

นิพนธ์ต้นฉบับ

การพัฒนาการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางทันตกรรมด้วยห้องความดันลบ

อานันท์ จักรอิศราพงศ์

โรงพยาบาลค่ายขุนเจียงธรรมิกราช

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์โควิด 19 ในปัจจุบัน เกิดผลกระทบในวงกว้างกับประชากรโลกทุกวงการ เนื่องจากเป็นโรคระบาดที่สามารถติดต่อได้ไวจากคนหนึ่งสู่คนหนึ่งและโรคนี้ยังมียังอันตรายถึงแก่ชีวิต การรักษาทางทันตกรรม โดยเฉพาะการทำศัลยกรรมช่องปากจะต้องใช้หัวกรอในการกรอตัดฟัน กรอตัดกระดูก ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายทั้งน้ำลาย เลือด และสารคัดหลั่งต่างๆ ของผู้ป่วย ทำให้มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อ และเหตุการณ์ทางทันตกรรมอื่นๆ ก็มีการใช้หัวกรอความเร็วสูงในการรักษา ซึ่งก็ยังสามารถสร้างละอองฝอยและละอองลอยออกมาจำนวนมาก โดยมีรายงานว่าอาชีพทันตแพทย์มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโคโรนาไวรัส 19 มากที่สุด ผู้วิจัยจึงประสงค์คิดค้นวิธีที่จะช่วยลดการแพร่กระจายเชื้อโดยได้คิดสิ่งประดิษฐ์ขึ้น โดยใช้สิ่งของที่หาได้ง่ายและสามารถสร้างได้ไม่ยาก โดยสามารถนำมาใช้งานได้จริงเพื่อลดการแพร่กระจายของเชื้อให้ได้มากที่สุด ซึ่งสิ่งประดิษฐ์มีกล่องลดการฟุ้งกระจาย (Acrylic box), พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย (Plastic-cover suction) และห้องความดันลบ (Negative Pressure room) โดยใช้ตัววัด 6 อย่างในการศึกษาคือ ละอองฝอย ละอองลอย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การไหลเวียนของอากาศ และความดันอากาศ

จากการวิจัยพบว่า การใช้กล่องลดการฟุ้งกระจายอย่างเดียวจะช่วยลดการฟุ้งกระจายของละอองฝอย ส่วนการใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลายจะช่วยลดการฟุ้งกระจายของละอองลอย แต่ก็ยังมีละอองลอยแพร่กระจายออกจากบริเวณที่ทำหัตถการทางทันตกรรมอย่างมาก ซึ่งการใช้ห้องความดันลบจะช่วยให้ละอองลอยถูกดูดเข้าไปที่เครื่องดูดอากาศออกนอกอาคาร และความดันลบที่เหมาะสมยังช่วยให้ห้องมีความดันที่ต่ำกว่านอกบริเวณทำหัตถการส่งผลให้ไม่มีละอองฝอยแพร่กระจายออกนอกบริเวณห้องความดันลบที่ทำหัตถการ โดยจะถูกดูดเข้าเครื่องดูดอากาศออกทั้งหมด ซึ่งจะผ่านแผ่นกรอง Hepa และ UVC ทำให้อากาศที่ถูกปล่อยออกไปสู่สาธารณะเป็นอากาศที่สะอาด

ดังนั้นการใช้สิ่งประดิษฐ์ร่วมกันทั้ง 3 อย่างจะช่วยลดทั้งละอองฝอย ละอองลอย และช่วยให้มีการไหลเวียนอากาศที่ดี และห้องจะมีความดันลบที่พอเหมาะสมเพื่อป้องกันละอองลอยแพร่กระจายออกจากบริเวณทำหัตถการทางทันตกรรม

คำสำคัญ: ● ห้องความดันลบ ● การควบคุมการแพร่กระจายเชื้อ ● ทันตกรรม ● ศัลยกรรมช่องปาก

เวชสารแพทย์ทหารบก 2564;74(2):97-112.

Original article**The development of diffusion control in dental procedure with negative pressure room**

Arnun Jukisalapong

Fort Khun Chuang Thammikarat Hospital

Abstract:

The COVID-19 pandemic is an ongoing health crisis affecting people worldwide. Transmissions can occur rapidly between people, and the disease can be lethal. In Dentistry, especially, oral surgery using instruments for cutting teeth and bones can produce large amounts of droplets, blood, and aerosols from patients, concerning safety of both patients and healthcare personnel. Other dentistry procedures also involve the use of high-speed cutting instruments which similarly generate large amounts of droplets and aerosols. Previous reports have indicated that dentists held the highest risk of transmission among any other healthcare providers. This research aims to lower transmission risks by inventing new tools that use easy-to-obtained parts, are simple to build, and are practical in terms of minimizing the transmissions. These inventions consist of an acrylic box, a plastic-cover suction, and a negative pressure room for dental procedures. Six parameters were measured: droplet, aerosol, temperature, humidity, pressure, and air-change in the dental room.

It was found that using an acrylic box alone can decrease the droplet diffusion, and using a plastic-cover suction alone can also decrease aerosol diffusion, but a large amount of aerosols are still generated by dentistry procedures. Using a negative pressure room can enable aerosols to be transferred outside the building via the air suction system. The appropriate negative pressure also ensures that the air pressure in the dental room is lower than outside, thus no aerosols are released out of the dental room and all aerosols are transferred via the air suction system. The air will flow past the Hepa filter and UVC, ensuring that only fresh air is released to the public.

In conclusion, the researcher found that using all three inventions together can decrease droplets and aerosols, improve the quality of airflow, and create the appropriate negative pressure to prevent the release of aerosols from the dental area.

Keywords: ● Negative pressure room ● Diffusion control ● Air change ● Dental ● Oral surgery

RTA Med J 2021;74(2):97-112.

Received 26 September 2020 Corrected 11 February 2021 Accepted 26 May 2021

Corresponding Author: Arnun Jukisalapong, DDS, PGD, MPH, MBA, DBA, FICD, FADI, FPFA, Fort Khun Chuang Thammikarat Hospital,

E-mail: chopinconcerto@gmail.com

บทนำ

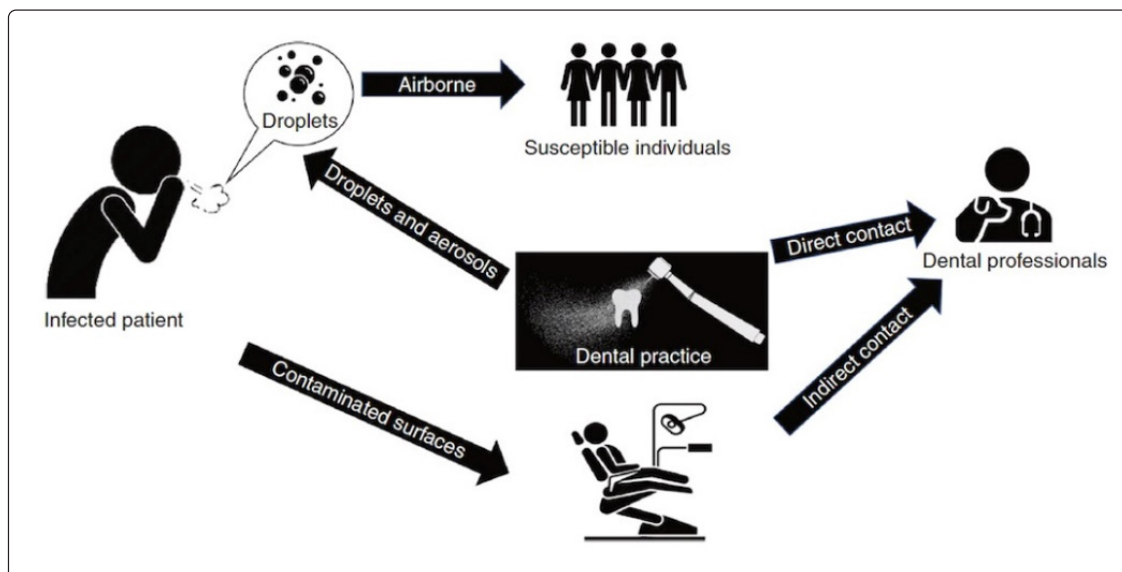
จากสถานการณ์โควิด 19 ในปัจจุบันมีผลกระทบในวงกว้างต่อประชากรทั่วโลก เนื่องจากเป็นโรคระบาดที่สามารถติดต่อได้ไวจากคนหนึ่งสู่คนหนึ่ง และโรคนี้ยังมียังมีอันตรายถึงแก่ชีวิต¹ ซึ่งโรคโควิด 19 เกิดจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 (SARS-CoV-2) เป็นตระกูลของไวรัสที่เกิดอาการป่วยตั้งแต่โรคไข้หวัดธรรมดาไปจนถึงโรคที่มีความรุนแรงมาก เช่น โรคระบบทางเดินหายใจตะวันออกกลาง (MERS-CoV) และโรคระบบทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง (SARS-CoV) เป็นต้น ซึ่งเป็นสายพันธุ์ใหม่ที่ไม่เคยพบมาก่อนในมนุษย์ก่อให้เกิดอาการป่วยระบบทางเดินหายใจในคน และสามารถแพร่เชื้อจากคนสู่กันได้โดยเชื้อไวรัสนี้พบครั้งแรกในการระบาดในเมืองอู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย์ สาธารณรัฐประชาชนจีน² ในช่วงปลายปี 2019 ซึ่งอาการทั่วไป ได้แก่ อาการระบบทางเดินหายใจ มีไข้ ไอ หายใจถี่ หายใจลำบาก ในกรณีมีอาการรุนแรงมาก อาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อน เช่น ปอดบวม ปอดอักเสบ ไตวาย หรืออาจเสียชีวิต ซึ่งการรักษาจะเป็นการรักษาแบบประคับประคองเพื่อบรรเทาอาการป่วยต่างๆ โดยปัจจุบันยังไม่มีวัคซีนป้องกันโรค²⁻⁴

