

การศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด

คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี

A Study of Indoor air quality in operating room Faculty
of Medicine, Ramathibodi Hospital

ปิยทัศน์ บำรุงเวช¹, ชัชชัย ธนโชคสว่าง²,

กoonทลีย์ บังคะदानนรา³, ปรียานุช สมร่วง¹

¹งานอาชีวอนามัย ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

²ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล, ³สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

Piyatad Bumrungwech¹, Chatchai Thanachoksawang²,

Goontalee Bangkadanara³, Preeyanuch Somrang¹

¹Department of occupational health safety and environment Faculty of Medicine,

Ramathibodi Hospital, Mahidol University, ²Department of occupational health

and safety Faculty of Public Health Mahidol University

³School of Health Science, Sukhothai Thammathirat Open University

Corresponding author: piyatad.bum@mahidol.edu

Received 2024 Jun 10, Revised 2024 Jul 10, Accepted 2024 Jul 18

DOI:

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี โดยตรวจวัดจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 และ 5.0 ไมครอน อัตราการหมุนเวียนอากาศ ความดันอากาศสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ห้องละ 1 ชั่วโมง ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2566 ผลการศึกษาพบว่า จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน อยู่ในช่วง 231.0-5,577.0 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน อยู่ในช่วง 5.0-67.0 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต อัตราการหมุนเวียนอากาศ อยู่ในช่วง 12.0-30.0 ความดันอากาศสัมพัทธ์ มีค่าอยู่ในช่วง 2.0-54.1 ปาสคาล อุณหภูมิ อยู่ในช่วง 15.8-22.2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าอยู่ในช่วง 54.0-82.5 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ พบว่า ร้อยละ 100.0 ของจำนวน

อนุภาคฝุ่นละออง 0.5 และ 5.0 ไมครอน ร้อยละ 94.4 ของอัตราการหมุนเวียนอากาศ ร้อยละ 97.2 ของความดันอากาศสัมพัทธ์ ร้อยละ 52.7 ของอุณหภูมิ และร้อยละ 2.8 ของความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในค่าอ้างอิง นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน ($r_s = 0.358$, $P < 0.05$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการหมุนเวียนอากาศ ($r_s = -0.347$, $P < 0.05$) การศึกษานี้ส่วนใหญ่พบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงเสนอแนะให้มีการปรับปรุงเรื่องระบบปรับอากาศและระบบควบคุมความชื้น เช่น เครื่องลดความชื้น (Dehumidifier) หรือ ฮีตเตอร์ดักท์ (Duct Heater) เป็นต้น และควรมีแผนการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศและระบายอากาศอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้รับบริการได้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ และช่วยป้องกันการเกิดการติดเชื้อในห้องผ่าตัด อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศในห้องผ่าตัดได้

คำสำคัญ : คุณภาพอากาศ, ห้องผ่าตัด, อัตราการหมุนเวียนอากาศ, จำนวนอนุภาคฝุ่นละออง, ความดันอากาศสัมพัทธ์

Abstract

This study aimed to assess indoor air quality in the Operating Room (OR) of the Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital. Two-size of particles (0.5 and 5.0 micron), Air Change Rate, Pressure Differential, Temperature and Relative Humidity were measured for 1-hour period in each room in March, 2023. The result found that the particles count of 0.5 micron ranged from 231.00-5577.00 particles/ft³, the particles count of 5.0 micron from 5.00-67.00 particles/ft³, air change rate ranged from 12 to 30, the pressure differential ranged from 2.00-54.10 pa, temperature ranged from 15.80 to 22.20 °C and relative humidity ranged 54.00 to 82.50 %Rh. When comparing with the standard guideline of OR air quality, found that 100.0% of 0.5 and 5.0 micron particles count, 94.4% of Air Change Rate, 97.2% of Pressure Differential, 52.7% of Temperature, and 2.8% of Relative Humidity were in reference values. The relationships between measured air quality and environmental parameters found particle counts of 5.0 micron exhibited a positive correlation with particle counts of 5.0 micron ($r_s = 0.358$, $P < 0.05$) but had a negative correlation with Air change rate ($r_s = -0.347$, $P < 0.05$). In this study, most of the measured Relative Humidity did not comply with standard values. Thus, we suggest to adjust air conditioning system and Humidity Control System by using the Dehumidifier or Duct Heater to reduce the humidity in the operating room.

Regular air conditioner maintenance should be planned to function effectively and efficiently. A proper management of air in operating room provides not only a safe working environment for staffs but also safety for patients. This will potentially reduce the risk of surgical infection and other health effects in patients. Moreover, it will prolong the use-life of the OR air system at its best.

Keywords: Indoor air quality, Operating room, Air change rate, Particle counts, Pressure different

บทนำ

ห้องผ่าตัด หมายถึง ห้องที่ให้การบำบัดรักษาผู้ป่วยด้วยวิธีการผ่าตัด โดยการผ่า การตัด การต่ออวัยวะ เส้นเอ็น เนื้อเยื่อ กระดูก รวมทั้งโครงสร้างของร่างกายอื่น ๆ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยหรือเกิดโรค กับการมีชีวิตรและการใช้ชีวิต ห้องผ่าตัดเป็นห้องที่มีความสำคัญมากในการรักษาชีวิตผู้ป่วยสำหรับโรงพยาบาล โดยมีลักษณะทางกายภาพคือ พื้นที่วางเตียงพร้อมเครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยชีวิตต่าง ๆ โดยตั้งอยู่ในเขตปลอดเชื้อ (Sterile Area)⁽¹⁾ ห้องผ่าตัดเป็นห้องที่แตกต่างจากห้องตรวจโรคทั่วไป คือ ต้องมีการควบคุมความสะอาดของห้องเป็นพิเศษ โดยจำเป็นต้องมีการควบคุมสิ่งแวดล้อมเพื่อลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมของห้องผ่าตัด⁽²⁾ จึงเป็นหน้าที่ของหน่วยงานอาชีวอนามัยในโรงพยาบาลที่ควรทำการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ ระบบระบายอากาศและระบบกรองอากาศเป็นประจำทุกปี เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานของห้องสะอาด⁽³⁾

ระบบปรับอากาศเป็นระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยระบบปรับอากาศของห้องผ่าตัดเป็นระบบพิเศษที่แตกต่างจากระบบปรับอากาศเพื่อความสบายทั่ว ๆ ไป เพราะมีผลกระทบต่อความปลอดภัยในชีวิตของทั้งผู้ป่วย แพทย์ และเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในห้องผ่าตัด อีกทั้งระบบปรับอากาศของห้องผ่าตัดมีการใช้พลังงานมากกว่าระบบปรับอากาศแบบทั่วไป⁽⁴⁾ ปัญหาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดเป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้รับบริการได้ และความเสี่ยงที่สำคัญอาจเกิดการติดเชื้อหลังการผ่าตัดได้ การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัดจึงเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการเป็นประจำ หากตรวจพบความผิดปกติหรือมีผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดไม่ผ่านเกณฑ์ค่าแนะนำ ควรดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงระบบปรับและระบายอากาศภายในห้องผ่าตัดรวมถึงกำจัดแหล่งที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนคุณภาพอากาศทันทีเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้ป่วยที่เข้ามารับการบริการ

ทำให้ผู้เข้ารับบริการได้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยและลดความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ⁽⁵⁾

มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ได้แก่ มาตรฐาน U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention (CDC) ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ และ มาตรฐาน Federal Standard 209E เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับความสะอาดในห้องผ่าตัด โดยข้อกำหนด CDC standard 2019 ประกอบไปด้วย ระบบปรับอากาศสามารถควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 °C ถึง 23 °C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 30%RH ถึง 60%RH ความดันในห้องผ่าตัดต้องมากกว่าพื้นที่ข้างเคียงไม่น้อยกว่า 2.5 Pa อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง เป็น 15 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง⁽⁶⁾ และมาตรฐาน federal standard 209E ที่กำหนดมาตรฐานด้านความสะอาดภายในห้องผ่าตัด เมื่อทำการตรวจวัดจะต้องไม่เกินระดับความสะอาด (Class Number) โดยเสนอแนะให้ห้องผ่าตัดมีจำนวนอนุภาคขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า 0.5 ไมครอนเมตร และ 5.0 ไมครอนเมตร แขนงลอยในอากาศได้ไม่เกิน 10,000 และ 70 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต ตามลำดับ⁽⁷⁾

ดังนั้นการตรวจวัดคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัดจึงควรมีการประเมินเพื่อให้คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดมีความเหมาะสม เพื่อลดอัตราการติดเชื้อของผู้รับบริการที่เกิดจากการทำหัตถการของบุคลากร และลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ของห้องผ่าตัด อีกทั้งสภาวะความสะดวกสบายของผู้ปฏิบัติงานภายในห้องผ่าตัดด้วย และสามารถนำผลการประเมินมาวางแผนปรับปรุงสร้างเสริมให้ระบบปรับอากาศและระบายอากาศห้องผ่าตัดของโรงพยาบาล มีความปลอดภัยแก่ผู้รับบริการและบุคลากร และเป็นไปตามมาตรฐานของห้องผ่าตัด

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อประเมินคุณภาพอากาศของห้องผ่าตัด ได้แก่ จำนวนอนุภาคฝุ่นละออง อัตราการหมุนเวียนอากาศ ความดันอากาศสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องผ่าตัด
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพอากาศของห้องผ่าตัดกับค่าแนะนำหรือมาตรฐาน
3. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด

วิธีการศึกษา

การศึกษาคั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง โดยดำเนินการตรวจวัดในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2566 โดยใช้เวลาตรวจวัดห้องละ 1 ชั่วโมง เพื่อประเมินคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดทั้งหมดของคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี จำนวน 36 ห้อง โดยแบ่งเป็น ห้องผ่าตัดสูติ-นรีเวช จำนวน 5 ห้อง ห้องผ่าตัดศัลยกรรม จำนวน 11 ห้อง ห้องผ่าตัดออร์โธปิดิกส์ จำนวน 6 ห้อง ห้องผ่าตัดตา จำนวน 3 ห้อง ห้องผ่าตัดหูคอจมูก จำนวน 4 ห้อง และห้องผ่าตัดหลอดเลือด หัวใจ และสมอง จำนวน 7 ห้อง โดยขั้นตอนการประเมินคุณภาพอากาศ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการประเมินคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัด คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี

วิธีการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ตามสภาวะการใช้งาน (Occupancy State) และกำหนดให้มีการตรวจวัดแบบ At-rest ตรวจวัดในขณะที่ไม่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่ในห้องผ่าตัด และเปิดระบบปรับอากาศไว้ 12 ชั่วโมงก่อนทำการตรวจวัด โดยดำเนินการตรวจวัด ดังนี้

1. ตรวจวัดระดับชั้นความสะอาดภายในห้องผ่าตัด (Cleanliness Classification Tests) ตามข้อกำหนด Federal Standard 209E โดยตรวจวัดจำนวนอนุภาคขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า 0.5 μm และ 5.0 μm เพื่อนำไปจัดระดับความสะอาดภายในห้องผ่าตัด โดยระดับความสะอาดขึ้นกับจำนวนอนุภาค 0.5 μm หรือใหญ่กว่าต่อลูกบาศก์ฟุตของอากาศ จำนวนอนุภาคในอากาศหาได้โดยการสุ่มตรวจวัดตามจุดต่าง ๆ ในห้องผ่าตัด โดยตรวจวัดห้องละ 5 จุด เพื่อให้มั่นใจว่าในสถานที่ที่ต้องการความสะอาดสูง ๆ (critical work location) จะมีอนุภาคไม่เกินจำนวนที่กำหนดไว้ อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบคือ light scattering particle counter (TSI 9306-04) โดยจำนวนที่เก็บตัวอย่างต่ำสุด

หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } NL &= \text{จำนวนจุดเก็บตัวอย่างต่ำสุด} \\ A &= \text{พื้นที่ของห้องสะอาดมีหน่วยเป็นตารางเมตร} \end{aligned}$$

2. ตรวจวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศโดยทำการวัดความเร็วลมและปริมาตรอากาศที่จ่ายเข้าห้อง โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Barometer Flow Capture Hood) (TSI 8380) ด้วยวิธีวัดเฉพาะจุด วัดที่หัวลมจ่ายทุกหัว วัดค่าปริมาณลมจ่ายจากหน้ากากกระจายลมวัดแบบต่อเนื่อง โดยคิดปริมาณการหมุนเวียนอากาศในพื้นที่ต่อชั่วโมง ตามตำแหน่งชุดจ่ายลม สามารถทำได้เฉพาะพื้นที่ที่เป็นแบบปิดเท่านั้น โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) วัดขนาดปริมาตรของห้อง (พื้นที่ x ความสูง)
- 2) วัดปริมาณลมของอากาศ เข้าหรือออก จากห้อง
- 3) คำนวณอัตราการหมุนเวียนอากาศ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\text{อัตราการหมุนเวียนอากาศ} = \frac{\text{ปริมาณ (ลบ.ฟุต/นาที)} * 60}{\text{ปริมาตรห้อง (ลบ.ฟุต)}}$$

หรือ

$$\text{อัตราการหมุนเวียนอากาศ} = \frac{\text{ปริมาณ (ลบ.ม/ชั่วโมง)}}{\text{ปริมาตรห้อง (ลบ.ม)}}$$

3. ตรวจวัดความดันอากาศสัมพัทธ์ โดยทำการตรวจวัดความดันอากาศภายในห้อง (Room Pressurization Tests) เทียบกับพื้นที่ข้างเคียงซึ่งกำหนดให้ความดันอากาศในห้องผ่าตัดเป็นบวก (Positive pressure) คือต้องมีค่าแรงดันอากาศภายในห้องมากกว่า 2.5 ปาสคาล เมื่อเทียบกับค่าแรงดันอากาศของพื้นที่ข้างเคียงโดยใช้เครื่องวัดความดันแตกต่างระหว่างห้องผ่าตัด (Differential Pressure Gauge)(TSI 9565-P)

4. การตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and Humidity Tests) เพื่อตรวจสอบสถานะที่เหมาะสมในการทำงาน จึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิสามารถปรับได้ในช่วง 20-23 °C และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ใน ช่วง 30-60 %RH โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ห้องละ 5 จุด และนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแต่ละห้อง โดยเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศ (Indoor Air Quality Monitoring, TSI 9565-P) โดยจำนวนที่เก็บตัวอย่างต่ำสุดแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

หาได้จากสมการ

เมื่อ NL = จำนวนจุดเก็บตัวอย่างต่ำสุด

A = พื้นที่ของห้องสะอาดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากการตรวจวัดแสดงในรูปแบบของสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด และใช้ Spearman' s correlation วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพอากาศ โดยโปรแกรม SPSS

ผลการศึกษา

จากการดำเนินการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี จำนวน 36 ห้อง แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด ดังตารางที่ 1 มีรายละเอียด ดังนี้

1. คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด จำแนกตามประเภทห้องผ่าตัด

ผลการตรวจวัดจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอนภายในห้องผ่าตัดในแต่ละประเภทห้องผ่าตัด พบว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.05 ไมครอน พบสูงสุดในห้องผ่าตัดศัลยกรรม (2,158.45 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) รองลงมา คือห้องผ่าตัดหู คอ จมูก (1,851.25 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) ห้องผ่าตัดสูติ-นรีเวช (1,331.60 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) ห้องผ่าตัดตา (1,222.67 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) ห้องผ่าตัดออร์โธปิดิกส์ (971.00 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) และห้องผ่าตัดหลอดเลือด หัวใจ และสมอง (537.43 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอนภายในห้องผ่าตัด พบสูงสุดในห้องผ่าตัดตา (59.00 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) รองลงมา คือห้องผ่าตัดหู คอ จมูก (49.00 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) ห้องผ่าตัดศัลยกรรม (31.82 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) ห้องผ่าตัดออร์โธปิดิกส์ (31.67 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) ห้องผ่าตัดสูติ-นรีเวช (26.20 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) และห้องผ่าตัดหลอดเลือด หัวใจ และสมอง (23.00 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต) ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยอัตราการการหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่าตัด พบสูงสุดในห้องผ่าตัดออร์โธปิดิกส์ (22.50) รองลงมา คือ ห้องผ่าตัดหลอดเลือด หัวใจ และสมอง (22.00) ห้องผ่าตัดหู คอ จมูก (19.75) ห้องผ่าตัดศัลยกรรม (18.90) ห้องผ่าตัดสูติ-นรีเวช (18.80) และห้องผ่าตัดตา (18.00) ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในห้องผ่าตัด พบสูงสุดในห้องผ่าตัดตา (20.77 °C) รองลงมา คือ ห้องผ่าตัดออร์โธปิดิกส์ (20.53 °C) ห้องผ่าตัดหู คอ จมูก (20.43 °C) ห้องผ่าตัดหลอดเลือด หัวใจ และสมอง (20.37 °C) ห้องผ่าตัดสูติ-นรีเวช (19.30 °C) และห้องผ่าตัดศัลยกรรม (19.03 °C) ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ พบสูงสุดในห้องผ่าตัดศัลยกรรม (70.72 %RH) รองลงมา คือ ห้องผ่าตัดหลอดเลือด หัวใจ และสมอง (70.10 %RH) ห้องผ่าตัดสูติ-นรีเวช (69.88 %RH) ห้องผ่าตัดออร์โธปิดิกส์ (63.92 %RH) ห้องผ่าตัดตา (61.50 %RH) และห้องผ่าตัดหู คอ จมูก (60.63 %RH) ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความดันอากาศสัมพัทธ์ภายในห้องผ่าตัด พบสูงสุดในห้องผ่าตัดออโรโรบิติกส์ (30.30 Pa) รองลงมา คือ ห้องผ่าตัดสูติ-นรีเวช (12.70 Pa) ห้องผ่าตัดหลอดเลือด หัวใจ และสมอง (12.40 Pa) ห้องผ่าตัดศัลยกรรม (9.80 Pa) ห้องผ่าตัดหู คอ จมูก (6.03 Pa) และห้องผ่าตัดตา (4.80 Pa) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดจำแนกตามประเภทห้องผ่าตัด คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี

ประเภทห้องผ่าตัด	ผลการตรวจวัด Mean ± SD (Min-Max)					
	จำนวนอนุภาคฝุ่น ละออง ขนาด 0.5 ไมครอน (#/FT3)	จำนวนอนุภาคฝุ่น ละออง ขนาด 5.0 ไมครอน (#/FT3)	อัตราการหมุนเวียน อากาศ	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	ความดันอากาศ สัมพัทธ์ (Pa)
สูติ-นรีเวช	1,331.60±735.97 (583.00-2,502.00)	26.20±10.76 (14.00-36.00)	18.80±2.17 (16.00-22.00)	19.30±1.54 (17.50-20.90)	69.88±6.92 (59.00-77.20)	12.70±4.99 (5.40-18.30)
ศัลยกรรม	2,158.45±1,322.39 (837.00-5,770.00)	31.82±10.73 (17.00-56.00)	18.90±3.83 (12.00-27.00)	19.03±1.73 (15.80-21.50)	70.72±9.34 (54.00-82.50)	9.80±5.21 (2.00-22.10)
ออโรโรบิติกส์	791.00±487.24 (266.00-1,543.00)	31.67±8.80 (18.00-43.00)	22.50±3.67 (18.00-27.00)	20.53±1.18 (19.50-22.20)	63.92±9.15 (55.10-76.90)	30.30±15.84 (15.10-54.10)
ตา	1,222.67±1,107.13 (407.00-2,483.00)	59.00±7.00 (54.00-67.00)	18.00±1.00 (17.00-19.00)	20.77±0.96 (19.90-21.80)	61.50±5.15 (57.90-67.40)	4.80±0.78 (4.30-5.70)
หู คอ จมูก	1,851.25±1,869.19 (748.00-4,644.00)	49.00±6.16 (41.00-56.00)	19.75±1.26 (18.00-21.00)	20.43±0.75 (19.50-21.30)	60.63±4.28 (55.40-64.60)	6.03±2.25 (3.40-8.90)
หลอดเลือด หัวใจ และสมอง	537.43±297.70 (231.00-971.00)	23.00±10.97 (5.00-41.00)	22.00±4.69 (17.00-30.00)	20.37±0.42 (19.90-21.00)	70.10±5.95 (58.70-78.10)	12.40±3.92 (9.50-19.80)

2. คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด พบว่า จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน อยู่ในช่วง 231.0-5,577.0 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 100.0 จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน อยู่ในช่วง 5.0-67.0 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 100.0 ความดันอากาศสัมพัทธ์ อยู่ในช่วง 2.0-54.1 ปาสคาล ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 97.2 อัตราการหมุนเวียนอากาศ อยู่ในช่วง 12.0-30.0 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 94.4 อุณหภูมิ อยู่ในช่วง 15.8-22.2 องศาเซลเซียส ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 52.8 ความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในช่วง 54.0-82.5 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 2.8 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

พารามิเตอร์	ผลการตรวจวัด Mean ± SD (Min-Max)	ค่ามาตรฐาน	ผ่านเกณฑ์ มาตรฐาน (ร้อยละ)
จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)	1,388.47±1,183.10 (231.00-5,577.00)	≤ 10,000a	100.0
จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน (อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)	33.47±14.08 (5.00-67.00)	≤ 70a	100.0
ความดันอากาศสัมพัทธ์ (Pa)	13.29±10.74 (2.00-54.10)	≥ 2.5b	97.2
อัตราการหมุนเวียนอากาศ	19.69±3.71 (12.00-30.00)	≥ 15 b	94.4
อุณหภูมิ (°C)	19.88±1.40 (15.80-22.20)	20-23b	52.8
ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	67.46±8.22 (54.00-82.50)	30-60b	2.8

ค่ามาตรฐาน

- The Federal Standard 209E "Airborne Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Cleanzones".
- U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Atlanta, GA 30329. Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities. July 2019.

3. คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดจำแนกตามอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศ

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศเมื่อจำแนกตามอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือห้องผ่าตัดที่มีอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศน้อยกว่า 10 ปี และมากกว่า 10 ปี โดยพบว่า ห้องผ่าตัดที่มีอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศน้อยกว่า 10 ปี มีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 และ 5.0 ไมครอน อัตราการหมุนเวียนอากาศ และความดันอากาศสัมพัทธ์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 100.0 และพบว่าห้องผ่าตัดที่มีอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศมากกว่า 10 ปี มีความดันอากาศสัมพัทธ์ อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ และ ความชื้นสัมพัทธ์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 95.4, 90.9, 50.0 และ 9.1 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้อยกว่าห้องผ่าตัดที่มีอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศน้อยกว่า 10 ปี ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดจำแนกตามอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศ

พารามิเตอร์	ผลการตรวจวัด Mean \pm SD (Min-Max)		ค่ามาตรฐาน	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน(ร้อยละ)	
	ระบบปรับอากาศ \leq 10 ปี	ระบบปรับอากาศ $>$ 10 ปี		ระบบปรับอากาศ \leq 10 ปี	ระบบปรับอากาศ $>$ 10 ปี
จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน (Particles/Ft3)	1,217.00 \pm 1,183.77 (266.00-4,644.00)	1,485.35 \pm 1,198.05 (231.00-5,577.00)	\leq 10,000a	100.0	100.0
จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน (Particles/Ft3)	43.31 \pm 13.79 (18.00-67.00)	27.91 \pm 11.05 (5.00-56.00)	\leq 70a	100.0	100.0
ความดันอากาศสัมพัทธ์ (Pa)	16.95 \pm 16.48 (3.40-54.10)	11.20 \pm 4.80 (2.00-22.10)	\geq 15 b	100.0	95.4
อัตราการหมุนเวียนอากาศ	20.62 \pm 3.15 (17.00-20.00)	19.22 \pm 3.88 (12.00-30.00)	\geq 2.5b	100.0	90.9
อุณหภูมิ (°C)	20.55 \pm 0.94 (19.50-22.20)	19.5 \pm 1.48 (15.80-21.50)	20-23b	64.3	50.0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)	62.35 \pm 6.81 (55.10-76.90)	70.35 \pm 7.63 (54.00-82.50)	30-60b	64.3	9.1

4. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพอากาศ

การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัด โดยใช้ Spearman's correlation ทดสอบ พบว่า จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน ($r_s = 0.358$, $P < 0.05$) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ อัตราการหมุนเวียนอากาศ ($r_s = -0.347$, $P < 0.05$) และ จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นสัมพัทธ์ ($r_s = -0.359$, $P < 0.05$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพอากาศในห้องผ่าตัด

ปัจจัย	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
จำนวนอนุภาคฝุ่นละออง ขนาด 0.5 ไมครอน (1)	1					
จำนวนอนุภาคฝุ่นละออง ขนาด 5.0 ไมครอน (2)	0.358*	1				
อัตราการหมุนเวียนอากาศ (3)	-0.347*	-0.022	1			
ความดันอากาศสัมพัทธ์ (4)	-0.273	-0.301	0.092	1		
อุณหภูมิ (5)	-0.268	-0.077	-0.017	0.280	1	
ความชื้นสัมพัทธ์ (6)	-0.052	-0.359*	-0.013	-0.227	0.044	1

หมายเหตุ: * ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$

สรุปผลการตรวจวัด

จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศห้องผ่าตัดจำนวน 36 ห้อง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 7 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 19.4 โดยพบว่าจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน อยู่ในช่วง 231.0-5,577.0 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน อยู่ในช่วง 5.0-67.0 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต อัตราการหมุนเวียนอากาศอยู่ในช่วง 12.0-30.0 ความดันอากาศสัมพัทธ์มีค่าอยู่ในช่วง 2.0-54.1 ปาสคาล อุณหภูมิ ในช่วง 15.8-22.2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าอยู่ในช่วง 54.0-82.5 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ พบว่า ร้อยละ 100.0 ของจำนวนอนุภาคฝุ่นละออง 0.5 และ 5.0 ไมครอน ร้อยละ 94.4 ของอัตราการหมุนเวียนอากาศ ร้อยละ 97.2 ของความดันอากาศสัมพัทธ์ ร้อยละ 52.7 ของอุณหภูมิ และร้อยละ 2.8 ของความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในค่าอ้างอิง นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอน ($r_s=0.358$, $P < 0.05$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการหมุนเวียนอากาศ ($r_s = -0.347$, $P < 0.05$) การศึกษานี้ส่วนใหญ่พบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงเสนอแนะการแก้ไข ดังนี้ ในระยะสั้นใช้เครื่องลดความชื้น (Dehumidifier) หรือ ใช้ฮีตเตอร์ดักท์ (Duct Heater) ติดตั้งเข้าไปในช่องลมหรือท่อ Duct ของระบบปรับอากาศ ส่วนในระยะยาว ให้มีการแก้ไข

ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระบบปรับอากาศ โดยสำรวจสภาพเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานมานาน เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาความคุ้มค่าในการจัดทำแผนของงบประมาณการปรับปรุงระบบปรับอากาศห้องผ่าตัดต่อไป เช่น พิจารณาเลือกขนาดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ห้องผ่าตัดนั้น ๆ เลือกคอยล์ที่มีจำนวนแฉวมมากขึ้น และมีความเร็วต่ำ และควรมีแผนการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศและระบายอากาศอย่างสม่ำเสมอ เช่น ล้างทำความสะอาดและบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศทุกอาทิตย์ ทำการเปลี่ยน pre filter ทุก 3 เดือน เปลี่ยน medium filter ทุก 6 เดือน และเปลี่ยน HEPA filter ปีละ 1 ครั้ง เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้รับบริการได้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ และช่วยป้องกันการเกิดการติดเชื้อในห้องผ่าตัด อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศในห้องผ่าตัดได้

การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัดจำนวน 36 ห้อง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 7 ห้อง คิดเป็นร้อยละ 19.4 โดยพบว่าห้องผ่าตัดส่วนใหญ่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Keng yinn wong และคณะ⁽⁸⁾ ที่พบว่าห้องผ่าตัดมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เกินเกณฑ์มาตรฐาน และสอดคล้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

โรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ทำการศึกษโดยปานทิพย์ ธิโนชัย และคณะ⁽⁹⁾ ผลการศึกษาพบว่าจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองในห้องผ่าตัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อยู่ในระดับความสะอาด ISO Class 7 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cesira Pasquarella และคณะ⁽¹⁰⁾ ที่พบว่า ห้องผ่าตัดอยู่ในระดับความสะอาด ISO Class 7 และสอดคล้องกับการศึกษาของ Febrero Garrido และคณะ⁽¹¹⁾ ที่พบว่า ห้องผ่าตัดมีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO Class 7 หรือระดับความสะอาดที่ต่ำกว่าได้และสอดคล้องกับการศึกษาของ Francesco Romano และคณะ⁽¹²⁾ ที่พบว่า ห้องผ่าตัดมีค่าจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองอยู่ในระดับความสะอาด ISO Class 7

ผลการตรวจวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศพบว่า ห้องผ่าตัดมีค่าอัตราการหมุนเวียนอากาศเกิน 15 รอบต่อชั่วโมงซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ CDC ที่กำหนดไว้ ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Febrero Garrido และคณะ⁽¹¹⁾ พบว่าอัตราการหมุนเวียนอากาศที่มากกว่า 15 รอบต่อชั่วโมง จะทำให้ห้องผ่าตัดมีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรืออาจจะต่ำกว่าห้องที่มีระดับความสะอาด Class 6 หรือต่ำกว่าได้ และจากการศึกษานี้พบว่าห้องผ่าตัดที่มีอัตราการหมุนเวียนอากาศสูงขึ้นจะทำให้จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอนลดลง

ผลการตรวจวัดความดันอากาศสัมพัทธ์ห้องผ่าตัด พบว่า ห้องผ่าตัดมีค่าความดันอากาศสัมพัทธ์เป็นบวก มีค่าเฉลี่ย 12.8 ปาสคาล ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ CDC กำหนดไว้มากกว่า 2.5 ปาสคาล และคล้ายกับการศึกษาของ Francesco Romano และคณะ⁽¹²⁾ ที่พบว่า มีค่าเฉลี่ยความดันอากาศสัมพัทธ์ที่ 10 ปาสคาล

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิห้องผ่าตัด พบว่า มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ รชนีกร วีระเจริญ และคณะ⁽⁵⁾ ที่พบว่า มีอุณหภูมิต่ำกว่ามาตรฐานที่แนะนำ และการศึกษาของ Ilinca Nastase และคณะ⁽¹³⁾ ที่พบว่า ถ้าห้องผ่าตัดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 21 °C จะทำให้ผู้ป่วยเกิดความเสี่ยงภาวะตัวเย็นเกินหรือไฮโปเธอร์เมียได้ (*Hypothermia*)

นอกจากนี้งานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของรชนีกร วีระเจริญ และคณะ⁽⁵⁾ ที่ศึกษาคุณภาพอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องผ่าตัดของสถานพยาบาลสองแห่ง ที่พบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่ามาตรฐานกำหนด อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษานี้ยังพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องผ่าตัดที่มีอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศมากกว่า 10 ปีผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพียงร้อยละ 9.1 จึงทำให้เห็นว่าอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องผ่าตัด ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงอาจทำให้เชื้อราและแบคทีเรียในอากาศเจริญเติบโตได้ดี

และอาจส่งผลทำให้เกิดการติดเชื้อในแผลผ่าตัดได้ ดังนั้นห้องผ่าตัดที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง จึงเสนอแนะการแก้ไข ดังนี้ ในระยะสั้นควรมีการใช้เครื่องลดความชื้น (Dehumidifier) หรือ ใช้ฮีตเตอร์ดักท์ (Duct Heater) ติดตั้งเข้าไปในช่องลมหรือท่อ Duct ของระบบปรับอากาศ ส่วนในระยะยาว ให้มีการแก้ไขความชื้นสัมพัทธ์ที่ระบบปรับอากาศ โดยสำรวจสภาพเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานมานาน เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาความคุ้มค่าในการจัดทำแผนของงบประมาณการปรับปรุงระบบปรับอากาศห้องผ่าตัดต่อไป เช่น พิจารณาเลือกขนาดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ห้องผ่าตัดนั้น ๆ การเลือกคอยล์ที่มีจำนวนแฉวมมากขึ้นและมีความเร็วต่ำ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด พบว่า จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 0.5 ไมครอน มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการหมุนเวียนอากาศ ($r_s = -0.347$, $P < 0.05$) และจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาด 5.0 ไมครอนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นสัมพัทธ์ ($r_s = -0.359$, $P < 0.05$) ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Ching-Chieh Liang และคณะ⁽¹⁴⁾ ศึกษาผลกระทบของระบบระบายอากาศที่เหมาะสมของห้องผ่าตัด trauma และ ห้องผ่าตัด colorectal พบว่า ฝุ่นละอองมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการหมุนเวียนอากาศ โดยอัตราการหมุนเวียนอากาศที่เพิ่มมากขึ้นสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในอากาศให้ออกจากห้องผ่าตัดได้มากขึ้น จึงทำให้ฝุ่นละอองในห้องผ่าตัดลดลง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาคูณภาพอากาศห้องผ่าตัดทั้ง 3 ฤดูกาล เพื่อดูความแตกต่างของคูณภาพอากาศในห้องผ่าตัดในแต่ละฤดูกาล

แนะนำการอ้างอิงสำหรับบทความนี้

ปิยทัศน์ บำรุงเวช, ชัชชัย ธนโชคสว่าง, กุณฑลีย์ บังคะदानารา, ปรียานุช สมร่วง. การศึกษาคูณภาพอากาศภายในห้องผ่าตัด คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี. วารสารสถาบันป้องกันควบคุมโรคเขตเมือง. 2567;9(2):101-116.

Suggested citation for this article

Bumrungwech P, Thanachoksawang C, Bangkadanara G, Somrang P. A Study of Indoor air quality in operating room Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital. Institute for Urban Disease Control and Prevention Journal. 2024;9(2):101-116.

เอกสารอ้างอิง

1. กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กองวิศวกรรมการแพทย์ [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ; c2023. มาตรฐานห้องให้บริการทางการแพทย์ ห้องผ่าตัด ห้องผู้ป่วยหนัก ห้องฉุกเฉิน และห้องไตเทียม; 2567 [เข้าถึงเมื่อ 2 พ.ค. 2567]; [ประมาณ 48 น.]. เข้าถึงได้จาก: <https://medi.moph.go.th/km/oricer.pdf>
2. พัชรี สุรารักษา. การตรวจสอบคุณภาพอากาศสำหรับห้องผ่าตัด. Rซีวารสาร. 2561;4(14):8-9.
3. สุวัฒน์ ดำนิล. เทคนิคการตรวจประสิทธิภาพระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศในห้องผ่าตัดในอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในโรงพยาบาล. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล; 2560.
4. สุพจน์ เตชะอำนวยการวิทย์. แนวทางการออกแบบการปรับอากาศและการระบายอากาศสำหรับโรงพยาบาล. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย; 2551.
5. รชนีกร วีระเจริญ, ณัฐพงศ์ แหละหมั่น, ชยาพล จงเจริญ. คุณภาพอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องผ่าตัดของสถานพยาบาลสองแห่ง. วารสารโรคและภัยสุขภาพ สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 3 จังหวัดนครสวรรค์. 2563;14(2):38-50.
6. Centers for Disease Control and Prevention. Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities. Georgia: Center for Disease Control and Prevention; 2019.
7. The U.S. General Services Administration. The Federal Standard 209E Airborne Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Clean Zones. Illinois: Institute of Environmental Sciences; 1992.
8. Wong KY, Kamar HM, Kamsah N, Tan H, Deris MS. Real-Time Measurements of Relative Humidity and Temperature in Hospital Operating room. International Journal of Mechanical and Production Engineering. 2017;5(10):92-5.
9. ปานทิพย์ ธิโนชัย, มนทิรา เตี้ยเล็ก, จิรา คงปราณ. คุณภาพอากาศภายในอาคารโรงพยาบาล: กรณีศึกษาโรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารวิชาวารสารสาธารณสุข. 2562;28(2):325-33.

10. Pasquarella C, Balocco C, Colucci ME, Sacconi E, Paroni S, Albertini L, et al. The Influence of Surgical Staff Behavior on Air Quality in a Conventionally Ventilated Operating Theatre during a Simulated Arthroplasty: A Case Study at the University Hospital of Parma. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jan 10;17(2):1-14.
11. Garrido F, Gonzalez L, Oller E, Alvarez G. Development of a Calibrated Simulation Method for Airborne Particles to Optimize Energy Consumption in Operating Rooms. *Energies*. 2019;12(12):2433.
12. Romano F, Milani S, Ricci R, Joppolo CM. Operating Theatre Ventilation Systems and Their Performance in Contamination Control: "At Rest" and "In Operation" Particle and Microbial Measurements Made in an Italian Large and Multi-Year Inspection Campaign. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Oct 5;17(19):1-16.
13. Nastase I, Croitoru C, Vartires A, Tataranu L. Indoor Environmental Quality in Operating Rooms: An European Standards Review with Regard to Romanian Guidelines. *Energy Procedia*. 2016;85:375-82.
14. Liang C-C, Wu F-J, Chien T-Y, Lee S-T, Chen C-T, Wang C, et al. Effect of ventilation rate on the optimal air quality of trauma and colorectal operating rooms. *Building and Environment*. 2020;169:106548.