

การวัดปริมาตรปอดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า เพื่อทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ ระหว่างการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันระยะฟื้นตัว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอายุรศาสตร์ ภาควิชาอายุรศาสตร์
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Electrical Impedance Tomography monitoring for predicting lung collapse after
Positive End Expiratory Pressure decrement in recovering Acute Respiratory Distress
Syndrome



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Medicine
Department of Medicine
FACULTY OF MEDICINE
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดปริมาณปอดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า เพื่อทำนาย การเกิดถุงลมปอดแฟบ ระหว่างการลดแรงดันบวกในระยะ สิ้นสุดการหายใจออก ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลว เฉียบพลันระยะฟื้นตัว
โดย	นายธันยวีร์ เสริมแก้ว
สาขาวิชา	อายุรศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แพทย์หญิงณัฏฐ์ผลิกา กองพลพรหม

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์สุทธิพงษ์ วัชรสินธุ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ขจร ตรีรัตนากุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แพทย์หญิงณัฏฐ์ผลิกา กองพลพรหม)

..... กรรมการ
(อาจารย์ นายแพทย์เอกราช อริยะชัยพาณิชย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์พูนทรัพย์ วงศ์สุรเกียรติ)

ฉันทวีร์ เสริมแก้ว : การวัดปริมาตรปอดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า เพื่อทำนายการเกิดถุงลมปอด
แฟบ ระหว่างการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลว
เฉียบพลันระยะฟื้นตัว. (Electrical Impedance Tomography monitoring for predicting lung
collapse after Positive End Expiratory Pressure decrement in recovering Acute Respiratory
Distress Syndrome) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. พญ.ณัฏฐ์ผลิกา กองพลพรหม

ที่มา: การลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก(PEEP)ในผู้ป่วยทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันระยะฟื้นตัว(recovering ARDS) หาก
ทำด้วยความไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดภาวะถุงลมปอดแฟบ(lung collapse) ออกซิเจนในเลือดต่ำและหย่าเครื่องช่วยหายใจไม่สำเร็จ การวัดปริมาตรปอดที่
ลดลงจากการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ(EELV changes) สามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบได้ การใช้เครื่องวัด
ความต่างศักย์ไฟฟ้า(EIT)สามารถวัดปริมาตรปอดได้แม่นยำใกล้เคียงกับเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน จึงนำมาศึกษาเพื่อใช้ในการทำนายภาวะถุง
ลมปอดแฟบหลังลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก

วิธีการศึกษา: ทำการศึกษาโดย prospective interventional study ในผู้ป่วยทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันระยะฟื้นตัว คือ มีค่า PF
ratio ≥ 150 mmHg และ PEEP ≥ 8 cmH₂O ทำการวัดปริมาตรปอดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ nitrogen washin-washout technique (EELV) วัดปริมาตร
ปอดโดยใช้เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า(delta EELI global) และพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เวลา 5 นาที 30 นาที และ 120 นาที ภายหลังจากลด PEEP 2 cmH₂O
เพื่อทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ คือ SpO₂ ลดลง $\geq 3\%$ หรือ PaO₂ ลดลง $\geq 10\%$ ผลการศึกษาหลักคือการใช้พารามิเตอร์ของ EIT ทำนายการเกิดถุงลม
ปอดแฟบภายใน 120 นาทีภายหลังการลด PEEP ผลการศึกษารองคือศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการวัดปริมาตรปอดจากทั้ง 2 วิธีและพารามิเตอร์อื่นๆที่
สามารถนำมาใช้ในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบได้

ผลการศึกษา: ทำการศึกษาทั้งหมด 27 หัตถการในผู้ป่วย 12 ราย ทั้งหมดมีสาเหตุจากปอดอักเสบ มีค่า PF ratio เฉลี่ย 256.5 mmHg พบ
การเกิดถุงลมปอดแฟบ 14 ครั้ง (51.8%) ปริมาตรปอดวัดโดย EIT (Δ EELI global) ที่เวลา 5 นาทีหลังการลด PEEP ไม่สามารถนำมาใช้ทำนายการเกิดถุงลม
ปอดแฟบได้ แต่ปริมาตรปอดที่วัดโดยเครื่องช่วยหายใจ (% Δ EELV) ที่เวลา 5 นาทีและ 30 นาทีภายหลังการลด PEEP สามารถนำมาใช้ทำนายการเกิดถุงลม
ปอดแฟบได้โดยใช้จุดตัด 10% และ 7% โดยมี odd ratio 12.5 และ 7.5 ตามลำดับ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการวัดปริมาตรปอดจาก 2 วิธี ($r=0.002$) ทำ
การวิเคราะห์ภายหลัง (post hoc analysis) พบว่า การลดความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง (EELI slope
decline at the dorsal part of the lung) ที่เวลา 5 นาทีเป็นปัจจัยทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบที่ดีที่สุด มีความไว 85.7% ความแม่นยำ 76.2% โดยมี odd
ratio 20

สรุป: การใช้ EIT ระหว่างการลด PEEP ในผู้ป่วยทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันระยะฟื้นตัว การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดวัดโดย Δ EELI
global ไม่สามารถนำมาใช้ทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบได้ และไม่มีความสัมพันธ์กับการวัดปริมาตรปอดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ (EELV) แต่พบว่าการลด
ความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง (EELI slope decline at the dorsal part of the lung) สามารถนำมาใช้
ทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบได้โดยมีความไวและความแม่นยำที่ดี

สาขาวิชา อายุรศาสตร์
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ นิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6270040330 : MAJOR MEDICINE

KEYWORD: recovering ARDS PEEP decrement Lung volume EIT

Thunyawee Sermkaew : Electrical Impedance Tomography monitoring for predicting lung collapse after Positive End Expiratory Pressure decrement in recovering Acute Respiratory Distress Syndrome. Advisor: Asst. Prof. Napplika Kongpolprom, M.D.

Background: Positive end-expiratory pressure (PEEP) decrement in recovering acute respiratory distress syndrome (ARDS) patients may cause alveolar de-recruitment and worsen lung injury. Appropriate strategy for PEEP-weaning remains unclear. Our previous study showed that early changes of end expiratory lung volume (EELV) measured by a nitrogen washin-washout technique well predicted lung collapse after PEEP decrement. However, the feasibility of this technique is limited. Electrical impedance tomography (EIT) is a simpler tool for EELV measurement. This study aimed to evaluate EIT-parameters that could predict lung collapse from PEEP reduction.

Methods: We conducted a prospective interventional study which recovering ARDS patients with PF ratio ≥ 150 mmHg and PEEP ≥ 8 cmH₂O were recruited. We measured lung mechanic parameters and EELV by EIT and the nitrogen washin-washout technique at baseline, 5, 30 and 120 minutes after 2 cmH₂O PEEP reduction. Lung collapse, defined as the decreased SpO₂ by $\geq 3\%$ or decreased PaO₂ by $\geq 10\%$, was observed. The primary outcome was predictive parameters for lung collapse during a 120-minute period after PEEP reduction. The secondary outcomes were the correlation of EELV measured by EIT and the nitrogen washin-washout technique and other parameters possibly predicting lung collapse.

Results: A total of 27 PEEP decrement procedures were performed in 12 patients. All patients had pneumonia-ARDS with the mean PF ratio of 256.5 mmHg. There were 14(51.8%) lung collapse events occurring. The change of global EELI (Δ EELI global) measured by EIT at 5th minute after PEEP reduction was not associated with lung collapse while the changes of EELV (% Δ EELV) at 5th and 30th minutes were associated with lung collapse. At cut-off levels of EELV decrease by 10% and 7% at 5th and 30th minutes, the odd ratios for lung collapse were 12 and 7.5, respectively. There was no correlation between EELV changes measured by EIT and the nitrogen washin-washout technique ($r=0.002$). Moreover, post hoc analysis found that the presence of EELI slope decline at the dorsal part of the lung at 5 minutes was the best predictor for lung collapse with 85.7% sensitivity, 76.2% specificity and the odd ratio of 20.

Conclusions: Using EIT monitoring during the PEEP reduction procedure in recovering ARDS, the changes of global EELI could not predict lung collapse events and had no correlation to the EELV changes. The presence of EELI slope decline at the dorsal part of the lung predicted lung collapse with good sensitivity and specificity.

Field of Study: Medicine

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับความกรุณาให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก
อาจารย์แพทย์หญิงณัฏฐิณี พลิกากองพลพรหม

อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือที่ดีต่อข้าพเจ้าตลอดมาตั้งแต่เริ่มต้นทำ
วิจัยจนสำเร็จลุล่วง

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณผู้ป่วยซึ่งเข้าร่วมวิจัยทุกท่าน พยาบาล และเจ้าหน้าที่ประจำหอ
ผู้ป่วยวิกฤติอายุรกรรม รพ.จุฬาลงกรณ์

ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลการวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา

ธันยวีร์ เสริมแก้ว



สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ และ ที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 คำถามการวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐาน.....	3
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.8 ข้อพิจารณาด้านจริยธรรม.....	4
1.9 ข้อจำกัดในการวิจัย.....	4
1.10 อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการศึกษาวิจัยและมาตรการในการแก้ไข.....	4
บทที่ 2 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	14
3.1 รูปแบบการวิจัย (RESEARCH DESIGN).....	14

3.2 ระเบียบวิธีวิจัย (RESEARCH METHODOLOGY).....	14
3.3 การให้คำนิยามเชิงปฏิบัติที่ใช้ในการวิจัย.....	15
3.4 การสังเกตและการวัด.....	15
3.5 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	16
3.6 การรวบรวมข้อมูล.....	17
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	19
4.1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้ารับการศึกษ.....	19
4.2 ผลการวิจัยหลัก.....	22
4.3 ผลการวิจัยรอง.....	23
4.3.1 ตัวแปรอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ	23
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรปอดจากการวัดด้วยวิธีใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า กับการวัด ปริมาตรปอดด้วยวิธีใช้ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen washout/washin technique) โดย เครื่องช่วยหายใจ	26
การวิเคราะห์ภายหลัง (Post hoc analysis).....	26
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ.....	29
5.1 อภิปรายผล.....	29
5.2 ข้อจำกัดของการศึกษา.....	32
5.3 บทสรุป	32
5.4 ข้อเสนอแนะ	32
บรรณานุกรม.....	33
ประวัติผู้เขียน.....	37

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตัวแปรทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาทีหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก	12
ตารางที่ 2 ตัวแปรทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาทีหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก (Univariate analysis).....	13
ตารางที่ 3 การรวบรวมข้อมูล.....	18
ตารางที่ 4 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยที่เข้ารับการศึกษา (Baseline characteristic).....	20
ตารางที่ 5 หัตถการทั้งหมดและการเกิดถุงลมปอดแฟบ	21
ตารางที่ 6 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยที่เข้ารับการศึกษา แบ่งตามการเกิดปอดแฟบ	21
ตารางที่ 7 cut-off value of Δ EELI global at 5 minutes for predicting lung collapse	22
ตารางที่ 8 Area under the curve (AUC) of all parameters	23
ตารางที่ 9 ผลการศึกษาของ ตัวแปรอื่นๆ ที่ใช้ทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาทีหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก	24
ตารางที่ 10 cut-off value of Δ EELV at 5 minutes and 30 minutes for predicting lung collapse	25
ตารางที่ 11 cut-off value of $\% \Delta$ EELV for predicting lung collapse.....	25
ตารางที่ 12 แสดงค่าความไว ความจำเพาะ ค่าทำนายผลบวกและค่าทำนายผลลบ ของ การลดลงของปริมาตรปอดต่อการเกิดถุงลมปอดแฟบ	26
ตารางที่ 13 การลดความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง (EELI slope decline at the dorsal part of the lung) และการเกิดถุงลมปอดแฟบ	27
ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชัน ของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอด กับการเกิดถุงลมปอดแฟบ	27
ตารางที่ 15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแปรในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ	28

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบการศึกษา ที่เกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณโปรตีนจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique และการใช้ความต้งศักย์ไฟฟ้า 30



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย	3
รูปที่ 2 Hysteresis จาก PV curve.....	6
รูปที่ 3 Lung ultrasound แสดง lung aeration และ lung ultrasound score	7
รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ EIT ที่ผนังหน้าอกผู้ป่วย.....	8
รูปที่ 5 ความแตกต่างของ impedance ของส่วนประกอบต่างๆภายในช่องอก.....	9
รูปที่ 6 EIT PEEP titration แสดง cumulative collapse and overdistension	10
รูปที่ 7 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	17
รูปที่ 8 ผู้ป่วยที่รวบรวมเข้าสู่การศึกษา.....	19
รูปที่ 9 ROC curve of Δ EELI global at 5 minutes for predicting lung collapse.....	22
รูปที่ 10 ROC curve of Δ EELV at 5 minutes(Left) and 30 minutes(Right) for predicting lung collapse	24
รูปที่ 11 Blant Altman plot ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดปริมาตรปอดโดย โดยคำนวณจาก Δ EELI global x Tidal volume (mL) และวัดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ Δ EELV (mL) ซ้าย ที่เวลา 5 นาที ขวา ที่เวลา 30 นาที.....	26
รูปที่ 12 กราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า.....	27
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า กับการเปลี่ยนแปลง ปริมาตรถุงลมปอด PEEP 10: derecruitment, PEEP 15: recruitment, PEEP 20 optimum PEEP.....	31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และ ที่มาของปัญหาการวิจัย

ภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน Acute respiratory distress syndrome (ARDS) เกิดอาการขึ้นภายในระยะเวลา 7 วัน เกิดจากการที่ร่างกายหลังการอักเสบมีผลทำให้มีการรั่วของของเหลวจำพวกโปรตีนจากหลอดเลือดแดงฝอยเข้าสู่ถุงลมปอด ทำให้ถุงลมมีอากาศลดน้อยลง เกิดภาวะถุงลมปอดแฟบ ภาพเอกซเรย์ปอดมีความผิดปกติทั้งสองข้าง ที่ไม่อธิบายด้วยน้ำในเยื่อหุ้มปอด ก้อน หรือภาวะสารน้ำในหลอดเลือดแดงเกิน และเกิดภาวะพร่องออกซิเจนในเลือดแดงอย่างมาก มีอัตราส่วนออกซิเจนในเลือดแดงต่อความเข้มข้นของออกซิเจน ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 300 มิลลิเมตรปรอท เมื่อใช้แรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 เซนติเมตรน้ำ¹

ผู้ป่วยทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันมักต้องได้รับการรักษาโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ ซึ่งอาจนำมาสู่การบาดเจ็บของปอดเพิ่มเติมอันเป็นผลมาจากเครื่องช่วยหายใจได้ จึงมีการแนะนำแนวทางการตั้งเครื่องช่วยหายใจเพื่อลดการบาดเจ็บของปอด ได้แก่ การเฝ้าระวังความดันระยะสิ้นสุดการหายใจเข้า (plateau pressure) ควบคุมการหายใจโดยใช้ปริมาตรน้อย (low tidal volume) และการตั้งแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก Positive end expiratory pressure (PEEP) ให้เหมาะสม²