การรักษาทางทันตกรรมเกี่ยวข้องกับช่องปากของผู้ป่วย โดยเฉพาะการทำคลีนิคศาสตร์ช่องปาก จะต้องใช้หัวกรอในการกรอตัดฟัน กรอตัดกระดูก ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของละอองฝอยและละอองลอยจำนวนมาก ซึ่งมีทั้งน้ำลาย เลือด และสารคัดหลั่งต่างๆ ของผู้ป่วย ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อ และยังมีเหตุการณ์ทางทันตกรรมอื่นๆ ที่ใช้หัวกรอความเร็วสูง เช่น ทันตกรรม

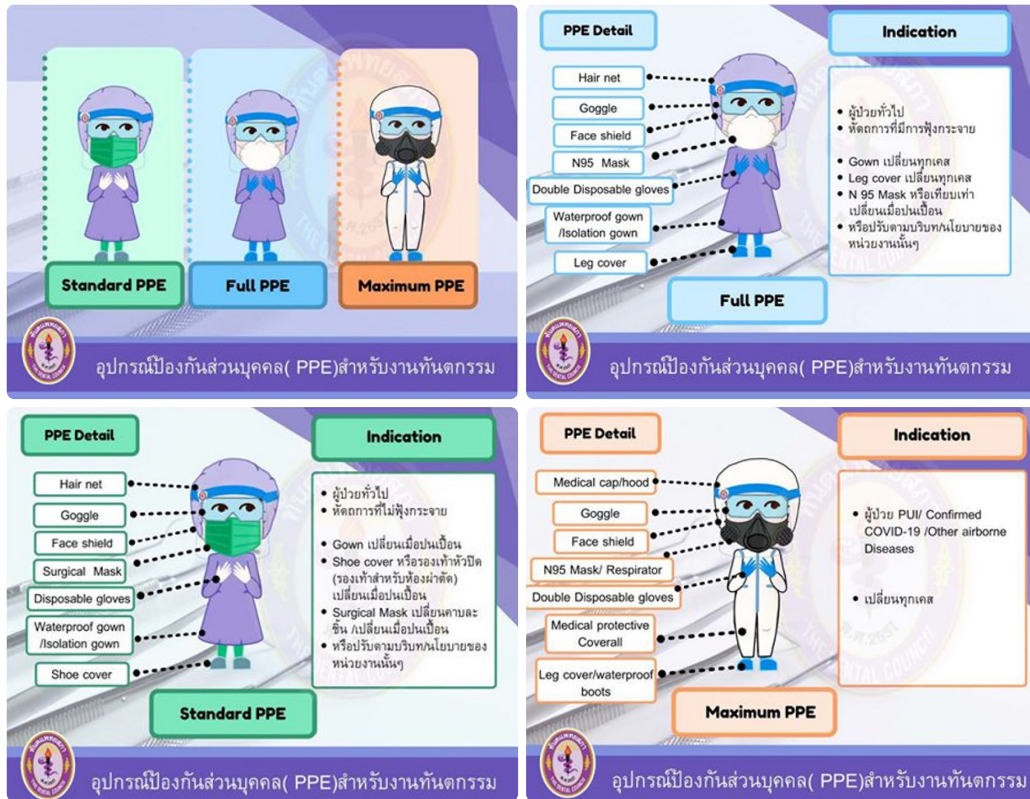
หัตถการ ทันตกรรมประดิษฐ์ ทันตกรรมจัดฟัน ทันตกรรมปริทันต์ สามารถสร้างละอองฝอยและละอองลอยออกมาจำนวนมากเช่นกัน ซึ่งการติดเชื้อโรคทางเดินหายใจจากคนหนึ่งสู่อีกคนหนึ่งสามารถติดต่อกันได้ง่าย ซึ่งผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรม หากมีติดเชื้อก็สามารถแพร่กระจายเชื้อได้ทั้งการไอที่สร้างละอองออกมา การรักษาทางทันตกรรมที่สร้างละอองฝอยและละอองลอยจากหัวกรอ การสัมผัสกับพื้นผิวต่างๆ ทำให้พื้นผิวนั้นมีเชื้อโรค หากผู้ไม่ติดเชื้อสัมผัสกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่มีการปนเปื้อนของเชื้อแล้วนำไปสัมผัสกับตา จมูก หรือปาก ก็มีโอกาสดูดเชื้อได้สูง^{4-7,11} (รูปที่ 1)

มีการแนะนำการล้างมือให้สะอาดโดยล้างด้วยสบู่จะลดความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อของผู้ป่วย^{12,22-23} ซึ่งเชื้อโคโรนาไวรัสสามารถมีชีวิตอยู่บนพื้นผิวได้เป็นเวลาดังแต่ไม่กี่ชั่วโมงจนถึงหลายวัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิว อุณหภูมิ ความชื้นของสิ่งแวดล้อมนั้นๆ จึงมีการแนะนำให้ล้างมือให้สะอาดอยู่เสมอ และมาเช็ดบนทุกพื้นผิวของห้องทันตกรรม ซึ่งในทุกๆ ห้อง ทุกๆ พื้นผิวที่ผู้ป่วยมาสัมผัส ถือว่าเป็นความเสี่ยงต่อการติดเชื้อทั้งหมด จึงได้แนะนำให้เพิ่มเติมให้ผู้ป่วยทางทันตกรรมใช้แอลกอฮอล์ในการทำความสะอาดมือใส่หน้ากากอนามัย และต้องมีระบบถ่ายเทอากาศที่ดีของอาคาร^{4,5}

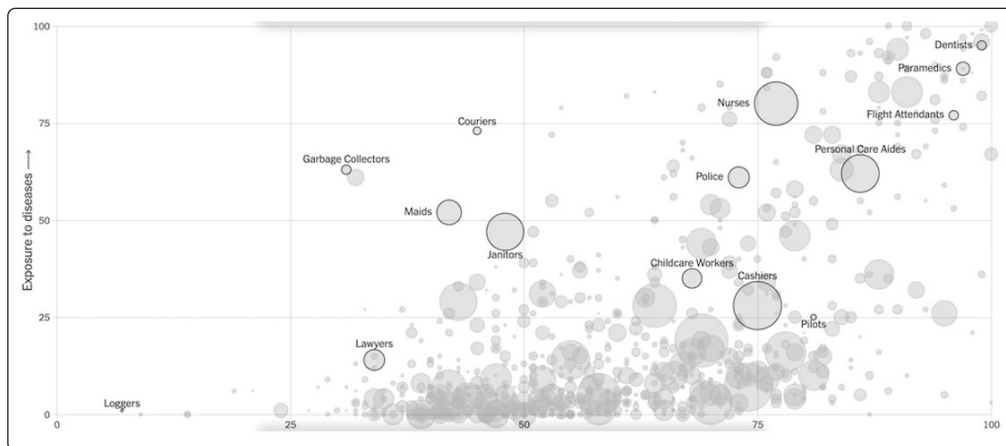
ทันตแพทยสภาแห่งประเทศไทยได้ประกาศแนวทางการรักษาทางทันตกรรม โดยให้รักษาเคสที่ฉุกเฉินและเร่งด่วน ส่วนเคสที่รอได้ให้เลื่อนการรักษาออกไป⁹ ซึ่งการรักษาทางทันตกรรมนั้นบุคลากรทางทันตกรรมต้องใส่ชุดป้องกัน (personal protective equipment) ตามความเหมาะสม^{10,26} (รูปที่ 2) โดยให้ใส่ชุดป้องกัน (personal protective equipment) ที่ประกอบไปด้วย



