การสร้างแบบจำลองความเสี่ยงของการแพร่เชื้อทางอากาศของไวรัสทางเดินหายใจในสภาวะไร้แรงโน้มถ่วง

Chayanin Sararat, Natnicha Jiravejchakul, Kawin Nawattanapaiboon, and ***Charin Modchang***

หลักการและเป้าหมาย: การแพร่เชื้อทางอากาศเป็นหนึ่งในเส้นทางการแพร่กระจายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดของไวรัสทางเดินหายใจ เช่น เชื้อ SARS-CoV-2 ที่ก่อโรคโควิด-19 ในสภาวะไร้แรงโน้มถ่วงบนสถานีอวกาศนานาชาติ (ISS) เส้นทางการแพร่เชื้อนี้ยิ่งน่ากังวลเป็นพิเศษ เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กที่มีไวรัสซึ่งคนหายใจออกมาจะไม่ตกลงสู่พื้นเหมือนบนโลก แต่กลับลอยค้างอยู่ในอากาศเป็นเวลานานมาก เพิ่มโอกาสที่ผู้อื่นจะสูดดมเข้าไป ความเสี่ยงนี้ยิ่งทวีคูณด้วยข้อจำกัดของสถานพยาบาลบนยานอวกาศ และหลักฐานที่ว่าการเดินทางในอวกาศทำให้ภูมิคุ้มกันของนักบินอวกาศอ่อนแอลง เช่น ไวรัสที่แฝงตัวอยู่อย่างเชื้อเริม (herpesvirus) สามารถกลับมาทำงานใหม่ได้ในอวกาศ อย่างไรก็ตาม ยังมีการศึกษาน้อยมากว่าไวรัสทางเดินหายใจแพร่กระจายอย่างไรภายใต้สภาวะที่ผิดปกติเช่นนี้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งประเมินความเสี่ยงของการแพร่เชื้อทางอากาศของไวรัสทางเดินหายใจในสภาวะไร้แรงโน้มถ่วง โดยใช้เชื้อ SARS-CoV-2 เป็นกรณีศึกษา และทดสอบว่ามาตรการป้องกัน เช่น หน้ากากอนามัยและการกรองอากาศ จะได้ผลเพียงใด

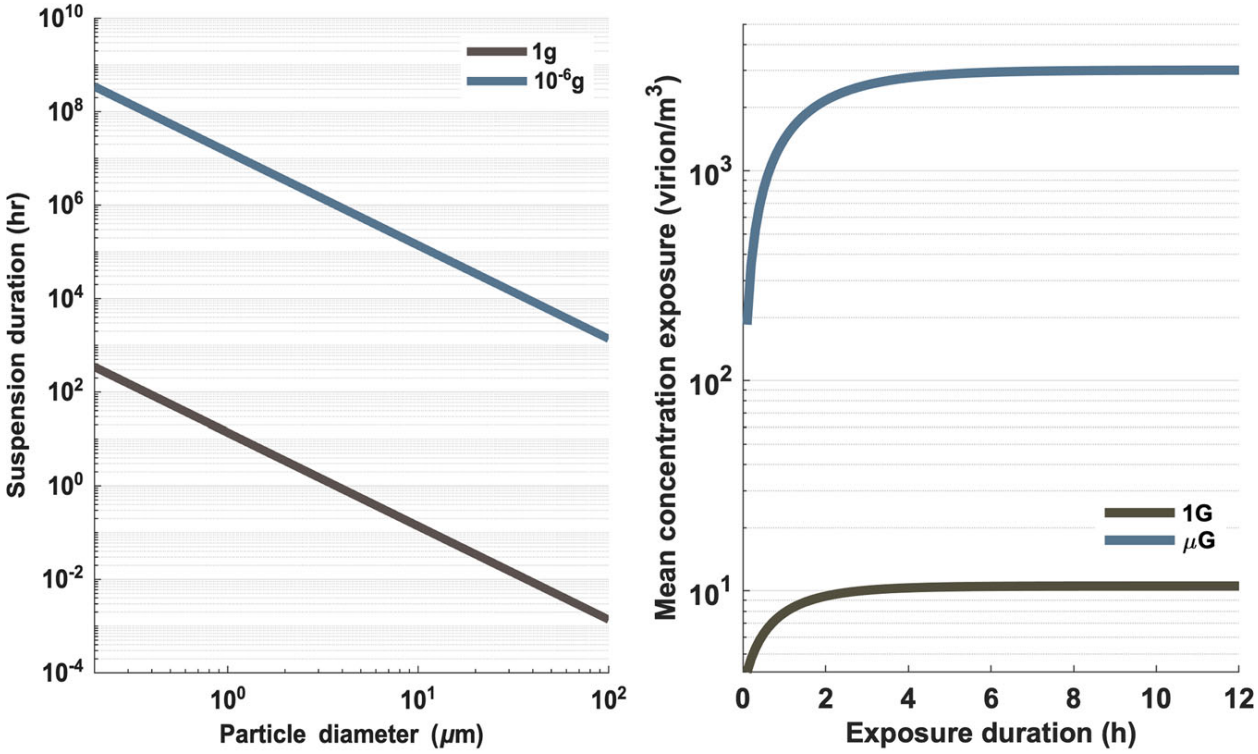
สรุป: คณะผู้วิจัยปรับเครื่องมือประเมินความเสี่ยงการแพร่เชื้อทางอากาศที่ผ่านการตรวจสอบแล้วสำหรับใช้บนโลก คือ COVID Airborne Risk Assessment (CARA) ให้จำลองสภาพภายในห้องโดยสารของยานอวกาศ โดยเปลี่ยนวิธีที่แรงโน้มถ่วงส่งผลต่อการตกและการลอยค้างของอนุภาคที่หายใจออกมา แบบจำลองนี้ติดตามห่วงโซ่การแพร่เชื้อทั้งหมด ตั้งแต่นักบินอวกาศที่ติดเชื้อปล่อยอนุภาคที่มีไวรัสออกมา ผ่านการกระจายในอากาศภายในห้องโดยสาร ไปจนถึงการสูดดมโดยนักบินอวกาศที่ยังไม่ติดเชื้อ แล้วประเมินความน่าจะเป็นของการติดเชื้อที่เกิดขึ้น โดยใช้สภาพแวดล้อมที่ตรงกับโมดูลของสถานี ISS คณะผู้วิจัยเปรียบเทียบแรงโน้มถ่วงของโลกกับสภาวะไร้แรงโน้มถ่วง และทดสอบมาตรการป้องกันหลายแบบ ได้แก่ การสวมหน้ากากอนามัยโดยผู้แพร่เชื้อ ผู้รับเชื้อ หรือทั้งสองฝ่าย และการกรองอากาศแบบ HEPA อย่างต่อเนื่อง เพื่อศึกษาว่าภูมิคุ้มกันที่อ่อนแอลงจากการอยู่ในอวกาศจะเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์อย่างไร คณะผู้วิจัยยังจำลองสถานการณ์ที่มีการปล่อยไวรัสเพิ่มขึ้น 4, 8 และ 16 เท่า โดยอ้างอิงจากข้อมูลการกลับมาทำงานของเชื้อเริมในนักบินอวกาศ รวมถึงสถานการณ์ที่เสริมภูมิคุ้มกันของร่างกาย

