e18064

ปริมาตรลมเริ่มต้นสำหรับกระเปาะลม (cuff) ของท่อช่วยหายใจขนาด 7.0 และ 7.5 มม. เพื่อให้ได้แรงดัน 20-30 cmH_2O ในผู้ป่วยผู้ใหญ่ที่ได้รับการระงับความรู้สึกทั่วร่างกาย โรงพยาบาลชัยภูมิ: การศึกษาแบบวัดซ้ำไปข้างหน้า

ดาลัด พร้อมพันธุ์, พบ.[*1]

บุณฑริกา อาจนาเสียว, พบ.[**]

ศิรินาถ สุวรรณามังกร, พย.บ.[***]

บทคัดย่อ

แรงดันในกระเปาะลมของท่อช่วยหายใจควรอยู่ในช่วง 20-30 cmH_2O แต่การคลำกระเปาะลมภายนอกมีความแม่นยำต่ำ และข้อมูลปริมาตรลมเริ่มต้นตามขนาดท่อในประเทศไทยยังมีจำกัด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาตรลมเริ่มต้นที่ให้สัดส่วนการได้แรงดันเป้าหมายสูงสุดสำหรับท่อช่วยหายใจขนาด 7.0 และ 7.5 มม. เป็นการศึกษาแบบวัดซ้ำไปข้างหน้าในผู้ป่วยผู้ใหญ่ที่ได้รับการระงับความรู้สึกทั่วร่างกาย โรงพยาบาลชัยภูมิ 75 ราย (ผู้ป่วยหญิงใช้ท่อขนาด 7.0 มม. 45 ราย และผู้ป่วยชายใช้ท่อขนาด 7.5 มม. 30 ราย) เติมลม 3-8 มล. และวัดแรงดันด้วย cuff manometer ทุกระดับ วิเคราะห์สัดส่วนความสำเร็จพร้อมช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และใช้ GEE ร่วมกับ restricted cubic spline

จากการวัด 450 ครั้ง ปริมาตรที่ให้สัดส่วนแรงดันในช่วงเป้าหมายสูงสุด คือ 4 มล. ในกลุ่มท่อขนาด 7.0 มม. (ร้อยละ 53.3; 95% CI: 39.1, 67.1; ต่ำกว่าเป้าหมายร้อยละ 20.0 สูงกว่าร้อยละ 26.7) และ 5 มล. ในกลุ่มท่อขนาด 7.5 มม. (ร้อยละ 50.0; 95% CI: 33.2, 66.8; ต่ำกว่าร้อยละ 16.7 สูงกว่าร้อยละ 33.3) การเติมลมเกินปริมาตรดังกล่าวทำให้สัดส่วนแรงดันเกิน 30 cmH_2O เพิ่มขึ้นชัดเจน (ร้อยละ 93.3 ที่ 6 มล. ในกลุ่มท่อขนาด 7.0 มม.) แบบจำลอง spline แสดงความสัมพันธ์แบบ inverted-U โดยมีจุดสูงสุดที่ 3.6 และ 5.1 มล. ตามลำดับ

ปริมาตรลม 4 มล. สำหรับท่อขนาด 7.0 มม. ในผู้ป่วยหญิง และ 5 มล. สำหรับท่อขนาด 7.5 มม. ในผู้ป่วยชาย ใช้เป็นค่าเริ่มต้นได้ แต่ผู้ป่วยเกือบครึ่งยังมีแรงดันนอกช่วงเป้าหมาย จึงควรตรวจวัดและปรับแรงดันด้วย cuff manometer ทุกครั้ง

คำสำคัญ : กระเปาะลมของท่อช่วยหายใจ, แรงดันในกระเปาะลม, ปริมาตรลมในกระเปาะลม, ท่อช่วยหายใจ, การระงับความรู้สึกทั่วร่างกาย

[*] นายแพทย์ชำนาญการ กลุ่มงานวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ

[**] นายแพทย์ชำนาญการพิเศษ กลุ่มงานวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ

[***] พยาบาลวิชาชีพชำนาญการ กลุ่มงานวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลชัยภูมิ

[1] ผู้ประพันธ์บรรณกิจ: ดาลัด พร้อมพันธุ์, E-mail: Daladphromphan@gmail.com

ส่งเรื่อง: 19 สิงหาคม 2569

แก้ไข: 10 พฤศจิกายน 2569

อนุมัติตีพิมพ์: 13 พฤศจิกายน 2569

Initial cuff inflation volume for 7.0 and 7.5 mm endotracheal tubes to achieve a cuff pressure of 20-30 cmH_2O in adults undergoing general anesthesia at Chaiyaphum Hospital: a prospective repeated-measures study

Dalad Phromphan, M.D.[*1]

Bundharika Artnasiaw, M.D.[**]

Sirinat Suwannamagkorn, B.N.S.[***]

Abstract

Endotracheal tube cuff pressure should be 20-30 cmH_2O, but pilot balloon palpation is inaccurate, and Thai data on initial inflation volumes by tube size are limited. This study aimed to determine the initial air volume yielding the highest proportion of target pressure for 7.0 and 7.5 mm tubes. In this prospective repeated measures study at Chaiyaphum Hospital, 75 adults under general anesthesia (45 women, 7.0 mm tubes; 30 men, 7.5-mm tubes) had cuffs inflated with 3-8 mL of air, with pressure measured by cuff manometer at each volume. Success proportions with 95% confidence intervals were analyzed using GEE with restricted cubic splines.

Among 450 measurements, success was highest at 4 mL for 7.0 mm tubes (53.3%; 95% CI 39.1, 67.1; 20.0% below, 26.7% above target) and at 5 mL for 7.5 mm tubes (50.0%; 95% CI 33.2, 66.8; 16.7% below, 33.3% above). Larger volumes sharply increased overinflation, reaching 93.3% at 6 mL with 7.0 mm tubes. Spline models showed an inverted U pattern peaking at 3.6 and 5.1 mL, respectively.

Initial volumes of 4 mL (7.0 mm tubes, women) and 5 mL (7.5 mm tubes, men) are reasonable starting points, but as nearly half of patients remained outside the target range, cuff pressure should be verified and adjusted with a cuff manometer.

Keywords : cuff, cuff pressure, cuff inflation volume, endotracheal tube, general anesthesia

[*]Anesthesiologist, Professional Level, Anesthesiology Department, Chaiyaphum Hospital

[**]Anesthesiologist, Senior Professional Level, Anesthesiology Department, Chaiyaphum Hospital

[***]Nurse anesthetist, Professional Level, Anesthesiology Department, Chaiyaphum Hospital

[1]Corresponding Author: Dalad Phromphan, E-mail: daladphromphan@gmail.com

Submission: 19 August 2026

Revised: 10 November 2026

Publication: 13 November 2026

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใส่ท่อช่วยหายใจเป็นหัตถการพื้นฐานในผู้ป่วยที่เข้ารับการระงับความรู้สึกทั่วร่างกาย โดยหลังใส่ท่อจำเป็นต้องเติมลมในกระเปาะลม (cuff) อย่างเหมาะสม ให้ได้ค่าแรงดันอยู่ในช่วง 20-30 cmH_2O[1-2] เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ ลดการไหลของสารคัดหลั่งลงสู่ทางเดินหายใจส่วนล่าง และทำให้ท่ออยู่ในตำแหน่งที่มั่นคง[3] แต่ในทางปฏิบัติพบว่ามีแรงดันอยู่นอกช่วงที่แนะนำได้บ่อย จากการศึกษาในผู้ป่วยผู้ใหญ่พบแรงดันอยู่ในช่วงเป้าหมายเพียงร้อยละ 18.8 และสูงกว่า 30 cmH_2O ถึงร้อยละ 64.6[4] สอดคล้องกับรายงานจากหลายโรงพยาบาล[5] โดยแรงดันที่ต่ำกว่า 20 cmH_2O เพิ่มความเสี่ยงต่อการสำลัก และภาวะปอดอักเสบจากการใช้เครื่องช่วยหายใจ[6-7] ในทางตรงข้ามหากใส่ลมมากเกินไป ก่อให้เกิดการลดการไหลเวียนเลือดที่เยื่อบุหลอดลม และเมื่อเกิน 50 cmH_2O อาจเกิดภาวะขาดเลือด[1, 8] ซึ่งผลลัพธ์ทางคลินิกยังขึ้นกับชนิดของกระเปาะลม และระยะเวลาของการใส่ท่อช่วยหายใจ[3, 9] รวมถึงพบอุบัติการณ์เจ็บคอ เสียงแหบหลังการผ่าตัด ซึ่งการวัด และปรับแรงดันของท่อช่วยหายใจสามารถลดอุบัติการณ์เหล่านี้ได้[10-11]

การเติมลมในกระเปาะบอลลูนเพื่อที่จะได้ค่าแรงดันที่เหมาะสม สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้ การคลำกระเปาะลมภายนอก (pilot balloon palpation) ซึ่งนิยมใช้มากที่สุด ให้แรงดันในช่วงเหมาะสมเพียงร้อยละ 4.4 และมักเติมลมมากเกินไป[12-13] วิธี minimal occlusive volume และ minimal leak technique ขึ้นกับประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติ[14] วิธีสุดท้ายคือการใช้อุปกรณ์ cuff manometer เป็นวิธีที่แม่นยำที่สุด และควรเป็นมาตรฐานในการดูแล[5, 12-14] แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความพร้อมใช้ในบางจุดบริการของโรงพยาบาลชัยภูมิ เนื่องจากมีราคาสูง จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการหาปริมาตรลมเบื้องต้นในการเติมเพื่อให้ได้ค่าแรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดในผู้ป่วยที่เข้ารับการระงับความรู้สึกทั่วร่างกาย

จากการสืบค้นในฐานข้อมูล PubMed, ThaiJO และ ThaiDJ พบว่าการศึกษาในประเทศไทยส่วนใหญ่มุ่งเปรียบเทียบเทคนิคการเติมลม[15] ขณะที่ข้อมูลปริมาตรลมเริ่มต้นตามขนาดท่อในผู้ป่วยผู้ใหญ่ยังมีจำกัด และปริมาตรที่รายงานในต่างประเทศอาจใช้กับชนิดของท่อและบริบทของโรงพยาบาลได้ไม่มากนัก เนื่องจากความยืดหยุ่นของกระเปาะลมแตกต่างกันตามผู้ผลิต และสรีระวิทยาของผู้ป่วย[16] การศึกษานี้ดำเนินการในห้องผ่าตัดซึ่งควบคุมเงื่อนไขการวัดเพื่อสร้างข้อมูลพื้นฐานเชิงสรีรวิทยาเป็นขั้นแรก ผลการศึกษาจึงยังไม่สามารถอนุมานไปยังผู้ป่วยในห้องฉุกเฉิน หอผู้ป่วยหนัก หรือการดูแลก่อนถึงโรงพยาบาลได้โดยตรง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาปริมาตรลมเริ่มต้นที่ให้สัดส่วนแรงดันในกระเปาะลมของท่อช่วยหายใจอยู่ในช่วง 20 - 30 cmH_2O สูงสุด ในผู้ป่วยผู้ใหญ่ที่ได้รับการระงับความรู้สึกทั่วร่างกาย จำแนกตามกลุ่มขนาดท่อที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ท่อขนาด 7.0 มม. ในผู้ป่วยหญิง และท่อขนาด 7.5 มม. ในผู้ป่วยชาย

2. เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลมกับค่าแรงดันในกระเปาะลม และสัดส่วนผู้ป่วยที่มีค่าแรงดันต่ำกว่า 20 cmH_2O และสูงกว่า 30 cmH_2O ในแต่ละระดับปริมาตร

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ตัวแปรต้นคือปริมาตรลมที่เติมในกระเปาะลม 6 ระดับ (3 - 8 มล.) ตัวแปรตามคือแรงดันในกระเปาะลม จำแนกเป็นต่ำกว่า 20, 20 - 30 และสูงกว่า 30 cmH_2O โดยผลลัพธ์หลักคือการได้แรงดัน 20 - 30 cmH_2O ปัจจัยที่อาจมีผลได้แก่ ขนาดท่อซึ่งซ้อนทับกับเพศโดยการออกแบบ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกาย โดยควบคุมรุ่นท่อ ท่าศีรษะ และขั้นตอนการวัดให้เหมือนกัน ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงใน Figure 1

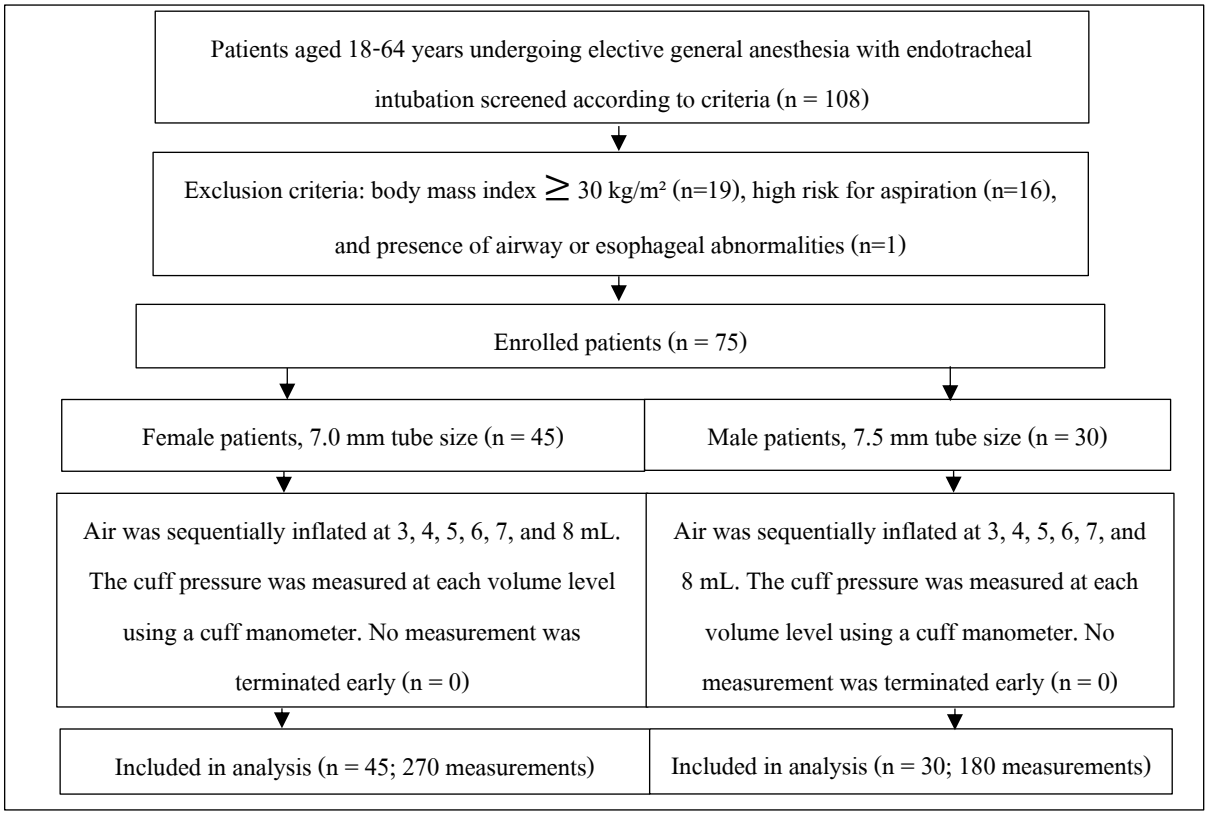


Figure 1: Research Flowchart / Study Flow Diagram

ระเบียบวิธีวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การศึกษาเชิงสรีรวิทยาแบบวัดซ้ำไปข้างหน้า (prospective repeated-measures physiological study) ผู้วิจัยกำหนดปริมาตรลม 6 ระดับตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในผู้ป่วยรายเดียวกัน โดยไม่มีการสุ่มและไม่มีกลุ่มควบคุม การรายงานผลประยุกต์ตามแนวทาง STROBE[17] ดำเนินการ ณ ห้องผ่าตัดโรงพยาบาลชัยภูมิ ระหว่างเดือน ธันวาคม 2568 (เริ่มเก็บข้อมูลจากผู้ป่วยหลังวันที่ 8 ธันวาคม 2568 - พฤษภาคม 2569) โดยเพิ่มจากการดูแลตามปกติ คือการดูดลมออกและเติมลมซ้ำ 6 ระดับพร้อมวัดแรงดันในแต่ละระดับ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรคือผู้ป่วยที่ได้รับการระงับความรู้สึกทั่วร่างกายและใส่ท่อช่วยหายใจ ณ ห้องผ่าตัดโรงพยาบาลชัยภูมิ คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบต่อเนื่อง (consecutive sampling) เกณฑ์คัดเข้า ได้แก่ อายุ 18 - 64 ปี เข้ารับการผ่าตัดแบบไม่เร่งด่วน โดยผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. และผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. ตามแนวปฏิบัติของหน่วยงาน และยินยอมเข้าร่วมการศึกษาเป็นลายลักษณ์อักษร เกณฑ์คัดออก ได้แก่ ดัชนีมวลกายตั้งแต่ 30 กก./ม.^{2} มีความเสี่ยงต่อการสำลัก เช่น ตั้งครรภ์ งดน้ำหรืออาหารไม่ครบตามเกณฑ์ โรคกรดไหลย้อน เข้ารับการผ่าตัดเกี่ยวกับทางเดินอาหาร และมีความผิดปกติของหลอดลมหรือหลอดอาหาร เกณฑ์ยุติการเข้าร่วม ได้แก่ ใส่ท่อยากจนต้องใส่ซ้ำ มีการเปลี่ยนท่อช่วยหายใจ

การคำนวณขนาดตัวอย่างใช้กฎจำนวนเหตุการณ์ตัวแปร (events per variable; EPV)[18] อย่างน้อย 15 เหตุการณ์ต่อตัวแปรทำนาย สำหรับตัวแปรที่วางแผนไว้ 5 ตัว ได้แก่ ปริมาตรลม อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย จึงต้องการอย่างน้อย 75 เหตุการณ์ต่อกลุ่ม จากการศึกษานำร่อง (จำนวน 20 ราย กลุ่มละ 10 ราย) พบว่าสัดส่วนการได้รับแรงดันในกระเปาะลมของท่อช่วยหายใจอยู่ในช่วง 20 – 30 cmH_2O สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 35 ในกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. (เมื่อเติมลม 4-5 มล.) และร้อยละ 50 ในกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. (เมื่อเติมลม 5-6 มล.) เพื่อให้ได้ 75 เหตุการณ์เป้าหมาย จึงต้องการการวัด 214 ครั้ง สำหรับกลุ่มท่อ 7.0 มม. และ 150 ครั้ง สำหรับกลุ่มท่อ 7.5 มม. หรือผู้ป่วย 36 และ 25 คน (6 การวัดต่อคน) ตามลำดับ ในการเก็บข้อมูลจริง ผู้วิจัยรวบรวมกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. ได้ 45 ราย และกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. ได้ 30 ราย (รวมประชากรทั้งสิ้น 75 ราย จำนวน 450 การวัด) ซึ่งมากกว่าขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่คำนวณไว้ โดยไม่มีการสูญหายของข้อมูลระหว่างการศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้ป่วยได้รับการระงับความรู้สึกทั่วร่างกายตามมาตรฐาน และใส่ท่อช่วยหายใจชนิด high-volume low-pressure cuff รุ่นเดียวกันทั้งหมด (Covidien Shiley intermediate cuff) โดยวิสัญญีพยาบาล โดยใช้ video laryngoscope ทั้งนี้

ผู้วิจัยได้ร่วมประเมินความลึกของท่อช่วยหายใจโดยสังเกตให้ขีดนำ (vocal cord mark) ผ่านระดับเส้นเสียง พร้อมทั้งยืนยันตำแหน่งของท่อด้วยการฟังเสียงปอดและ capnography

การวัดดำเนินการภายหลังการใส่ท่อช่วยหายใจและก่อนเริ่มการผ่าตัด โดยจัดให้ผู้ป่วยอยู่ในท่านอนหงายศีรษะตรง ภายใต้ฤทธิ์ของยาหย่อนกล้ามเนื้อ ไม่มีการใช้ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และตั้งค่าความดันบวกเมื่อสิ้นสุดการหายใจออก (Positive end-expiratory pressure; PEEP) ไว้ที่ 5 cmH_2O ผู้วิจัยเริ่มต้นด้วยการดูดลมออกจากกระเปาะลมจนหมดด้วยกระบอกฉีดยาขนาด 10 มล. จากนั้นจึงเติมลมที่ระดับ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มล. ตามลำดับ แล้ววัดแรงดันด้วย cuff manometer โดยก่อนการเปลี่ยนระดับปริมาตรลมทุกครั้ง จะทำการดูดลมเดิมออกจนหมด กรณีที่แรงดันขึ้นถึงขีดสูงสุดของมาตรวัด (120 cmH_2O) จะบันทึกค่าเป็น 120 cmH_2O และทำการดูดลมออกทันทีหลังจากการอ่านค่า กระบวนการวัดทั้งหมดใช้ระยะเวลาไม่เกิน 5 นาที เมื่อวัดครบทุกระดับ ผู้วิจัยปรับแรงดันในกระเปาะลมให้อยู่ในช่วง 20-30 cmH_2O ก่อนเริ่มการผ่าตัด จากนั้นผู้ป่วยจะได้รับการดูแลทางวิสัญญีวิทยาตามมาตรฐาน รวมถึงการติดตามประเมินอาการในวันถัดไป

เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ ท่อช่วยหายใจขนาด 7.0 และ 7.5 มม. กระบอกฉีดยาขนาด 10 มล. cuff manometer (VBM Medizintechnik GmbH, Germany) ช่วงการวัด 0-120 cmH_2O ซึ่งได้รับการสอบเทียบก่อนเริ่มเก็บข้อมูล video laryngoscope และแบบบันทึกข้อมูลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

ตัวแปรในการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ อายุ เพศ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย และแรงดันในกระเปาะลมที่ปริมาตรทั้ง 6 ระดับ ผลลัพธ์หลักคือการได้ค่าแรงดันอยู่ในช่วง 20-30 cmH_2O ผลลัพธ์รองคือค่าแรงดัน และสัดส่วนที่ต่ำกว่า 20 หรือสูงกว่า 30 cmH_2O ในแต่ละระดับปริมาตร

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติพรรณนานำเสนอด้วยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามัธยฐาน พิสัยระหว่างควอไทล์ (IQR) จำนวน และร้อยละ เปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานระหว่างกลุ่มด้วย independent t-test และคำนวณช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของสัดส่วนความสำเร็จด้วยวิธี Wilson

สถิติอนุมานใช้ Generalized Estimating Equations (GEE) ร่วมกับ logit link[19] กำหนดผู้ป่วยแต่ละรายเป็น cluster ใช้ exchangeable working correlation และ robust standard error ควบคุมอายุ น้ำหนัก และดัชนีมวลกาย โดยไม่นำส่วนสูงเข้าแบบจำลอง เนื่องจากดัชนีมวลกายคำนวณจากน้ำหนักและส่วนสูง การนำทั้งสามตัวแปรเข้าพร้อมกันจะเกิดภาวะ multicollinearity เนื่องจากผู้ป่วยทุกรายได้รับการวัดครบทุกระดับปริมาตร ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างน้ำหนักกับดัชนีมวลกายจึงไม่กระทบค่าประมาณของปริมาตรลม การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงใช้ restricted cubic spline 3 knots (3, 5.5 และ 8 มล.) ภายใต้กรอบ GEE เดียวกัน[20] การวิเคราะห์ทั้งหมดแยกตามกลุ่มขนาดท่อ ทดสอบ

ความไม่เป็นเส้นตรงด้วย Wald test ของพจน์ spline และคำนวณความน่าจะเป็นที่ทำนายที่ค่าเฉลี่ยของตัวแปรร่วม พร้อมทั้งประเมินความสามารถในการจำแนกผลของแบบจำลองเบื้องต้นด้วยค่าพื้นที่ใต้โค้ง ROC ในลักษณะ apparent performance กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $p<0.05$

ผลการวิจัย

ผู้ป่วยที่เข้าร่วมการศึกษามีทั้งสิ้น 75 ราย ได้แก่ ผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. 45 ราย และผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. 30 ราย ทุกรายได้รับการวัดครบ 6 ระดับปริมาตร รวม 450 ครั้ง ไม่มีข้อมูลสูญหาย (Figure 1) ทั้งสองกลุ่มมีอายุและน้ำหนักใกล้เคียงกัน ส่วนส่วนสูงและดัชนีมวลกายแตกต่างกันตามลักษณะทางเพศ (Table 1)

Table 1: Baseline characteristics of patients classified by endotracheal tube size

ตัวแปร	เบอร์ 7.0 (เพศหญิง, n = 45)	เบอร์ 7.5 (เพศชาย, n = 30)	p-value
อายุ (ปี), Mean±SD	48.8±12.0	46.4±15.9	0.467
น้ำหนัก (กก.), Mean±SD	59.8±8.6	59.3±9.8	0.828
ส่วนสูง (ม.), Mean±SD	1.57±0.05	1.65±0.08	<0.001*
ดัชนีมวลกาย (กก./ม.²), Mean±SD	24.3±3.3	21.7±3.5	0.002*
จำนวนการวัดทั้งหมด (ครั้ง)	270	180	-

*$p < 0.05$ based on independent t-test

แรงดันในกระเปาะลมเพิ่มขึ้นตามปริมาตรลมในลักษณะไม่เป็นเส้นตรงทั้งสองกลุ่ม ในกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. ค่ามัธยฐาน เพิ่มจาก 16 (10, 20) cmH_2O ที่ 3 มล. เป็น 120 (102, 120) cmH_2O ที่ 8 มล. และในกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. เพิ่มจาก 8 (8, 10) เป็น 66 (54, 92) cmH_2O ตามลำดับ (Figure 2) ทั้งนี้ ข้อมูลการวัดที่ปริมาตรสูงบางส่วนชนเพดานขีดสูงสุดของมาตรวัด (120 cmH_2O) ค่าที่รายงาน ณ ปริมาตรสูงจึงอาจต่ำกว่าความเป็นจริง

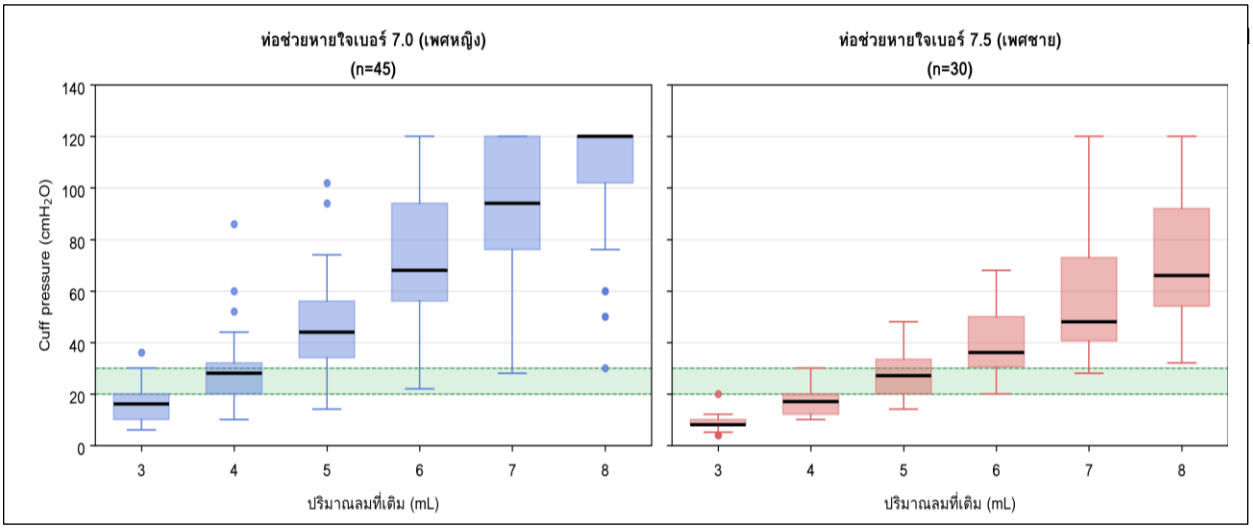


Figure 2: Distribution of endotracheal tube cuff pressure at each air volume level, classified by endotracheal tube size (green band = target range 20-30 cmH_2O)

สัดส่วนของผู้ป่วยที่มีแรงดัน 20-30 cmH_2O ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามปริมาตรลมอย่างต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วลดลง ในกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. สัดส่วนความสำเร็จสูงสุดพบที่ปริมาตร 4 มล. (24/45 ราย; ร้อยละ 53.3; 95% CI 39.1, 67.1) อย่างไรก็ตาม ที่ปริมาตรลมเดียวกันนี้ พบว่าผู้ป่วยร้อยละ 20.0 มีแรงดันต่ำกว่าเป้าหมาย (<20 cmH_2O) และร้อยละ 26.7 มีแรงดันสูงกว่าเป้าหมาย (>30 cmH_2O) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวทางนี้ยังให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงตามเป้าหมายเกือบครึ่งหนึ่ง โดยเมื่อเพิ่มปริมาตรลมเป็น 6 มล. สัดส่วนผู้ป่วยที่มีแรงดันเกิน 30 cmH_2O จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากถึงร้อยละ 93.3 สำหรับกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. สัดส่วนความสำเร็จสูงสุดพบที่ปริมาตร 5 มล. (15/30 ราย; ร้อยละ 50.0; 95% CI 33.2, 66.8) ซึ่งเป็นปริมาตรที่มากกว่ากลุ่มท่อขนาด 7.0 มม. อยู่ 1 มล. อย่างไรก็ตาม ช่วงความเชื่อมั่นของทั้งสองกลุ่มมีความซ้อนทับกัน เมื่อพิจารณาที่ปริมาตร 5 มล. นี้ พบว่าผู้ป่วยกลุ่มท่อ 7.5 มม. ถึงร้อยละ 16.7 (5/30 ราย) มีแรงดันต่ำกว่า 20 cmH_2O และร้อยละ 33.3 (10/30 ราย) มีแรงดันสูงกว่า 30 cmH_2O โดยในจำนวนนี้มีร้อยละ 10.0 (3/30 ราย) ที่แรงดันสูงเกิน 40 cmH_2O ลักษณะความคลาดเคลื่อนนี้พบเช่นเดียวกันในกลุ่มท่อ 7.0 มม. ซึ่งแม้จะใช้ปริมาตรที่ได้สัดส่วนสูงสุด (4 มล.) แต่ก็ยังพบผู้ป่วยที่มีแรงดันสูงเกิน 40 cmH_2O ถึงร้อยละ 8.9 (4/45 ราย) นอกจากนี้ ในกลุ่มท่อ 7.5 มม. หากเติมลมเพิ่มเป็น 6 มล. สัดส่วนผู้ป่วยที่แรงดันสูงกว่า 30 cmH_2O จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 73.3 ทั้งนี้ สัดส่วนผู้ป่วยในแต่ละช่วงแรงดัน ณ ทุกระดับปริมาตรได้แสดงรายละเอียดไว้ใน Table 2

Table 2: Number (percentage) of patients with endotracheal tube cuff pressure below, within, and above the target range of 20-30 cmH_2O at each air volume level, classified by endotracheal tube size

ปริมาตรลม (มล.)	ค่ามัธยฐาน (IQR) cmH_2O	< 20 cmH_2O *n* (%)	20-30 cmH_2O *n* (%) [95% CI]	> 30 cmH_2O *n* (%)	> 40 cmH_2O *n* (%)
ท่อขนาด 7.0 มม. (ผู้ป่วยหญิง, *n* = 45)					
3	16 (10, 20)	33 (73.3)	11 (24.4) [14.2, 38.7]	1 (2.2)	0 (0.0)
4	28 (20, 32)	9 (20.0)	24 (53.3) [39.1, 67.1]	12 (26.7)	4 (8.9)
5	44 (34, 56)	1 (2.2)	9 (20.0) [10.9, 33.8]	35 (77.8)	25 (55.6)
6	68 (56, 94)	0 (0.0)	3 (6.7) [2.3, 17.9]	42 (93.3)	36 (80.0)
7	94 (76, 120)	0 (0.0)	1 (2.2) [0.4, 11.6]	44 (97.8)	43 (95.6)
8	120 (102, 120)	0 (0.0)	1 (2.2) [0.4, 11.6]	44 (97.8)	44 (97.8)
ท่อขนาด 7.5 มม. (ผู้ป่วยชาย, *n* = 30)					
3	8 (8, 10)	29 (96.7)	1 (3.3) [0.6, 16.7]	0 (0.0)	0 (0.0)
4	17 (12, 20)	17 (56.7)	13 (43.3) [27.4, 60.8]	0 (0.0)	0 (0.0)
5	27 (20, 34)	5 (16.7)	15 (50.0) [33.2, 66.8]	10 (33.3)	3 (10.0)
6	36 (30, 50)	0 (0.0)	8 (26.7) [14.2, 44.4]	22 (73.3)	11 (36.7)
7	48 (40, 73)	0 (0.0)	4 (13.3) [5.3, 29.7]	26 (86.7)	22 (73.3)
8	66 (54, 92)	0 (0.0)	0 (0.0) [0.0, 11.4]	30 (100.0)	27 (90.0)

95% CI calculated by the Wilson method; the > 40 cmH_2O column is a subset of the > 30 cmH_2O column; readings at the manometer ceiling were recorded as 120 cmH_2O.

การวิเคราะห์ด้วย GEE ที่กำหนดปริมาตรลมเป็นตัวแปรเชิงเส้นและควบคุมอายุ น้ำหนัก และดัชนีมวลกาย แสดงแนวโน้มเฉลี่ยตลอดช่วง 3-8 มล. เป็นขาลงในทั้งสองกลุ่ม (กลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม.: adjusted OR 0.53; 95% CI 0.40, 0.70 และกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม.: adjusted OR 0.80; 95% CI 0.68, 0.95) ซึ่งสะท้อนว่าปริมาตรส่วนใหญ่ในช่วงที่ศึกษาอยู่สูงกว่าจุดที่เหมาะสม ค่านี้เป็นค่าเฉลี่ยภายใต้สมมติฐานความสัมพันธ์เชิงเส้น จึงไม่ใช้อธิบายผลที่ปริมาตรแต่ละระดับ ส่วนอายุ น้ำหนัก และดัชนีมวลกายไม่มีความสัมพันธ์กับโอกาสสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3)

Table 3: Analysis of the probability of achieving endotracheal tube cuff pressure within the range of 20–30 cmH_2O using Generalized Estimating Equations (GEE) models

Variable	Group	adjusted OR	95% CI	*p*-value
Air volume (per 1 mL increase)	Size 7.0	0.53	0.40, 0.70	<0.001*
Age (per 1 year increase)	Size 7.0	1.02	0.99, 1.05	0.191
Weight (per 1 kg increase)	Size 7.0	1.03	0.98, 1.08	0.226
Body mass index (per 1 unit increase)	Size 7.0	0.90	0.78, 1.03	0.124
Air volume (per 1 mL increase)	Size 7.5	0.80	0.68, 0.95	0.013*
Age (per 1 year increase)	Size 7.5	1.01	0.99, 1.03	0.222
Weight (per 1 kg increase)	Size 7.5	1.02	0.97, 1.07	0.380
Body mass index (per 1 unit increase)	Size 7.5	0.90	0.78, 1.05	0.177

Note: $p < 0.05$; GEE model used an exchangeable working correlation structure, controlling for covariates of age, weight, and body mass index; height was not entered because body mass index is derived from weight and height.

แบบจำลอง restricted cubic spline ภายใต้กรอบ GEE แสดงความสัมพันธ์แบบเพิ่มขึ้นแล้วลดลง (inverted-U) ในทั้งสองกลุ่ม (Figure 3) ปริมาตรที่ให้ความน่าจะเป็นสูงสุดคือ 3.6 มล. ในกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. (predicted probability 0.33) และ 5.1 มล. ในกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. (predicted probability 0.51) ผลทดสอบ Wald สำหรับพจน์ไม่เป็นเส้นตรงมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มท่อขนาด 7.5 มม. ($p < 0.001$) แต่ไม่มีนัยสำคัญในกลุ่มท่อขนาด 7.0 มม. ($p = 0.219$) อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มท่อขนาด 7.0 มม. ค่าความน่าจะเป็นที่ทำนายได้ (ร้อยละ 33) ต่ำกว่าสัดส่วนความสำเร็จที่สังเกตได้ที่ 4 มล. (ร้อยละ 53.3) ค่อนข้างมาก ซึ่งอาจเกิดจาก spline 3 knots ปรับจุดสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วระหว่างปริมาตรที่อยู่ติดกันให้เรียบ ผู้วิจัยจึงใช้ผล spline เพื่ออธิบายรูปแบบแนวโน้ม และใช้สัดส่วนที่สังเกตได้เป็นหลักในการสรุปปริมาตรที่แนะนำ

ค่า area under the ROC curve ของแบบจำลอง spline เท่ากับ 0.80 ในกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. และ 0.79 ในกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. ซึ่งประเมินจากข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้สร้างแบบจำลอง (apparent performance) โดยไม่มีการตรวจสอบความเที่ยงตรงภายใน จึงใช้เพื่ออธิบายความสามารถในการจำแนกผลเบื้องต้นของชุดข้อมูลนี้เท่านั้น และไม่ได้ใช้เพื่อยืนยันความแม่นยำของปริมาตรที่แนะนำสำหรับการนำไปใช้ในข้อมูลใหม่

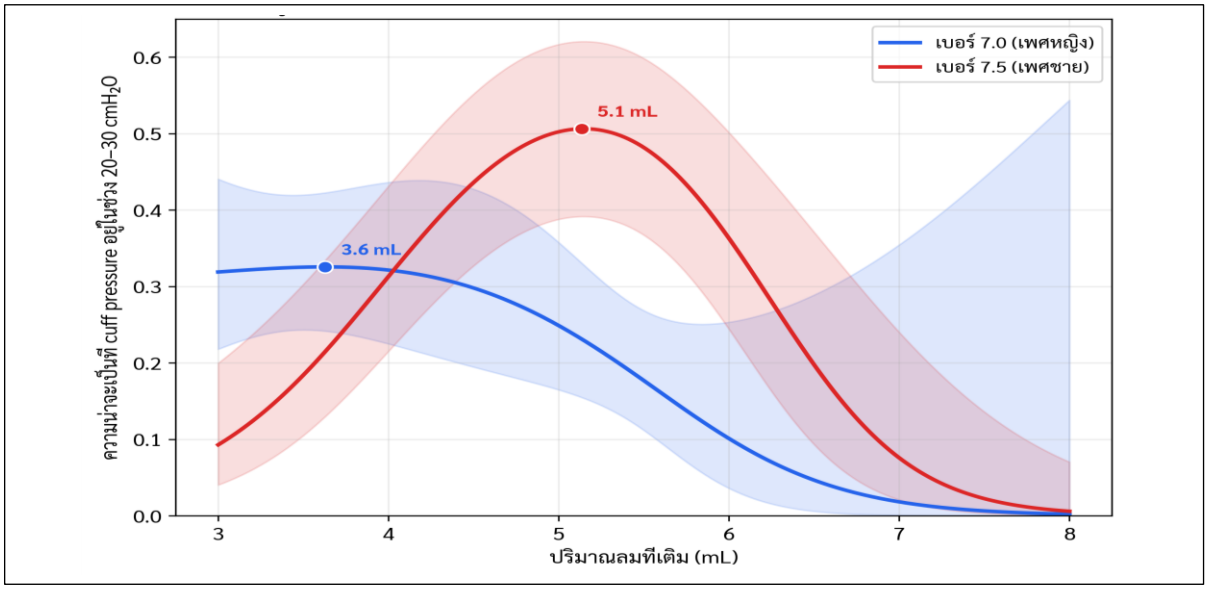


Figure 3: Predicted probability of achieving endotracheal tube cuff pressure within the target range using restricted cubic spline regression under a GEE model

อภิปรายและสรุปผล

การศึกษานี้พบว่าปริมาตรลมเริ่มต้นที่ให้สัดส่วนการได้แรงดัน 20-30 cmH_2O สูงสุดจากข้อมูลที่สังเกตได้จริง คือ 4 มล. สำหรับกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. และ 5 มล. สำหรับกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่พบสัดส่วนความสำเร็จสูงสุดเพียงประมาณร้อยละ 50-53 สะท้อนให้เห็นว่าการกำหนดปริมาตรลมแบบตายตัวไม่สามารถครอบคลุมผู้ป่วยได้ทุกราย เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณกับการศึกษาของ Sengupta และคณะ[5] ที่ทำการประเมินแยกตามขนาดท่อเช่นเดียวกัน พบว่าปริมาตรลมมัธยฐานที่ต้องใช้เพื่อให้ได้แรงดันเป้าหมายที่ 20 cmH_2O ในท่อขนาด 7.0 และ 7.5 มม. มีค่าเพียง 2.6 มล. และ 2.5 มล. ตามลำดับ ปริมาตรที่แตกต่างจากการศึกษานี้อาจเกิดจากคุณสมบัติความยืดหยุ่นของกระเปาะลม ที่แตกต่างกันตามยี่ห้อและรุ่นของท่อช่วยหายใจ รวมถึงความแตกต่างด้านสรีรวิทยาหลอดลมของกลุ่มประชากร และความแตกต่างของเทคนิคการวัด อย่างไรก็ดี แม้ค่ามัธยฐานจะแตกต่างกัน แต่ข้อค้นพบของ Sengupta ก็สะท้อนให้เห็นถึงความแปรปรวนของปริมาตรลมระหว่างบุคคลที่สูงมากเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ จากการสืบค้นวรรณกรรมเพิ่มเติมพบการศึกษาของ Gilliland และคณะ[4] ที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อวิสัญญีแพทย์ประเมินแรงดันด้วยวิธีต่างๆ เช่น การใช้ปริมาตรลมตายตัว หรือการคลำกระเปาะลม มีผู้ป่วยสูงถึงร้อยละ 64.6 ที่มีแรงดันเกินขีดจำกัด (> 30 cmH_2O) และมีเพียงร้อยละ 18.8 เท่านั้นที่ได้แรงดันอยู่ในช่วงเป้าหมาย ซึ่งสอดคล้องกับ Rahmani และคณะ[13] ที่พบว่าการเติมลมปริมาตรคงที่ 10 มล. ให้แรงดันอยู่ในช่วงเป้าหมายได้เพียงร้อยละ 43.3 ข้อมูลเหล่านี้จึงสนับสนุนข้อสรุปที่ว่า การเติมลมด้วยปริมาตรคงที่แม้จะปรับตาม

ขนาดท่อแล้ว ก็ยังคงทำให้แรงดันตกอยู่นอกช่วงเป้าหมายในผู้ป่วยจำนวนมาก แม้การเปรียบเทียบข้ามการศึกษาจะมีข้อจำกัดจากความแตกต่างของรุ่นท่อ ประชากร และวิธีวัดก็ตาม

สำหรับปริมาตรที่ให้ผลสูงสุดในการศึกษานี้ พบว่ากลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. ใช้ปริมาตรสูงกว่ากลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. อยู่ 1 มล. ความแตกต่างดังกล่าวอาจสะท้อนทั้งขนาดของกระเปาะลม และขนาดหลอดลม อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษานี้มีข้อจำกัดที่เพศและขนาดท่อมีความซ้อนทับกันทั้งหมด ตามการออกแบบวิจัย และไม่ได้มีการวัดขนาดหลอดลมโดยตรง ผู้วิจัยจึงไม่สามารถแยกอิทธิพลของปัจจัยทั้งสองได้อย่างอิสระ อนึ่ง แม้การศึกษาของ Willis และคณะ[21] จะเคยรายงานความแตกต่างของแรงดันที่ใช้ปิดผนึกทางเดินหายใจระหว่างเพศ แต่เนื่องจากการศึกษาดังกล่าวเป็นการวัดแรงดันขั้นต่ำ และศึกษาในท่อขนาด 8.0 และ 9.0 มม. จึงไม่สามารถนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบโดยตรงกับการศึกษานี้ได้ การอธิบายความแตกต่างของปริมาตรด้วยเหตุผลทางกายวิภาคจึงเป็นเพียงข้อสันนิษฐานที่จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลมและแรงดันกระเปาะลม จำเป็นต้องแยกพิจารณาสองลักษณะให้ชัดเจน กล่าวคือ เมื่อปริมาตรลมเพิ่มขึ้น แรงดันจริงภายในกระเปาะลมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ความน่าจะเป็นที่จะได้แรงดันอยู่ในช่วงเป้าหมาย (20-30 cmH_2O) จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นแล้วลดลง (inverted-U) สัดส่วนความสำเร็จที่ลดลงเมื่อปริมาตรเกินจุดเหมาะสมเกิดจากแรงดันที่สูงเกิน 30 cmH_2O มากขึ้น ซึ่งมีนัยสำคัญด้านความปลอดภัย เนื่องจากแรงดันที่สูงเกินขีดจำกัดจะลดการไหลเวียนเลือดของเยื่อบุหลอดลมจนเกิดภาวะขาดเลือดและบาดเจ็บได้[1, 8] ในการศึกษานี้ เมื่อเติมลมเกินปริมาตรที่แนะนำเพียง 1 มล. พบว่าในกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม. (ที่ 5 มล.) ผู้ป่วยร้อยละ 77.8 มีแรงดันเกิน 30 cmH_2O และกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม. (ที่ 6 มล.) พบร้อยละ 73.3 ขณะเดียวกัน แม้ที่ปริมาตรซึ่งให้ผลสูงสุด ผู้ป่วยประมาณร้อยละ 20.0 (ในกลุ่มผู้ป่วยหญิงที่ใช้ท่อขนาด 7.0 มม.) และร้อยละ 16.7 (ในกลุ่มผู้ป่วยชายที่ใช้ท่อขนาด 7.5 มม.) ยังคงมีแรงดันต่ำกว่า 20 cmH_2O ซึ่งเสี่ยงต่อการรั่วและการสำลัก ความแปรปรวนระหว่างบุคคลนี้สอดคล้องกับ Wu และคณะ[22] ที่พบว่าความแตกต่างของพื้นที่หน้าตัดระหว่างกระเปาะลมกับหลอดลมในแต่ละบุคคล เป็นปัจจัยกำหนดแรงดันที่ต้องการมากกว่าขนาดท่อหรือปริมาตรลมเพียงอย่างเดียว ข้อค้นพบนี้จึงสนับสนุนให้มีการศึกษาต่อยอดโดยพิจารณาการประเมินขนาดหลอดลมเป็นรายบุคคลร่วมด้วย

ปริมาตรลมเริ่มต้นจากการศึกษานี้จึงเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นที่อาจช่วยประมาณปริมาตรลมในประชากรที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น และการวัดด้วย cuff manometer ยังคงเป็นมาตรฐานที่จำเป็น[14] จุดแข็งของการศึกษานี้คือ การวัดซ้ำในผู้ป่วยรายเดียวกันการใช้เครื่อง cuff manometer วัดแรงดันกระเปาะลมโดยตรง และการจำกัดชนิดของท่อช่วยหายใจเพียงรุ่นเดียว อย่างไรก็ตาม ค่าความแม่นยำของ

แบบจำลองที่รายงานนั้น เป็นเพียงการประเมินจากข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้สร้างแบบจำลอง โดยปราศจากการตรวจสอบความเที่ยงตรง จึงไม่อาจใช้เป็นหลักฐานยืนยันความแม่นยำหากนำไปใช้กับข้อมูลชุดใหม่ นอกจากนี้ การศึกษายังมีข้อจำกัดอื่นๆ ได้แก่ ผลการศึกษาจำกัดเฉพาะท่อยี่ห้อและรุ่นเดียวที่ศึกษา ไม่ได้มีการสุ่มลำดับการให้ปริมาตรลม ข้อมูลแรงดันในระดับสูงบางส่วนชนเพดานของมาตรวัด ไม่ได้ประเมินการรั่วของลม ไม่ครอบคลุมผู้ป่วยที่มีดัชนีมวลกายตั้งแต่ 30 กก./ม.² เพศและขนาดท่อซ้อนทับกันอย่างสมบูรณ์ และประเมินเฉพาะช่วงก่อนเริ่มผ่าตัด โดยไม่ได้ติดตามผลลัพธ์ทางคลินิก เช่น อาการเจ็บคอหรือการสำลัก

สรุปผล

ปริมาตรลมที่ให้สัดส่วนการได้แรงดัน 20-30 cmH_2O สูงสุด คือ 4 มล. สำหรับท่อขนาด 7.0 มม. ในผู้ป่วยหญิง (ร้อยละ 53.3; 95% CI 39.1, 67.1) และ 5 มล. สำหรับท่อขนาด 7.5 มม. ในผู้ป่วยชาย (ร้อยละ 50.0; 95% CI 33.2, 66.8) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผู้ป่วยเกือบครึ่งหนึ่งยังคงมีแรงดันอยู่นอกช่วงเป้าหมาย ค่าดังกล่าวจึงใช้เป็นเพียงค่าประมาณเริ่มต้นสำหรับท่อรุ่นที่ศึกษาเท่านั้น และไม่สามารถทดแทนความจำเป็นในการวัดและปรับแรงดันด้วย cuff manometer ได้

ข้อเสนอแนะ

ด้านการปฏิบัติ ควรวัดแรงดันด้วย cuff manometer ทุกครั้งที่ใส่ท่อช่วยหายใจ ปริมาตรที่เสนออาจใช้เป็นค่าเริ่มต้นระหว่างรอการวัดในผู้ป่วยที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง แต่ยังไม่ควรนำไปใช้ในห้องฉุกเฉิน หอผู้ป่วยหนัก หรือกับท่อรุ่นอื่นจนกว่าจะมีหลักฐานยืนยัน ด้านการวิจัย ควรศึกษาหลายสถาบันโดยใช้ท่อหลายยี่ห้อและหลายขนาดในทั้งสองเพศ ขยายปริมาตรให้ต่ำกว่า 3 มล. สุ่มลำดับการเติมลม วัดขนาดหลอดลม และติดตามผลลัพธ์ทางคลินิก ด้านระบบบริการ ควรเพิ่มความพร้อมใช้ของ cuff manometer ในทุกจุดบริการที่มีการใส่ท่อช่วยหายใจ ร่วมกับการฝึกอบรมบุคลากร

ข้อพิจารณาด้านจริยธรรมการวิจัย

การวิจัยนี้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์โรงพยาบาลชัยภูมิ เลขที่ ECCPH.035/2568 เมื่อวันที่ 8 ธันวาคม 2568 ผู้ป่วยทุกรายลงนามยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรก่อนเข้าร่วมการศึกษา และข้อมูลถูกบันทึกด้วยรหัสโดยไม่ระบุตัวตน

เอกสารอ้างอิง

1. Seegobin RD, van Hasselt GL. Endotracheal cuff pressure and tracheal mucosal blood flow: endoscopic study of effects of four large volume cuffs. Br Med J (Clin Res Ed) 1984;288(6422):965-8. DOI:10.1136/bmj.288.6422.965

2. Turner MA, Feeney M, Deeds LJL. Improving endotracheal cuff inflation pressures: an evidence-based project in a military medical center. AANA J 2020;88(3):203-8. PMID:32442097
3. Sultan P, Carvalho B, Rose BO, Cregg R. Endotracheal tube cuff pressure monitoring: a review of the evidence. J Perioper Pract 2011;21(11):379-86. DOI:10.1177/175045891102101103
4. Gilliland L, Perrie H, Scribante J. Endotracheal tube cuff pressures in adult patients undergoing general anaesthesia in two Johannesburg academic hospitals. S Afr J Anaesth Analg 2015;21(3):35-8. DOI:10.1080/22201181.2015.1056504
5. Sengupta P, Sessler DI, Maglinger P, Wells S, Vogt A, Durrani J, et al. Endotracheal tube cuff pressure in three hospitals, and the volume required to produce an appropriate cuff pressure. BMC Anesthesiol 2004;4(1):8. DOI:10.1186/1471-2253-4-8
6. Rouze A, Jaillette E, Nseir S. Continuous control of tracheal cuff pressure: an effective measure to prevent ventilator-associated pneumonia?. Crit Care 2014;18(5):512. DOI:10.1186/s13054-014-0512-2
7. Coppadoro A, Bellani G, Foti G. Non-Pharmacological Interventions to Prevent Ventilator-Associated Pneumonia: A Literature Review. Respir Care 2019;64(12):1586-95. DOI:10.4187/respcare.07127
8. Feng TR, Ye Y, Doyle DJ. Critical importance of tracheal tube cuff pressure management. World J Anesthesiol 2015;4(2):10-2. DOI:10.5313/wja.v4.i2.10
9. Mu G, Wang F, Li Q, Yu X, Lu B. Reevaluating 30 cmH2O endotracheal tube cuff pressure: risks of airway mucosal damage during prolonged mechanical ventilation. Front Med (Lausanne) 2024;11:1468310. DOI:10.3389/fmed.2024.1468310
10. Zhu G, Wang X, Cao X, Yang C, Wang B, Ang Y, et al. The effect of different endotracheal tube cuff pressure monitoring systems on postoperative sore throat in patients undergoing tracheal intubation: a randomized clinical trial. BMC Anesthesiol 2024;24(1):115. DOI:10.1186/s12871-024-02499-5

11. Wang C, Yan X, Gao C, Liu S, Bao D, Zhang D, et al. Effect of continuous measurement and adjustment of endotracheal tube cuff pressure on postoperative sore throat in patients undergoing gynecological laparoscopic surgery: a randomized controlled trial. J Clin Monit Comput 2024;38(6):1379-86. DOI:10.1007/s10877-024-01173-y
12. Sadovyi V, Kuchyn I, Bielka K, Horoshko V, Sazhyn D, Sokolova L. Endotracheal tube cuff pressure assessment: expectations versus reality. Anaesthesiol Intensive Ther 2024;56(4):241-5. DOI:10.5114/ait.2024.145411
13. Rahmani F, Soleimanpour H, Zeynali A, Mahmoodpoor A, Shahsavari Nia K, Rahimi Panahi J, et al. Comparison of tracheal tube cuff pressure with two techniques: fixed volume versus pilot balloon palpation. J Cardiovasc Thorac Res 2017;9(4):196-9. DOI:10.15171/jcvtr.2017.34
14. Kumar CM, Seet E, Van Zundert TCRV. Measuring endotracheal tube intracuff pressure: no room for complacency. J Clin Monit Comput 2021;35(1):3-10. DOI:10.1007/s10877-020-00501-2
15. Ammaraporn S, Mamaethong T, Chaiyoslap K, Khrukaew T. Comparison of endotracheal tube cuff pressure with passive release technique for cuff inflation between disposable and loss of resistance syringe in patients undergoing general anesthesia. Thai J Anesthesiol 2024;50(4):231-40. https://he02.tci-thaijo.org/index.php/anesthai/article/view/269958
16. Shibasaki M, Nakajima Y, Shime N, Sawa T, Sessler D I. Prediction of optimal endotracheal tube cuff volume from tracheal diameter and from patient height and age: a prospective cohort trial. Journal of Anesthesia 2012;26(4):536-40. DOI:10.1007/s00540-012-1371-0
17. Von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. Lancet 2007;370(9596):1453-7. DOI:10.1016/S0140-6736(07)61602-X

18. Peduzzi P, Concato J, Kemper E, Holford TR, Feinstein AR. A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis. J Clin Epidemiol 1996;49(12):1373-9. DOI:10.1016/s0895-4356(96)00236-3
19. Liang KY, Zeger SL. Longitudinal data analysis using generalized linear models. Biometrika 1986;73(1):13-22. DOI:10.1093/biomet/73.1.13
20. Desquilbet L, Mariotti F. Dose-response analyses using restricted cubic spline functions in public health research. Stat Med 2010;29(9):1037-57. DOI:10.1002/sim.3841
21. Willis BA, Latto IP, Dyson A. Tracheal tube cuff pressure. Clinical use of the Cardiff cuff controller. Anaesthesia 1988;43(4):312-4. DOI:10.1111/j.1365-2044.1988.tb08983.x
22. Wu HL, Wu YH, Shen WQ, Shi JH, Xu YH, Shen HW, et al. Relationship between difference in endotracheal tube cuff area and airway area with minimum cuff pressure for adequate airway sealing: a prospective observational study. Sci Rep 2025;15(1):5875. DOI:10.1038/s41598-025-85355-x