

ฉบับแปลไทย (Thai Translations)

The removal of airborne SARS-CoV-2 and other microbial bioaerosols by air filtration on COVID-19 surge units

<https://www.medrxiv.org/node/410806.external-links.html>

การกำจัดละอองลอยของเชื้อ SARS-CoV-2 และละอองลอยชีวภาพอื่นๆ ด้วยการกรองอากาศ  
ในพื้นที่การรักษาพยาบาลใหม่

คีย์เวิร์ด

SARS-CoV-2; โควิด 19; การควบคุมการติดเชื้อในโรงพยาบาล; การกรองอากาศ

## บทสรุป

### ที่มา

สถานการณ์โควิด 19 ได้ทำให้บริเวณแยกผู้ป่วยทางเดินหายใจนั้นถูกใช้เต็มอัตรา

หอผู้ป่วยหลายแห่งที่ขาดการระบายอากาศความถี่สูง

ได้ถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นบริเวณสำหรับดูแลผู้ป่วยที่ติดเชื้อ SARS-CoV-2 ทั้งที่ต้องการการดูแลทั่วไป และการดูแลพิเศษ

การติดเชื้อโควิด 19 ในโรงพยาบาล ได้กลายเป็นปัญหาทั้งสำหรับผู้ป่วย และบุคลากรทางการแพทย์เอง โดยมีการพบหลักฐานที่ชี้ไปถึงการติดเชื้อทางอากาศมากขึ้นเรื่อยๆ

การศึกษานี้จะทำการวิจัยถึงผลกระทบของการกรองอากาศ และแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ในการฆ่าเชื้อ SARS-CoV-2 ในอากาศ รวมถึงละอองจุลินทรีย์อื่นๆ

### วิธีการวิจัย

ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการศึกษากลุ่มเกี่ยวกับเครื่องกรองอากาศและฆ่าเชื้อ แบบพกพาได้ ที่อยู่ตามพื้นที่ที่ถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นหอดูแลผู้ป่วยโควิด และ ICU

กลุ่มตัวอย่างละอองไซโคลน และการตรวจสอบ PCR จาก สถาบันอาชีวอนามัย

และความปลอดภัยแห่งสหรัฐอเมริกา (NIOSH) ได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจหาเชื้อ SARS-CoV-2 ที่อยู่ในอากาศ รวมถึงละอองจุลินทรีย์อื่นๆ ในบริเวณที่ทั้งมี และไม่มีการกรองอากาศ หรือแสง UV

### ผลลัพธ์

SARS-CoV-2 ที่อยู่ตามอากาศ ถูกตรวจพบในหอผู้ป่วยตลอด 5 วัน ก่อนการกรองอากาศหรือ UV แต่ไม่สามารถตรวจพบได้เลย ใน 5 วันที่มีการกรองอากาศหรือ UV

เชื้อ SARS-CoV-2 ในอากาศ ถูกตรวจพบอีกครั้ง ถึง 4 ใน 5 วัน หลังจากที่เครื่องกรองถูกปิดไป โดยเชื่อนี้ถูกตรวจพบในห้อง ICU ไม่บ่อยนัก

การกรองสามารถลดละอองจุลินทรีย์ทั้งในหอผู้ป่วย (ตรวจพบเชื้อโรค 48 ชนิด ก่อนการกรอง และพบ 2 ชนิด หลังการกรอง  $p=0.05$ ) และห้อง ICU (ตรวจพบเชื้อโรค 45 ชนิดก่อนการกรอง และพบ 5 ชนิดหลังการกรอง  $p=0.05$ )

### ข้อสรุป

ข้อมูลเหล่านี้ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลดเชื้อ SARS-CoV-2 จากอากาศ

ในบริเวณที่ถูกเปลี่ยนเป็นหอผู้ป่วยส่วนขยาย

และเสนอว่าเครื่องกรองอากาศสามารถลดความเสี่ยงในการติดเชื้อ SARS-CoV-2 ในโรงพยาบาลได้

## บทนำ

ในช่วงที่เกิดวิกฤติโควิด 19 หอผู้ป่วยทั่วไปในโรงพยาบาล ในสหราชอาณาจักร ได้ถูกเปลี่ยนเป็นหอผู้ป่วยส่วนขยาย และ ICU อย่างรวดเร็ว ซึ่งพื้นที่เหล่านี้มักจะไม่ได้มีประสิทธิภาพมากพอในการระบายอากาศ ด้วยความถี่สูง

การติดเชื้อทางอากาศ เป็นช่องทางการแพร่กระจายที่สำคัญของ SARS-CoV-2<sup>1</sup> โดยเชื้อนี้ได้ถูกตรวจพบในพื้นที่ที่มีผู้ป่วยโควิด 19<sup>2,3</sup>

แม้ว่าจะมีการใช้อุปกรณ์ป้องกัน (PPE) ที่สามารถกรองละอองขนาดกลางและใหญ่ได้ ก็ยังมีรายงานการติดเชื้อ SARS-CoV-2<sup>4,5,6</sup> จากผู้ป่วย ไปยังบุคลากรทางการแพทย์ ซึ่งมีโอกาสเกิดจากละอองขนาดเล็ก<sup>7</sup> ( $< 5\mu\text{M}$ )

นอกจากนี้ การติดเชื้อโควิด 19 ในโรงพยาบาล ทำให้ระบบการรักษาสิ้นคลอน แม้ว่าจะมีการใช้โปรแกรมตรวจหาเชื้อในกลุ่มที่ไม่แสดงอาการ<sup>8</sup>

มีความจำเป็นที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการรักษาความปลอดภัยสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ และผู้ป่วย ผ่านการลดโอกาสในการแพร่กระจายทางอากาศของ SARS-CoV-2<sup>7</sup>

การป้องกันเชิงวิศวกรรม ในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทอากาศ โดยมีการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (UV) นั้นเป็นหนึ่งในทางแก้ไขที่มีศักยภาพ ในการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเพิ่มอุปกรณ์การป้องกันทางการหายใจ<sup>9,10</sup>

