

ขจัดความเชื่อผิด ๆ เกี่ยวกับการติดต่อทางอากาศของโรกระบบทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรงโคโรนาไวรัส-2 (SARS-CoV-2)

J.W. Tang ^a, W.P. Bahnfleth ^b, P.M. Bluyssen ^c, G. Buonanno ^d, J.L. Jimenez ^e, J. Kurnitski ^f, Y. Li ^g, S. Miller ^h, C. Sekhar ⁱ, L. Morawska ^j, L.C. Marr ^k, A.K. Melikov ^l, W.W. Nazaroff ^m, P.V. Nielsen ⁿ, R. Tellier ^o, P. Wargocki ^l, S.J. Dancer ^{p,q,*}

^a Respiratory Sciences, University of Leicester, Leicester, UK

^b Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University, State College, PA, USA

^c Faculty of Architecture and the Built Environment, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

^d Department of Civil and Mechanical Engineering, University of Cassino and Southern Lazio, Cassino, Italy

^e Department of Chemistry and CIRES, University of Colorado, Boulder, CO, USA

^f REHVA Technology and Research Committee, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia

^g Department of Mechanical Engineering, University of Hong Kong, Hong Kong, China

^h Mechanical Engineering, University of Colorado, Boulder, CO, USA

ⁱ Department of Building, National University of Singapore, Singapore

^j International Laboratory for Air Quality and Health, Queensland University of Technology, Brisbane, QLD, Australia

^k Civil and Environmental Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, VA, USA

^l International Centre for Indoor Environment and Energy, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark

^m Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, CA, USA

ⁿ Faculty of Engineering and Science, Department of Civil Engineering, Aalborg University, Aalborg, Denmark

^o Department of Medicine, McGill University, Montreal, QC, Canada

^p Department of Microbiology, NHS Lanarkshire, Glasgow, UK

^q School of Applied Sciences, Edinburgh Napier University, Edinburgh, UK

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ:

รับเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2563

อนุมัติเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2563

*ผู้พิมพ์หลัก ที่อยู่ Department of Microbiology, Hairmyres Hospital, East Kilbride, Glasgow G75 8RG, UK

โทรศัพท์: +44(0)1355 585000 ต่อ 4792 อีเมล: stephanie.dancer@lanarkshire.scot.nhs.uk (S.J. Dancer)

ความย่อ

การระบาดของโรคโคโรนาไวรัส 2019 (COVID-19) ทำให้ทั่วโลกต้องหยุดชะงัก การเข้าใจกลไกการติดต่อของโรคระบบทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรงโคโรนาไวรัส-2 (SARS-CoV-2) จึงเป็นสิ่งสำคัญมากในการป้องกันการแพร่เชื้อต่อไป แต่เมื่อพูดถึงการแพร่เชื้อก็ยังมีความสับสนว่าด้วยความหมายของการติดต่อ ‘ทางอากาศ’ ความเห็นที่ไม่ตรงกันทางวิทยาศาสตร์นี้มีที่มาจากหลักฐานที่ตีพิมพ์เมื่อหลายปีก่อนซึ่งก่อให้เกิดความเชื่อต่าง ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อความคิดของเราในปัจจุบัน บทความนี้ได้เรียบเรียงความเชื่อที่แพร่หลายที่สุดเกี่ยวกับการแพร่เชื้อทางอากาศมาสำรวจ เพื่อกระตุ้นให้มีการทบทวนแนวความคิดทางวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับหลักฐานที่มีในปัจจุบัน โดยนำความเชื่อ 6 เรื่องมาอธิบายและพิสูจน์ให้เห็นว่าไม่เป็น

จริงด้วยด้วยข้อมูลจากบทความที่ตีพิมพ์เมื่อไม่นานมานี้และความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ทำงานกับเชื้ออื่นที่คล้ายกัน

โดยขณะนี้เป็นที่ยอมรับกันว่าสามารถติดต่อเชื้อ SARS-CoV-2 ได้จากอนุภาคทางอากาศหลากหลายขนาดที่มีอยู่ตามขอบเขตการระบายอากาศและพฤติกรรมมนุษย์ตามปกติ เราได้ความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญจากหลากหลายสาขาที่ครอบคลุมการศึกษาละอองลอย (aerosol) การระบายอากาศ (ventilation) วิศวกรรม ฟิสิกส์ วิทยาไวรัส (virology) และเวชศาสตร์คลินิก (clinical medicine) ได้ร่วมกันจัดทำบทปริทัศน์นี้ เพื่อรวบรวมหลักฐานเกี่ยวกับกลไกการแพร่เชื้อทางอากาศ และให้เหตุผลสำหรับยุทธศาสตร์สมัยใหม่เพื่อการป้องกันและควบคุม COVID-19 ในภาคสาธารณสุขและในชุมชน

©2021 The Healthcare Infection Society. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

คำนำ

ในขณะที่โรคระบบทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรงโคโรนาไวรัส-2 (SARS-CoV-2) ยังระบาดต่อไป ก็ยังคงมีการถกเถียงกันอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับองค์ประกอบของการติดต่อว่าเกิดจากการสัมผัสละอองลอย หรือเกิดจากละอองฝอย (droplets) และวัตถุที่เป็นพาหะนำเชื้อโรค (fomites) ทั้งทางตรงและทางอ้อม [1-9]

ข้อถกเถียงอันเก่าแก่นี้เริ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อมีการระบาดของโรคไวรัสทางเดินหายใจตัวใหม่ [10-14] และยังคงมีความสับสนอย่างมากว่าจะนิยามและใช้คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้กันอย่างไร เช่นคำว่า ละอองฝอย แกนละออง ละอองลอย และอนุภาค (ตารางที่ 1) นำนอนว่าหากมีข้อพิพาทด้วยกันยังนิยามศัพท์เหล่านี้ไม่เหมือนกันก็จะทำให้เกิดปัญหาในการเข้าใจหลักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง แต่การเห็นพ้องกันคงเป็นไปได้ยากหรืออาจจะเป็นไปได้ไม่ได้เลย [15,16]

