

หลักฐานที่น่าจะเป็นไปได้ในการแพร่กระจาย เชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2) ในตึกสูงโดยผ่านทางละอองลอยที่ปนเปื้อนอุจจาระ

หน่วยงานภาครัฐส่วนใหญ่กล่าวว่าเชื้อไวรัสโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง หรือเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2)

มีการแพร่กระจายเชื้อโดยการสัมผัสในระยะใกล้และโฟไมท์ (fomites) เป็นหลัก (1–3)

คำกล่าวอ้างยืนยันเหล่านี้อาจจะได้รับการสนับสนุนจากข้อมูลที่ได้จากการสังเกต (4–6) แต่ภายหลังจากที่มีการตรวจพบอาร์เอ็นเอของไวรัส (viral RNA)

และการแยกเชื้อ (isolation) ไวรัสที่สามารถอยู่รอดได้ในอุจจาระของคน (7–9) ก็มีการสงสัยว่าอาจจะมีการแพร่กระจายเชื้อที่ปนเปื้อนในอุจจาระผ่านทางทางเดินอาหารได้ (10, 11) ชางและคณะ (12)

ได้รายงานการมีอยู่ของเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2) ในตัวอย่างอุจจาระ และสังเกตเห็นว่าในระยะท้าย ๆ ของการติดเชื้อ

การตรวจตัวอย่างส่งตรวจจากทวารหนักพบว่ามีผลเป็นบวกบ่อยครั้งกว่าใน ตัวอย่างส่งตรวจจากช่องปาก นอกจากนี้เองและคณะ (13)

ยังพบว่าการตรวจตัวอย่างส่งตรวจจากพื้นผิวห้องน้ำที่ผู้ป่วยติดเชื้อ

โรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง (SARS-CoV-2) ใช้มีผลเป็นบวก

รวมทั้งมีการตรวจพบละอองลอยที่มีเชื้อไวรัส (virus-laden aerosols)

ในการศึกษาตัวอย่างอากาศในห้องสุขาเคลื่อนที่ที่ผู้ป่วยโรงพยาบาลฟางกาง

ใช้เมื่อไม่นานมานี้ (14) และการที่แม็คเดอร์มอตต์และคณะ (15)

ได้ตรวจวิเคราะห์ว่าละอองลอยชีวภาพที่ปนเปื้อนอุจจาระเป็นเส้นทางการ

แพร่กระจายเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2) ในโรงพยาบาลหรือไม่

ในที่นี้เรามีรายงานการระบาดกรณีผู้ป่วยโรคโคโรนาไวรัส 2019 หรือโควิด 19 (COVID-19) จำนวน 9 รายที่ได้รับการยืนยัน ในห้วงเวลาระหว่างวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2563 ถึง 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ในแฟลต 3 ยูนิตที่เรียงตัวตรงกันหรือซ้อนกันในแนวตั้งในอาคารสูงระฟ้าแห่งหนึ่ง (ตึก X) ที่เมืองกว่างโจวในประเทศจีน

ในระหว่างที่มีการใช้มาตรการรักษาระยะห่างทางสังคม ตึก X

เป็นอาคารหลังหนึ่งในกลุ่มอาคารที่อยู่อาศัยที่สูงระฟ้าจำนวน 30

หลังในโครงการจัดสรรที่อยู่อาศัยอายุ 6 ปีของเอกชน ตึก X มีความสูง 29 ชั้น

ตั้งแต่ชั้นที่ 2 ถึงชั้นที่ 28 แต่ละชั้นมีอพาร์ทเมนต์อยู่ 3 ยูนิต ซึ่งตั้งชื่อเป็น แฟลต

01 แฟลต 02 และแฟลต 03 ([ภาพที่ 1](#)) และแฟลตอีก 2

ยูนิตอยู่บนชั้นที่ 29 รวมเป็นแฟลตจำนวนทั้งสิ้น 83 ยูนิตด้วยกันในตึกนี้

ตะแกรงระบายน้ำทิ้งที่แห้งเป็นประเด็นร่วมของปัญหาสุขอนามัย

ซึ่งนำไปสู่การแพร่กระจายเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 1 (SARS-CoV-1) และ

ซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2)

ในแนวตั้งไปแล้วในอาคารที่พักอาศัยสูงระฟ้าลักษณะคล้าย ๆ

กันในประเทศจีนตอนใต้ ([16–19](#)) ในปี พ.ศ. 2546

มีการพบว่าละอองลอยที่ปนเปื้อนอนุจุจระทำให้เกิดการแพร่กระจาย

เชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 1 (SARS-CoV-1)

ไปสู่ผู้ที่อาศัยในคอนโดมิเนียมอะมอยการ์เดินส์มากกว่า 300

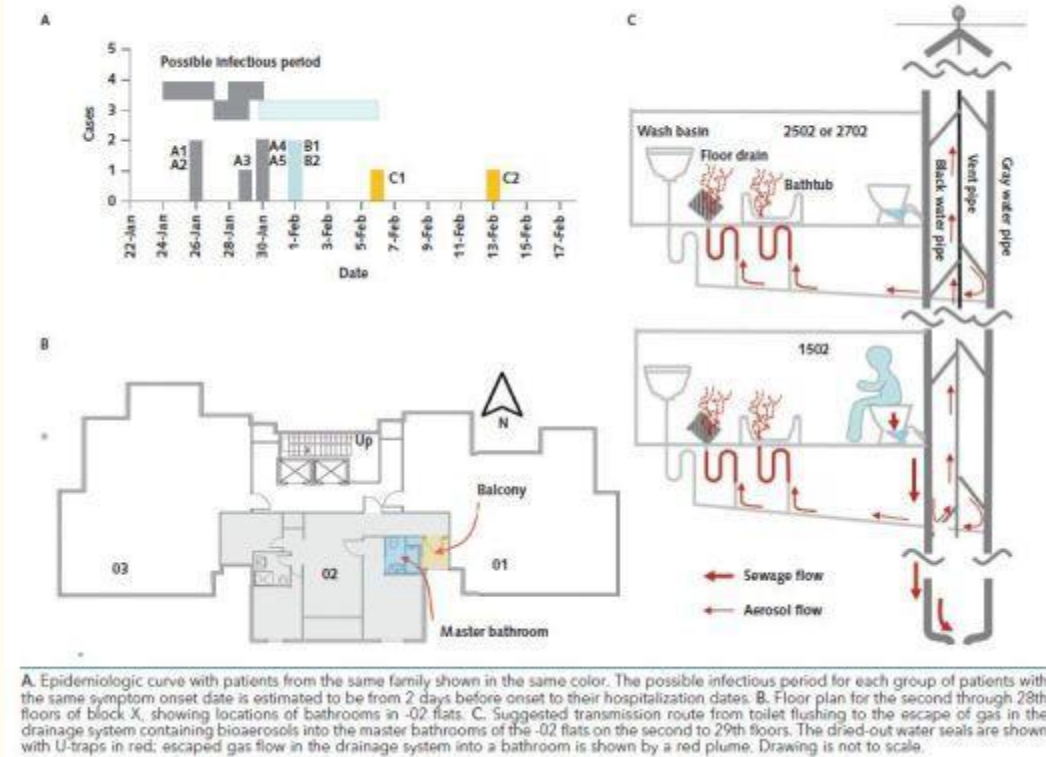
รายในระหว่างการระบาด ([17](#))

เราได้เก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อมส่งตรวจและตรวจวัดการแพร่กระจายของอากาศใน

ท่อระบายน้ำทิ้งในตึก X

เพื่อตรวจหาความเป็นไปได้ของการแพร่กระจายเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2) ผ่านละอองลอยที่ปนเปื้อนอนุจุจระ

Figure 1. The block X outbreak and suggested transmission route.



