



## การใช้สารยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียที่ทำจากธาตุเงินในอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่เป็นซิลิโคน

*Gina Sloan, Ph.D., Burke Nelson, Ph.D., Ivan Ong, Ph.D.*

### หมายเหตุชีวประวัติ

Ivan เป็นรองประธานกรรมการของฝ่ายวิจัยและพัฒนาที่ Microban International Ltd. ซึ่งเป็นผู้นำระดับโลกในการให้บริการโซลูชันเทคโนโลยีการยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียแบบกำหนดได้เองสำหรับผลิตภัณฑ์เพื่อผู้บริโภคและผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ในช่วงสิบหกปีที่ผ่านมาเขาได้มีส่วนร่วมในการวิจัยรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับระบบการยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียมากมายเพื่อกิจกรรมทางจุลชีววิทยาและความเหมาะสมในการนำไปใช้กับโพลีเมอร์สังเคราะห์และเซรามิกเพื่อตอบสนองความต้องการและความทนทานเฉพาะด้าน ในช่วงสามปีที่ผ่านมาที่มวิจัยของเขาได้ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่คาดหวังเรื่องประสิทธิภาพระดับสูงในการยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรีย Ivan สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีที่ Duke University สาขาวิศวกรรมเครื่องกลที่เมือง Durham รัฐ North Carolina สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกสาขาวัสดุศาสตร์และวัสดุวิศวกรรมที่ Johns Hopkins University ในเมือง Baltimore รัฐ Maryland ปัจจุบันเขาอาศัยอยู่ที่ Charlotte รัฐ North Carolina



### **บทคัดย่อ**

วิธีการแบบดั้งเดิมในการนำคุณลักษณะการยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียไปใช้กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ทำจากซิลิโคนเช่นท่อสายสวนต้องใช้เวลาเคลือบพื้นผิวด้วยสารประกอบที่ปล่อยธาตุเงินออกมา ในการผลิตกระบวนการเคลือบผิวใช้เวลานาน ควบคุมคุณภาพยากและอาจไม่สามารถควบคุมการปล่อยธาตุเงินได้ตลอดช่วงการใช้ อุปกรณ์ของผู้ป่วย

งานวิจัยของเราแสดงให้เห็นว่าการผสมธาตุเงินด้านจุลชีพเข้าไปโดยตรงในซิลิโคนเมทริกซ์ระหว่างการผลิตให้ประสิทธิภาพในการต้านจุลชีพได้ดีเท่าหรือดีกว่าเมื่อเทียบกับสารเคลือบยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียจากธาตุเงินการผสมสารเติมแต่งธาตุเงินของไมโครแบนเข้ากับซิลิโคนเมทริกซ์โดยตรงระหว่างการอัดขึ้นรูปช่วยให้มีความสม่ำเสมอสูงเนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถควบคุมได้และสามารถทำซ้ำได้สูง คุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียของเทคโนโลยีสารเติมแต่งธาตุเงินในซิลิโคนน่าประทับใจเพราะแบคทีเรียในสภาวะแพลงโตนิกและไบโอฟิล์มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

### **อุปกรณ์ทางการแพทย์และความต้องการการปกป้องยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรีย**

อุบัติการณ์ของการติดเชื้อในสถานพยาบาล (HAIs) เพิ่มขึ้นทั่วโลกทำให้ต้องมีเทคนิคและเทคโนโลยีการป้องกันที่ดีขึ้นเพื่อลดอัตราการติดเชื้อ การพัฒนาโซลูชันที่มีประสิทธิภาพเกี่ยวข้องกับความพยายามของผู้ให้บริการการพยาบาล และผู้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ในสหรัฐอเมริกา มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายการประกันสุขภาพโรงพยาบาลจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาการติดเชื้อในสถานพยาบาลมากขึ้นสถานพยาบาลจำนวนมากจึงพยายามที่จะลดอัตราการติดเชื้อโดยการปรับเปลี่ยนระเบียบวิธีควบคุมการติดเชื้อเพื่อปรับปรุงเทคนิคปลอดเชื้อและการปฏิบัติ นอกจากนี้ผู้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์เป็นส่วนสำคัญของการแก้ปัญหาเนื่องจากพวกเขาแสวงหาเทคโนโลยีใหม่ที่ดีขึ้นเพื่อช่วยลดการเติบโตของจุลินทรีย์ในอุปกรณ์ของพวกเขา

การติดเชื้อในสถานพยาบาลจากอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใส่คาเอาไว้มีเป็นจำนวนมาก เช่น สายสวนปัสสาวะชนิดโฟลีย์ ในความเป็นจริงการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะเป็นการติดเชื้อที่มีจำนวนสูงที่สุดของการติดเชื้อในสถานพยาบาลและส่วนใหญ่เมื่อตรวจสอบย้อนกลับไปจะเป็นการติดเชื้อจากอุปกรณ์ที่ใส่คาเอาไว้ (1, 2) การติดเชื้อในสถานพยาบาลรักษายากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้ป่วยที่ภูมิคุ้มกันอ่อนแอซึ่งอาจยืดระยะเวลาการฟื้นตัวหลังการผ่าตัดหรือทำให้ต้องกลับเข้ารับการรักษาอีกครั้งซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง

ปัจจุบันสายสวนปัสสาวะชนิดโฟลีย์ในตลาดมีแบบซิลิโคนเคลือบด้วยธาตุเงินเพื่อช่วยยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียด้วยเหตุนี้ในการศึกษาจึงเลือกใช้สายสวนปัสสาวะชนิดโฟลีย์แบบซิลิโคน ในส่วนถัดไปนี้จะกล่าวถึงจุลชีพที่ต้องการศึกษา ระเบียบวิธีการทดสอบที่ใช้ในการศึกษา ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรีย และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในซิลิโคนเกรดทางการแพทย์สองชนิดที่ใช้สำหรับสายสวนปัสสาวะ

### **สารยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียจากธาตุเงิน**

สารยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียจากธาตุเงินใช้ในการต้านจุลชีพในอุปกรณ์ทางการแพทย์มาเป็นเวลานาน ธาตุเงินมีประสิทธิภาพต้านจุลชีพในวงกว้างออกฤทธิ์ต่อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ในบางกรณีมีผลต่อยีสต์ เช่น แคนดิดา อัลบิแคนส์ นอกจากนี้ธาตุเงินมีพิษเพียงเล็กน้อยเมื่อมีปฏิสัมพันธ์กับเนื้อเยื่อและของเหลวของมนุษย์

เทคโนโลยีสารต้านจุลชีพจากธาตุเงินที่มีอยู่ทั่วไปได้แก่ :

เงินบริสุทธิ์: เคลือบเงินที่ผ้าพันแผลและอุปกรณ์ทำแผลและเส้นใยเงินที่ทอลงในผ้า

สารประกอบเงินชั้นพื้นฐาน: การใช้ซิลเวอร์คลอไรด์ในสิ่งทอเพื่อขจัดกลิ่นและควบคุมแบคทีเรียแพร่หลายมาก

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนเงินประจุบวก ระบบนี้ประกอบด้วยโครงสร้างของโพลีเมอร์ที่เป็นที่อยู่ของธาตุเงินประจุบวก เงินประจุบวกจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อมีปฏิสัมพันธ์กับความชื้นและไอออนซึ่งรวมถึง:

ซิลเวอร์-เซอร์โคเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต

เงิน-ซีโอไลต์

เงิน-กระฉก

กุญแจสำคัญในการดำเนินการต้านจุลชีพในระบบที่ใช้ธาตุเงินจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการสร้างธาตุเงินประจุบวก ระบบต้านจุลชีพโดยใช้ธาตุเงินที่มีอยู่ล้วนมาจากความสามารถในการจัดหาเงินประจุบวก ภายใต้สถานการณ์ที่เหมาะสมความเข้มข้นของธาตุเงินประจุบวกจำเป็นสำหรับผลในการต้านจุลชีพเทคโนโลยีกระฉกเงินของไมโครแบนมีกลไกปลดปล่อยธาตุเงินประจุบวกที่มีประสิทธิภาพมากสามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยได้ดีและสามารถผสมผสานรวมเข้ากับซิลิโคนได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุพื้นฐาน เพื่อการผลิตที่ง่ายขึ้น