แต่ละสาขามีหลักการตีความและประยุกต์ใช้หลักฐานไม่เหมือนกัน โดยหลักฐานที่สามารถใช้สนับสนุนการติดต่อผ่านละอองลอยก็มีบรรทัดฐานการใช้ที่หลากหลายและแตกต่างกัน หากยังไม่มีข้อตกลงก็จะยังคงถกเถียงกันต่อไป ทำให้เกิดความสับสนมากขึ้นและเพิ่มจำนวนผู้เสี่ยงเพราะมาตรการป้องกันที่จำเป็นสำหรับควบคุมไวรัสไม่ได้รับการสนับสนุนอย่างเพียงพอ

ปัจจุบันหลักฐานเกี่ยวกับช่องทางการแพร่เชื้อ SARS-CoV-2 ที่ชัดเจนมีอยู่น้อยมาก ไม่ว่าจะเป็นวัตถุที่เป็นพาหะนำเชื้อโรคและการสัมผัสโดยตรง หรือจากละอองขนาดใหญ่และละอองฝอยขนาดเล็ก แต่ก็เป็นที่น่าสังเกตว่า ไม่ว่าจะโรคอะไรก็ตาม ก็ยังไม่เคยมีใครสาธิตได้ว่าการติดต่อเชื้อไวรัสระบบทางเดินหายใจเกิดจากการติดต่อผ่านละอองขนาดใหญ่โดยตรงแม้แต่โรคเดียว [7,17] การพิสูจน์ช่องทางการติดต่อควรประกอบไปด้วยการถอดรหัสจีโนม (genomic sequencing) มาเทียบกับเชื้อเป้าหมายที่แหล่งกำเนิด (เช่น อนุวัตถุที่เป็นพาหะนำเชื้อโรคหรือบนมือ) กับเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในผู้รับเชื้อ รวมทั้งต้องมีหลักฐานเพียงพอที่จะคัดแหล่งเชื้อสายพันธุ์อื่นออกก่อนและระหว่างการศึกษ อย่างไรก็ตาม การศึกษาจีโนมเพื่อติดตามไวรัสตัวเดียวเป็นสิ่งที่ยากมากและมีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งอาจจะไม่ประสบความสำเร็จอีกด้วย [18].

ตารางที่ 1			
ความแตกต่างระหว่างความหมายของศัพท์ที่เข้าใจกันในกลุ่มแพทย์ฝ่ายรักษา (clinicians) นักวิทยาศาสตร์ละอองลอย และประชาชนทั่วไป			
ศัพท์	แพทย์ฝ่ายรักษา	นักวิทยาศาสตร์ละอองลอย	ประชาชนทั่วไป

ทางอากาศ (Airborne)	การติดต่อระยะไกล เช่นโรคหัด ต้องใช้หน้ากาก N95/FFP2/FFP3 (หรือ เทียบเท่า) ควบคุมการติดเชื้อ	อะไรก็ตามที่อยู่ในอากาศ	อะไรก็ตามที่อยู่ในอากาศ
ละอองลอย (Aerosol)	อนุภาคขนาด $<5\ \mu\text{m}$ ที่เป็นสื่อ กลางของการแพร่เชื้อทางอากาศ เกิดจากการะบวนการที่ผลิต ละอองลอย และต้องใช้หน้ากาก N95	อนุภาคของแข็งหรือ ของเหลวทุกขนาดที่ลอยอยู่ใน อากาศ	สเปรย์ฉีดผมและผลิตภัณฑ์ ทำความสะอาดส่วนบุคคล อื่น ๆ
ละอองฝอย (Droplet)	อนุภาคขนาด $>5\ \mu\text{m}$ ที่ตกสู่ พื้นอย่างรวดเร็วในระยะ 1-2 ม. จากแหล่งปล่อยละออง จำเป็น ต้องใช้หน้ากากอนามัยทางการ แพทย์ควบคุมการติดเชื้อ	อนุภาคของเหลว	หยดน้ำที่ออกมาจากที่ หยอดตา
แกนละออง (Droplet nuclei)	ส่วนตกค้างของละอองที่ระเหย จนมีขนาด $<5\ \mu\text{m}$ มีความหมาย เหมือนกับ ‘ละอองลอย’ (aerosol)	มีนิยามที่ใกล้เคียงกันคือ ‘แกนควบแน่น’ (cloud condensation nuclei) หมายถึงอนุภาคขนาดเล็ก ที่ เป็นจุดกลางให้น้ำควบแน่น เป็นละอองเมฆ	ไม่เคยได้ยินมาก่อน!
อนุภาค (Particle)	อนุภาคไวรัสที่สามารถมีชีวิตอยู่ ได้ในรูปฝัก (Virion)	‘ก้อน’ (blob) ของแข็งหรือ ของเหลวขนาดเล็กที่อยู่ใน อากาศ	เหมือนเขม่าหรือขี้เถ้า

เพื่อให้เกิดความเข้าใจและการเห็นพ้องกันเรื่องการแพร่เชื้อทางอากาศ บทปฏิทัศน์นี้จะนำเสนอ ‘ความเชื่อ’ ทั่วไปเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของไวรัสในละอองลอย เราใช้คำว่า ‘ความเชื่อ’ ในบทความนี้สำหรับข้อความอันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปเกี่ยวกับการแพร่เชื้อซึ่งสมควรนำมาพิจารณาใหม่อย่างปราศจากอคติในภาวะการระบาดของโรคในปัจจุบัน ความเชื่อแต่ละเรื่องมาจากการวิจัยในอดีตที่ควรได้รับการประเมินใหม่ให้ตรงกับหลักฐานและความเห็นปัจจุบัน การทบทวนวิทยาศาสตร์อันเป็นที่มาของความเชื่อเหล่านี้อาจช่วยให้เราเข้าใจว่าทำไม ความเชื่อเหล่านี้ถึงล้าสมัยและทำไมหลักฐานในปัจจุบันจึงชี้ไปยังทิศทางอื่น

ความเชื่อที่ 1 ‘ละอองลอยคือละอองฝอยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด $5\ \mu\text{m}$ หรือน้อยกว่า’

ความเชื่อนี้มาจากการนิยามที่ผิดในอดีต ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้องค์การอนามัยโลกกำหนดนิยามใหม่ให้ ‘ละอองฝอยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด $<5\ \mu\text{m}$ เรียกว่าแกนละออง (droplet nuclei) หรือละอองลอย’ [2].