ภาพที่ 1.

การระบาดที่ตึก X และเส้นทางการแพร่กระจายเชื้อที่น่าคิด

A. เส้นโค้งการระบาดโดยที่ผู้ป่วยจากครอบครัวเดียวกันจะแสดงเป็นสีเดียวกัน

ช่วงเวลาของการติดเชื้อที่เป็นไปได้สำหรับผู้ป่วยแต่ละกลุ่มที่มีการเริ่มแสดง

อาการวันเดียวกันคือประมาณ 2

วันก่อนหน้าวันที่เริ่มเข้าพักรักษาตัวในโรงพยาบาล **B.** แปลนพื้นที่สำหรับชั้นที่ 2

ถึงชั้นที่ 28 ของตึก X ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งที่ตั้งของห้องน้ำในแฟลตห้องหมายเลข

02 C. เส้นทางการแพร่กระจายเชื้อที่น่าคิด

จากการกดชักโครกห้องน้ำไปถึงการกระจายตัวของอากาศในระบบท่อระบาย

น้ำทิ้งซึ่งมีละอองลอยชีวภาพ ไปสู่ห้องน้ำหลักของแฟลตห้องหมายเลข 02

ในชั้นที่ 2 ถึง ชั้นที่ 29 แอ่งกันกลิ่นที่แห้งแสดงโดยใช้กับดักรูปตัวยูเป็นสีแดง

การไหลของแก๊สที่เล็ดรอดในระบบระบายน้ำทิ้งไปสู่ห้องน้ำแสดงเป็นทางยาวสีแดง

แผนผังนี้ไม่ใช่มาตราส่วน

วิธีการ

เริ่มแรกสุดเราเก็บข้อมูลวันที่ผู้ป่วยเริ่มมีอาการ

ในผู้ป่วยอาศัยที่มีการติดเชื้อโรคซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2) จำนวน 9 ราย

พร้อมทั้งข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของแฟลตของพวกเขาในตึก X

โดยวันที่ที่เริ่มมีอาการหมายถึงวันที่ผู้ป่วยเริ่มสังเกตเห็นอาการครั้งแรก (เช่น มีไข้

หรือมีอาการไอ) การติดเชื้อในผู้ป่วยทุกรายได้รับการยืนยันว่าเป็นโรคโควิด 19

โดยอ้างอิงผลการตรวจตัวอย่างจากการป้ายคอและการตรวจอาร์เอ็นเอ

เราได้เก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านประชากร ประวัติการเดินทาง

ประวัติการสัมผัสใกล้ชิดและอาการอื่น ๆ ที่ผู้ติดเชื้อมี

นอกจากนี้เรายังเก็บรวบรวมข้อมูลแผนผังที่อยู่โดยละเอียด แปลนพื้น

รายละเอียดข้อมูลของระบบการระบายน้ำทิ้ง

ทั้งจากการตรวจวัดในสถานที่จริงและจากแบบแปลน ตลอดจนข้อมูลอากาศทุก ๆ

หนึ่งชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดอากาศที่อยู่ใกล้ ในห้วงเวลาที่สงสัยว่ามีการติดเชื้อ

(ตั้งแต่ 24 มกราคม ถึง 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563)

นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบบันทึกข้อมูลจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดจากลิฟท์

สาธารณะ 2 ตัวในตึก X เพื่อเก็บข้อมูลรูปแบบการใช้ลิฟท์ในช่วงวันที่ 25 ถึง 30

มกราคม

มีการดำเนินการสืบสาวติดตามการสัมผัสใกล้ชิดผู้ป่วยแบบขยายผล

และการตรวจหาเชื้อจากสิ่งแวดล้อมระหว่างวันที่ 9 กุมภาพันธ์ถึง 19 กุมภาพันธ์

มีการเก็บตัวอย่างสิ่งส่งตรวจจากการป้ายคอจากผู้ป่วยอาศัยจำนวนทั้งสิ้น 193 คน

และจากเจ้าหน้าที่บริหาร 24 คนในตึก X ในช่วงวันที่ 11 ถึง 19 กุมภาพันธ์

มีการเก็บตัวอย่างจากพื้นผิวและตัวอย่างอากาศจากอาคารนี้จำนวนทั้งสิ้น 237

ตัวอย่าง มีการสกัดสารพันธุกรรมอาร์เอ็นเอจากไวรัส (viral RNA)

จากตัวอย่างโดยใช้ชุดตรวจ PureLink Viral RNA/DNA kits (Invitrogen)

และใช้วิธี quantitative reverse transcriptase polymerase chain reaction assays

โดยใช้ชุดตรวจทางเคมีที่ออกแบบสำหรับการตรวจหาเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2

(SARS-CoV-2) โดยเฉพาะ (GeneoDX Biotech)

ซึ่งได้รับการอนุมัติจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศจีนแล้ว

ตัวอย่างสิ่งส่งตรวจจะถือว่ามีการตรวจเป็นบวกถ้าหากว่ามีค่า cycle

threshold value อยู่ที่ 37.0 หรือต่ำกว่า

มีการทดสอบการไหลและการกระจายตัวของอากาศในวันที่ **21** กุมภาพันธ์
 โดยใช้แก๊สฮีเทนเป็นตัวแทนเทอร์เซอร์แก๊สสำหรับละอองฝอยที่ปนเปื้อนเชื้อไวรัสในอากาศที่อยู่ในระบบระบายน้ำเสีย
 เทอร์เซอร์แก๊สถูกใช้แสดงให้เห็นว่าเป็นตัวแทนที่มีประสิทธิภาพในการจำลองการแพร่กระจายของละอองฝอยขนาดเล็กมากหรือนิวเคลียสของละอองฝอย (**droplet nuclei**) (**20**) ในการจำลองนี้มีการปล่อยแก๊สฮีเทนในอัตราประมาณ 3 ลิตรต่อวินาที เข้าสู่ท่อระบายน้ำทิ้งของห้องน้ำหลักในแฟลตห้องหมายเลข **1502** เพื่อจำลองละอองฝอยที่ปนเปื้อนเชื้อไวรัสที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิสัมพันธ์หรือปฏิกิริยาทางไฮดรอลิกระหว่างน้ำเสียจากห้องส้วมกับตัวท่อ
 ความเข้มข้นของเทอร์เซอร์แก๊สได้รับการติดตามสังเกตการณ์ในห้องน้ำหลักห้องอื่น ๆ โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างและติดตามสังเกตการณ์ชนิด **24-channel multipoint sampler and a photoacoustic gas monitor (Innova 1412i and 1409; LumaSense Technologies)**
 นอกจากนี้ยังมีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองพลศาสตร์ของไหลของอากาศ โดยใช้ซอฟต์แวร์ทางการค้ารุ่น **Ansys Fluent 16.0** ในการประมาณแรงดันอากาศในห้องน้ำด้วย
 เมื่ออ้างอิงถึงการค้นพบในการระบาดของโรคซาร์ที่คอนโดมิเนียมมอเมยการ์เต็นส์ในปี พ.ศ. 2546 (**17**)
 เราคาดว่าแอ่งก้นกลืนตะแกรงระบายน้ำทิ้งที่พื้นบางจุดน่าจะแห้งเพราะว่าผู้อยู่อาศัยไม่ได้มีการเติมน้ำบ่อย ๆ
 เรายังได้ทำการสำรวจทางโทรศัพท์เกี่ยวกับอุปนิสัยในการใช้อ่างอาบน้ำในแฟลตห้องหมายเลข **02**
 และพบว่าอ่างอาบน้ำจำนวนหนึ่งน่าจะต้องมีแอ่งก้นกลืนที่แห้งไม่มีน้ำขังอยู่
 เราจึงได้ทำการเปรียบเทียบรูปแบบการกระจายของการติดเชื้อมีค่าความเข้มข้นของเทอร์เซอร์แก๊สที่วัดผ่านตะแกรงระบายน้ำทิ้งที่พื้นและที่อ่างอาบน้ำที่แห้งไม่มีน้ำขังในอพาร์ทเมนต์ห้องหมายเลข **02** ที่เรียงตัวตรงกันหรือซ้อนกันในแนวตั้ง
 ([ภาพที่ 1](#))