## การเจริญเติบโตของจุลชีพ

จุลชีพมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเจริญเติบโตโดยตอบสนองต่อสัญญาณสิ่งแวดล้อมสัญญาณเหล่านี้รวมถึงความเข้มข้นของสารอาหาร พื้นผิวที่ว่าง และจำนวนจุลชีพ หากไม่มีสัญญาณสิ่งแวดล้อมจุลชีพจะอยู่แบบสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่ไม่เกี่ยวข้องหรือมีปฏิสัมพันธ์กับจุลชีพอื่น ๆ เรียกว่าเซลล์ในสภาวะแพลงโตนิค มีการศึกษาเซลล์ในสภาวะแพลงโตนิคมาตั้งแต่เลเวนฮุค (Leeuwenhook) ค้นพบจุลินทรีย์และคอค (Koch) ตั้ง "ทฤษฎีเชื้อที่ทำให้เกิดโรค" (3)

เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการระบุว่าเซลล์แพลงโตนิคไม่ได้เป็นสถานะการเจริญเติบโตของจุลชีพที่พบมากที่สุดแต่เป็นจุลชีพที่อยู่ในกลุ่มจุลชีพที่มีหลายเซลล์ หลายสปีชีส์ เรียกว่า ไบโอฟิล์ม กลุ่มจุลชีพเหล่านี้มักอยู่ตามพื้นผิวหรือหุ้มอยู่ในเมทริกซ์โพลิเมอร์ชีวภาพและทนยาปฏิชีวนะ (4) ไบโอฟิล์มพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ อุตสาหกรรมและโรงพยาบาล ภายในโรงพยาบาลไบโอฟิล์มคือยาปฏิชีวนะมาก ความต้านทานยาปฏิชีวนะเพิ่มขึ้นถึง 1000 เท่าของเซลล์ในสภาวะแพลงโตนิค (5) การที่จะทำให้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพในการต่อต้านจุลชีพต้องประเมินความสามารถของอุปกรณ์ป้องกันจุลชีพในการควบคุมการก่อตัวของไบโอฟิล์มควบคู่ไปกับความสามารถในการควบคุมเซลล์ในสภาวะแพลงโตนิค การสะสมตัวของไบโอฟิล์มทำให้เกิดการห่อหุ้มจุลชีพและการถอดอุปกรณ์ออกเร็วขึ้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วย (6); อุปกรณ์ใด ๆ ที่ช่วยลดหรือชะลอการก่อตัวของไบโอฟิล์มจะเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยและยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปกป้อง

## วัสดุและวิธีการ

การศึกษาเทคโนโลยีธาตุเงินของไมโครเบนในซิลิโคนครั้งแรกดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่ทำให้เพิ่มขึ้นเพื่อเลียนแบบการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะซึ่งจะเกิดขึ้นในวันที่ 7 ของการใส่สายสวน เพื่อตรวจสอบความคงทนถึงวันที่เจ็ดของการใส่สายสวนตัวอย่างที่ผสมยาต้านจุลชีพจะแช่อยู่ในปัสสาวะเทียมเจ็ดวันนอกจากนี้สารประกอบทางชีวภาพมักทำให้สารต้านจุลชีพหมดฤทธิ์จึงต้องให้ตัวอย่างสัมผัสกับเซรัมที่ผ่านความร้อนเพื่อขจัดโปรตีนที่ไม่จำเป็นออกไป

## สายพันธุ์และอาหารเลี้ยงเชื้อ

ประเมินจุลชีพแกรมลบสามสายพันธุ์ เชื้อ E. coli (ATCC 8739) เชื้อ Proteus mirabilis (ATCC 7002) และเชื้อ Pseudomonas aeruginosa (ATCC 13388) จุลชีพแกรมลบทั้งหมดจะเพาะบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่สกัดจากสมองและหัวใจสัตว์แบบเจือจาง 1: 500 (3M) ในระหว่างการทดสอบใช้จุลชีพแกรมบวกสองตัวในการทดลองคือเชื้อ Staphylococcus aureus (ATCC 6538) และเชื้อ Enterococcus faecalis (ATCC 29212) สำหรับจุลชีพเหล่านี้มีการใช้สารละลาย 1: 100 BHIB เพื่อให้สร้างไบโอฟิล์มได้ดีที่สุดในพื้นผิวควบคุมมีการนำเชื้อรา Candida albicans (ATCC 18806) ซึ่งเป็นยีสต์ชนิดหนึ่งมาทดสอบด้วยและได้รับการทดสอบโดยใช้สารละลาย Sabouraud Dextrose Broth (BD) 1:50 สำหรับการทดสอบยาต้านจุลชีพอาหารเลี้ยงเชื้อทุกชนิดทำในปัสสาวะเทียม (7, 8) ซึ่ง

