8	2,268.3±604.3[a]	2,365.9±596.1[b, c]	<0.001*

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อค่า p-value ต่ำกว่า 0.05

[a] มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์

[b] มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 4 สัปดาห์

[c] มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์ และภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 4 สัปดาห์

ตัวย่อ: FVC, forced vital capacity; SD, standard deviation

ตารางที่ 3 แสดงค่า chest expansion ก่อนการฝึกการหายใจ ภายหลังการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 2 สัปดาห์ และหลังการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่อง 4 สัปดาห์ โดยแบ่งตามจำนวนผู้ป่วยกระดูกสันหลังระหว่างกลุ่มและทั้งหมดในท่านั่งตัวตรงและท่านอนราบ

	ก่อนการฝึก (mean±SD)	ฝึกนาน 2 สัปดาห์ (mean±SD)	ฝึกนาน 4 สัปดาห์ (mean±SD)	p-value
กระดูกสันหลังส่วนคอ (n=28)				
- Chest expansion (ซม.)				
- ท่านั่ง	4.5±1.2	4.9±1.2[a]	5.2±1.2[b, c]	<0.001*
- ท่านอนราบ	4.0±1.2	4.7±1.2[a]	5.0±1.2[b]	<0.001*
กระดูกสันหลังส่วนอกและส่วนเอว (n=30)				
- Chest expansion (ซม.)				
- ท่านั่ง	4.0±1.3	4.4±1.3[a]	4.3±1.2[b]	<0.001*
- ท่านอนราบ	3.7±1.3	4.3±1.4[a]	4.1±1.0[b]	<0.001*
ทั้งหมด (n=58)				
- Chest expansion (ซม.)				
- ท่านั่ง	4.2±1.3	4.6±1.2[a]	4.7±1.3[b]	<0.001*
- ท่านอนราบ	3.9±1.2	4.5±1.3[a]	4.5±1.2[b]	<0.001*

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อค่า p-value ต่ำกว่า 0.05

[a] มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์

[b] มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างก่อนการฝึกและภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 4 สัปดาห์

[c] มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์ และภายหลังการฝึกต่อเนื่องนาน 4 สัปดาห์

ตัวย่อ: SD, standard deviation

อภิปรายผล

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าทั้ง FVC และ chest expansion เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายหลังการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ ก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลัง ความสามารถในการหายใจมีความสัมพันธ์กับ FVC และ chest expansion ในท่านั่งตัวตรง เนื่องจากท่านั่งตัวตรงช่วยให้การเคลื่อนไหวของกระบังลมและการขยายตัวของทรวงอกดีขึ้น[20] ในท่านอนราบ อวัยวะภายในช่องท้องอาจดันกระบังลม ทำให้การเคลื่อนไหวกระบังลมถูกจำกัด[34] จากกลไกการหายใจปกติ ขณะหายใจเข้า กระบังลมต้องหดตัวเลื่อนลงเพื่อให้ปอดขยายตัวออก ซึ่งในท่าลำตัวตั้งตรง อวัยวะภายในช่องท้องจะเลื่อนลงด้านล่างตามแรงโน้มถ่วง กระบังลมจะสามารถหดตัวและขยายตัวลงมาด้านล่างได้อย่างเต็มที่[35] ทำให้ประสิทธิภาพการหายใจดีกว่าในท่านอนราบ FVC และ chest expansion เป็นค่าผลลัพธ์ที่วัดได้จากเครื่องวัดปริมาตรลมหายใจและสายวัด ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่พกพาได้สะดวกต่อการนำไปใช้กับผู้ป่วยและหาได้ง่ายบนหอผู้ป่วย การศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการฝึกการหายใจโดยใช้กล้ามเนื้อกระบังลม และอุปกรณ์ incentive spirometry ช่วยทำให้กลไกการหายใจเข้า-ออก ที่เกิดจากทำงานของกล้ามเนื้อ intercostal และกระบังลมมีประสิทธิภาพดีขึ้นจึงส่งผลดีต่อ FVC[21] FVC จะลดต่ำลงเมื่อเนื้อเยื่อปอดถูกทำลาย เกิดเป็นพังผืด และในภาวะที่ทรวงอกขยายตัวได้ไม่เต็มที่ เช่น กระดูกสันหลังคด การได้รับยาระงับความรู้สึกขณะผ่าตัด หรือผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดบริเวณทรวงอกและท้อง เป็นต้น[22,23] ส่งผลต่อการขยายตัวของปอดอย่างจำกัดหลังการผ่าตัด มีหลายการศึกษาสนับสนุนว่าการฝึกการหายใจโดยใช้อุปกรณ์ incentive spirometry ช่วยลดภาวะแทรกซ้อนทางระบบการหายใจหลังการผ่าตัดได้ Alaparthi และคณะ[21] ทำการศึกษาแบบสุ่มในผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดช่องท้อง จำนวน 260 คน แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 65 คน ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับการฝึก deep breathing exercise กลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ flow incentive spirometry กลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ volume incentive spirometry และกลุ่มควบคุม พบว่า การทำงานของปอดและการเคลื่อนไหวของกระบังลมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันแรก

หลังการผ่าตัดทั้ง 4 กลุ่ม ในวันที่สองหลังการผ่าตัด กลุ่มที่ได้รับการฝึก deep breathing exercise และกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ volume incentive spirometry สามารถเพิ่ม FVC และการเคลื่อนไหวของกระบังลมได้ดีกว่าอีกสองกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Renault และคณะ[37] ในผู้ป่วยผ่าตัดหัวใจ จำนวน 36 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 18 คน ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับการฝึก deep breathing exercise และกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ incentive spirometry พบว่า FVC หรือ FEV_1 หลังการผ่าตัด ของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน และในกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ incentive spirometry สามารถเพิ่มสมรรถภาพการหายใจได้

ค่า chest expansion คือ ค่าความแตกต่างของเส้นรอบทรวงอกขณะหายใจเข้าเต็มที่ และหายใจออกเต็มที่ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3-5 ซม.[24] ใช้ในการตรวจประเมินผู้ป่วยกลุ่มโรคที่จำกัดการขยายตัวของปอด[25,26] ค่า chest expansion ของทรวงอกส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง มีความแตกต่างกันตามปัจจัยของเพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ซึ่งอายุที่มากขึ้นสัมพันธ์กับค่า chest expansion ที่ลดลง[27] การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวของทรวงอก ส่งเสริมการทำงานของกล้ามเนื้อ intercostal ระหว่างทรวงอกส่วนบนและส่วนล่างได้[28,29] การฝึกการหายใจโดยใช้ทรวงอกส่วนล่าง (lower costal breathing exercise) ทำให้อากาศไหลผ่านเข้าสู่ปอดส่วนล่างได้ดี ช่วยลดการเคลื่อนไหวของทรวงอกที่ผิดปกติ กระตุ้นการทำงานของกระบังลมและเพิ่มประสิทธิภาพการหายใจได้[30]

จากผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ทำให้ FVC และ chest expansion เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ช่วยเพิ่มสมรรถนะในการหายใจของผู้ป่วยให้ดีขึ้น และการฝึกการหายใจอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานขึ้นเป็น 4 สัปดาห์จะทำให้สามารถหายใจได้ดียิ่งขึ้นกว่าการฝึกเพียง 2 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับ Clinical Practice Guideline ของ American Association for Respiratory Care (AARC) ที่แนะนำให้ใช้อุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึก deep breathing exercise การไออย่างถูกวิธี การลุกจากเตียงโดยเร็ว และการให้ยาระงับปวดอย่างเพียงพอ เพื่อช่วยป้องกันภาวะแทรกซ้อนทางระบบการหายใจภายหลังการผ่าตัด[38]

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษานำร่อง ในอนาคตควรทำการศึกษาแบบทดลองสุ่มและเก็บผลลัพธ์ภายหลังการผ่าตัดกระดูกสันหลังร่วมด้วย เพื่อนำข้อมูลมาศึกษาหาความสัมพันธ์ถึงประสิทธิภาพการฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกในผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดกระดูกสันหลังต่อไป

สรุป

การฝึกการหายใจด้วยอุปกรณ์ incentive spirometry ร่วมกับการฝึกการหายใจด้วยกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อทรวงอกเป็นระยะเวลาต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ สามารถเพิ่ม FVC และ chest expansion ในกลุ่มผู้ป่วยก่อนการผ่าตัดกระดูกสันหลังได้ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ทางคลินิกที่สำคัญของการฝึกการหายใจในผู้ป่วยที่จะเข้ารับการผ่าตัดกระดูกสันหลัง

เอกสารอ้างอิง

1. Nielsen PR, Jorgensen LD, Dahl B, Pedersen T, Tonnesen H. Prehabilitation and early rehabilitation after spinal surgery: randomized clinical trial. Clin Rehabil 2010;24:137-48.