เครื่องกรองอากาศแบบพกพา ที่มีประสิทธิภาพสูง พร้อมทั้งแสง UV สำหรับฆ่าเชื้อ นั้นมีโอกาที่จะเป็น ทางแก้ปัญหาการติดเชื้อ SARS-CoV-2 ผ่านการหายใจ ที่ขยายไปในวงกว้างได้

การวิจัยโดยกลุ่มนักวิจัยด้วยโมเดล ของ UK Scientific Advisory Group for Emergencies พบข้อมูลที่จำกัด เกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องมือเหล่านี้<sup>11</sup> ซึ่งผลเป็นไปในทางเดียวกับที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมแบบเป็นระบบ ที่เกิดขึ้นสองครั้งที่ผ่านมาเมื่อเร็วๆ นี้<sup>12, 13</sup>

การตรวจสอบระบบเหล่านั้น ส่วนใหญ่แล้ว เป็นการตรวจสอบผ่านเครื่องมือ โดยใช้อนุภาคอินทรีย์ หรือการกำจัดอนุภาคชีวภาพที่เป็นแบคทีเรีย ในสภาพแวดล้อมควบคุมสำหรับการวิจัย

ณ ตอนนี้ ทางทีมผู้วิจัยได้นำเสนอข้อมูล ที่เป็นหลักฐานการกำจัดเชื้อ SARS-CoV-2 และละอองจุลินทรีย์  
จากอากาศ โดยใช้เครื่องกรองอากาศ ที่มีแสง UV แบบพกพา ในการจัดการเชื้อโควิด 19  
ตามพื้นที่ที่ถูกเปลี่ยนมาเป็นหอผู้ป่วยโควิด 19 ในช่วงวิกฤติ

## กระบวนการ

### สภาพแวดล้อม

การวิจัยนี้เกิดขึ้นในบริเวณที่ถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นพื้นที่สำคัญผู้ป่วยโควิด 19 ในโรงพยาบาล Addenbrooke's เคมบริดจ์ สหราชอาณาจักร ในเดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ 2021 เมื่อไวรัสสายพันธุ์เป็นอัลฟา (สายพันธุ์ B.1.1.7) นับเป็นมากกว่า 80% ของเชื้อ SARS-CoV-2 ที่หมุนเวียนอยู่<sup>8</sup>

บริเวณแรก คือ หอผู้ป่วยที่ถูกขยายมาใหม่

เพื่อดูแลผู้ป่วยที่ต้องการเพียงการบำบัดด้วยออกซิเจนแบบง่ายเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ

บริเวณที่สอง คือ ICU ที่ขยายมาใหม่ สำหรับดูแลผู้ป่วยที่ต้องการการช่วยหายใจ ทั้งแบบ invasive และ non-invasive

หอผู้ป่วยมีเตียง 4 หลังที่ถูกใช้เต็มอัตรา (ภาพประกอบ 1A)

ICU มีเตียง 5 หลังที่ถูกใช้เต็มอัตราเช่นเดียวกัน ซึ่งในสัปดาห์ที่สอง บริเวณ ICU

มีเตียงพิเศษขึ้นมาอีกหนึ่งหลังเพื่อรองรับผู้ป่วยเพิ่มเติม (ภาพประกอบ 1B)

ในหอผู้ป่วย ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่อง AC1500 HEPA 14/UV steriliser (Filtrex เมืองฮาร์โลว์ สหราชอาณาจักร) โดยในส่วน ICU ทางทีมได้ติดตั้ง Medi 10 HEPA/UV steriliser (Max Vac เมืองซูริก ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) (วิธีการเสริม)

เครื่องกรองอากาศถูกติดตั้งไว้ในบริเวณที่กำหนด ก่อนการเริ่มระยะเวลา 3 สัปดาห์ของงานวิจัย

(ภาพประกอบ 1) เริ่มเปิดเมื่อสัปดาห์ที่สองเริ่มขึ้น และให้เครื่องทำงานอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่วันอาทิตย์ ไปยังวันอาทิตย์ของสัปดาห์ต่อไป ในการฟอกอากาศสำหรับปริมาตร 5-10 ห้องต่อชั่วโมงในแต่ละบริเวณ

เนื่องจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ ไม่ได้ถึงมาตรฐานความปลอดภัยทางการแพทย์ (EN60601)

จึงถูกวางไว้ห่างจากผู้ป่วยไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร

### **การออกแบบการวิจัย**

ทางทีมผู้วิจัยได้มีการทำการศึกษาข้ามกลุ่ม โดยผลลัพธ์หลักที่สนใจ คือการตรวจจับ RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 หลากหลายขนาด ในกลุ่มตัวอย่างอากาศ

กลุ่มตัวอย่างอากาศนั้นถูกเก็บด้วย BC 251 two-stage cyclone aerosol sampler<sup>12</sup>

จากสถาบันความปลอดภัยและอนามัยในการทำงานแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (บริจาคโดย B Lindsley จากศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค แอตแลนตา) โดยทำการเก็บตามหลักการเดียวกับการวิจัยก่อนๆ ที่แสดงการตรวจจับไวรัสที่อยู่ในรูปแบบละอองลอย (วิธีการเสริม)<sup>2,14-18</sup>

ที่เก็บตัวอย่างอากาศถูกรวบรวมทุกวัน โดยมีที่เก็บควบคุมอยู่ในถุงที่ปิดสนิท

ซึ่งที่เก็บตัวอย่างอากาศเหล่านี้ถูกวางไว้ประมาณ 4 เมตร จากกันและกัน รวมถึงจากเครื่องกรองอากาศ และห่างจากผู้ป่วยไม่ต่ำกว่า 2 เมตร (ภาพประกอบที่ 1)

ใน ICU มีการใช้ที่เก็บตัวอย่างสองตัว ตัวแรกมีความสูงประมาณศีรษะคน และอีกตัวมีความสูงประมาณเตียงนอน

ที่เก็บตัวอย่างทำงานในวันธรรมดา (8:15 ถึง 14:15) ตลอด 3 สัปดาห์ของการวิจัย

หลังจากเก็บตัวอย่างแล้ว ที่เก็บถูกแยกส่วนด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อ และกระดาศกรองถูกส่งไปยังหลอด Falcon ขนาด 15 มล.