ละอองฝอยจากระบบทางเดินหายใจ มาจากการคัดหลั่งของระบบทางเดินหายใจและน้ำลาย ถูกปล่อยออกด้วยการพูด การไอ การจาม และแม้แต่การหายใจ มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ $<1\ \mu\text{m}$ ถึง $>100\ \mu\text{m}$ ละอองฝอยขนาดเล็กจะแห้งเร็ว จนเหลือขนาด 20-40% ของเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น ทั้งสิ่งตกค้างที่เรียกว่า ‘แกนละออง’ ที่แพทย์ฝ่ายรักษาส่วนใหญ่เชื่อว่ามี ความหมายเหมือนกับ ‘ละอองลอย’ [19].

ละอองฝอยจากระบบทางเดินหายใจที่มีขนาดหลากหลายนั้นสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศและอาจถือเป็นอนุภาคทางอากาศได้ โดยอนุภาคที่หายใจออกมาได้ทุกขนาดในพิสัยอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 1) เราไม่สามารถกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่จะตกถึงได้ เพราะความสามารถในการแขวนลอยค้างอยู่ในอากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ไม่ใช่แค่ขนาด แต่รวมถึงโมเมนตัมที่ถูกปล่อยออกมาและสภาพการไหลของอากาศในพื้นที่รอบข้าง (ความเร็ว ความปั่นป่วน ทิศทาง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์)

สภาพอากาศไหลบางกรณีทำให้อนุภาคที่เคยถูกจัดว่าเป็นอนุภาค ‘ขนาดใหญ่’ ตามนิยามเดิม (เส้นผ่านศูนย์กลาง $>5\ \mu\text{m}$) สามารถเดินทางได้ไกลมากกว่าระยะตาม ‘ความเชื่อ’ 1-2 ม. ที่อนุภาคเหล่านี้ควรจะตกสู่พื้น หมายความว่า แม้แต่อนุภาคขนาดใหญ่ก็สามารถประพฤติตัวเหมือน ‘ละอองลอย’ ตามนิยามเดิมได้ เราควรมอง ‘ละอองลอย’ และ ‘ละอองฝอย’ ว่าเป็นจุดสุดขั้วพิสัยของขนาดอนุภาคทางอากาศที่มีรูปแบบการเคลื่อนไหวยทางอากาศเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมในพื้นที่

เพื่ออธิบายเรื่องการติดต่อ ชัดแบ่งระหว่างขนาดของละอองฝอยกับละอองลอยที่สมเหตุสมผลกว่าเดิมเมื่อพิจารณาพฤติกรรมทางกายภาพและช่องทางการสัมผัสสู่อากาศคือ $100\ \mu\text{m}$ [20] เพราะฉะนั้น บทปริทัศน์นี้จะใช้คำว่า ‘ละอองฝอย’ สำหรับอนุภาคที่ตกสู่พื้น (หรือพื้นผิวอื่น ๆ รวมทั้งพื้นผิวแนวตั้ง) ตามอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงและ/หรือโมเมนตัมของลมหายใจออกของผู้ติดเชื้อ และจะใช้คำว่า ‘ละอองลอย’ สำหรับอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเนื่องจากขนาดของอนุภาคและ/หรือสภาพแวดล้อม ส่วนคำว่า ‘อนุภาค’ จะใช้สำหรับละอองฝอย/ละอองลอยโดยรวม

[FIGURE 1]

ภาพที่ 1. พิสัยของอนุภาคจากระบบทางเดินหายใจและระยะที่อาจกระจายไปได้ **สีน้ำเงิน**คือละอองฝอย โดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $>100\text{-}\mu\text{m}$ ที่จะตกสู่พื้นตามแรงโน้มถ่วงภายใน 2 ม. จากแหล่งกำเนิด **สีแดง**คือละอองลอย โดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $<100\text{-}\mu\text{m}$ ที่จะแขวนลอยอยู่นานกว่า แต่จะตกสู่พื้นในที่สุดหากอากาศนิ่งนานพอ (อย่างน้อย 30 นาที)

ความเชื่อที่ 2 ‘ทุกอนุภาคที่ใหญ่กว่า $5\ \mu\text{m}$ จะตกสู่พื้นภายในระยะ 1-2 ม. จากแหล่งกำเนิด’

ความเชื่อนี้เป็นสิ่งที่มักจะพูดกันซ้ำ ๆ แต่ในทางวิทยาศาสตร์ถือเป็นข้อความที่ไม่ถูกต้อง อนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $5\text{-}10\ \mu\text{m}$ ที่หายใจออกมาจะตกสู่พื้นช้า ๆ ภายใต้แรงโน้มถ่วงในห้องที่อากาศนิ่ง ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 8-30 นาทีเมื่อตกจากความสูง 1.5 ม. อย่างไรก็ตาม ห้องส่วนใหญ่จะมีกระแสลมโดยรอบที่ $0.1\text{-}0.2\ \text{m./วินาที}$ หมายความว่าอนุภาคเหล่านี้เล็กเกินกว่าที่จะตกสู่พื้นในระยะ 1-2 ม. จากแหล่งกำเนิด ละอองฝอยจะต้องมีขนาดใหญ่กว่า $50\text{-}100\ \mu\text{m}$ ถึงจะมีความเป็นไปได้สูงที่จะตกสู่พื้นในระยะ 1-2 ม. จากแหล่งภายในอาคาร กระแสลมแปรปรวนในพื้นที่อาจทำให้อนุภาคนั้นแขวนลอยได้นานขึ้น ละอองฝอยที่ใหญ่กว่า $50\text{-}100\ \mu\text{m}$ สามารถลอยไปกับลมหายใจได้ 1-2 ม. โดยเฉพาะถ้ามาจากการไอหรือจาม [21,22]

