

## AIRBORNE BACTERIAL CONTAMINATION IN INTENSIVE CARE UNITS OF A TERTIARY CARE HOSPITAL

Petcharat SOPHON<sup>1</sup>, San SUWANMANEE<sup>2</sup>, Sukhontha SIRI<sup>2</sup>, Jiraluck NONTARAK<sup>2</sup> and Thanwa WONGSUK<sup>3</sup>

1 Faculty of Public Health, Mahidol University, Thailand

2 Department of Epidemiology, Faculty of Public Health, Mahidol University, Thailand

3 Department of Pathology, Faculty of Medicine, Navamindradhiraj University, Thailand;  
san.sua@mahidol.ac.th.com (Corresponding Author)

### ARTICLE HISTORY

**Received:** 6 February 2026

**Revised:** 27 February 2026

**Published:** 13 March 2026

### ABSTRACT

This study aimed to assess the level of airborne bacterial contamination in intensive care units (ICUs) of a tertiary-care hospital using a descriptive study design. A total of 120 air samples were collected from 10 ICU units at two sampling locations (patient bedside and nursing station) during three time periods (before, during, and after patient care activities). Bacterial concentrations were reported as colony-forming units per cubic meter (CFU/m<sup>3</sup>) and presented as median values with interquartile ranges (IQR). The results demonstrated variability in airborne microbial load across ICU units. The Intermediate Medicine Female (IMF) unit exhibited the highest median concentration (104.17 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 54.17-233.34), followed by the Stroke Unit (95.83 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 41.67-141.67), whereas the Cardiovascular and Thoracic Intensive Care Unit (CVT ICU) had the lowest median level (25.00 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 8.33-66.67). No statistically significant difference was observed between sampling locations ( $p = .300$ ). However, significant differences were identified across sampling periods ( $p = .006$ ), with the highest median concentration recorded during patient care activities (66.67 CFU/m<sup>3</sup>). Gram-positive bacteria predominated, particularly coagulase-negative *Staphylococci*, *Micrococcus* spp., and *Bacillus* spp., whereas *Acinetobacter baumannii* complex was detected at low levels. The number of individuals present in the area was positively correlated with airborne bacterial concentration ( $\rho = 0.403$ ,  $p < .001$ ). These findings indicate that airborne microbial load in ICUs varies according to unit characteristics, clinical activity intensity, and occupancy density.

**Keywords:** Airborne Bacterial Contamination, Intensive Care Unit, Indoor Air Quality, Healthcare-Associated Infections

**CITATION INFORMATION:** Sophon, P., Suwanmanee, S., Siri, S., Nontarak, J., & Wongsuk, T. (2026). Airborne Bacterial Contamination in Intensive Care Units of a Tertiary Care Hospital. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 7

# การศึกษาการปนเปื้อนของแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตของ โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ

เพชรรัตน์ โสภณ<sup>1</sup>, สันต์ สุวรรณมณี<sup>2</sup>, สุกนธา ศิริ<sup>2</sup>, จิราลักษณ์ นนทารักษ์<sup>2</sup> และ ชันวา วงษ์สุก<sup>3\*</sup>

1 คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

2 ภาควิชาระบาดวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3 ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนวมินทราชินราช; san.sua@mahidol.ac.th.com

(ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ โดยใช้การศึกษาเชิงพรรณนา เก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 120 ตัวอย่าง จากหอผู้ป่วยวิกฤต 10 หอ พื้นที่ดูแลผู้ป่วยและพื้นที่ปฏิบัติงานพยาบาลพยาบาล ในช่วงเวลาก่อน ระหว่าง และหลังการดูแลผู้ป่วย ปริมาณเชื้อรายงานในหน่วยโคโลนีฟอร์มมิงยูนิตต่อลูกบาศก์เมตร (CFU/m<sup>3</sup>) และแสดงผลเป็นค่ามัธยฐานและพิสัยระหว่างควอไทล์ (IQR) ผลการศึกษาพบว่าระดับเชื้อแตกต่างกันระหว่างหน่วยบริการ โดย Intermediate Medicine Female (IMF) มีค่ามัธยฐานสูงสุด (104.17 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 54.17-233.34) รองลงมาคือ Stroke Unit (95.83 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 41.67-141.67) ขณะที่ Cardiovascular and Thoracic Intensive Care Unit (CVT ICU) มีค่ามัธยฐานต่ำที่สุด (25.00 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 8.33-66.67) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง ( $p = .300$ ) อย่างไรก็ตาม พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง ( $p = .006$ ) โดยช่วงระหว่างการดูแลผู้ป่วยมีค่ามัธยฐานสูงสุด (66.67 CFU/m<sup>3</sup>) เชื้อแกรมบวกเป็นกลุ่มที่ตรวจพบมากที่สุด ได้แก่ coagulase-negative *Staphylococci*, *Micrococcus* spp. และ *Bacillus* spp. ขณะที่ *Acinetobacter baumannii* complex ตรวจพบในระดับต่ำ จำนวนบุคคลในพื้นที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับเชื้อในอากาศ ( $p = 0.403$ ,  $p < .001$ ) ผลการศึกษาสะท้อนความแปรปรวนของระดับการปนเปื้อนของจุลชีพในอากาศ ตามบริบทกิจกรรมทางคลินิกและความหนาแน่นการใช้งานพื้นที่ในหอผู้ป่วยวิกฤต