กลุ่มตัวอย่างถูกนำไปผ่านกระบวนการ และเก็บไว้ในอุณหภูมิ  $-80^{\circ}\text{C}$  จนกระทั่งถึงเวลาวิเคราะห์ผล ที่เก็บตัวอย่างถูกล้างด้วยเอทานอล 80% และน้ำบริสุทธิ์

### **การตรวจจับเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค**

กรดนิวคลีอิกถูกสกัดออกมาจากส่วนประกอบแต่ละชิ้นของ ที่เก็บตัวอย่าง NIOSH (หลอดที่มีละอองลอยขนาดใหญ่ กลาง และตัวกรอง) อย่างที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้<sup>19</sup>

รายละเอียดของ RT-qPCR สำหรับ SARS-CoV-2 และการสอบ multiplex qPCR

เพื่อหาพิษของเชื้อทางเดินหายใจ รวมถึงแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคอื่นๆ อยู่ในส่วนเสริม

### **การวิเคราะห์ทางสถิติ**

ความแตกต่างในตัวเลขของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค ที่สามารถตรวจจับได้เมื่อเครื่องกรองอากาศทำงาน และไม่ทำงาน ถูกนำมาเปรียบเทียบด้วย Mann-Whitney U-test

ความมีนัยสำคัญทางสถิติจะถูกบ่งชี้เมื่อค่า  $p$  นั้น  $\leq 0.05$  กราฟถูกสร้างใน R studio

การวิจัยได้รับการลงทะเบียนเป็นการประเมินการบริการ กับ Cambridge University Hospital NHS Foundation Trust (รหัสการประเมินการบริการ PRN 9798)

## ผลลัพธ์

การกำจัดเชื้อ SARS-CoV-2 โดยการกรองอากาศในหอผู้ป่วยที่ขยายมาสำหรับช่วงวิกฤตินี้

สำหรับช่วงเวลาในการวิจัย (18 มกราคม ถึง 5 กุมภาพันธ์) จำนวนเตียงทั้งในหอผู้ป่วย และ ICU นั้นถูกใช้เต็ม 100% โดยมีผู้ป่วยในหอ 15 คน และใน ICU 14 คน ในช่วง 3 สัปดาห์ของการวิจัย (7,4,4 คน ในสัปดาห์ที่ 1-3 ในหอผู้ป่วย และ 6, 5, 3 คน ในห้อง ICU ตามลำดับ)

ผู้ป่วยทุกคนแสดงอาการ และผลการตรวจหา RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 จากตัวอย่างจากระบบทางเดินหายใจ เป็นบวก ก่อนที่จะมีการส่งตัวเข้ามาในพื้นที่รักษา

ผู้ป่วยในห้อง ICU ได้รับการดูแลด้วยเครื่องช่วยหายใจประเภท non-invasive ประเภทที่มีอัตราการไหลของออกซิเจนสูง หรือประเภท invasive ผ่านท่อทางเดินหายใจ หรือท่อหลอดลมคอ

ผู้ป่วยในหอได้รับการช่วยหายใจ ด้วยการบำบัดด้วยออกซิเจนแบบง่าย หรือไม่มีการช่วยหายใจ รวมถึงไม่มีกระบวนการสร้างละออง

ในหอผู้ป่วย ในช่วงสัปดาห์แรกของเดือน ขณะที่การกรองอากาศยังไม่ทำงาน ทางทีมผู้วิจัยสามารถตรวจจับเชื้อ SARS-CoV-2 ทั้ง 5 วันของการศึกษา โดยได้ตรวจจับทั้ง RNA ขนาดกลาง (ขนาด 1-4 $\mu$ M) และกลุ่มอนุภาคละอองขนาดใหญ่ (ขนาด >4 $\mu$ M) (Fig. 2A) โดยที่ไม่มีการตรวจพบเชื้อ SARS-CoV-2 ที่เป็นอนุภาคละอองขนาดเล็ก (ขนาด <1 $\mu$ M)

ตัวกรองอากาศทำงานในสัปดาห์ที่สอง และทำงานไปเรื่อยๆ โดยในช่วงระยะเวลานี้ ทางทีมผู้วิจัยไม่สามารถตรวจจับ SARS-CoV-2 RNA ในกลุ่มตัวอย่างอนุภาคได้เลย ในทั้ง 5 วันที่มีการวิจัย

การสังเกตเบื้องต้นนี้ เป็นหลักฐานที่แสดงถึง การที่เชื้อ SARS-CoV-2 ถูกกำจัดผ่านระบบการกรองอากาศ แม้จะด้วยระดับค่าพื้นฐาน  $C_T$  ที่สูง

เพื่อยืนยันการสังเกตนี้ ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการกลับไปศึกษาจากพื้นที่ที่ไม่มีการกรองอากาศอีกครั้ง โดยในหนึ่งสัปดาห์ ทางทีมสามารถตรวจพบ RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 ขนาดอนุภาคกลาง และใหญ่ ใน 3 ใน 5 วันของการวิจัย ((a sample without tube size indicated tested positive on day 5) (Fig. 2A) ทางทีมไม่พบ RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 จากในกลุ่มตัวอย่างควบคุม

การกำจัดละอองชีวภาพ ด้วยการกรองอากาศ ในบริเวณที่ขยายเป็นหอผู้ป่วยในช่วงโควิด 19 ทางทีมผู้วิจัยได้นำกรดนิวคลีอิกที่ถูกสกัดออกมาแล้ว ไปผ่าน qPCR ประสิทธิภาพสูง โดยใช้ระบบ



Biomark HD ในการตรวจจับเป้าหมายไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อรา ที่อยู่ในฟิล์ม

ในเวลานึ่งสัปดาห์ เราตรวจพบกรดนิวคลีอิก จากเชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อรา หลายหลายประเภท ในทุกวันที่มีการวิจัย (ภาพประกอบ 2B)

ในทางกลับกัน ขณะที่มีการกรองอากาศ ทางทีมได้ตรวจสอบเชื้อราเพียงวันเดียวเท่านั้น โดยมีการลดลงของละอองชีวภาพ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.05$ ) (ภาพประกอบ 2C)