ผลที่ได้: ในสภาวะไร้แรงโน้มถ่วง อนุภาคที่หายใจออกมาลอยค้างอยู่ในอากาศนานขึ้นอย่างมหาศาล อนุภาคขนาด 3 ไมโครเมตรที่ตกลงสู่พื้นภายในเวลาประมาณ 1.5 ชั่วโมงบนโลก สามารถลอยค้างในอากาศได้นานกว่า 17 ปีในทางทฤษฎี ส่งผลให้ความเข้มข้นของไวรัสในอากาศเพิ่มขึ้นราว 286 เท่า และดันความน่าจะเป็นของการติดเชื้อภายในหนึ่งสัปดาห์ขึ้นไปถึงประมาณ 78% ซึ่งเกือบสองเท่าของบนโลก มาตรการป้องกันช่วยได้อย่างมาก การให้ผู้ติดเชื้อสวมหน้ากากเป็นกลยุทธ์การสวมหน้ากากที่ได้ผลที่สุด และการกรองอากาศแบบ HEPA อย่างต่อเนื่อง (ที่อัตราการหมุนเวียนอากาศห้าครั้งต่อชั่วโมง) ลดความเข้มข้นของไวรัสในอากาศได้ถึง 99.79% ทำให้ความน่าจะเป็นของการติดเชื้อลดลงเหลือ 25% ซึ่งต่ำกว่าค่าพื้นฐานบนโลก อย่างไรก็ตาม เมื่อจำลองภูมิคุ้มกันที่อ่อนแอลงในรูปของการปล่อยไวรัสที่มากขึ้น ความเสี่ยงกลับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (การเพิ่มขึ้น 8 เท่าดันความน่าจะเป็นของการติดเชื้อขึ้นไปถึง 87%) และมาตรการป้องกันก็มีประสิทธิภาพลดลงเมื่อใช้เพียงลำพัง การป้องกันที่ดีที่สุดมาจากการผสมผสานหลายกลยุทธ์เข้าด้วยกัน การเสริมภูมิคุ้มกันของร่างกายควบคู่กับการกรองอากาศแบบ HEPA ลดความน่าจะเป็นของการติดเชื้อได้ถึง

ประมาณ 14% ตอกย้ำว่าการป้องกันแบบหลายชั้น ทั้งอากาศสะอาด หน้ากาก และภูมิคุ้มกันที่แข็งแรง คือกุญแจสำคัญในการปกป้องนักบินอวกาศในภารกิจระยะยาว

ทุนวิจัยและกิตติกรรมประกาศ: This research has received funding support from the NSRF via the Program Management Unit for Human Resources & Institutional Development, Research and Innovation (PMU-B) (Grant No. B13F660122).

เป้าหมาย SDGs ที่เกี่ยวข้อง: 3. การมีสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี



สรุปภาพ: ผลกระทบของสภาวะไร้แรงโน้มถ่วงต่อพฤติกรรมของละอองทางเดินหายใจและความเข้มข้นของไวรัสในอากาศ **(a)** ระยะเวลาที่ละอองทางเดินหายใจที่หายใจออกมาลอยค้างในอากาศ ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (g = 9.8 m/s^2) เทียบกับสภาวะไร้แรงโน้มถ่วง (g = 9.8 × 10^{-6} m/s^2) เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค แสดงให้เห็นว่าอนุภาคลอยค้างในอากาศได้นานขึ้นอย่างมากเมื่อแรงโน้มถ่วงลดลง **(b)** การสะสมของความเข้มข้นของเชื้อ SARS-CoV-2 ตามเวลาในพื้นที่ปิดที่มีผู้ติดเชื้อหนึ่งคน เปรียบเทียบระหว่างแรงโน้มถ่วงของโลก (1G) กับสภาวะไร้แรงโน้มถ่วง (μG)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง:

Sararat C, Jiravejchakul N, Nawattanapaiboon K, and **Modchang C**. Modeling the risk of airborne transmission of respiratory viruses in microgravity. *npj Microgravity*. https://doi.org/10.1038/s41526-026-00590-4