KDJ
Khon Kaen University
Dental Journal

ผลของวิธีการทำความสะอาดต่อการเปลี่ยนแปลงสีของยางคอมพาวด์และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210

ตุลารัตน์ สุขโท [1] กันต์ธีภพ อินทร์แก้ว [2] ปัณณวิชญ์ บุรุษภักดี [2] พิเชษฐ แดงนา [2] พิศเพลิน ชนาเทพาพร [1] รัชฎา ฉายจิต [3] กิรวุฒิ เหลืองตระกูล [1,]*

บทความวิจัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของยางคอมพาวด์และซิลิโคน อิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ภายหลังการทำความสะอาดด้วยน้ำประปา คลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 สบู่ และไมโครเวฟ ที่ช่วงเวลา 6 12 และ 18 เดือน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: เตรียมชิ้นงานยางคอมพาวด์และซิลิโคน อิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 รูปร่างแผ่นวงกลม จำนวน 50 ชิ้นต่อกลุ่ม รวม 8 กลุ่ม (n=400) เก็บชิ้นงานในกล่องทึบแสง และทำความสะอาดด้วยวิธีต่าง ๆ โดยจำลองระยะเวลาการทำความสะอาด 6-18 เดือน วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยบันทึกค่าสีก่อนและหลังการทำความสะอาดในแต่ละช่วงเวลา วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีภายในกลุ่มด้วยสถิติฟรีดแมน และเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยสถิติแมน-วิทนีย์ เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ

ผล: การทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีต่ำที่สุดในวัสดุทั้งสองชนิด และไม่พบการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิกหลังจำลองระยะเวลา 18 เดือน โดยในกลุ่มไมโครเวฟ ยางคอมพาวด์มีค่า ΔE* ต่ำกว่าซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ที่ระยะเวลา 6 และ 18 เดือน แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเวลา 12 เดือน ส่วนการทำความสะอาดด้วยสบู่และน้ำประปาทำให้ยางคอมพาวด์เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิกที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือนตามลำดับ ขณะที่ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 พบการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดเมื่อใช้คลอร์เฮกซิดีนร้อยละ 2 และสบู่ที่ระยะเวลา 18 เดือน

บทสรุป: ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาในห้องปฏิบัติการนี้ การทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดในวัสดุทั้งสองชนิด ขณะที่สบู่ทำให้เกิดความไม่คงตัวของสีมากที่สุด โดยเฉพาะในยางคอมพาวด์ ดังนั้น การนำยางคอมพาวด์ไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกควรพิจารณาข้อจำกัดด้านวิธีทำความสะอาด ความถี่ในการทำความสะอาด และระยะเวลาการใช้งานของชิ้นงาน

คำไขรหัส: การเปลี่ยนแปลงสี/ ยางคอมพาวด์/ ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210

Received: *Mar 10, 2026*
Revised: *May 26, 2026*
Accepted: *Jun 05, 2026*

บทนำ

ความวิการบริเวณใบหน้าและขากรรไกรอาจเกิดจากความผิดปกติแต่กำเนิด การผ่าตัดรักษาเนื้องอก การติดเชื้อ หรืออุบัติเหตุ ซึ่งส่งผลต่อการดำเนินชีวิต การเข้าสังคม และการทำหน้าที่ของระบบบดเคี้ยว การกลืน และการพูด ภาวะดังกล่าวสามารถฟื้นฟูได้ด้วยสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรเพื่อทดแทนเนื้อเยื่อที่สูญเสียไปและคงความสวยงามของใบหน้า[1]

สิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกร (Maxillofacial prosthesis) เป็นสิ่งเทียมที่ทำขึ้นเพื่อทดแทนการสูญเสียบริเวณใบหน้าและขากรรไกรบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งสามารถ

[1] สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[2] นักศึกษาทันตแพทย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[3] แขนงวิชาทันตสาธารณสุข คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
** ผู้ประพันธ์บรรณกิจ*

แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สิ่งประดิษฐ์เทียมในช่องปาก (Intraoral prostheses) สิ่งประดิษฐ์เทียมนอกช่องปาก (Extraoral prostheses) และสิ่งประดิษฐ์เทียมแบบผสม (Combination prostheses)[2] วัสดุที่ใช้ควรมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่เหมาะสม เช่น ความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ ไม่ก่อให้เกิดการแพ้หรือความเป็นพิษ ทำความสะอาดได้ง่าย มีความคงตัวของสีและมิติ รวมถึงมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม[3] ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 (MDX 4-4210 silicone elastomer) เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกร เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเติมแต่งสีได้ดี มีความใส ไม่เป็นพิษ และมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ[4] อย่างไรก็ตาม ซิลิโคนสำหรับสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรมีต้นทุนสูง เสื่อมสภาพได้เร็ว และอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน จึงมีความพยายามในการค้นหาวัสดุทดแทน ยางพาราซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย มีราคาถูก หาได้ง่าย และมีความยืดหยุ่นเมื่อผ่านกระบวนการเติมสารเคมีจะเรียกว่ายางคอมพาวด์ (Rubber compound) ซึ่งสามารถนำไปขึ้นรูปและประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย รวมทั้งสามารถเติมแต่งสีได้[5]

ปัญหาที่พบหลังจากการใส่สิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรในระยะยาว ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานและการเสื่อมสภาพของคุณสมบัติทางกายภาพ[6-9] โดยชิ้นงานมีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 6 เดือน[10] ผู้ป่วยจำนวนมากจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนชิ้นงานใหม่เนื่องจากการเปลี่ยนสีของวัสดุ[11-12] การทำความสะอาดชิ้นงานเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุ[13] มีรายงานว่าการทำความสะอาดซิลิโคนเป็นระยะเวลา 6 เดือนสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานได้[14] การทำความสะอาดและการดูแลสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรจึงมีความสำคัญต่อการคงสภาพและยืดอายุการใช้งานของวัสดุ สารทำความสะอาดที่นิยมใช้ ได้แก่ สบู่และคลอร์เฮกซิดีน เนื่องจากมีราคาถูกและหาได้ง่ายสำหรับผู้ป่วย[14-18] นอกจากนี้การใช้ไมโครเวฟยังได้รับการรายงานว่าเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ และอาจใช้แทนสารเคมีในการทำความสะอาดสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรได้[19-22]

แม้ว่าจะมีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เช่น ความต้านทานการฉีกขาด ความต้านทานแรงดึง ค่ามอดูลัสการยืด ความแข็งผิว และการดูดซึมของเหลวแล้ว[23] แต่ยังไม่มีการศึกษาผลของการทำความสะอาดยางคอมพาวด์และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ต่อการเปลี่ยนแปลงสีในระยะเวลามากกว่า 6 เดือน แม้ว่าสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรจะมีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 6 เดือน แต่ผู้ป่วยบางรายอาจยังคงใช้ชิ้นงานต่อเนื่องเกินระยะเวลาที่แนะนำหรือไม่สามารถมารับการเปลี่ยนชิ้นงานได้ตามกำหนด การจำลองระยะเวลาการทำความสะอาดถึง 18 เดือน จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินแนวโน้มความคงทนของสีภายใต้ภาวะการใช้งานต่อเนื่องระยะยาว ไม่ใช่เพื่อแทนค่าการเสื่อมสภาพจากสภาพแวดล้อมทั้งหมดของการใช้งานจริง ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของยางคอมพาวด์และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ภายหลังการทำความสะอาดด้วยน้ำประปา คลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 สบู่ และไมโครเวฟ โดยจำลองระยะเวลาการทำความสะอาดที่ 6 เดือน 12 เดือน และ 18 เดือน เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำยางคอมพาวด์มาประยุกต์ใช้ในงานสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกร

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองในการศึกษานี้ ได้แก่ ยางคอมพาวด์ที่เตรียมและผสมโดยการยางแห่งประเทศไทย (ก.ย.ท.) ประเทศไทย โดยมีองค์ประกอบเป็นน้ำยางข้นร้อยละ 60 และสารเคมีประกอบอื่น ๆ ร้อยละ 40 ตามสูตรที่ได้รับจาก ก.ย.ท. สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วยสารรักษาเสถียรภาพของน้ำยาง ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ เซทิล-สเตียริลแอลกอฮอล์เอทอกซิเลต (Cetyl-Stearyl Alcohol Ethoxylate; Teric 16A16) และโพแทสเซียมลอเรต สารวัลคาไนซ์ ได้แก่ กำมะถัน ตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ได้แก่ ซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต สารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางหรือสารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ วิงสเตย์แอล ($C_{21}H_{28}O$; Wingstay-L) และสารตัวเติม ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ ใช้ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 (MDX 4-4210; Dow Corning, USA) ซึ่งประกอบด้วยเบสอิลาสโตเมอร์และสารช่วยขึ้นรูป สำหรับการผสมสีของยางคอมพาวด์ ใช้สีผสมน้ำยางสีเหลืองจากการยางแห่งประเทศไทย ส่วนการผสมสีของซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ใช้สีซิลิโคนชนิด intrinsic สีเหลือง ยี่ห้อ ฟังชันนัล อินทรินสิค ทู (Functional Intrinsic II) ร่วมกับสารทิโซทรอปิกเพื่อเพิ่มความหนืดของวัสดุ ทั้งนี้ การเลือกใช้สีเหลืองในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมตัวแปรด้านสีและใช้เป็นสีตัวแทนในการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสี

ของวัสดุทั้งสองชนิดภายใต้เงื่อนไขการทำความสะอาดเดียวกัน เนื่องจากการใช้หลายเฉดสีอาจเพิ่มความแปรปรวนของค่า L*, a* และ b* และทำให้การเปรียบเทียบผลของวิธีการทำความสะอาดระหว่างวัสดุทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ มีรายงานว่าสีซิลิโคนชนิด intrinsic สีเหลืองมีผลต่อความคงทนของสีของซิลิโคนสำหรับสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรอย่างมีนัยสำคัญ โดยทำให้ค่า ΔE* เพิ่มขึ้นหลังการจำลองความเสื่อมสภาพ จึงอาจใช้เป็นสีตัวแทนที่ไวต่อการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุได้[24]