เมื่อได้มีการใช้วิธีการประสิทธิภาพสูงนี้ RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 ได้ถูกตรวจพบใน 4-5 วัน ในสัปดาห์ที่หนึ่ง แต่ก็หายไปนสัปดาห์ที่ 2 โดยทางทีมไม่สามารถสร้างข้อมูลแบบมัลติเพล็กซ์ สำหรับสัปดาห์ที่สาม เนื่องจากตัวอย่างมีการเสื่อมสภาพ หลังจากมีการเก็บ หลังการขยายของ RNA เชื้อ SARS-CoV-2

ประสิทธิภาพของการกรองอากาศใน ICU ที่ขยายใหม่

ตรงข้ามกับสิ่งที่เกิดขึ้นในหอผู้ป่วย ทางทีมวิจัยพบหลักฐานจำกัด ของการแพร่ทางอากาศของ SARS-CoV-2 ในห้อง ICU ในสัปดาห์ที่หนึ่ง และสาม (การกรองปิด) แต่ตรวจพบ RNA ของเชื้อนี้ในหนึ่งตัวอย่าง โดยมีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดกลาง (ขนาด 1-4 $\mu$ M) ในสัปดาห์ที่ 2 (การกรองเปิด) (ภาพประกอบ 3A)

ผลลัพธ์ที่ตรงข้ามนี้ ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าบริเวณ ICU มีละอองชีวภาพน้อย

เนื่องจากละอองเหล่านี้ถูกแสดงในปริมาณที่ใกล้เคียง รวมถึงมีความหลากหลายของเชื้อโรคที่เกี่ยวข้องกับกรณีโรคติดต่อที่อยู่ในอากาศของหอผู้ป่วยที่ไม่ได้ผ่านการกรอง ในสัปดาห์แรก (ภาพประกอบ 3B)

การใช้เครื่องกรองอากาศสามารถลดละอองลอยชีวภาพ ได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.05$ ) (ภาพประกอบ 3C)

โดยพบสิ่งมีชีวิตเพียง 3 ประเภท ในตัวอย่าง 2 ตัว ในช่วงวันที่มีการทำวิจัย (ภาพประกอบ 3B) นอกจากนี้ RNA ของ เชื้อ SARS-CoV-2 ยังถูกตรวจพบเพียงครั้งเดียว ด้วยการสอบ qPCR แบบประสิทธิภาพสูง ในสัปดาห์ที่หนึ่ง

## อภิปราย

การวิจัยนี้เป็นรายงานฉบับแรกที่แสดงความสำเร็จในการจัดการกับละออง SARS-CoV-2 ในบรรยากาศของโรงพยาบาล ผ่านการใช้ทั้งเทคโนโลยีการกรองอากาศ และการฆ่าเชื้อด้วยแสง UV

ทางทีมวิจัยได้แสดงหลักฐานการมีอยู่ของเชื้อละออง SARS-CoV-2 ขนาด  $>1\mu\text{M}$  ในหอผู้ป่วย โดยละอองขนาด  $1-4\mu\text{M}$  มีโอกาสสูงที่จะทำให้เกิดการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2

เนื่องจากมันสามารถคงสภาพความเป็นละอองในอากาศอยู่ได้เป็นเวลานาน นอกจากนี้ ละอองเหล่านี้ยังถูกหายใจเข้าไปได้ง่าย และสามารถคงค้างอยู่ในหลอดลม

ข้อมูลเมื่อเร็วๆ นี้ ได้แสดงให้เห็นถึง กระบวนการหายใจแรง อย่างที่เกิดในผู้ป่วยโควิด 19 เพิ่มการแพร่กระจายของละอองขนาด  $1-4\mu\text{M}$  แม้ว่า สิ่งที่ได้หายไปเรียกว่า “กระบวนการสร้างละอองลอย” ไม่ว่าจะเป็น การไอออกซิเจนอัตราสูง และการช่วยหายใจแบบ non-invasive จะสามารถลดการเกิดของละอองลอย ในช่วงที่มีการออกแรง<sup>20</sup>

ข้อมูลเหล่านี้ตรงกับสิ่งที่ทางทีมวิจัยได้สังเกตเห็น แสดงว่ากระบวนการการจัดการเกิดละออง อาจเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำบริเวณหอผู้ป่วย ที่มีความเสี่ยงของละอองลอย

สำหรับบริเวณ ICU ทางทีมวิจัยได้พบเชื้อ SARS-CoV-2 ในอัตราที่น้อย

การสังเกตนี้ เมื่อรวมกับการที่บุคลากรห้อง ICU ใส่เครื่องป้องกันละอองลอยที่หนาแน่นกว่า อาจเป็นสิ่งที่ทำให้อธิบายได้ว่า ทำไมบุคลากรในบริเวณนี้ถึงมีความเสี่ยงในการติดเชื้อโควิด 19 น้อยกว่าบุคลากรที่อยู่ในหอผู้ป่วย<sup>21</sup>

การตรวจจับเชื้อไวรัสที่อยู่ตามอากาศ ได้ทำให้เห็นถึงความท้าทายทางเทคโนโลยีหลายอย่าง และแม้ว่าจะมีหลายวิธีการที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาแล้ว ณ ตอนนี้ ยังขาดมาตรฐานที่ตกลงร่วมกัน ในด้านการใช้ และการอธิบายวิธีเหล่านั้น<sup>22</sup>

ถึงกระนั้น การตรวจจับ RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 ด้วย RT-qPCR (แม้ว่าจะมีค่า  $C_T$  สูง) และการที่ไม่สามารถตรวจพบเชื้อได้ในช่วงที่มีการกรองอากาศ หรือฆ่าเชื้อด้วยแสง UV ได้กลายเป็นหลักฐานเพิ่มเติม ถึงการแพร่กระจายของเชื้อ SARS-CoV-2 ทางอากาศ<sup>1</sup>

การตรวจพบ RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 ในอากาศบริเวณภายในหอผู้ป่วยโควิด 19 ได้กลายเป็นเหตุผลสำคัญที่บุคลากรทางการแพทย์ติดเชื้อ ในขณะที่ดูแลผู้ป่วย

การกำจัดละอองลอยไวรัส และเชื้ออื่นๆ มีโอกาสที่จะลดการติดเชื้อผ่านทางเดินหายใจ ในโรงพยาบาลได้