บทบาทของแหล่งเงินทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัย

แหล่งเงินทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยไม่ได้มีบทบาทใด ๆ ในการออกแบบ การดำเนินการ และการตรวจวิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัยนี้ หรือการตัดสินใจในการส่งต้นฉบับบทความผลงานการศึกษาวิจัยเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่

ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย

โครงการที่อยู่อาศัยแห่งนี้ประกอบไปด้วยแฟลตจำนวน 3336 ยูนิต โดยมีผู้อยู่อาศัยจำนวนทั้งสิ้น 5800 คน และตั้งอยู่ท่ามกลางกลุ่มอาคารที่อยู่อาศัยที่สูงระฟ้าจำนวน 30 หลัง ลำดับเหตุการณ์และการตรวจสอบหาความจริงของเราที่ตามมาภายหลัง รวมทั้งเส้นโค้งการระบาดสำหรับเมืองกว้างโจวได้มีการสรุปไว้ในรูปภาพเพิ่มเติม ภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2 ระหว่างช่วงเวลาที่สงสัยว่ามีการติดเชื้อ (ตั้งแต่ 24 มกราคม ถึง 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563) กระแสลมส่วนใหญ่ทั่วไปเป็นลมฝ่ายเหนือ ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ย 1.5 เมตรต่อวินาที (รูปภาพเพิ่มเติม ภาพที่ 3) ในช่วงเวลาที่มีการติดเชื้อตึก X มีผู้อยู่อาศัยจำนวน 202 คน ในจำนวน 57 ครอบครัวและมีแฟลตที่ว่างอยู่จำนวน 26 ยูนิต (สำหรับรายละเอียดดูจากตารางเพิ่มเติมตารางที่ 1) มีลิฟต์สาธารณะ ล็อบบี้และระเบียงเชื่อมต่อแฟลตแต่ละยูนิตในแต่ละชั้น แฟลตหมายเลข 02 แต่ละยูนิตมีห้องน้ำ 2 ห้อง

ตำแหน่งที่ตั้งของครอบครัวที่ติดเชื้อและครอบครัวที่ไม่ติดเชื้อ รวมทั้งตัวอย่างสิ่งแวดล้อมสังเกตได้จากการสรุปไว้ในตาราง (สำหรับรายละเอียดดูจากรูปภาพเพิ่มเติมภาพที่ 1 และตารางเพิ่มเติมตารางที่ 2 ถึง 4) เส้นโค้งการระบาดสำหรับตึก X ได้แสดงไว้ในรูปภาพเพิ่มเติมภาพที่ 1. A ครอบครัวที่ติดเชื้อทั้งหมดมาจากแฟลตห้องหมายเลข 02 ที่เรียงตัวตรงกันหรือซ้อนกันในแนวตั้ง (ยูนิตที่ 1502 ยูนิตที่ 2502 และยูนิตที่ 2702) ครอบครัว A ในยูนิตที่ 1502 เป็นครอบครัวแรกที่ติดเชื้อโดยที่มีผู้สูงอายุ 2 คนที่มีไข้และอาการไอในวันที่ 26 มกราคม ตามมาด้วยสมาชิกในครอบครัว 3 คนที่อายุน้อยกว่าเริ่มมีอาการในวันที่ 29 หรือ 30 มกราคม สมาชิกในครอบครัว

4 คนของครอบครัว A เคยเดินทางไปศูนย์กลางการระบาดในเมืองหวู่ฮั่น 14 วันก่อนวันที่เริ่มมีอาการครั้งแรก ส่วนสมาชิกคนที่ 5 เคยเดินทางไปเจียงซี พวกเขาเดินทางกลับกว่างโจวในวันที่ 24 มกราคม ส่วนครอบครัว B (ยูนิตที่ 2502) และ ครอบครัว C (ยูนิตที่ 2702) เป็นคู่สามีภรรยาวัยกลางคนทั้งสองครอบครัว และทั้งหมดนอนในห้องนอนหลัก ครอบครัว B เริ่มมีอาการครั้งแรกในวันที่ 1 กุมภาพันธ์ มีความเป็นไปได้มากกว่าพวกเขาติดเชื้อจากครอบครัว A ในขณะที่มีความเป็นไปได้หลากหลายสำหรับกรณีครอบครัว C ตัวอย่างเช่น คนที่ C1 ติดเชื้อจากสมาชิกในครอบครัว A หรือ B และคนที่ C2 ติดเชื้อจาก คนที่ C1 เป็นต้น

ตาราง. สรุปครอบครัวที่ติดเชื้อและครอบครัวอื่นในตึก X *

Flat Number	Family Members, n	Infected Members, n	Positive/Total Throat Swab Specimens, n/n	Positive/Total Environmental Samples (Date), n/n
1502	5	5	5/5	4/27 (12 February†) 1/1 (19 February‡)
2502	2	2	2/2	0/2 (14 February)
2702	2	2	2/2	0/9 (14 February)
Other flats	217 (including 24 staff)	0	0/217	1/134 (13–14 February§)

* Five samples from flat 1502 and 1 sample from flat 1602 were positive, and 5 of the 6 positive environmental samples were found in 2 master bathrooms.
† For 12 February, the 4 positive samples were as follows: 1 from the master bedroom with door handle, light switch, and air-conditioning remote control combined, and 3 from the master bathroom, including 1 from the mouthwash cup; 1 from the rubbish bin button; and 1 from the bathroom door handle, bathroom emergency phone, and tissue box cover (by the toilet) combined.
‡ For 19 February, the 1 positive sample was from the wash basin U-trap inner surface in the master bathroom.
§ For 13 February, the 1 positive sample was combined from the wash basin, faucet, and shower switch of flat 1602's master bathroom.

ตามการตรวจสอบหาความจริงด้านระบาดวิทยา ซึ่งดำเนินการโดยศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค (the Center for Disease Control and Prevention) ครอบครัว B และครอบครัว C ไม่มีประวัติการเดินทางหรือการสัมผัสใกล้ชิดกับผู้ป่วยที่ได้รับการยืนยันรายอื่น รวมทั้งสมาชิกในครอบครัว A ในปี พ.ศ. 2563 วันหยุดเทศกาลวันตรุษจีนเริ่มจากวันที่ 24 ถึง 30 มกราคม และครอบครัว B และครอบครัว C ได้พักอยู่กับบ้านเป็นส่วนใหญ่ ทั้ง 3 ครอบครัวนี้ไม่รู้จักกัน และพวกเขาก็ไม่เคยใช้ลิฟท์ร่วมกันในช่วงระยะเวลาที่มีความเป็นไปได้ของการติดเชื้อ ยิ่งไปกว่านั้นมีผู้อยู่อาศัยคนอื่น ๆ ในตึก X 3 คนที่เคยใช้ลิฟท์ร่วมกันกับสมาชิกครอบครัว A อย่างน้อยหนึ่งคน แต่ก็ไม่มีใครที่ติดเชื้อ ผู้อยู่อาศัยที่ใช้ลิฟท์หลังสมาชิกครอบครัว A ก็อาจจะมีการสัมผัสเชื้อผ่านโฟมไท์ (fomites)