**คำสำคัญ:** การปนเปื้อนของแบคทีเรียในอากาศ, หอผู้ป่วยวิกฤต, คุณภาพอากาศภายในอาคาร, การติดเชื้อในโรงพยาบาล

**ข้อมูลอ้างอิง:** เพชรรัตน์ โสภณ, สันต์ สุวรรณมณี, สุกนธา ศิริ, จิราลักษณ์ นนทารักษ์ และ ชันวา วงษ์สุก. (2569). การศึกษาการปนเปื้อนของแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 7

## บทนำ

การติดเชื้อที่เกิดขึ้นในโรงพยาบาล (Healthcare-associated infections; HAIs) ยังคงเป็นปัญหาสำคัญด้านสาธารณสุขทั่วโลก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้ป่วย คุณภาพการรักษา และภาระค่าใช้จ่ายของระบบสุขภาพ โดยองค์การอนามัยโลกระบุว่าผู้ป่วยประมาณร้อยละ 7 ในประเทศรายได้สูง และร้อยละ 15 ในประเทศรายได้ต่ำและปานกลาง มีโอกาสเกิด HAI อย่างน้อยหนึ่งครั้งระหว่างการรักษาในโรงพยาบาล และอัตราดังกล่าวอาจสูงถึงร้อยละ 30 ในหอผู้ป่วยวิกฤต ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงสุด (WHO, 2024) นอกจากนี้ การติดเชื้อร่วมกับเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพยังเพิ่มอัตราการเสียชีวิตและความรุนแรงของโรคอย่างมีนัยสำคัญ

หอผู้ป่วยวิกฤตเป็นพื้นที่ที่มีการใช้หัตถการรุกรานจำนวนมาก เช่น การใส่ท่อช่วยหายใจ การใช้สายสวนหลอดเลือด และการใช้ยาปฏิชีวนะในวงกว้าง ประกอบกับการมีผู้ป่วยภูมิคุ้มกันต่ำ ทำให้มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในโรงพยาบาลสูงกว่าหอผู้ป่วยทั่วไปหลายเท่า งานทบทวนวรรณกรรมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รายงานว่าอัตราการติดเชื้อใน ICU อยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะการติดเชื้อทางเดินหายใจและการติดเชื้อที่สัมพันธ์กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ และมักเกี่ยวข้องกับเชื้อแบคทีเรียแกรมลบที่มีความดื้อยาสูง เช่น *Acinetobacter baumannii* และ *Pseudomonas aeruginosa* (Ling et al., 2015)

นอกจากการแพร่กระจายเชื้อผ่านการสัมผัสโดยตรงแล้ว สิ่งแวดล้อมภายในโรงพยาบาล โดยเฉพาะอากาศภายในอาคาร ถือเป็นแหล่งกักเก็บและพาหะสำคัญของเชื้อจุลชีพ เชื้อแบคทีเรียในอากาศสามารถแพร่กระจายผ่านละอองฝอย การฟุ้งกระจายจากกิจกรรมของบุคลากร การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และระบบระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม งานวิจัยในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิในยุโรป พบว่า หอผู้ป่วยวิกฤตมีการตรวจพบเชื้อแบคทีเรียในอากาศ รวมถึงเชื้อดื้อยาหลายขนาน และมีความแตกต่างของปริมาณเชื้อตามฤดูกาลและลักษณะกิจกรรมภายในหอผู้ป่วย (Tselebonis et al., 2020) ในบริบทของประเทศไทย มีการศึกษาคุณภาพอากาศภายในโรงพยาบาลหลายแห่งพบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศบางพื้นที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานที่แนะนำ และมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการ ความชื้น และประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ (พรชรัฐ สายยุทธ และคณะ, 2562; นภัฐมณ มโนรัตน์ และ นันทกา สินธุพันธ์สกุล, 2562) อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่มุ่งเน้นเฉพาะหอผู้ป่วยวิกฤตในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ โดยประเมินปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศอย่างเป็นระบบ ยังมีจำกัด ดังนั้น การศึกษาการปนเปื้อนของแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ จึงมีความสำคัญต่อการสะท้อนสถานการณ์จริงของคุณภาพอากาศในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนามาตรการด้านการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อ การจัดการสิ่งแวดล้อม และการวางนโยบายด้านความปลอดภัยของผู้ป่วยในโรงพยาบาลได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืน

## การทบทวนวรรณกรรม

การติดเชื้อที่เกิดขึ้นในโรงพยาบาล (Healthcare-associated infections; HAIs) เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจ็บป่วย การเสียชีวิต และค่าใช้จ่ายด้านสาธารณสุขทั่วโลก โดยเฉพาะในหอผู้ป่วยวิกฤตซึ่งผู้ป่วยมีภาวะเจ็บป่วยรุนแรง ต้องได้รับการรักษาด้วยหัตถการรุกราน และใช้ยาปฏิชีวนะในวงกว้าง ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูงกว่าหอผู้ป่วยทั่วไปหลายเท่า (WHO, 2024; Raofi et al., 2023) งานวิจัยในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รายงานว่าอัตราการติดเชื้อใน ICU อยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะการติดเชื้อทางเดินหายใจ การติดเชื้อกระแสเลือด และการติดเชื้อที่สัมพันธ์กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ (Ling et al., 2015)

สิ่งแวดล้อมภายในโรงพยาบาล โดยเฉพาะอากาศภายในอาคาร ถือเป็นแหล่งกักเก็บและแหล่งแพร่กระจายเชื้อจุลชีพที่สำคัญ เชื้อแบคทีเรียสามารถปนเปื้อนในอากาศผ่านกิจกรรมของบุคลากร การเคลื่อนไหวของผู้ป่วย การทำหัตถการ และการฟุ้งกระจายของฝุ่นหรือละอองฝอยขนาดเล็ก ซึ่งสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศและแพร่กระจายไปยังพื้นที่โดยรอบได้ (Joseph et al., 2022) องค์การอนามัยโลก ระบุว่า อากาศและพื้นผิวในโรงพยาบาลเป็นองค์ประกอบสำคัญ

ของห่วงโซ่การติดเชื้อ หากขาดการจัดการด้านระบบระบายอากาศและการทำความสะอาดที่เหมาะสม จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในผู้ป่วยกลุ่มเปราะบางอย่างมีนัยสำคัญ (WHO, 2022)

งานวิจัยในหลายประเทศรายงานว่ามีปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลมักสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่แนะนำ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความแออัดและการระบายอากาศไม่เพียงพอ การศึกษาในประเทศกรีซพบว่าหอผู้ป่วยวิกฤตมีการตรวจพบเชื้อแบคทีเรียในอากาศอย่างต่อเนื่อง และพบเชื้อดื้อยาหลายขนาน เช่น *Acinetobacter baumannii* และ *Staphylococcus* spp. ซึ่งมีความสำคัญทางคลินิก (Tselebonis et al., 2020) ขณะที่การศึกษาในประเทศอิหร่านและเอธิโอเปียรายงานว่ามีปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศของหอผู้ป่วยหลายแห่งสูงเกินเกณฑ์ WHO และมีความสัมพันธ์กับความแออัดและกิจกรรมภายในหอผู้ป่วย (Montazer et al., 2021; Kayta et al., 2022)

เชื้อแบคทีเรียดื้อยาด้านจุลชีพ โดยเฉพาะกลุ่ม ESKAPE pathogens เช่น *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae* และ *Pseudomonas aeruginosa* มีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิด HAIs ในหอผู้ป่วยวิกฤต เชื้อเหล่านี้สามารถอยู่รอดในสิ่งแวดล้อมได้นานและแพร่กระจายผ่านอากาศและพื้นผิวได้ (Stanley et al., 2023; Ababneh et al., 2023) งานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมใน ICU หลายแห่งพบความสัมพันธ์ระหว่างการปนเปื้อนของเชื้อดื้อยาบนพื้นผิวและในอากาศกับการเกิดการติดเชื้อในผู้ป่วย รวมถึงการระบาดเป็นกลุ่มก้อนภายในหอผู้ป่วย (Schlosser et al., 2024; Wong et al., 2021)

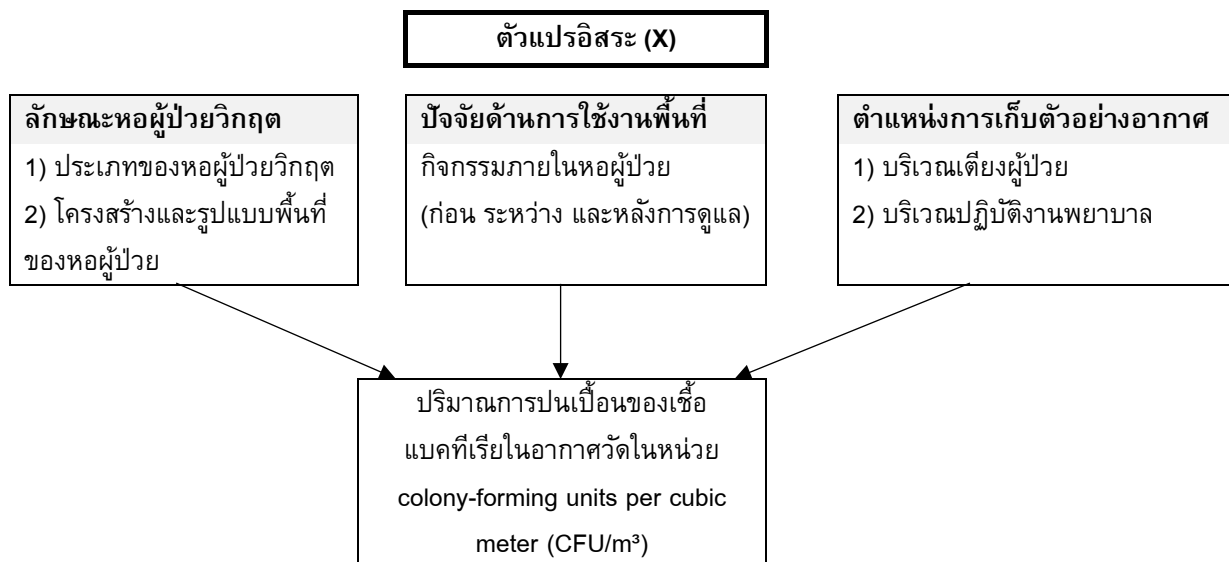
การศึกษาในประเทศไทย พบว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศภายในโรงพยาบาลหลายแห่งอยู่ในระดับสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยเฉพาะในหอผู้ป่วยและพื้นที่ให้บริการที่มีผู้ใช้บริการจำนวนมาก การศึกษาของ พรชรัฐ สายยุทธ และคณะ (2562) และ นภัฐมณ มโนรัตน์ และ นันทกา สินธุพันธ์สกุล (2562) รายงานว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่มุ่งเน้นเฉพาะหอผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาลระดับตติยภูมิยังมีจำนวนจำกัด ทำให้ยังขาดข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับการกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพอากาศในพื้นที่เสี่ยงสูง

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แม้จะมีหลักฐานชัดเจนว่าอากาศภายในโรงพยาบาลมีบทบาทสำคัญต่อการแพร่กระจายเชื้อและการเกิด HAIs แต่ยังมีช่องว่างของข้อมูลในบริบทของโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ โดยเฉพาะการประเมินปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศของหอผู้ป่วยวิกฤตอย่างเป็นระบบ การศึกษานี้จึงมีความสำคัญในการเติมเต็มองค์ความรู้ดังกล่าว และสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนานโยบายและมาตรการด้านการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาลได้อย่างเหมาะสม

### สมมติฐานการวิจัย

- 1) ปริมาณการปนเปื้อนของแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตมีความแตกต่างกันระหว่างหอผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ
- 2) ปริมาณการปนเปื้อนของแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตมีความแตกต่างกันตามตำแหน่งและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างภายในหอผู้ป่วย

## กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

## วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณแบบพรรณนา (quantitative descriptive study) ดำเนินการในหอผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ จำนวน 10 หน่วยบริการ เก็บตัวอย่างอากาศรวม 120 ตัวอย่าง โดยกำหนดตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง 2 บริเวณ ได้แก่ บริเวณเตียงผู้ป่วย และสถานีพยาบาล และกำหนดช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง 3 ช่วง ได้แก่ ก่อน ระหว่าง และหลังการดูแลผู้ป่วย

การเก็บตัวอย่างอากาศดำเนินการด้วยวิธี active air sampling โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงประมาณ 1 เมตรจากพื้น ใกล้เคียงระดับการหายใจของมนุษย์ อากาศถูกดูดผ่านอาหารเลี้ยงเชื้อภายใต้สภาวะควบคุม จากนั้นนำไปบ่มเพาะและนับจำนวนโคโลนี คำนวณปริมาณเชื้อในหน่วยโคโลนีฟอร์มมิงยูนิตต่อลูกบาศก์เมตร (CFU/m<sup>3</sup>) และจำแนกชนิดเชื้อด้วยวิธีมาตรฐานทางจุลชีววิทยา

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่ามัธยฐานและพิสัยระหว่างควอไทล์ (IQR) เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายไม่เป็นปกติ (ทดสอบด้วย Shapiro-Wilk test) การเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่มใช้สถิติ Mann-Whitney U test การเปรียบเทียบมากกว่าสองกลุ่มใช้ Kruskal-Wallis H test และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้ Spearman's rank correlation โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## ผลการวิจัย

หอผู้ป่วยวิกฤตจำนวน 10 หน่วยที่เข้าร่วมการศึกษามีพื้นที่ใช้สอยตั้งแต่ 242-1,462 ตารางเมตร และจำนวนเตียงอยู่ระหว่าง 7-30 เตียง โดย Surgical Intensive Care Unit (SICU) มีพื้นที่มากที่สุด (1,462 ม<sup>2</sup>) ขณะที่ Neonatal Intensive Care Unit (NICU) มีพื้นที่น้อยที่สุด (242 ม<sup>2</sup>) และ Intermediate Medicine Male (IMM) มีจำนวนเตียงสูงสุด (30 เตียง) รองลงมาคือ Intermediate Medicine Female (IMF) (24 เตียง) รายละเอียดเชิงโครงสร้าง ระบบระบายอากาศ และค่าปริมาณแบคทีเรียในอากาศของแต่ละหน่วยแสดงในตารางที่ 1

ระบบระบายอากาศแตกต่างกันระหว่างหน่วยบริการ โดย SICU, Pediatric Intensive Care Unit (PICU) และ IMM ใช้ระบบปรับอากาศส่วนกลางร่วมกับแผ่นกรอง HEPA (High-Efficiency Particulate Air filter) ขณะที่ Medicine Intensive Care Unit 1 (MICU 1), Medicine Intensive Care Unit 2 (MICU 2), NICU, Coronary Care Unit (CCU) และ Stroke Unit ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนร่วมกับพัดลมระบายอากาศ ส่วน Cardiovascular and Thoracic

Intensive Care Unit (CVT ICU) ใช้ระบบปรับอากาศส่วนกลางทั่วไป และ IMF ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (ตารางที่ 1)

ค่ามัธยฐานของปริมาณแบคทีเรียในอากาศแตกต่างกันระหว่างหอผู้ป่วย โดย IMF มีค่ามัธยฐานสูงสุด (104.17 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 54.17-233.34) รองลงมาคือ Stroke Unit (95.83 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 41.67-141.67) และ IMM (66.67 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 41.67-91.67) ขณะที่ CVT ICU (25.00 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 8.33-66.67) และ MICU 2 (29.17 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 16.67-81.25) มีค่ามัธยฐานต่ำกว่า (ตารางที่ 1)

การเปรียบเทียบตามตำแหน่งการเก็บตัวอย่างไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ดูแลผู้ป่วยและพื้นที่ปฏิบัติงานพยาบาล (Mann-Whitney U = 1179.50, p = .300) (ตารางที่ 2)

การเปรียบเทียบตามช่วงเวลาเก็บตัวอย่างพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kruskal-Wallis H = 10.099, df = 2, p = .006) (ตารางที่ 3) โดยค่ามัธยฐานในช่วงระหว่างการดูแลผู้ป่วย เท่ากับ 66.67 CFU/m<sup>3</sup> (IQR 33.33-97.92) ก่อนการดูแลผู้ป่วย เท่ากับ 62.50 CFU/m<sup>3</sup> (IQR 25.00-106.25) และหลังการดูแลผู้ป่วย เท่ากับ 33.33 CFU/m<sup>3</sup> (IQR 8.33-58.33)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ Spearman's rank correlation พบว่า จำนวนบุคคลในพื้นที่ขณะที่เก็บตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรียในอากาศ ( $\rho = 0.403$ ,  $p < .001$ ) ขณะที่อุณหภูมิ ( $\rho = 0.172$ ,  $p = .061$ ) และความชื้นสัมพัทธ์ ( $\rho = 0.161$ ,  $p = 0.079$ ) ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ชนิดเชื้อที่ตรวจพบมากที่สุด ได้แก่ coagulase-negative *Staphylococci* (median 408.34 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 215.63-601.04) รองลงมาคือ *Micrococcus* spp. (254.17 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 195.83-312.50) และ *Bacillus* spp. (87.50 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 61.46-113.55) นอกจากนี้ตรวจพบ *Acinetobacter baumannii* complex (16.67 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 0.00-33.33) และ *Staphylococcus aureus* (16.67 CFU/m<sup>3</sup>; IQR 0.00-33.33) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณแบคทีเรียในอากาศจำแนกตามหอผู้ป่วยวิกฤต (n = 120)

หอผู้ป่วย	พื้นที่ (ตารางเมตร; ม <sup>2</sup> )	จำนวนเตียง	ระบบระบายอากาศ	มัธยฐาน (ควอไทล์ที่ 1), CFU/m <sup>3</sup>
SICU	1,462	20	Central HVAC + HEPA	54.17 (27.08-152.08)
MICU1	518	16	Split AC + Exhaust	41.67 (18.75-131.25)
MICU2	621	18	Split AC + Exhaust	29.17 (16.67-81.25)
PICU	586	8	Central HVAC + HEPA	33.33 (16.67-64.58)
NICU	242	16	Split AC + Exhaust	54.17 (33.33-72.92)
CCU	603	7	Split AC + Exhaust	58.33 (50.00-70.83)
CVT	508	8	Central HVAC	25.00 (8.33-66.67)
Stroke	1,455	18	Split AC + Exhaust	95.83 (41.67-141.67)
IMM	792	30	Central HVAC + HEPA	66.67 (41.67-91.67)
IMF	846	24	Split AC	104.17 (54.17-233.34)

หมายเหตุ: SICU = Surgical Intensive Care Unit, MICU1 = Medicine Intensive Care Unit 1, MICU2 = Medicine Intensive Care Unit 2, PICU = Pediatric Intensive Care Unit, NICU = Neonatal Intensive Care Unit, CVT = Cardiovascular and Thoracic Intensive Care Unit, CCU = Coronary Care Unit, Stroke = Stroke Unit, IMM = Intermediate Medicine Male, IMF = Intermediate Medicine Female; Split AC = เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split-type air conditioning), Exhaust = ระบบพัดลมระบายอากาศ, Central HVAC = ระบบปรับอากาศส่วนกลาง

(Heating, Ventilation, and Air Conditioning), HEPA = แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (High-Efficiency Particulate Air filter), CFU/m<sup>3</sup> = colony-forming units per cubic meter, IQR = interquartile range.

**ตารางที่ 2** แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในอากาศระหว่างตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง (n = 120)

ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง	n	มัธยฐาน (ควอไทล์), CFU/m <sup>3</sup>
พื้นที่ดูแลผู้ป่วย	90	58.33 (25.00-83.33)
พื้นที่ปฏิบัติงานพยาบาล	30	58.33 (33.33-125.00)

Mann-Whitney U = 1179.50, Z = -1.04, p = .300

\* p < .05

**ตารางที่ 3** แสดงปริมาณแบคทีเรียในอากาศจำแนกตามช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (n = 120)

ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง	n	มัธยฐาน (ควอไทล์), CFU/m <sup>3</sup>
ก่อนการดูแลผู้ป่วย	40	62.50 (25.00-106.25)
ระหว่างการดูแลผู้ป่วย	40	66.67 (33.33-97.92)
หลังการดูแลผู้ป่วย	40	33.33 (8.33-58.33)

Kruskal-Wallis H = 10.099, df = 2, p = .006\*

\* p < .05

**ตารางที่ 4** ความสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับปริมาณแบคทีเรียในอากาศ (n = 120)

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ)	ค่า p
อุณหภูมิ	0.172	.061
ความชื้นสัมพัทธ์	0.161	.079
จำนวนคนขณะเก็บตัวอย่าง	0.403	< .001*

\*p < .05

**ตารางที่ 5** แสดงปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศจำแนกตามชนิดเชื้อ (n = 120)

ชนิดเชื้อแบคทีเรีย	มัธยฐาน (ควอไทล์), CFU/m <sup>3</sup>
Coagulase-negative <i>Staphylococci</i>	408.34 (215.63-601.04)
<i>Micrococcus</i> spp.	254.17 (195.83-312.50)
<i>Bacillus</i> spp.	87.50 (61.46-113.55)
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	37.50 (0.00-75.00)*
<i>Acinetobacter</i> spp.	20.84 (3.13-38.55)
<i>Acinetobacter baumannii</i> complex	16.67 (0.00-33.33)*
<i>Moraxella</i> spp.	16.67 (0.00-33.33)*
<i>Staphylococcus aureus</i>	16.67 (0.00-33.33)*

หมายเหตุ: CFU/m<sup>3</sup> = colony-forming units per cubic meter

## สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้ประเมินระดับการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตของโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ และแสดงให้เห็นว่าระดับการปนเปื้อนของจุลชีพ มีความแปรปรวนอย่างมีนัยสำคัญระหว่างหน่วยบริการ โดยรูปแบบความแปรปรวนดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับบริบทกิจกรรมทางคลินิกและความหนาแน่นของการใช้งานพื้นที่มากกว่าปัจจัยกายภาพพื้นฐาน เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบ active sampling ในการศึกษาที่สะท้อนระดับเชื้อ ณ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างเท่านั้น และยังไม่ได้บูรณาการตัวแปรด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเข้าสู่การวิเคราะห์เชิงกลไกอย่างเต็มรูปแบบ

ความแตกต่างของระดับเชื้อระหว่างหอผู้ป่วยสะท้อนถึงอิทธิพลของปัจจัยเชิงโครงสร้างและเชิงพฤติกรรมหลายประการ ได้แก่ ความหนาแน่นของผู้ป่วย ประเภทและความถี่ของหัตถการ การเคลื่อนไหวของบุคลากร รวมถึงรูปแบบและประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานจาก ICU ในบริบททั้งในประเทศและต่างประเทศที่ชี้ว่าระดับเชื้อในอากาศมีความแปรปรวนตามลักษณะการใช้งานพื้นที่และโครงสร้างทางกายภาพของหน่วยบริการ (พรชรัฐ สายยุทธ และคณะ, 2562; Bonadonna et al., 2021) โดยเฉพาะหน่วยที่มีค่ามัธยฐานสูง เช่น Intermediate Medicine Female และ Stroke Unit ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยเชิงระบบเพิ่มเติม ได้แก่ การจัดผังเตียง ความเข้มข้นของกิจกรรมในช่วงเวลาหนึ่ง และประสิทธิภาพการหมุนเวียนอากาศ

แม้ว่าระบบระบายอากาศจะเป็นองค์ประกอบสำคัญของการควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคาร แต่การศึกษานี้ไม่ได้ประเมินตัวชี้วัดเชิงปริมาณของระบบดังกล่าว เช่น อัตราการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air Changes per Hour; ACH) ความแตกต่างของความดันอากาศ (pressure gradient) หรือรูปแบบการไหลเวียนอากาศ (airflow pattern) จึงไม่สามารถอธิบายบทบาทของประสิทธิภาพการระบายอากาศ (ventilation performance) ต่อระดับเชื้อในอากาศได้อย่างเป็นระบบ การศึกษาต่อไปที่บูรณาการตัวแปรด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมกับข้อมูลทางจุลชีววิทยาจะช่วยให้เข้าใจกลไกการสะสมและการกระจายของชีวะละอองใน ICU ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ผลการศึกษาพบว่า ระดับการปนเปื้อนของเชื้อในอากาศสูงที่สุดในช่วงที่มีการดูแลผู้ป่วยอย่างเข้มข้น สะท้อนบทบาทของความเข้มข้นของกิจกรรมทางคลินิกในฐานะปัจจัยกำหนดสำคัญของการเพิ่มขึ้นของชีวะละอองลอยภายในพื้นที่ปิด โดยเฉพาะในหอผู้ป่วยวิกฤตที่มีกิจกรรมการรักษารักษาและหัตถการดำเนินอย่างต่อเนื่อง การเคลื่อนไหวของบุคลากร การเข้า-ออกบริเวณเตียงผู้ป่วย และการทำหัตถการ ล้วนก่อให้เกิดการรบกวนกระแสอากาศและส่งเสริมการฟุ้งกระจายของอนุภาคชีวภาพแขวนลอย ซึ่งสอดคล้องกับหลักพลวัตของละอองลอยและหลักฐานเชิงประจักษ์ก่อนหน้า (Kayta et al., 2022)

นอกจากนี้ ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างจำนวนบุคคลในพื้นที่กับระดับเชื้อ สนับสนุนบทบาทของความหนาแน่นบุคลากร (occupancy density) ในฐานะแหล่งกำเนิดและตัวกระตุ้นการฟุ้งกระจายของอนุภาคชีวภาพ ผ่านกลไกการปล่อยเซลล์ผิวหนังที่หลุดลอก (skin squames) การรบกวนฝุ่นสะสมบนพื้นผิว และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลเวียนอากาศ (Lindsley et al., 2016) ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการบริหารจัดการความหนาแน่นของบุคลากรในช่วงกิจกรรมสูงอาจเป็นมาตรการเชิงระบบที่มีศักยภาพในการลดภาระการปนเปื้อนของจุลชีพในสิ่งแวดล้อม (microbial burden)

ในด้านชนิดเชื้อ แม้ว่าส่วนใหญ่จะเป็น เชื้อประจำถิ่นของผิวหนัง (normal skin flora) และ แบคทีเรียในสิ่งแวดล้อม แต่การตรวจพบ *Acinetobacter baumannii* complex แม้ในระดับต่ำมีความสำคัญเชิงคลินิก เนื่องจากเชือดังกล่าวมีศักยภาพในการคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมและมีความเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาใน ICU (Wong et al., 2021) การตรวจพบเชื้อในกลุ่มนี้ในอากาศสนับสนุนแนวคิดที่ว่าสิ่งแวดล้อมภายใน ICU อาจทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บเชื้อที่อาจมีบทบาทในการแพร่กระจาย (potential reservoir) ของเชื้อดื้อยา ดังที่รายงานในงานวิจัยล่าสุด (Ababneh et al., 2022; Azaiez et al., 2023) ในเชิงนโยบาย ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวทางขององค์การอนามัยโลก (WHO, 2022, 2024) ที่เน้นการปรับปรุงระบบระบายอากาศและการจัดการสิ่งแวดล้อมเป็นองค์ประกอบสำคัญของกลยุทธ์การ

ป้องกันและควบคุมการติดเชื้อ อย่างไรก็ตาม การกำหนดมาตรการที่มีประสิทธิภาพและจำเพาะต่อบริบทของแต่ละหน่วยบริการจำเป็นต้องอาศัยการประเมินเชิงวิศวกรรมควบคุมกับข้อมูลทางจุลชีววิทยา เพื่อระบุปัจจัยกำหนดการปนเปื้อนอย่างเป็นระบบและออกแบบ intervention ที่เหมาะสมกับบริบทของ ICU แต่ละประเภท

### ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤต สามารถสรุปข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล ดังนี้

- 1) ด้านการปฏิบัติด้านการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อ ควรให้ความสำคัญกับการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในบริเวณเตียงผู้ป่วยและในช่วงเวลาระหว่างการดูแลผู้ป่วย ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในอากาศสูงกว่าบริเวณและช่วงเวล่อื่น การเพิ่มความเข้มงวดของมาตรการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อในช่วงเวลาดังกล่าว เช่น การปฏิบัติตามหลักการทำความสะอาดมือ การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลอย่างเหมาะสม และการจำกัดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น อาจช่วยลดความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อในอากาศได้
- 2) ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและระบบระบายอากาศ ควรมีการประเมินและปรับปรุงระบบระบายอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤตอย่างต่อเนื่อง โดยพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะของหอผู้ป่วย ปริมาณกิจกรรมการดูแลผู้ป่วย และความหนาแน่นของการใช้งานพื้นที่ การบำรุงรักษาระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ รวมถึงการทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศอย่างสม่ำเสมอ จะช่วยลดการสะสมของเชื้อแบคทีเรียในอากาศและสนับสนุนความปลอดภัยของผู้ป่วยและบุคลากร
- 3) ด้านการเฝ้าระวังเชื้อก่อโรคที่มีความสำคัญทางคลินิก แม้ว่าการตรวจพบเชื้อก่อโรคสำคัญ เช่น *Acinetobacter baumannii complex* จะอยู่ในระดับต่ำ ควรใช้ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลสนับสนุนการเฝ้าระวังเชิงรุก โดยบูรณาการการเฝ้าระวังเชื้อในอากาศร่วมกับการเฝ้าระวังเชื้อจากผู้ป่วยและสิ่งแวดล้อม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อดื้อยาในหอผู้ป่วยวิกฤต
- 4) ด้านการบริหารจัดการและนโยบายโรงพยาบาล ควรนำผลการศึกษาไปใช้ประกอบการกำหนดนโยบายด้านการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อของโรงพยาบาล โดยเฉพาะในหอผู้ป่วยวิกฤต เช่น การกำหนดแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อม การทบทวนมาตรการควบคุมการติดเชื้อในช่วงที่มีกิจกรรมการดูแลผู้ป่วยสูง และการสนับสนุนทรัพยากรด้านบุคลากรและอุปกรณ์ เพื่อให้การดำเนินงานด้านการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อ มีความยั่งยืนและสอดคล้องกับมาตรฐานระดับประเทศและนานาชาติ

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากผลการศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในอากาศภายในหอผู้ป่วยวิกฤต การวิจัยในอนาคตควรพิจารณาประเด็นต่อไปนี้ เพื่อเพิ่มความครอบคลุมและความลึกขององค์ความรู้ด้านการป้องกันและควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล

- 1) การเพิ่มระยะเวลาและความถี่ในการเก็บตัวอย่าง ควรมีการเก็บตัวอย่างอากาศในระยะเวลาที่ยาวขึ้นและครอบคลุมหลายช่วงฤดูกาล เพื่อสะท้อนความผันแปรของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในอากาศตามสภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ และปริมาณผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในหอผู้ป่วยวิกฤตอย่างแท้จริง
- 2) การศึกษาเชิงความสัมพันธ์กับการติดเชื้อในโรงพยาบาล ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศกับอัตราการเกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาล (Healthcare-associated infections; HAIs) โดยเฉพาะการติดเชื้อในหอผู้ป่วยวิกฤต เช่น ปอดอักเสบจากการใช้เครื่องช่วยหายใจ (Ventilator-associated pneumonia; VAP), การติดเชื้อในกระแสโลหิต (Blood stream infection; BSI) และ การติดเชื้อแผลผ่าตัด (Surgical site infection; SSI) เพื่อยืนยันบทบาทของการปนเปื้อนในอากาศต่อความเสี่ยงของการติดเชื้อในผู้ป่วย

- 3) การวิเคราะห์เชิงลึกด้านชนิดเชื้อและการดื้อยาต้านจุลชีพ การวิจัยในอนาคตควรขยายการวิเคราะห์ไปสู่การระบุชนิดเชื้อในระดับสายพันธุ์ และศึกษารูปแบบการดื้อยาต้านจุลชีพของเชื้อที่ตรวจพบในอากาศ รวมถึงการเปรียบเทียบกับเชื้อที่แยกได้จากผู้ป่วยและสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินความเชื่อมโยงด้านการแพร่กระจายของเชื้อดื้อยาในโรงพยาบาล
- 4) การเปรียบเทียบวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศแบบต่างๆ เช่น วิธีเชิงรุก (active air sampling) และวิธีเชิงรับ (passive air sampling) รวมถึงการใช้เครื่องมือและระยะเวลาเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินความเหมาะสมและความแม่นยำของแต่ละวิธีในการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของเชื้อในอากาศ
- 5) การวิจัยในอนาคตการบูรณาการตัวแปรด้านระบบระบายอากาศ เช่น อัตราการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง รูปแบบการไหลเวียนอากาศ ประสิทธิภาพแผ่นกรองอากาศ และความดันอากาศ ร่วมกับปัจจัยด้านความหนาแน่นผู้ป่วยและกิจกรรมทางคลินิก เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับระดับการปนเปื้อนของเชื้อในอากาศ และพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์หลายตัวแปรที่สามารถอธิบายปัจจัยกำหนดได้อย่างเป็นระบบ

## เอกสารอ้างอิง

- กรมอนามัย. (2565). *ประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ พ.ศ.2565*. กระทรวงสาธารณสุข.
- นักจุมถน มโนรัตน์ และ นันทกา สินธุพันธ์สกุล. (2562). การศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนและคุณภาพอากาศในอาคารในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ. *วารสารสมาคมเวชศาสตร์ป้องกันแห่งประเทศไทย*, 9(2), 232-241.
- พรชรัฐ สายยุทธ, กัลยา หาญพิชาญชัย และ จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย. (2562). ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศและคุณภาพอากาศในอาคารของโรงพยาบาล: กรณีศึกษาโรงพยาบาลนครพิงค์ จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา*, 25(1), 5-14.
- Ababneh, Q., Abulaila, S., & Jaradat, Z. (2022). Isolation of extensively drug resistant *Acinetobacter baumannii* from environmental surfaces inside intensive care units. *American Journal of Infection Control*, 50(2), 159-165.
- Bonadonna, L., Briancesco, R., Coccia, A. M., Meloni, P., Rosa, G., & Moscato, U. (2021). Microbial air quality in healthcare facilities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6226.
- Joseph, J., Baby, H. M., Zhao, S., Li, X. L., Cheung, K. C., Swain, K., et al. (2022). Role of bioaerosol in virus transmission and material-based countermeasures. *Exploration (Beijing)*, 2(6), 20210038.
- Kayta, G., Manilal, A., Tadesse, D., & Siraj, M. (2022). Indoor air microbial load, antibiotic susceptibility profiles of bacteria, and associated factors in different wards of a general hospital. *PLOS ONE*, 17(7), e0271022.
- Ling, M. L., Apisarnthanarak, A., & Madriaga, G. (2015). The Burden of Healthcare-Associated Infections in Southeast Asia: A Systematic Literature Review and Meta-analysis. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 60(11), 1690-1699.
- Lindsley, W. G., Green, B. J., Blachere, F. M., Martin, S. B., Law, B. F., Jensen, P. A., & Schafer, M. P. (2018). *Sampling and characterization of bioaerosols (Chapter BA)*. In *NIOSH manual of analytical methods (NMAM)*. 5<sup>th</sup> ed. National Institute for Occupational Safety and Health.
- Montazer, M., Soleimani, N., Vahabi, M., Abtahi, M., Etemad, K., & Zendeheidi, R. (2021). Assessment of bacterial pathogens and their antibiotic resistance in the air of different wards of selected teaching hospitals in Tehran. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 25(2), 78-83.

- Raofi, S., Pashazadeh Kan, F., Rafiei, S., Hosseinipalangi, Z., Noorani Mejareh, Z., Khani, S., & Safiri, S. (2023). Global prevalence of nosocomial infection: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, *18*(1), e0274248.
- Schlosser, B., Weikert, B., Fucini, G.-B., Kohlmorgen, B., Kola, A., Weber, A., & Gastmeier, P. (2024). Risk factors for transmission of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* in outbreak situations: A case-control study. *BMC Infectious Diseases*, *24*(1), 120.
- Stanley, C. N., Awanye, A. M., & Ogbonnaya, U. C. (2023). *Acinetobacter baumannii*: Epidemiology, clinical manifestations and associated infections. In *Acinetobacter baumannii—The rise of a resistant pathogen*. IntechOpen.
- Tselebonis, A., Nena, E., Panopoulou, M., Kontogiorgis, C., Bezirtzoglou, E., & Constantinidis, T. (2020). Air contamination in different departments of a tertiary hospital: Assessment of microbial load and of antimicrobial susceptibility. *Biomedicines*, *8*(6), 163.
- Wong, S. C., Lam, G. K., Chen, J. H., Li, X., Ip, F. T., Yuen, L. L., Chan, V. W., AuYeung, C. H., So, S. Y., Ho, P. L., Yuen, K. Y., & Cheng, V. C. (2021). Air dispersal of multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*: Implications for nosocomial transmission during the COVID-19 pandemic. *Journal of Hospital Infection*, *116*, 78-86.
- World Health Organization. (2022). *Environmental cleaning and infection prevention and control in health care facilities in low- and middle-income countries: Modules and resources*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2024). *Global report on infection prevention and control 2024*. World Health Organization.

**Data Availability Statement:** The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

**Publisher's Note:** All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



**Copyright:** © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).