การลดลงนี้ อาจเกิดขึ้นจากการลดปริมาณอนุภาคที่หายใจเข้าไปได้

และการลดลงของลอยที่มีขนาดใหญ่มากพอที่จะทำให้เกิดการแพร่กระจายแบบโฟโม่<sup>22</sup>

การกำจัดละอองลอยชีวภาพ ไม่ได้จำกัดเฉพาะละอองของเชื้อ SARS-CoV-2 แต่รวมถึงแบคทีเรีย ยีสต์

และไวรัสทางเดินหายใจ อื่นๆ ที่สามารถก่อโรคได้ ถูกตรวจพบในอากาศของทั้งสองห้อง ในสัปดาห์แรก ซึ่งเชื้อเหล่านี้ลดลงเมื่อมีการกรองอากาศ

แม้ว่าผลกระทบของการกรองอากาศต่อการติดเชื้อในโรงพยาบาลจะยังไม่ชัดเจนนัก<sup>23</sup> การกำจัดเชื้อต่างๆ ที่ก่อให้เกิดโรคที่เห็นจากงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงโอกาสในการกำจัดเชื้อ SARS-CoV-2

ขณะนี้ มีคำอธิบายที่เป็นไปได้เกี่ยวกับการตรวจพบเชื้อ SARS-CoV-2 ที่น้อยกว่า ในอากาศบริเวณ ICU

คำอธิบายที่มี เช่น เชื้อในระยะหลัง ซึ่งการเพิ่มจำนวนของเชื้อไวรัสจะไม่ชัดเจนนัก

หรืออาจจะเป็นเรื่องของเวลาที่เชื้อไวรัสไปกระจุกอยู่ส่วนล่าง แทนที่จะเป็นส่วนบนของระบบการหายใจ ในผู้ป่วยระยะวิกฤต<sup>25</sup>

หรืออาจจะเป็นเรื่องของการใช้เครื่องช่วยหายใจ ที่ลดการเกิดละอองลอย<sup>20</sup>

การลดลงของละอองลอยของสารชีวภาพ ที่พบในบริเวณ ICU ในช่วงสัปดาห์ที่มีการกรองอากาศ ทำให้เกิดความมั่นใจว่าเครื่องมือเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการใช้ในหอผู้ป่วย แม้ว่าจะมีการตรวจพบเชื้อ SARS-CoV-2 ไม่ถี่นัก

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ ที่ได้ทำการประเมินรหัสอาคาร และแนวการปฏิบัติ<sup>12</sup>

ในทั้งเครื่องกรองอากาศที่ติดอยู่กับที่ และเครื่องที่พกพาได้ ไม่ได้แสดงงานวิจัยที่โดดเด่นในเรื่องการกรองอากาศ

แม้ว่าจะมีบางรหัสอาคาร ที่เสนอใช้การกรองอากาศ เพื่อปกป้องผู้ป่วยที่อ่อนแอ

และเพื่อลดความเสี่ยงในการแพร่เชื้อโรคทางอากาศ หากแต่ ไม่ได้มีอาคารไหนที่มีการปรับตามสถานการณ์โควิด 19<sup>12</sup>

Mousvai และเพื่อร่วมงาน ได้พบงานวิจัยบางงานที่แสดงถึง ความสามารถในการลดลงของเชื้อ เชื้อรา และแบคทีเรียในทั้งบริบทงานวิจัย และบริบทคลินิก

การค้นพบเหล่านี้ไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของทางทีมวิจัย ทว่า ข้อมูลก่อนหน้ามาจากเครื่องกรองอากาศแบบติดตั้งไม่ใช่แบบพกพา ทางทีมไม่พบรายงานเกี่ยวกับการกำจัดเชื้อ SARS-CoV-2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกิดขึ้นไม่นานนัก มุ่งความสนใจไปที่เครื่องกรองอากาศแบบพกพา<sup>13</sup> โดยงานวิจัยเหล่านั้น

แสดงให้เห็นถึงการกำจัดอนุภาคเชื้อ และแบคทีเรียที่ถูกทำให้เป็นละออง โดยเจตนา ทว่า

ยังไม่มีรายงานที่เกี่ยวกับการกำจัด SARS-CoV-2

ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค สหรัฐอเมริกา แนะนำการใช้เครื่องกรองอากาศพกพา แบบ HEPA-based โดยการแนะนำนี้เหมาะสำหรับบริเวณผู้ป่วยทันตกรรม ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงในการสร้างละอองลอยสูง<sup>26</sup>

การวิจัยนี้มีข้อจำกัด เนื่องจากเกิดขึ้นในช่วงที่หอผู้ป่วยมีการเคลื่อนไหวสูง จากวิกฤตที่ยังคงอยู่ทางทีมได้มีการประเมินผลในห้องสองห้อง และไม่ได้มีข้อมูลอะไรที่แสดงถึงการเปลี่ยนถ่ายอากาศที่จำเป็นต่อการกำจัดเชื้อโรคที่ตรวจพบ ด้วยเครื่องมือที่ได้กล่าวไปแล้ว

ปริมาณอากาศในห้องที่มีอยู่มาก และเสถียรภาพของเชื้อไวรัสในตัวอย่างของเหลว เป็นตัวบ่งชี้ให้สามารถประเมินได้ว่าเชื้อ SARS-CoV-2 ที่ตรวจจับผ่าน qPCR จะมีปริมาณน้อย ซึ่งเห็นได้จากค่า  $C_T$  ที่สูง เพราะฉะนั้น เราไม่สามารถชี้ได้ว่าการหมุนเวียนของเชื้อไวรัสติดต่อกันอยู่จริง

RNA นั้นเพียงพอในการบ่งชี้การมีอยู่ของเชื้อไวรัส และได้มีหลักฐานที่แสดงว่าเชื้อไวรัสที่เป็นละอองลอยสามารถแพร่เชื้อได้นานเกิน 3 ชั่วโมง<sup>27,28</sup>

นอกจากนี้ เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศมีโอกาที่จะลดการตรวจพบกลุ่มตัวอย่างไวรัส