2. Raw DA, Beattie JK, Hunter JM. Anaesthesia for spinal surgery in adults. Br J Anaesth 2003;91:886-904.

3. Ferguson MK. Preoperative assessment of pulmonary risk. Chest 1999; 115 (5 suppl):58s-63s.

4. Lee MJ, Konodi MA, Cizik AM, Bransford RJ, Bellabarba C, Chapman JR. Risk factors for medical complication after spine surgery: a multivariate analysis of 1,591 patients. Spine J 2012;12: 197-206.

5. Mills GH. Respiratory complications of anaesthesia. Anaesthesia 2018; 73 (Suppl1):25-33.

6. Degani-Costa LH, Faresin SM, Reis Falcão LF. Preoperative evaluation of the patient with pulmonary disease. Braz J Anesthesiol 2014;64:22-34.

7. Overend TJ, Anderson CM, Lucy SD, Bhatia C, Jonsson BI, Timmermans C. The effect of Incentive Spirometry on postoperative pulmonary complications: a systematic review. Chest 2001;120:971-8.

8. Lee MJ, Konodi MA, Cizik AM, Weinreich MA, Bransford RJ, Bellabarba C, Chapman J. Risk factors for medical complication after cervical spine surgery: a multivariate analysis of 582 patients. Spine (Phila Pa 1976) 2013;38:223-8.

9. Zucherman JF, Hsu KY, Hartjen CA, Mehalic TF, Implicito DA, Martin MJ et al. A multicenter, prospective, randomized trial evaluating the X STOP interspinous process decompression system for the treatment of neurogenic intermittent claudication: two-year follow-up results. Spine (Phila Pa 1976) 2005;30:1351-8.

10. Bernstein DN, Thirukumaran C, Saleh A, Molinari RW, Mesfin A. Complications and readmission after cervical spine surgery in elderly patients: an analysis of 1786 patients. World Neurosurg 2017;103:859-68.

11. Klein JD, Hey LA, Yu CS, Klein FJ, Coufal FJ, Young EP, et al. Perioperative nutrition and postoperative complications in patient undergoing spinal surgery. Spine (Phila Pa 1976) 1996;21:2676-82.

12. Roberts SB, Tsirikos AI. Perioperative management of major spinal surgery. Orthop Trauma 2013;27:220-8.

13. Smetana GW. Preoperative pulmonary evaluation. N Engl J Med 1999; 340:937-44.

14. Reis RC, Fernandes de Oliveira M, Rotta JM, Botelho RV. Risk of complications in spine surgery: a prospective study. Open Orthop J 2015;9:20-5.

15. Hartley M, Neubrander J, Repede E. Evidence-based spine preoperative education. Int J Orthop Trauma Nursing 2012;16:65-75.

16. Kulkarni SR, Fletcher E, McConnell AK, Poskitt KR, Whyman MR. Pre-operative inspiratory muscle training preserves postoperative inspiratory muscle strength following major abdominal surgery – a randomised pilot study. Ann R Coll Surg Engl 2010;92:700-7.

17. Celli BR, Rodriguez KS, Snider GL. A controlled trial of intermittent positive pressure breathing, Incentive Spirometry, and deep breathing exercises in preventing pulmonary complications after abdominal surgery. Am Rev Respir Dis 1984;130:12-5.

18. Urell C, Emtner M, Hedenstrom H, Tenling A, Breidenskog M, Westerdahl E. Deep breathing exercises with positive expiratory pressure at a higher rate improve oxygenation in the early period after cardiac surgery - a randomised controlled trial. Eur J of Cardiothorac Surg 2011;40:162-7.

19. Genc A, Ikiz AO, Guneri EA, Gunerli A. Effect of deep breathing exercises on oxygenation after major head and neck surgery. Otolaryngol Head Neck Surg 2008;139:281-5.