หรืออากาศที่หมุนเวียนภายในลิฟท์
แต่ความเสี่ยงในการสัมผัสเชื้อสำหรับครอบครัวยุติที่ติดเชื้อและครอบครัวยุติที่ไม่ติดเชื้อ
ก็ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมากมาย ตัวอย่างเช่น
ความเสี่ยงในการสัมผัสเชื้อจากการใช้ลิฟท์นาน 30 นาทีสำหรับครอบครัวยุติ B
ครอบครัวยุติ C และ ครอบครัวยุติอื่น ๆ จำนวน 54 ครอบครัวยุติ คือ 3.0, 16.0 และ 5.4
คนครั้งต่อครอบครัวยุติตามลำดับ ([ตารางเพิ่มเติมตารางที่ 6](#))
นอกจากนี้สมาชิกครอบครัวยุติ A มีการสวมหน้ากากเกือบทุกครั้งที่ใช้ลิฟท์
และไม่มีการตรวจพบอาร์เอ็นเอของไวรัส (viral RNA)
จากปั๊มกดที่ลิฟท์หรือที่ช่องอากาศเข้าภายในลิฟท์แต่อย่างใด

การตรวจตัวอย่างจากการป้ายคอตจากบุคคลอื่น ๆ จำนวน 217 คน
(ผู้อยู่อาศัยและเจ้าหน้าที่) ในตึก X ที่จัดเก็บระหว่างวันที่ 9 ถึง 11 กุมภาพันธ์
ทั้งหมดมีผลเป็นลบ ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมส่งตรวจจำนวน 5 ตัวอย่างจาก
ยูนิตที่ 1502 และ 1 ตัวอย่างจากยูนิตที่ 1602 (ว่างไม่มีผู้อาศัยเกิน 3
เดือนก่อนการระบาด) มีผลการตรวจเป็นบวก ([ตาราง](#))
ในบรรดาตัวอย่างสิ่งแวดล้อมส่งตรวจจำนวนทั้งสิ้น 166
ตัวอย่างและตัวอย่างอากาศส่งตรวจจำนวนทั้งสิ้น 7
ตัวอย่างที่เก็บจากแฟลตห้องหมายเลข 02 จำนวน
11 ยูนิตและจากพื้นที่สาธารณะตั้งแต่วันที่ 11 ถึง 14 กุมภาพันธ์
ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมส่งตรวจจากพื้นผิวจำนวนทั้งสิ้น 60 ตัวอย่างและตัวอย่างอากาศจำนวน
4 ตัวอย่างที่เก็บจากพื้นที่สาธารณะอื่น ๆ ของตึก X จากลิฟท์
ตะแกรงระบายอากาศ
และช่องระบายอากาศบนหลังคาทั้งหมดมีผลการตรวจเป็นลบ
การที่ตัวอย่างที่มีผลการตรวจเป็นบวกล้วนมาจากบริเวณห้องน้ำหลัก ยกเว้น 1
ตัวอย่างที่มีผลการตรวจเป็นบวกที่มาจากห้องนอนหลักของยูนิตที่ 1502
ชวนให้คิดว่าอาจจะเป็นไปได้ว่าห้องน้ำหลักเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสเชื้อ

มีการใช้ระบบท่อคู่สำหรับการระบายน้ำเสียในตึก X
โดยที่มีท่อสีดำและท่อสีเทาและช่องระบายอากาศแยกกันเป็น 2
ชุดในห้องน้ำหลักและห้องน้ำแขกแต่ละห้อง ซึ่งหมายความว่า บรรดาห้องน้ำหลัก
ที่เรียงตัวตรงกันหรือซ้อนกันในแนวตั้งในแฟลตห้องหมายเลข 02
มีการเชื่อมต่อกันโดยผ่านทางท่อระบายน้ำเสียและช่องระบายอากาศพวกนี้
อพาร์ทเมนต์แต่ละยูนิตมีอ่างอาบน้ำในห้องน้ำหลัก

แต่ในห้องน้ำแขกไม่มีอ่างอาบน้ำ

ในห้องน้ำหลักมีกับดักรูปตัวยูทำหน้าที่เป็นอ่างกันกลิ่นสำหรับอ่างล้างหน้า

ตะแกรงระบายน้ำทิ้ง โถส้วมและอ่างอาบน้ำ

อ่างกันกลิ่นในกับดักรูปตัวยูโดยทั่วไปมีความลึก 75

มิลลิเมตรและคาดว่าจะแห้งไปภายใน 30

วันหรือน้อยกว่านั้นในสภาพอากาศแห้งหากว่าไม่มีการเติมน้ำลงไป

การสำรวจทางโทรศัพท์ ([ตารางเพิ่มเติมตารางที่ 5](#))

เปิดเผยให้เห็นว่าครอบครัวผู้อยู่อาศัยใน 11 ยูนิตจากทั้งหมด 16

ยูนิตของแฟลตห้องหมายเลข 02 รวมทั้งครอบครัวที่ติดเชื้อของยูนิตที่ 2502

และยูนิตที่ 2702 โดยปกติไม่ใช้อ่างอาบน้ำในห้องน้ำหลัก

ซึ่งชวนให้คิดว่าอ่างกันกลิ่นสำหรับอ่างอาบน้ำเหล่านี้จะแห้งหมดแล้วเช่นกัน

บังเอิญโชคร้ายที่เราไม่สามารถระบุชี้ชัดว่าอ่างกันกลิ่นแห้งไปหมดแล้วจริง ๆ

หรือไม่ในยูนิตที่ 2502 และยูนิตที่ 2702

เพราะว่าการรณรงค์การฆ่าเชื้อที่เกิดขึ้นทันทีภายหลังมีการพบผู้ป่วยได้ทำลาย

หลักฐานในแฟลตเหล่านั้นไปหมด

เพื่อที่จะตรวจสอบความเป็นไปได้ว่าละอองลอยชีวภาพเข้าสู่ห้องน้ำโดยผ่านทาง
ท่อระบายน้ำทิ้ง

เราจึงได้ทำการปล่อยเทอร์เซอร์แก๊สเข้าสู่ท่อระบายน้ำทิ้งสี่ตำแหน่งทางโถส้วมใน

ยูนิตที่ 1502 อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที เมื่อเวลา 13.00 น. ของวันที่ 21

กุมภาพันธ์ ในระหว่างที่ตึก X ยังคงอยู่ในช่วงการกักตัว

โดยประตูหน้าต่างของห้องน้ำหลักในยูนิตที่ 1502 ยูนิตที่ 1602 ยูนิตที่ 2102

ยูนิตที่ 2502 และยูนิตที่ 2702 เปิดทิ้งไว้

มีการตรวจพบค่าความเข้มข้นของเทอร์เซอร์แก๊สในระดับที่มีความสำคัญในแฟลต

ทุกยูนิตที่เราติดตามสังเกตการณ์ คือ ยูนิตที่ 1602

(ที่ท่อระบายน้ำทิ้งจากอ่างอาบน้ำและที่ตะแกรงระบายน้ำทิ้งเท่ากับ 559 พีพีเอ็ม

และ

94 พีพีเอ็ม) ยูนิตที่ 2102 (11 พีพีเอ็ม และ 10 พีพีเอ็ม) ยูนิตที่ 2502

(27 พีพีเอ็ม และ 20 พีพีเอ็ม) และยูนิตที่ 2702 (597 พีพีเอ็ม และ 587 พีพีเอ็ม)