อนุภาคที่เล็กเกินกว่าที่จะตกสู่พื้นด้วยแรงโน้มถ่วงอย่างรวดเร็ว สามารถลอยขึ้นตามความมวลอากาศร้อน (thermal plume) ของแต่ละบุคคล ซึ่งก็คืออากาศอุ่นที่เกิดจากความร้อนของร่างกายลอยเป็นเสาสีขาวจากตัวคน [23-25] อนุภาคเหล่านี้ลอยตามอิทธิพลของลมไหลอื่น ๆ เช่น การระบายอากาศ ผู้คนที่สำลัก การเปิดปิดประตู และ convective flow หรือลมไหลจากการถ่ายเทโดยการพาความร้อน (เช่น กระแสอากาศอุ่นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและร่างกายคน) [26] ก่อนที่จะถูกผู้อื่นสูดเข้าไป การไหลตั้งที่กล่าวมานั้นกระพอนอนุภาคขนาด $<5-10\ \mu\text{m}$ ทำให้เดินทางได้ไกล ($>2\ \text{m}$)

ในอากาศนิ่ง อนุภาคขนาดต่าง ๆ จะใช้เวลาตกสู่พื้นต่างกัน ซึ่งเราสามารถใช้ฟิสิกส์ตามกฎของสโตกส์ (Stoke's law) ทำนายได้อย่างแม่นยำ โดยจากการคำนวณพบว่าแม้แต่อนุภาคที่มีขนาดประมาณ $50\ \mu\text{m}$ จะใช้เวลาราว 20 วินาทีตกจากความสูง 1.5 ม. ลงสู่พื้น จึงควรถือว่าเป็นละอองลอย การเคลื่อนไหวของกระแสอากาศแปรปรวนในโรงพยาบาลและคลินิกที่วุ่นวายอาจทำให้อนุภาคขนาดเท่านี้ลอยอยู่ในอากาศนานขึ้นไปอีก และสามารถเดินทางได้ไกลกว่า $>2\ \text{m}$. จากแหล่งกำเนิด ระยะเวลาที่มีนัยสำคัญทางคลินิกสำหรับอนุภาคแขวนลอยขึ้นอยู่กับการระบายอากาศ โดยระบบระบายอากาศในโรงพยาบาลใช้อากาศสะอาดโล่งอากาศและอนุภาคในอากาศออกจากห้อง หากห้องหนึ่งมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (ACH) ที่ถ่ายเทอากาศสะอาด 6 ครั้งต่อชั่วโมง ไม่ว่าจะมาจากร่างกายภายนอกอาคาร การกรองอากาศ และการฟอกอากาศอื่น ๆ ระยะเวลาที่มีนัยสำคัญอยู่ที่ 10-30 นาที หากในห้องมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH ระยะเวลาที่มีนัยสำคัญคือ 5-15 นาที แน่นอนว่าโรงพยาบาลบางแห่งอาจไม่มีระบบระบายอากาศเชิงกล และหากไม่เปิดประตูหรือหน้าต่างเพื่อระบายอากาศแล้ว อนุภาคละอองลอยอาจใช้เวลาหลายชั่วโมงกว่าจะตกสู่พื้น ทำให้ทั้งบุคลากรและผู้ป่วยมีความเสี่ยงมากขึ้น ยิ่งถ้าไม่เว้นระยะห่างหรือไม่สวมหน้ากากป้องกัน

ความเชื่อที่ 3 ‘ถ้าเกิดขึ้นในระยะใกล้ ไม่สามารถเป็นการติดต่อทางอากาศ’

ในการพิจารณาความเชื่อเรื่องนี้ เรานิยามการเว้นระยะห่าง 1-2 ม. ว่าเป็นช่วงชั้นระหว่าง ‘ระยะใกล้’ กับ ‘ระยะไกล’ โดยทั่วไปเราเชื่อว่าการติดต่อระยะไกลเป็นหลักฐานของติดต่อทางอากาศ แต่แม้เราจะไม่สามารถตรวจพบการติดต่อระยะไกล ก็ไม่ได้หมายความว่าไม่มีการติดต่อทางอากาศ กล่าวคือ การสัมผัสอนุภาคทางอากาศและการสูดละอองลอยในระยะสั้นหรือใกล้ชิด (ระยะสนทนา) อาจเป็นช่องทางสำคัญหรือช่องทางหลักของการติดต่อโรค SARS-CoV-2 ก็เป็นไปได้ แม้ว่าจะไม่สามารถแสดงการติดต่อระยะไกล การสูดเชื้อก่อโรคเกิดขึ้นได้ทุกระยะ แต่ก็มีโอกาสเกิดขึ้นในระยะใกล้มากกว่าเพราะละอองลอยจะมีความเข้มข้นสูงใกล้แหล่งกำเนิด ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือควีนบุนท์ที่จางลงเมื่อห่างจากตัวผู้สูบ การดมกลิ่นก็เป็นปรากฏการณ์ที่คล้ายกัน ยกตัวอย่างเช่น หากเรายืนใกล้กับคนที่กินกระเทียมหรือต้มสุรามาตอนทานอาหารกลางวัน พอเราสูดอากาศหายใจเราก็จะได้กลิ่น แต่ยิ่งห่างออกไปเท่าไรกลิ่นก็จะยิ่งจางลง หากเราสามารถได้กลิ่นอาหารที่มากับลมหายใจ เราก็จะกำลังสูดเชื้อไวรัสต่าง ๆ ที่อยู่ในลมหายใจนั้นด้วย สิ่งเหล่านี้มักเกิดขึ้นในระยะสนทนา (ประมาณ 1 ม. หรือใกล้กว่า) และมีการยืนยันด้วยการทดลองและการศึกษาแบบจำลองพลวัตละอองลอย [17,28-33]

จากการศึกษาโรคไข้หวัดใหญ่ เราพบว่าลมหายใจออกและการพูดคุยสามารถนำพาเชื้อไวรัสที่มีชีวิตอยู่ให้ลอยไปในระยะสนทนา และอาจถูกคนรอบข้างสูดเข้าไปได้ [34,35] การทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าในระยะสนทนาใกล้ตัว มีไวรัสทางอากาศติดมากับอนุภาคขนาดต่าง ๆ ที่เกิดจากผู้ติดเชื้อในระยะ 1 ม.