20. Katz S, Arish N, Rokach A, Zaltzman Y, Marcus EL. The effect of body position on pulmonary function: a systematic review. BMC Pulm Med 2018;18:159.

21. 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; 1967532.

22. Mehrparvar AH, Sakhvidi MJZ, Mostaghaci M, Davari MH, Hashemi SH, Zare Z. Spirometry values for detecting a restrictive pattern in occupational health settings. Tanaffos 2014;13:27-34.

23. Johari J, Sharifudin MA, Rahman AA, Omar AS, Abdullah AT, Nor S, et al. Relationship between pulmonary function and degree of spinal deformity, location of apical vertebrae and age among adolescent idiopathic scoliosis patients. Singapore Med J 2016;57:33-8.

24. Jardins TD and Burton GG. Clinical manifestations and assessment of respiratory disease. 8th ed. Missouri: Elsevier 2020, pp.12-32.

25. Hawes MC, Brooks WJ. Improved chest expansion in idiopathic scoliosis after intensive, multiple-modality, nonsurgical treatment in an adult. Chest 2001;120:672-4.

26. Nygren-Bonnier M, Wahman K, Lindholm P, Markstrom A, Westgren N, Klefbeck B. Glossopharyngeal pistoning for lung insufflation in patients with cervical spinal cord injury. Spinal Cord 2009;47:418-22.

27. Sharma G, Goodwin J. Effect of aging on respiratory system physiology and immunology. Clin Interv Aging 2006;1:253-60

28. Tomich GM, Franca DC, Diorio ACM, Britto RR, Sampaio RF, Parreira VF. Breathing pattern, thoracoabdominal motion and muscular activity during three breathing exercises. Braz J Med Biol Res 2007;40:1409-17.

29. Paisani DM, Lunardi AC, Marques da Silva CCB, Porras DC, Tanaka C, Carvalho CRF. Volume rather than flow Incentive Spirometry is effective in improving chest wall expansion and abdominal displacement using optoelectronic plethysmography. Respir Care 2013;58:1360-6.

30. Blaney F, Sawyer T. Sonographic measurement of diaphragmatic motion after upper abdominal surgery: a comparison of three breathing manoeuvres. Physiother Theory Pract 1997;13:207-15.

31. Bhat S, Katoch A, Kalsotra L, Chrungoo RK. A prospective comparative trial of post-operative pulmonary function: laparascopic versus open cholecystectomy. JK Science 2007;9:83-86.

32. Pietak S, Weenig CS, Hickey R, Fairley HB. Anesthetic effects on ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Anesthesiology 1975;42:160-6.

33. อารินทร์ ผามั่น, ธนศิริ เทพประสิทธิ์, อรอุมา โภคา, ปรีดา นันทากุล. ศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกหายใจลึกระหว่างการฝึกหายใจโดยใช้กล้ามเนื้อกะบังลมและIncentive Spirometer (TRIFLO II) ต่อสมรรถภาพปอดในพระภิกษุสงฆ์สูงอายุ. ใน: ดร.อัครเดช ศิริพร. โครงการประชุมวิชาการทางกายภาพบำบัดระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 4; 3 มิถุนายน 2558; ห้อง 222, 232, 234 อาคารจุฬาพัฒน์ 2 และห้อง 422 อาคารจุฬาพัฒน์ 4 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2558. หน้า 22.

34. Rehder K. Postural changes in respiratory function. Acta Anaesthesiol Scand 1998;42:13-6.

35. Katz S, Arish N, Rokach A, Zaltzman Y, Marcus EL. The effect of body position on pulmonary function: a systematic review. BMC Pulm Med 2018;18:159.

36. Baumgarten MC, Garcia GK, Frantzeski MH, Giacomazzi CM, Lagni VB, Dias AS, Monteiro MB. Pain and pulmonary function in patients submitted to heart surgery via sternotomy. Braz J Cardiovasc Surg 2009;24:497-505.

37. Renault JA, Costa-Val R, Rosseti MB, Houri NM. Comparison between deep breathing exercises and incentive spirometer after CABG surgery. Rev Bras Cir Cardiovasc 2009;24:165–72.

38. Restrepo RD. Wettstein R. Wittnebel L. Tracy M. AARC CLINICAL PRACTICE GUIDELINE: INCENTIVE SPIROMETRY: 2011. Respir Care 2011;56:1600-4.