รูปที่ 1 แสดงการแพร่กระจายเชื้อจากผู้ป่วยติดเชื้อที่มารักษาทางทันตกรรม



รูปที่ 2 แสดงการใส่ชุด PPE ในการทำหัตถการทางทันตกรรม



รูปที่ 3 แสดง บุคลากรที่มีความเสี่ยงต่อโคโรนาไวรัส

หน้ากากอนามัย N-95 ถุงมือ 2 ชั้น เลือคลูมกันน้ำ แว่นตา และ หน้ากาก ถุงคลุมเท้า) ซึ่งได้มีการแนะนำว่า

1. หากการรักษาเป็นหัตถการที่ไม่ฟุ้งกระจายให้ใส่ชุด Standard PPE
2. หากการรักษาเป็นหัตถการที่มีการฟุ้งกระจายให้ใส่ชุด Full PPE
3. หากการรักษาเป็นการรักษาในผู้ป่วย PUI หรือติดเชื้อโคโรนาไวรัส หรือมีโรคทางเดินหายใจ ให้ใส่ชุด Maximum Full PPE

จะเห็นว่าความเสี่ยงในการกระจายเชื้อในทางทันตกรรมเกิดได้ค่อนข้างสูง เพราะมีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายของเชื้อไวรัสได้ทั้งทางลมหายใจ การสัมผัสสารคัดหลั่ง โดยมีรายงานในเรื่อง The Workers Who Face The Greatest Coronavirus Risk⁸ ได้จัดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อว่า ทันตแพทย์ เป็นอาชีพที่มีความเสี่ยงต่อเชื้อโคโรนาไวรัสสูงสุด (รูปที่ 3)

ถึงแม้ว่าบางประเทศคลินิกทันตกรรมจะหยุดการรักษาทางทันตกรรมในช่วงที่มีการระบาด แต่ก็ยังมีผู้ป่วยฉุกเฉินที่ไปรักษาทางทันตกรรมที่คลินิกและโรงพยาบาล ในประเทศไทยทันตแพทย์สภา

ได้ประกาศแนวทางการรักษาทางทันตกรรมในกรณีเคสฉุกเฉินและเร่งด่วน ส่วนเคสไม่เร่งด่วนให้เลื่อนการรักษาออกไปทั้งหมด แต่การรักษาในเคสฉุกเฉินและเร่งด่วนนั้นก็ยังต้องพิจารณาถึงความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อในขณะรักษาทางทันตกรรมเช่นกัน⁸⁻¹⁰

มีการแนะนำถึงระบบการระบายอากาศโดยให้มีการไหลเวียนอากาศอย่างเหมาะสมสำหรับห้องทันตกรรม ซึ่งจะต้องมีการถ่ายเทอากาศจำนวน 12 Air Change per Hour (ACH) ซึ่งการจะเพิ่มประสิทธิภาพจะต้องมีการกันห้องและอุดรูรั่วของห้อง^{16,17,19,20} โดยห้องแยกโรคติดเชื้อทางอากาศนั้นต้องมีความดันไม่น้อยกว่า -2.5 ปาสคาล¹⁴ หากพิจารณาจากค่าจำกัดความของห้องสะอาดคือห้องที่มีการออกแบบ ก่อสร้าง และใช้งานที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อม คือ อุณหภูมิ ความดันอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และมีการควบคุมอนุภาคในอากาศให้น้อยที่สุดด้วย^{9,14} โดยการเฝ้าตรวจสอบสมรรถนะของห้องป้องกันการติดเชื้อมีการควบคุมความดันอากาศ (Pressure differential between rooms), การตรวจสอบความดันตกคร่อมแผ่นกรอง Hepa (HEPA filter pressure drop), การทดสอบทิศทางการไหลของอากาศระหว่างเปิดประตู (Airflow Direction Between room: door open), การทดสอบรูปแบบการไหลของอากาศภายในห้อง (Within-room airflow patterns), การควบคุมอัตราการหมุนเวียนของอากาศภายในห้อง (Air exchange rate), ปริมาณลมที่ช่องลมจ่ายและช่องระบายลมทิ้ง (Supply and exhaust air volumes from registers), ความหนาแน่นหรืออัตราการรั่วซึม (Tightness: Leakage rate), การกักกันโรค (Containment), ค่า Thermal Comfort และการตรวจการรั่วซึมของแผ่นกรอง (Installed HEPA filter leakage)^{14,15,24,25}

จากสถานการณ์โควิด 19 ดังกล่าวพบว่า การแพร่กระจายของเชื้อไวรัสได้ทวีความรุนแรงขึ้นทั่วโลก และมีผลกระทบกับการรักษาทางทันตกรรมอย่างมาก ทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญ จึงได้ติดตามสถานการณ์และข้อมูลที่มีเพิ่มเติมทั้งจากในประเทศและต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้วิจัยมีความคิดที่จะคิดค้นวิธีป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อไวรัสจากการรักษาทางทันตกรรม ซึ่งได้พัฒนามาเรื่อยๆ ตามข้อมูลที่ได้ในช่วงเวลาหนึ่งๆ โดยได้ติดตามสถานการณ์ขององค์การอนามัยโลกและทันตแพทยสภาแห่งประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง และนำข้อมูลที่ได้นำมาคิดค้นประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับลดการแพร่กระจายเชื้ออย่างต่อเนื่อง ซึ่งใช้งบประมาณที่ไม่สูง ตั้งแต่การทำกล่องป้องกันการฟุ้งกระจายจน

กระทั่งเป็นห้องความดันลบ ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังถึงประโยชน์ต่อการลดการแพร่กระจายไม่เฉพาะโควิด 19 แต่ยังสามารถลดการแพร่กระจายของโรคระบบทางเดินหายใจอื่นๆ ได้อีกด้วย ซึ่งการวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนากระบวนการควบคุมการติดเชื้อทางทันตกรรมในการรักษาผู้ป่วยต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อจากการทำหัตถการทางทันตกรรม โดยคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้วัสดุที่หาได้ง่าย ประหยัด และสามารถสร้างไม่ยาก ซึ่งหวังผลเพื่อลดการแพร่กระจายของเชื้อในรูปแบบละอองฝอยและละอองลอย โดยมีความมุ่งหวังเพื่อลดการแพร่กระจายของละอองฝอยและละอองลอย

ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัย

1. สามารถลดการแพร่กระจายเชื้อได้ทั้งละอองฝอยและละอองลอยในอากาศ
2. สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยไปพัฒนาต่อยอดในการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางทันตกรรมต่อไป
3. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาการแพร่กระจายเชื้อทางทันตกรรมได้

แบบแผนของการวิจัย

การศึกษาเรื่องการพัฒนาการควบคุมการแพร่กระจายเชื้อทางทันตกรรมด้วยห้องแรงดัน การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งเป็นรูปแบบของการวิจัยที่มุ่งหาคำตอบของปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อจะสามารถควบคุมการเกิดปรากฏการณ์นั้นๆ ได้ต่อไป โดยผู้วิจัยได้เริ่มคิดค้นประดิษฐ์วิธีในการลดการแพร่กระจายเชื้อซึ่งเริ่มจากการสร้างกล่องครอบบริเวณทำหัตถการทางทันตกรรมโดยใช้โครงสร้างจากลวดแข็งที่ตัดได้และใช้พลาสติกคลุม ต่อมาได้สร้างกล่องจากโครงสร้างเหล็กซึ่งใช้วิธีเชื่อมและใช้พลาสติกที่หนาขึ้นคลุมรอบกล่อง จากนั้นผู้วิจัยได้รับข้อมูลใหม่เพิ่มเติมจาก WHO ว่าไวรัสสามารถแพร่กระจายโดยละอองลอยในอากาศได้ จึงได้คิดค้นประดิษฐ์ห้องความดันลบโดยใช้โครงสร้างเป็นท่อน้ำและคลุมด้วยพลาสติกทั้งห้อง และสร้างระบบระบายอากาศออกโดยใช้เครื่องดูดอากาศที่มีแผ่นกรอง Hepa filter ร่วมกับหลอดแสง UVC มาตรฐานแบบห้องแรงดันลบที่ใช้กับผู้ป่วยที่ติดเชื้อโคโรนาไวรัส โดยผู้วิจัยจะศึกษาการถ่ายเทอากาศตามมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุข

วิธีการ

ผู้วิจัยได้คิดสร้างสิ่งประดิษฐ์ขึ้นมาดังนี้

1. กล่องลดการฟุ้งกระจาย เป็น 3 แบบคือ

1.1 โครงลดหุ้มด้วยพลาสติกแรป (Light Plastic Warp box) เป็นกล่องที่มีโครงเป็นลวดแข็งที่สำหรับตัดได้โดยใช้คีมตัด และใช้พลาสติกแรปหุ้มโครงทั้งหมด โดยการใช้งานจะให้ผู้ป่วยใช้แขนทั้ง 2 ข้างประคองกล่องไว้บนตัวของผู้ป่วยเอง (รูปที่ 4)

ข้อดีคือ มีน้ำหนักเบา ราคาไม่แพง (ต้นทุนต่อกล่องประมาณ 10 บาท) และสามารถดึงพลาสติกแรปทิ้งได้ทุกเคส ส่วนโครงลวดสามารถทำความสะอาดโดยเช็ดน้ำยาได้

ข้อเสีย คือ พลาสติกแรปค่อนข้างเย็น ทำให้มองได้ลำบาก และโครงอ่อนเกินไปสำหรับการดึงพลาสติกแรปให้ตึง การทำหัตถการมีความยุ่งยากมากขึ้นจากการขยับมือและแขน

1.2 โครงเหล็กหุ้มด้วยแผ่นพลาสติก (Thick Plastic box) เป็นกล่องที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โครงจากการเชื่อมเหล็กแท่งขนาดเล็ก และใช้แผ่นพลาสติกใสที่หนาหุ้มรอบๆ โครง โดยการใช้งานจะให้ผู้ป่วยใช้แขนทั้ง 2 ข้างประคองกล่องไว้บนตัวของผู้ป่วยเอง (รูปที่ 5)

ข้อดี มีความแข็งแรง พลาสติกสามารถดึงให้ตึงได้ทำให้มองเห็นได้ชัดเจนขึ้น น้ำหนักเบา สามารถทำความสะอาดโดยการเช็ดน้ำยาได้

ข้อเสีย มีโครงเหล็กที่หนาขึ้นทำให้บางมุมมองโครงเหล็กบังในการทำหัตถการ การทำหัตถการมีความยุ่งยากมากขึ้นจากการขยับมือและแขน

1.3 กล่องอะคริลิก (Acrylic box) เป็นกล่องที่ใช้แผ่นอะคริลิกใสมาติดการรอบด้านทำให้เป็นกล่อง โดยมีการเจาะรูสำหรับนำแขนเข้าไปเพื่อทำหัตถการ (รูปที่ 6)

ข้อดี มองเห็นได้ดีมากขึ้นเนื่องจากไม่มีโครงเหล็กบัง และแผ่นอะคริลิกมีการสะท้อนแสงที่น้อยกว่าทำให้มองเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจช่องปากโดยทั่วไปได้อีกด้วย

ข้อเสีย มีน้ำหนักที่มาก อาจทำให้ผู้ป่วยนอนที่เตียงได้ลำบากขึ้น เนื่องจากต้องวางขอบกล่องไว้บนขอบเก้าอี้ที่ทนตรมผู้ป่วยที่ตัวใหญ่อาจจะใช้กล่องนี้ไม่ได้

2. พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย (Plastic-cover suction)

ได้ประยุกต์ใช้ขวดน้ำพลาสติกขนาด 1 ลิตร โดยได้ตัดเฉพาะปากขวดให้เป็นรูปร่างที่พอเหมาะมาต่อกับเครื่องดูดน้ำลายความแรง



รูปที่ 4 โครงลดหุ้มด้วยพลาสติกแรป



รูปที่ 5 โครงเหล็กหุ้มด้วยแผ่นพลาสติก

สูง (high power suction) ซึ่งจะยกไว้บริเวณใกล้ๆ กับช่องปากขณะทำหัตถการ เพื่อดูดทั้งละอองฝอยและละอองลอย (รูปที่ 7)

3. ห้องความดันลบ (Negative pressure room) ได้นำแบบแปลนการปรับปรุงระบบปรับอากาศห้องทันตกรรมเพื่อรองรับผู้ป่วย COVIDS-19 โดยกองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข แนะนำให้มีการระบายอากาศจำนวน 12 ACH และ Fresh air 100% ชุดระบายอากาศทำด้วยผนัง 2 ชั้น โดยติดตั้งแผ่นกรอง Hepa filter พร้อมชุด UVC ซึ่งต้องใช้งบประมาณจำนวนหนึ่งในการก่อสร้าง^{19,20}



รูปที่ 6 กล่องอะคริลิก



รูปที่ 7 พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย

ได้ประยุกต์แนวคิดห้องสะอาดมาคิดประดิษฐ์ห้องความดันลบที่ใช้มาตรฐานห้องผู้ป่วยแยกเชื้อ ซึ่งกำหนดว่าต้องมียัตราการไหลเวียนของอากาศอย่างน้อย 12 ACH และความดันลบเมื่อเปรียบเทียบกับภายนอกต่ำกว่า -2.5 ปาสคาล¹⁵⁻¹⁷

โดยใช้พลาสติกแผ่นหนา หุ้มรอบพื้นที่ทำหัตถการรอบๆ แก้วทันตกรรม โดยให้มีขนาดที่พอเหมาะกับการทำหัตถการ และเหมาะสม

กับสารใช้เครื่องดูดอากาศออกนอกห้อง เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ และสร้างความดันลบให้เกิดในบริเวณที่ทำหัตถการ ซึ่งการดูดออกจะอยู่บริเวณเท้าของผู้ป่วย ซึ่งห้องจะต้องอุดรอยรั่วให้ได้มากที่สุด เพื่อทำให้เกิดความดันลบภายในห้อง (รูปที่ 8) และส่วนของเครื่องปรับอากาศจะอยู่นอกบริเวณที่คลุมพลาสติกนี้ โดยได้ทำช่องอากาศเข้าไว้ที่ส่วนหัวของแก้วทันตกรรม เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศจากหัวแก้วทำฟันสู่ส่วนเท้าของแก้วทำฟัน เพื่อให้อากาศถูกระบายออก ทำให้อากาศไม่ถูกหมุนกลับใส่บุคลากรและผู้ป่วย

ส่วนของเครื่องดูดอากาศที่ใช้มีอัตราการระบายอากาศ 330 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเพียงพอต่อการระบายอากาศออกในการใช้ห้องทันตกรรมที่ใช้วิจัยขนาด 21 ลูกบาศก์เมตร โดยจะมีแผ่นกรองอากาศชนิด Hepa (High Efficiency Particulate Air Filters) ที่สามารถกรองอนุภาคที่มีขนาด 0.3 ไมครอนได้มีประสิทธิภาพถึง 99.97% และมี UVC อยู่ภายใน (รูปที่ 9)

ในการทำหัตถการได้มีการใช้ร่วมกับชุด PPE ที่ทันตแพทย์สภาได้แนะนำให้บุคลากรสวมใส่^{19,20} ซึ่งได้ใช้ชุด PPE ที่กลุ่มงานการควบคุมการติดเชื้อของโรงพยาบาลเตรียมให้ (รูปที่ 10)



รูปที่ 8 ห้องความดันลบ



รูปที่ 9 ส่วนของเครื่องดูดอากาศทั้งเพื่อระบายอากาศออกจากห้อง



รูปที่ 10 ชุด PPE กลุ่มงานควบคุมการติดเชื้อของโรงพยาบาล

การวัดประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์

การแพร่กระจายซึ่งจะจำลองสถานการณ์ของการทำหัตถการทางทันตกรรม โดยจะเป็นการวางอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิจัยในห้องความดันลบที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น และวัดค่าจากอุปกรณ์วัดค่าเท่านั้น ซึ่งไม่มีอาสาสมัครและผู้ป่วยในการวิจัย โดยการจำลองสถานการณ์การทำหัตถการทางทันตกรรมนี้ จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับห้องสะอาด ห้องแยกโรค และห้องผ่าตัด ผู้วิจัยได้เลือกตัววัดทั้งหมด 6 อย่าง โดยจะทำการวัดในเรื่องการแพร่กระจายของละอองฝอย ละอองลอย อุณหภูมิ ความชื้น การไหลเวียนของอากาศ และความดันที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

1. การแพร่กระจายของละอองฝอย (droplet)

จำลองการทำหัตถการที่ฟุ้งกระจายจากการใช้หัวกรอเร็ว (airrotor handpiece) ที่มีการฟ่นละอองน้ำออกมาเป็นละอองเล็กๆ และมีการฟ่นลมออกมาพร้อมกัน ซึ่งทำให้ได้ลักษณะของทั้งละอองฝอย (droplet) และละอองลอย (aerosol)

วัดโดยการสังเกตของหยดน้ำว่ากระจายอย่างไรในบริเวณทำหัตถการและรอบๆ ห้องทันตกรรม โดยวัดจากสเกลบนกระดาดที่วางไว้ที่พื้นห้อง (รูปที่ 11)

2. การแพร่กระจายของละอองลอย (aerosol)

จำลองละอองลอยโดยปล่อยควันออกมาจากแหล่งผลิตควันเพื่อจำลองอากาศที่มีเชื้อลักษณะที่เป็นละอองลอย

2.1 ใช้เครื่องวัด pm2.5 ว่ามีการแพร่กระจายออกไปจากบริเวณทำหัตถการทางทันตกรรมอย่างไร โดยจะวัดค่าบริเวณทำหัตถการและรอบๆ ห้องทันตกรรมว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

2.2 การสังเกตสีของควัน ว่ามีการแพร่กระจายออกไปจากบริเวณทำหัตถการทางทันตกรรมอย่างไร โดยจะสังเกตสีควันบริเวณทำหัตถการและรอบๆ ห้องทันตกรรมว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

2.2.1 สังเกตการลัดวงจร ของกระแสลมว่ามีอากาศออกจากช่องระบายลมทิ้งหรือไม่

2.2.2 สังเกตดูพื้นที่รอบว่ามีจุดที่อากาศหยุดนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่หรือไม่ เพราะแสดงว่าบริเวณนั้นไม่มีอากาศเข้าไปถ่ายเทได้เพียงพอ

2.2.3 ประเมินว่าอากาศภายในห้องมีการเคลื่อนที่จากการรักษาไปยังปลายเท้าผู้ป่วยและออกไปที่ช่องดูดระบายทิ้งไปนอกห้องหรือไม่

3. อุณหภูมิ

วัดอุณหภูมิบริเวณทำหัตถการและรอบๆ ห้องทันตกรรมว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยใช้ Thermometer



รูปที่ 11 แสดงสเกลบนกระดาด

4. ความชื้นสัมพัทธ์

วัดความชื้นสัมพัทธ์บริเวณทำหัตถการและรอบๆ ห้องทันตกรรมว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยใช้ Hygrometer

5. การไหลเวียนของอากาศ

ใช้เครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer) บริเวณทำหัตถการและรอบๆ ห้องทันตกรรมว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

การตรวจสอบอัตราการไหลเวียนของอากาศ จะใช้ในพื้นที่ปิด ซึ่งคือห้องทันตกรรมความดันลบ โดยมีขั้นตอนคือ

1. วัดขนาดปริมาตรห้อง

กว้าง x ยาว x สูง จะได้ $2.1 \times 2.8 \times 3.55$ เท่ากับ 20.74 หรือประมาณ 21 ลูกบาศก์เมตร

2. วัดอัตราการไหลของอากาศเข้าหรือออกจากห้อง

จะวัดโดยใช้เครื่องมือ Multifunction โดยกำหนดหน้าตัดของท่ออากาศออกเป็น 8 นิ้ว

3. คำนวณอัตราการไหลเวียนของอากาศ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน 12 ACH

อัตราการไหลเวียนของอากาศ หมายถึงปริมาณของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา โดยอัตราการไหลเวียนของอากาศจะสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของอากาศ และพื้นที่หน้าตัดของจุดที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแสดงได้ด้วยสูตร¹⁶

$$Q = AV$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลเวียนของอากาศ

(ลูกบาศก์เมตร/นาที)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของจุดที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน

(ตารางเมตร)

V คือ ความเร็วของอากาศ (เมตร/นาที)

การคำนวณหาความเร็วลมในการไหลเวียนอากาศ 1ACH จาก 1 ACH = 1 Air change per hour

Cfm คือ คิวบิกฟุตต่อนาที

CMH คือ คิวบิกเมตรต่อชั่วโมง

1 cfm = 0.47 Lps

1 Lps = 2.12 cfm

1 CMH = 0.59 cfm

1 ACH = การหมุนเวียนของอากาศทั้งห้องใน 1 ชั่วโมง ในการทดลองปริมาตรห้องขนาด 21 ลูกบาศก์เมตร

12 ACH คือ $21 \times 12 = 252$ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ดังนั้นซึ่งในทางทฤษฎีการใช้พัดลมดูดอากาศออกนอกห้อง ใช้แรงพัดลม 252 CMH ก็เพียงพอต่อ 12 ACH ซึ่งในห้องที่ใช้ทดลองนี้เครื่องดูดอากาศมีแรงดูด 330 CMH

252 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คือ 12 ACH

330 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คือ $12/252 \times 330$

= 15.71 ACH

ดังนั้นในทางทฤษฎี หากใช้พัดลมที่มีแรงดูด 330 CMH ในห้อง 21 ลูกบาศก์เมตร จะได้การไหลเวียนอากาศปริมาณ 15.71 ACH ซึ่งก็ถือว่าเกิน 12ACH ที่เป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดในทางทฤษฎี

การคำนวณหาเวลาในการไหลเวียนอากาศออกทั้งหมด

ช่วงเวลาที่เปลี่ยนอากาศใหม่แทนอากาศเก่าทั้งหมดในทางทฤษฎีคือ

330 CMH คือ 1 นาทีอากาศออก = $330/60$

= 5.5 ลูกบาศก์เมตร

ห้อง 21 ลูกบาศก์เมตร เราต้องใช้เวลา = $21/5.5 = 3.82$

หรือประมาณ 4 นาที

6. ความดันอากาศ

ใช้บาร์อมิเตอร์วัดความดันอากาศในเครื่องมือ Multifunction (Multifunction device: Anemometer, Barometer) บริเวณทำหัตถการและรอบๆ ห้องทันตกรรมว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ซึ่งความดันที่เหมาะสมต้องมีความดัน -2.5 ปาสคาลขึ้นไป^{14,27}

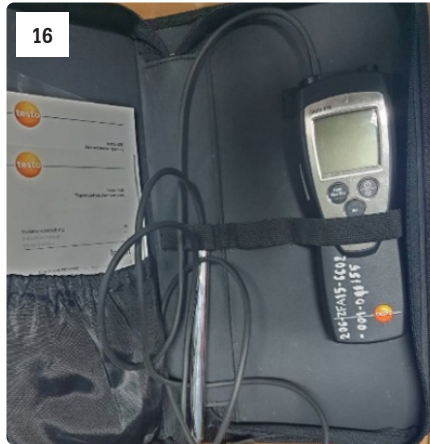
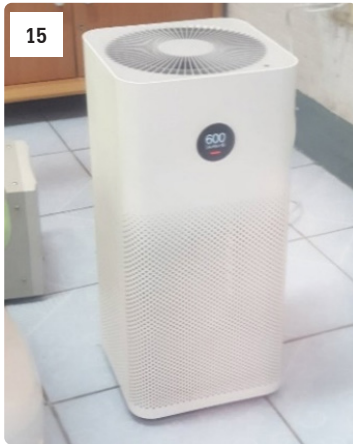
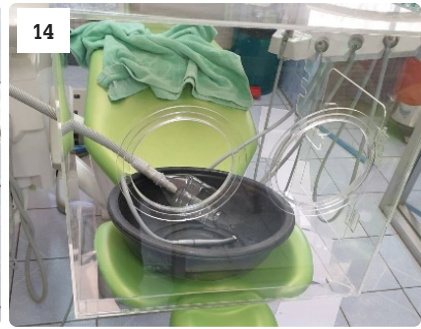
วัดค่าโดยแบ่งกรณีศึกษาเป็น 8 กรณีในการจำลองทำหัตถการที่มีการเปิดหัวกรอพันความเร็วสูง (airotor) ที่จะมีน้ำกระจายออกเป็นละอองลอยและละอองฝอย (รูปที่ 12-18) ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 ห้องทันตกรรมปกติ เป็นห้องที่ไม่มีการใช้อุปกรณ์ใดๆ ในการลดการฟุ้งกระจาย โดยจะมีการควบคุมอุณหภูมิด้วยเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 24 องศาเซลเซียส และมีการวัดการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิเตอร์ตลอดเวลา ซึ่งอุณหภูมิภายนอกอาคารประมาณ 31 องศาเซลเซียส ระหว่างการจำลองทำหัตถการ

กรณีศึกษาที่ 2 ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย โดยจะใช้กล่องลดการฟุ้งกระจายเพียงอย่างเดียวในการจำลองทำหัตถการ

กรณีศึกษาที่ 3 ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย โดยจะใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลายคลุมหัวดูดน้ำลายความแรงสูงเพียงอย่างเดียวในการจำลองทำหัตถการ

กรณีศึกษาที่ 4 ใช้ห้องความดันลบ โดยจะใช้การดูดอากาศออกจากอาคาร ก่อให้เกิดแรงดันลบขึ้นในการจำลองทำหัตถการเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 12 การจำลองโดยใช้หัวกรอพันเร็วจำลองการทำหัตถการ

รูปที่ 13 การใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย

รูปที่ 14 การใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลายร่วมกับกล่องลดการฟุ้งกระจาย

รูปที่ 15 เครื่องมือวัดค่า pm2.5, อุณหภูมิ, ความชื้น

รูปที่ 16 เครื่องมือ Anemometer วัดค่าความเร็วลม

รูปที่ 17 เครื่องมือ Multifunction ในการวัดความดันอากาศ

รูปที่ 18 เครื่องมือวัด Multifunction ในวัดการวัดความเร็วลมและการไหลเวียนอากาศ

กรณีศึกษาที่ 5 ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับ พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย

กรณีศึกษาที่ 6 ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับ ห้องความดันลบ

กรณีศึกษาที่ 7 ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย ร่วมกับ ห้องความดันลบ

กรณีศึกษาที่ 8 ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย และห้องความดันลบ

การรับรองจริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์แนวทางการลดการแพร่กระจายเชื้อทางทันตกรรม โดยผู้วิจัยไม่ได้มีการทดลองใดๆ กับผู้ป่วย ผู้วิจัยเพียงได้จำลองการฟุ้งกระจายแบบละอองลอย ละอองฝอยในอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันอากาศและการไหล

เวียนของอากาศ โดยการวิจัยของนี้ได้รับการรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการพิจารณาโครงการวิจัย กรมแพทยทหารบก เลขที่รับรองโครงการวิจัย S064h/63_Exp

ผลการวิจัย

จากการวัดประสิทธิภาพในสิ่งประดิษฐ์ทั้ง 3 ซึ่งคือ กล่องลดการกระจายของละอองลอยละอองฝอย (Acrylic Box) พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย (Plastic-cover suction) และห้องแรงดันลบ (Negative pressure room) โดยใช้ตัวชี้วัดในการวิจัยนี้ทั้ง 6 อย่างคือ การวัดละอองฝอย ละอองลอย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การไหลเวียนของอากาศ และความดันอากาศ โดยทดลองในกรณีศึกษาการจำลองทำหัตถการ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1-6

ตารางที่ 1 แสดงการเก็บค่าต่างๆ ในการจำลองทำหัตถการในนาที่ที่ 0

กรณีศึกษา	ละอองฝอย* (m)	ละอองลอย** (µg/m ³)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลมในการถ่ายเทอากาศ (m/s)	ความเร็วลมที่ช่องระบายอากาศออก (m ³ /hr)	อัตราการไหลเวียนอากาศ ACH*** (m ³ /hr)	ความแตกต่างของความดันอากาศ (Pa)
ก่อนเริ่มการจำลองการทำหัตถการ	-	11 (ยังไม่เริ่มปล่อยควัน)	24	61	0.10	-	-	0
เตรียมห้องสภาพห้องเพื่อเริ่มการจำลองทำหัตถการโดยปล่อยควัน	-	600	24	61	0.10	-	-	0

*สังเกตจากการเปียกของกระดาดบนสเกลไม้บรรทัดกระดาดที่วางไว้ที่พื้น

**ใช้การเผาไหม้กระดาดเป็นค่าเริ่มต้นวัดค่า pm 2.5 โดยค่าสูงสุดที่เครื่องสามารถวัดได้คือ 600 (µg/m³)

***คำนวณจากปริมาตรห้อง 21 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2 แสดงการเก็บค่าต่างๆ ในการจำลองทำหัตถการในนาที่ที่ 1

กรณีศึกษา	ละอองฝอย* (m)	ละอองลอย** (µg/m ³)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลมในการถ่ายเทอากาศ (m/s)	ความเร็วลมที่ช่องระบายอากาศออก (m ³ /hr)	อัตราการไหลเวียนอากาศ ACH*** (m ³ /hr)	ความแตกต่างของความดันอากาศ (Pa)
ห้องทันตกรรมปกติ	2	600	24	61	0.10	0	0	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย	0.3	600	24	61	0.10	0	0	0
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	0.1	600	24	61	0.10	0	0	0
ใช้ห้องความดันลบ	2	600	24	60	2.23	260.65	12.62	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	0.3	600	24	61	0.10	0	0	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับ ห้องความดันลบ	0.3	600	24	61	2.23	260.65	12.62	-3.4
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย ร่วมกับห้องความดันลบ	0.1	600	24	60	2.23	260.65	12.62	-3.4
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย และห้องความดันลบ	0.1	600	24	60	2.23	260.65	12.62	-3.4

*สังเกตจากการเปียกของกระดาดบนสเกลไม้บรรทัดกระดาดที่วางไว้ที่พื้น

**ใช้การเผาไหม้กระดาดเป็นค่าเริ่มต้นวัดค่า pm 2.5 โดยค่าสูงสุดที่เครื่องสามารถวัดได้คือ 600 (µg/m³)

***คำนวณจากปริมาตรห้อง 21 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3 แสดงการเก็บค่าต่างๆ ในการจำลองทำหัตถการในนาที่ที่ 5

กรณีศึกษา	ละอองฝอย* (m)	ละอองลอย** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลมในการถ่ายเทอากาศ (m/s)	ความเร็วลมที่ห้องระบายอากาศออก (m^3/hr)	อัตราการไหลเวียนอากาศ ACH*** (m^3/hr)	ความแตกต่างของความดันอากาศ (Pa)
ห้องทันตกรรมปกติ	2	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย	0.3	600	24	61	0.31	0	0	0
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	0.1	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้ห้องความดันลบ	2	195	24	60	2.14	260.65	12.62	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	0.3	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับ ห้องความดันลบ	0.3	201	24	61	2.14	260.65	12.62	-3.4
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย ร่วมกับห้องความดันลบ	0.1	208	25	60	2.14	260.65	12.62	-3.4
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย และห้องความดันลบ	0.1	197	25	60	2.14	260.65	12.62	-3.4

*สังเกตจากการเปียกของกระดาดบนสเกลไม้บรรทัดกระดาดที่วางไว้ที่พื้น

**ใช้การเผาไหม้กระดาดเป็นค่าเริ่มต้นวัดค่า pm 2.5 โดยค่าสูงสุดที่เครื่องสามารถวัดได้คือ $600 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$

***คำนวณจากปริมาตรห้อง 21 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4 แสดงการเก็บค่าต่างๆ ในการจำลองทำหัตถการในนาที่ที่ 10

กรณีศึกษา	ละอองฝอย* (m)	ละอองลอย** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลมในการถ่ายเทอากาศ (m/s)	ความเร็วลมที่ห้องระบายอากาศออก (m^3/hr)	อัตราการไหลเวียนอากาศ ACH*** (m^3/hr)	ความแตกต่างของความดันอากาศ (Pa)
ห้องทันตกรรมปกติ	2	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย	0.3	600	24	61	0.31	0	0	0
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	0.1	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้ห้องความดันลบ	2	35	26	60	2.14	260.65	12.62	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	0.3	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับ ห้องความดันลบ	0.3	43	24	61	2.14	260.65	12.62	-3.4
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย ร่วมกับห้องความดันลบ	0.1	33	26	60	2.14	260.65	12.62	-3.4
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย และห้องความดันลบ	0.1	38	26	60	2.14	260.65	12.62	-3.4

*สังเกตจากการเปียกของกระดาดบนสเกลไม้บรรทัดกระดาดที่วางไว้ที่พื้น

**ใช้การเผาไหม้กระดาดเป็นค่าเริ่มต้นวัดค่า pm 2.5 โดยค่าสูงสุดที่เครื่องสามารถวัดได้คือ $600 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$

***คำนวณจากปริมาตรห้อง 21 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 5 แสดงการเก็บค่าต่าง ๆ ในการจำลองทำหัตถการในนาที่ที่ 15

กรณีศึกษา	ละอองฝอย* (m)	ละอองลอย** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลมในการถ่ายเทอากาศ (m/s)	ความเร็วลมที่ช่องระบายอากาศออก (m^3/hr)	อัตราการไหลเวียนอากาศ ACH*** (m^3/hr)	ความแตกต่างของความดันอากาศ (Pa)
ห้องพันธุกรรมปกติ	2	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย	0.3	600	24	61	0.31	0	0	0
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	0.1	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้ห้องความดันลบ	2	10	27	60	2.14	260.65	12.62	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	0.3	600	24	61	0.30	0	0	0
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับ ห้องความดันลบ	0.3	8	24	61	2.14	260.65	12.62	-3.4
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย ร่วมกับห้องความดันลบ	0.1	11	27	60	2.14	260.65	12.62	-3.4
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย และห้องความดันลบ	0.1	11	26	60	2.14	260.65	12.62	-3.4

*สังเกตจากการเปียกของกระดาดบนสเกลไม่บรรทัดกระดาดที่วางไว้ที่พื้น

**ใช้การเผาไหม้กระดาดเป็นค่าเริ่มต้นวัดค่า pm 2.5 โดยค่าสูงสุดที่เครื่องสามารถวัดได้คือ 600 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

***คำนวณจากปริมาตรห้อง 21 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 6 สรุปการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของค่าต่าง ๆ ในการจำลองทำหัตถการ

กรณีศึกษา	ละอองฝอย* (m)	ละอองลอย** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลมในการถ่ายเทอากาศ (m/s)	ความเร็วลมที่ช่องระบายอากาศออก (m^3/hr)	อัตราการไหลเวียนอากาศ ACH*** (m^3/hr)	ความแตกต่างของความดันอากาศ (Pa)
ห้องพันธุกรรมปกติ	มากขึ้น	คงเดิม	คงเดิม	มากขึ้น	คงเดิม	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย	ลดลง	คงเดิม	คงเดิม	มากขึ้น	คงเดิม	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	ลดลง	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ใช้ห้องความดันลบ	คงเดิม	ลดลง	เพิ่มขึ้น	มากขึ้น	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย	ลดลง	คงเดิม	คงเดิม	มากขึ้น	คงเดิม	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับ ห้องความดันลบ	ลดลง	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม
ใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย ร่วมกับห้องความดันลบ	ลดลง	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม
ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจาย ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย และห้องความดันลบ	ลดลง	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม	คงเดิม

*สังเกตจากการเปียกของกระดาดบนสเกลไม่บรรทัดกระดาดที่วางไว้ที่พื้น

**ใช้การเผาไหม้กระดาดเป็นค่าเริ่มต้นวัดค่า pm 2.5 โดยค่าสูงสุดที่เครื่องสามารถวัดได้คือ 600 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

***คำนวณจากปริมาตรห้อง 21 ลูกบาศก์เมตร

วิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่า การใช้กล่องลดการฟุ้งกระจายเพียงอย่างเดียวจะสามารถลดการฟุ้งกระจายของละอองฝอยได้ เนื่องจากละอองฝอยจะกระจายไปติดที่พื้นผิวด้านในของของกล่อง ซึ่งจะช่วยให้ลดการฟุ้งกระจายของละอองฝอยให้อยู่ในบริเวณที่ทำหัตถการทางทันตกรรมได้ แต่การใช้กล่องลดการฟุ้งกระจายเพียงอย่างเดียวนี้ ไม่สามารถลดการฟุ้งกระจายของละอองฝอยได้ สังเกตจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากละอองฝอยสามารถฟุ้งกระจายได้ตามอากาศ และหากดูจากค่าความชื้นสัมพัทธ์พบว่ามีความเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ส่วนของพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย เนื่องจากเป็นส่วนของพลาสติกที่ประดิษฐ์และนำมาประกอบกับที่ดูดน้ำลายทั่วไป โดยจะครอบและมีส่วนยื่นออกมาเพื่อครอบที่ปากและจมูกของผู้ป่วยในระยะใกล้ๆ จากการทดลองพบว่าหากใช้พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลายเพียงอย่างเดียว จะช่วยให้ลดการฟุ้งกระจายของละอองฝอยและละอองลอยได้ โดยสังเกตจากปริมาณหยดน้ำที่กระจายออกมีปริมาณที่น้อยลง และความชื้นสัมพัทธ์ที่ไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งการดูดละอองฝอยและละอองลอยจะได้ผลดีมากน้อยเพียงไรนั้น ขึ้นอยู่กับแรงดูดของที่ดูดน้ำลายเป็นสำคัญ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ต่อกับหัวแรงดูดสูง (High power suction) ทำให้สามารถดูดละอองฝอยและละอองลอยได้จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีละอองฝอยที่ยังสามารถกระจายออกไปได้เช่นกัน เนื่องจากละอองฝอยที่ขนาดใหญ่ น้ำหนักจะมากทำให้บางทีเครื่องดูดความดันสูงจะไม่สามารถดูดไปได้ทั้งหมด ขณะที่เปิดเครื่องดูดความดันสูงนั้นจะสังเกตเห็นละอองฝอยและละอองลอยมีทิศทางไหลเข้าที่พลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย เป็นจำนวนมาก ซึ่งการวัดความชื้นสัมพัทธ์ก็พบว่าไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงค่าเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

ส่วนของห้องความดันลบ หากใช้อย่างเดียวพบว่าสามารถดูดอากาศออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถสร้างความดันลบได้อยู่ในเกณฑ์ที่ห้องผ่าตัดยอมรับ (ความแตกต่างของความดันมากกว่า -2.5 ปาสคาลขึ้นไป) และได้รับการไหลเวียนอากาศมากกว่า 12ACH ซึ่งมากกว่ามาตรฐานขั้นต่ำของห้องผ่าตัดและมาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนด แต่จากการคำนวณตามทฤษฎีพบว่า แรงของพัดลมมีความสามารถในการดูดอากาศออกดีกว่านี้ในขนาดห้องที่ใช้ทดลอง และการถ่ายเทอากาศออกห้องทั้งหมดจากการคำนวณทางทฤษฎีควรจะใช้เวลา 4 นาทีเท่านั้น ซึ่งเห็นว่าการใช้งานจริงที่ต้องใช้เวลาถึง 15 นาทีนี้ ผู้วิจัยพบว่าประการที่หนึ่ง

เป็นผลมาจากทิศทางการถ่ายเทอากาศไม่ได้ไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้เกิดเป็นจุดที่ลมอยู่นิ่ง (dead space) กล่าวคือเป็นจุดที่ลมไม่ได้วิ่งไปในทิศทางที่มีการดูดอากาศออกห้อง แต่อากาศลอยอยู่เฉยๆ ไม่ได้เคลื่อนไหวแต่อย่างใด สังเกตจากกลุ่มควันที่เกิดขึ้นลอยนิ่งอยู่บางจุดเท่านั้น แต่พอเวลาผ่านไปกลุ่มควันนั้นก็ค่อยๆ จางลงจนหายไปจากการเจือจางของอากาศ และประการที่สองคือเกิดการลัดวงจรของอากาศ (Short-circuiting) ของกระแสลมจากช่องที่อากาศเข้าห้องไปที่ช่องดูดระบายอากาศออกห้องโดยไม่ได้ออกไปนอกอาคารเลยทั้งห้อง เนื่องจากการอุดรอยรั่วของห้องยังปิดได้ไม่หมด ทำให้มีรอยรั่วบางจุดมีลมเข้าและเกิดการลัดวงจรดังกล่าวขึ้น

ซึ่งห้องความดันลบจะช่วยให้มีการระบายอากาศจากในห้องออกไปนอกอาคาร ทำให้ในห้องมีอากาศใหม่เข้ามาแทนที่อากาศเก่า ส่งผลให้เป็นการควบคุมการกระจายของเชื้อที่จะแพร่กระจายออกจากรูรั่วทางธรรมชาติไปนอกอาคารได้ หากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพบว่าจะมีการเพิ่มขึ้นระหว่างการจำลองทำหัตถการ เนื่องจากภายในบริเวณห้องความดันลบที่ประดิษฐ์ขึ้นไม่มีเครื่องปรับอากาศภายใน ทำให้ความร้อนที่อยู่ภายนอกอาคารส่งผ่านผนังเข้าสู่ห้องความดันลบนี้ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้น ถึงแม้อากาศที่อยู่ในข้างนอกส่วนพลาสติกจะมีเครื่องปรับอากาศและถูกดูดเข้าตามช่องของพลาสติกที่เข้าไว้บริเวณส่วนหัวของเก้าอี้ทันตกรรม แต่ช่องอากาศเข้าที่พลาสติกเล็กมากเพื่อให้เกิดแรงดันลบในห้อง และปริมาณอากาศที่ดูดเข้าน้อย จึงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

การใช้กล่องลดการฟุ้งกระจายร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลายนั้นจะช่วยลดการฟุ้งกระจายของละอองฝอยและละอองลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าการใช้อุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่งอย่างเดียว หากใช้ร่วมกับห้องความดันลบก็จะช่วยให้เกิดการหมุนเวียนอากาศเดิมออกไปและดึงอากาศใหม่เข้ามาแทนที่ ทำให้อากาศที่อาจติดเชื้อได้ระบายออกนอกอาคารซึ่งจะถูกแผ่นกรอง Hepa และ UVC ฆ่าเชื้อก่อนปล่อยออกสู่สาธารณะตามหลักการควบคุมเชื้อ ซึ่งประสิทธิภาพในการลดการฟุ้งกระจายดังกล่าวขึ้นกับประสิทธิภาพของแรงดูดจากที่ดูดน้ำลายแรงสูง (High power suction) ที่ใช้ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลาย แรงดูดจากเครื่องดูดอากาศออกนอกอาคาร การอุดรอยรั่วของห้องทันตกรรมความดันลบ และในการทดลองพบว่าต้องใช้เวลา 15 นาทีในการระบายอากาศออกทั้งหมด เพราะฉะนั้นการใช้งานจริงหลังจากทำหัตถการเสร็จต้องรอ 15 นาทีก่อนที่จะเข้าไปทำความสะอาดห้อง

เนื่องด้วยละอองลอยก็คือของผสมประเภทคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่เป็นละอองฟุ้งกระจายในอากาศ ในการทดลองจึงจำลองควัน โดยใช้เครื่องเครื่องวัด pm2.5 ในการวัดค่า ซึ่งเครื่องวัด pm2.5 มีค่าที่เครื่องสามารถวัดได้สูงสุดคือ 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ แต่การจำลองนั้นเราปล่อยควันขึ้นจากมากกว่า 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ แต่เนื่องด้วยการจำลองนี้เราต้องดูดอากาศออกทั้งหมดไม่ว่าค่า pm 2.5 จะขึ้นมากเท่าไร จากผลการทดลองพบว่าอากาศถูกดูดออกได้จริงจนเหลือค่าใกล้เคียงกับค่าก่อนจำลองทำหัตถการ จะเห็นว่าการมีระบบการดูดอากาศออกนอกอาคารที่ดี จะทำให้มีการไหลเวียนของอากาศใหม่มาแทนที่อากาศเก่าได้อย่างเหมาะสม ซึ่งการทำหัตถการทางทันตกรรมไม่ทำให้ความเร็วลมที่ดูดออกมีความเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ดังนั้นการวัดค่าความเร็วลมจากแรงดูดของพัดลมดูดอากาศออกนอกอาคารที่เหมาะสม จะสามารถหาค่าการไหลเวียนของอากาศในการออกแบบห้องทันตกรรมได้อย่างดี และในการทดลองการจำลองกรณีไม่มีการดูดอากาศออกจะพบในการทดลองว่าอากาศที่มี pm2.5 ปริมาณสูงก็ยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าอากาศที่ไม่มีการไหลเวียนจะคงอยู่และวนอยู่ในห้องตลอดระยะเวลาทำหัตถการทางทันตกรรม ซึ่งหากอากาศนั้นมีเชื้อทางอากาศ เชื้อนั้นก็จะวนเวียนอยู่ในห้องทันตกรรมและสามารถแพร่กระจายเข้าสู่อาคารได้ เนื่องจากไม่มีการดูดอากาศออกและไม่มีความดันของห้องที่เป็นความดันลบที่เพียงพอ ทำให้อากาศสามารถแพร่กระจายย้อนทางกลับสู่อาคารได้

สรุป

การใช้กล่องลดการฟุ้งกระจายจะช่วยลดการฟุ้งกระจายของละอองฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหากใช้ร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลายจะสามารถเพิ่มการลดการฟุ้งกระจายของละอองลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งห้องความดันลบเป็นสิ่งที่ช่วยให้มีการหมุนเวียนของอากาศใหม่เข้าไปแทนที่อากาศเก่า ทำให้อากาศที่ติดเชื้อมันถูกระบายออกไปยังนอกอาคารซึ่งจะต้องผ่านแผ่นกรอง Hepa และ UVC ทั้งหมด ซึ่งหากการรักษาทางทันตกรรมได้ใช้กล่องลดการฟุ้งกระจายร่วมกับพลาสติกคลุมหัวที่ดูดน้ำลายภายในห้องความดันลบ จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมเชื้อ ซึ่งจะเพิ่มความปลอดภัยของบุคลากรในการให้การรักษาผู้ป่วยและยังเพิ่มความปลอดภัยของบุคลากรในอาคารที่จะไม่มีอากาศแพร่กระจายไปในทิศทางในอาคาร และที่สำคัญที่สุดยังเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ป่วยที่มาปรึกษาและผู้คนที่อยู่ในบริเวณ

สถานพยาบาลจากอากาศที่อาจมีการปนเปื้อนของเชื้อในลักษณะละอองฝอยและละอองลอย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงพยาบาลค่ายขุนเจียงธรรมมิกราช ที่ให้การสนับสนุนทุนและปรับปรุงห้องทันตกรรม ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา และคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้คำแนะนำรวมทั้งสนับสนุนอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณลูกศิษย์นิสิตทันตแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่เป็นกำลังใจและขอบคุณ พญ.สุริยา จินาวงศ์ ที่สนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Ferrer R. COVID-19 Pandemic: the greatest challenge in the history of critical care. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2020;44(6):323-4. English, Spanish.
2. Department of Disease control. Corona Virus 2019 [Internet]. Nonthaburi: Ministry of Public Health Thailand; c2021 [update 2020; cited 2020 Jul 19]. Available from: https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/ind_knowledge.php
3. European Centre for Disease Prevention and Control. Transmission of COVID-19 [Internet]. European Centre; c2021 [update 2020 Jun 30; cited 2020 Jul 19]. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/latest-evidence/transmission>
4. Vittorio C, Pierantonio B, Davide B, Ugo C. COVID-19 dentistry-related aspects: a literature overview. *Int Dent J*. 2020:21-26.
5. Villani FA, Aiuto R, Paglia L, Re D. COVID-19 and Dentistry: Prevention in Dental Practice, a Literature Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(12):4609.
6. Watt RG. COVID-19 is an opportunity for reform in dentistry. *Lancet*. 2020;396(10249):462.
7. Peng X, Xu X, Li Y, Cheng L, Zhou X, Ren B. Transmission routes of 2019-nCoV and controls in dental practice. *Int J Oral Sci*. 2020;12(1):12-19.
8. Gamio L. The Workers who face the greatest Coronavirus risk. [Internet]. The New York Times. 2020 Mar 15 [cited 2020 mar 15]. Available from: <https://www.nytimes.com/interactive/2020/03/15/business/economy/coronavirus-worker-risk.html>
9. Thai Dental Council. Guideline of dental procedures in Covid-19 situation 2020 [Internet]. Nonthaburi: Ministry of public health; 2020 [Update 2020 Mar 30; cited 2020 Jul 19]. Available from: https://covid19.dms.go.th/backend/Content/Content_File/Covid_Health/Attach/25630330164731PM_Binder1.pdf. Thai

10. Thai Dental Council. Guideline of dental procedures in Covid-19 situation 2020 [Internet]. Bangkok: Ministry of public health;2020 [Update 2020 May 14; cited 2020 Jul 19]. Available from: <https://dentalcouncil.or.th/images/uploads/file/5F7VSJ8HPWBYTSNS.pdf>. Thai
11. Jukisalapong A. Wrap Dental Box for reducing Droplet and Aerosol transmission from Dental Procedure. Phayao: Fort Khun Chueang Thammikkarat Hospital; 2020. Thai
12. Larson E. Monitoring hand hygiene: meaningless, harmful, or helpful? *Am J Infect Control*. 2013;41(5 Suppl):S42-5.
13. Ruangsapanimit J. The design of air conditioning system in a clean room and application of computational fluid dynamics [dissertation]. Bangkok: Srinakharinwirot University; 2010. Thai
14. Achara C. Manual guide of improvement of air quality in medical building. Department of disease control. Nonthaburi: Ministry of Public health; 2007. Thai
15. Rydock JP, Eian PK, Lindqvist C, Welling I, Lingaas E. Best practice in design and testing of isolation rooms in Nordic hospitals. Oslo, Norway: Nordic Innovation Centre; 2004.
16. The standard of air conditioning and ventilation system. Bangkok: The Engineering institute of Thailand under H.M. the King's Patronage; 2016. Thai
17. Supot T. Design of separating room. Bangkok: Air conditioning engineering association of Thailand; 2008. Thai
18. Whyte W, editor. Cleanrooms design. Chichester:Wiley;1991.
19. Department of Health Service Support. Document No. A.44/Apr/2020 Improving Air Conditioning and Ventilation System for Covid-19 Patient. Nonthaburi: Ministry of Public Health Thailand;2020. Thai
20. Department of Health Service Support. Document No. A.45/Apr/2020 Improving Air Conditioning & Ventilation System for Covid-19 Patient. Nonthaburi: Ministry of Public Health Thailand;2020. Thai
21. World Health Organization. WHO guidelines on hand hygiene in health care. Geneva, Switzerland: WHO Press; 2009.
22. Pittet D, Allegranzi B, Sax H, Dharan S, Pessoa-Silva CL, Donaldson L, et al. WHO Global Patient Safety Challenge, World Alliance for Patient Safety. Evidence-based model for hand transmission during patient care and the role of improved practices. *Lancet Infect Dis*. 2006;6(10):641-52.
23. Cole M, Lai L. Reviewing the efficacy of infection control isolation. *Br J Nurs*. 2009;18(7):403-4, 406-7.
24. Sehulster L, Chinn RYW. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities: recommendations of CDC and the healthcare infection control practices advisory committee (HICPAC). *MMRW*. 2003;52(RR10):1-42.
25. Belkin L. The standard for the surgical mask. *Am J Infect Control*. 2009;37(3):258-9.
26. Jariya S. Manual guide of improvement of air quality in medical building. Bangkok : Bamrasnaradura Infectious Diseases Institute; 2017. Thai