

การขยายตัวของทรวงอกและท้องสัมพันธ์กับสมรรถภาพปอด และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในเด็กสมองพิการ

นิตยา ทันธังกา^{1,2}, วิณทนา ศิริธราธิวัตร², วณิดา ตรีปัญหา², จตุรรัตน์ กันต์พิทยา³, สุรัสวดี เบนเนตต์^{2*}

Received: August 24, 2017

Revised: October 20, 2017

Accepted: November 24, 2017

บทคัดย่อ

แม้ว่าการประเมินสมรรถภาพปอดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจนิยมนำมาใช้ตรวจประเมินการทำงานของระบบหายใจอย่างแพร่หลาย แต่กระบวนการตรวจประเมินดังกล่าวมีความซับซ้อนและยากต่อการทำตามโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กสมองพิการ ในทางตรงข้ามการวัดการขยายตัวของทรวงอกและท้อง (cirtometry) เป็นอีกวิธีการวัดที่ราคาถูก ใช้งานง่าย และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ของการขยายตัวของทรวงอกและท้อง ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้องที่วัดโดย cirtometry กับสมรรถภาพปอดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในเด็กสมองพิการ ศึกษาในเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็งจำนวน 36 คน อายุเฉลี่ย 13.39 ± 2.95 ปี ทำการประเมินสมรรถภาพปอดด้วยสไปโรเมทรี การขยายตัวของทรวงอกและท้องถูกวัดด้วยสายวัดทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ ทรวงอกส่วนบน ทรวงอกส่วนล่าง และท้อง และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจถูกวัดด้วยเครื่องวัดความดันสูงสุดขณะหายใจเข้าและหายใจออก ผลการศึกษาพบว่า ปริมาตรอากาศสูงสุดที่หายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการขยายตัวของทรวงอกและท้องในทุก ๆ ระดับ ($r=0.63, p<0.001$ สำหรับทรวงอกส่วนบน, $r=0.69, p<0.001$ สำหรับทรวงอกส่วนล่าง และ $r=0.76, p<0.001$ สำหรับท้อง) และพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปริมาตรของอากาศที่ถูกขับออกในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่กับการขยายตัวของทรวงอกและท้องในทุก ๆ ระดับ ($r=0.63, p<0.001$ สำหรับทรวงอกส่วนบน, $r=0.67, p<0.001$ สำหรับทรวงอกส่วนล่าง และ $r=0.75, p<0.001$ สำหรับท้อง) นอกจากนี้ยังพบว่าการขยายตัวของท้องมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้า ($r=0.41, p<0.05$) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจออก ($r=0.36, p<0.05$) การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงสูงระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้องกับปริมาตรปอด นอกจากนี้ยังพบว่ามีความสัมพันธ์ในระดับต่ำระหว่างการขยายตัวของท้องกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการขยายตัวของทรวงอกและท้องที่วัดโดย Cirtometry สามารถนำมาใช้ในการตรวจประเมินการทำงานของระบบหายใจเบื้องต้นในเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็งได้

คำสำคัญ: Cirtometry, สมองพิการ, การขยายตัวของทรวงอก, การทดสอบสมรรถภาพปอด, ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ศูนย์วิจัยปวดหลัง ปวดคอ ปวดข้ออื่นๆและสมรรถนะของมนุษย์ (BNOJPH) สายวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*ผู้รับผิดชอบบทความ



Chest wall and abdominal expansions are related to pulmonary function and respiratory muscle strength in children with cerebral palsy

Nittaya Tanrangka^{1,2}, Wantana Siritaratiwat², Wanida Donpunha²,
Jaturat Kanpittaya³, Surussawadi Bennett^{2*}

Abstract

Although pulmonary function and respiratory muscle strength testing are widely used to examine respiratory function, their processes are complicated and difficult to follow, especially in children with cerebral palsy. In contrast, cirtometry is cheap, easy to apply and provides useful data of chest expansion. Thus the aim of this study was to examine the correlation between chest wall and abdominal mobility measured by cirtometry and pulmonary function and respiratory muscle strength in children with cerebral palsy. Thirty-six children (age 13.39 ± 2.95 years) with spastic cerebral palsy were included into the study. Pulmonary function testing was performed by spirometry. Chest wall and abdominal mobility were measured at three levels (upper, lower and abdomen) using a tape measure, while respiratory muscle strength was examined by respiratory muscle testing devices. The results showed that there were significant correlations between forced vital capacity and chest wall and abdominal expansion at all levels ($r=0.63$, $p<0.001$ for upper chest, $r=0.69$, $p<0.001$ for lower chest and $r=0.76$, $p<0.001$ for abdomen). There were also significant correlations between forced expiratory volume in one second and chest wall and abdominal expansion at all levels ($r=0.63$, $p<0.001$ for upper chest, $r=0.67$, $p<0.001$ for lower chest and $r=0.75$, $p<0.001$ for abdomen). Moreover, abdominal expansion correlated significantly with both MIP ($r=0.41$, $p<0.05$) and MEP ($r=0.36$, $p<0.05$). The results of this study demonstrated that there were high to moderate correlations between chest wall and abdominal expansion and lung volume in spastic cerebral palsy. There was also a weak correlation between abdominal expansion and respiratory muscle strength. These results indicate that chest wall and abdominal expansion measured by cirtometry could be used to assess basic respiratory function in children with spastic cerebral palsy.

Keywords: Cirtometry, Cerebral palsy, Chest expansion, Pulmonary function test, Respiratory muscle strength

¹Master Degree Student, School of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University

²Research Center in Back, Neck, Other Joint Pain and Human Performance (BNOJPH), School of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University

³Department of Radiology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University

*Corresponding author (e-mail: surmac@kku.ac.th)

บทนำ

สมองพิการ (cerebral palsy: CP) เป็นความผิดปกติทางระบบประสาทที่พบได้บ่อยมากที่สุดในเด็กทั่วโลก ความชุกของการเกิดสมองพิการมีประมาณ 1-2 คนต่อ 1,000 คนของอัตราการเกิดรอดชีวิตของเด็ก⁽¹⁻²⁾ โดยพบเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็งมากที่สุดประมาณร้อยละ 75 จากเด็กสมองพิการทั้งหมด⁽³⁾ ความบกพร่องในเด็กสมองพิการส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับระบบประสาทและกล้ามเนื้อ และระบบกล้ามเนื้อและกระดูก⁽⁴⁾ อย่างไรก็ตาม ความผิดปกติทางระบบหายใจก็เป็นปัญหาหนึ่งที่เป็นสาเหตุของความพิการและการเสียชีวิตในเด็กสมองพิการ⁽⁴⁻⁵⁾ ซึ่งความผิดปกติของระบบทางหายใจที่พบบ่อยในเด็กสมองพิการ ได้แก่ ปอดอักเสบจากการสำลัก (aspiration pneumonia) การหายใจล้มเหลว (respiratory failure) และภาวะปอดแฟบ (atelectasis)⁽⁶⁻⁸⁾ ดังนั้นการติดตามการทำงานของระบบหายใจในเด็กสมองพิการจึงเป็นสิ่งสำคัญ

การวัดสมรรถภาพปอด (pulmonary function testing: PFT) เป็นการวัดเพื่อการวินิจฉัยโรคปอดอุดกั้นและโรคปอดจำกัดการขยายตัวซึ่งพบได้บ่อยในเด็กสมองพิการ⁽⁹⁻¹¹⁾ อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการวัดเพื่อให้ได้ซึ่งข้อมูลของสมรรถภาพปอดโดยใช้สไปโรเมตรีเป็นการวัดที่ซับซ้อน อีกทั้งยังต้องอาศัยความร่วมมือและการกระตุ้นอย่างเหมาะสม⁽¹⁰⁻¹¹⁾ ซึ่งวิธีการวัดที่ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพในการประเมินการทำงานของระบบหายใจยังคงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปฏิบัติงานในภาคสนาม

การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ (respiratory muscle strength test: RMT) เป็นอีกวิธีการที่ใช้ในการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้าและหายใจออกผ่านความดันสูงสุดทางปากหรือทางจมูก แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบมีขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อนและต้องการความร่วมมือเป็นอย่างดีจากอาสาสมัครเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีเช่นเดียวกับการวัดสมรรถภาพปอด⁽¹²⁻¹⁵⁾ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจจะบ่งชี้ความสามารถของกล้ามเนื้อหายใจในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอด เพื่อการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

หายใจทำได้โดยวัดความดันสูงสุดขณะหายใจเข้า (maximum inspiratory pressure: MIP) และวัดความดันสูงสุดขณะหายใจออก (maximum expiratory pressure: MEP) เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตรปอด (pressure-volume curve) จะพบว่าหากความดันมีค่าเพิ่มขึ้น (ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเพิ่มขึ้น) จะส่งผลให้ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน⁽¹⁴⁻¹⁵⁾ การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าปริมาตรปอดมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า MIP และ MEP ทั้งในอาสาสมัครสุขภาพดีและผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง⁽¹⁶⁻¹⁷⁾ อย่างไรก็ตามการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวในเด็กสมองพิการยังมีจำกัด

การวัดการขยายตัวของทรวงอกและท้อง (cirtometry) เป็นการวัดที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในทางคลินิก เพื่อวัดการเคลื่อนไหวของผนังทรวงอกในผู้ใหญ่สมองพิการ⁽⁵⁾ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง⁽¹⁷⁾ โรคข้อสันหลังอักเสบชนิดติดยึด (ankylosing spondylitis)⁽¹⁸⁾ และโรคไฟโบรมัยอัลเจีย (fibromyalgia)⁽¹⁹⁾ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เพื่อตรวจหาการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของทรวงอกและท้องหลังจากได้รับโปรแกรมการฟื้นฟูสมรรถภาพปอด⁽²⁰⁾ cirtometry คือการวัดการขยายตัวของทรวงอกและท้องจากความจุปอดทั้งหมด (total lung capacity) จนถึงปริมาตรปอดที่คงค้างอยู่โดยใช้สายวัด แต่วิธีนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดที่ระดับท้องเพื่อแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อกะบังลมได้ด้วย⁽²⁰⁾ ดังนั้น cirtometry จึงอาจเป็นเครื่องมือที่สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของปอดและการทำงานของกล้ามเนื้อกะบังลมได้ นอกจากนี้ความน่าเชื่อถือของการวัดยังอยู่ในระดับที่สูงทั้งในระหว่างผู้วัด (inter-rater reliability) และภายในผู้วัด (intra-rater reliability) อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ใช้งานง่ายและราคาถูก^(17, 20)

การศึกษาของ Ozgocmen และคณะในปี ค.ศ. 2002 พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเคลื่อนไหวของผนังทรวงอกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในอาสาสมัครกลุ่มโรคไฟโบรมัยอัลเจีย (MIP, $r=0.49$, $p<0.01$; MEP, $r=0.57$, $p<0.001$)⁽¹⁹⁾ ขณะที่การศึกษาอื่นๆ พบค่าความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่าง

การเคลื่อนไหวของผนังทรวงอก และปริมาตรปอดในอาสาสมัครกลุ่มผู้ใหญ่สมองพิการ⁽⁶⁾ โรคข้อสันหลังอักเสบชนิดติดยึด⁽¹⁸⁾ อาสาสมัครสุขภาพดี⁽¹⁶⁾ และโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง⁽¹⁷⁾ จากการศึกษาเหล่านั้นแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกที่อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวัดการขยายตัวของทรวงอกและท้องสามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงการทำงานของระบบหายใจในผู้ป่วยประเภทต่าง ๆ ข้างต้น แต่ยังไม่พบการศึกษาใดที่ตรวจหาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้องกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและสมรรถภาพปอดในเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็ง ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้องที่วัดโดย cirtometry กับสมรรถภาพปอดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็ง

วิธีการศึกษา

อาสาสมัคร

การศึกษานี้เป็นการวิจัยแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) ดำเนินการระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 ณ โรงเรียนศรีสังวาลย์ขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โครงการวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (HE592301) ศึกษาในเด็กสมองพิการจำนวน 36 คน อายุระหว่าง 8-18 ปี มีเกณฑ์การคัดเลือกคือ ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าเป็นสมองพิการประเภทแข็งเกร็งที่มีระดับความสามารถด้านการเคลื่อนไหว (Gross Motor Function Classification System: GMFCS) ตั้งแต่ระดับที่ 1-5 ไม่มีความผิดปกติทางสติปัญญาและไม่มีโรคแทรกซ้อนอื่น ๆ เช่น ตาบอดหรือหูหนวก และมีความยินดีเข้าร่วมงานวิจัย เกณฑ์การคัดออกคือ มีประวัติการติดเชื้ทางเดินหายใจเฉียบพลันและโรคอื่น ๆ ที่ไม่สามารถให้การรักษได้ด้วยวิธีมาตรฐาน เช่น การแนะนำการปฏิบัติตัว การให้ยาบรรเทาและรักษาอาการ และการรักษาด้วยวิธีทางกายภาพบำบัดทรวงอก เป็นต้น หากอาสาสมัครที่มีอายุต่ำกว่า 18 ปี ต้องมีผู้ปกครองหรือผู้ดูแลนามยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรก่อนเข้าร่วมโครงการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

ก่อนการเก็บข้อมูลในอาสาสมัครเด็กสมองพิการ ผู้วิจัยที่ทำหน้าที่วัดสมรรถภาพปอด การขยายตัวของทรวงอกและท้อง และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจได้ทำการทดสอบซ้ำ (test-retest) ของการตรวจประเมินในการวัดทั้ง 3 วิธีเพื่อหาความเที่ยงภายในตัวเอง (intra-class reliability) โดยทำการทดสอบในอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 10 คน อายุระหว่าง 8-18 ปี ผลการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (intra-class correlation coefficient: ICC) ของตัวแปรทั้งหมดจากการวัดทั้ง 3 วิธีอยู่ระหว่าง 0.95-0.98 ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่าผู้ที่ทำหน้าที่วัดตัวแปรทั้งหมดของการศึกษานี้มีความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม จากนั้นทำการเก็บข้อมูลในอาสาสมัครเด็กสมองพิการโดยบันทึกข้อมูลพื้นฐานซึ่งประกอบด้วย เพศ อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ระดับความสามารถด้านการเคลื่อนไหว ชนิดของสมองพิการและลักษณะของทรวงอกและอาสาสมัครแต่ละคนจะได้รับการสุ่มลำดับของการทดสอบทั้ง 3 วิธี โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

การตรวจประเมิน

อาสาสมัครจะได้รับการวัดสมรรถภาพปอดโดยใช้สไปโรเมตริย์แบบหิ้วถือ (Pony FX, US) ตามวิธีการมาตรฐานของ American Thoracic Society (ATS) / European Respiratory Society (ERS)⁽²²⁾ โดยอาสาสมัครนั่งบนเก้าอี้ที่มีพนักพิงอมท่อนซึ่งต่อกับเครื่องวัดสมรรถภาพปอดโดยไม่ให้มีรูรั่วระหว่างปากและท่อ และใช้คลิปหนีบจมูกไว้ จากนั้นให้อาสาสมัครเริ่มการทดสอบด้วยการหายใจเข้า-ออกให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ผ่านทางปาก และหายใจเข้าเต็มที่และหายใจออกสุดอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่เป่าค้างไว้ 6 วินาที จากนั้นให้หายใจปกติพร้อมกับผ่อนคลาย อาสาสมัครจะได้รับการฝึกจนกระทั่งทำได้ถูกต้อง ก่อนการทดสอบจริงโดยผู้วิจัยจะทำเป็นตัวอย่างและให้อาสาสมัครทำตาม การทดสอบจะทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง เลือกค่าที่ดีที่สุดนำมาวิเคราะห์ข้อมูล ระหว่างการทดสอบแต่ละครั้งอาสาสมัครได้รับการพักเป็นเวลา 1 นาที หรือจนกว่าจะหายใจเหนื่อย ตัวแปรที่บันทึกประกอบไปด้วย ปริมาตรสูงสุดของอากาศที่หายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่ (force vital capacity: FVC) ปริมาตรของอากาศที่

ถูกขับออกในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่ (forced expiratory volume in one second: FEV_1) และอัตราส่วนของปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้ในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่ต่อปริมาตรของอากาศที่เป่าออกมาได้มากที่สุดอย่างรวดเร็วแรง (FEV_1/FVC ratio)

การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจทำตามวิธีการมาตรฐานของ ATS/ERS⁽²³⁾ อาสาสมัครนั่งบนเก้าอี้ที่นั่งสบายและสวมท่อเป่าที่ต่อเข้ากับเครื่อง RMT ชนิดพกพา (MicroRPM, UK) และใส่คลิปหนีบจมูก หลังจากนั้นวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้า โดยให้หายใจออกจนสุดแล้วให้ดูดลมหายใจเข้าทางปากเต็มที่ค้างไว้อย่างน้อย 1.5 วินาที จากนั้นวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจออก โดยให้หายใจเข้าลึกทางจมูกแล้วเป่าออกทางปากค้างไว้อย่างน้อย 1.5 วินาที ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งต่อการทดสอบ พักระหว่างการทดสอบเป็นเวลา 1 นาที หรือจนกว่าจะหายใจเหนื่อย และเลือกค่าที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์ข้อมูล

การขยายตัวของทรวงอกและท้องถูกวัดโดยใช้สายวัดซึ่งอธิบายไว้ในการศึกษาของ Lanza และคณะ ในปี ค.ศ. 2013⁽¹⁶⁾ โดยวัดการขยายตัวของทรวงอกและท้องใน 3 ระดับคือ 1) ทรวงอกส่วนบนที่ระดับใต้รักแร้ (axillary level) 2) ทรวงอกส่วนล่างที่ระดับลิ้นปี่ (xiphoid process) และ 3) ส่วนท้องที่ระดับสะดือ (umbilicus) อาสาสมัครหายใจเข้าลึกให้ทรวงอกหรือท้องบริเวณที่ต้องการวัดขยายออกให้มากที่สุดค้างไว้ 5 วินาที วัดทั้งหมด 3 ครั้งต่อระดับ โดยพักระหว่างการวัดแต่ละระดับเป็นเวลา 1 นาที หรือจนกว่าจะหายใจเหนื่อย และเลือกค่าที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ทดสอบการแจกแจงข้อมูลของตัวแปรที่ได้จากการวัดทั้งหมดโดยสถิติ Shapiro-Wilk test และฮิสโตแกรม (Histogram plot) พบว่า ทุกตัวแปรมีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ (normal distribution) จากนั้นใช้สถิติพรรณนาเพื่ออธิบายลักษณะข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครและนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) ใช้สถิติ Pearson correlation เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้องทั้ง 3 ระดับและสมรรถภาพปอด (FVC, FEV_1 และ FEV_1/FVC) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้า (MIP) และหายใจออก (MEP) โดยหาค่า r น้อยกว่า 0.50 ถือว่ามีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ r อยู่ระหว่าง 0.50-0.70 ถือว่ามีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง และ r มากกว่า 0.70 ถือว่ามีความสัมพันธ์ในระดับสูง⁽²⁴⁾ ใช้สถิติ multiple regression (สถิติแบบถดถอยเชิงเส้นพหุ) สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพปอดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจจากการขยายตัวของทรวงอกและท้องทั้งสามระดับ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดโดยใช้โปรแกรม SPSS version 17 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ผลการศึกษา

ลักษณะข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครแสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าร้อยละ 81 ของอาสาสมัครทั้งหมดเป็นเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็งแบบ diplegia มีเด็กสมองพิการจำนวน 18 คน (ร้อยละ 50) มีระดับความสามารถด้านการเคลื่อนไหวระดับที่ 4 นอกจากนี้พบว่ามีเด็กสมองพิการจำนวน 7 คน (ร้อยละ 19) มีความผิดปกติของผนังทรวงอกแบบบอว์ม (funnel shape chest)

ตารางที่ 1 ลักษณะข้อมูลพื้นฐานของเด็กสมองพิการ ประเภทแข็งแรง จำนวน 36 คน

ข้อมูลพื้นฐาน (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ข้อมูล
อายุ (ปี)	13.39±2.95
เพศ (ชาย/หญิง)	19/17
ส่วนสูง (เมตร)	1.40±0.12
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	36.49±10.68
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	18.37±3.46
ระดับความสามารถด้านการเคลื่อนไหว (GMFCS) (จำนวนคน) [ร้อยละ]	
I	3 (8)
II	5 (14)
III	10 (28)
IV	18 (50)
ชนิดของสมองพิการ (จำนวนคน) [ร้อยละ]	
Diplegia	29 (81)
Quadriplegia	3 (8)
Hemiplegia	4 (11)
ลักษณะของทรวงอก (จำนวนคน) [ร้อยละ]	
Normal chest shape	29 (81)
Funnel chest shape	7 (19)

ข้อมูลของการทดสอบสมรรถภาพปอด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ และการขยายตัวของทรวงอกและท้อง แสดงไว้ใน**ตารางที่ 2** ผลการศึกษาพบว่าตัวแปรเหล่านี้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเด็กปกติสุขภาพดีที่อายุใกล้เคียงกัน⁽²⁵⁻²⁶⁾

ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้อง สมรรถภาพปอด และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจแสดงใน**ตารางที่ 3** ผลการศึกษาพบว่าการขยายตัวของทรวงอกและท้องมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับปานกลางถึงระดับสูงกับค่า FVC, FEV₁, FVC% และ FEV₁% แต่พบความสัมพันธ์แบบมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับต่ำระหว่างการขยายตัวของท้องกับ MIP และ MEP

ตารางที่ 2 ข้อมูลของการทดสอบสมรรถภาพปอด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ และการขยายตัวของทรวงอกและท้อง

ตัวแปร (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ข้อมูล	ระดับความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ย
1. สมรรถภาพปอด		
FVC (ลิตร)	1.41±0.41	1.27–1.55
FVC (% predicted)	60.97±12.34	56.80–65.15
FEV ₁ (ลิตร)	1.40±0.39	1.27–1.53
FEV ₁ (% predicted)	61.56±13.86	56.87–66.24
FEV ₁ /FVC ratio	91.61±5.50	98.75–93.47
2. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ (cmH ₂ O)		
MIP	38.40±13.69	33.76–43.02
MEP	39.36±14.21	34.55–44.17
3. การขยายตัวของทรวงอกและท้อง (เซนติเมตร)		
ทรวงอกส่วนบน	3.22±0.61	3.01–3.43
ทรวงอกส่วนล่าง	2.70±0.65	2.48–2.92
ท้อง	2.33±0.67	2.10–2.55

จาก**ตารางที่ 3** ได้นำค่าความสัมพันธ์ที่ระดับสูง มาวิเคราะห์สถิติแบบถดถอยเชิงเส้นพหุ ได้แก่ FVC, FEV₁ และการขยายตัวของทรวงอกส่วนล่างและท้อง พบว่าการขยายตัวส่วนท้องและทรวงอกส่วนล่างสามารถนำมาทำนายการเปลี่ยนแปลงของค่า FVC ($R^2=0.63$, $F=30.43$, $p=0.001$) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังสมการถดถอยต่อไปนี้ $FVC = 0.042 + 0.329$ (การขยายตัวของท้อง) + 0.224 (การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ร้อยละ 63 ของความแปรปรวนใน FVC ในเด็กสมองพิการชนิดแข็งแรงของการศึกษาค้นนี้สามารถอธิบายหรือทำนายได้ด้วยการขยายตัวของท้องและทรวงอกส่วนล่าง และเมื่อพิจารณาตัวแปร FEV₁ และการขยายตัวของทรวงอกและท้องทั้ง 3 ระดับ พบว่าการขยายตัวของท้องและทรวงอกส่วนล่างสามารถนำมาทำนายการ

เปลี่ยนแปลงของค่า FEV_1 ($R^2=0.60$, $F=27.66$, $p=0.001$) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ดังสมการถดถอยต่อไปนี $FEV_1 = 0.13 + 0.31$ (การขยายตัวของท้อง) $+ 0.199$ (การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ร้อยละ 60 ของความแปรปรวนใน FEV_1 ในเด็กสมองพิการชนิดแข็งเกร็งของการศึกษาครั้งนี้สามารถอธิบายหรือทำนายได้ด้วยการขยายตัวของท้องและทรวงอกส่วนล่าง

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้องที่วัดโดย cirtometry กับสมรรถภาพปอดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในเด็กสมองพิการชนิดแข็งเกร็ง ผลการศึกษาพบว่าการขยายตัวของทรวงอกและท้องมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับปานกลางถึงสูงกับ ค่า FVC, FEV_1 , FVC% และ $FEV_1\%$ เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยสถิติแบบถดถอยเชิงเส้นพหุ พบว่าการขยายตัวของทรวงอกส่วนล่างและท้องสามารถนำมาใช้ในการทำนายค่า FVC และ FEV_1 ได้มากที่สุด

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้องกับสมรรถภาพปอด และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ

ตัวแปร	r	p-value
การขยายตัวของท้อง และ FVC (ลิตร)	0.756	0.001
การขยายตัวของท้อง และ FEV_1 (ลิตร)	0.747	0.001
การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง และ FVC (ลิตร)	0.688	0.001
การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง และ FEV_1 (ลิตร)	0.669	0.001
การขยายตัวของทรวงอกส่วนบน และ FVC (ลิตร)	0.626	0.001
การขยายตัวของทรวงอกส่วนบน และ FEV_1 (ลิตร)	0.625	0.001
การขยายตัวของท้อง และ FEV_1 (% predicted)	0.528	0.001
การขยายตัวของทรวงอกส่วนบน และ FVC (% predicted)	0.520	0.001
การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง และ FVC (% predicted)	0.492	0.002
การขยายตัวของท้อง และ FVC (% predicted)	0.462	0.005
การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง และ FEV_1 (% predicted)	0.460	0.005
การขยายตัวของทรวงอกส่วนบน และ FEV_1 (% predicted)	0.437	0.008
การขยายตัวของท้อง และ MIP	0.41	0.012
การขยายตัวของท้อง และ MEP	0.36	0.032
การขยายตัวของทรวงอกส่วนบน และ FEV_1 /FVC ratio	0.187	0.274
การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง และ FEV_1 /FVC ratio	0.126	0.466
การขยายตัวของท้อง และ FEV_1 /FVC ratio	- 0.091	0.596
การขยายตัวของทรวงอกส่วนบน และ MIP	0.25	0.143
การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง และ MIP	0.24	0.153
การขยายตัวของทรวงอกส่วนบน และ MEP	0.16	0.353
การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง และ MEP	0.12	0.498

เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ของเด็กปกติที่มีช่วงอายุใกล้เคียงกันพบว่า สมรรถภาพปอด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ และการขยายตัวของทรวงอกและท้องของเด็กสมองพิการมีค่าต่ำกว่าเด็กปกติ⁽²⁵⁻²⁶⁾ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อลำตัวและกล้ามเนื้อท้องที่ทำหน้าที่เสริมความมั่นคงของลำตัวในเด็กสมองพิการ จึงส่งผลให้เกิดแนวการวางตัวที่ผิดปกติไปจากเดิมในขณะหายใจของกระดูกซี่โครง (rib cage) กระดูกสันหลัง และกล้ามเนื้อกะบังลม^(3,5,27-28) ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของชีวกลศาสตร์การทำงานของข้อต่อของระบบหายใจขณะหายใจเข้าและออก และเป็นสาเหตุทำให้ปริมาตรปอดลดลงตามมาในที่สุด⁽²⁷⁻²⁸⁾

ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าสมรรถภาพปอด และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในเด็กสมองพิการมีการลดลงเมื่อเทียบกับเด็กปกติ⁽²⁵⁻²⁶⁾ และในระหว่างเด็กสมองพิการที่ต่างชนิดกัน โดยพบว่าเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็งแบบ Diplegia มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบหายใจต่ำกว่าเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็งแบบ Hemiplegia⁽³⁰⁾ การศึกษาครั้งนี้พบว่า อาสาสมัครส่วนใหญ่เป็นเด็กสมองพิการประเภทแข็งเกร็งแบบ Diplegia และระดับ GMFCS อยู่ในระดับที่ 4 (เคลื่อนไหวได้เองน้อย) ทำให้ค่าสมรรถภาพปอด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจและการขยายตัวของทรวงอกและท้องลดลงกว่าค่าปกติมากทั้งนี้เนื่องจากเด็กสมองพิการแบบ Diplegia ร่วมกับระดับ GMFCS ในระดับที่สูงจะมีความผิดปกติของความตึงตัวและการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อรวมถึงความผิดปกติในการทรงท่าของร่างกายเกือบทุกส่วนได้แก่ ส่วนแขน ขา และลำตัวทำให้ระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงทางชีวกลศาสตร์ในการหายใจมีมากกว่าเด็กสมองพิการแบบ Hemiplegia ซึ่งมีความผิดปกติต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาเพียงซีกใดซีกหนึ่งของร่างกาย

ผลการศึกษาพบความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางถึงระดับสูง ($r = 0.69-0.76$) ระหว่างการขยายตัวของท้องและทรวงอกส่วนล่างกับ FVC ซึ่งอาจจะสามารถอธิบายได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดส่วนใหญ่ในเด็กสมองพิการเกิดจากการทำงานของกะบังลม^(20,27-29)

เนื่องจากการหดตัวของกะบังลมจะส่งผลให้เกิดการยกของกระดูกซี่โครงส่วนล่างและหน้าท้อง⁽²⁹⁾ นอกจากนี้ยังพบว่าเด็กสมองพิการมีการขยายตัวของท้องและทรวงอกส่วนล่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเด็กปกติที่มีช่วงอายุใกล้เคียงกัน⁽²⁰⁾ **(ตารางที่ 2)** จึงสันนิษฐานได้ว่าปริมาตรปอดของเด็กสมองพิการที่ลดลงอาจเป็นผลมาจากการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อกะบังลมเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อลำตัวและการเปลี่ยนแปลงทางชีวกลศาสตร์ของการหายใจที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้กล้ามเนื้อกะบังลมต้องทำงานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อกะบังลมในที่สุด นอกจากนี้ยังพบความผิดปกติของทรวงอกในเด็กสมองพิการที่ส่งผลต่อการจำกัดการขยายตัวของทรวงอกและท้องด้วยเช่นกัน^(3,28-29,32-33) ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าเด็กสมองพิการส่วนใหญ่มีรูปแบบการหายใจที่ผิดปกติ⁽²⁸⁻³¹⁾ โดยใช้กล้ามเนื้อทรวงอกช่วยในการหายใจเพื่อเพิ่มการขยายตัวของทรวงอกส่วนบนเพื่อชดเชยอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อกะบังลม⁽²⁸⁻²⁹⁾ ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผู้ใหญ่สมองพิการที่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการขยายตัวของทรวงอกส่วนล่าง และ FVC⁽⁵⁾ แต่การศึกษาในผู้ใหญ่สมองพิการไม่ได้ทำการวัดการขยายตัวของท้อง

นอกจากนั้นยังพบความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงระดับสูง ($r=0.67-0.75$) ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกส่วนล่างและท้องกับ FEV_1 สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากจุดเกาะปลายของกล้ามเนื้อหายใจออกและกล้ามเนื้อกะบังลมอยู่บริเวณกระดูกซี่โครงส่วนล่าง และเมื่อกล้ามเนื้อดังกล่าวคลายตัวจะส่งผลทำให้ลดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรวงอกขณะหายใจออก ทำให้มีผลโดยตรงต่อปริมาตรอากาศขณะหายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงและคงไว้ซึ่งปริมาตรหายใจออกสำรอง (expiratory reserve volume)⁽¹⁶⁾ ซึ่งผลดังกล่าวพบได้ในอาสาสมัครเด็กสุขภาพดี เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์สถิติแบบถดถอยเชิงเส้น พบว่า การขยายตัวของทรวงอกส่วนล่างและท้องสามารถนำมาทำนายการเปลี่ยนแปลงของ FVC และ FEV_1 ได้มากที่สุด ($R^2=0.63$, $p=0.001$ และ $R^2=0.60$, $p=0.001$ ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าการวัดการขยายตัวของทรวงอก

ส่วนล่างและท้องสามารถนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรปอดในเด็กสมองพิการชนิดแข็งเกร็งได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งข้อดีของการใช้ cirtometry นี้คือ ใช้งานง่ายและมีราคาถูก สามารถนำไปใช้ตรวจประเมินการเปลี่ยนแปลงทางระบบหายใจของเด็กสมองพิการในภาคสนาม แต่ข้อจำกัดของการใช้ cirtometry คือต้องอาศัยความชำนาญของผู้วัดและสเกลการวัดมีความละเอียดต่ำ⁽¹⁶⁻²⁰⁾

ผลการศึกษาวิจัยยังพบความสัมพันธ์ในระดับต่ำ ($r = 0.36-0.41$) ระหว่างการขยายตัวของท้องกับ MIP และ MEP ซึ่งคาดว่าน่าจะมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดขณะหายใจเข้าและออกในเด็กสมองพิการที่นอกเหนือจากการทำงานของกล้ามเนื้อกะบังลม เช่น ความยืดหยุ่นของผนังทรวงอกและท้อง และแรงต้านทานการไหลของอากาศในท่อทางเดินหายใจ ซึ่งไม่ได้วัดในการศึกษาครั้งนี้ จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถที่จะนำเอาการวัดการขยายตัวของทรวงอกส่วนล่างและท้องโดย cirtometry ไปติดตามการเปลี่ยนแปลงของ FVC และ FEV₁ ในเด็กสมองพิการชนิดแข็งเกร็งได้ นอกจากนี้ หากมีการฝึกเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทรวงอกส่วนล่าง กล้ามเนื้อท้องและกะบังลมที่เหมาะสมอาจจะสามารถเพิ่มสมรรถภาพปอดในเด็กสมองกลุ่มนี้ได้ต่อไป

ข้อจำกัดของการศึกษาครั้งนี้คือ 1) ไม่มีการคำนวณขนาดตัวอย่างแต่ใช้ convenient sample ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจจะไม่สามารถนำไปใช้อธิบายลักษณะประชากรได้ทั้งหมด 2) อาสาสมัครส่วนใหญ่เป็นเด็กสมองพิการวัยรุ่นประเภทแข็งเกร็งแบบ diplegia ที่มีระดับความสามารถด้านการเคลื่อนไหวระดับที่ 4 ดังนั้นผลการศึกษาครั้งนี้อาจไม่สามารถนำไปใช้ในเด็กสมองพิการประเภทอื่นหรือเด็กสมองพิการที่มีระดับความรุนแรงระดับอื่น ๆ ได้ ซึ่งการศึกษาต่อไปควรทำการคำนวณขนาดตัวอย่างและศึกษาในกลุ่มเด็กสมองพิการที่มีความหลากหลายของชนิดและระดับ GMFCS และพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของทรวงอกและท้องเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน เช่น optoelectronic plethysmography เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนทุนค่าธรรมเนียมการศึกษาและทุนอุดหนุนการทำวิจัย ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ และศูนย์วิจัยปวดหลัง ปวดคอ ปวดข้ออื่น ๆ และสมรรถนะของมนุษย์ (BNOJPH) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณนักกายภาพบำบัดจิตรลดา ประเสริฐบุญ ผู้อำนวยการโรงเรียนศรีสังวาลย์ขอนแก่น และสุดท้ายขอขอบพระคุณอาสาสมัครทุกท่านเสียสละเวลาที่เข้าร่วมงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Cans C, De-la-Cruz J, Mermet M-A. Epidemiology of cerebral palsy. Paediatr Child Health 2008; 18: 393-8.
2. Odding E, Roebroek ME, Stam HJ. The epidemiology of cerebral palsy: Incidence, impairments and risk factors. Disabil Rehabil. 2006; 28: 183-91.
3. Beaman J, Kalisperis FR, Miller-Skomorucha K. "The infant and child with cerebral palsy." In: Tecklin JS, editor. Pediatric physical therapy. Lippincott Williams & Wilkins; 2015. 187-211.
4. Aisen ML, Kerkovich D, Mast J, Mulroy S, Wren TA, Kay RM, et al. Cerebral palsy: clinical care and neurological rehabilitation. Lancet Neurol 2011; 10: 844-52.
5. Lampe R, Blumenstein T, Turova V, Alves-Pinto A. Lung vital capacity and oxygen saturation in adults with cerebral palsy. Patient Prefer Adherence 2014; 8: 1691-7.
6. Seddon PC, Khan Y. Respiratory problems in children with neurological impairment. Arch Dis Child 2003; 88: 75-8.

7. Proesmans M. Respiratory illness in children with disability: a serious problem?. *Breathe* 2016; 12: e97-e103.
8. Fitzgerald DA, Follett J, Van Asperen PP. Assessing and managing lung disease and sleep disordered breathing in children with cerebral palsy. *Paediatr Respir Rev* 2009; 10: 18-24.
9. Choi JY, Rha DW, Park ES. Change in pulmonary function after incentive spirometer exercise in children with spastic cerebral palsy: a randomized controlled study. *Yonsei Med J* 2016; 57: 769-75.
10. Vogt B, Falkenberg C, Weiler N, Frerichs I. Pulmonary function testing in children and infants. *Physiol Meas* 2014; 35: R59-R90.
11. Hutzler Y, Chacham A, Bergman U, Szeinberg A. Effects of a movement and swimming program on vital capacity and water orientation skills of children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1998; 40: 176-81.
12. Wang HY, Chen CC, Hsiao SF. Relationships between respiratory muscle strength and daily living function in children with cerebral palsy. *Res Dev Disabil* 2012; 33: 1176-82.
13. Stanojevic S, Wade A, Lum S, Stocks J. Reference equations for pulmonary function tests in preschool children: a review. *Pediatr Pulmonol* 2007; 42: 962-72.
14. Gibson GJ. "Lung volumes and elasticity." In: Hughes JM, Pride NB, editors. *Lung function tests: physiological principles and clinical applications*. Michigan: Saunders; 1999. 45-56.
15. Light RW. "Mechanics of respiratory." In: George RB, Light RW, Matthay MA, Matthay RA, editors. *Chest medicine: essential of pulmonary and critical care medicine*. New York: Lippincott Williams & Wilkins; 2005 26-38.
16. Lanza F de C, de Camargo AA, Archija LR, Selman JP, Malaguti C, Dal Corso S. Chest wall mobility is related to respiratory muscle strength and lung volumes in healthy subjects. *Respir Care* 2013; 58: 2107-12.
17. Malaguti C, Rondelli RR, Souza LM, Domingues M, Dal Corso S. Reliability of chest wall mobility and its correlation with pulmonary function in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Care* 2009; 54: 1703-11.
18. Fisher LR, Cawley MI, Holgate ST. Relationship between chest expansion, pulmonary function, and exercise tolerance in patients with ankylosing spondylitis. *Ann Rheum Dis* 1990; 49: 921-5.
19. Ozgocmen S, Cimen OB, Ardicoglu O. Relationship between chest expansion and respiratory muscle strength in patients with primary fibromyalgia. *Clin Rheumatol* 2002; 21: 19-22.
20. Kaneko H, Horie J. Breathing movements of the chest and abdominal wall in healthy subjects. *Respir Care* 2012; 57: 1442-51.
21. American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 518-624.
22. Miller MR, Hankinson JA, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005; 26: 319-38.
23. American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 518-624.

24. Portney LG, Watkins MP. Foundations of clinical research application to practice. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2009.
25. Silva RO, Campos TF, Borja RD, Macêdo TM, Oliveira JS, de Mendonça KM. Reference values and factors related to thoracic mobility in Brazilian children. *Rev Paul Pediatr* 2012; 30: 570-5.
26. Heinzmann-Filho JP, Vidal PC, Jones MH, Donadio MV. Normal values for respiratory muscle strength in healthy preschoolers and school children. *Respir Med* 2012; 106: 1639-46.
27. Massery M. "Multisystem consequences of impaired breathing mechanics and/or postural control." In: Frownfelter D, Dean E, editors. *Cardiovascular and Pulmonary physical therapy evidence and practice*. St. Louis: Elsevier health sciences; 2006: 695-717.
28. Massery M. "Multisystem consequences of impaired breathing mechanics and/or postural control." In: Frownfelter D, Dean E, editors. *Cardiovascular and Pulmonary physical therapy: evidence and practice*. St. Louis: Elsevier Health Sciences; 2014. 633-53.
29. Haji K, Royse A, Green C, Botha J, Canty D, Royse C. Interpreting diaphragmatic movement with bedside imaging, review article. *J Crit Care* 2016; 34: 56-65.
30. Kwon YH, Lee HY. Differences in respiratory pressure and pulmonary function among children with spastic diplegic and hemiplegic cerebral palsy in comparison with normal controls. *J Phys Ther Sci* 2015; 27: 401-3.
31. Kwon YH, Lee HY. Differences of respiratory function according to level of the gross motor function classification system in children with cerebral palsy. *J Phys Ther Sci* 2014; 26: 389-91.
32. El-Refaey BH, Abd-El Maksoud GM, Ali OI. Efficacy of feedback respiratory training on respiratory muscle strength and quality of life in children with spastic cerebral palsy: Randomized controlled trial. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy* 2017; 22: 46-52.
33. Lee HY, Cha YJ, Kim K. The effect of feedback respiratory training on pulmonary function of children with cerebral palsy: a randomized controlled preliminary report. *Clin Rehabil* 2014; 28: 965-71.