แม้ว่า ณ ปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานทางจีโนมบ่งชี้ว่าไวรัสที่สูดเข้าไปนั้นก่อให้เกิดโรคโคโรนาไวรัส (COVID-19) ในมนุษย์ แต่ก็เป็นเรื่องยากที่จะอธิบายการปะทุของโรคด้วยเหตุผลอื่นนอกจากการสูดหายใจเชื้อ SARS-CoV-2 ที่เป็นละอองลอย [36-41]

ละอองลอยปรากฏอยู่ในระยะใกล้ผู้ปล่อยเชื้อ ($<1\ \text{m}$) และมีความเข้มข้นสูงกว่าที่พบในระยะไกล ในระยะใกล้ เราจะสัมผัสกับอนุภาคหลากหลายชนิดที่มากับลมหายใจตั้งแต่ ‘ละอองฝอยขนาดใหญ่’ ที่เคลื่อนที่เร็วไปจนถึงละอองลอยขนาดเล็กจิ๋ว การติดต่อระยะไกล (นอกระยะห่าง 1-2 ม.) จะเกิดขึ้นหรือไม่ขึ้นอยู่กัตัวแปรหลายอย่าง ประกอบด้วยคุณภาพของ

เชื้อไวรัสสมบูรณ์ (virion) ทางอากาศที่มาจากแหล่งกำเนิด การกระจายตัวของ virion ที่ลอยไปกับอนุภาคน้ำต่าง ๆ กระแสลมในพื้นที่ อัตราการสลายตัวของไวรัส ปริมาณไวรัสที่ต้องได้รับก่อนที่จะติดเชื้อ การเจือจางของเชื้อที่ระยะไกล และการถ่ายเทเชื้อด้วยอากาศบริสุทธิ์ การระบายอากาศหรือฟอกอากาศ

ความเสี่ยงของการติดต่อระยะไกล (>2 m) อาจจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความเสี่ยงในการติดเชื้อระยะใกล้ (<1 m) แต่ก็สามารถเกิดขึ้นได้และอาจมีนัยสำคัญ การติดต่อระยะไกลของจุลชีพก่อโรค (pathogen) นั้นพิสูจน์ได้ยากมากเมื่อจุลชีพนั้นกระจายตัวอยู่ในชุมชนอย่างแพร่หลายแล้ว เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดไวรัสหลายแหล่งที่สามารถปล่อยเชื้อในระยะต่าง ๆ ได้ ตัวอย่างขึ้นชื่อในประวัติศาสตร์คือโรคฝีดาษที่สามารถพิสูจน์การติดต่อระยะไกลได้ก็ต่อเมื่อมีการปะทุของโรคโดยปราศจากการติดต่อในชุมชนวงกว้างอย่างต่อเนื่อง [42]

ความเชื่อที่ 4: ‘หากค่าระดับการติดเชื้อพื้นฐาน (R_0) ไม่สูงเท่าของโรคหัด หมายความว่าไม่ใช้การติดเชื้อทางอากาศ’

นิยามทั่วไปของค่าระดับการติดเชื้อพื้นฐาน (basic reproductive number) หรือ R_0 คือค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่ที่เกิดจากการมีผู้ป่วยรายแรก (index case) อยู่ในประชากรที่ยังไม่มีภูมิคุ้มกันเชื้อกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ

ปัญหาหลักของนิยามนี้คือค่า R_0 ไม่ได้สัมพันธ์โดยตรงกับการติดต่อว่าโรคนั้นติดต่อผ่านการสูดละอองลอยเข้าไปหรือไม่ โดย R_0 แสดงจำนวนคนที่ติดเชื้อหลังจากการสัมผัสเชื้อจากผู้ป่วยหนึ่งคนโดยไม่คำนึงถึงวิธีการติดต่อ โดยมีเชื้อหลายชนิดที่สามารถกระจายทางอากาศได้แต่ไม่จำเป็นต้องมีการติดต่อจากคนสู่คน ยกตัวอย่างเชื้อฮันตาไวรัส (hantavirus) เหตุของโรคติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ hantavirus pulmonary Syndrome และเชื้อ Bacillus anthracis ที่ก่อให้เกิดโรคแอนแทรกซ์มีสัตว์เป็นแหล่งรังโรคและติดต่อผ่านการสูดหายใจเข้าไป แต่ไม่ติดต่อจากคนสู่คน แม้ว่าโรคเหล่านี้จะมีค่า $R_0=0$ แต่ก็ยังถือว่าเป็นโรคติดต่อทางอากาศ [43,44]

นอกจากนั้น ความแม่นยำของค่า R_0 ขึ้นอยู่กับความสามารถในการตรวจพบการติดเชื้อของผู้ติดเชื้อใหม่ ไวรัสที่เป็นที่ยอมรับว่าติดต่อทางอากาศ เช่น โรคหัดและโรคอีสุกอีใส สามารถตรวจพบได้ง่ายและแม่นยำเพราะไวรัสเหล่านี้แสดงอาการทางผิวหนังอย่างเด่นชัดใน >99% ของกรณีที่ติดเชื้อและวินิจฉัยได้โดยไม่ต้องทำการทดสอบในห้องทดลอง ทำให้การตรวจพบและเจอนับผู้ติดเชื้อใหม่ได้ค่อนข้างง่าย ส่งผลให้การประมาณค่า R_0 มีความแม่นยำมากกว่า และเนื่องจากผู้ติดเชื้อ COVID-19 หลายรายไม่แสดงอาการ ทำให้การประเมินค่า R_0 ยากกว่ามาก อีกขั้นต่อไปคือการหาค่า R_e หรือระดับการติดเชื้อที่เกิดขึ้นจริง ณ เวลาหนึ่ง (effective reproductive number) โดยใช้เมื่อประชากรที่สัมผัสเชื้อเพียงบางส่วนยังไม่มีภูมิคุ้มกันสำหรับเชื้อที่มีวัคซีนที่มีประสิทธิภาพ (เช่น โรคหัดและโรคอีสุกอีใส)