เหมาะกับการสร้างไบโอฟิล์มบนแผ่นโพลีเมอร์ที่มีการควบคุมการกำหนดสมรรถนะของซิลิโคนที่มียับยั้งเชื้อรา และแบคทีเรียต่อจุลชีพในสภาวะแพลงโทนิคและไบโอฟิล์ม

การทดสอบเพื่อคำนวณความเข้มข้นของยาที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ในจานหลุมทดลองขนาดเล็กที่มีไบโอฟิล์มอยู่ตามที่ Harrison et.al อธิบายไว้มีการปรับเพื่อให้สามารถตรวจจับประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ซิลิโคนที่มีสารต้านจุลชีพ (9) การทดสอบทำเพื่อเลียนแบบการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะที่เกิดขึ้นในวันที่ 7 ของการใส่สายสวน วางตัวอย่างที่ปราศจากเชื้อขนาด 2.25 ตารางนิ้วลงในแต่ละหลุมของจานหลุมขนาดเล็กแบบ 24 หลุม แซ่ตัวอย่างไว้ในเซรัมที่ผ่านความร้อนเพื่อขจัดโปรตีนที่ไม่จำเป็นออกไปแล้ว เอาไปพักที่อุณหภูมิแวดล้อมวัดเวลาที่กำลังพิจารณาเป็นเวลา 30 นาที หลังจากพักตัวแล้วให้นำซีรัมออก นำตัวอย่างไปล้าง 3 ครั้งด้วยน้ำปราศจากไอออนที่ปลอดเชื้อ นำตัวอย่างมาวางไว้ในปัสสาวะเทียม 2.5 มิลลิลิตรและบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วันเพื่อจำลองการใช้งานตามช่วงเวลาดังกล่าวหลังจากแช่ในปัสสาวะเทียมของเหลวจะถูกขับออกจากหลุม และแทนที่ด้วยปัสสาวะเทียมที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อและจุลชีพที่เหมาะสมจำนวน  $10^4$  cfu / ml (cfu คือ หน่วยวัดจำนวนหรือปริมาณแบคทีเรียคร่าว ๆ โดยอาศัยสมมติฐานว่าแบคทีเรียหนึ่งตัวสร้างโคโลนีได้หนึ่งโคโลนี) สำหรับเชื้อที่เติบโตซ้ำตัวอย่างจะถูกบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อให้สามารถสร้างไบโอฟิล์มได้ดีที่สุด (*S. aureus*, *C. albicans* และ *E. faecalis*) สำหรับจุลชีพอื่น ๆ ทั้งหมด ตัวอย่างจะถูกบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นจึงตรวจนับการลดลงของเชื้อถูกคำนวณโดย:

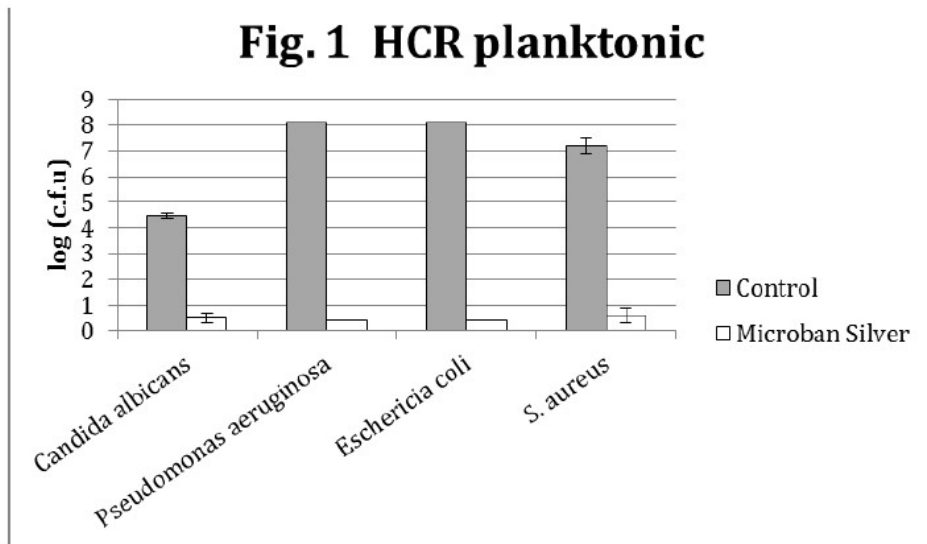
$\text{Log Reduction} = \text{Log (c.f.u. เฉลี่ยที่พื้นผิวจากการควบคุม)} - \text{Log (c.f.u. ที่พื้นผิวจากตัวอย่างที่มีสารต้านจุลชีพ)}$   
การควบคุมและตัวอย่างจะทำซ้ำสามครั้ง

## ผลการทดลอง

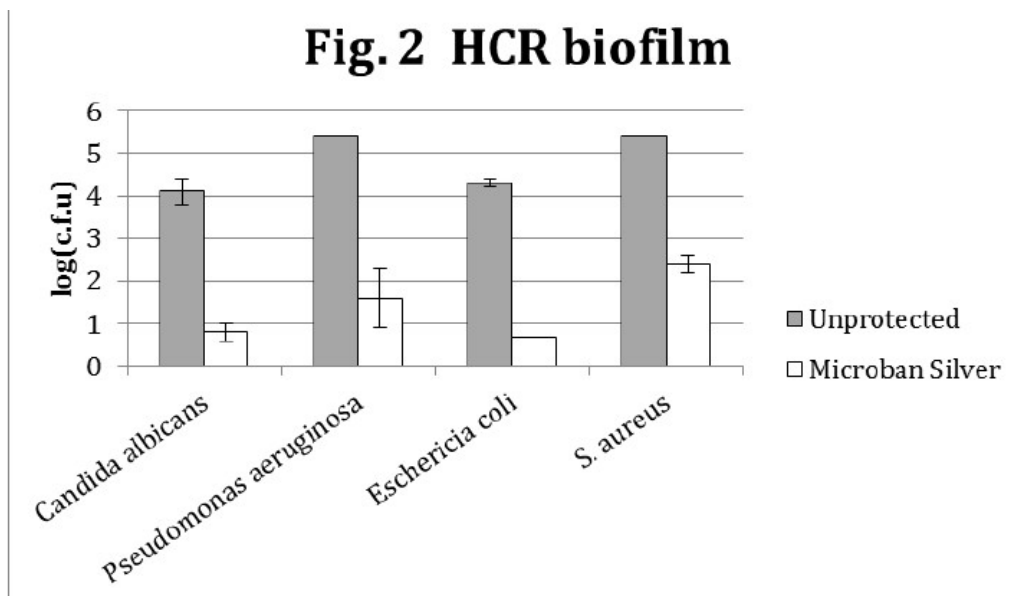
การประเมินผลของซิลิโคนทนความล้าสูง (HCR silicone)

เทคโนโลยีการยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียด้วยธาตุเงินของไมโครแบนผสมอยู่ในวัสดุซิลิโคน HCR แบบสองส่วน (High Consistency Rubber ยางทนความล้าสูง) ที่ระดับ 5% และทดสอบกับจุลชีพหลายชนิดที่คัดเลือกตามความสอดคล้องกับปัญหาทางคลินิก(10) ต้องมีการประเมินประสิทธิภาพการต้านจุลชีพของเทคโนโลยีไมโครแบนในซิลิโคนต่อแบคทีเรียในสภาวะแพลงโทนิคและไบโอฟิล์ม ปัจจุบันองค์การอาหารและยา (FDA) ระบุคำแนะนำเกี่ยวกับสารต้านจุลชีพไว้ว่าต้องสามารถลดแพลงโทนิคได้ 4 log จึงจะกล่าวอ้างความสามารถการต้านจุลชีพในผลิตภัณฑ์ได้ (11) เทคโนโลยีการต้านจุลชีพด้วยธาตุเงินของไมโครแบนมีประสิทธิภาพเกินกว่าที่องค์การอาหารและยาต้องการเพราะสามารถลดเชื้อแบคทีเรียลงได้ 7-log และการลดยีสต์สายพันธุ์ *C. albicans* ได้ 4-log (รูปที่

1)



ธาตุเงินของไมโครแบนที่ผสมใน HCR เป็นตัวอย่างทดสอบที่ปล่อยให้มีการก่อตัวของไบโอฟิล์มดังแสดงในรูปที่ 2 ไบโอฟิล์มจุลชีพทุกชนิดที่ได้รับการทดสอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญนอกจากนี้ HCR ผสมธาตุเงินของไมโครแบน ระงับการก่อโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียทุกสายพันธุ์ที่ทดสอบให้เหลือน้อยกว่า 500 c.f.u บนพื้นผิวตัวอย่างทั้งหมด ในขณะที่จำเป็นต้องมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบสถานะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เรียกว่าทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีธาตุเงินของไมโครแบนมีความสามารถในการป้องกันการพัฒนาไบโอฟิล์มในระยะเริ่มแรกบนพื้นผิวของโพลีเมอร์

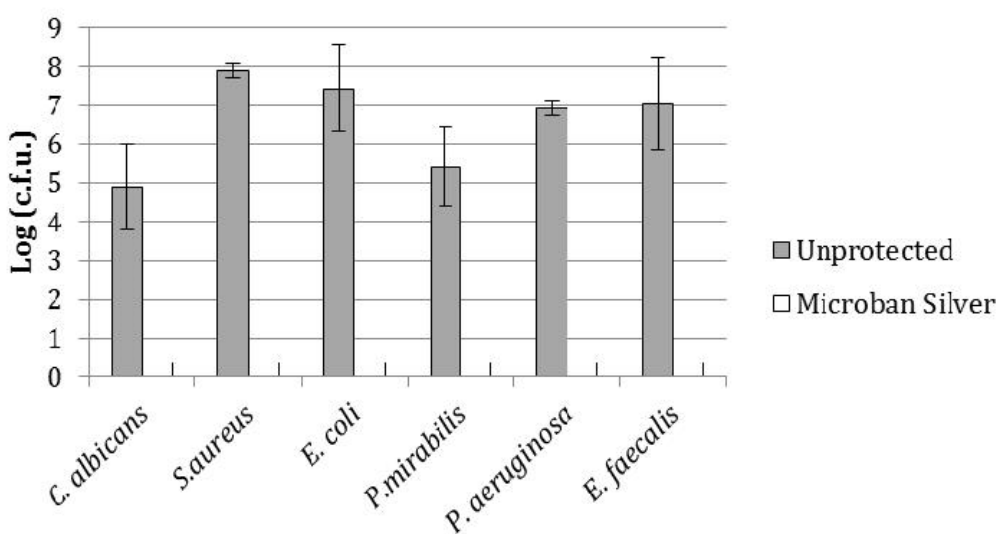


#### การประเมิน LSR ที่ได้ผสมธาตุเงิน

ซิลิโคน LSR (Liquid Silicone Rubber ยางซิลิโคนเหลว) แตกต่างจากซิลิโคน HCR ในแง่ที่มีความทำทายนมากกว่า ในการผสมธาตุเงินด้านจุลชีพเพราะเกรดซิลิโคนและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต่างกัน การจับคู่ที่ไม่เหมาะสมและความ

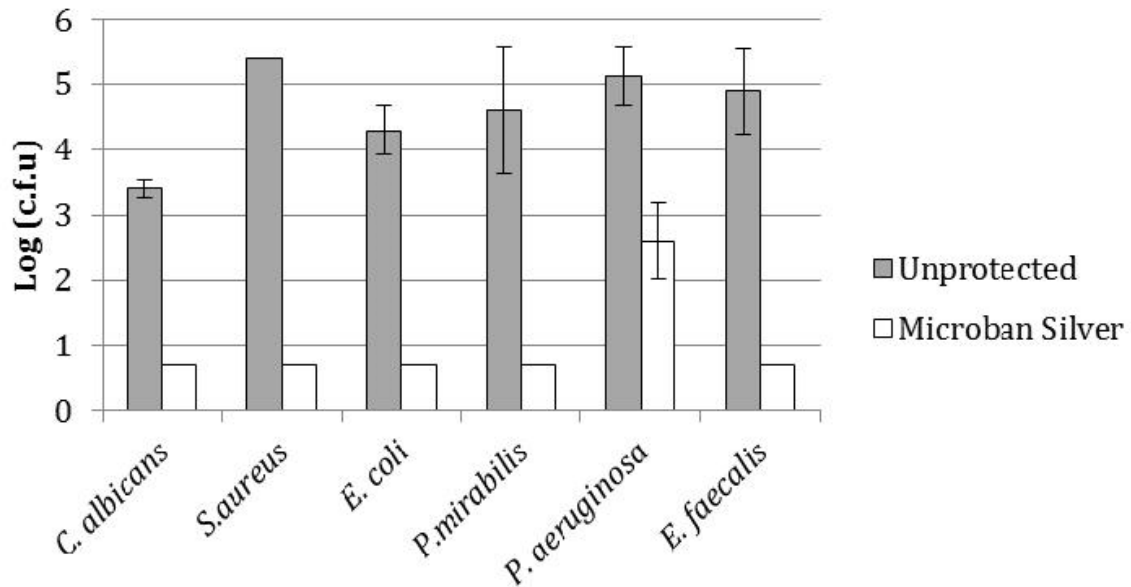
ไม่เข้ากันอาจทำให้พื้นผิวเปลี่ยนสีและทำให้ผลด้านการเชื้อโรคเสื่อมลง เทคโนโลยีธาตุเงินของไมโครเบนถูกรวมไว้ในระบบ LSR ด้วยอัตราเพิ่ม 10% LSR ที่ได้รับสารต้านจุลชีพผ่านการประเมินโดยใช้กระบวนการทดสอบแบบเดียวกับซิลิโคน HCR เนื่องจาก LSR ใช้ในทางการแพทย์มากจึงต้องประเมินจุลชีพหลากหลายกว่า สำหรับจุลชีพทุกสายพันธุ์ที่ทดสอบกับ LSR ที่ได้รับสารต้านจุลชีพสามารถลดจำนวนแบคทีเรียในสภาวะแพลงโตนิคได้อย่างน้อย 5 logs เมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้รับสารต้านจุลชีพ (รูปที่ 3) เป็นอีกครั้งที่ทำได้ตามเกณฑ์และเกินกว่าคำแนะนำขององค์การอาหารและยาในปัจจุบันเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ได้รับยาต้านจุลชีพ

**Fig. 3 LSR Planktonic**



เหมือนกับ HCR ที่ได้รับสารต้านจุลชีพแล้ว LSR ที่ผสมธาตุเงินจากไมโครเบนสามารถลดจุลชีพไบโอฟิล์มบนพื้นผิวลงไปได้ต่ำกว่าการตรวจจับยกเว้นเชื้อ *P. aeruginosa* (รูปที่ 4) การเจริญเติบโตของ *P. aeruginosa* ถูกชะงักเมื่อเปรียบเทียบกับ LSR ที่ควบคุมไม่ได้รับสารต้านจุลชีพ แต่ไม่มีการลดจำนวนของเซลล์แบคทีเรียที่เกาะติดกัน ความแปรปรวนที่สังเกตได้ในการลดลงของจุลชีพเกิดจากแนวโน้มในการสร้างไบโอฟิล์มของจุลชีพ ดังนั้นจุลชีพที่มักอยู่ในไบโอฟิล์มเช่น *P. aeruginosa* มีการลดลงของเชื้อสูงกว่าจุลชีพที่มีความเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้น เช่น *P. vulgaris*

**Fig. 4 LSR Biofilm**



### สรุปผลการวิจัย

ประมาณสองในสามของการติดเชื้อในสถานพยาบาล (HAI) ที่สามารถป้องกันได้มักเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นสามกลุ่มหลัก การติดเชื้อในกระแสเลือดจากการใส่สายสวนหลอดเลือดส่วนกลาง การติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะจากการใส่สายสวนปัสสาวะ และการติดเชื้อปอดอักเสบจากการใส่เครื่องช่วยหายใจ งานที่นำเสนอนี้มุ่งเน้นการทดสอบที่เลียนแบบการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ ในขณะที่การทดสอบได้รับการออกแบบให้เลียนแบบการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ จุลชีพที่คัดเลือกมาเพื่อทดสอบเป็นจุลชีพที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่สัมพันธ์กับ HAI มากที่สุดคือซิลิโคน HCR และ LSR เป็นซิลิโคนที่ใช้ทั่วไปในสาขาการแพทย์ ผลการทดลองเหล่านี้สามารถใช้ได้กับสถานการณ์การใช้งานแบบต่าง ๆ เมื่อพิจารณาจากการตรวจสอบอย่างละเอียดมากขึ้นเกี่ยวกับการติดเชื้อในสถานพยาบาลการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารต้านจุลชีพมีแนวโน้มลดการติดเชื้อในสถานพยาบาล ความสามารถในการต่อต้านจุลชีพของไมโครเบนที่ผสมในผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติต้านจุลชีพบนพื้นผิวของซิลิโคน HCR และ LSR แสดงให้เห็นในตัวอย่างข้างต้นหลักฐานคือการลดลงหลายชั้นของจุลชีพหลายชนิดในการทดสอบประเมินผลของแบคทีเรียในสภาวะแพลงโตนิกและไบโอฟิล์มโดยเปรียบเทียบระหว่างวัสดุที่ใช้ธาตุเงินและวัสดุที่ไม่ได้ใช้ธาตุเงิน

### อ้างอิง

1. Weinstein JWMD, Dorothy Mazon RN, Pantelick ERN, Reagan-Cirincione PP, Demby LMMD, Hierholzer WJMD. A Decade of Prevalence Surveys in a Tertiary-Care Center: Trends in Nosocomial Infection Rates, Device Utilization, and Patient Acuity • Infection Control and Hospital Epidemiology. 1999;20(8):543-8. doi: 10.1086/501675.



2. Richards MJMF, Edwards JRMS, Culver DHP, Robert P. Gaynes MD, the, System NNIS. Nosocomial Infections in Combined Medical-Surgical Intensive Care Units in the United States • Infection Control and Hospital Epidemiology. 2000;21(8):510-5. doi: 10.1086/501795.
3. Parsek MR. Microbiology: Bilingual bacteria. Nature. 2007;450(7171):805-7.
4. Mishra M, Parise G, Jackson KD, Wozniak DJ, Deora R. The BvgAS Signal Transduction System Regulates Biofilm Development in Bordetella. Journal of Bacteriology. 2005;187(4):1474-84. doi: 10.1128/jb.187.4.1474-1484.2005.
5. SM J, DJ S, HLT M, ME S. Complicated Catheter-Associated urinary Tract Infections Due to Escherichia coli and Proteus mirabilis. Clinical Microbiology Reviews. 2008;21(1):34.
6. Putnam D. Composition and concentrative properties of human urine. National Aeronautics and Space Administration. 1971:1-112.
7. Yang B. Urea and urine concentrating ability: new insights from studies in mice 2005;288(5):F881-F96. doi: 10.1152/ajprenal.00367.2004.
8. Harrison JJ, Stremick CA, Turner RJ, Allan ND, Olson ME, Ceri H. Microtiter susceptibility testing of microbes growing on peg lids: a miniaturized biofilm model for high-throughput screening. Nat Protocols. 2010;5(7):1236-54. doi: [http:// www.nature.com/nprot/jo...](http://www.nature.com/nprot/jo...)
9. Alicia I. Hidron MD, Jonathan R. Edwards MS, Jean Patel P, Teresa C. Horan MPH, Dawn M. Sievert P, Daniel A. Pollock MD, et al. NHSN Annual Update: Antimicrobial-Resistant Pathogens Associated With Healthcare-Associated Infections: Annual Summary of Data Reported to the National Healthcare Safety Network at the Centers for Disease Control and Prevention, 2006–2007 • Infection Control and Hospital Epidemiology. 2008;29(11):996-1011. doi: 10.1086/591861.
10. Health CfDaR. Draft Guidance for Industry and FDA Staff: Premarket Notification[510(k)] Submissions for Medical Devices that include Antimicrobial Agents 2007.