การรักษาโดยการใช้แรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก (PEEP) ช่วยถ่วงขยายถุงลมเพิ่มปริมาตรปอด และเพิ่มออกซิเจนในเลือดแดง การตั้งแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกที่มากเกินไปจะทำให้ปอดขยายตัวมากเกินไป (Overdistension) ไปและได้รับอันตรายเกิดภาวะลมรั่วในเยื่อหุ้มปอด แต่หากได้รับแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกที่น้อยเกินไปจะทำให้ปอดแฟบและออกซิเจนในเลือดต่ำ³

เมื่อผู้ป่วยทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันเข้าสู่ระยะฟื้นตัว การดูแลรักษาคือเริ่มต้นการหย่าเครื่องช่วยหายใจ และลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก (PEEP) ลง ซึ่งการปรับลดแรงดันลงโดยไม่เหมาะสมกับผู้ป่วยอาจมาสู่ภาวะถุงลมปอดแฟบ ทำให้ผู้ป่วยที่อยู่ในระยะฟื้นตัวมีออกซิเจนในเลือดต่ำ ทำให้การหย่าเครื่องช่วยหายใจทำได้ไม่สำเร็จ

การวัดปริมาตรปอดที่เพิ่มขึ้นภายหลังจากเพิ่มแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกสามารถนำมาใช้ในการบอกระดับแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกที่เหมาะสมได้ โดยการวัดปริมาตรปอดมีหลายวิธี เอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์เป็นวิธีมาตรฐาน แต่ใช้ค่าใช้จ่ายสูง ต้องมีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และมีความเสี่ยงในการได้รับรังสี⁴ นอกจากนี้ยังสามารถทำได้โดยการวัดปริมาตรปอดจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique เพื่อวัด Functional residual capacity (FRC) หรือ End expiratory lung volume (EELV)⁵ คือปริมาตรปอดที่เหลือภายหลังจากหายใจออกสุด รวมถึงการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า Electrical impedance tomography (EIT)⁶

จากการศึกษาโดยการใช้การวัดปริมาตรปอดจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique เพื่อวัด End expiratory lung volume (EELV) พบว่าการลดลง

ของปริมาตรปอดสามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบจากการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกได้⁵

การวัดปริมาตรปอดด้วยวิธีวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า Electrical impedance tomography (EIT) เป็นการวัดปริมาตรปอดที่ปลอดภัย ไม่ต้องเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนมาใช้เครื่องช่วยหายใจพิเศษเพื่อวัดปริมาตรปอดโดย Nitrogen washout/washin technique และยังพบว่า การวัดปริมาตรปอดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า Electrical impedance tomography (EIT) เพื่อวัด End expiratory lung impedance (EELI) มีความแม่นยำใกล้เคียงกับการวัดปริมาตรปอดโดยเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน⁷

เนื่องจากการใช้การวัดปริมาตรปอดด้วยวิธีวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า Electrical impedance tomography (EIT) มีข้อดีกว่าวิธีอื่น ๆ คือสามารถทำได้ข้างเตียงผู้ป่วย และสามารถวัดค่าได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา และยังไม่มีการศึกษาการใช้ EIT เพื่อลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกในผู้ป่วย ARDS ระยะฟื้นตัวมาก่อน ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการวัดปริมาตรปอดด้วย End expiratory lung impedance (EELI) เพื่อศึกษาว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดจากการวัด EELI ระหว่างการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก จะสามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบในผู้ป่วย ARDS ระยะฟื้นตัว ได้หรือไม่

1.2 คำถามการวิจัย

1.2.1 คำถามหลัก (PRIMARY RESEARCH QUESTION)

การวัดปริมาตรปอดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า หลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก 2 เซนติเมตรน้ำ เป็นเวลา 5 นาที สามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก ที่เวลา 30 นาทีและ 120 นาที ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันในระยะฟื้นตัว ได้หรือไม่

1.2.2 คำถามรอง (SECONDARY RESEARCH QUESTION)

1. ปริมาตรปอดที่วัดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า (EELI) มีความสัมพันธ์กับการวัดปริมาตรปอดที่วัดด้วยวิธีใช้ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen washout/washin technique) โดยใช้เครื่องช่วยหายใจ (EELV) อย่างไร

2. มีตัวแปรอื่น ๆ อีกหรือไม่ที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ ระหว่างการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันได้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อศึกษาการวัดปริมาตรปอดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ ระหว่างการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันระยะฟื้นตัว

1.3.2 วัตถุประสงค์รอง

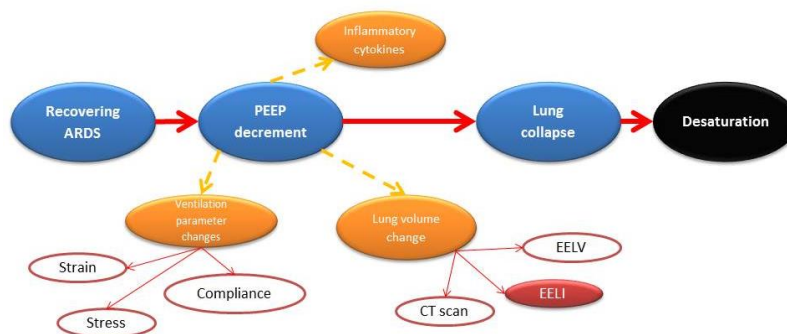
1. เพื่อศึกษาตัวแปรอื่นๆที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ ระหว่างการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันระยะฟื้นตัว
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรปอดจากการวัดด้วยวิธีใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า กับ การวัดปริมาตรปอดด้วยวิธีใช้ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen washout/washin technique) โดยเครื่องช่วยหายใจ ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันระยะฟื้นตัว

1.4 สมมติฐาน

หลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก 2 เซนติเมตรน้ำ เป็นเวลา 5 นาที หากพบปริมาตรปอดที่วัดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า (EELI) ลดลงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะเกิดภาวะถุงลมปอดแฟบที่ 30 นาที และ 120 นาที

1.5 กรอบแนวคิดของการวิจัย

รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น CHULALONGKORN UNIVERSITY

- 1.6.1 ผู้ป่วยทุกคนได้รับการรักษาอื่นๆ เหมาะสมตามความเห็นของแพทย์เจ้าของไข้
- 1.6.2 ผู้ป่วยทุกคนได้รับการรักษาในระยะ acute phase ตามมาตรฐานการดูแลผู้ป่วยกลุ่มทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลัน โดยการตั้งเครื่องช่วยหายใจตาม lung protective strategy ให้ปริมาตรอากาศเข้าสู่ปอดน้อย (6-8 มิลลิลิตร/ กิโลกรัมของน้ำหนักการคำนวณ) ระดับแรงดันในถุงลมปอด plateau pressure (Pplat) น้อยกว่า 30 เซนติเมตรน้ำ และได้รับการใส่สายสวนหลอดเลือดแดงเพื่อการส่งตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง และลดความถี่ที่ผู้ป่วยจะต้องถูกเจาะเลือดบ่อย
- 1.6.3 ยาและการรักษาอื่นๆ ไม่มีผลต่อการวัดปริมาตรปอด

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบว่าสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงปริมาณปอดระหว่างการลดแรงดันปอดที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก ด้วยวิธีวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า Electrical impedance tomography (EIT) เป็นแนวทางในการตัดสินใจลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกและลดการเกิดปอดแฟบได้หรือไม่

1.8 ข้อพิจารณาด้านจริยธรรม

1.8.1 หลักความเคารพในบุคคล (Respect for person): ผู้ป่วยทุกราย ผู้ที่ได้รับเชิญให้เข้าร่วมการวิจัย / ผู้แทน หรือผู้ดูแล จะได้รับข้อมูลการวิจัยอย่างครบถ้วนจนเข้าใจเป็นอย่างดีและตัดสินใจอย่างอิสระในการให้ความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย โดยมีกระบวนการขอความยินยอมดังที่จะกล่าวต่อไป โดยที่ protocol การทำวิจัยได้จัดส่งให้คณะกรรมการจริยธรรมพิจารณาแล้ว

1.8.2 หลักการให้ประโยชน์ ไม่ก่อให้เกิดอันตราย (Beneficence/Non-maleficence): หากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินปอดแฟบในผู้ป่วยจะได้รับการช่วยเหลือทันทีโดยการเพิ่มระดับ PEEP ให้เท่ากับหรือมากกว่าก่อนทำการศึกษา และ/หรือเพิ่มความเข้มข้นออกซิเจนจนกว่าจะได้ระดับออกซิเจนในเลือดเท่ากับก่อนเริ่มการศึกษา

1.8.3 การรักษาความลับของผู้ป่วย: โดยในแบบบันทึกข้อมูลจะไม่มี identifier ที่จะระบุถึงตัวผู้ป่วย ไม่มีการเปิดเผยชื่อผู้ป่วย โดยผู้วิจัยเก็บชื่อ และ hospital number ระหว่างการดำเนินการวิจัยเพื่อการติดตามข้อมูลระหว่างการทำการศึกษา เท่านั้น และไม่มีการทำ intervention ต่อผู้ป่วยนอกเหนือจากการรักษาตามมาตรฐานทางการแพทย์ทั่วไป

1.8.4 หลักยุติธรรม: มีเกณฑ์การคัดเลือกและออกซ์ชัน

1.9 ข้อจำกัดในการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ป่วยทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน มักมาด้วยอาการรุนแรงและเกิดโรคร่วมในระบบอื่นๆด้วย อัตราการเสียชีวิตสูง จึงมีผู้ป่วยจำนวนมากเสียชีวิตหรือมีอาการรุนแรงเกินกว่าจะเข้าร่วมการศึกษา ทำให้จำนวนผู้เข้าร่วมการศึกษามีจำกัด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา มีจำนวนจำกัด หากมีผู้ป่วยที่เข้าเกณฑ์การศึกษามากเกินกว่าอุปกรณ์ที่มีในเวลาพร้อมกัน จะไม่สามารถเข้าสู่การศึกษาได้

1.10 อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัยและมาตรการในการแก้ไข

การวัดปริมาณปอดทั้ง 2 วิธีอาจให้ค่าคลาดเคลื่อนได้จากปัญหาทางเทคนิค การแก้ไข ทำการควบคุมปัจจัยกวนที่ส่งผลต่อการวัดปริมาณปอด เช่น ไม่ให้มีการเปลี่ยนท่าระหว่างทำการศึกษา ไม่ให้มีการดูดเสมหะ การวัดปริมาณปอดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ กำหนดให้มีการวัดค่า 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย การวัดปริมาณปอดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า เลือกใช้ค่าในตำแหน่งที่ไม่มีการแกว่งทำการศึกษาโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว เพื่อลดโอกาสคลาดเคลื่อนจากปัจจัยบุคคล

บทที่ 2

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน Acute respiratory distress syndrome (ARDS) เกิดอาการขึ้นภายในระยะเวลา 7 วัน เกิดจากการที่ร่างกายหลังการอักเสบมีผลทำให้มีการรั่วของของเหลวจำพวกโปรตีนจากหลอดเลือดแดงฝอยเข้าสู่ถุงลมปอด ทำให้ถุงลมนี้อากาศลดน้อยลง เกิดภาวะถุงลมปอดแฟบ ภาพเอกซเรย์ปอดมีความผิดปกติทั้งสองข้าง ที่ไม่อธิบายด้วยน้ำในเยื่อหุ้มปอด ก้อน หรือภาวะสารน้ำในหลอดเลือดแดงเกิน และเกิดภาวะพร่องออกซิเจนในเลือดแดงอย่างมาก มีอัตราส่วนออกซิเจนในเลือดแดงต่อความเข้มข้นของออกซิเจน ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 300 มิลลิเมตรปรอท เมื่อใช้แรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 เซนติเมตรน้ำ¹

ผู้ป่วยทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันมักต้องได้รับการรักษาโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ ซึ่งอาจนำมาสู่การบาดเจ็บของปอดเพิ่มเติมอันเป็นผลมาจากเครื่องช่วยหายใจได้ จึงมีการแนะนำแนวทางการตั้งเครื่องช่วยหายใจเพื่อลดการบาดเจ็บของปอด ได้แก่ การเฝ้าระวังความดันระยะสิ้นสุดการหายใจเข้า (plateau pressure) ควบคุมการหายใจโดยใช้ปริมาตรน้อย (low tidal volume) และการตั้งแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก Positive end expiratory pressure (PEEP) ให้เหมาะสม²

การรักษาโดยการใช้แรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก (PEEP) ช่วยถ่วงขยายถุงลมเพิ่มปริมาตรปอด และเพิ่มออกซิเจนในเลือดแดง การตั้งแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกที่มากเกินไปจะทำให้ปอดขยายตัวมากเกินไป (Overdistension) ไปและได้รับอันตรายเกิดภาวะลมรั่วในเยื่อหุ้มปอด แต่หากได้รับแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกที่น้อยเกินไปจะทำให้ปอดแฟบและออกซิเจนในเลือดต่ำ³

การประเมิน การเพิ่มขึ้นของปริมาตรปอดหลังการได้รับแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกที่เหมาะสม (PEEP induced recruitment) ในผู้ป่วย ARDS สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การทำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ปอด (chest computerized tomography) วิธี pressure-volume curve การทำอัลตราซาวด์ปอด การวัดปริมาตรปอดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจใช้ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen washout/washin technique) หรือโดยใช้เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (electrical impedance tomography) มีการศึกษาของแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

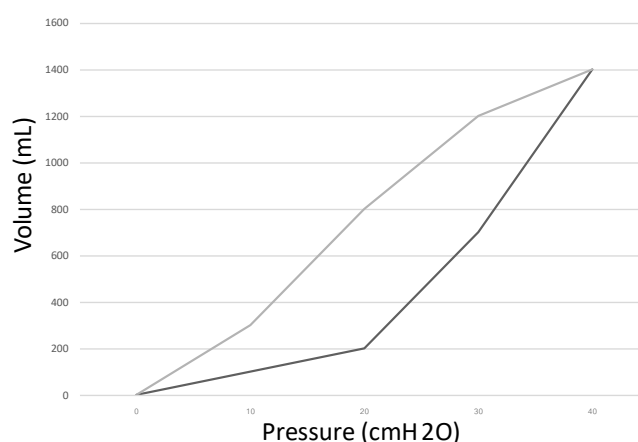
การประเมินโดยการทำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ปอด ทำการศึกษาโดย Gattinoni และคณะ ในปี 2006⁴ ศึกษาผู้ป่วย ARDS ใช้เครื่องช่วยหายใจ มีค่า $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ไม่เกิน 300 ทั้งหมด 68 ราย ทำการศึกษาโดย ทำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ขณะที่ผู้ป่วยได้รับแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก 5, 15 และ 45 เซนติเมตรน้ำ ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์แยกสัดส่วนของปอด โดยดูจากความหนาแน่นซึ่งวัดโดย Hounsfield unit คือ ปอดที่ไม่มีอากาศ(non-aerated) มีค่า +100 ถึง -100 Hounsfield unit มีอากาศเล็กน้อย(poorly aerated) มีค่า -101 ถึง -500 Hounsfield unit มีอากาศปกติ(normally aerated) มีค่า -501 ถึง -900 Hounsfield unit หรือปอดที่มีอากาศมากเกินไป(hyperinflated) มีค่า -901 ถึง -1000 Hounsfield unit การประเมิน recruitability คือ

การพบว่ามีส่วนที่สามารถเปลี่ยนแปลงจาก non-aerated เป็น aerated ได้ (ในการศึกษานิยามว่าเป็น potentially recruitable lung) จากการเพิ่ม PEEP จาก 5 เป็น 15 เซนติเมตรน้ำ เทียบกับน้ำหนักของปอดโดยรวม จากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่ม PEEP จาก 5 เป็น 15 เซนติเมตรน้ำ สัดส่วนของ potentially recruitable lung เทียบกับน้ำหนักของปอดทั้งหมด มีค่าหลากหลายตั้งแต่ร้อยละ 50 และสัดส่วนของ potentially recruitable lung มีความสัมพันธ์กับ lung recruitment (คือ การมี PaO₂/FiO₂ ดีขึ้น, มี dead space ลดลง หรือ มี respiratory system compliance ที่ดีขึ้นจากการเพิ่ม PEEP)

การประเมิน PEEP induced recruitment โดยใช้ pressure volume curve (PV curve) มีการศึกษาหลายการศึกษา Richard และคณะ ทำการศึกษาในปี 2003⁸ ในผู้ป่วย acute lung injury จำนวน 15 ราย ทำการศึกษาโดยสร้าง PV curve เริ่มต้นจาก PEEP ที่ระดับ 0 เซนติเมตรน้ำ ไปจนถึง PEEP ระดับสูง แล้วแบ่งผู้ป่วยออกเป็น 3 กลุ่มตามการตั้งเครื่องช่วยหายใจตามลักษณะของ PV curve คือ กลุ่มที่ 1 ใช้ vital volume 6 ml/kg และ PEEP ที่จุดที่กราฟเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความชัน (lower inflection point) กลุ่มที่ 2 ใช้ vital volume 10 ml/kg และ PEEP ที่จุดที่กราฟเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความชัน (lower inflection point) กลุ่มที่ 3 คือใช้ใช้ vital volume 6 ml/kg และ high PEEP พบว่า กลุ่มที่ 3 คือ high PEEP จะมี recruitment (ประเมินโดย PaO₂) ดีกว่ากลุ่มอื่นๆที่ PEEP อยู่ที่ระดับ lower inflection point ของ PV curve

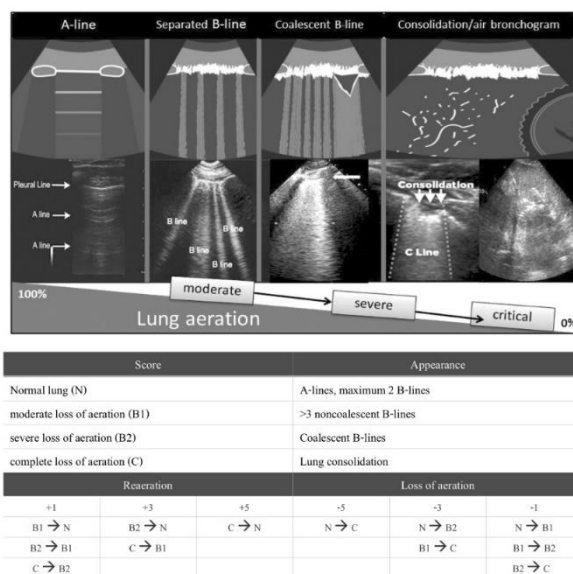
การศึกษาของ Demory ในปี 2008⁹ ทำการศึกษาในผู้ป่วย ARDS 26 รายที่เข้ารับการรักษาภายใน 24 ชั่วโมงแรก สร้าง PV curve ขณะหายใจเข้าและหายใจออก (inflation and deflation) โดย PEEP ตั้งแต่ 0-40 เซนติเมตรน้ำ และทำ recruitment maneuver โดยการใช้ PEEP 40 เซนติเมตรน้ำเป็นเวลา 10 วินาที คำนวณ hysteresis volume (รูปที่ 2) โดยคิดพื้นที่ภายในกราฟ hysteresis ทหารด้วยน้ำหนักตัว(predicted body weight) และคำนวณปริมาตรปอดที่เพิ่มจากการทำ recruitment maneuver โดยการเปรียบเทียบ PV curve ก่อนและหลัง recruitment maneuver จะพบว่า พบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่าง hysteresis volume กับปริมาตรปอดที่เพิ่มขึ้นจากการทำ recruitment maneuver (R=0.81, p<0.001) หมายถึงการดู hysteresis จาก PV curve สามารถนำมาใช้ประเมิน recruitability ได้

รูปที่ 2 Hysteresis จาก PV curve



การใช้อัลตราซาวด์ในการประเมิน PEEP induced recruitment จากการศึกษาของ Bouhemad และคณะในปี 2011¹⁰ ทำการศึกษาในผู้ป่วย ARDS 30 รายและ acute lung injury 10 ราย เปรียบเทียบ PEEP induced recruitment จากวิธีอัลตราซาวด์กับวิธี PV curve การทำอัลตราซาวด์ ประเมิน aeration score ของปอดแต่ละส่วนเป็น 4 รูปแบบ คือ normal aeration (N) moderate loss of aeration คือ มี well-defined B line (B1 lines) severe loss of aeration คือ มี coalescent B line (B2 lines) และ consolidation (C) และคำนวณเป็น lung ultrasound score ดังแสดงในรูปที่ 3 รวมคะแนนจากการทำอัลตราซาวด์ของปอดทั้งสองข้าง 12 ส่วน พบว่า หาก lung ultrasound score เพิ่มขึ้น 8 คะแนน หรือมากกว่า สัมพันธ์กับ PEEP induced recruitment 600 มิลลิลิตร หรือมากกว่า และ lung ultrasound score เพิ่มขึ้นไม่เกิน 4 คะแนน สัมพันธ์กับ PEEP induced recruitment 75-450 มิลลิลิตร

รูปที่ 3 Lung ultrasound แสดง lung aeration และ lung ultrasound score

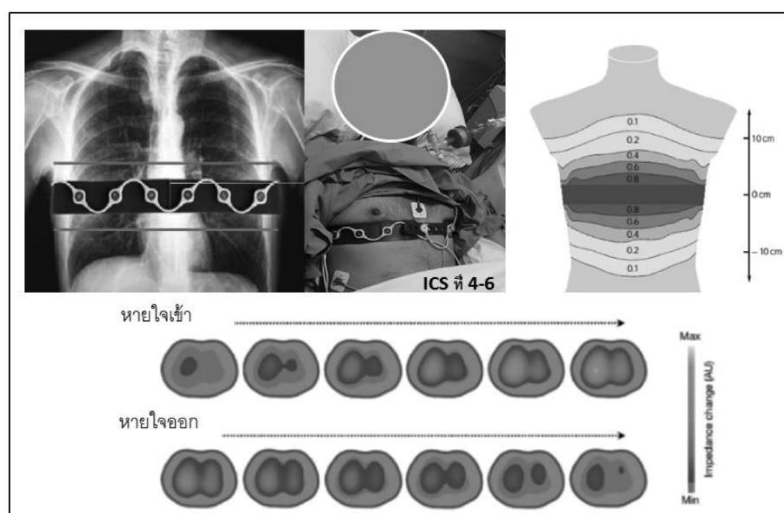


การประเมิน PEEP induced recruitment โดยใช้การวัดปริมาตรปอด Functional residual capacity (FRC) จากการศึกษาของ Lambermont และคณะในปี 2008¹¹ ศึกษาในสัตว์ทดลองที่ถูกกระตุ้นให้เกิดภาวะ ARDS วัดปริมาตรปอดโดยเครื่องช่วยหายใจใช้ nitrogen washout technique พบว่าหลังให้แรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจ 20 เซนติเมตรน้ำ จะเพิ่มปริมาตรปอดได้ 6.2-19.7 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม รวมทั้งเพิ่มระดับออกซิเจนในเลือดและเพิ่มความยืดหยุ่นของปอดด้วย และเมื่อลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจลงก็พบว่าปริมาตรปอดและความยืดหยุ่นของปอดลดลงเช่นกัน พบความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนในเลือดกับปริมาตรปอด ($p < 0.05$ $r^2 = 0.53$) และปริมาตรปอด กับความยืดหยุ่นของปอด ($p < 0.05$ $r^2 = 0.26$)

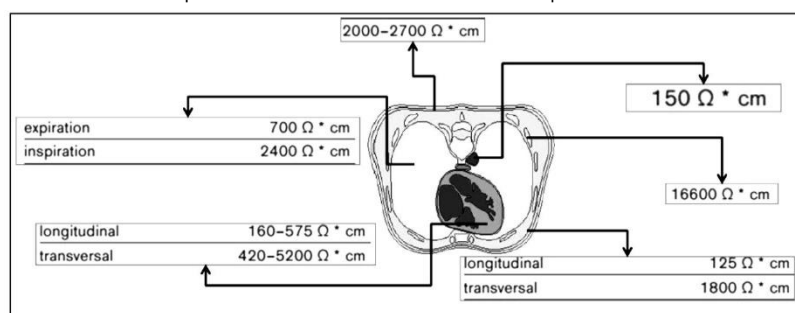
ในปี 2011 Dellamonica ศึกษาผู้ป่วย ARDS ในหอผู้ป่วยวิกฤติ 30 คน⁵ โดยผู้ป่วยจะได้ PEEP สองระดับ ระดับละ 45 นาที วัดปริมาตรปอดภายหลังสิ้นสุดการหายใจออก (EELV) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen washout/washin technique) เพื่อศึกษา PEEP induced recruitment volume ผลการศึกษาพบว่าปริมาตรปอดที่เพิ่มขึ้นจากผลของแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกเท่ากับ 272 [187–355] มิลลิลิตร, Δ EELV/FRC ในผู้ป่วยที่มีโอกาสปอดเปิดสูง (high recruitability) มีค่ากลางเท่ากับ 110% [76–135] เทียบกับกลุ่มที่มีโอกาสปอดเปิดน้อย (low recruitability) มีค่ากลางเท่ากับ 55% [23–70], $p = 0.001$, และถ้าใช้ค่า Δ EELV/FRC $\geq 73\%$ มี sensitivity = 80%, specificity = 80%, positive likelihood ratio = 4.0, negative likelihood ratio = 0.25 ในการบ่งชี้ว่าอยู่ในกลุ่มที่มีโอกาสปอดเปิดสูง (high recruitability) สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดสามารถนำมาใช้ทำนายการตอบสนองต่อแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจได้

การประเมิน PEEP induced recruitment โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า Electrical impedance tomography (EIT) โดย EIT มีหลักการทำงานคือเป็นการวัด electrical bioimpedance ในส่วนของร่างกายที่ต้องการศึกษา โดยใช้ electrode 16 ชั้น (หรืออาจมี 32 ชั้นแล้วแต่ผู้ผลิต) ติดตั้งบนเข็มขัด แล้วนำมาติดตั้งที่บริเวณหน้าอกของผู้ป่วย และมี electrode 1 ชั้น ติดตั้งที่หน้าท้อง เพื่อเป็นตำแหน่งอ้างอิง¹² ดังแสดงในรูปที่ 4 การสร้างภาพถ่ายของ EIT ทำโดยหลักการที่ว่า ส่วนประกอบภายในช่องอกที่แตกต่างกันย่อมมีการกระจายของ bioimpedance ที่แตกต่างกัน เช่น บริเวณที่ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนมาก หรือมีเซลล์ขนาดใหญ่ หรือมี electrolyte ความเข้มข้นสูง จะลด impedance ในขณะที่ บริเวณที่ประกอบด้วยไขมัน กระดูกหรืออากาศ จะเพิ่ม impedance ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงพยาธิสภาพภายในช่องอก เช่น การเกิด pleural effusion, lung fibrosis, alveolar fluid เป็นต้น ย่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ bioimpedance ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์วัด bioimpedance ที่ติดตั้งในบริเวณใกล้เคียงคือที่พื้นผิวนิ่งหน้าอก¹³⁻¹⁵ ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ EIT ที่ผนังหน้าอกผู้ป่วย



รูปที่ 5 ความแตกต่างของ impedance ของส่วนประกอบต่างๆภายในช่องอก



การประเมิน PEEP induced recruitment โดยใช้ EIT จากการศึกษาของ Meier และคณะ ในปี 2008¹⁶ ทำการศึกษาในสัตว์ทดลอง(สุกร)ที่กระตุ้นให้เกิด ARDS 6 ตัว ใช้เครื่องช่วยหายใจที่ PEEP ตั้งแต่ 5 เซนติเมตรน้ำ ค่อยๆเพิ่ม PEEP ครั้งละ 5 เซนติเมตรน้ำจนถึง 30 เซนติเมตรน้ำ สัตว์ทดลองได้รับการติดตั้งเครื่อง EIT และทำ CT scan ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับ PEEP ทำการคำนวณ tidal volume จาก EIT โดยนำข้อมูลไปวิเคราะห์ย้อนหลัง เปรียบเทียบกับ tidal volume จากการทำ CT ซึ่งคำนวณจากการเปลี่ยนแปลง density ในหน่วย Hounsfield units พบว่า tidal volume จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับ PEEP ต่างๆ และ tidal volume ที่วัดจาก EIT มีความสัมพันธ์กับการวัดจาก CT ($R=0.75$, $p<0.01$)

Hinz และคณะ ทำการศึกษาในปี 2003¹⁷ ศึกษาในผู้ป่วย ARDS 10 ราย ปรับเครื่องช่วยหายใจโดยใช้ PEEP 0, 5, 10 และ 15 เซนติเมตรน้ำ แล้ววัดปริมาตรปอดโดยใช้ EIT เปรียบเทียบกับการวัดปริมาตรปอดด้วย nitrogen washout/washin technique การวัดปริมาตรปอดโดย EIT นั้นเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ภายหลัง (offline analysis) โดยใช้พารามิเตอร์ คือ เป็นการวัดค่า lung impedance time course (LITC) จากการหายใจ 14 ครั้งแล้วนำมาหาเฉลี่ย เรียกว่า End expiratory lung impedancr change (ELIC) ซึ่งมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับการวัดปริมาตรปอดโดย nitrogen washout/washin technique(EELV) มีค่า $r^2=0.96$ โดยสมการของความสัมพันธ์ คือ $y = 0.98x - 0.68$ โดยที่ y คือ ELIC และ x คือ EELV

ปี 2004 Victorino ศึกษาเปรียบเทียบการวัดปริมาตรปอดด้วยวิธีวัดความต่างศักย์ไฟฟ้ากับการวัดปริมาตรปอดโดยเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์¹⁸โดยศึกษาการกระจายตัวของปริมาตรปอดจากการหายใจแต่ละครั้ง (Tidal volume) ไปยังบริเวณที่เกิดปอดแฟบ(collapse)และบริเวณที่มีการยืดขยายมากเกินไป(overdistension) ในผู้ป่วย 10 ราย พบว่าเปรียบเทียบปริมาตรปอดในแต่ละส่วนจากการวัดทั้ง 2 วิธี พบว่าความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน วิเคราะห์โดย Bland-Altman analysis มีค่า $r^2=0.92$

Costa และคณะ ทำการศึกษาเมื่อปี 2009¹⁵ ในผู้ป่วย ARDS ที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ มีการศึกษาการใช้ EIT เพื่อประเมินภาวะ lung collapse and overdistension ระหว่างทำการ PEEP decrement โดยที่ PEEP แต่ละระดับ สามารถคำนวณค่า compliance ได้โดยใช้ข้อมูล ได้แก่ ปริมาตรการหายใจแต่ละครั้ง (ΔZ) plateau pressure และ PEEP คำนวณแยกแต่ละ pixel โดยใช้สมการ $\text{Compliance}_{\text{pixel}} = \Delta Z / (P_{\text{plat}} - \text{PEEP})$

แต่ละ pixel จะได้รับการคำนวณ compliance ที่ PEEP แต่ละระดับ โดยจะพบว่าแต่ละ pixel จะมี best compliance ที่ PEEP ไม่เท่ากัน โดยถือว่า ตำแหน่งที่ PEEP สูงกว่า best compliance เกิด overdistension และที่ PEEP ต่ำกว่า best compliance เกิด collapse

ที่ PEEP แต่ละระดับ คำนวณ %collapse ได้โดยสมการ

$$\%Collapse_{pixel} = (Best\ compliance_{pixel} - Current\ compliance_{pixel}) \times 100 / Best\ compliance_{pixel}$$

Best compliance_{pixel} คือ compliance ที่สูงสุดของ pixel นั้นๆ จาก PEEP ทุกระดับ

Current compliance_{pixel} คือ compliance ของ pixel นั้นๆ ที่ PEEP ที่ต้องการคำนวณ

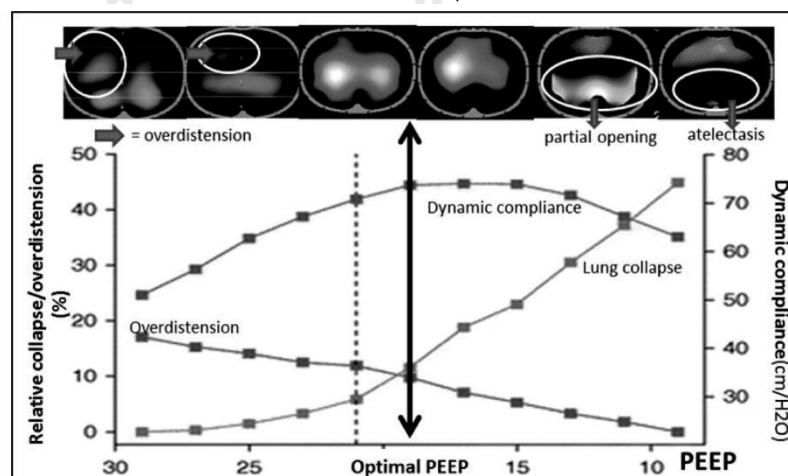
หาก PEEP ที่ต้องการคำนวณ %Collapse อยู่ในระดับที่สูงกว่า PEEP ที่ pixel นั้นมี best compliance จะถือว่า %Collapse เป็น 0

หลังจากนั้น หา cumulative collapse(%) ที่แต่ละ PEEP โดย

$$Cumulative\ collapse(\%) = \frac{\sum(Collapse\% \times Best\ compliance)}{\sum\ Best\ compliance}$$

และ %overdistension สามารถคำนวณได้ในทิศทางเดียวกัน โดยถือว่าหาก PEEP ที่ต้องการคำนวณ %overdistension อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า PEEP ที่ pixel นั้นมี best compliance จะถือว่า %overdistension เป็น 0 เมื่อคำนวณทั้งหมดเสร็จ ก็จะสามารถทราบได้ว่า ที่ PEEP แต่ละระดับ มี Cumulative collapse และ cumulative overdistension ในปริมาณมากน้อยเพียงใด ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยในการศึกษานี้ เปรียบเทียบการวัด มี Cumulative collapse และ Cumulative overdistension จาก EIT และจาก CT scan ในผู้ป่วย ARDS 2 ราย พบว่าตำแหน่ง และปริมาณของ Cumulative collapse และ Cumulative overdistension ที่ตรวจจากสองวิธี เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

รูปที่ 6 EIT PEEP titration แสดง cumulative collapse and overdistension



การศึกษาของ Camporota และคณะในปี 2012¹⁹ ทำการศึกษาผู้ป่วย severe ARDS 2 รายซึ่งมีข้อบ่งชี้ในการรักษาโดย ECMO โดยทำการใช้ EIT ในการวัด regional compliance (dorsal และ ventral compliance) ที่ PEEP ระดับต่างๆ พบว่าสามารถใช้ regional compliance จาก EIT ในการแบ่งผู้ป่วยเป็น recruitable lung และ no lung recruitability ได้ โดยในรายที่ recruitable lung พบ highest regional compliance 8 cmH₂O ที่ dorsal และ 22 cmH₂O ที่ ventral ส่วนในรายที่ no lung recruitability มี highest regional compliance 0 cmH₂O ที่ dorsal และ 5 cmH₂O ที่ ventral หรือกล่าวได้ว่าไม่มี highest regional compliance

อย่างไรก็ตาม การใช้อุปกรณ์ EIT มีข้อจำกัดและข้อควรระวัง กล่าวคือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง electrode belt ส่งผลต่อความแม่นยำและความเที่ยงตรงของข้อมูล โดยตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งคือระหว่าง intercostal space ที่ 4-6 หากตำแหน่งต่ำเกินไปจะทำให้ค่าที่อ่านได้ถูกรบกวนโดยการขยับของกระบังลม หรือหากตำแหน่งของ electrode belt มีการเลื่อน อาจเป็นจากการจัดท่าหรือการขยับร่างกายผู้ป่วย ก็จะทำให้ความเที่ยงตรงของข้อมูลเปลี่ยนแปลงไปด้วย²⁰

ข้อมูลที่ได้จาก EIT อาจไม่แสดงถึงพยาธิสภาพที่เกิดขึ้นภายในปอดทั้งหมด เนื่องจากโดยหลักการทำงานเป็นการเก็บข้อมูลจากพื้นที่ตัดขวางในพื้นที่ความกว้างประมาณ 10 เซนติเมตร โดยถือว่าพยาธิสภาพที่เกิดขึ้นในปอดส่วนอื่นๆมีรูปแบบเหมือนกับบริเวณที่วัดได้¹²

ความละเอียด (resolution) ของภาพ EIT image มีค่อนข้างต่ำ ด้วยเทคนิคของ EIT ในปัจจุบันซึ่งมีความละเอียดได้เพียง 32x32 pixel เท่านั้น นอกจากนี้ EIT image ที่บริเวณรอบนอกของปอด ยังไม่สามารถแยก non ventilated lung area กับส่วนของ chest wall ได้ และ ข้อมูล functional imaging ของ EIT เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลง เปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นในการวัดแต่ละครั้งเท่านั้น (intra-individual relative assertion) ไม่สามารถวัดค่าสัมบูรณ์ (absolute value) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการศึกษาก็ได้ ทำให้ประโยชน์ของข้อมูลที่ได้ เป็นการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการศึกษานั้นๆ หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของการศึกษาแต่ละครั้งในผู้ป่วยรายเดียวกัน ยากจะนำมาศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผู้ป่วยแต่ละราย¹⁴

การศึกษาถึงแนวทางการลด PEEP ในผู้ป่วย ARDS ระยะฟื้นตัว ในปัจจุบันมีการศึกษาจำกัด ปี 2018 N.Kongpolprom ทำการศึกษานำร่อง (IRB739/59)²¹ การลด PEEP ในผู้ป่วยที่มีภาวะทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันระยะฟื้นตัวที่มีอัตราส่วนออกซิเจนในเลือดแดงต่อความเข้มข้นของออกซิเจน (PaO₂/FiO₂) มากกว่า 100 ที่ใช้ความเข้มข้นของออกซิเจน (FiO₂) น้อยกว่า 65% และใช้ PEEP มากกว่าเท่ากับ 8 ซม.น้ำ จำนวน 16 ราย เพื่อศึกษาปัจจัยที่สามารถทำนายการเกิดปอดแฟบหรือออกซิเจนต่ำหลังลด PEEP ในผู้ป่วยกลุ่มดังกล่าว โดยทำการลด PEEP จำนวน 25 ครั้ง พบว่าปริมาตรปอด (EELV: วัดโดย Nitrogen wash-out/ wash-in technique) ที่ลดลงมากกว่า 10% (AUC 0.808, 95% CI 0.592 to 1.000, p = 0.017) และ lung strain ที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 24% (AUC 0.817, 95% CI 0.611 to 1.000, p = 0.014) ที่ 5 นาทีหลังลด PEEP สามารถทำนายปอดแฟบที่เกิดขึ้นภายใน 2 ชม.ได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงความยืดหยุ่นของปอด (respiratory-system compliance), tidal volume (VT), dead-space (VD) และ driving pressure ไม่สามารถทำนายปอดแฟบได้ โดยแสดงผลวิจัยตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาทีหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก

Predictors	Threshold AUC ^{††}	No Lung collapse 15 events, n=11	Lung collapse 8 events, n=5	p value
At 5 minutes after the PEEP decrement				
*% Δ EELV [†]	-9.775 0.808 (p=0.017)	-6.67 [-9.00, -0.07]	-15.46 [-21.06, -10.32]	0.027
Vder, est [‡] (ml)	72 0.633 (p=0.302)	23.62[-119.00, 121.40]	100.41[-88.80, 228.75]	NS
*% Δ VT [§]	-	7.69 [-0.51, 9.18]	6.14 [0.72, 9.24]	NS
*% Δ lung strain	23.84 0.817 (p=0.014)	15.45 [0.91, 19.99]	24.89 [19.54, 31.49]	NS
*% Δ C _{RS}	-	7.69 [-0.51, 9.92]	9.17 [-2.99, 13.89]	NS
*% Δ Driving pressure	-	0 [-1.92, 0]	0 [-4.55, 0]	NS
At 30 minutes after the PEEP decrement				
Predictors	Threshold AUC ^{††}	No Lung collapse 15 events, n=11	Lung collapse 8 events, n=5	p value
*% Δ EELV [†]	-9.775 0.700 (p=0.121)	-6.09 [-9.44, 0.38]	-13.86 [-26.56, -2.06]	NS
Vder, est [‡] (ml)	105 0.625 (p=0.333)	-13.23[-68.50, 140.67]	119.23[-30.53, 204.83]	NS
*% Δ VT [§]	3.2 0.633 (p=0.30)	7.81 [-1.64, 12.15]	1.59 [-0.81, 5.7]	NS
*% Δ lung strain	21.72 0.658 (p=0.220)	13.76 [0.46, 19.81]	24.12 [3.36, 38.37]	NS
*% Δ C _{RS}	4.86 0.621 (p=0.349)	9.06 [-3.78, 19.65]	1.59 [-3.22, 9.23]	NS
*% Δ Driving pressure	-	0 [-7.28, 0]	0 [-5.77, 0]	NS
*% Δ VD [¶]		29.18[-27.15, 145.29]	0.97 [-44, 114.68]	NS
*% Δ VD/VT ^{**}		3.52[-27.65, 148.92] -9.39 [-30.21, 132.32]	-0.16 [-46.27, 111.9]	NS
Lung USG score change		2 [0, 3]	2 [0.5, 2.75]	NS

*% change (% Δ parameter) = (parameter at PEEPlow - parameter at PEEPhigh)/ parameter at PEEPhigh, †EELV; end expiratory lung volume, ‡Vder, est; derecruited volume = Δ EELV - (CRS Δ PEEP), §VT; tidal volume, ||CRS; respiratory system compliance, ¶VD; dead-space volume, **VD/VT; dead-space fraction, ††AUC; area under the curve

ปี 2019 M.Praipruksaphan และ N.Kongpolprom ได้ทำการศึกษา RCT โดยการใช้โปรโตคอลการลดPEEPโดยปรับตามผลการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอด (IRB218/60) ในผู้ป่วยที่มีภาวะทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันระยะฟื้นตัว จำนวน 22 ราย โดยทำการลดPEEPจำนวน 29 ครั้ง โดยในกลุ่มผู้ป่วยที่ใช้โปรโตคอล หากผู้ป่วยมี EELV ลดลงมากกว่า 10% ที่ 5 นาที หลังลด PEEPลง 2 ซม.น้ำ จะหยุดการลดแรงดันบวกดังกล่าวและกลับไปsetting เดิม แต่หาก EELV เพิ่มขึ้นหรือลดลงแต่น้อยกว่า 10% ที่ 5 นาที หลังลดPEEPลง 2 ซม.น้ำ จะทำการลด setting ต่อ เทียบกับการลดPEEPที่ทำการตัดสินใจโดยแพทย์เจ้าของไข้ตามวิธีปกติที่ลดแรงดันบวก 2 ซม.น้ำ เช่นเดียวกันพบว่า กลุ่มที่ใช้โปรโตคอลมี event rate การเกิดปอดแฟบ(SpO2 ลดลง >2% หรือ PaO2 ลดลง >10% จาก baseline) เพียงแค่ 7.1% ส่วนผู้ป่วยกลุ่ม control (แพทย์ตัดสินใจ) มี event rate การเกิดปอดแฟบ 60% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p=0.005) โดยมี risk reduction

88.16% โดยระยะเวลาที่ใช้หยาเครื่องช่วยหายใจ (time to spontaneous breathing trial:SBT) ใน 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน (3 [1.75,5.00] วัน ในกลุ่มที่ใช้โปรโตคอล และ 4 [1.25,9.25] วัน ในผู้ป่วยกลุ่ม control) และการศึกษานี้ ได้ประเมินปัจจัยที่สามารถทำนายการเกิดปอดแฟบหรือออกซิเจนต่ำหลังลดPEEP พบว่าปริมาตรปอด(EELV)ที่ลดลงมากกว่า 10% ที่ 5 นาทีหลังลดPEEP สามารถทำนายปอดแฟบที่เกิดขึ้นภายใน 2 ชม.ได้ (Odd ratio = 84 , p=0.003) ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาทีหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก (Univariate analysis)

Parameters ที่ 5 minutes after the PEEP decrement	Univariate analysis	
	Odd raio (95%CI)	p-value
*10 % decrease EELV [†]	84(4.51-1564)	0.003
Δ EELV (ml)	1(0.998-1.000)	0.058
*% Δ C _{RS}	1(0.91-1.09)	0.996
*% Δ Lung strain	1.08(0.99-1.17)	0.074

*% change (%Δ parameter) = (parameter at PEEP_{low} - parameter at PEEP_{high}) / parameter at PEEP_{high}, [†]EELV; end expiratory lung volume, ||C_{RS}; respiratory system compliance

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย (RESEARCH DESIGN)

การวิจัยแบบสังเกต (Observational study)

3.2 ระเบียบวิธีวิจัย (RESEARCH METHODOLOGY)

ประชากร (POPULATION) และตัวอย่าง (SAMPLE)

3.2.1 กฎเกณฑ์ในการคัดเลือกเข้าศึกษา (Inclusion criteria)

1) ได้รับการวินิจฉัยเป็น ARDS ตาม Berlin definition 2012

2) อยู่ใน recovery phase โดยที่

-PEEP \geq 8 cmH₂O

-FiO₂ \geq 0.60, PaO₂/FiO₂ \geq 150

-SpO₂ \geq 90%

-ไม่มีการปรับเครื่องช่วยหายใจภายใน 24 ชั่วโมง

3) สัญญาณชีพอยู่ในเกณฑ์ปกติ

3.2.2 กฎเกณฑ์ในการคัดเลือกรับการศึกษา (Exclusion criteria)

1) อายุน้อยกว่า 18 ปี

2) มีลมรั่วในเยื่อหุ้มปอด (pneumothorax) หรือมีน้ำในเยื่อหุ้มปอด (pleural effusion)

3) หลุลงมโป่งพองรุนแรง (severe COPD) หรือมีถุงลมพองตัว (Lung bleb)

4) ตั้งครรภ์

5) มีข้อห้ามในการใช้เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า (Electrical impedance tomography)

3.2.3 ขนาดตัวอย่าง และการคำนวณ (Sample size determination)

จากการศึกษานำร่องในปี 2018 N.Kongpolprom (IRB739/59) พบว่า ปริมาตรปอด (EELV: วัดโดย Nitrogen wash-out/ wash-in technique) ที่ลดลงมากกว่า 10% สัมพันธ์กับการเกิดถุงลมปอดแฟบ โดยมี AUC 0.808 ในการศึกษาที่พบอุบัติการณ์ของการเกิดถุงลมปอดแฟบ ร้อยละ 35 ไม่เกิดถุงลมปอดแฟบ ร้อยละ 65 คิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 1:2

คำนวณ power of AROC โดยใช้ R-program เพื่อให้ได้ power อย่างน้อย 80% พบว่า ต้องใช้ขนาดประชากรตัวอย่างประมาณ 30 ราย โดยมีกลุ่มที่เกิดถุงลมปอดแฟบ 10 ราย ไม่เกิดถุงลมปอดแฟบ 20 ราย

`power.roc.test(auc=0.8, ncases=10, ncontrols=20)`

One ROC curve power calculation

`ncases = 10`

`ncontrols = 20`

`AUC = 0.8 sig.level = 0.05 power = 0.8103659`

3.3 การให้คำนิยามเชิงปฏิบัติที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 Acute respiratory distress syndrome (ARDS) ตาม Berlin definition²² คือ

- ภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันภายใน 7 วัน
- ภาพเอกซเรย์ปอดมีความผิดปกติทั้งสองข้าง ที่ไม่อธิบายด้วยน้ำในเยื่อหุ้มปอด, ปอดแฟบหรือก้อน
- ภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวที่ไม่อธิบายด้วยภาวะหัวใจวาย
- อัตราส่วนของออกซิเจนในเลือดแดงต่อความเข้มข้นของออกซิเจน ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) < 300 มิลลิเมตรปรอทโดยใช้แรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก 5 เซนติเมตรน้ำ แบ่งตามความรุนแรง

รุนแรงน้อย $200 \text{ มิลลิเมตรปรอท} < \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 300 \text{ มิลลิเมตรปรอท}$

รุนแรงปานกลาง $100 \text{ มิลลิเมตรปรอท} < \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200 \text{ มิลลิเมตรปรอท}$

รุนแรงมาก $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 100 \text{ มิลลิเมตรปรอท}$

3.3.2 Functional residual capacity (FRC) คือปริมาตรปอดที่เหลือหลังจากหายใจออกตามปกติ

3.3.3 End expiratory lung volume (EELV) คือปริมาตรปอดที่เหลือหลังจากหายใจออกโดยมีการถ่างขยายปอดไว้ด้วยแรงดันปอดที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก

3.3.4 การเกิดถุงลมปอดแฟบ (Lung collapse)^{23 24} คือ ภาวะที่มีออกซิเจนปลายนิ้ว (SpO_2) ลดลง $\geq 3\%$ หรือ ค่าออกซิเจนในเลือดแดง (PaO_2) ลดลงมากกว่า 10% จากก่อนลด PEEP 2 ซม.น้ำ

3.3.5 End expiratory lung impedance (EELI) คือปริมาตรปอดที่เหลือหลังจากหายใจออกโดยมีการถ่างขยายปอดไว้ด้วยแรงดันปอดที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก ซึ่งวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดความต่างศักย์ไฟฟ้า



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การสังเกตและการวัด

3.4.1 ตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ

อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรปอด($\% \Delta \text{EELI}$) ที่ 5 นาทีหลังลด PEEP 2 เซนติเมตรน้ำ

ตัวแปรตาม

การเกิดถุงลมปอดแฟบ (Lung collapse) ที่ 30 นาที และ 120 นาที หลังลด PEEP 2 เซนติเมตรน้ำ

ตัวแปรควบคุม

Drager Electrical impedance tomography

เครื่องช่วยหายใจรุ่น Engström Carestation ventilator (GE Healthcare, Madison, USA)

3.4.2 เครื่องมือที่ใช้วัดตัวแปร

เก็บข้อมูลและวัดผลโดยใช้ แบบบันทึกข้อมูล

เครื่องช่วยหายใจ Engström Carestation ventilator (GE Healthcare, Madison, USA) เพื่อวัด ปริมาตรปอดที่ ด้วยวิธี nitrogen washout/washin technique

เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า Dräger Electrical impedance tomography เพื่อวัดปริมาตรปอด โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า

3.5 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1)ชี้แจงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการวิจัย ประโยชน์ที่ผู้ป่วยจะได้รับรวมถึงผลข้างเคียงที่อาจจะเกิดขึ้น ให้ญาติรับทราบ

2)ชี้แจงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการวิจัย แก่แพทย์ผู้ดูแลผู้ป่วยประจำหอผู้ป่วย โดยกระบวนการวิจัยจะไม่รบกวนการดูแลผู้ป่วยตามมาตรฐาน

3)บันทึกข้อมูลผู้ป่วย ได้แก่ อายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง สาเหตุของการเกิดภาวะหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน (pulmonary/extrapulmonary) อัตราการหายใจ ข้อมูลจากเครื่องช่วยหายใจ (Tidal volume, PEEP, FiO₂) ระดับออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือด (SpO₂ PaO₂ PaCO₂) ความรุนแรงของ ARDS(PaO₂/FiO₂ ratio) มียากระตุ้นความดันโลหิตหรือไม่ ความยืดหยุ่นของปอด (compliance)

4)24 ชั่วโมงก่อนทำการศึกษา ผู้ป่วยได้รับการติดเครื่อง Electrical impedance tomography (EIT) และได้รับการต่อเครื่องช่วยหายใจรุ่น Engström Carestation ventilator (GE Healthcare, Madison, USA)

5)วัดปริมาตรปอด ด้วยวิธี EIT(EELI) และ EELV บันทึก EELI, EELV, FiO₂ สัญญาณชีพและระดับออกซิเจน (SpO₂) ผลวิเคราะห์ก๊าซในหลอดเลือดแดง Arterial blood gas (ABG)

6)ลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก 2 เซนติเมตรน้ำ

7)วัดปริมาตรปอด ด้วยวิธี EIT(EELI) และ EELV บันทึก EELI, EELV, FiO₂ สัญญาณชีพและระดับออกซิเจน (SpO₂) ผลวิเคราะห์ก๊าซในหลอดเลือดแดง Arterial blood gas (ABG) ที่ 5 นาที

8)วัดปริมาตรปอด ด้วยวิธี EIT(EELI) และ EELV บันทึก EELI, EELV, FiO₂ สัญญาณชีพและระดับออกซิเจน (SpO₂) ผลวิเคราะห์ก๊าซในหลอดเลือดแดง Arterial blood gas (ABG) ที่ 30 นาที

9)วัดปริมาตรปอด ด้วยวิธี EIT(EELI) และ EELV บันทึก EELI, EELV, FiO₂ สัญญาณชีพและระดับออกซิเจน (SpO₂) ผลวิเคราะห์ก๊าซในหลอดเลือดแดง Arterial blood gas (ABG) ที่ 120 นาที

10)ใน 120 นาที หลีกเลี่ยงการดูดเสมหะหรือเปลี่ยนท่าทาง หากมีความจำเป็นต้องทำการดูดเสมหะหรือเปลี่ยนท่าทางสามารถทำได้เพื่อเป็นการรักษาตามมาตรฐาน และให้ออกจากการศึกษา

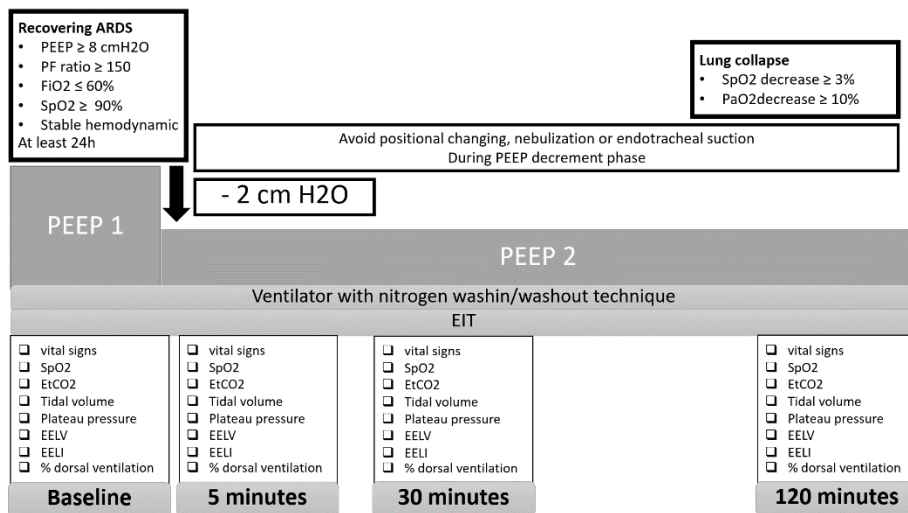
11)ถ้ามีออกซิเจนจากปลายนิ้ว (SpO₂) ต่ำลง $\geq 3\%$ ก่อน 120 นาที ให้วัดปริมาตรปอด ด้วยวิธี EIT(EELI) และ EELV วิเคราะห์ก๊าซในหลอดเลือดแดง(ABG) และอนุญาตให้เพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจน และปรับเพิ่มแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น ถือว่าเป็นจุดสิ้นสุดการศึกษา

12)ถ้ามีออกซิเจนจากปลายนิ้ว (SpO₂) ต่ำลง $\geq 3\%$ ก่อน 5 นาที ให้วัดปริมาตรปอด ด้วยวิธี EIT(EELI) และ EELV วิเคราะห์ก๊าซในหลอดเลือดแดง(ABG) และอนุญาตให้เพิ่มความเข้มข้นของ

ออกซิเจน และปรับเพิ่มแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น และให้ออกจากการศึกษา

13) หลังเสร็จสิ้นการศึกษา การดูแลรักษาเป็นไปตามมาตรฐานการดูแลปกติ โดยแพทย์ผู้ดูแลผู้ป่วยประจำหอผู้ป่วย

รูปที่ 7 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย



3.6 การรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลผู้ป่วย ได้แก่

อายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง

สาเหตุของ ARDS (pulmonary/extrapulmonary)

สัญญาณชีพ ได้แก่ ความดันโลหิต(มียากกระตุ้นความดันโลหิตหรือไม่) ชีพจร อัตราการหายใจ

ระดับออกซิเจน(SpO₂)

ข้อมูลจากเครื่องช่วยหายใจ ได้แก่ Tidal volume, PEEP, FiO₂, ความยืดหยุ่นของปอด (compliance)

ความรุนแรงของ ARDS(PaO₂/FiO₂ ratio)

ผลวิเคราะห์ก๊าซในหลอดเลือดแดง Arterial blood gas (ABG) ได้แก่ pH, pO₂, pCO₂, HCO₃

ผลการวัดปริมาตรปอดโดย EIT: EELI

ผลการวัดปริมาตรปอดโดย Nitrogen washin-washout technique: EELV

ผู้เก็บข้อมูลคือ ผู้ดำเนินการวิจัย ผู้บันทึกข้อมูลคือ ผู้ดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 3 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูล	Parameters
Baseline characteristics	อายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง โรคประจำตัว สาเหตุของ ARDS (pulmonary/extrapulmonary) ความรุนแรงของ ARDS (PaO ₂ /FiO ₂ ratio), APACHE II มียากระตุ้นความดันโลหิตหรือไม่
ข้อมูล ก่อนลด PEEP 2 ซม.น้ำ	BP, HR, RR, SpO ₂ , ETCO ₂ , ABG, Dead-space fraction(VD/VT) Plateau pressure(Pplat), Driving pressure, Compliance(Crs) Tidal volume(VT) End expiratory lung volume(EELV), EELI Lung strain (VT/EELV) minimal predicted decrease in lung volume
ข้อมูลที่ 5 นาที หลังลด PEEP 2 ซม.น้ำ	BP, HR, RR SpO ₂ , ETCO ₂ Plateau pressure(Pplat), Driving pressure, Compliance(Crs) Tidal volume(VT) End expiratory lung volume(EELV), EELI Lung strain (VT/EELV)
ข้อมูลที่ 30 นาที หลังลด PEEP 2 ซม.น้ำ	BP, HR, RR SpO ₂ , ETCO ₂ , ABG Dead-space fraction(VD/VT) Plateau pressure(Pplat), Driving pressure, Compliance(Crs) Tidal volume(VT) End expiratory lung volume(EELV), EELI Lung strain (VT/EELV)
ข้อมูลหลังลด PEEP 2 ซม.น้ำ 120 นาที	BP, HR, RR SpO ₂ , ETCO ₂ , ABG Dead-space fraction(VD/VT) Plateau pressure(Pplat), Driving pressure, Compliance(Crs) Tidal volume(VT) End expiratory lung volume(EELV), EELI Lung strain (VT/EELV)

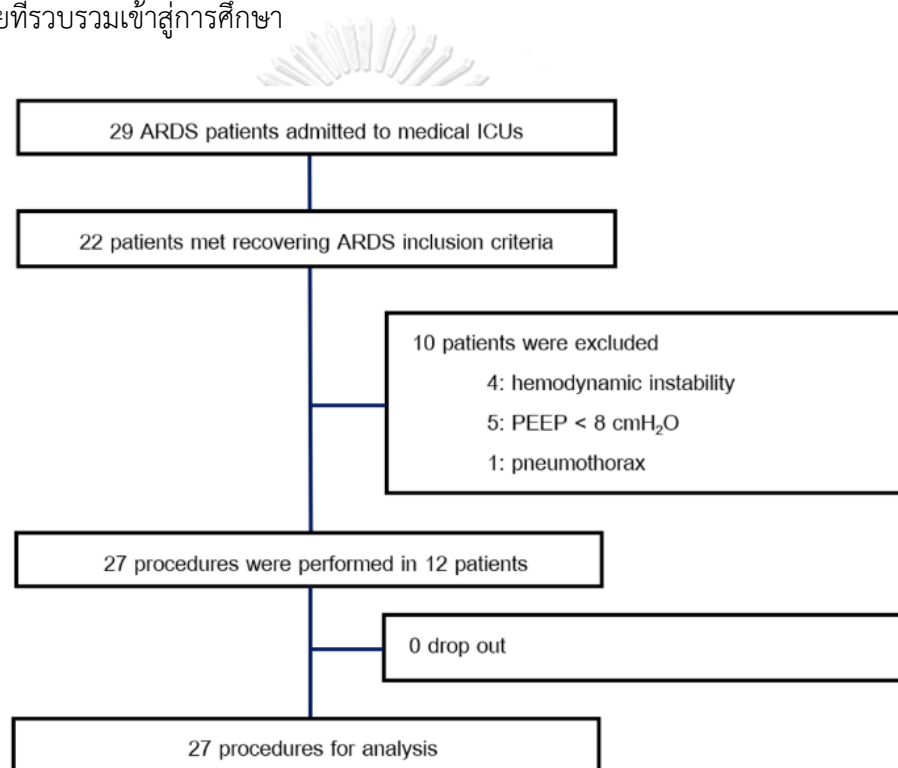
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

- ข้อมูลเชิงคุณภาพ(qualitative data) จะนำเสนอเป็นจำนวน ร้อยละ(percentage)
- ข้อมูลเชิงปริมาณ(quantitative data) จะนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย (mean) +/- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
- การวัดปริมาตรปอดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า(percentage of EELI change) เพื่อทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ ใช้การคำนวณหา Receiver Operator Characteristic (ROC) curve และคำนวณ Sensitivity, Specificity Positive predictive value, Negative predictive value เพื่อให้ได้ค่าจุดตัด (Cut off value) ที่เหมาะสมที่สุด
- Pearson's correlation coefficient เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างการวัดปริมาตรปอดโดยใช้เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและวัดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ Nitrogen washin/washout tech

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ได้คัดเลือกผู้ป่วยกลุ่มทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันระยะฟื้นตัวที่ได้รับการรักษาในหอผู้ป่วยภาวะวิกฤติทางอายุรกรรม โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ระหว่าง 1 กรกฎาคม 2553 ถึง 31 มีนาคม 2564 มีผู้ป่วยกลุ่มทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันทั้งหมด 29 คน เข้าสู่ระยะฟื้นตัวทั้งหมด 22 คน ถูกคัดออก 10 คน เนื่องจาก สัญญาณชีพไม่อยู่ในเกณฑ์ปกติ 4 คน ใช้แรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกน้อยกว่า 8 เซนติเมตรน้ำ 5 คน มีลมรั่วในเยื่อหุ้มปอด (pneumothorax) หรือมีน้ำในเยื่อหุ้มปอด (pleural effusion) 1 คน ทำการศึกษาทั้งหมด 12 คน ทั้งหมด 27 หัตถการ ดังแสดงในรูปที่ 3
รูปที่ 8 ผู้ป่วยที่รวบรวมเข้าสู่อการศึกษา



4.1 ข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้ารับการศึกษา

ผู้ป่วยเข้าร่วมการศึกษาทั้งหมด 12 ราย ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 58.33 มีอายุเฉลี่ย 64 ± 19 ปี ดัชนีมวลกาย 23.5 ± 5.4 กก/ม² ผู้ป่วยทุกรายมีสาเหตุจากปอดติดเชื้อ มีค่า $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ เริ่มต้นเฉลี่ย 256.5 ± 90.7 มม.ปรอท ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยที่เข้ารับการศึกษา (Baseline characteristic)

Patient	Age (years)	Sex	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	Cause of ARDS	PaO ₂ /FiO ₂ ratio
1	84	Male	160	40	15.63	Pneumonia	162
2	80	Female	151	80	35.09	Pneumonia	158
3	38	Male	168	63	22.32	Pneumonia	342
4	22	Female	159	52	20.57	Pneumonia	189
5	69	Female	147	62	28.69	Pneumonia	396
6	75	Male	172	82	27.72	Pneumonia	238
7	62	Female	155	68	28.30	Pneumonia	318
8	62	Male	173	55	18.38	Pneumonia	199
9	88	Male	160	54	21.09	Pneumonia	225
10	56	Male	183	78	23.29	Pneumonia	251
11	69	Female	150	48	21.33	Pneumonia	181
12	65	Male	175	60	19.59	Pneumonia	419
Mean	64.17				23.50		256.50
SD	18.87				5.44		90.71

จากการศึกษาทั้งหมด 27 หัตถการ พบการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกทั้งหมด 14 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 51.85 ดังแสดงในตารางที่ 5 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยก่อนการทำหัตถการ ได้แก่ ปริมาตรการหายใจในแต่ละครั้ง (Tidal volume) อัตราการหายใจ ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ใช้ (FiO₂) ความรุนแรงของภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน แบ่งตามค่า PaO₂/FiO₂ ระดับแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกเริ่มต้น ค่า Respiratory system compliance (C_{RS}) ปริมาตรปอดเริ่มต้น วัดจากเครื่องช่วยหายใจโดยวิธี Nitrogen washin/washout technique ค่า Lung strain ค่า dead space fraction และ สัดส่วนการหายใจที่เข้าสู่ปอดส่วนหลังวัดโดยความต่างศักย์ไฟฟ้า (Proportion of dorsal ventilation) แบ่งตามการเกิดปอดแฟบแล้ว พบว่า ข้อมูลพื้นฐานดังกล่าวทุกข้อมูล ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสองกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 หัตถการทั้งหมดและการเกิดถุงลมปอดแฟบ

Procedure No.	Lung collapse	Onset of lung collapse (minutes)	Baseline		Oxygenation		Defined lung collapse by
			PaO2	SpO2	PaO2	SpO2	
1	No	-	97.2	98	-	-	-
2	Yes	15	79.1	93	65.5	87	PaO2
3	No	-	79.9	94	-	-	-
4	No	-	92.3	95	-	-	-
5	No	-	137	98	-	-	-
6	Yes	30	94.3	98	90.5	96	PaO2
7	Yes	5	95.7	98	84.3	96	PaO2
8	Yes	30	111.8	100	100.3	99	PaO2
9	No	-	158.3	99	-	-	-
10	No	-	94	98	-	-	-
11	No	-	95.1	99	-	-	-
12	Yes	100	83.6	96	71.2	93	SpO2
13	Yes	120	127.3	100	107.7	100	PaO2
14	Yes	100	96.9	99	72.7	94	SpO2
15	Yes	30	79.4	91	74.6	88	SpO2
16	No	-	104.9	96	-	-	-
17	No	-	94.6	98	-	-	-
18	Yes	10	90	96	75.2	93	SpO2
19	No	-	100.2	98	-	-	-
20	Yes	30	72.5	94	67.5	91	SpO2
21	Yes	120	81.8	95	73.6	94	PaO2
22	No	-	82.8	95	-	-	-
23	No	-	79.2	95	-	-	-
24	Yes	120	167.4	100	143.6	100	PaO2
25	Yes	5	126	99	108.4	100	PaO2
26	No	-	112.8	100	-	-	-
27	Yes	120	129.6	100	98.7	100	PaO2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6 ข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยที่เข้ารับการศีกษา แบ่งตามการเกิดปอดแฟบ

Parameters	Collapse (14 events)	No collapse (13 events)	p-value
Tidal volume (mL) median[Q1,Q3]	400 [290,480]	400 [300,425]	0.68
Tidal volume (mL/Kg IBW) median[Q1,Q3]	6.65 [5.10,8.60]	6.65 [5.83,7.22]	0.44
Respiratory rate (/min) median[Q1,Q3]	20 [16,26]	20 [18,24]	1.00
FiO ₂ (%) mean(SD)	38.57 (6.91)	39.30 (7.27)	0.79
PaO ₂ /FiO ₂ ratio			
• >300 n(%)	5 (35.71)	4 (30.77%)	
• 200-300 n(%)	5 (35.71)	7 (53.85%)	
• 150-200 n(%)	4 (28.57)	2 (15.38)	

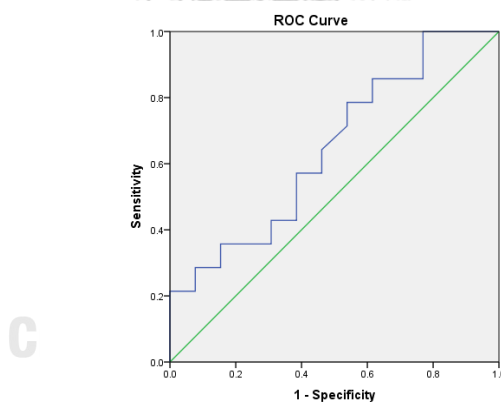
Parameters	Collapse (14 events)	No collapse (13 events)	p-value
PEEP(cmH ₂ O) mean(SD)	9.57 (1.60)	9.69 (1.97)	0.86
C _{RS} median[Q1,Q3]	30.75 [24.75,47.00]	36.55 [26.00,40.45]	0.71
EELV(mL) median[Q1,Q3]	1072 [917,1647]	1373 [1025,1702]	0.71
Lung strain (mL) mean(SD)	0.34 (0.13)	0.28 (0.07)	0.15
VD/VT(%) median[Q1,Q3]	8.76 [3.41,19.36]	16.32 [9.45,23.69]	0.24
Proportion of dorsal ventilation (%) median[Q1,Q3]	48 [35,55]	43 [33,52]	1.00

PEEP: positive end expiratory pressure, EELV: end expiratory lung volume, C_{RS}: respiratory system compliance, VD/VT: dead space fraction

4.2 ผลการวิจัยหลัก

ผู้ป่วยกลุ่มทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันระยะฟื้นตัวภายหลังลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก 2 เซนติเมตรน้ำเป็นเวลา 5 นาที วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดโดยใช้เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยพารามิเตอร์ Δ EELI global เพื่อทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาที วิเคราะห์โดย Receiver Operating Characteristic curve (ROC curve) (รูปที่ 9) พบว่ามีค่า Area under the curve (AUC) 0.646 ค่าจุดตัดที่ได้เป็นดังแสดงในตารางที่ 7 คือ ไม่มีจุดตัดที่เหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบได้

รูปที่ 9 ROC curve of Δ EELI global at 5 minutes for predicting lung collapse



ตารางที่ 7 cut-off value of Δ EELI global at 5 minutes for predicting lung collapse

Cut-off value	Sensitivity(%)	Specificity(%)
-0.30	50.0	61.5
-0.40	64.3	53.8
-0.55	85.7	38.5
-0.74	85.7	23.1
-0.96	92.9	23.1
-1.92	100	1.54

และเมื่อเปรียบเทียบค่ากลางของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดโดยใช้เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยพารามิเตอร์ $\Delta EELI$ global ภายหลังลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก 2 เซนติเมตรน้ำเป็นเวลา 5 นาที ระหว่างกลุ่มที่เกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาที เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เกิดถุงลมปอดแฟบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 8

4.3 ผลการวิจัยรอง

4.3.1 ตัวแปรอื่นๆที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ

การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดวัดโดยเครื่องช่วยหายใจโดยใช้ nitrogen washin/washout technique ($\% \Delta EELV$) การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการหายใจที่เข้าสู่ปอดส่วนหลังวัดโดยความต่างศักย์ไฟฟ้า ($\% \text{change of proportion of dorsal ventilation}$) การเปลี่ยนแปลงค่า lung strain ($\% \Delta$ lung strain) การเปลี่ยนแปลงค่า Respiratory system compliance ($\% \Delta C_{RS}$) และการเปลี่ยนแปลงค่า dead space fraction ($\% \Delta VD/VT$) ภายหลังลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก 2 เซนติเมตรน้ำเป็นเวลา 5 นาทีและ 30 นาที รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดโดยใช้เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยพารามิเตอร์ $\Delta EELI$ global ที่เวลา 30 นาที เพื่อทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาที

ทำการวิเคราะห์โดย Receiver Operating Characteristic curve (ROC curve) พบว่า พารามิเตอร์อื่นๆ มีค่า Area under the curve (AUC) พบว่า พารามิเตอร์ที่มีค่า Area under the curve (AUC) สูงสุด ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดวัดโดยเครื่องช่วยหายใจโดยใช้ nitrogen washin/washout technique ($\% \Delta EELV$) ที่เวลา 30 นาที และ 5 นาที โดยมีค่า 0.751 และ 0.736 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 Area under the curve (AUC) of all parameters

Predictors	AUC	Significance	95% CI
At 5 minutes after the PEEP decrement			
$\Delta EELI$ global	0.646	0.198	0.436-0.856
$\% \Delta EELV$	0.736	0.037	0.542-0.930
$\% \text{change of proportion Dorsal ventilation}$	0.528	0.831	0.270-0.786
$\% \Delta$ lung strain	0.352	0.190	0.137-0.566
$\% \Delta C_{RS}$	0.629	0.254	0.411-0.847
$\% \Delta VD/VT$	0.530	0.797	0.299-0.761
At 30 minutes after the PEEP decrement			
$\Delta EELI$ global	0.369	0.292	0.130-0.609
$\% \Delta EELV$	0.751	0.054	0.447-0.907
$\% \text{change of proportion Dorsal ventilation}$	0.704	0.120	0.617-0.999
$\% \Delta$ lung strain	0.385	0.352	0.124-0.628
$\% \Delta C_{RS}$	0.734	0.117	0.596-0.954
$\% \Delta VD/VT$	0.367	0.291	0.113-0.620

เมื่อเปรียบเทียบค่ากลางของพารามิเตอร์ดังกล่าวทั้งหมดระหว่างกลุ่มที่เกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาที เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เกิดถุงลมปอดแฟบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 9

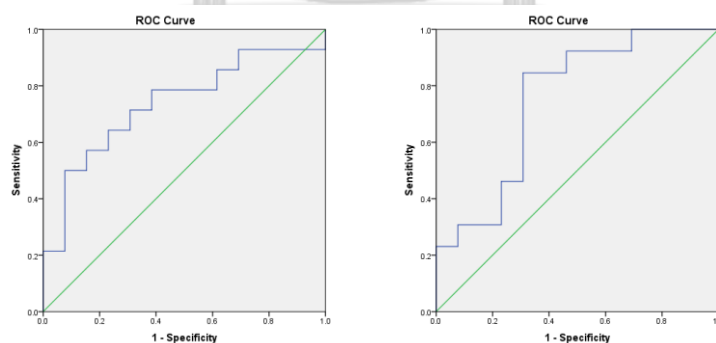
ตารางที่ 9 ผลการศึกษาของ ตัวแปรอื่นๆ ที่ใช้ทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาทีหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก

Predictors	Collapse (14 events)	No collapse (13 events)	p-value
At 5 minutes after the PEEP decrement			
Δ EELI global median[Q1,Q3]	-0.35[-0.46, -0.18]	-0.41[-1.21, -0.29]	0.45
% Δ EELV median[Q1,Q3]	-9.34 [-2.99, -13.65]	-3.05 [-7.80,3.58]	0.13
%change of proportion Dorsal ventilation median [Q1,Q3]	-2.78 [-6.15, 7.91]	-2.08 [-9.13,8.82]	1.00
% Δ lung strain median[Q1,Q3]	11.75 [3.09,15.87]	3.14 [-3.45,13.09]	0.26
% Δ C _{RS} median[Q1,Q3]	0 [-10, 8]	0 [0,17.48]	0.39
% Δ VD/VT median[Q1,Q3]	4.51 [-45.32,58.39]	-34.91 [-64.54,2.26]	0.24
At 30 minutes after the PEEP decrement			
Δ EELI global mean(SD)	-0.45 (0.24)	-1.84 (3.70)	0.25
% Δ EELV median[Q1,Q3]	-8.40 [-6.99, -57.72]	-3.60 [-10.57,3.81]	0.12
%change of proportion Dorsal ventilation median[Q1,Q3]	-2.73 [-15.30,0.43]	-1.69 [-6.81, 8.33]	0.64
% Δ lung strain median[Q1,Q3]	9.02 [6.32, 10.58]	3.74 [-3.66,15.44]	0.21
% Δ C _{RS} median[Q1,Q3]	-3.12 [-10,0]	0 [-1.95,9.49]	0.22
% Δ VD/VT median[Q1,Q3]	11.52 [-82.99, 121.030]	-16.04 [-58.78, 16.22]	0.67

หมายเหตุ parameter ทั้งหมดคำนวณจากการนำค่า post-pre procedure

เมื่อนำพารามิเตอร์ที่มีค่า Area under the curve (AUC) สูงสุด ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดที่เวลา 5 นาที และ 30 นาที (รูปที่ 10) มาวิเคราะห์หาค่า เพื่อหาจุดตัด (cut-off value) ที่เหมาะสมเพื่อในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายใน 120 นาที ผลเป็นดังแสดงในตารางที่ 10

รูปที่ 10 ROC curve of Δ EELV at 5 minutes(Left) and 30 minutes(Right) for predicting lung collapse



ตารางที่ 10 cut-off value of Δ EELV at 5 minutes and 30 minutes for predicting lung collapse

Cut-off value	Sensitivity(%)	Specificity(%)
% Δ EELV at 5 minutes		
2.97	0.79	0.46
4.74	0.71	0.69
7.21	0.64	0.77
8.43	0.57	0.85
12.28	0.29	0.92
15.46	0.21	1.00
% Δ EELV at 30 minutes		
1.87	0.92	0.31
3.42	0.92	0.47
7.00	0.77	0.69
10.21	0.39	0.77
13.37	0.31	0.85
15.66	0.23	0.92

พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดวัดโดยเครื่องช่วยหายใจโดยใช้ nitrogen washin/washout technique (Δ EELV) ร้อยละ 10 ที่เวลา 5 นาที การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดวัดโดยเครื่องช่วยหายใจโดยใช้ nitrogen washin/washout technique (Δ EELV) ร้อยละ 7 ที่เวลา 30 นาที มี odd ratio ต่อการเกิดถุงลมปอดแฟบเท่ากับ 12 และ 7.5 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 cut-off value of Δ EELV for predicting lung collapse

Predictors	AUC	Cut-off value	OR (95% CI)	p-value
At 5 minutes after the PEEP decrement				
% Δ EELV	0.736	10%	12 (1.21-118.89)	0.03
At 30 minutes after the PEEP decrement				
% Δ EELV	0.751	7%	7.5 (1.31-43.03)	0.02

เมื่อใช้ค่าจุดตัดของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดวัดโดยเครื่องช่วยหายใจดังกล่าว จะพบว่า การลดลงของปริมาตรปอดร้อยละ 10 ที่ 5 นาที ภายหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก มีความไว (sensitivity) ต่อการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบที่เวลา 120 นาที ร้อยละ 50 และมีความจำเพาะ (specificity) ร้อยละ 92.31 มีค่าทำนายผลบวก (positive predictive value) ร้อยละ 87.50 และค่าทำนายผลลบ (negative predictive value) ร้อยละ 63.16 และการลดลงของปริมาตรปอดร้อยละ 7 ที่ 30 นาที ภายหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก มีความไว (sensitivity) ร้อยละ 76.92 ความจำเพาะ (specificity) ร้อยละ 69.23 ค่าทำนายผลบวก (positive predictive value) ร้อยละ 71.43 และค่าทำนายผลลบ (negative predictive value) ร้อยละ 75.00 ดังแสดงในตารางที่ 12

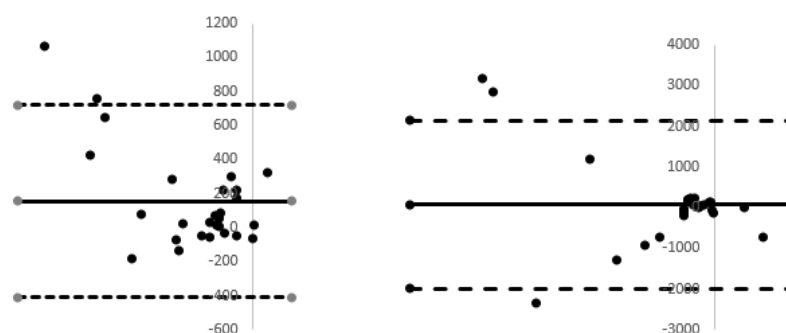
ตารางที่ 12 แสดงค่าความไว ความจำเพาะ ค่าทำนายผลบวกและค่าทำนายผลลบ ของ การลดลงของปริมาตรปอดต่อการเกิดถุงลมปอดแฟบ

Predictors	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)
10% EELV reduction at 5 minutes	50.00	92.31	87.50	63.16
7% EELV reduction at 30 minutes	76.92	69.23	71.43	75.00

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรปอดจากการวัดด้วยวิธีใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า กับการวัดปริมาตรปอดด้วยวิธีใช้ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen washout/washin technique) โดยเครื่องช่วยหายใจ

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดที่คำนวณจากค่า Δ EELI global สามารถคำนวณกลับเป็นปริมาตรได้โดยนำมาคูณกับค่า VT global ที่ตำแหน่ง reference point²⁵ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดที่วัดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ Nitrogen washin/washout technique โดยนำค่า EELV ที่เวลาเริ่มต้น ลบกับที่เวลา 5 นาที และ 30 นาที ภายหลังจากลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก พบว่า ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง 2 พารามิเตอร์ดังกล่าว ค่าความโดย Pearson correlation test พบว่ามีค่า $r=0.002$ และ -0.171 ตามลำดับ แสดงความสัมพันธ์ของ 2 พารามิเตอร์ดังกล่าวในรูปที่ 11

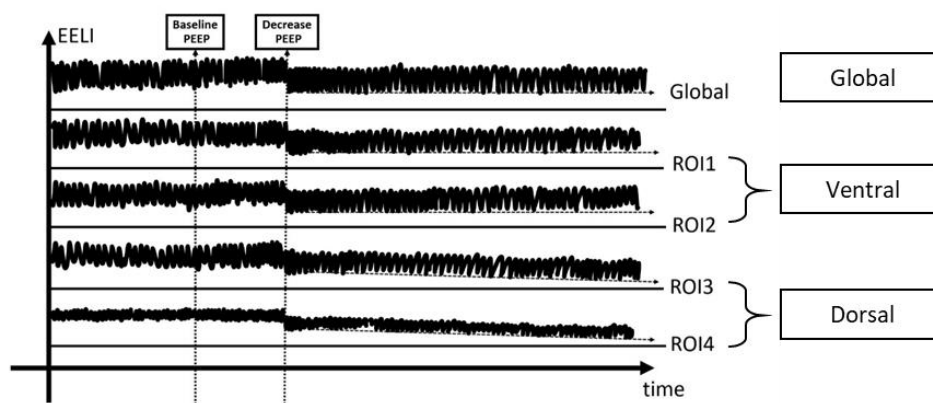
รูปที่ 11 Blant Altman plot ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดปริมาตรปอดโดย โดยคำนวณจาก Δ EELI global x Tidal volume (mL) และวัดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ Δ EELV (mL) ซ้าย ที่เวลา 5 นาที ขวา ที่เวลา 30 นาที



การวิเคราะห์ภายหลัง (Post hoc analysis)

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์จากการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังลดระดับแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า (EELI slope) โดยแบ่งเป็น กราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดทั้งหมด (global) กราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านท้อง (ventral part of the lung) กราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง (dorsal part of the lung) ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 กราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า



พบความสัมพันธ์ของการการลดความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง (EELI slope decline at the dorsal part of the lung) ที่เวลา 5 นาทีหลังลดระดับแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกกับการเกิดถุงลมปอดแฟบ ดังแสดงในตารางที่ 13 และทำการวิเคราะห์โดย Logistic regression พบว่า การลดความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง (EELI slope decline at the dorsal part of the lung) ที่เวลา 5 นาทีหลังลดระดับแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก มีความสัมพันธ์กับการเกิดถุงลมปอดแฟบอย่างมีนัยสำคัญ โดยมี odd ratio 20.00 แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว จากการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 13 การลดความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง (EELI slope decline at the dorsal part of the lung) และการเกิดถุงลมปอดแฟบ

	Collapse	No collapse	Total
EELI slope decline at the dorsal part of the lung present	12	3	15
EELI slope decline at the dorsal part of the lung absent	2	10	12
Total	14	13	27

ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชัน ของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอด กับการเกิดถุงลมปอดแฟบ

Predictors	OR	95% CI	p-value
Global EELI slope decline at 5 minutes	2.88	0.60-13.75	0.19
EELI slope decline at the dorsal part at 5 minutes	20.00	2.77-144.31	0.003

EELI: end expiratory lung impedance

เปรียบเทียบประสิทธิภาพ (diagnostic performance) ของพารามิเตอร์ที่สามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดหายใจออกภายในเวลา 120 นาที ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงวัดโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ Nitrogen washin/washout technique โดยพารามิเตอร์ $\% \Delta$ EELV 10% ที่เวลา 5 นาที และ 7% ที่เวลา 30 นาที และการลดความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง (EELI slope decline at the dorsal part of the lung) ที่เวลา 5 นาที พบว่า การลดความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนด้านหลัง มีความไว (sensitivity) และค่าทำนายผลลบ (negative predictive value) สูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแปรในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ

Predictors	OR (95% CI)	p-value	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)
10% EELV reduction at 5 minutes	12.00 (1.21,118.89)	0.03	50.00	92.31	87.50	63.16
7% EELV reduction at 30 minutes	7.5 (1.31-43.03)	0.02	76.92	69.23	71.43	75.00
EELI slope decline at the dorsal part at 5 minutes	20.00 (2.77,144.31)	0.003	85.71	76.92	80.00	83.33

EELV: end expiratory lung volume, EELI: end expiratory lung impedance

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

การศึกษานี้ เป็นการศึกษาแนวทางในการดูแลผู้ป่วยทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน ที่เข้าสู่ภาวะฟื้นตัว เพื่อหาแนวทางในการตั้งเครื่องช่วยหายใจ เพื่อศึกษาตั้งแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกที่เหมาะสม ซึ่งปัจจุบันมีการศึกษาน้อย โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งมีจุดเด่นคือสามารถใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยแบ่งเป็นส่วนๆ เช่น ส่วนด้านบนและส่วนด้านล่างได้ การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ เพื่อศึกษาการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก ของผู้ป่วยทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันที่อยู่ในระยะฟื้นตัว

ผลการศึกษาหลัก พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอด วัดโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Δ EELI global) ภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก 2 เซนติเมตรน้ำ เป็นเวลา 5 นาที ไม่สามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก ที่เวลา 120 นาที ในผู้ป่วยภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลันในระยะฟื้นตัวได้ ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของ ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดซึ่งวัดจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique เป็นพารามิเตอร์ที่ดีที่สามารถใช้ทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกได้ สอดคล้องกับการศึกษาเดิม²¹ ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรปอดสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกในผู้ป่วยกลุ่มทางเดินหายใจลำบากเฉียบพลันระยะฟื้นตัว ปริมาตรปอดที่เปลี่ยนแปลงเป็นปัจจัยที่ดีในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ และช่วยในการพิจารณาว่าจะลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกหรือไม่ โดยเฉพาะผู้ป่วยที่มีปริมาตรปอดลดลงมากกว่า 10% มีโอกาสเกิดถุงลมปอดแฟบสูง อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดซึ่งวัดจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique ยังเป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ทางคลินิก

จากการศึกษาของ Hinz et al.¹⁷ พบว่าการวัดปริมาตรปอดโดยใช้การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า มีความสัมพันธ์เป็นไปในแนวทางเดียวกับการวัดปริมาตรปอดจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique แต่กลับไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวในการศึกษานี้ สามารถอธิบายเหตุผลได้หลายประการ ดังนี้

ประการที่หนึ่ง ความแตกต่างของพยาธิสภาพของปอด รวมถึงปริมาตรสารน้ำในหลอดเลือด การบวม น้ำของเนื้อเยื่อปอด เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า²⁶ ซึ่งความรุนแรงของพยาธิสภาพที่แตกต่างกันของผู้ป่วยแต่ละราย ย่อมทำให้การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มีความเปลี่ยนแปลงในระดับที่ไม่เท่ากัน โดยจาก

การศึกษาของ Hinz et al.¹⁷ ทำการศึกษาในผู้ป่วยทางเดินหายใจล้มเหลว (Acute respiratory failure) ที่มีจำนวนผู้ป่วยที่มีภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน (Acute respiratory distress syndrome) เพียงร้อยละ 30 ต่างจากการศึกษานี้ที่ผู้ป่วยทั้งหมดอยู่ในภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน ทำให้โดยรวมพยาธิสภาพของปอดผู้ป่วยที่นำมาศึกษาย่อมมีความแตกต่างกัน

ประการต่อมา เทคนิคที่ใช้ในการวัดปริมาตรปอดโดยใช้เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ การศึกษาของ Hinz et al.¹⁷ ทำการวัดการเปลี่ยนแปลง End expiratory lung impedance ที่เกิดจากการเพิ่มแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกครั้งละ 5 เซนติเมตร น้ำ โดยเป็นการหาค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงการหายใจ 14 ครั้ง เป็นการเก็บข้อมูลไว้ แล้วนำมาวิเคราะห์ในภายหลัง ซึ่งมีข้อจำกัดในการนำมาประยุกต์ใช้จริง แต่ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยวัดการเปลี่ยนแปลงของ End expiratory lung impedance ระหว่าง 2 จุดเวลา ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ทันทีข้างเตียงผู้ป่วย จึงมีความสะดวกและสามารถนำมาใช้จริงในทางคลินิกได้มากกว่า