นอกจากนี้ยังตรวจพบเทอร์เซอร์แก๊สที่รั่วซึมออกมาในยูนิตที่ 802 (1119 พีพีเอ็ม

ที่ตะแกรงระบายน้ำทิ้ง)

ในการทดสอบแยกต่างหากเมื่ออ่างกันกลิ่นของแฟลตชั้นสูง ๆ กว่ามีน้ำขังอยู่

ผลที่ได้เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าท่อระบายน้ำทั้งในตึก X

อาจจะเป็นเส้นทางการแพร่กระจายของละอองลอยชีวภาพระหว่างแฟลตเหล่านั้น ความแตกต่างของความเข้มข้นที่ตรวจพบอาจจะเป็นผลมาจากแรงดันอากาศที่แตกต่างกันซึ่งได้รับอิทธิพลจากกระแสลมและตำแหน่งที่ตั้งของแฟลตยูนิตนั้น ๆ รวมทั้งจากลักษณะทางเรขาคณิตของท่อระบายน้ำทั้ง [รูปภาพเพิ่มเติมภาพที่ 4](#) แสดงให้เห็นถึงความผันแปรตามแนวตั้งของความดันลบภายนอกห้องน้ำหลักของแฟลตห้องหมายเลข 02 อันเนื่องมาจากกระแสลม

แต่ละครอบครัวมีการตกแต่งห้องน้ำของตนเองและความแตกต่างกันในการเชื่อมต่อท่อและกับดักแอ่งกันกลิ่นอาจนำไปสู่การสูญเสียความดันที่แตกต่างกัน สำหรับการไหลของแก๊สในระบบท่อระบายน้ำทั้ง

การอภิปราย

ข้อมูลทางด้านระบาดวิทยาและสิ่งแวดล้อมของเราบ่งชี้ว่าสาเหตุที่มาของการติดเชื้อของผู้ป่วยในแฟลตยูนิตที่ 2502 และอาจจะเป็นไปได้ว่าผู้ป่วยในแฟลตยูนิตที่ 2702 ด้วย มีความเป็นไปได้ว่าน่าจะมาจากห้องน้ำหลักของแฟลตยูนิตที่ 1502 และมีความเป็นไปได้ว่าละอองลอยจากอุจจาระที่ปนเปื้อนเชื้อไวรัสน่าจะมาจากท่อระบายน้ำทั้งในแนวตั้งที่เกี่ยวข้องระหว่างการกดชักโครกภายหลังการใช้งานโดยผู้ป่วยติดเชื้อรายแรก ๆ ยูและคณะ (17) พบว่าปริมาณละอองลอยชีวภาพจำนวนมากเกิดในท่อระบายน้ำทั้งในแนวตั้งตามตึกสูงระฟ้าที่มีลักษณะคล้าย ๆ กัน ซึ่งเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์หรือปฏิกิริยาทางไฮดรอลิกภายหลังจากที่ผู้ป่วยติดเชื้อรายแรกกดชักโครกในห้องน้ำในระหว่างการระบาดของโรคซาร์ที่คอนโดมิเนียมอะมอยการ์เด็นส์ในปี พ.ศ. 2546 ถึงแม้ว่าจำนวน ขนาด และความเข้มข้นของเชื้อไวรัสในละอองลอยชีวภาพเหล่านี้ยังคงไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดก็ตาม น้ำเสียจากห้องสุขาอาจจะปนเปื้อนอุจจาระ ปัสสาวะและเสมหะหรือน้ำมูกจากผู้ป่วยติดเชื้อรายแรก ๆ พบว่าร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 49.5 ของผู้ป่วยโรคโควิด 19 มีอาการอุจจาระร่วง (11) และมีการตรวจพบอาร์เอ็นเอของเชื้อไวรัส (viral RNA) ในตัวอย่างอุจจาระของผู้ป่วยด้วย (7, 8) นอกจากนี้ยังมีรายงานการตรวจพบเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2)

ในตัวอย่างส่งตรวจจากทวารหนักโดยช่างและคณะ (12)

ผู้ซึ่งยังพบว่าตัวอย่างส่งตรวจจากทวารหนักมีผลการตรวจเป็นบวกมากกว่า
ในตัวอย่างส่งตรวจจากช่องปากในระยะท้าย ๆ ของการติดเชื้อ

ยิ่งไปกว่านั้นมีการแยกเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2)

จากตัวอย่างอุจจาระโดยนักวิจัยในประเทศจีน (9)

ซึ่งเป็นการยืนยันการมีอยู่ของเชื้อไวรัสที่สามารถอยู่รอดได้ในอุจจาระของผู้ป่วย
โควิด 19 และความสามารถในการติดเชื้อที่เป็นไปได้

มีการรายงานเกี่ยวกับความคล้ายคลึงกันอย่างมากของลำดับทางพันธุกรรม
ระหว่างเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2) และเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 1
(SARS-CoV-1)

รวมทั้งมีการตรวจพบเชื้อไวรัสจำนวนมากในตัวอย่างอุจจาระของผู้ป่วย
โรคซาร์ด้วย (21)

มีการสงสัยว่าสมาชิกครอบครัว A 3

คนที่อายุยังน้อยซึ่งนอนในห้องนอนหลักเป็นผู้ป่วยรายแรก ๆ

ที่แพร่เชื้อไปสู่ครอบครัว B คนที่ C1 และเป็นไปได้ว่าอาจจะรวมคนที่ C2 ด้วย
เมื่อผู้ป่วยรายแรกใช้ส้วมและกดชักโครกในห้องน้ำหลักของแฟลตยูนิตที่ 1502
ตะแกรงระบายน้ำทั้งที่พื้นหรือที่อ่างอาบน้ำที่แห้งในห้องน้ำนั้น

อาจจะทำให้ละอองลอยชีวภาพที่ปนเปื้อนเชื้อไวรัสสามารถรั่วไหลกลับคืนเข้าสู่
ห้องน้ำนั้น ([รูปภาพเพิ่มเติมภาพที่ 1, C](#)) รวมทั้งเข้าสู่ห้องอื่น ๆ

ที่เชื่อมต่อกับระบบท่อระบายน้ำทั้งด้วย

ความเป็นไปได้ที่ว่านี้ได้รับการสนับสนุนจาก 1

ตัวอย่างส่งตรวจจากพื้นผิวของห้องน้ำหลักในแฟลตยูนิตที่ 1602

ที่มีผลการตรวจเป็นบวกและได้รับการสนับสนุนเป็นบางส่วนจาก 4

ตัวอย่างส่งตรวจจากพื้นผิวของห้องน้ำหลักในแฟลตยูนิตที่ 1502

ที่มีผลการตรวจเป็นบวก และอาจจะรวมถึง 1

ตัวอย่างส่งตรวจจากพื้นผิวของห้องนอนหลักในแฟลตยูนิตเดียวกัน

ซึ่งก็มีผลการตรวจเป็นบวก

ตัวอย่างส่งตรวจที่มีผลการตรวจเป็นบวกเหล่านี้เก็บจากพื้นผิวที่มีการสัมผัสบ่อย
ๆ และจากพื้นผิวด้านในของก้นชักตู้เสื้อผ้าของอ่างล้างหน้าตามที่แจกแจงใน

[ตารางเพิ่มเติมตารางที่](#)

4 ตัวอย่างส่งตรวจที่มีผลการตรวจเป็นบวกจากแฟลตยูนิตที่ 1502

ยังชวนให้เชื่อว่ามือของผู้ป่วยรายแรก ๆ อาจจะมีการปนเปื้อนในระหว่างที่ใช้ส้วม
แต่ที่เราไม่อาจจะตัดความเป็นไปได้ของการสัมผัสกับละอองลอยสะสมที่กลับคืน
เข้าสู่ห้องน้ำจากตะแกรงระบายน้ำทิ้งที่แห้ง
นอกจากนี้ตัวอย่างส่งตรวจทั้งหมดจากพื้นที่สาธารณะอื่น ๆ
ล้วนมีผลการตรวจเป็นลบ

ปรากฏการณ์ดูด (อากาศ)

เข้าเช่นเดียวกันนี้อาจจะเกิดขึ้นในห้องน้ำหลักของแฟลตห้องหมายเลข 02

ยูนิตอื่น ๆ ถ้าหากว่าผู้อยู่อาศัยคนอื่น ๆ เช่นจากแฟลตยูนิตที่ 2502 หรือ 2702
บังเอิญอยู่ในห้องน้ำของเขาในเวลาเดียวกันกับที่ส้วมของผู้ป่วยรายแรกมีการกด
ชักโครก

พวกเขาอาจจะหายใจรับเอาละอองลอยชีวภาพที่ถูกดูดเข้าไปบางส่วนนี้ได้
ช่วงเวลาที่ชัดเจนแน่นอนที่ผู้ป่วยรายแรกใช้ห้องน้ำไม่เป็นที่แน่ชัด

แต่ว่าความเป็นไปได้ที่ 2 รอบครัวในแฟลตห้องหมายเลข 02

จะใช้ห้องน้ำในเวลาเดียวกันน่าจะมีย่อยมากโดยความรู้สึก

อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้ว่าละอองลอยชีวภาพที่มีขนาดเล็กมากพอสามารถ
ที่จะลอยตัวในอากาศในท่อระบายน้ำทิ้งและในช่องระบายอากาศได้นานนับเป็นชั่วโมง

และสามารถถูกดูดเข้าสู่ห้องน้ำอย่างต่อเนื่องเมื่อสภาพการณ์เงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง
เอื้ออำนวยตามที่อธิบายต่อไปจากนี้

การที่ละอองลอยชีวภาพมีการเคลื่อนไหวเป็นครั้งคราวในท่อระบายน้ำทิ้งและใน
ช่องระบายอากาศอาจจะจะเป็นผลมาจากปรากฏการณ์การลอยตัว (ในปล่อง)

จากการที่มีน้ำเสียดกลงไปหรือทั้งสองอย่าง

ปรากฏการณ์การลอยตัวนี้อาจจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความชื้นของอากาศใน
ท่อระบายน้ำทิ้งและในห้องน้ำมีความแตกต่างกัน

ท่อระบายน้ำทิ้งและช่องระบายอากาศของห้องน้ำหลักติดตั้งอยู่ภายในตัวอาคาร
คือในท่อสำหรับการบำรุงรักษาในตึก X

ความแตกต่างกันของอุณหภูมิและความชื้นแม้แต่เพียงเล็กน้อยก็จะทำให้เกิด

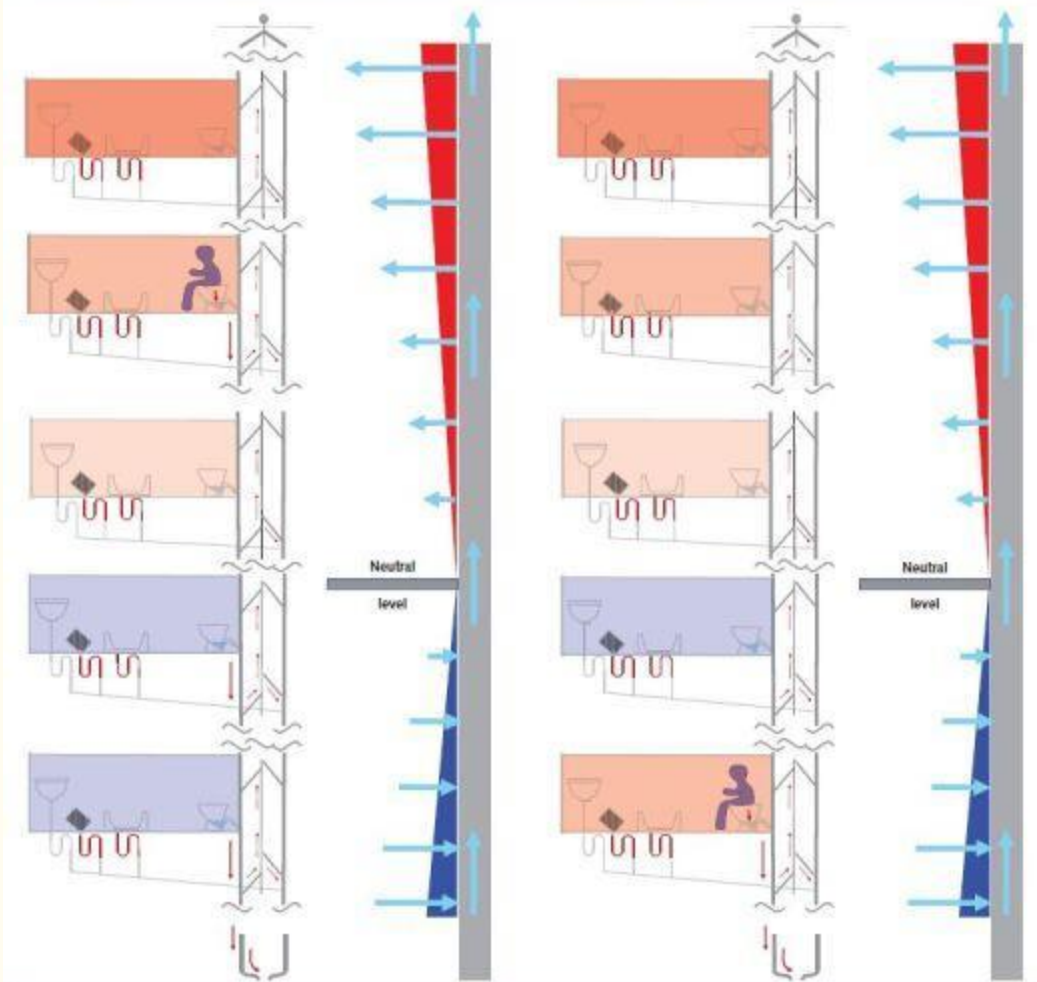
ปรากฏการณ์การลอยตัวในปล่องที่มากมายได้ เพราะว่า “ปล่อง” เหล่านี้

(ซึ่งก็คือช่องระบายอากาศและท่อระบายน้ำทิ้ง) มีความสูงถึงเกือบ 90 เมตร
(รูปภาพที่ 2)

อย่างไรก็ตามตำแหน่งที่แน่ชัดของจุดที่มีระดับเป็นกลางไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด

ถึงแม้ว่ามันอาจจะอยู่ใต้จุดกึ่งกลางความสูง
เพราะว่ามีการตรวจพบแก๊สที่รั่วซึมออกมาในแพลตฟอร์มที่ต่ำกว่ายูนิตที่ 1502 ด้วย
ระดับเป็นกลางหมายถึงจุดที่ความดันในห้องและความดันในห้องมีค่าเท่ากัน (22)

Figure 2. Illustration of the buoyancy (chimney) effect, with inflows into the vent at lower stories and outflows into the bathrooms at upper stories when the source bathroom is above (left) and below (right) the neutral level.



The red and blue chimney arrows indicate the flow of contaminated air in the drainage vents and branch pipes. Red shading of bathrooms indicates the infection risk for the occupants; the darker the shade, the higher the risk. Blue shading means no risk. The two drawings assume that all floor drain water seals were dried out. Left: Spatial infection pattern of the outbreak in the present study; the Heng Tai House outbreak (18), in which a 59-year-old man in flat 13 on the 34th floor was probably infected by 2 persons with confirmed COVID-19 who lived in flat 13 on the 32nd floor; the Luk Chuen House outbreak (19), in which 4 flats—710, 810, 1012, and 1112 on the seventh, eighth, 10th, and 11th floors, respectively—housing a total of 6 persons with secondary infection, were all linked to the index patient's flat—812 on the 8th floor—by interconnected vertical drainage pipes; and the Amoy Gardens outbreak (spread in flat 7, block E) (16). Right: No outbreak has been identified so far.

รูปภาพที่ 2.

ภาพประกอบการเกิดปรากฏการณ์การลอยตัวในปล่อง
ซึ่งอากาศไหลเข้าสู่ช่องระบายอากาศในแฟลตชั้นที่อยู่ต่ำกว่า
และไหลออกสู่ห้องน้ำในแฟลตชั้นที่อยู่สูงกว่าเมื่อห้องน้ำตันเหตุอยู่เหนือ (ซ้าย)
และใต้ (ขวา) จุดที่มีระดับเป็นกลาง

ลูกศรสีแดงและสีฟ้าในท่อน้ำชี้ให้เห็นถึงการไหลของอากาศที่มีการปนเปื้อนในท่อ
ระบายน้ำทั้งและในท่อน้ำสาขา
แถบแสงสีแดงของห้องน้ำบ่งบอกความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสำหรับผู้ใช้

เสี่ยงเข้มนักยั้งมีความเสี่ยงสูงมากขึ้น แถบแสงสีฟ้าหมายถึงไม่มีความเสี่ยง ทั้งสองภาพมีการสมมติว่าแ่งกันกลั่นตะแกรงระบายน้ำทั้งที่พื้นแห่งทั้งหมด **ซ้าย** รูปแบบการติดเชื่อเป็นหย่อม ๆ ของการระบาศในการศึกษาวิจัยปัจจุบัน ได้แก่ การระบาศที่คอนโดมิเนียมเฮงไต้เฮาส์ (18) ซึ่งชายวัย 59 ปีในแฟลตห้องหมายเลข 13 บนชั้นที่ 34 อาจจะติดเชื่อมาจาก 2 คนที่ได้รับการยืนยันว่าเป็นโรคโควิด 19 ซึ่งอาศัยอยู่ในแฟลตห้องหมายเลข 13 บนชั้นที่ 32 การระบาศที่คอนโดมิเนียมลักเซินเฮาส์ (19) ซึ่ง 4 แฟลต คือแฟลตหมายเลข 710 แฟลตหมายเลข 810 แฟลตหมายเลข 1012 และแฟลตหมายเลข 1112 บนชั้นที่ 7 ชั้นที่ 8 ชั้นที่ 10 และชั้นที่ 11 ตามลำดับ มีผู้อาศัยที่ติดเชื่อแบบทุติยภูมิทั้งหมด 6 ราย ทั้งหมดนี้มีความเชื่อมโยงกันกับแฟลตห้องหมายเลข 812 บนชั้น 8 ของผู้ป่วยรายแรก โดยผ่านทางท่อระบายน้ำทั้งในแนวตั้งที่เชื่อมโยงกัน และการระบาศที่คอนโดมิเนียมอะมอยการ์เด็นส์ (การระบาศที่แฟลตหมายเลข 7 บล็อก E) (16) ขวา จนถึงขณะนี้ยังไม่มีการระบาศ

นอกจากปรากฏการณ์การลอยตัวแล้ว

อัตราการไหลของอากาศจากการดูดสำหรับแฟลตแต่ละห้องยังขึ้นอยู่กับแรงดันลบในห้องน้ำ

แรงดันลบอาจจะเกิดจากการใช้พัดลมดูดอากาศหรือจากกระแสลมฝายเหนือซึ่งจะก่อให้เกิดกระแสตีกลับเมื่อห้องน้ำมีหน้าต่างเปิดออกทางด้านระเบียงตามข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทางโทรศัพท์ ([ตารางเพิ่มเติมตารางที่ 5](#))

เฉพาะผู้ที่อยู่อาศัยในแฟลตห้องหมายเลข 2502 และ แฟลตห้องหมายเลข 2702 เท่านั้นที่ไม่เปิดหน้าต่างห้องน้ำหลักเลย

และการใช้พัดลมดูดอากาศอาจจะทำให้เกิดแรงดันลบและทำให้มีการเสี่ยงมากขึ้นต่อการแพร่กระจายของละอองลอยที่ปนเปื้อนอนุจาะเมื่อเปรียบเทียบกับห้องน้ำหลักในแฟลตห้องอื่น ๆ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองพลศาสตร์ของไหลแสดงให้เห็นว่าแรงดันลบ

ในแฟลตอาจจะสูงถึง 16.8 ปาสกาล ([รูปภาพเพิ่มเติมภาพที่ 4](#))

แฟลตห้องหมายเลข 02 ที่อยู่บนชั้นสูง ๆ

ส่วนใหญ่ที่มีกับดักแ่งกันกลั่นแ่งอาจจะมีความเสี่ยงต่อการติดเชื่อใกล้เคียงกัน ถ้าความดันที่เกิดจากกระแสลมหรือจากพัดลมดูดอากาศมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อไม่มีปรากฏการณ์การลอยตัวในปล่อง

เมื่อปรากฏการณ์การดูดอากาศเข้านี้รวมเข้ากับปรากฏการณ์การลอยตัวใน
ปล่องชั้นบนสุดจะมี “การปนเปื้อน” มากที่สุด
ซึ่งหมายถึงความเข้มข้นที่วัดได้บนชั้นสูง ๆ นี้จะมีมากกว่า
ตัวอย่างสังเกตจริงที่มีผลการตรวจเป็นบวกในแฟลตห้องที่ 1602
ที่ไม่มีผู้อยู่อาศัยจนให้คิดว่ากระแสลมก่อให้เกิดแรงดันลบ
เพราะว่าอาจจะไม่มีการเปิดพัดลมดูดอากาศในเวลานั้นก็เป็นได้
มีความเป็นไปได้ว่าละอองลอยชีวภาพที่ถูกดูดเข้าสู่ห้องน้ำอาจจะสะสมตกค้างบน
พื้นผิวบางแห่งและต่อมาภายหลังได้รับการสัมผัสโดยผู้อยู่อาศัยและแพร่กระจาย
ไปยังพื้นผิวอื่น ๆ (23)

น่าเชื่อได้ว่าการเกิดละอองลอยชีวภาพของน้ำทิ้งที่ผสมกับปัสสาวะ อุจจาระ
และเสมหะน้ำมูกที่เกิดจากผู้ป่วยรายแรก ๆ
เป็นแหล่งที่มาของละอองลอยชีวภาพที่ติดเชื่อในการระบาดนี้
การเกิดละอองลอยที่ปนเปื้อนอุจจาระในท่อระบายน้ำทิ้งได้รับการสนับสนุนจากตัว
อย่างสังเกตจริงที่มีผลการตรวจเป็นบวกซึ่งเก็บจากภายในกับดักรูปถ้วยของอ่างล้าง
หน้าในห้องน้ำหลักซึ่งตรวจพบล่าช้าไปจนถึงวันที่ 19 กุมภาพันธ์
ละอองลอยชีวภาพเหล่านี้อาจจะเข้าสู่ห้องน้ำหลักบางห้องผ่านทางตะแกรงระบาย
น้ำทิ้งที่พื้นและที่อ่างอาบน้ำที่แห้งไม่มีน้ำขัง
ละอองลอยชีวภาพเหล่านี้เกิดขึ้นระหว่างการกดชักโครก
และต่อมาได้แพร่กระจายผ่านทางท่อระบายน้ำทิ้งและช่องระบายอากาศโดย
มีการเจือจางน้อยมากที่สุด
ปรากฏการณ์นี้แตกต่างจากการฟุ้งออกมาเป็นทางหรือเป็นกลุ่มควันในที่เปิดโล่ง
ที่ซึ่งความเข้มข้นของละอองฝอยที่ปนเปื้อนเชื้อไวรัสจะลดลงอย่างรวดเร็วขณะที่
ระยะห่างจากผู้ติดเชื้อเพิ่มขึ้น เพราะว่ามีผลผสมกับอากาศในห้อง
ดังนั้นความเข้มข้นของเชื้อไวรัสในท่อระบายน้ำทิ้งจึงสามารถยังคงอยู่ในระดับสูง
มาก แม้แต่ภายหลังจากที่เชื้อไวรัสนั้นมีการเดินทางเป็นระยะทางไกล ๆ
ละอองลอยชีวภาพเหล่านี้อาจจะถูกสูดเข้าไปโดยตรงโดยการหายใจเข้าของผู้ใช้
ห้องน้ำ หรืออาจจะตกค้างสะสมบนพื้นผิวห้อง
ซึ่งอาจจะได้รับการสัมผัสโดยผู้ใช้ห้องน้ำในภายหลัง
จากการที่มีตัวอย่างสังเกตจริงจากพื้นผิวของห้องน้ำหลัก 2 ห้อง (ยูนิตที่ 1502
และยูนิตที่ 1602) ซึ่งมีผลการตรวจเป็นบวก
จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีการปนเปื้อนละอองลอยที่พื้นผิวและการติดเชื้อผ่านเยื่อ

ผิวในช่องจมูกและช่องปากต่อมาภายหลังมากกว่าจากการหายใจเข้า
ไม่การหายใจเข้าก็การแพร่เชื้อผ่านละอองลอยปนเปื้อนอุจจาระเหล่านี้ทางโพไม่ที่
นี้แหละที่เป็นเส้นทางการติดเชื้อทางระบบทางเดินหายใจ

การตรวจสอบหาความจริงกรณีการระบาดของโรคซาร์ที่คอนโดมิเนียมอะมอย
การ์เดินส์ในฮ่องกงเมื่อปี พ.ศ. 2546 (17) ก็ยังชวนให้เชื่อว่าเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส
(SARS-CoV)

มีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายในรูปแบบละอองลอยที่ปนเปื้อนอุจจาระที่มีเชื้อไวรัส
ผ่านทางพัดลมดูดอากาศหรือช่องระบายอากาศ

เส้นทางการติดเชื้อทางระบบทางเดินหายใจจากอุจจาระยังชวนให้เชื่อว่ามันเป็น
สาเหตุกรณีการระบาดของโรคซาร์ที่คอนโดมิเนียมอะมอยการ์เดินส์ในฮ่องกงเมื่อ
ปี พ.ศ. 2546 (16)

การค้นพบเหล่านั้นสนับสนุนข้อสรุปการศึกษาวิจัยของเราโดยอ้อม
ยังมีการระบาดของโรคโควิด 19 กรณีอื่น ๆ อีก 2 กรณี ที่เกี่ยวข้องกับแฟลต
ที่เรียงตัวตรงกันหรือซ้อนกันในแนวตั้งซึ่งก็เกิดขึ้นในฮ่องกงเช่นเดียวกัน

กรณีแรกเกิดขึ้นที่คอนโดมิเนียมเฮงไต้เฮาส์ในโครงการฟูเฮงเอสเตท (18)
ซึ่งชายวัย 59 ปี ในแฟลตห้องหมายเลข 13 ของชั้นที่ 34 อาจติดเชื้อจากผู้ป่วย
2 รายที่ได้รับการยืนยันว่าเป็นโรคโควิด 19 ซึ่งอาศัยในแฟลตห้องหมายเลข 13
ของชั้นที่ 32 การระบาดกรณีที่ 2

เกิดขึ้นที่คอนโดมิเนียมลักซันเฮาส์ในโครงการเล็คเคินเอสเตท (19) ซึ่งมี 4
แฟลตที่ผู้อยู่อาศัยมีการติดเชื้อคือห้องหมายเลข 710 ห้องหมายเลข 810
ห้องหมายเลข 1012 และ ห้องหมายเลข 1112 ของชั้นที่ 7 ชั้นที่ 8 ชั้นที่ 10
และชั้นที่ 11 ตามลำดับ

ทั้งหมดมีความเชื่อมโยงกันกับแฟลตของผู้ป่วยรายแรกจากแฟลตห้องหมายเลข
812 บนชั้นที่ 8 โดยผ่านทางท่อระบายน้ำทิ้งในแนวตั้งที่เชื่อมโยงกัน

กรณีนี้เกี่ยวข้องกับผู้ป่วย 6 รายที่ติดเชื้อแบบทุติยภูมิ
อย่างไรก็ตามในการระบาดทั้งหมดนี้รวมทั้งการระบาดที่เราทำการศึกษาในที่นี้
เราไม่มีหลักฐานโดยตรงของการมีอยู่ของละอองลอยชีวภาพที่มีเชื้อไวรัสจาก
อุจจาระในระบบท่อน้ำทิ้ง

ยกเว้นตัวอย่างส่งตรวจจากพื้นผิวของห้องน้ำซึ่งมีผลการตรวจเป็นบวก

ดังนั้นการระบาดของโรคโควิด 19 ในกรณีของตึก X
จึงอาจจะมีสาเหตุมาจากการแพร่กระจายของละอองลอยที่ปนเปื้อนอุจจาระ

ทั้งนี้โดยอ้างอิงจากหลักฐานแวดล้อม
เพื่อเป็นการป้องกันการแพร่กระจายเช่นที่ว่านี้
เราสามารถควบคุมละอองลอยชีวภาพที่จุดกำเนิดได้
โดยการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการรั่วไหลใด ๆ
ของอากาศที่เป็นไปได้จากระบบการระบายน้ำทิ้งไปสู่ที่ว่างภายในอาคาร
ยกตัวอย่างเช่น เพื่อที่จะปิดกั้นการแพร่กระจายของละอองลอยที่ปนเปื้อนอุจจาระ
กับดักต่าง ๆ ในท่อระบายน้ำทิ้ง เช่น กับดักรูปตัวยูไม่ควรถูกปล่อยทิ้งให้แห้ง
เป็นที่รับรู้กันว่าสุขอนามัยที่เพียงพอในระบบระบายน้ำเสียตามหลักสุขาภิบาลสาม
ารกป้องกันการแพร่กระจายโรคอุจจาระร่วงผ่านทางระบบทางเดินอาหาร
การศึกษาวิจัยของเรายังเป็นการแนะนำอ้อม ๆ
ถึงความสำคัญของการระบายอากาศและสุขอนามัยในห้องน้ำ
เพราะว่าการกดชักโครกในห้องน้ำอาจทำให้เกิดละอองลอยที่ปนเปื้อนอุจจาระ
(24) ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบบทบาทของละอองลอยที่ปนเปื้อน
อุจจาระในการแพร่กระจายเชื้อซาร์โคโรนาไวรัส 2 (SARS-CoV-2)