เมื่อผู้ป่วยมีอาการ ‘คล้ายไข้หวัดใหญ่’ หรือแสดงอาการน้อย หรือไม่มีอาการเลย ก็ทำให้การหาขอบเขตของการปะทุและจำนวนผู้ติดเชื้อใหม่เป็นไปได้ยากขึ้น ประชาชนอาจจะไม่รู้ด้วยซ้ำว่าสัมผัสเชื้อ หรืออาจไม่ตระหนักว่าตนเองสามารถแพร่เชื้อให้ผู้อื่นได้ บุคคลเหล่านี้ไม่กักตัวและไม่ถูกนับเป็นผู้ที่อาจจะติดเชื้อรายใหม่ ทำให้ไม่สามารถติดตามผู้สัมผัส (contact tracing) และติดตามทุกคนที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์สัมผัสเชื่อนั้น ๆ นอกจากจะมีการบันทึกข้อมูลอย่างละเอียด และยังไม่สามารถจัดการสัมผัสเชื้อในการใช้ชีวิตประจำวันที่จะทำให้ติดเชื้อจากแหล่งอื่นออกไปได้เหมือนกัน แม้แต่ในกรณีที่รู้แหล่งกำเนิดของการปะทุเหตุการณ์หนึ่ง แหล่งนั้นอาจจะทำให้ผู้ติดเชื้อใหม่รายอื่นมาแล้วที่ไม่สามารถติดตามการสัมผัสได้ง่ายและอาจไม่ทราบจำนวน เช่นเดียวกับ SARS-CoV-1 การแพร่ของโรค COVID-19 จำนวนมากสามารถเกิดจากผู้ติดเชื้อก่อนแสดงอาการ และผู้ติดเชื้อแต่ละรายก็มีศักยภาพการแพร่เชื้อไม่เท่ากัน [45]

ณ ปัจจุบันมีหลักฐานว่าไวรัสระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ เช่น ไข้หวัดใหญ่ SARS-CoV-1 โรคทางเดินหายใจตะวันออกกลาง (MERS) โคโรนาไวรัส และไวรัส RSV (respiratory syncytial virus) มีการแพร่เชื้อทางอากาศ จึงสามารถชี้เหตุผลในการจัดความเชื่อผิด ๆ เกี่ยวกับการติดต่อเชื้อเหล่านี้ได้เช่นเดียวกัน [46-50]

ความเชื่อที่ 5ก: ‘ถ้าเชื้อแพร่ทางอากาศแล้วหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ (หรือหน้ากากผ้า) จะไม่ช่วยป้องกันเชื้อ’

ข้อความนี้เป็นเท็จเพราะเป็นการเป็นการมองภาพเหตุการณ์แบบเรียบง่ายและขาดจินตนาการ [คือ หน้ากากสามารถป้องกันเชื้อไวรัสในอนุภาคลมหายใจได้ทั้งหมด หรือไม่ก็ป้องกันไม่ได้เลย]

การศึกษาในห้องทดลองหลายครั้งแสดงให้เห็นแล้วว่าหน้ากากอนามัยและหน้ากากแก๊ซมีประสิทธิภาพจำกัด อนุภาคที่หายใจออกมาได้บางส่วน (แม้จะไม่สมบูรณ์แบบ) และป้องกันผู้สวมใส่จากการสูดหายใจอนุภาคที่มาจากผู้อื่น หน้ากากอนามัยสามารถดักจับและลดการแพร่กระจายของไวรัสที่ออกมาจากร่างกายผู้ป่วยได้ถึง 3-4 เท่าตัว (ประมาณ 67-75%) และป้องกันโคโรนาไวรัสตามฤดูกาลได้มากถึง 100% [34,51] เมื่อผู้ติดเชื้อสวมหน้ากากหรือสิ่งปกคลุมหน้าแล้ว ขนาดของมวลอากาศที่หายใจออกมาก็ลดลงด้วย ช่วยลดความเสี่ยงการสัมผัสเชื้อของผู้รอบข้าง

หน้ากากอนามัยยังปกป้องผู้สวมใส่โดยลดการสัมผัสละอองฝอยและละอองลอยจากผู้ติดเชื้อได้เฉลี่ย 6 เท่าตัว (ตั้งแต่ 1.1 -55 เท่า) [52,53] หน้ากากอนามัยสามารถกรองไมครอนได้หลากหลายขนาดแต่ก็ขึ้นอยู่กับยี่ห้อหน้ากากด้วยว่ากรองไมครอนช่วงขนาดไหนได้บ้าง [54] เป็นที่รู้กันว่าหน้ากาก N95/FFP2 จะกรองอากาศได้ดีกว่าหากมีการทดสอบความกระชับ (fit test) เพื่อป้องกันการรั่วไหลของละอองลอยออกด้านข้างของหน้ากาก

แม้แต่หน้ากากผ้าแก๊ซ (โดยใช้ผ้าเช็ดจาน หรือเสื้อยืดผ้าฝ้าย) ก็ยังสามารถลดการสัมผัสกับอนุภาคเข้าได้ถึง 2-4 เท่าตัว (ประมาณ 50-75%) [55,56] ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตหน้ากาก วัสดุที่ใช้ จำนวนชั้นผ้า และลักษณะของสารคัดหลั่งจากระบบทางเดินหายใจที่สัมผัสกับผ้า จากหลักฐานที่สนับสนุนว่ามีโรค COVID-19 มีการแพร่เชื้อทางอากาศ จึงแนะนำว่า บุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุขระดับแนวหน้าควรสวมหน้ากาก N95/FFP2/FFP3 โดยผู้ที่ไม่สามารถสวมหน้ากากเหล่านี้นาน ๆ อาจสวมหน้ากากอนามัยทางการแพทย์ที่ยังพอช่วยปกป้องได้บ้าง แต่ก็ต้องตระหนักไว้ว่าหน้ากากอนามัยมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่า

ความเชื่อที่ 5ข: ‘ไวรัสมีขนาดเพียง 100 นาโนเมตร (0.1 μm) แผ่นกรองและหน้ากากจึงไม่ช่วยป้องกันเชื้อ’

ความเชื่อนี้สัมพันธ์กับความเชื่อ 5ก โดยมีความเข้าใจผิด 2 ระดับที่ต้องพิจารณาในการขจัดความเชื่อนี้ ลำดับแรกคือการขาดความเข้าใจว่าแผ่นกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง (แผ่นกรองอากาศ HEPA) และแผ่นกรองอากาศชนิดอื่น ๆ ทำงานอย่างไร แผ่นกรองเหล่านี้ไม่ได้ทำงานเหมือนตะแกรง แต่สามารถดักจับอนุภาคออกจากกระแสลมด้วยการผสมผสานการกระแทกและสกัดกั้นอนุภาค (อนุภาคที่เคลื่อนที่เร็วจะชนและติดกับเส้นใยแผ่นกรองเมื่อกระทบโดยตรงหรือแฉลบมาชน) การกระจาย (อนุภาคที่เคลื่อนที่ช้าลอยมาสัมผัสและติดกับเส้นใยแผ่นกรอง) และแรงไฟฟ้าสถิต (อนุภาคและเส้นใยแผ่นกรองที่มีประจุไฟฟ้าขั้วตรงข้ามกันจะมาติดกัน) กลไกทั้งหมดนี้ร่วมกันสร้างกับดักพลวัตการปะทะจับอนุภาคที่ผ่านโครงข่ายช่องลมระหว่างเส้นใยด้วยความเร็วต่างกัน [57]

โดยการกรองนี้มีประสิทธิภาพขั้นต่ำที่อนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 μm และมีประสิทธิภาพสูงกว่าในการกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า ‘อนุภาคที่สามารถผ่านทะลุแผ่นกรองได้ดีที่สุด’ (most penetrating particle size) เหล่านี้ เพราะการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) ทำให้มีการกระจายตัวที่ระดับอะตอม จึงมีการปะทะกับเส้นใยแผ่นกรองมากขึ้น อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่านี้จะถูกกำจัดออกไปอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการปะทะและการสกัดกั้น

ในลำดับที่สอง ไวรัสที่มีส่วนในการแพร่เชื้อโรคติดต่อมักจะไม่เป็นไวรัส ‘เปลือย’ หมายความว่าไวรัสออกจากร่างกายมนุษย์มาบนละอองฝอยที่ประกอบไปด้วยน้ำ เกลือ โปรตีน และสารคัดหลั่งระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ ละอองน้ำลายและเสมหะมีขนาดใหญ่กว่าไวรัสมาก [19] และขนาดโดยรวมคือตัวกำหนดการเคลื่อนที่ของละอองฝอยและละอองลอยและการดักจับอนุภาคเหล่านี้ด้วยหน้ากากและเส้นใยแผ่นกรอง

แผ่นกรอง HEPA (หรือแผ่น ‘จับ’) สามารถดักจับอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.3\ \mu\text{m}$ (300 นาโนเมตร) ได้มากกว่า 99.97% โดยแผ่นกรอง HEPA สามารถกำจัดละอองน้ำลายและเสมหะนั้นมีขนาดตั้งแต่ $0.5\ \mu\text{m}$ ขึ้นไปได้ทั้งหมดแน่นอนว่าระบบระบายอากาศในอาคารพาณิชย์ส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องใช้การกรองแบบ HEPA ยกเว้นอาคารด้านสุขภาพและสาธารณสุขที่มีพื้นที่เฉพาะทาง เช่น ห้องผ่าตัด คลินิก ห้องทดลอง และห้องแยกผู้ป่วยจะได้ประโยชน์จากการดักจับอนุภาคด้วยการกรองครั้งเดียว เครื่องกรองอากาศเคลื่อนที่ที่ใช้แผ่นกรอง HEPA อาจเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับพื้นที่ทั่วไป เช่น สำนักงาน และห้องเรียน แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพจำกัดด้วยการผสมที่ไม่สมบูรณ์ เสียงรบกวน และความดันลมเย็น [58]

ความเชื่อที่ 6: ‘ถ้าเชื่อไม่เจริญในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ แปลว่าไม่เป็นเชื้อติดต่อ’

การเพาะเลี้ยงเชื้อไวรัสนั้นยากกว่าที่คิด เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การแยกเชื้อไวรัสจากเซลล์เพาะเลี้ยงไม่ไวต่อการตรวจจับเท่ากับวิธีการตรวจหาสารพันธุกรรม ส่วนหนึ่งเป็นเพราะต้องใช้เชื้อไวรัสมากกว่าหนึ่งตัวเพื่อเริ่มการติดเชื้อในเซลล์เพาะเลี้ยง ยกตัวอย่างเชื้อไข้หวัดใหญ่ที่ Fabian *et al.* พบว่า $1\ \text{TCID}_{50}$ (ปริมาณไวรัสที่จำเป็นเพื่อให้เซลล์ monolayer ในหลอดแก้วติดเชื้อ 50%) เท่ากับประมาณ 300 ชุดจีโนม (genome copies) ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Van Elden *et al.* เคยประมาณค่าไว้ที่ 100-350 ชุด แต่น้อยกว่าที่ Wei *et al.* รายงานว่าเป็นจำนวน 650 ชุด [59-61]

ความไวในการตรวจจับยิ่งต่างกันมากเมื่อพิจารณาเทคนิคที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศในปัจจุบัน งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ขวดแก้วเก็บตัวอย่างความเร็วสูงที่เรียกว่า impinger ดูดไวรัสจากอากาศพ่นเข้าไปยังน้ำเลี้ยงเชื้อไวรัส แต่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างเหล่านี้มีแรงเฉือนสูงและการผสมน้ำกับอากาศอย่างรุนแรงอาจทำลายโปรตีนที่ผิวไวรัสทำให้เพาะเลี้ยงแล้วไม่เจริญ [62,63] ต่างจากการหายใจตามธรรมชาติของมนุษย์ที่ไหลเข้า-ออกช้ากว่ามาก ทำให้โอกาสที่ไวรัสจะเสียหายจากแรงเฉือนน้อยกว่ามาก [64,65] เห็นได้ชัดว่าเทคโนโลยีเก็บตัวอย่างจากอากาศไม่สามารถจำลองกลไกการติดเชื้อระบบทางเดินหายใจจากการสูดอากาศเข้าได้อย่างสมจริง

เพราะฉะนั้น การที่เราไม่สามารถตรวจพบไวรัสที่มีชีวิตอยู่ในตัวอย่างอากาศที่พบ RNA ของไวรัสด้วยวิธีตรวจหาสารพันธุกรรมไม่ได้หมายความว่าตัวอย่างอากาศที่เก็บมานั้นไม่มีไวรัสที่มีชีวิตอยู่ การพบ viral RNA ในตัวอย่างอากาศควรถูกมองเป็นตัวชี้วัดว่ามีโอกาสสูงที่จะมีไวรัสที่มีชีวิต ตามหลักการป้องกันล่วงหน้า (precautionary principle) ที่ควรส่งเสริมกำลังการควบคุมการติดเชื้ออย่างมีประสิทธิภาพอยู่เสมอ [66]

เมื่อไม่นานมานี้มีกลุ่มนักวิจัย 2 กลุ่มที่แสดงให้เห็นว่ามีไวรัส SARS-CoV-2 ในตัวอย่างละอองลอยที่เก็บมาจากห้องคนไข้ [67,68] และด้วยเหตุผลข้างต้น เป็นไปได้มากกว่างานวิจัยทั้งสองชิ้นประเมินจำนวนเชื้อไวรัสที่มีชีวิตอยู่และจำนวนไวรัสที่ผู้อื่นอาจสูดเข้าไปได้น้อยกว่าความเป็นจริง [69]

ข้อสรุป

บทปริทัศน์นี้พยายามชี้แจงและจัดความเชื่อทั่วไปบางข้อเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของการติดต่อทางอากาศของเชื้อไวรัส เราสามารถโต้แย้งความเชื่อเหล่านี้ได้อย่างง่ายดายเมื่อพิจารณาหลักการทางกายภาพ ระบาดวิทยา และไวรัสวิทยา ว่าละอองลอยระบบทางเดินหายใจถูกผลิตและแพร่กระจายอย่างไร เมื่อพิจารณาว่าจะตรวจพบผู้ติดเชื้อรายใหม่ได้หรือไม่ได้อย่างไร และเมื่อพิจารณาว่ามาตรการควบคุมการติดเชื้อที่เหมาะสมจะสามารถลดความเสี่ยงการแพร่เชื้อได้อย่างไร นับวันยังมีหลักฐานสนับสนุนมากขึ้นว่าเชื้อ SARS-CoV-2 สามารถติดต่อผ่านการสูดหายใจไวรัสทางอากาศ การสัมผัสอนุภาคทางอากาศขนาดเล็กทำให้มีโอกาสติดเชื้อ SARS-CoV-2 เทียบเท่าหรือมากกว่าการติดต่อการติดต่อรูปแบบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ คือการติดต่อผ่านละอองฝอยระบบทางเดินหายใจที่ขนาดใหญ่กว่าและ/หรือการสัมผัสโดยตรงกับผู้ติดเชื้อหรือพื้นผิวที่เปื้อนเชื้อ

[70,71] คำอธิบายและเหตุผลสำหรับการติดต่อเชื้อ SARS-CoV-2 สามารถนำไปใช้กับไวรัสระบบทางเดินหายใจอื่น ๆ แต่ก็ควรคำนึงถึงจำนวนและประเภทของงานวิจัยที่สามารถใช้ได้กับไวรัสอื่น ๆ [72,73]

ข้อดีสำหรับแพทย์เวชปฏิบัติควบคุมการติดเชื้อและประชาชนทั่วไปคือนอกจากประโยชน์ที่ชัดเจนของอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (PPE) แล้ว หลักฐานที่มีอยู่ก็เพียงพอที่จะสนับสนุนมาตรการควบคุมการติดต่อทางอากาศให้เป็นส่วนหนึ่งของยุทธศาสตร์เพื่อจำกัดความเสี่ยงการติดเชื้อภายในอาคาร ประกอบไปด้วย การระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจยกระดับด้วยการกรองอนุภาคและฆ่าเชื้อในอากาศ รวมทั้งการหลีกเลี่ยงระบบที่ใช้อากาศหมุนเวียนหรือมีการผสมอากาศ นอกจากนั้นการเปิดหน้าต่างตามความเหมาะสมกับสภาพอุณหภูมิที่สบายตัวและมั่นคงความปลอดภัย จะช่วยลดความเสี่ยงของการติดเชื้อจากอนุภาคไวรัสที่ค้างอยู่ในอากาศ [70,71,73]

มาตรการควบคุมพื้นที่ในอาคารด้านสุขภาพและสาธารณสุขและพื้นที่ภายในอาคารของชุมชนรวมทั้งบนเส้นทางการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะไม่ให้แออัดจนเกินไปก็สำคัญไม่แพ้กัน ปัจจุบันมีมาตรการหลากหลายวิธีที่จะช่วยลดความเข้มข้นของอนุภาคเชื้อติดต่อทางอากาศในที่อยู่อาศัยและโรงพยาบาล มาตรการเหล่านี้นำไปใช้ได้โดยไม่ต้องปรับปรุงอาคารมากและค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก [70,72] ซึ่งจะช่วยปกป้องทุกคนในช่วงเวลาที่เรากำลังหาหลักฐานเพิ่มเติมมาช่วยลดความเสี่ยงจาก COVID-19 ในอนาคต ถึงเวลาแล้วที่เราจะทิ้งความเชื่อผิด ๆ เหล่านี้และมาเขียนแก้วิทยาศาสตร์การติดต่อเชื้อทางอากาศกันใหม่

การประกาศเผยแพร่ประโยชน์ทับซ้อน:

แจ้งว่าไม่มี

แหล่งเงินสนับสนุน:

ไม่มี

เอกสารอ้างอิง: