

# การศึกษาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์หุ่นยนต์ฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตซีในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์: กรณีการรับมือการระบาดของโรคโควิด-19

พรรณิกา วรพลิก<sup>1</sup>, รวิวรรณ แทนประเสริฐสุข<sup>1</sup>, ธนิษฐา ฉัตรสุวรรณ<sup>2</sup>, กนิษฐา ภัทรกุล<sup>2</sup>, บุญรัตน์ โล่ห์วงศ์วัฒน์<sup>3</sup>, สมรัตน์ จารุลักษณะนันท์<sup>4</sup>, อติศักดิ์ ดวงแก้ว<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ฝ่ายวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย กรุงเทพฯ ประเทศไทย

<sup>2</sup>ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ประเทศไทย

<sup>3</sup>ศูนย์วิจัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ประเทศไทย

<sup>4</sup>ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ประเทศไทย

<sup>5</sup>บริษัท ไออีทีโซลูชั่น จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย

## Effectiveness Study of Disinfection of Microbes by Innovation Robotic UVC Radiation: Response to COVID-19 Pandemic

Pannika Vorapaluk<sup>1</sup>, Rawiwan Thanprasertsuk<sup>1</sup>, Tanittha Chatsuwana<sup>2</sup>, Kanitha Patarakul<sup>2</sup>, Boonrat Lohwongwatana<sup>3</sup>, Somrat Charuluxananan<sup>4</sup>, Adisak Duangkaew<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Department of Anesthesiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital, Thai Red Cross Society, Bangkok, Thailand

<sup>2</sup>Department of Microbiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

<sup>3</sup>Biomedical Engineering Research Center, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

<sup>4</sup>Department of Anesthesiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

<sup>5</sup>IET SOLUTION CO., LTD., Bangkok. Thailand.

**ภูมิหลัง:** เนื่องจากมีการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาทั่วโลกรวมถึงในประเทศไทย มีผู้ติดเชื้อต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเป็นจำนวนมาก ซึ่งเชื้อไวรัสนี้ติดต่อได้ง่ายสามารถติดต่อได้หากมีเชื้อตกค้างอยู่บนวัสดุทั่วไป การฆ่าเชื้อด้วยเครื่องมือลดงานของบุคลากรจึงมีความสำคัญเพื่อช่วยลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อของบุคลากรภายในโรงพยาบาล

**วัตถุประสงค์:** ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์หุ่นยนต์ฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตซีในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ *Pseudomonas aeruginosa* แทนการทดสอบในไวรัสโคโรนา

**วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง:** หุ่นยนต์ประกอบด้วยหลอดไฟฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (TUV 36W SLV) 12 หลอด ประกอบเป็นรูปทรงกระบอก ติดตั้งบนฐานหุ่นยนต์ 4 ล้อซึ่งควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอัตโนมัติทำการศึกษา

**Background:** During the COVID-19 pandemic, many patients have been quarantined and hospitalized. Healthcare providers thus have a high risk in contacting the SARS-CoV-2. Measures for disinfection not involving human works might decrease such risk and decrease transmission rate inside the hospital.

**Objectives:** To study the effectiveness of innovative robotic ultraviolet C (UVC) radiation in killing *Pseudomonas aeruginosa* as a surrogate for SARS-CoV-2.

**Materials and methods:** The robotic UVC comprised of 12 UVC lamps (TUV 36W SLV) forming in cylinder shape perpendicular to robotic 4 wheels base controlled direction of movement by remote control. *P. aeruginosa* are common etiology of hospital-acquired infection and

Correspondence to: Rawiwan Thanprasertsuk, MD., Email: Rawiwan.api@gmail.com

Received 27 May 2020, Revised 2 June 2020, Accepted 2 June 2020

ประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์หุ่นยนต์ฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต-ซี ในการฆ่าเชื้อจุลชีพ *P. aeruginosa* บนวัสดุต่าง ๆ ที่ระยะ 0.5-3 เมตร ซึ่งจุลชีพนี้เป็นแบคทีเรียที่เป็นหนึ่งในสาเหตุของการติดเชื้อภายในโรงพยาบาลและถูกกำจัดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตซีได้ยากกว่าไวรัสโคโรนา

**ผลการศึกษา:** จากการศึกษพบว่าเชื้อ *P. aeruginosa* บนพื้นผิวสแตนเลสถูกกำจัดได้มากที่สุดและบนแก้วถูกกำจัดได้น้อยที่สุดที่เวลาและขนาดของยูวีซีเท่ากัน สิ่งประดิษฐ์นี้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *P. aeruginosa* บนพลาสติกและสแตนเลสได้ร้อยละ 99.9 ภายในเวลา 3 นาที ที่ระยะ 3 เมตร จากจุดศูนย์กลางเครื่อง เมื่อเพิ่มเวลาฆ่าเชื้อเป็น 10 นาที สามารถฆ่าเชื้อได้ทั้งบนแก้ว พลาสติก และพื้นผิวสแตนเลส ที่ทำการทดลองได้มากกว่าร้อยละ 99.9

**สรุป:** สิ่งประดิษฐ์หุ่นยนต์ฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต-ซี มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลชีพ *P. aeruginosa* ซึ่งกำจัดได้ยากกว่าไวรัสโคโรนา การกำจัดเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี ก่อนนำจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ เช่น ในห้องผ่าตัด หออภิบาลผู้ป่วยหนัก หรือในหอผู้ป่วย

**คำสำคัญ:** การทำลายเชื้อในโรงพยาบาล, รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี, ไวรัสโคโรนา

generally tolerate to UVC more than the coronaviruses. We studied killing effect of innovative robotic UVC to these bacteria on various surfaces including glass, plastic and stainless-steel at 0.5-3 meters from the device.

**Results:** Under the same exposure time and UVC dose, eradication of *P. aeruginosa* on the glass surface was the hardest comparing to other surfaces. This robotic innovation was effective in killing 99.9% of *P. aeruginosa* on the plastic and the stainless-steel surfaces within 3 minutes at the distance of 3 meters from the device. When the exposure time was increased to 10 minutes, 99.9% of the microbes on all surfaces in this study were killed.

**Conclusion:** Robotic UVC radiation was effective in killing *P. aeruginosa*, which is more tolerate to UVC than the coronaviruses. Implementing UVC radiation might help decrease risk of hospital transmission in operating theater, intensive care unit or cohort ward.

**Keywords:** Coronavirus, Hospital disinfection, Pseudomonas, SARS-CoV-2, Ultraviolet, UVC

วิสัญญีสาร 2563; 46(3) ฉบับพิเศษ: 8-15. • Thai J Anesthesiol 2020; 46(3) supplement: 8-15.

## บทนำ

นับตั้งแต่องค์การอนามัยโลกได้รับแจ้งจากสาธารณรัฐประชาชนจีนว่ามีกลุ่มผู้ป่วยภาวะปอดอักเสบโดยยังไม่ทราบชนิดของจุลชีพต้นเหตุที่เมืองหวู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย์ สาธารณรัฐประชาชนจีนเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม ค.ศ.2019 จนมีรายงานอย่างเป็นทางการว่ากลุ่มอาการปอดอักเสบเกิดจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่เมื่อวันที่ 7 มกราคม ค.ศ.2020<sup>1-3</sup> ซึ่งต่อมาไวรัสนี้ได้ชื่อว่า Severe Acute Respiratory Syndrome Corona virus 2 (SARS-CoV-2) และเรียกชื่อโรคว่า coronavirus disease 2019 (COVID-19) ในประเทศไทย ห้องปฏิบัติการของศูนย์ความเป็นเลิศด้านโรคอุบัติใหม่ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสามารถตรวจยืนยันการติดเชื้อของผู้ป่วยชาวจีนรายแรกในประเทศไทยเมื่อวันที่ 8 มกราคม ค.ศ.2020 และทำการศึกษาพบว่าเกิดจากเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ สามารถเทียบได้ตรงกันกับการเปิดเผยของผลปฏิบัติการจากสาธารณรัฐประชาชนจีนร้อยละ 100 จึงยืนยันผู้ป่วยรายแรกในประเทศไทยเมื่อวันที่ 13 มกราคม ค.ศ.2020<sup>4</sup> ผู้ป่วยดังกล่าวได้รับการรักษาที่โรงพยาบาลบำราศนราดูร กระทรวงสาธารณสุขและมีการยืนยันผู้ติดเชื้อในประเทศไทยรายที่ 2 และรายที่ 3,4 เมื่อวันที่

17 และ 22 มกราคม ค.ศ.2020 ตามลำดับ สถิติผู้ติดเชื้อเมื่อสิ้นเดือนมกราคม (31มกราคม ค.ศ.2020) มีผู้ติดเชื้อทั่วโลก 9807 ราย เสียชีวิต 213 ราย (2.1%) ในประเทศไทยมีผู้ยืนยันการติดเชื้อ SARS-CoV-2 19 ราย<sup>5</sup> นอกจากนี้จำนวนผู้ติดเชื้อที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วองค์การอนามัยโลกได้แถลงถึงการติดเชื้อแบบคนสู่คน (human to human transmission) เมื่อวันที่ 14 มกราคม ค.ศ.2020 และประกาศการระบาดของโรคเป็นภาวะฉุกเฉินทางสาธารณสุขระดับนานาชาติ (Public Health Emergency of International Concern: PHEIC) เมื่อวันที่ 30 มกราคม ค.ศ.2020 และประกาศการระบาดของเชื้อ SARS-CoV-2 ว่าเป็นการระบาดใหญ่ระดับโลก (Pandemic) เมื่อวันที่ 11 มีนาคม ค.ศ.2020<sup>6</sup> ข้อมูลทางระบาดวิทยาเมื่อวันที่ 30 เมษายน ค.ศ.2020 มีผู้ติดเชื้อทั่วโลก 3238375 ราย ผู้เสียชีวิต 228860 ราย (7.07%) โดยสหรัฐอเมริกา ราชอาณาจักรสเปน ประเทศอิตาลี สาธารณรัฐฝรั่งเศส และสหราชอาณาจักร มีจำนวนผู้ติดเชื้อจำนวนมาก และรองลงไปตามลำดับ ในขณะที่ประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อ 2954 ราย รักษาหายแล้ว 2687 ราย (90.96%) เสียชีวิต 54 ราย (1.8%) ยังคงรักษาอยู่ในโรงพยาบาล 213 ราย (7%)<sup>5</sup> จะเห็นได้ว่าในประเทศไทยมีการติดตาม ตรวจและรักษา

ผู้ติดเชื้อประมาณสามพันรายเมื่อสิ้นเดือนเมษายน สำหรับ วิทยาลัยแพทย์และวิทยาลัยพยาบาลโรงพยาบาลต่างๆ ใน ประเทศไทยได้มีการเตรียมตัวสำหรับการให้ยาระงับความรู้สึกสำหรับการผ่าตัด การอภิบาลผู้ป่วยในหอผู้ป่วยหนักหรือได้รับการร้องขอให้ใส่ท่อช่วยหายใจที่หอผู้ป่วยหรือ หออภิบาลผู้ป่วยหนักอีกด้วย นอกจากการประกอบวิชาชีพ เวชกรรมโดยมีผู้ป่วยเป็นศูนย์กลางแล้ว การป้องกันการ ติดเชื้อในบุคลากรสาธารณสุขก็เป็นประเด็นสำคัญ เช่น การจัดหาชุดป้องกันการติดเชื้อ การจัดหาหน้ากากศัลยกรรม (surgical mask) หรือหน้ากาก N95 สำหรับใช้ระหว่าง ปฏิบัติการ นอกจากนี้การทำมาความสะอาดและฆ่าเชื้อบริเวณ ห้องหรืออุปกรณ์การแพทย์อย่างเหมาะสมก็มีความสำคัญใน การลดโอกาสของการเกิดการแพร่เชื้อในสถานพยาบาล การฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับ ความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยรังสีที่มีประสิทธิภาพในการ ฆ่าเชื้อได้ดีคือรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (Ultraviolet C, UVC) ซึ่งจะฆ่าจุลชีพทั้งแบคทีเรียและไวรัสได้โดยการทำลาย สารพันธุกรรม RNA และ DNA ของเชื้อทำให้เซลล์ตายใน ที่สุด<sup>7</sup> ไวรัสโคโรนาเป็น enveloped single stranded RNA<sup>3</sup> จากลักษณะดังกล่าวทำให้ถูกทำลายได้ง่ายด้วยรังสี อัลตราไวโอเล็ตขนาดต่ำกว่าไวรัสลักษณะอื่น ซึ่งมี molecular weight ของสารพันธุกรรมมากกว่า<sup>8-11</sup> การใช้ UVC มี ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อได้ดีแต่มีข้อจำกัดในบริเวณที่แสง ส่องไม่ถึง ทำให้ต้องมีการขยับอุปกรณ์ไปในตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อให้ฆ่าเชื้อได้อย่างทั่วถึง อีกทั้งการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากก่อให้เกิดมะเร็งและต่อกระจกได้หาก มนุษย์สัมผัสโดยตรง<sup>12</sup> จึงได้มีการพัฒนาหุ่นยนต์อุปกรณ์ที่ ปลัอยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ และสามารถบังคับให้เคลื่อนที่ ไปในตำแหน่งที่ต้องการจากระยะไกลเพื่อลดความเสี่ยงใน การสัมผัสรังสีของผู้ใช้งาน เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัด เชื้อได้แก่ลักษณะโครงสร้างของเชื้อ ชนิด พื้นผิว และขนาด ของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV dose)<sup>13, 14</sup> โดยขนาดของรังสี อัลตราไวโอเล็ต (UV dose) ขึ้นกับความเข้มแสง (intensity) และ เวลาที่สัมผัส (exposure time)<sup>15</sup> โดยขนาดของรังสี อัลตราไวโอเล็ตที่สามารถกำจัดเชื้อไวรัสโคโรนาได้ร้อยละ 90 อยู่ในช่วง 0.6-40 mJ/cm<sup>2</sup> มีความแตกต่างกันขึ้นกับรูปแบบ การศึกษา<sup>10, 16</sup> การนำเชื้อไวรัสมาทำการวิจัยในช่วงที่มีการ แพร่ระบาดทำได้ยากและมีความเสี่ยงทำให้ทางที่มีวิจัยเลือก ทำการศึกษาในแบคทีเรีย เนื่องจากขั้นตอนในการศึกษา แบคทีเรียสามารถทำได้สะดวกและปลอดภัยกว่าไวรัส เป็นที่ ทราบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถทำลายจุลชีพโดยการ ทำลายสารพันธุกรรมและผนังเซลล์หรือเปลือก โดยไวรัสชนิด single stranded RNA เช่น SARS-CoV-2 สามารถถูกทำลาย

ได้ง่ายกว่าชนิด double stranded ในการศึกษานี้ทดลองโดย ใช้แบคทีเรียคือ *Pseudomonas aeruginosa* ที่ต้องใช้ความ เข้มแสงในการกำจัดขนาดสูงเมื่อเทียบกับแบคทีเรียและไวรัส อื่นๆ<sup>17</sup> ทั้งยังเป็นเชื้อก่อโรคในโรงพยาบาลอีกด้วย ทางทีม ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษานี้เพื่อศึกษาถึงเวลาและระยะที่ เหมาะสมของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตในการ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *P.aeruginosa* เป็นจุลชีพสำหรับเปรียบเทียบ แทนไวรัสโคโรนา

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง (Materials and Methods)

### การเตรียมเชื้อ (Bacterial preparation and inoculum of fomites)

นำเชื้อ *P.aeruginosa* ATCC 27853 ที่เจริญบน Tryptic soy agar ที่ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาผสมในน้ำเกลือ 0.85% ปรับให้มีความขุ่นเท่ากับสารละลายมาตรฐาน 0.5 McFarland จากนั้นนำตัวอย่างเชื้อปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร มาเกลี่ยลงบนพื้นผิววัสดุ ได้แก่ แก้ว พลาสติก และสแตนเลส แล้วนำไปวางที่ระยะห่างต่างๆ จากเครื่องฉายแสง UVC ได้แก่ 0.5, 1, 2 และ 3 เมตร ที่ระดับพื้นห้องและระยะ 1, 2 และ 3 เมตร ที่ความสูงจากพื้น 0.5 เมตร ทำการฉายแสงที่ ช่วงเวลาต่างๆ ได้แก่ 3, 5, 10, 15 และ 20 นาที โดยเชื้อที่ไม่ ได้ทำการฉายแสงเป็นตัวควบคุมเชิงลบ (negative control) จากนั้นนำตัวอย่างมาทำการเจือจาง 1:10, 1:100 และ 1:1000 เท่า แล้วนำมาเพาะเชื้อบน Tryptic Soy Agar ที่ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับปริมาณโคโลนีที่เจริญบน Tryptic soy agar รายงานผลเป็น CFU/ml และ log<sub>10</sub> CFU/ml

### หุ่นยนต์ฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี

เป็นหุ่นยนต์ที่ประกอบด้วยหลอดไฟ UVC ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 12 หลอด (TUV 36W SLV/6, Philips) ประกอบ ตั้งจากกับพื้นรอบแกนกลางเป็นสแตนเลสรูปทรงกระบอก สะท้อนแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร ความสูงรวม 180 เซนติเมตร บนฐานหุ่นยนต์ขนาดกว้าง 65 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร ความสูงจากพื้นถึงหลอดไฟ 48 เซนติเมตร (Figure 1) ซึ่งมีระบบขับเคลื่อน 4 ล้อ กำลังขับเคลื่อนรวม 1000 วัตต์ ความเร็วสูงสุด 0.6 เมตร/วินาที ใช้แหล่งพลังงาน 2 ระบบ ได้แก่ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion battery) ขนาด 24 โวลต์/48แอมแปร์-ชั่วโมง ใช้งานต่อเนื่องได้ 2 ชั่วโมงและ ไฟฟ้า 220 โวลต์ ควบคุมการเคลื่อนที่และ ตั้งเวลาเปิด-ปิดการทำงานด้วยรีโมทไรราย 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และมีระบบตั้งระยะเวลาเปิด-ปิดอัตโนมัติ ตรวจจับ การเคลื่อนไหวด้วยระบบอินฟราเรด (Passive Infrared sensor; PIR)

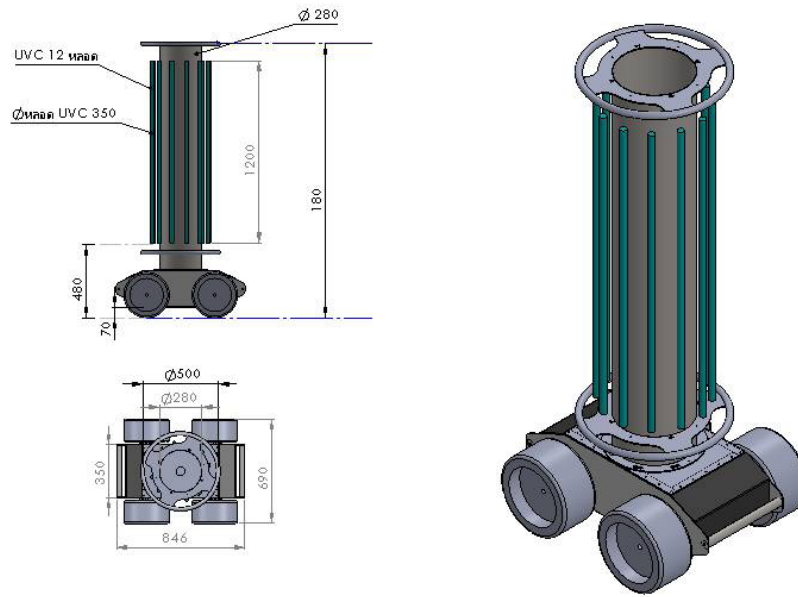


Figure 1 Innovative robotic ultraviolet C

### การทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ฉายรังสีอัลตราไวโอเลตซี

ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโดยกำหนดจุดวางหุ่นยนต์ UVC เป็นจุดเริ่มต้นและทำการวางวัสดุที่มีเตรียมป้ายเชื้อไว้ โดยการศึกษามี 2 ระดับคือบนพื้น และวางบนกล่องใสสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร เนื่องจากต้องการศึกษาจุดอับแสงของเครื่องบนพื้นจึงเริ่มศึกษาที่ระยะ 50 เซนติเมตร จากจุดศูนย์กลางเครื่อง ระยะอื่นที่ทำการวิจัยได้แก่ 1, 2 และ 3 เมตรจากจุดศูนย์กลางของเครื่องมีการศึกษาทั้งสองระดับ วัสดุป้ายเชื้อที่เป็นตัวควบคุมจะถูกวางไว้นอกห้อง โดยทำการทดลองซ้ำโดยใช้เวลา 3, 5, 10, 15 และ 20 นาทีตามลำดับ

#### การวัดความเข้มแสง

วัดความเข้มแสงยูวีซีเป็น  $mW/cm^2$  ในแต่ละตำแหน่งที่ทำการทดลองฆ่าเชื้อด้วยเครื่องวัดแสง DIGICON UV-370SD โดยที่บริเวณพื้นมีการหันตัวรับแสงหยาบจุดที่ทำการทดสอบและหันตั้งฉากหาหุ่นยนต์เพื่อวัดความเข้มแสงเนื่องจากมีการทำมุมของแสงกับพื้นผิวที่ทำการทดสอบจึงทำการวัดให้รับกับแสงได้ดีที่สุด

#### สถิติ

การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์แสดงเป็นการลดลงของค่า  $\log_{10}$  ของโคโลนี (log CFU reduction)

$$\log \text{CFU reduction} = \log A - \log B$$

A = จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น, B = จำนวนเชื้อจุลินทรีย์พหุหลังจากสัมผัสรังสีอัลตราไวโอเลต

โดย 1 Log reduction แสดงถึงการลดลงของจุลินทรีย์ร้อยละ 90, 2 log reduction แสดงถึงการลดลงของจุลินทรีย์ร้อยละ 99, 3 log reduction แสดงถึงการลดลงของจุลินทรีย์ร้อยละ 99.9 เป็นต้น

### ผลการศึกษา

#### ประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ฆ่าเชื้อ

ผลการศึกษาโดยภาพรวมแสดงถึงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ในการฆ่าเชื้อได้ดีกว่าในระยะใกล้เครื่องและเมื่อใช้เวลานานขึ้นสามารถกำจัดเชื้อได้มากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 โดยสามารถกำจัดเชื้อภายในเวลา 3 นาทีที่ระยะถึง 3 เมตร ได้มากกว่าร้อยละ 99.9 (3 log reduction) บนสแตนเลสและพลาสติก และมากกว่าร้อยละ 90 (2 log reduction) บนแก้ว เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฆ่าเชื้อเป็น 10 นาที สามารถกำจัดเชื้อได้มากกว่าร้อยละ 99.9 (3 log reduction) บนทุกวัสดุที่ทำการทดลองในระยะ 3 เมตร

ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ฉายรังสี UVC จะสามารถฆ่าเชื้อ *P.aeruginosa* ได้ดีกว่าที่ระยะใกล้เครื่องจาก 0.5, 1, 2 และ 3 เมตรตามลำดับ นอกจากนี้ยังขึ้นกับระยะเวลาที่ได้รับรังสีโดยระยะเวลาที่ได้รับรังสีนานยังสามารถฆ่าเชื้อได้ดีขึ้น (Table 1, 2)

**การวัดความเข้มแสงและขนาดของยูวีซี**

การวัดความเข้มแสงบริเวณพื้น ที่ระยะ 0.5 เมตรจาก จุดศูนย์กลางเครื่องมีความเข้มแสง 0.017-0.126 mJ/cm<sup>2</sup> ที่ ระยะ 1 เมตร 0.076-0.092 mJ/cm<sup>2</sup> ที่ระยะ 2 เมตร 0.017-0.107 mJ/cm<sup>2</sup> และที่ระยะ 3 เมตร 0.004-0.065 mJ/cm<sup>2</sup> (Table 3)

บนกล่องใส่สูงจากพื้น 50 เซนติเมตร ระยะใกล้ที่สุด (1 เมตร) มีความเข้มแสงสูงสุดคือ 0.313 mJ/cm<sup>2</sup> และความเข้มแสงลดลงตามระยะทาง โดยที่ระยะ 3 เมตรมีความเข้มแสง 0.073 mJ/cm<sup>2</sup>

**Table 1** Number of colony count before and after UVC irradiation in various durations and distances

	Number of colony (CFU/ml)					
	Glass		Plastic		Stainless steel	
	Top	Ground	Top	Ground	Top	Ground
<b>3 min</b>						
Control		2x10 <sup>9</sup>		9x10 <sup>9</sup>		4.2x10 <sup>9</sup>
0.5m	-	5000	-	3 x10 <sup>5</sup>	-	500
1m	7.9 x10 <sup>6</sup>	1.02 x10 <sup>7</sup>	1 x10 <sup>5</sup>	2 x10 <sup>5</sup>	500	1600
2m	1.28 x10 <sup>7</sup>	1.49 x10 <sup>7</sup>	2.1 x10 <sup>6</sup>	1.2 x10 <sup>6</sup>	700	2900
3m	1.39 x10 <sup>7</sup>	1.60 x10 <sup>7</sup>	3.4 x10 <sup>6</sup>	5.9 x10 <sup>6</sup>	2900	5500
<b>5 min</b>						
Control		2x10 <sup>9</sup>		1.2x10 <sup>10</sup>		1.54x10 <sup>10</sup>
0.5m	-	1.3 x10 <sup>4</sup>	-	3 x10 <sup>4</sup>	-	100
1m	3.8 x10 <sup>6</sup>	5.6 x10 <sup>6</sup>	1.23 x10 <sup>7</sup>	2 x10 <sup>4</sup>	800	0
2m	8.3 x10 <sup>6</sup>	7.2 x10 <sup>6</sup>	7 x10 <sup>4</sup>	1.6 x10 <sup>5</sup>	100	600
3m	2 x10 <sup>5</sup>	3.2 x10 <sup>6</sup>	2 x10 <sup>4</sup>	6 x10 <sup>5</sup>	2500	600
<b>10 min</b>						
Control		9x10 <sup>9</sup>		1.2x10 <sup>10</sup>		1.1x10 <sup>10</sup>
0.5m	-	2000	-	200	-	0
1m	5 x10 <sup>4</sup>	2.9 x10 <sup>5</sup>	0	0	200	0
2m	6 x10 <sup>5</sup>	3.2 x10 <sup>5</sup>	3000	1000	400	200
3m	3 x10 <sup>5</sup>	2.8 x10 <sup>6</sup>	1.17 x10 <sup>7</sup>	9 x10 <sup>4</sup>	500	400
<b>15 min</b>						
Control		1.1x10 <sup>10</sup>		8x10 <sup>9</sup>		9x10 <sup>9</sup>
0.5m	-	1.1 x10 <sup>4</sup>	-	400	-	0
1m	2000	1.1 x10 <sup>4</sup>	0	0	200	0
2m	1.1 x10 <sup>5</sup>	1.8 x10 <sup>5</sup>	900	900	0	0
3m	2.9 x10 <sup>5</sup>	2 x10 <sup>5</sup>	2000	400	0	1000
<b>20 min</b>						
Control		1.6x10 <sup>10</sup>		2x10 <sup>10</sup>		1.5x10 <sup>10</sup>
0.5m	-	900	-	1000	-	100
1m	1300	1000	1.7 x10 <sup>4</sup>	2 x10 <sup>4</sup>	100	400
2m	6 x10 <sup>4</sup>	2 x10 <sup>5</sup>	3000	1000	200	500
3m	1 x10 <sup>5</sup>	2.2 x10 <sup>5</sup>	7x10 <sup>5</sup>	1.3 x10 <sup>6</sup>	400	1400

**Table 2** Log reduction of colony forming unit after UVC irradiation in various durations and distances

	Log CFU reduction					
	Glass		plastic		Stainless	
	Top	Ground	Top	ground	Top	Ground
<b>3 min</b>						
0.5m	-	5.60	-	4.48	-	6.92
1m	2.40	2.29	4.95	4.65	6.92	6.42
2m	2.19	2.13	3.63	3.88	6.78	6.16
3m	2.16	2.10	3.42	3.18	6.16	5.88
<b>5 min</b>						
0.5m	-	5.19	-	5.60	-	8.19
1m	2.72	2.55	2.99	5.78	7.28	11.19
2m	2.38	2.44	5.23	4.88	8.19	7.41
3m	4.00	2.80	5.78	4.30	6.79	7.41
<b>10 min</b>						
0.5m	-	6.65	-	7.78	-	11.04
1m	5.26	4.49	11.08	11.08	7.74	11.04
2m	4.18	4.45	6.60	7.08	7.44	7.74
3m	4.48	3.51	3.01	5.12	7.34	7.44
<b>15 min</b>						
0.5m	-	6.00	-	7.30	-	10.95
1m	6.74	6.00	10.90	10.90	7.65	10.95
2m	5.00	4.79	6.95	6.95	10.95	10.95
3m	4.58	4.74	6.60	7.30	10.95	6.95
<b>20 min</b>						
0.5m	-	7.25	-	7.30	-	8.18
1m	7.09	7.20	6.07	6.00	8.18	7.57
2m	5.43	4.90	6.82	7.30	7.88	7.48
3m	5.20	4.86	4.46	4.19	7.57	7.03

**Table 3** UVC intensities measuring at each distances

Distance(m)	Intensity (mW/cm <sup>2</sup> )		
	Height 50 cm from ground		Ground
	Probe facing lamps	Probe facing up	Probe facing lamps
0.5	-	0.126	0.017
1	0.313	0.076	0.092
2	0.160	0.017	0.107
3	0.073	0.004	0.065



## วิจารณ์

จากการศึกษาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ฉายรังสี UVC พบว่าเชื้อ *P.aeruginosa* บนพื้นผิวสแตนเลส ถูกกำจัดได้มากที่สุดและบนแก้วถูกกำจัดได้น้อยที่สุดที่เวลาและขนาดของยูวีซีเท่ากัน หุ่นยนต์ฉายรังสีนี้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *P.aeruginosa* บนพลาสติกและสแตนเลสได้มากกว่าร้อยละ 99.9 (3 log reduction) ภายในเวลา 3 นาที ที่ระยะ 3 เมตร เมื่อเพิ่มเวลาฆ่าเชื้อเป็น 10 นาที สามารถฆ่าเชื้อบนทุกวัสดุได้แก่ แก้ว พลาสติก และสแตนเลสที่ทำการทดลองได้มากกว่าร้อยละ 99.9 (3 log reduction)

หุ่นยนต์นี้มีความสูงจากพื้น 48 เซนติเมตรทำให้ลำแสงอาจจะไม่สามารถกำจัดเชื้อบนพื้นในระยะใกล้เครื่องได้ เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องมุมอับแสง จึงได้มีการทดลองวางเชื้อบนพื้นที่บริเวณ 0.5 เมตรจากจุดศูนย์กลางเครื่องและทำการวัดความเข้มแสงร่วมด้วยการวัดความเข้มแสงบนพื้นทำการวัด 2 แบบโดยการหงายตัววัดบนพื้นและตั้งฉากกับลำแสงเนื่องจากลักษณะของแสงมีการทำมุมกับพื้นการวัดเพียงวิธีเดียวอาจให้ผลที่ไม่ถูกต้อง เชื้อที่ถูกวางไว้บนพื้นที่ระยะ 0.5 เมตรจากจุดศูนย์กลางเครื่องซึ่งวัดความเข้มแสงได้ 0.017-0.126 mw/cm<sup>2</sup> สามารถกำจัดเชื้อได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับบนพื้นจุดอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์นี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อบนพื้นที่ระยะ 0.5 เมตรจากจุดศูนย์กลางของเครื่อง และน่าจะเป็นบริเวณที่มีความเข้มแสงสูงสุดบริเวณพื้น อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อที่บริเวณที่มีความเข้มแสงใกล้เคียงกันบนกล่องใสสูงจากพื้น 50 เซนติเมตรพบว่าเชื้อที่บริเวณพื้นห่างจากจุดศูนย์กลางเครื่อง 0.5 เมตรนั้นตายมากกว่าจึงน่าจะมีปัจจัยอื่นที่ช่วยในการกำจัดเชื้อ ได้แก่ โอโซน (ozone, O<sub>3</sub>) เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเลตเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนสามารถทำให้เกิดโอโซนได้<sup>18</sup> ซึ่งโอโซนมีคุณสมบัติในการกำจัดเชื้อได้จึงมีการศึกษานำโอโซนมาใช้ในการกำจัดเชื้อในโรงพยาบาลด้วย<sup>19</sup>

โดยขนาดของยูวีซีที่คำนวณโดยสูตร ขนาดของยูวีซี (UVC dose, mJ/cm<sup>2</sup> = mW\*s/cm<sup>2</sup>) = ความเข้มแสง (Intensity, mW/cm<sup>2</sup>) x เวลา (time, seconds) จากการศึกษพบว่าขนาดของยูวีซีที่ระยะ 3 เมตรเมื่อทำการฆ่าเชื้อเป็นเวลา 10 นาทีมีขนาด 39 mJ/cm<sup>2</sup> ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดที่สามารถกำจัดเชื้อไวรัสโคโรนาบนพลาสติกได้ร้อยละ 99.9<sup>16</sup>

มีการศึกษาพบว่าการทำมาความสะอาดในห้องผ่าตัดด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อตามวิธีมาตรฐานเพียงอย่างเดียวสามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียได้เพียงร้อยละ 38.4 แต่เมื่อใช้ร่วมกับฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตสามารถลดการปน

เปื้อนได้ถึงร้อยละ 96.5<sup>20</sup> ดังนั้นหากมีการใช้ห้องผ่าตัดสำหรับผู้ป่วยติดเชื้อแล้วทำความสะอาดด้วยวิธีปกติ อาจยังมีความเสี่ยงในการตกค้างของเชื้อได้ อีกทั้งการใช้คนเพื่อทำความสะอาดห้องที่มีการปนเปื้อนของไวรัสโคโรนา 2019 ซึ่งเป็นเชื้อที่มีการติดต่อได้ง่าย และสามารถติดต่อได้ผ่านการตกค้างของเชือบนวัสดุต่างๆ<sup>21</sup> อาจทำให้บุคลากรที่เข้าไปทำความสะอาดมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้ การใช้รังสีอัลตราไวโอเลตในการฆ่าเชื้อเบื้องต้นก่อนจะช่วยลดความเสี่ยงนี้ได้ นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่า การฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตยังสามารถฆ่าเชื้อก่อโรคได้อีกด้วย<sup>22</sup>

ข้อจำกัด 1. เป็นการทดลองแบบปฏิบัติการนอกห้องผ่าตัดเพื่อหลีกเลี่ยงการนำจุลินทรีย์ก่อโรคมารใช้ในสถานที่จริง 2. การศึกษานี้เป็นการทดลองเพียงครั้งเดียว แต่ใช้บุคลากรซึ่งมีความเชี่ยวชาญระดับปริญญาโทในการทำการทดลองเชิงปฏิบัติการ เนื่องจากระเบียบวิธีการวิจัยมีการใช้อุปกรณ์เป็นจำนวนมาก ทั้งชนิดพื้นผิว ระดับพื้นและ 50 เซนติเมตรเหนือพื้น ระยะทาง 0.5, 1, 2, 3 เมตร และเวลา 3, 5, 10, 15, 20 นาที ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ก็สอดคล้องและสามารถอธิบายได้ 3. การศึกษานี้ไม่ได้ทดลองโดยการให้เชื้อ SARS-CoV-2 ซึ่งหาได้ยาก มีอันตรายและการนำเชื้อไวรัสไปเลี้ยงบนเซลล์มีความยุ่งยาก จึงเลือกใช้เชื้อ *P.aeruginosa* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ชนิดก่อโรคและพบบ่อยในโรงพยาบาลเป็นตัวเปรียบเทียบซึ่งสะดวกในการทำการศึกษามากกว่า และฆ่าเชื้อได้ง่ายกว่า enveloped single stranded RNA เช่น SARS-CoV-2

## สรุป

หุ่นยนต์ฉายรังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งเป็นนวัตกรรมซึ่งสร้างมาในระหว่างมีโรคระบาด COVID-19 สามารถควบคุมให้ไปฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในสถานที่ต่างๆ ได้โดยการบังคับระยะใกล้สามารถฆ่าเชื้อ *P.aeruginosa* บนพื้นผิวพลาสติกและสแตนเลสได้มากกว่าร้อยละ 99.9 ที่ระยะ 3 เมตรจากจุดศูนย์กลางเครื่อง เมื่อได้รับการฉายรังสี 3 นาที และสามารถฆ่าเชื้อบนพื้นผิวแก้ว พลาสติกและสแตนเลสได้มากกว่าร้อยละ 99.9 เมื่อฉายรังสี 10 นาที

## References

1. Zhu N, Zhang D, Wang W, et al. A novel Coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. N Engl J Med 2020;382:727-33.
2. Li Q, Guan X, Wu P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-infected pneumonia. N Engl J Med 2020;382:1199-207.

3. Lu R, Zhao X, Li J, et al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *Lancet* 2020;395:565-74.
4. Thailand responding to the novel coronavirus: World Health Organization; 2020 [internet].[cited 2020 May 21]. Available from: <https://www.who.int/thailand/news/detail/13-01-2020-thailand-responding-to-the-novel-coronavirus>.
5. Novel Coronavirus(2019-nCoV) situation report–12: World Health Organization; 2020 [internet].[cited 2020 May 21]. Available from: [https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200201-sitrep-12-ncov.pdf?sfvrsn=273c5d35\\_2](https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200201-sitrep-12-ncov.pdf?sfvrsn=273c5d35_2).
6. Statement on the second meeting of the International Health Regulations (2005) emergency committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-nCoV): World Health Organization; 2020 [internet].[cited 2020 May 21]. Available from: [https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov)).
7. Kim DK, Kang DH. UVC LED irradiation effectively inactivates aerosolized viruses, bacteria, and fungi in a chamber-type air disinfection system. *Appl Environ Microbiol* 2018;84. DOI: 10.1128/AEM.00944-18
8. Ye Y, Chang PH, Hartert J, Wigginton KR. Reactivity of enveloped virus genome, proteins, and lipids with free chlorine and UV254. *Environ Sci Technol* 2018;52:7698-08.
9. Tseng CC, Li CS. Inactivation of viruses on surfaces by ultraviolet germicidal irradiation. *J Occup Environ Hyg* 2007; 4:400-5.
10. Walker CM, Ko G. Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environ Sci Technol* 2007;41:5460-5.
11. Tseng CC, Li CS. Inactivation of virus-containing aerosols by ultraviolet germicidal irradiation. *Aerosol Sci Technol* 2005;39:1136-42.
12. Gallagher RP, Lee TK. Adverse effects of ultraviolet radiation: a brief review. *Prog Biophys Mol Biol* 2006;92:119-31.
13. Mitchell JB, Sifuentes LY, Wissler A, Abd-Elmaksoud S, Lopez GU, Gerba CP. Modelling of ultraviolet light inactivation kinetics of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, vancomycin-resistant enterococcus, *Clostridium difficile* spores and murine norovirus on fomite surfaces. *J Appl Microbiol* 2019;126:58-67.
14. Gora SL, Rauch KD, Ontiveros CC, Stoddart AK, Gagnon GA. Inactivation of biofilm-bound *Pseudomonas aeruginosa* bacteria using UVC light emitting diodes (UVC LEDs). *Water Res* 2019;151:193-202.
15. Artichowicz W LA, Sawicki JM. Analysis of the radiation dose in UV-disinfection flow reactors. *Water* 2020;12:231.
16. Kariwa H, Fujii N, Takashima I. Inactivation of SARS coronavirus by means of povidone-iodine, physical conditions and chemical reagents. *Dermatology* 2006;212 Suppl 1:119-23.
17. UV irradiation dosage table.: light source Inc and American Ultraviolet Company.; 2014 [internet].[cited 2020 16 May]. Available from: <https://www.americanairandwater.com/uv-facts/uv-dosage.htm>.
18. Mikhail M, Young T. sterilisation of flexible endoscopes. In: Walker JT editor. *Decontamination in hospitals and healthcare*. Sawston: Woodhead Publishing; 2014. p. 639-50.
19. Otter JA, Yezli S, Perl TM, et al. A guide to no-touch automated room disinfection (NTD) systems. In: Walker JT editor. *Decontamination in hospitals and healthcare*. Sawston: Woodhead Publishing; 2014. p. 413-60.
20. Armellino D, Goldstein K, Thomas L, Walsh TJ, Petraitis V. Comparative evaluation of operating room terminal cleaning by two methods: Focused multivector ultraviolet (FMUV) versus manual-chemical disinfection. *Am J Infect Control* 2020;48:147-52.
21. Ren SY, Wang WB, Hao YG, et al. Stability and infectivity of coronaviruses in inanimate environments. *World J Clin Cases* 2020;8:1391-9.
22. Yang JH, Wu UI, Tai HM, Sheng WH. Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens. *J Microbiol Immunol Infect* 2019; 52:487-93.