ประการสุดท้าย ในการศึกษานี้ ทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกในระดับที่น้อยกว่าการศึกษาอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 16 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดที่เกิดขึ้นต่อมา ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า การวัดค่าโดยดูการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงอาจไม่มากให้สามารถวัดได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบการศึกษา ที่เกี่ยวข้องกับการวัดปริมาตรปอดจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique และการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า

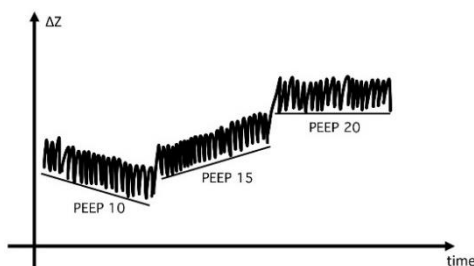
Studies	Our study	Hinz et al.	Bikker et al.
Population	Recovering ARDS	Acute respiratory failure	Mechanically ventilated
	ARDS 100%	ARDS 30%	No mention of ARDS (Including non-acute respiratory failure and after major surgery)
	PF ratio \geq 150	PF ratio \leq 300	PF ratio 344 (123–533)
PEEP changes	Decrement 2 cmH ₂ O from baseline	Increment 5 cmH ₂ O From 0-15 cmH ₂ O	Decrement 5 cmH ₂ O From 15-0 cmH ₂ O
EIT measurement	Δ EELI between 2 time-points	Averaging end-expiratory lung impedance change 14 respiratory cycles	tidal impedance variation/tidal volume ratio at PEEP 5 cmH ₂ O was used to calculate Δ volume from the EELI between the different PEEP levels
	real time monitor	offline calculation	offline calculation
EELV measurement	Nitrogen washin-washout technique	Nitrogen washin-washout technique	Nitrogen washin-washout technique
Correlation of 2 methods	No correlation $R^2 = 0.001$	Linear correlation $R^2 = 0.95$	Moderate correlation $R^2 = 0.62$

ARDS: acute respiratory distress syndrome; PEEP: positive end expiratory pressure; EIT: electrical impedance tomography; EELV: end expiratory lung volume

จากการศึกษาของ Erlandsson et al.²⁷ พบว่า กราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าสามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของถุงลมปอดได้ กล่าวคือ หากฐานของกราฟมีแนวโน้มเพิ่มระดับมากขึ้น บ่งบอกว่าที่แรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกดังกล่าวทำให้เกิดถุงลมปอดค่อยๆเพิ่มปริมาตรมากขึ้น (alveolar recruitment) หากฐานของกราฟมีแนวโน้มลดระดับลง บ่งบอกว่าเกิดถุงลมปอดค่อยๆลดปริมาตรลง (alveolar decrecruitment) คือเกิดถุงลมปอดแฟบ (lung collapse) และหากฐานของกราฟคงที่อยู่ในระดับเดิมตลอด บ่งบอกว่าแรงดันบวกในระยะ

สิ้นสุดการหายใจออกที่ใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum PEEP) ทำให้ปริมาตรปอดอยู่ในระดับคงที่ ดังรูปที่ 13

รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ของกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า กับ การเปลี่ยนแปลง ปริมาตรถุงลมปอด PEEP 10: derecruitment, PEEP 15: recruitment, PEEP 20 optimum PEEP



เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลัง (post hoc analysis) พบว่า หากกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่เวลา 5 นาทีหลังลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก หากพบว่ากราฟของปอดในส่วนด้านหลังมีแนวโน้มความชันที่ค่อยๆ ลดลง (EELI slope decline at the dorsal part of the lung) จะสามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายในเวลา 120 นาทีได้ โดยความสัมพันธ์ดังกล่าว ไม่พบจากกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของปอดส่วนหน้า (ventral part) หรือของปอดทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าการลดลงของปริมาตรถุงลมปอดส่วนหลังที่ตรวจวัดได้จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 5 นาที สามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ ที่ 120 นาที ภายหลังจากลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออกได้

การพบว่า การลดลงของปริมาตรถุงลมปอดโดยกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า เฉพาะของปอดส่วนหลังเท่านั้นที่สามารถใช้ทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบได้นั้น สามารถอธิบายได้ โดย การศึกษาในสัตว์ทดลอง^{16, 28} ที่พบว่าพยาธิสรีรวิทยาของภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน มักเกิดการลดลงของปริมาตรปอดที่ส่วนหลังก่อน และสัตว์ทดลองที่มีภาวะทางเดินหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน หากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันของการช่วยหายใจ กล่าวคือ ถอดระบบเครื่องช่วยหายใจหรือดูดเสมหะ จะพบการลดลงของปริมาตรปอดที่ส่วนหลังก่อน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถตรวจพบได้ทั้งจากการทำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์และการวัดโดยการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรปอดจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique จะพบว่า การพบการลดความชันกราฟความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปอดส่วนหลัง มีความไวสูงกว่าในการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบ

5.2 ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษาของผู้วิจัย มีข้อจำกัด คือ การศึกษานี้มุ่งเน้นการทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบในช่วงเวลาภายใน 120 นาทีหลังการลดแรงดันบวกที่ระยะสิ้นสุดการหายใจออก แต่ยังไม่สามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบที่ระยะเวลานานขึ้นได้

การเกิดเกิดถุงลมปอดแฟบนั้น ในปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานเพียงพอว่านำไปสู่ผลลัพธ์ทางคลินิกที่สำคัญ เช่น ระยะเวลาที่ไม่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ ระยะเวลาในการเข้ารับการรักษาในหอผู้ป่วยภาวะวิกฤติ อัตราตาย เป็นต้น เนื่องจากมีปัจจัยอื่นๆอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อผลลัพธ์ทางคลินิกรดังกล่าว

ประชากรตัวอย่างของการศึกษา คำนวณโดยคิดจากจำนวนครั้งของการทำหัตถการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออก คือ ในผู้ป่วย 1 รายสามารถคิดเป็นประชากรกลุ่มตัวอย่างได้มากกว่า 1 ครั้ง แต่ไม่เกิน 3 ครั้ง ซึ่งการศึกษาแต่ละครั้งจะทำในเวลาที่ห่างกันอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ตามวิธีการศึกษาที่ระบุไว้ข้างต้น ดังนั้น แม้ว่าผู้ป่วยรายเดียวกันจะทำการศึกษามากกว่า 1 ครั้ง แต่ช่วงระยะเวลาที่ศึกษาต่างกัน พยาธิสภาพของปอดที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันมีความแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงสรุปว่าการศึกษาในแต่ละครั้งถือเป็นคนละประชากรตัวอย่าง

ขนาดตัวอย่างมีขนาดเล็ก และทำการเก็บข้อมูลได้เพียงร้อยละ 90 ของที่คำนวณไว้ เนื่องจากข้อจำกัดของระยะเวลาในการทำการศึกษาและสถานการณ์ของโรคติดเชื้อ (Covid19)

5.3 บทสรุป

การวัดปริมาตรปอดโดยวิธีวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยใช้ค่า global EELI ไม่สามารถใช้ทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกภายใน 120 นาทีได้ ต่างจากการวัดปริมาตรปอดจากเครื่องช่วยหายใจ โดย Nitrogen washout/washin technique โดยใช้ปริมาตรปอดที่ลดลง 10% ที่ระยะเวลา 5 นาที สามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบได้ และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการวัดปริมาตรปอดโดยสองวิธี นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังพบว่าเกิดการลดความชันกราฟความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปอดส่วนหลังที่เวลา 5 นาที สามารถทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกภายใน 120 นาทีได้เช่นกัน

5.4 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังมีความน่าสนใจ เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์แรกจากการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สามารถใช้ทำนายการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกในผู้ป่วยทางเดินหายใจล้มเหลวระยะพื้นตัว ควรนำมาเป็นวัตถุประสงค์หลักในการทำการศึกษาในโอกาสต่อไป

การสังเกตการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกควรทำในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า 2 ชั่วโมง และทำการศึกษาต่อถึงนำไปสู่ผลลัพธ์ทางคลินิกที่สำคัญ เช่น ระยะเวลาที่ไม่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ ระยะเวลาในการเข้ารับการรักษาในหอผู้ป่วยภาวะวิกฤติ อัตราตาย เป็นต้น ว่ามีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการเกิดถุงลมปอดแฟบภายหลังการลดแรงดันบวกในระยะสิ้นสุดการหายใจออกมากน้อยเพียงไร

บรรณานุกรม

1. Force* TADT. Acute Respiratory Distress Syndrome: The Berlin Definition. JAMA 2012;307:2526-33.
2. Gattinoni L, Protti A, Caironi P, Carlesso E. Ventilator-induced lung injury: the anatomical and physiological framework. Crit Care Med 2010;38:S539-48.
3. Walkey AJ, Del Sorbo L, Hodgson CL, Adhikari NKJ, Wunsch H, Meade MO, et al. Higher PEEP versus Lower PEEP Strategies for Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. A Systematic Review and Meta-Analysis. Ann Am Thorac Soc 2017;14:S297-S303.
4. Gattinoni L, Caironi P, Cressoni M, Chiumello D, Ranieri VM, Quintel M, et al. Lung recruitment in patients with the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 2006;354:1775-86.
5. Dellamonica J, Lerolle N, Sargentini C, Beduneau G, Di Marco F, Mercat A, et al. PEEP-induced changes in lung volume in acute respiratory distress syndrome. Two methods to estimate alveolar recruitment. Intensive Care Med 2011;37:1595-604.
6. Kobylanski J, Murray A, Brace D, Goligher E, Fan E. Electrical impedance tomography in adult patients undergoing mechanical ventilation: A systematic review. Journal of Critical Care 2016;35:33-50.
7. Tomicic V, Cornejo R. Lung monitoring with electrical impedance tomography: technical considerations and clinical applications. J Thorac Dis 2019;11:3122-35.
8. Richard JC, Brochard L, Vandelet P, Breton L, Maggiore SM, Jonson B, et al. Respective effects of end-expiratory and end-inspiratory pressures on alveolar recruitment in acute lung injury. Crit Care Med 2003;31:89-92.
9. Demory D, Arnal JM, Wysocki M, Donati S, Granier I, Corno G, et al. Recruitability of the lung estimated by the pressure volume curve hysteresis in ARDS patients. Intensive Care Med 2008;34:2019-25.
10. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby JJ. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. Am J Respir Crit Care Med 2011;183:341-7.
11. Lambermont B, Ghuysen A, Janssen N, Morimont P, Hartstein G, Gerard P, et al.

Comparison of functional residual capacity and static compliance of the respiratory system during a positive end-expiratory pressure (PEEP) ramp procedure in an experimental model of acute respiratory distress syndrome. *Critical Care* 2008;12:R91.

12. Lobo B, Hermosa C, Abella A, Gordo F. Electrical impedance tomography. *Ann Transl Med* 2018;6:26.

13. Frerichs I, Amato MB, van Kaam AH, Tingay DG, Zhao Z, Grychtol B, et al. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDy group. *Thorax* 2017;72:83-93.

14. Bodenstein M, David M, Markstaller K. Principles of electrical impedance tomography and its clinical application. *Crit Care Med* 2009;37:713-24.

15. Costa EL, Borges JB, Melo A, Suarez-Sipmann F, Toufen C, Jr., Bohm SH, et al. Bedside estimation of recruitable alveolar collapse and hyperdistension by electrical impedance tomography. *Intensive Care Med* 2009;35:1132-7.

16. Meier T, Luepschen H, Karsten J, Leibecke T, Grossherr M, Gehring H, et al. Assessment of regional lung recruitment and derecruitment during a PEEP trial based on electrical impedance tomography. *Intensive Care Med* 2008;34:543-50.

17. Hinz J, Hahn G, Neumann P, Sydow M, Mohrenweiser P, Hellige G, et al. End-expiratory lung impedance change enables bedside monitoring of end-expiratory lung volume change. *Intensive Care Medicine* 2003;29:37-43.

18. Victorino JA, Borges JB, Okamoto VN, Matos GF, Tucci MR, Caramez MP, et al. Imbalances in regional lung ventilation: a validation study on electrical impedance tomography. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;169:791-800.

19. Camporota L, Smith J, Barrett N, Beale R. Assessment of regional lung mechanics with electrical impedance tomography can determine the requirement for ECMO in patients with severe ARDS. *Intensive Care Med* 2012;38:2086-7.

20. Karsten J, Stueber T, Voigt N, Teschner E, Heinze H. Influence of different electrode belt positions on electrical impedance tomography imaging of regional ventilation: a prospective observational study. *Crit Care* 2016;20:3.

21. M.Praipruksaphan, N.Kongpolprom. Early changes of EELV and lung strain predict lung

collapse after PEEP decrement in recovering ARDS patients. 2018.

22. Ferguson ND, Fan E, Camporota L, Antonelli M, Anzueto A, Beale R, et al. The Berlin definition of ARDS: an expanded rationale, justification, and supplementary material. *Intensive Care Med* 2012;38:1573-82.
23. Suh GY, Kwon OJ, Yoon JW, Park SJ, Ham HS, Kang SJ, et al. A practical protocol for titrating "optimal" PEEP in acute lung injury: recruitment maneuver and PEEP decrement. *J Korean Med Sci* 2003;18:349-54.
24. Huh JW, Jung H, Choi HS, Hong SB, Lim CM, Koh Y. Efficacy of positive end-expiratory pressure titration after the alveolar recruitment manoeuvre in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care* 2009;13:R22.
25. Eckhard Teschner MI, Steffen Loenhardt. *Electrical Impedance Tomography: The realisation of regional ventilation monitoring*. Lubeck, Germany: Draeger Medical GmbH; 2015.
26. Zhang J, Patterson RP. EIT images of ventilation: what contributes to the resistivity changes? *Physiol Meas* 2005;26:S81-92.
27. Erlandsson K, Odenstedt H, Lundin S, Stenqvist O. Positive end-expiratory pressure optimization using electric impedance tomography in morbidly obese patients during laparoscopic gastric bypass surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006;50:833-9.
28. Lindgren S, Odenstedt H, Olegård C, Söndergaard S, Lundin S, Stenqvist O. Regional lung derecruitment after endotracheal suction during volume- or pressure-controlled ventilation: a study using electric impedance tomography. *Intensive Care Med* 2007;33:172-80.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ฉันทวีร์ เสริมแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด	21 ธันวาคม 2531
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษา	พ.บ.(เกียรตินิยม), ว.ว. อายุรศาสตร์ แพทย์ประจำบ้านต่อยอด สาขาวิชาอายุรศาสตร์โรคระบบทางเดินหายใจ และภาวะวิกฤต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	โรงพยาบาลศูนย์ยะลา ถ.สีโรรส ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY