**นิพนธ์ต้นฉบับ**

# Outcomes of transporting of blood gas capillary tube samples from pediatric patients using a customized container through a pneumatic tube system compared with delivering in-person to the clinical laboratory unit, Lampang hospital

Anavat Bupphachareonsuk[1], Khataliya Inthayote[1], Keetha Utthayotha[2], Supamongkol Mankhit[2], Nateekarn Wongchai[2], Wiritpon Rasri[2]

[1]Department of Pediatrics, Lampang Hospital

[2]Medical Education Center, Lampang Hospital

Received March 12, 2024 Revised June 5, 2024 Accepted June 24, 2024

**Abstracts**

**Background:** Currently, the pneumatic tube system is used in the hospitals to reduce the transportation time of documents, medicines, and medical supplies. However, the transportation of blood gas within hospitals still depends on available hospital couriers, who may take long transport distances and cannot accommodate the moving promptly. Additionally, there is a lack of comparative data on blood gas values in pediatric patients transported via the pneumatic tube system versus hospital couriers.

**Objectives:** To compare the differences in blood gas transit time, blood gas values and transportation cost between a transit of blood gas sample via the customized container through pneumatic transportation system and via hospital couriers.

**Method:** An experimental study was conducted to compare the differences in blood gas transit time, blood gas values, and transportation costs between customized container through a pneumatic transportation system and hospital couriers for infants weighing 2 kilograms or more who needed blood gas analysis. Each sample of blood gas were transported by using both methods. Data were collected from 25 pairs of arterial blood gas samples and 36 pairs of venous blood gas samples from May 27 to December 5, 2023.

**Result:** Among 61 pairs of blood gas, mean $\pm$ SD of transportation time by pneumatic tube system and by hospital couriers were 61.6 ± 4.9 and 148.2 ± 46.5 seconds, respectively (p value <0.001). Arterial and venous blood gas analyses (pH, $PO_2$, $PCO_2$ and $HCO_3$ values) showed no statistically significant difference (p value <0.001) between the two transportation methods. There were no complications (hemolysis, clotting and air contamination) during blood gas transportation on both methods. The transportation cost

using the pneumatic tube system was about half that of hospital couriers (approximately 27.5 and 50 Baht per round, respectively)

**Conclusion:** The blood gas values from transportation by customized container through pneumatic tube system did not differ from hospital couriers, and the transportation cost using the pneumatic tube system was lower than that of hospital couriers.

**Keywords:** customized container, blood gas values, pneumatic tube system, hospital couriers, experimental study

## ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าก๊าซในเลือดของการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีจากผู้ป่วยเด็กในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลมกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ ในโรงพยาบาลลำปาง

อนวัช บุปผาเจริญสุข[1], คัทลียา อินทะยศ[1], คีตา อุทธโยธา[2], ศุภมงคล หมั่นขีด[2],
นทีกานต์ วงค์ชัย[2], วิริทธิ์พล ราศรี[2]

[1]กลุ่มงานกุมารเวชกรรม โรงพยาบาลลำปาง
[2]ศูนย์แพทยศาสตร์ศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลลำปาง

### บทคัดย่อ

**ความเป็นมา:** ปัจจุบันระบบขนส่งท่อลมถูกนำมาใช้ในโรงพยาบาลเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการขนส่งเอกสาร ยา และสิ่งส่งตรวจ แต่การตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดในผู้ป่วยเด็กวิกฤตยังคงใช้การนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ ซึ่งใช้ระยะเวลานานและอาจไม่ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงที นอกจากนี้ยังขาดข้อมูลการศึกษาเปรียบเทียบค่าก๊าซในเลือดของผู้ป่วยเด็กที่นำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลม เปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

**วัตถุประสงค์:** เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะเวลาการขนส่ง ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด และค่าใช้จ่าย ระหว่างนวัตกรรมการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลมเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

**วิธีการศึกษา:** การศึกษาเชิงทดลอง (experimental study) ในการเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด ระยะเวลาการขนส่ง และการคำนวณต้นทุนต่อครั้งของการนำส่ง ระหว่างการส่งตรวจด้วยนวัตกรรมผ่านระบบขนส่งท่อลมเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ โดยใช้ตัวอย่างเลือดจากประชากรเด็กที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 2 กิโลกรัมขึ้นไป และมีความจำเป็นในการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด โดยแต่ละตัวอย่างจะถูกนำส่งทั้งสองวิธีมีตัวอย่างเลือดเก็บจากหลอดเลือดแดง จำนวน 25 คู่ และ ตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดดำ จำนวน 36 คู่ ตั้งแต่วันที่ 27 พฤษภาคม 2566 ถึง วันที่ 5 ธันวาคม 2566

**ผลการศึกษา:** ผลลัพธ์จากการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดทั้งหมด 61 คู่ พบว่าระยะเวลาการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลมใช้เวลา 61.6 ± 4.9 วินาที ในขณะที่ระยะเวลาการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ ใช้เวลา 148.2 ± 46.5 วินาที โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value <0.001) การศึกษาผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดพบว่า ค่าก๊าซในเลือดจากหลอดเลือดแดง และค่าก๊าซในเลือดจากหลอดเลือดดำ ผ่านระบบขนส่งท่อลม เทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ มีค่า pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value <0.001) ไม่พบการเกิด hemolysis, clotting และ air contamination ในระหว่างการขนส่ง และการขนส่งผ่านระบบขนส่งท่อลมเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ประมาณครึ่งหนึ่ง (ประมาณ 27.5 บาทต่อรอบ และประมาณ 50 บาทต่อรอบ ตามลำดับ)

**สรุป:** ค่าก๊าซในเลือดของการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีจากผู้ป่วยเด็กในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลมไม่แตกต่างจากวิธีนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ และค่าใช้จ่ายในการนำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลมต่ำกว่าการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

**คำสำคัญ:** หลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิ, ค่าก๊าซในเลือด, ระบบขนส่งท่อลม, การนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ , การศึกษาเชิงทดลอง

**บทนำ**

การตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด (blood gas analysis) เป็นหนึ่งในการส่งตรวจวินิจฉัยเพื่อประเมินภาวะกรด-ด่างในเลือด รวมทั้งประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอดของผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะวิกฤต จากสถิติจำนวนผู้ป่วยเด็กที่ได้รับการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดของโรงพยาบาลลำปาง ในปี พ.ศ. 2563 ถึง พ.ศ. 2565 มีจำนวน 2,265, 2,129 และ 1,488 ครั้ง ตามลำดับ การส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดเพื่อช่วยในการวินิจฉัยและการรักษาผู้ป่วยจากภาวะวิกฤติ มีความจำเป็นต้องได้รับการส่งตรวจอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โรงพยาบาลลำปางเคยส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดโดยใช้การนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ด้วยการบรรจุหลอดเก็บเลือดลงในภาชนะใส่น้ำแข็งเป็นหลัก แต่การขนส่งโดยวิธีนี้มีปัญหาที่สำคัญ คือ ระยะเวลาขนส่งที่ล่าช้า ทำให้การตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดเพื่อการวินิจฉัยและติดตามการรักษาของผู้ป่วยที่อยู่ในระยะวิกฤติไม่ทันท่วงที อีกทั้งยังส่งผลทำให้บุคลากรไม่สามารถดูแลผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันมีการนำระบบขนส่งท่อลม (pneumatic tube system) มาใช้ในโรงพยาบาลอย่างแพร่หลาย โดยระบบนี้ทำงานด้วยกลไกของแรงดันอากาศในการดันกระสวยที่บรรจุพัสดุอยู่ภายใน ทำให้กระสวยไหลผ่านไปในท่อลมอย่างรวดเร็ว และจะลดความเร็วเมื่อใกล้ถึงสถานีปลายทาง[1] โดยกระสวยที่ใช้ในโรงพยาบาลสามารถขนส่งพัสดุต่าง ๆ เช่น เอกสาร แฟ้มประวัติการรักษา สิ่งส่งตรวจ อาหารและยา เป็นต้น ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการขนส่ง และช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ในการขนส่ง[2,3] ส่งผลให้เจ้าหน้าที่สามารถมีเวลาในการดูแลผู้ป่วยได้อย่างประสิทธิภาพมากขึ้น[4] จากการศึกษาของประภัศรี รัตนบุญกาญจน์ พบว่าการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลม สามารถช่วยลดระยะเวลาการ

ขนส่งเมื่อเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ได้ 14 นาที 6 วินาที[5] ปัจจุบันโรงพยาบาลลำปางยังไม่ได้มีการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลม เนื่องจากขาดภาชนะที่เหมาะสมในการขนส่ง

ภาชนะที่เหมาะสมในการขนส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านทางระบบขนส่งท่อลมจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพของสิ่งส่งตรวจให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์มากที่สุด จากการศึกษาของ Biswas และคณะ พบว่า การส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดต้องรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 0–4 องศาเซลเซียส และขนส่งภายใน 10 นาที เพื่อป้องกันไม่ให้ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดโดยเฉพาะ $PO_2$ เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม[6] จากการศึกษาของ Carabini และคณะ พบว่า การส่งโดยระบบขนส่งท่อลมสามารถคงความแม่นยำของค่า pH, $PCO_2$ ได้ ยกเว้นค่า $PO_2$ ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้จากการปนเปื้อนของอากาศ หากสามารถควบคุมคุณภาพของกระสวยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถทำให้ค่า $PO_2$ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้[4] อีกทั้งการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด ต้องคำนึงถึงค่าความผันแปรที่ยอมรับได้ของ pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ ตามมาตรฐานของ Clinical Laboratory Improvement Amendments (CLIA) ที่ pH ± 0.04, $PO_2$ ± 3 SD และ $PCO_2$ ± 5 มม.ปรอท หรือร้อยละ 8[7] รวมถึงมีการรายงานค่า imprecision (CV) ของผู้ป่วยทารกครบกำหนดจากการศึกษาของ Cousineau และคณะ พบว่า มีค่า CLIA ของ pH, $PO_2$, $PCO_2$ อยู่ที่น้อยกว่าร้อยละ 0.06, 5 และ 2 ตามลำดับ[8]

จากปัญหาและข้อมูลหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้มีความสนใจในการศึกษาและคิดค้นหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิเพื่อการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านทางระบบขนส่งท่อลม ว่าสามารถลดระยะเวลาในการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดรวมถึงสามารถคงคุณภาพผลตรวจทางห้องปฏิบัติการ เมื่อเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้มาพัฒนาการขนส่งพัสดุผ่านระบบ ขนส่งท่อลมของโรงพยาบาลลำปาง ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูแลรักษาผู้ป่วยในโรงพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**วัตถุประสงค์**

1) เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลมกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่
2) เพื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดระหว่างการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีเพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลมกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่
3) เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลมกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

**วิธีการศึกษา**

รูปแบบการวิจัย

การศึกษาเชิงทดลอง (experimental study)

เกณฑ์การคัดเลือกประชากร

ผู้ป่วยเด็กที่รักษาตัวที่กลุ่มงานกุมารเวชกรรม โรงพยาบาลลำปาง โดยมีน้ำหนักตั้งแต่ 2 กิโลกรัมขึ้นไป และมีความจำเป็นในการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดโดยเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่วันที่ 27 พฤษภาคม 2566 ถึง วันที่ 5 ธันวาคม 2566

เกณฑ์การคัดประชากรออก

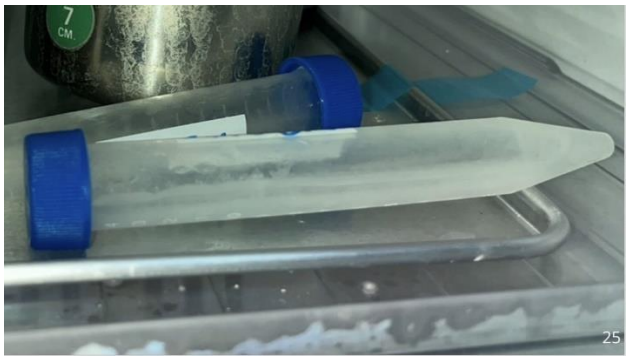
1) บิดาหรือมารดาปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัย
2) ผู้ป่วยที่มีภาวะซีด และกำลังได้รับการเติมเลือด

การเก็บตัวอย่างเลือด

เก็บตัวอย่างเลือดจากทารกที่มีข้อบ่งชี้ในการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด โดยตัวอย่างจากหลอดเลือดแดงนำเลือดมาจากทารกที่มีสายสวนหลอดเลือดแดงทางสะดือ หรือมีสายสวนคาหลอดเลือดแดง ส่วนตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดดำนำมาจากทารกที่มีสายสวนหลอดเลือดดำทางสะดือ หรือจากการเจาะเลือดทางหลอดเลือดดำ โดยการขออนุญาตกับผู้ปกครองในการดูดเลือดเพื่อส่งตรวจเพิ่มเติม จากนั้นจึงนำตัวอย่างเลือดที่ได้นำมาแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยผ่านการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลม และการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

ขั้นตอนการเตรียมหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิ

1) เติมน้ำในหลอดพลาสติกประมาณ 6 มิลลิลิตร
2) ขณะนำเข้าเครื่องทำความเย็น ให้เอียงหลอดโดยให้ก้นหลอดเฉียงขึ้นทำมุมกับแนวราบประมาณ 10-15 องศา เพื่อทำให้เกิดช่องที่สามารถใส่หลอดเก็บเลือดคาปิลลารีได้
3) จากนั้นนำอุปกรณ์ไปใส่ในช่องทำน้ำแข็งของเครื่องทำความเย็น




ภาพประกอบการจัดเตรียมหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิซึ่งทำมาจากหลอดพลาสติกที่บรรจุน้ำโดยแตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ซึ่งจัดเตรียมจากกระป๋องใส่ urine strip, ท่อพีวีซี และเจล

จากการศึกษาพบว่าหลอดเก็บเลือดสำหรับส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดควรบรรจุในภาชนะที่ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียสเพื่อไม่ทำให้ค่าผลเลือดมีความแปรปรวน ผู้วิจัยจึงทำการเก็บสถิติของอุณหภูมิหลอดพลาสติกที่แช่แข็งไว้ในเครื่องทำความเย็น เพื่อดูความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมของหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิ จากการเก็บสถิติพบว่าหลอดพลาสติกที่แช่แข็งไว้แล้ว สามารถคงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียสได้ระยะเวลาประมาณ 30 นาที

ขั้นตอนการจัดส่งหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิ

1) เจ้าหน้าที่ทำการเก็บตัวอย่างเลือดและบรรจุเข้าไปในหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีพร้อมทั้งใช้แท่งเหล็ก ใส่เข้าไปในหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีจากนั้นจึงนำแม่เหล็กมาถูที่บริเวณด้านข้างหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีเพื่อป้องกันการเกิดการแข็งตัวของเลือด จากนั้นจึงปิดจุกที่หัวและท้ายของหลอดเก็บเลือดคาปิลลารี
2) นำหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีที่มีตัวอย่างเลือด มาบรรจุในหลอดพลาสติกที่เตรียมไว้
3) เดินไปที่ระบบขนส่งท่อลม นำหลอดพลาสติกที่เก็บตัวอย่างเลือดใส่เข้าไปในกระบอกกระสวย แล้วนำกระบอกกระสวยใส่เข้าไปในเครื่อง พร้อมทั้งทำการสั่งเครื่องให้ทำงานส่งกระสวยไปที่ห้องปฏิบัติการ และจับเวลาในการขนส่งทั้งทางหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิและการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

รวบรวมข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft excel และนำข้อมูลไปคำนวณกลุ่มในโปรแกรม STATA 16 โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ paired t-test ชนิด two samples จากการทำ pilot study ได้ค่าเฉลี่ยของค่า pH 7.32 ± 0.69 และอ้างอิงค่าความคลาดเคลื่อนของการตรวจ capillary blood gas ค่าตามมาตรฐานของ Clinical Laboratory Improvement Amendments (CLIA) ± 0.5 โดยกำหนดให้ค่าอำนาจการทดสอบเท่ากับ 0.8 และให้ค่าความเชื่อมั่นอยู่ที่ร้อยละ 95 การทดสอบสองทาง ดังนั้นต้องได้กลุ่มการศึกษากลุ่มละ 20 คู่ และเพื่อทดแทนกลุ่มที่มีโอกาสออกจากการศึกษาอีกร้อยละ 20 ทำให้รวมจำนวนกลุ่มตัวอย่างจะได้กลุ่มละ 24 คู่

การคำนวณต้นทุนต่อครั้ง

คำนวณต้นทุนของการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลม ผ่านทางค่าใช้จ่ายต่อรอบของระบบขนส่งท่อลม และค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในการบรรจุเลือดในหลอดเก็บเลือดคาปิลลารี ส่วนต้นทุนของการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่คำนวณจากฐานเงินเดือน จำนวนเจ้าหน้าที่ และค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในการบรรจุเลือดในหลอดเก็บเลือดคาปิลลารี

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำจำนวน 25 และ จำนวน 36 คู่ ตามลำดับ โดยแต่ละคู่สิ่งส่งตรวจจะมีการขนส่งทั้งสองวิธีคือ การนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลม และการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบเก็บข้อมูล โดยประกอบด้วยข้อมูล 4 ส่วน ได้แก่

1) ข้อมูลของผู้ป่วยเด็ก ได้แก่ อายุ เพศ และน้ำหนัก
2) ข้อมูลสิ่งส่งตรวจ ได้แก่ ชนิดของเลือด pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$
3) ข้อมูลรายละเอียดการขนส่ง ได้แก่ ระยะเวลาขนส่งโดยระบบขนส่งท่อลมและการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่
4) ปัญหาที่พบระหว่างการขนส่ง ได้แก่ hemolysis, clotting, air contamination ประเมินจากการสังเกตเมื่อหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีไปถึงห้องปฏิบัติการ

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป STATA 16

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีเพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลมเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ ได้แก่

- ข้อมูลชนิดตัวแปรเดียว (univariable data) “ใช้ค่า mean และ standard deviation (SD)”
- ข้อมูลชนิดตัวแปรจัดกลุ่ม (categorial variable) ใช้ Chi-square หรือ Fisher’s exact test
- ข้อมูลชนิดต่อเนื่อง (continuous variable) ใช้ paired t-test
- การทดสอบความเท่าเทียมกันของชุดข้อมูล ใช้ Equivalence test

**จริยธรรมการวิจัย**

การวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการวิจัยได้ตามความเห็นของคณะอนุกรรมการจริยธรรมการวิจัยเกี่ยวกับมนุษย์โรงพยาบาลลำปาง ตามหนังสือรับรองเลขที่ EC024/66 (รับรองวันที่ 24 พฤษภาคม 2566 ถึง 23 พฤษภาคม 2567)

**ผลการศึกษา**

จากการเก็บข้อมูลการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด ของผู้ป่วยเด็กในกลุ่มงานกุมารเวชกรรม โรงพยาบาลลำปาง ได้ตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดแดงสำหรับส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด จำนวน 25 ตัวอย่าง และตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดดำสำหรับส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด จำนวน 36 ตัวอย่าง

ระยะเวลาในการขนส่งจากทั้งหมด 61 คู่ พบว่าระยะเวลาการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลม ใช้เวลา 61.6 ± 4.9 วินาที ในขณะที่ระยะเวลาการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ ใช้เวลา 148.2 ± 46.5 วินาที โดยมีการใช้ paired t-test ในการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value <0.001)

ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดจากการขนส่งโดยระบบขนส่งท่อลมเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ ซึ่งทำการศึกษาผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดทั้ง 4 ค่า ได้แก่ pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ มีการใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคือ two one-side test for equivalence และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนของผลตรวจที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน CLIA และ RCPA พบว่าตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดแดงโดยการนำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลมมีค่า pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ ได้แก่ 7.315 ± 0.082, 71.3 ± 22.5 มม.ปรอท, 47.8 ± 13.5 มม.ปรอท และ 24.1 ± 6.3 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ในส่วนของการขนส่งตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดแดงโดยการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ มีค่า pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ ได้แก่ 7.314 ± 0.086, 70.8 ± 26.3 มม.ปรอท, 48.5 ± 13.5 มม.ปรอท และ 24.5 ± 6.7 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ

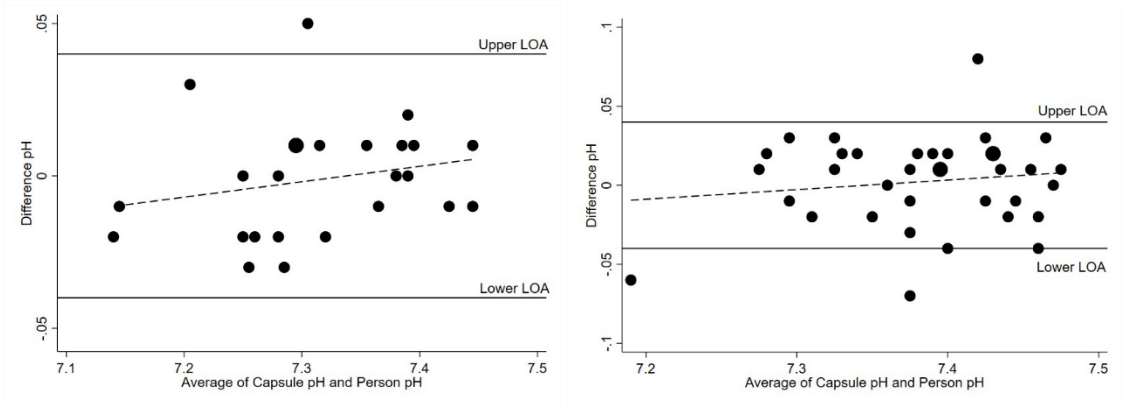
การวิเคราะห์ตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดดำสำหรับส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด โดยการนำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลมมีค่า pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ ได้แก่ 7.381 ± 0.066, 36.7 ± 16.2 มม.ปรอท, 51.7 ± 16.9 มม.ปรอท และ 31.0 ± 11.7 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ ในส่วนของการขนส่งตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดดำโดยการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ มีค่า pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ ได้แก่ 7.384 ± 0.070, 36.2 ± 16.4 มม.ปรอท, 51.8 ± 17.6 มม.ปรอท และ 31.2 ± 11.7 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ

ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดทั้งจากหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ ที่ได้จากทั้งสองวิธีการส่งสิ่งส่งตรวจไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value <0.001) ดังแสดงในตารางที่ 1

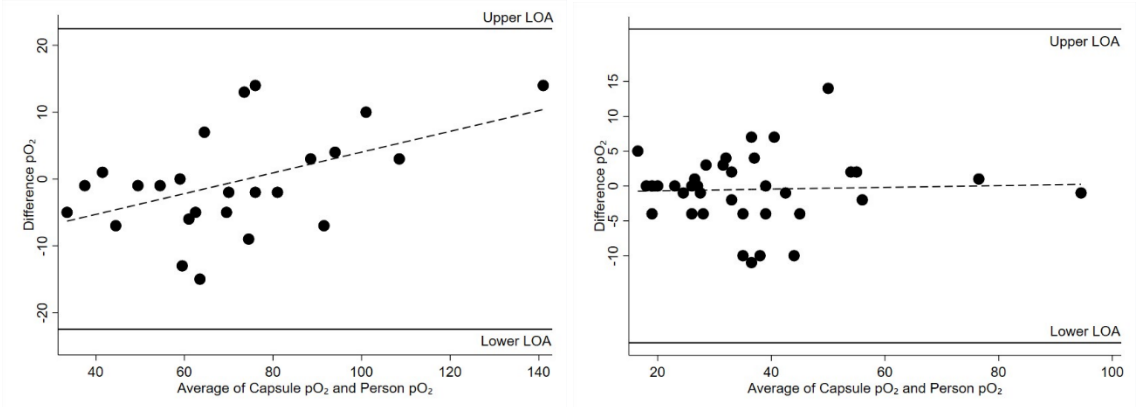
**ตารางที่ 1** แสดงผลการวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดจากการนำส่งหลอดเก็บเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลมเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ (Two one-sided test for equivalence )

| ตัวแปร | ระบบขนส่งท่อลม, Mean ± SD | นำส่งโดยเจ้าหน้าที่, Mean ± SD | Absolute Standardized Difference | Margin of equivalence | p value |
|---|---|---|---|---|---|
| Arterial Blood Gas | n=25 | n=25 | | | |
| pH | 7.315 ± 0.082 | 7.314 ± 0.086 | 0.014 | 0.04 | <0.001 |
| $PO_2$ (mmHg) | 71.3 ± 22.5 | 70.8 ± 26.3 | 0.02 | 22.5 | <0.001 |
| $PCO_2$ (mmHg) | 47.8 ± 13.5 | 48.5 ± 13.5 | 0.05 | 5 | <0.001 |
| $HCO_3$ (mmol/L) | 24.1 ± 6.3 | 24.5 ± 6.7 | 0.064 | 2.5 | <0.001 |

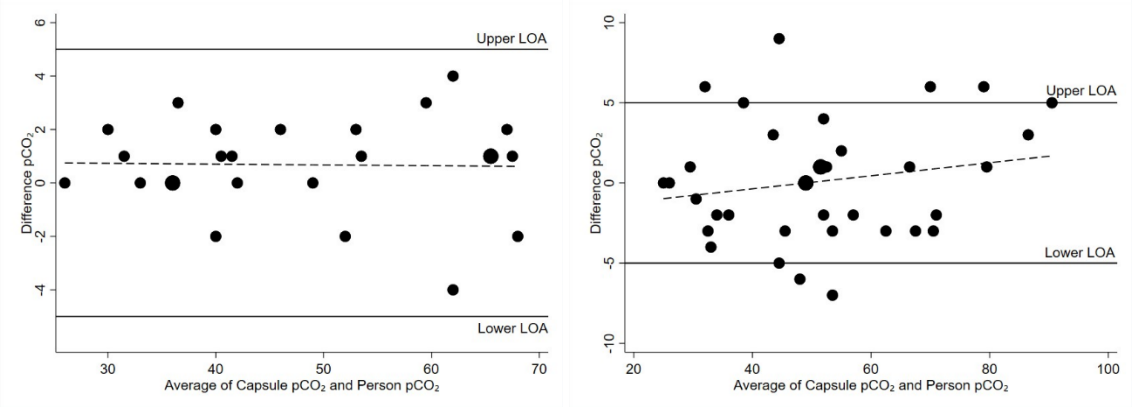
| Venous Blood Gas | n=36 | n=36 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| pH | 7.381 ± 0.066 | 7.384 ± 0.070 | 0.033 | 0.04 | <0.001 |
| $PO_2$ (mmHg) | 36.7 ± 16.2 | 36.2 ± 16.4 | 0.031 | 22.5 | <0.001 |
| $PCO_2$ (mmHg) | 51.7 ± 16.9 | 51.8 ± 17.6 | 0.006 | 5 | <0.001 |
| $HCO_3$ (mmol/L) | 31.0 ± 11.7 | 31.2 ± 11.7 | 0.017 | 2.5 | <0.001 |




**รูปที่ 1** Bland-Altman plots แสดงความแตกต่างระหว่าง pH ของการนำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลม เปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ของ arterial blood gas (ภาพซ้าย) และ venous blood gas (ภาพขวา)




**รูปที่ 2** Bland-Altman plots แสดงความแตกต่างระหว่าง $PO_2$ ของการนำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลม เปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ของ arterial blood gas (ภาพซ้าย) และ venous blood gas (ภาพขวา)




**รูปที่ 3** Bland-Altman plots แสดงความแตกต่างระหว่าง $PCO_2$ ของการนำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลมเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ของ arterial blood gas (ภาพซ้าย) และ venous blood gas (ภาพขวา)

รูปที่ 1-3 แสดงความแตกต่างของค่า pH, $PO_2$ และ $PCO_2$ ของตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดงสำหรับส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด จากการนำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลมเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ พบว่าความแตกต่างของค่า pH, $PO_2$ และ $PCO_2$ ของทั้งหลอดดำและหลอดเลือดแดงจากการขนส่งทั้ง 2 วิธี อยู่ในช่วงยอมรับได้ตามมาตรฐาน CLIA

ทั้งนี้ไม่พบว่าเกิดปัญหาการเสื่อมคุณภาพของตัวอย่างเลือดได้แก่ hemolysis, clotting และ air contamination ในระหว่างการส่งทั้ง 2 วิธี

การคำนวณค่าใช้จ่ายของระบบขนส่งท่อลมมีค่าใช้จ่ายเป็นรอบ รอบละ 3 เดือน โดยที่จะมีค่าซ่อมบำรุงระบบ ค่าซ่อมเซนเซอร์ ซึ่งไม่เท่ากันในแต่ละรอบ โดยรอบล่าสุด เท่ากับ 109,611 บาท ซึ่งทางโรงพยาบาลลำปางมี 12 สถานี โดยมีสถิติการใช้งานของสถานี 102 ตั้งแต่ 01/01/66 ถึง 22/11/66 อยู่ที่ 6307 ครั้ง คิดเป็นเดือนละประมาณ 573 ครั้ง ดังนั้นค่าใช้จ่ายต่อครั้ง เท่ากับ 109,611/12 x 3 x 573 = 5.3 บาท

ค่าใช้จ่ายของการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ โดยเจ้าหน้าที่คำนวณจากฐานเงินเดือน 10,000 บาท ซึ่งหอผู้ป่วยแรกเกิดภาวะวิกฤต มีเจ้าหน้าที่นำส่ง 3 คน เท่ากับ 30,000 บาท มีภาระงานทั้งหมด 6 ภาระ โดยมีการเดินส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดไปยังห้องปฏิบัติการเป็นหนึ่งในภาระงาน ใน 1 เดือน จะมีค่าใช้จ่ายของเจ้าหน้าที่ 30,000/6 ประมาณ 5,000 บาทในการขนส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดและในสถานการณ์ปกติจะส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด 2 รอบต่อ 1 เวร ดังนั้น 1 เดือน จะส่ง 180 ครั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อครั้งที่ 5,000/180 = 27.8 บาท

ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในการบรรจุเลือด 1 ชุด (ประกอบด้วย หลอดเก็บเลือดคาปิลลารีจุกปิด 2 ด้าน แท่งแม่เหล็ก) ราคา 4,000 บาท ใช้งานได้ประมาณ 1 เดือน มีการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด 2 รอบต่อ 1 เวร ดังนั้น 1 เดือนจะส่งประมาณ 180 รอบ ค่าใช้จ่ายส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดต่อรอบ เท่ากับ 4,000/180 = 22.2 บาท

เมื่อนำค่าใช้จ่ายของระบบขนส่งท่อลมมารวมกับค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในการบรรจุเลือด ต่อ 1 รอบ มีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 27.5 บาท ซึ่งเทียบกับค่าใช้จ่ายของการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ รวมกับค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในการบรรจุเลือด ต่อ 1 รอบ มีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 50 บาท พบว่าการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านทางระบบขนส่งท่อลมมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ 22.5 บาท ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการคำนวณต้นทุนต่อครั้งของระบบขนส่งท่อลม เปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

| ค่าใช้จ่าย | ระบบขนส่งท่อลม (บาท) | การนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ (บาท) |
|---|---|---|
| อุปกรณ์ในการบรรจุเลือด | 22.2 | 22.2 |
| อื่น ๆ (ค่าใช้จ่ายต่อรอบ / ค่าจ้าง) | 5.3 | 27.8 |
| รวม | 27.5 | 50.00 |

**อภิปรายผลการศึกษา**

การศึกษานี้พบว่าการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลม สามารถลดเวลาการขนส่งเมื่อเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยของระยะเวลา 61.6 ± 4.9 และ 148.2 ± 46.5 วินาที (p value <0.001) ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของรัตนบุญกาญจน์ และ Oliveira และคณะ ที่พบว่าการส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลม สามารถช่วยลดระยะเวลาการขนส่งได้เร็วกว่าการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่เช่นเดียวกันประมาณ 14 นาที 6 วินาที[5,9] ช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ในการขนส่ง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดทั้ง 2 ชนิด ที่ขนส่งโดยการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลมเปรียบเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ พบว่า ค่า pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน Clinical Laboratory Improvement Amendments (CLIA)[7] และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value <0.001) เช่นเดียวกับการศึกษาของรัตนบุญกาญจน์ ซึ่งได้ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดจากหลอดเลือดแดงไม่มีความแตกต่างเช่นเดียวกัน[5] และการศึกษาของ Carabini และคณะ ที่ทำการศึกษาทั้งตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำพบว่า ไม่มีความแตกต่างจากการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ ($PCO_2$ -0.9 (95%CI -3.7 to 1.8), $PO_2$ -8.0 (95%CI -40.0 to 24.5)) ดังนั้นจึงอาจใช้การส่งตรวจทางระบบขนส่งท่อลมทดแทนการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ได้ในกรณีฉุกเฉิน โดยเฉพาะเวลาขาดแคลนบุคลากร หรือบุคลากรไม่สามารถนำส่งเลือดอย่างเร่งด่วนในขณะนั้นได้[2]

ด้านค่าใช้จ่ายในการขนส่ง การศึกษาของโรงพยาบาลลำปางแสดงให้เห็นว่า การนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีเพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลมสามารถลดค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ ถึง 22.5 บาทต่อรอบ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ไม่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่ง[2,5]

ส่วนการเกิดปัญหาการเสื่อมคุณภาพของตัวอย่างเลือดระหว่างการขนส่งทั้ง hemolysis, clotting และ air contamination โดยระบบขนส่งท่อลม ของโรงพยาบาลลำปางนั้นไม่พบว่าเกิดภาวะทั้ง 3 ดังกล่าว ในขณะที่มีการรายงานว่า ค่า $PO_2$ อาจเพิ่มขึ้นได้ภายหลังการส่งผ่านระบบขนส่งท่อลม จากการมี air contamination เข้าไปในหลอดแก้ว[2,6] และส่งผลต่อค่า $PCO_2$ สูงขึ้นได้[6] ขณะที่มีการขจัดอากาศและถูกเก็บไว้ในภาชนะจากโรงงานการผลิตแล้วก็ตาม และมีการรายงานว่า การขนส่งเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลม สามารถทำให้เกิดภาวะ hemolysis[4,10-12] และอาจส่งผลให้ระดับโพแทสเซียม, LDH และ AST สูงขึ้นได้[4] นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่า การขนส่งเลือดผ่านระบบขนส่งท่อลม ไม่ได้ส่งผลต่อค่า CBC[4] หรือ coagulation test (PT, aPTT, FIB, TT,AT) อย่างมีนัยสำคัญ[13,14]

นอกจากนี้การศึกษาของโรงพยาบาลลำปางทำการศึกษาในกลุ่มประชากรเด็ก และใช้ตัวอย่างเลือดจากหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดง ซึ่งมีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ทำการศึกษาในกลุ่มประชากรผู้ใหญ่และใช้ตัวอย่างเลือดเพียงชนิดเดียว[3-5,8,9]

สำหรับข้อดีของการศึกษานี้ คือ การศึกษาในกลุ่มประชากรเด็ก ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาส่วนใหญ่ที่ศึกษาในกลุ่มประชากรผู้ใหญ่เป็นหลัก ทำให้มีข้อมูลวิจัยที่เกี่ยวข้องในประชากรเด็กเพิ่มมากขึ้น และการศึกษานี้ใช้ตัวอย่างเลือดทั้งจากหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดงพร้อมทั้งทดสอบผลการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือดทั้ง pH, $PO_2$, $PCO_2$ และ $HCO_3$ เปรียบเทียบกัน ต่างจากการศึกษาอื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ตัวอย่างเลือดเพียง 1 ชนิด และไม่ได้เปรียบเทียบค่าก๊าซในเลือดร่วมกัน[2,5,6,10,11] สำหรับข้อจำกัดของงานวิจัยชุดนี้ คือ ช่วงเวลาการจัดเก็บข้อมูลที่จำกัด และระบบขนส่งท่อลมของสถานีที่ใช้ชำรุดบ่อยครั้ง ทำให้การจัดเก็บข้อมูลล่าช้า ยังไม่สามารถขยายการศึกษาไปยังผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการอื่น ๆ ในอนาคตทางคณะผู้วิจัยคาดหวังว่า จะสามารถขยายการศึกษาในประชากรผู้ใหญ่ สามารถเก็บข้อมูลตัวอย่างได้มากขึ้น และนำข้อมูลงานวิจัยนี้ไปเป็นมาตรฐานของการส่งการตรวจวิเคราะห์ค่าก๊าซในเลือด ภายในโรงพยาบาล รวมถึงสามารถขยายการศึกษาไปถึงผลตรวจทางห้องปฏิบัติการอื่น ๆ เช่น serum lactate, electrolyte เป็นต้น

## บทสรุป

ค่าก๊าซในเลือดของการนำส่งหลอดเก็บเลือดคาปิลลารีจากผู้ป่วยเด็กในหลอดพลาสติกควบคุมอุณหภูมิผ่านระบบขนส่งท่อลมไม่แตกต่างจากวิธีนำส่งโดยเจ้าหน้าที่ ไม่เกิดปัญหาการเสื่อมคุณภาพของตัวอย่างเลือด และค่าใช้จ่ายในการนำส่งผ่านระบบขนส่งท่อลมต่ำกว่าการนำส่งโดยเจ้าหน้าที่

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทีมกุมารแพทย์และพยาบาลหอผู้ป่วยกุมารเวชกรรม โรงพยาบาลลำปาง ที่ช่วยสนับสนุนให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างเลือดและการบรรจุภาชนะ รวมถึงขอขอบคุณ นพ.ชนินท์

ประคองยศ และทีมคณะกรรมการส่งเสริมงานวิจัย ศูนย์แพทยศาสตร์ศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลลำปาง ในการให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาทางสถิติ

**เอกสารอ้างอิง**

1.Poznanski W, Smith F, Bodley F. Implementation of a pneumatic-tube system for transport of blood specimens. Am J Clin Pathol. 1978;70:291-5.

2. Carabini LM, Nouriel JE, Milian RD, Glogovsky ER, McCarthy RJ, Handler TG, et al. The clinical significance of patient specimen transport modality: Pneumatic tube system impact on blood gas analytes. Respir Care. 2016;61:1311-5.

3. Fernandes CM, Worster A, Eva K, Hill S, McCallum C. Pneumatic tube delivery system for blood samples reduces turnaround times without affecting sample quality. J Emerg Nurs. 2006;32:139-43.

4 .Kapoula GV, Kontou PI, Bagos PG. The impact of pneumatic tube system on routine laboratory parameters: A systematic review and meta-analysis. Clin Chem Lab Med. 2017;55:1834-44.

5. รัตนบุญกาญจน์. ป. การประดิษฐ์อุปกรณ์ใส่ตัวอย่างเลือด blood gas สำหรับนำส่งทางท่อลม. 2563:18-20.

6. Biswas CK, Ramos JM, Agroyannis B, Kerr DN. Blood gas analysis: Effect of air bubbles in syringe and delay in estimation. Br Med J (Clin Res Ed). 1982;284:923-7.

7. Johnson KJ, Cress GA, Connolly NW, Burmeister LF, Widness JA. Neonatal laboratory blood sampling: Comparison of results from arterial catheters with those from an automated capillary device. Neonatal Netw. 2000;19:27-34.

8. Cousineau J, Anctil S, Carceller A, Gonthier M, Delvin EE. Neonate capillary blood gas reference values. Clin Biochem. 2005;38:905-7.

9. Garcia LO, Speransa DMR, Rodrigues CB, Benites RM, García MTC, Sekine L, et al. Validation of blood components transport through a pneumatic tube system. Hematol Transfus Cell Ther. 2021;44:519-25.

10. Ellis G. An episode of increased hemolysis due to a defective pneumatic air tube delivery system. Clin Biochem. 2009;42:1265-9.

11. Evliyaoğlu O, Toprak G, Tekin A, Başarali MK, Kilinç C, Colpan L. Effect of pneumatic tube delivery system rate and distance on hemolysis of blood specimens. J Clin Lab Anal. 2012;26:66-9.

12. Kara H, Bayir A, Ak A, Degirmenci S, Akinci M, Agacayak A, et al. Hemolysis associated with pneumatic tube system transport for blood samples. Pak J Med Sci. 2014;30:50-8.

13. Slavík L, Úlehlová J, BradáČová P, Chasáková K, Hluší A, Palová M, et al. The modern pneumatic tube system transports with reduced speed does not affect special coagulation tests. J Med Syst. 2020;44:142.
14. Subbarayan D, Choccalingam C, Lakshmi CKA. The effects of sample transport by pneumatic tube system on routine hematology and coagulation tests. Adv Hematol. 2018;2018:6940152.