ผลวิจัยที่ออกมาเป็นลบ จากกลุ่มตัวอย่างควบคุม รวมถึงผลกระทบชั่วคราวจากเครื่องกรองอากาศ ทำให้เห็นว่าผลลัพธ์ไม่ได้เป็นเพียงผลบวกหลง และเราไม่สามารถที่จะมองข้ามความเสี่ยงการติดเชื้อทางอากาศได้

งานวิจัยในอนาคตควรจะต้องมีการศึกษาว่า เครื่องกรองอากาศ อย่างเครื่องที่ได้มีการใช้ในงานวิจัยนี้มีผลกระทบต่อบุคลากรทางการแพทย์ และผู้ป่วย หรือไม่ โดยระบุผลลัพธ์ที่ต้องการดูเป็นพิเศษ เช่น การตรวจวัดการติดเชื้อ/การรับสัมผัสเชื้อ ปลายทาง รวมถึงการประเมินอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น เสียง ความชื้นที่ลดลง หรือผลกระทบต่อการใช้ดูแลผู้ป่วย

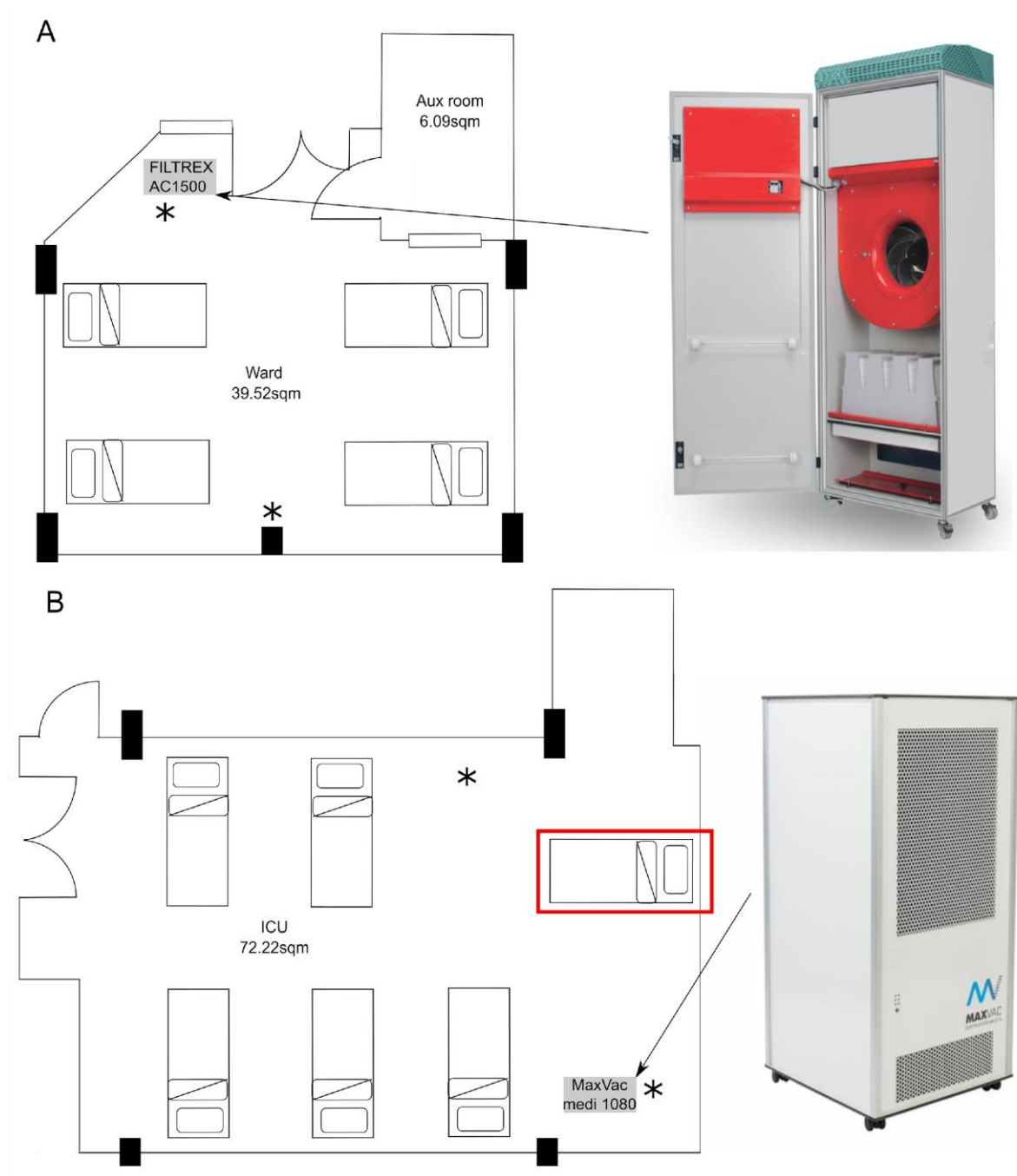
สรุปแล้ว เราสามารถที่จะตรวจพบ RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 ในอากาศของบริเวณหอผู้ป่วยที่ขยายมาในช่วงวิกฤตนี้ และพบว่าเครื่องกรองอากาศสามารถกำจัด RNA ของเชื้อ SARS-CoV-2 จน qPCR ไม่สามารถตรวจพบได้

SARS-CoV-2 ถูกตรวจพบไม่บ่อยนักในบริเวณ ICU ที่ขยายขึ้นในช่วงวิกฤตนี้ แต่อย่างไรก็ตามเครื่องมือนี้ก็ยังมีประสิทธิภาพในการลดละอองลอยชีวภาพ

ข้อมูลของทางทีมวิจัยได้บ่งชี้ชัดเจนถึงเชื้อ SARS-CoV-2 ในรูปของละออง ที่หมุนเวียนอยู่ในบริเวณที่ โดยทั่วไปไม่ได้ถูกกำหนดให้เป็น “บริเวณที่มีความเสี่ยงของละออง”

นอกจากนี้ เครื่องกรองอากาศแบบพกพายังสามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดบริเวณที่ไร้ละอองติดเชื้อ เมื่อจำนวนผู้ป่วยโควิด 19 ทำให้ทรัพยากรทางการแพทย์ขาดแคลน

การใช้ระบบเหล่านี้มีโอกาที่จะเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อเชื้อที่เกี่ยวข้องกับทางเดินหายใจ อย่างเช่น SARS-CoV-2



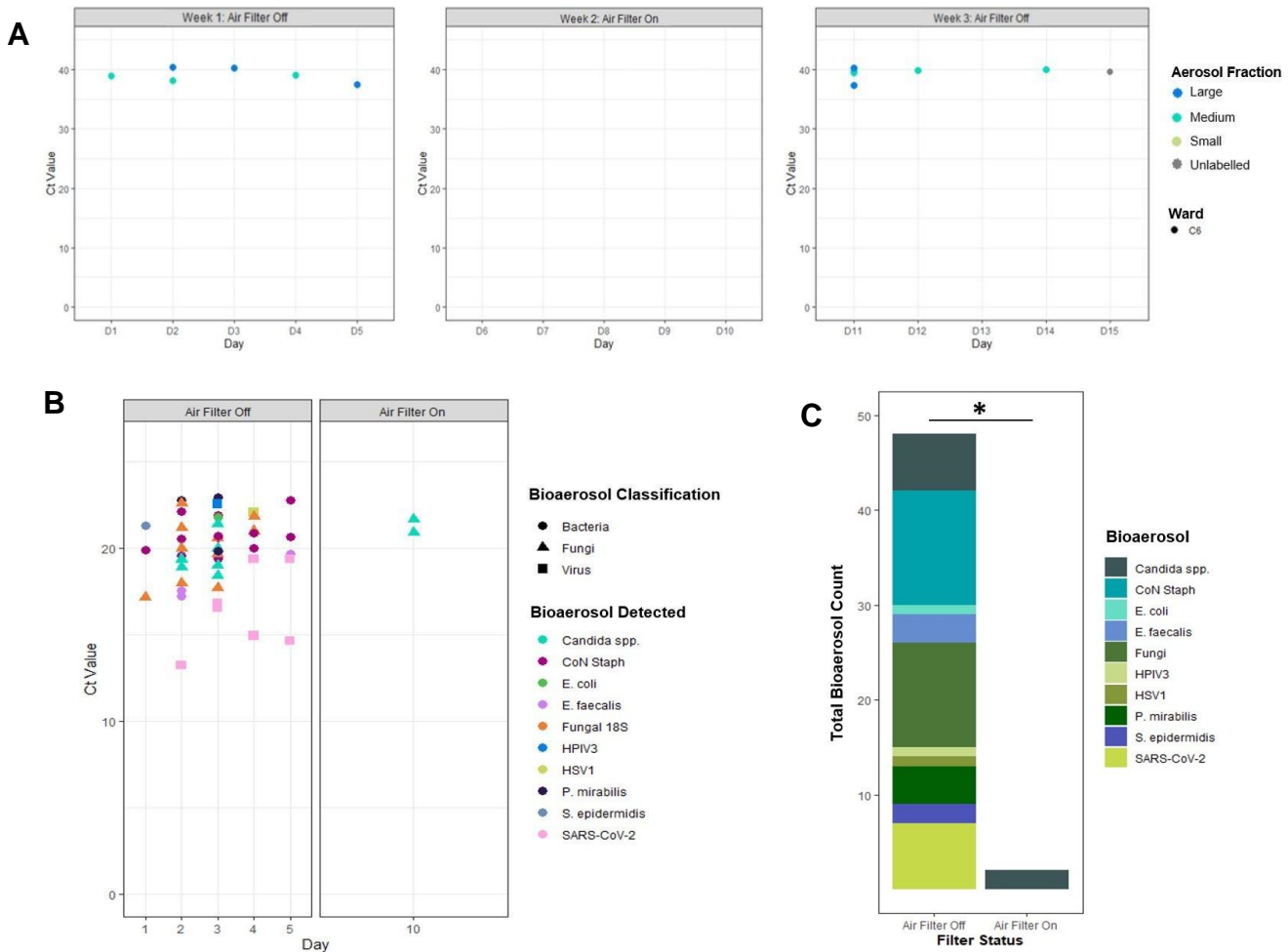
# ภาพประกอบ 1 บริเวณที่มีเครื่องกรองอากาศ และแบบห้อง

A) แบบห้องของหอผู้ป่วยที่ขยายขึ้นมาใหม่ มีเตียง 4 หลัง

B) แบบของของ ICU ที่ขยายขึ้นมาใหม่ มีเตียง 6 หลัง รวมถึงเตียงที่ถูกเพิ่มขึ้นมา เพื่อขยายการรองรับผู้ป่วย (เรียกว่า กล่องแดง)

บริเวณที่มีตัวอย่างอากาศ NIOSH ถูกบ่งชี้ด้วย \*

เครื่องกรองอากาศได้ถูกติดตั้งอยู่ในบริเวณที่มีเครื่องหมาย และตั้งให้ทำงานด้วยระดับ 1000ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง ความจุของห้องอยู่ที่ 107 ลูกบาศก์เมตร และ 195ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ อากาศบริสุทธิ์ไม่ได้ถูกเพิ่มเติม หรือนำออกจากบริเวณ



**ภาพประกอบ 2** การตรวจจับละอองลอยชีวภาพในกลุ่มตัวอย่างอากาศที่ระบุเฉพาะ ในระยะเวลาการวิจัย 3 สัปดาห์ ในหอผู้ป่วยที่ขยายใหม่

A) ค่า  $C_T$  สำหรับ SARS-CoV-2 qPCR ในกลุ่มตัวอย่างอากาศถูกเก็บทุกวันจากในหอผู้ป่วย  
 จะเป็นตัวบ่งชี้ประเภทของตัวอย่างที่เชื้อ SARS-CoV-2 ถูกตรวจพบ

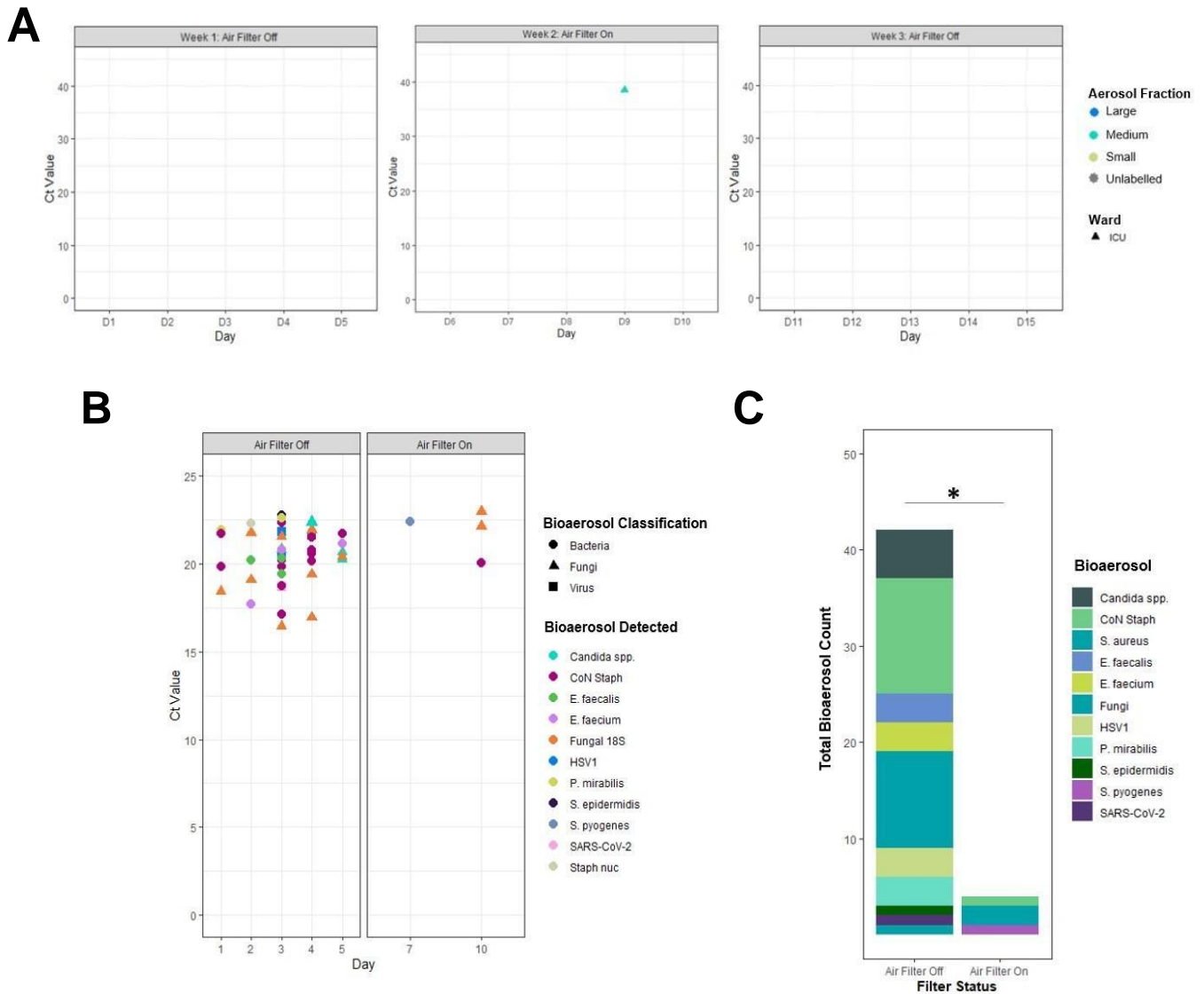
ประเภทของละอองลอยจะถูกจัดตามขนาด ขนาดใหญ่  $>4 \mu m$  ขนาดกลาง  $1-4 \mu m$  และขนาดเล็ก  $<1 \mu m$

B) การตรวจพบละอองลอยของเชื้อรา แบคทีเรีย และเชื้อไวรัส นั้นเกิดขึ้นผ่านเทคโนโลยี qPCR ประสิทธิภาพสูง  
 ในช่วงสัปดาห์แรก (ไม่มีการกรองอากาศ) และสัปดาห์ที่สอง (มีการกรองอากาศ)

ความแตกต่างในค่า  $C_T$  ระหว่าง qPCR แบบธรรมดา (A) และแบบประสิทธิภาพสูง (B)

เกิดจากการทำงานของเทคโนโลยีการจัดการกับของเหลวปริมาณน้อย และไม่บ่งชี้ถึงปริมาณละอองลอยชีวภาพที่มากกว่า

C) กราฟแท่งแสดงถึงจำนวนรวมละอองลอยชีวภาพที่ตรวจจับได้ ในสัปดาห์แรก (ไม่มีการกรองอากาศ) และสัปดาห์ที่สอง (มีการกรองอากาศ)  $*p=0.05$  โดยการทดสอบ Mann-Whitney U



ภาพประกอบ 3 การตรวจพบละออง ในกลุ่มตัวอย่างอากาศ ในช่วงระยะเวลาการวิจัย 3 สัปดาห์ ใน ICU ที่ขยายขึ้นมาใหม่

A) ค่า  $C_T$  ของ qPCR SARS-CoV-2 ที่ตรวจพบในวันที่ 9 (สัปดาห์ที่ 2) เป็นขนาดกลาง (1-4  $\mu\text{m}$ )

B) การตรวจพบของละอองลอยเชื้อรา แบคทีเรีย และเชื้อไวรัส ผ่าน qPCR ประสิทธิภาพสูง ที่เกิดขึ้นในช่วงสัปดาห์แรก (ไม่มีการกรองอากาศ) และสัปดาห์ที่สอง (มีการกรองอากาศ)

ความแตกต่างของค่า  $C_T$  ระหว่าง qPCR แบบธรรมดา (A) และ qPCR แบบประสิทธิภาพสูง

เกิดจากการทำงานของเทคโนโลยีการจัดการกับของเหลวปริมาณน้อย และไม่บ่งชี้ถึงปริมาณละอองลอยชีวภาพที่มากกว่า

C) กราฟแท่งแสดงถึงจำนวนรวมละอองลอยชีวภาพที่ตรวจจับได้ ในสัปดาห์แรก (ไม่มีการกรองอากาศ) และสัปดาห์ที่สอง (มีการกรองอากาศ) \* $p=0.05$  โดยการทดสอบ Mann-Whitney U