การเตรียมชิ้นงานและแบบหล่อชิ้นงาน การเตรียมชิ้นงานยางคอมพาวด์และอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 เพื่อวิเคราะห์ค่าสี อ้างอิงจากการศึกษาของ Kiat-amnuay S และคณะ ในปี ค.ศ. 2005 และการศึกษาของ Ying Han และคณะ ในปี ค.ศ. 2013 จะเตรียมชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลม (Disc-shaped) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร มีความหนา 2 มิลลิเมตร[25, 26] (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ชิ้นงานรูปร่างแผ่นวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร

Figure 1 Disc-shaped specimens with a diameter of 22 mm and a thickness of 2 mm.

การเตรียมชิ้นงานยางคอมพาวด์ เตรียมชิ้นงานยางคอมพาวด์ 4 กลุ่ม (R1, R2, R3 และ R4) จำนวนรวม 200 ชิ้น แบ่งเป็น 50 ชิ้นต่อกลุ่มโดยอ้างอิงจากการศึกษาก่อนหน้าที่มีรูปแบบการทดสอบการคงสภาพสีของวัสดุสำหรับสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรใกล้เคียงกัน[5] โดยใช้แบบหล่ออะคริลิกใส เริ่มจากตวงน้ำยางคอมพาวด์ใส่แก้วพลาสติกและชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลให้ได้ปริมาณ 220 กรัม สำหรับการเตรียมชิ้นงานทั้งหมด 200 ชิ้น จากนั้นเติมสีผสมน้ำยาง 4 หยด และคนให้เข้ากันด้วยพายผสม เทน้ำยางคอมพาวด์ลงในเบ้าแบบหล่ออะคริลิกใสให้พอดีขอบแบบหล่อ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 27±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ยางคอมพาวด์แข็งตัวหลังจากนั้นนำชิ้นงานออกจากแบบหล่อและแช่ในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 10 นาที เพื่อชะล้างสารเคมีส่วนเกิน แล้วปล่อยให้แห้ง ตัดครีบส่วนเกินด้วยใบมีดคมปลายตรง และวัดขนาดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์และไม้บรรทัดเหล็ก[27] ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาต้องมีรูปร่างแผ่นวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร พื้นผิวเรียบ ไม่มีรูพรุนหรือฟองอากาศ[5] ชิ้นงานที่มีขนาดหรือพื้นผิวไม่ตรงตามเกณฑ์จะถูกคัดออกและเตรียมใหม่จนได้ครบ 200 ชิ้น

การเตรียมชิ้นงานอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 เตรียมชิ้นงานซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ MDX 4-4210 จำนวน 200 ชิ้น แบ่งเป็น 4 กลุ่ม (S1, S2, S3 และ S4) กลุ่มละ 50 ชิ้น โดยใช้แบบหล่ออะคริลิกใส ผสมเบสอิลาสโตเมอร์ 200 กรัม กับสารช่วยขึ้นรูป 20 กรัม และเติมสีซิลิโคน 4 หยด ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะได้อิลาสโตเมอร์ที่มีความหนืดประมาณครึ่งหนึ่งของเบสอิลาสโตเมอร์ตั้งต้น[28] จากนั้นผสมต่อบนแผ่นกระเบื้องด้วยพายผสม และเติมสารทิโซทรอปิก 5 หยด เพื่อเพิ่มความหนืด พร้อมรีดวัสดุให้แนบกับแผ่นกระเบื้องเพื่อลดฟองอากาศ เทวัสดุลงในแบบหล่ออะคริลิกใสทีละน้อยจนเต็ม นำฝาปิดอะคริลิกและแท่นอัดแบบหล่อมายึดให้แน่น เพื่อให้วัสดุส่วนเกินไหลออกจากแบบหล่อ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 27±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเพื่อให้แข็งตัวสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำชิ้นงานออกจากแบบหล่อ ตัดครีบส่วนเกิน และวัดขนาดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์และไม้บรรทัดเหล็ก[27] ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาต้องมีรูปร่างแผ่นวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร พื้นผิวเรียบ ไม่มีรูพรุนหรือฟองอากาศ[5] หากชิ้นงานไม่ตรงตามเกณฑ์จะถูกคัดออกและเตรียมใหม่จนได้ครบ 200 ชิ้น

การวิเคราะห์ค่าสีก่อนทำความสะอาดชิ้นงาน ก่อนทำการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Color Quest XE, Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA) จะนำชิ้นงานทั้ง 400 ชิ้น ใส่เครื่องอัลตราโซนิกที่บรรจุน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที และซับให้แห้งด้วยผ้าสะอาด[5] ปรับมาตรฐานสีของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตก่อนการวัดทุกครั้ง จากนั้นวิเคราะห์ค่าสีของชิ้นงานบนพื้นหลังสีดำ โดยบันทึกค่า L*, a* และ b* ตามระบบของซีแลบ (CIELAB system) เป็นค่าสีก่อนการทำความสะอาด

การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำประปา คลอร์เฮกซิดีน และสบู่ ชิ้นงานยางคอมพาวด์และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ถูกนำไปทำความสะอาดด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ ทำความสะอาดด้วยน้ำประปา (ชิ้นงานยางคอมพาวด์กลุ่ม R1 และชิ้นงานซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 กลุ่ม S1) ทำความสะอาดด้วยคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ

2 (ชิ้นงานยางคอมพาวด์กลุ่ม R2 และชิ้นงานซิลิโคน อิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 กลุ่ม S2) และทำความสะอาดด้วยสบู่ (ชิ้นงานยางคอมพาวด์กลุ่ม R3 และชิ้นงานซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 กลุ่ม S3) โดยกำหนดให้หนึ่งรอบการทำความสะอาดเทียบเท่าการจำลองการทำความสะอาด 1 วัน[29] สำหรับแต่ละวิธีได้แก่ 1.) การทำความสะอาดด้วยน้ำประปา (กลุ่ม R1 และ S1) จะแช่ชิ้นงานในน้ำประปาเป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้งด้วยผ้าสะอาด นับเป็นการทำความสะอาด 1 วัน[29] 2.) การทำความสะอาดด้วยคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 (กลุ่ม R2 และ S2) จะแช่ชิ้นงานในคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำประปาอีก 30 วินาที นับเป็นการทำความสะอาด 1 วัน[29] และ 3.) กลุ่มสบู่ (กลุ่ม R3 และ S3) จะแช่ชิ้นงานในน้ำสบู่ที่เตรียมโดยผสมสบู่เหลว 10 มิลลิลิตร ในน้ำประปา 500 มิลลิลิตร[30] เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำประปาอีก 30 วินาที นับเป็นการทำความสะอาด 1 วัน สำหรับทุกกลุ่ม ทำซ้ำรอบการทำความสะอาดจนได้ระยะเวลาจำลองการทำความสะอาดตามที่กำหนด ทำความสะอาดทั้งหมด 540 รอบ โดยจะนำชิ้นงานออกมาวิเคราะห์ค่าสีที่ระยะเวลา 180 รอบ (6 เดือน) ที่ระยะเวลา 360 รอบ (12 เดือน) และที่ระยะเวลา 540 รอบ (18 เดือน)

การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยไมโครเวฟ ชิ้นงานยางคอมพาวด์กลุ่ม R4 และชิ้นงานซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 กลุ่ม S4 นำไปแช่ในน้ำประปา 160 มล. ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. แล้วนำเข้าไมโครเวฟที่กำลังไฟ 660 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที ตามแนวทางที่รายงานโดย Santhaveesuk และคณะ[31] ซึ่งใช้ในการฆ่าเชื้อสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าที่ทำจากซิลิโคน จากนั้นซับให้แห้งและปล่อยให้เย็นอย่างน้อย 10 นาที การอบหนึ่งครั้งถือเป็นการจำลองการทำความสะอาด 1 เดือน และเปลี่ยนน้ำประปาที่ใช้แช่ชิ้นงานทุกครั้งก่อนเริ่มการทำความสะอาดรอบใหม่ ทำซ้ำทั้งหมด 18 รอบ และวิเคราะห์สีที่รอบที่ 6 (6 เดือน) 12 (12 เดือน) และ 18 (18 เดือน)

การวิเคราะห์ค่าสีหลังการทำความสะอาดชิ้นงาน ก่อนการวิเคราะห์สี นำชิ้นงานที่ผ่านการจำลองการทำความสะอาด 6 12 และ 18 เดือน ใส่เครื่องอัลตราโซนิกในน้ำกลั่น 10 นาที แล้วซับให้แห้ง[5] จากนั้นวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยบันทึกค่า L*, a* และ b* ตามระบบของซีแลบ เป็นค่าสีหลังการทำความสะอาด

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

ΔL* คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความสว่าง

Δa* คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่า a* (แกนสีเขียว/สีแดง)

Δb* คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่า b* (แกนสีน้ำเงิน/เหลือง)

ΔE* คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีก่อนและหลังการทำความสะอาดชิ้นงาน ซึ่งถ้าค่า ΔE* มากกว่า 3.3 แสดงว่าชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิก[32,33]

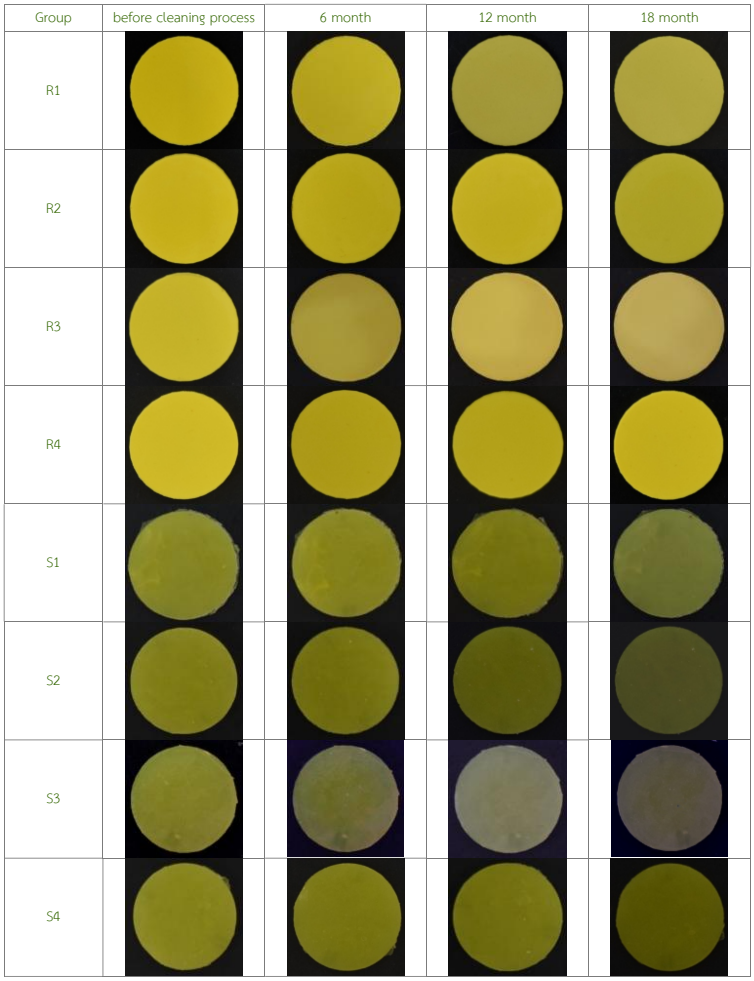
การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคำนวณสถิติ IBM SPSS Statistics version 29 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) โดยทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro–Wilk test เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ จึงเลือกใช้สถิติ non-parametric สำหรับการเปรียบเทียบหลักโดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

1. สถิติเชิงพรรณนาแสดงการเปลี่ยนแปลงสีด้วยค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ เนื่องจากค่ามัธยฐาน และค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์เหมาะสมต่อการอธิบายข้อมูลที่มีการแจกแจง ไม่ปกติ ขณะที่ค่าเฉลี่ยช่วยให้สามารถเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ΔE*=3.3 ในเชิงคลินิกได้ชัดเจน ซึ่งถ้าค่า ΔE* มากกว่า 3.3 แสดงว่าชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิก[32,33]

2. สถิติเชิงอนุมาน ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสี

2.1 เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีจากการทำความสะอาดยางคอมพาวด์ ด้วยวิธีการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน 4 วิธี เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน 12 เดือน และ 18 เดือน และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีจากการทำความสะอาดซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ด้วยวิธีการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน 4 วิธี เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน 12 เดือน และ 18 เดือน เนื่องจากข้อมูลแจกแจงไม่ปกติ จึงใช้สถิติการทดสอบของฟรีดแมน (Friedman test)

2.2 เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีระหว่างยางคอมพาวด์กับซิลิโคนอิลาสโตเมอร์เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ที่ทำความสะอาดด้วยวิธีการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน 4 วิธี ในแต่ละช่วงเวลาต่าง ๆ คือ เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน 12 เดือน และ 18 เดือน เนื่องจากข้อมูลแจกแจงไม่ปกติ จึงใช้สถิติแมน-วิทนีย์ (Mann–Whitney U test)



รูปที่ 2 ชิ้นงานยางคอมพาวด์และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ก่อนและหลังการทำความสะอาดด้วยน้ำประปา คลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 สบู่ และไมโครเวฟ เป็นเวลา 6 เดือน 12 เดือนและ 18 เดือน

Figure 2 Rubber compound and MDX 4-4210 silicone elastomer specimens before and after cleaning with tap water, 2% chlorhexidine, soap, and microwave irradiation at 6, 12, and 18 months.

ผล

ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีของยางคอมพาวด์ภายหลังการทำความสะอาดเป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน (ตารางที่ 1) โดยกลุ่มที่ทำความสะอาดด้วยสบู่มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิก ($\Delta E^* > 3.3$) ตั้งแต่ระยะเวลา 6 เดือน และมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาจำลอง ส่วนกลุ่มที่ทำความสะอาดด้วยน้ำประปามีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าเกณฑ์ดังกล่าวตั้งแต่ระยะเวลา 12 เดือน ในทางกลับกันกลุ่มที่ทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟและคลอร์เฮกซิดีน ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีค่า ΔE^* ต่ำกว่า 3.3 ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา โดยที่ระยะเวลา 18 เดือน กลุ่มไมโครเวฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 2.08±0.78 และ 2.16±0.88 ตามลำดับ

สำหรับซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิกในทุกกลุ่ม อย่างไรก็ตาม ที่ระยะเวลา 18 เดือน กลุ่มที่ทำความสะอาดด้วยคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 และสบู่มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าเกณฑ์ทางคลินิก โดยมีค่าเท่ากับ 3.65±1.43 และ 3.73±1.32 ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่ทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มที่ทำความสะอาดด้วยน้ำประปา โดยมีค่าเท่ากับ 2.75±1.30 และ 3.23±0.74 ตามลำดับ ลักษณะสีของชิ้นงานยางคอมพาวด์

และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ก่อนและหลังการทำความสะอาดในแต่ละช่วงเวลา (รูปที่ 2)

เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุแต่ละกลุ่มตามช่วงเวลาด้วยสถิติฟรีดแมน พบว่าค่า ΔE* ของทุกกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในยางคอมพาวด์ การทำความสะอาดด้วยสบู่และน้ำประปาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิก ขณะที่การทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟและคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิกตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา สำหรับซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 การทำความสะอาดด้วยคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 และสบู่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิกเฉพาะที่ระยะเวลา 18 เดือน ขณะที่การทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีดังกล่าวตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา

การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุทั้งสองชนิดภายใต้วิธีการทำความสะอาดเดียวกันโดยใช้สถิติแมน–วิทนีย์ (ตารางที่ 2) พบว่าการทำความสะอาดด้วยน้ำประปาและสบู่ทำให้ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่ายางคอมพาวด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา ในทางกลับกัน การทำความสะอาดด้วยคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 ทำให้ยางคอมพาวด์มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา ส่วนการทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟ ยางคอมพาวด์มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ที่ระยะเวลา 6 และ 18 เดือน แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลา 12 เดือน (p=0.627)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสี ค่ามัธยฐาน ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ ของยางคอมพาวด์และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ภายหลังการทำความสะอาดด้วยน้ำประปา คลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 สบู่ และไมโครเวฟ เป็นเวลา 6 เดือน 12 เดือนและ 18 เดือน

Table 1 Mean color change, median, and interquartile range of rubber compound and MDX 4-4210 silicone elastomer after cleaning with tap water, 2% chlorhexidine, soap, and microwave irradiation at 6, 12, and 18 months.

Group	6 months		12 months		18 months		P-value
	Mean ± SD	Median [IQR]	Mean ± SD	Median [IQR]	Mean ± SD	Median [IQR]	
R1	2.95 ± 0.92	3.14 [2.18-3.70]	4.38 ± 0.97	4.19 [3.75-4.97]	5.56 ± 0.88	5.42 [5.01-5.95]	<.001*
R2	1.00 ± 0.46	0.88 [0.70-1.22]	1.53 ± 0.61	1.40 [1.10-1.83]	2.16 ± 0.88	1.95 [1.57-2.70]	<.001*
R3	4.72 ± 1.17	4.63 [3.95-5.47]	5.81 ± 1.33	5.89 [4.98-6.43]	7.66 ± 1.91	7.60 [6.17-8.99]	<.001*
R4	0.89 ± 0.43	0.84 [0.56-1.15]	1.63 ± 0.56	1.76 [1.23-2.01]	2.08 ± 0.78	2.04 [1.44-2.57]	<.001*
S1	1.01 ± 0.60	0.85 [0.53-1.48]	1.60 ± 0.70	1.59 [1.02-2.06]	3.23 ± 0.74	3.16 [2.80-3.63]	<.001*
S2	1.66 ± 0.69	1.64 [1.21-2.15]	2.27 ± 0.89	2.05 [1.72-2.86]	3.65 ± 1.43	3.79 [2.27-4.48]	<.001*
S3	1.41 ± 0.76	1.28 [0.86-1.74]	2.30 ± 0.90	2.17 [1.57-3.01]	3.73 ± 1.32	3.90 [2.60-4.66]	<.001*
S4	1.20 ± 0.80	0.97 [0.78-1.44]	1.72 ± 0.84	1.55 [1.19-2.07]	2.75 ± 1.30	2.52 [1.76-3.45]	<.001*

หมายเหตุ : R1 คือชิ้นงานยางคอมพาวด์ที่ทำความสะอาดด้วยน้ำประปา
R2 คือชิ้นงานยางคอมพาวด์ที่ทำความสะอาดด้วยคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2
R3 คือชิ้นงานยางคอมพาวด์ที่ทำความสะอาดด้วยสบู่
R4 คือชิ้นงานยางคอมพาวด์ที่ทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟ
S1 คือชิ้นงานซิลิโคนอิลาสโตเมอร์เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ที่ทำความสะอาดด้วยน้ำประปา
S2 คือชิ้นงานซิลิโคนอิลาสโตเมอร์เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ที่ทำความสะอาดด้วยคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2
S3 คือชิ้นงานซิลิโคนอิลาสโตเมอร์เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ที่ทำความสะอาดด้วยสบู่
S4 คือชิ้นงานซิลิโคนอิลาสโตเมอร์เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ที่ทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟ

Note: R1 = rubber compound specimens cleaned with tap water
R2 = rubber compound specimens cleaned with 2% chlorhexidine
R3 = rubber compound specimens cleaned with soap
R4 = rubber compound specimens cleaned with microwave irradiation
S1 = MDX 4-4210 silicone elastomer specimens cleaned with tap water
S2 = MDX 4-4210 silicone elastomer specimens cleaned with 2% chlorhexidine
S3 = MDX 4-4210 silicone elastomer specimens cleaned with soap
S4 = MDX 4-4210 silicone elastomer specimens cleaned with microwave irradiation

ตารางที่ 2 ค่าสถิติเปรียบเทียบการทำความสะอาดยางคอมพาวด์และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ด้วยน้ำประปา คลอร์เฮกซิดีน ความเข้มข้นร้อยละ 2 สบู่ และไมโครเวฟ เป็นเวลา 6 เดือน 12 เดือน และ 18 เดือน

Table 2 Statistical comparison of the effects of different cleaning methods on rubber compound and MDX 4-4210 silicone elastomer using tap water, 2% chlorhexidine, soap, and microwave irradiation at 6, 12, and 18 months.

	Cleansing methods	p-value		
		6 months	12 months	18 months
Color change comparison (Rubber compound vs MDX 4-4210 silicone elastomer)	tap water	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*
	2% chlorhexidine	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*
	soap	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*
	microwave irradiation	0.045*	0.627	0.008*

บทวิจารณ์

ความคงทนของสีเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกร[34-36] เนื่องจากชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่สังเกตเห็นได้ง่ายและควรมีสีที่กลมกลืนกับผิวหนังโดยรอบ นอกจากนี้ ชิ้นงานยังต้องสัมผัสกับปัจจัยจากสิ่งแวดล้อม เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต ความร้อน ความชื้น สารทำความสะอาด และสารฆ่าเชื้อ ซึ่งล้วนมีผลต่อความคงทนของสี[34] อย่างไรก็ตามการศึกษานี้จำลองเฉพาะผลของวิธีการทำความสะอาดต่อการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุ ดังนั้นผลการศึกษานี้ควรถูกตีความในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสีจากการทำความสะอาดภายใต้สภาวะจำลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ที่ใช้สำหรับการผลิตสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรมักประสบปัญหาหลักสองประการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีจากสภาพแวดล้อมและการเสื่อมสภาพของคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ[13,37] ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสแสงแดดเป็นเวลานานจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุซิลิโคนที่ใช้ในงานดังกล่าว[17,18] การเปลี่ยนสีอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสีภายในวัสดุหรือการสูญเสียสีภายนอกเนื่องจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม[19] นอกจากนี้ซิลิโคนยังสามารถเสื่อมสภาพตามกาลเวลา และการเปลี่ยนสีมักสังเกตได้เร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกายภาพ[23] Lemon และคณะ ในปี ค.ศ. 1995 กล่าวว่าเมื่อชิ้นงานสัมผัสรังสีอัลตราไวโอเลต มลพิษในอากาศ การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิ รวมถึงการทำความสะอาดและใช้สารยึดติดชิ้นงานบนใบหน้าล้วนมีผลต่อการเสื่อมสภาพของสีและคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน[38]

การทำความสะอาดและการดูแลสิ่งประดิษฐ์เทียมเป็นขั้นตอนพื้นฐานในการคงสภาพและยืดอายุการใช้งานของวัสดุซิลิโคน วิธีการทำความสะอาดมีหลายรูปแบบ เช่น การใช้แปรงขนนุ่ม การฆ่าเชื้อด้วยสารเคมี หรือการใช้ไมโครเวฟ อย่างไรก็ตาม การแปรงเพียงอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ จึงนิยมใช้สารเคมีร่วมในการทำความสะอาด โดยสารที่ใช้ควรไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อและไม่ทำให้คุณสมบัติของซิลิโคนเปลี่ยนแปลง พื้นผิวของซิลิโคนอิลาสโตเมอร์สามารถเป็นที่ยึดเกาะของเชื้อจุลินทรีย์ได้[39] ดังนั้นจึงแนะนำการทำความสะอาดชิ้นงานโดยใช้น้ำ สบู่ คลอร์เฮกซิดีน หรือไมโครเวฟ รวมทั้งถอดชิ้นงานก่อนเข้านอนเพื่อลดการสะสมของเชื้อโรค[1]

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดในวัสดุทั้งสองชนิด ขณะที่สบู่เป็นวิธีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุด โดยเฉพาะในยางคอมพาวด์ สะท้อนให้เห็นว่าวิธีการทำความสะอาดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความคงทนของสีของวัสดุสำหรับสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกร ผลดังกล่าวอาจเกิดจากสบู่มีสารลดแรงตึงผิวและมีความเป็นด่างอ่อน ซึ่งอาจเพิ่มการแทรกซึมของน้ำเข้าสู่เมทริกซ์ของวัสดุ ทำให้เกิดการบวม การเปลี่ยนแปลงพื้นผิว และการกระจายตัวของเม็ดสีไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะในยางธรรมชาติซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็น cis-1, 4-polyisoprene และมีพันธะคู่ในสายโซ่พอลิเมอร์ พันธะคู่ดังกล่าวมีความไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเสื่อมสภาพทางเคมีมากกว่าซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ที่มีโครงสร้างพอลิไดเมทิลไซลอกเซนซึ่งมีเสถียรภาพทางเคมีสูงกว่า ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Chamaria และคณะ ที่รายงานว่าการทำความสะอาดซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ด้วยสบู่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าการใช้คลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 และโซเดียมไฮโปคลอไรท์[40] อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวแตกต่างจากการศึกษาของ Moreno และคณะ ซึ่งอาจ

เกิดจากความแตกต่างของชนิดวัสดุ วิธีการทดลอง ความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อ และระยะเวลาการสัมผัส[41]

สำหรับการทำความสะอาดด้วยน้ำประปา พบว่าการทำความสะอาดยางคอมพาวด์เป็นเวลา 12 เดือน ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีในระดับที่สังเกตได้ในทางคลินิก โดยมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีเท่ากับ 4.38±0.97 ในขณะที่การทำความสะอาดซิลิโคนอิลาสโตเมอร์เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 เป็นเวลา 18 เดือนมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีเท่ากับ 3.23±0.74 ซึ่งใกล้เคียงกับเกณฑ์การเปลี่ยนสีในทางคลินิก การสัมผัสน้ำประปาเป็นเวลานานอาจมีผลต่อความเสถียรของสีของวัสดุผ่านการดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงความขรุขระพื้นผิว และการเปลี่ยนแปลงความแข็งของวัสดุ[42] นอกจากนี้ น้ำประปาที่มีคลอรีนอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาคลอริเนชันและออกซิเดชันบนพื้นผิวของยางธรรมชาติ เกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีคลอรีนและออกซิเจนบนพื้นผิววัสดุ ส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีของพื้นผิวเปลี่ยนแปลงและอาจกระทบต่อการยึดเกาะหรือการกระจายของเม็ดสีเมื่อเวลาผ่านไป[43] อย่างไรก็ตาม การทำความสะอาดซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ด้วยน้ำประปาไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีในระดับที่สังเกตได้ในทางคลินิก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chamaria และคณะ[40]

การทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟให้ผลการเปลี่ยนแปลงสีต่ำที่สุดในวัสดุทั้งสองชนิด โดยยางคอมพาวด์มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีเท่ากับ 0.89±0.43, 1.63±0.56 และ 2.08±0.78 ที่ระยะเวลา 6, 12 และ 18 เดือน ตามลำดับ ขณะที่ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงสีเท่ากับ 1.20±0.80, 1.72± 0.84 และ 2.75±1.30 ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิก ($\Delta E^* > 3.3$) ในทั้งสองวัสดุ ภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษานี้ ผลของไมโครเวฟต่อวัสดุอาจเกิดขึ้นผ่านความร้อนของน้ำที่ใช้แช่ชิ้นงานเป็นหลัก มากกว่าการดูดซับพลังงานโดยตรงของวัสดุ และอาจเกี่ยวข้องกับการเกิดพอลิเมอไรเซชันภายหลังหรือการคงเสถียรภาพของโครงสร้างวัสดุ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Santhaveesuk และคณะ[31] ซึ่งพบว่าการใช้ไมโครเวฟในการฆ่าเชื้อซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่สังเกตได้ในทางคลินิกหลังจำลองการใช้งานเป็นเวลา 1.5 ปี นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟ 660 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที เดือนละครั้ง ไม่ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของซิลิโคนเอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 ลดลง[44] อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้จำลองการทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟเดือนละครั้งเท่านั้น จึงไม่ควรตีความว่าการใช้ไมโครเวฟเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดวัสดุทั้งสองชนิดทุกวัน

เมื่อเปรียบเทียบวัสดุทั้งสองชนิด พบว่าการทำความสะอาดด้วยน้ำประปาและสบู่ทำให้ยางคอมพาวด์เกิดการเปลี่ยนสีมากกว่าซิลิโคนอิลาสโตเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ขณะที่การทำความสะอาดด้วยคลอร์เฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 และไมโครเวฟมีแนวโน้มให้ยางคอมพาวด์มีการเปลี่ยนสีน้อยกว่าในบางช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มไมโครเวฟที่ระยะเวลา 12 เดือน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างวัสดุทั้งสองชนิด ($p=0.627$) จึงไม่ควรสรุปว่าวัสดุชนิดใดมีความคงตัวของสีเหนือกว่าอีกชนิดในช่วงเวลาดังกล่าว โครงสร้างของยางคอมพาวด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน cis-1, 4-polyisoprene[8] ซึ่งมีพันธะคู่ที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน โอโซน และสารเคมีบางชนิด จึงอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและการเปลี่ยนสีได้ง่ายเมื่อสัมผัสน้ำประปาหรือสบู่เป็นเวลานาน ในขณะที่ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์มีโครงสร้างพอลิไดเมทิลไซลอกเซนซึ่งมีเสถียรภาพทางเคมีสูงกว่า[5]

ในเชิงการประยุกต์ใช้ทางคลินิก หากพิจารณานำยางคอมพาวด์มาใช้เป็นวัสดุสำหรับสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกร ควรให้ความสำคัญกับการเลือกวิธีทำความสะอาดและความถี่ในการทำความสะอาด โดยเฉพาะควรหลีกเลี่ยงการใช้สบู่เป็นวิธีหลักในระยะยาว เนื่องจากสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุดในการศึกษานี้ การทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษานี้อาจเป็นทางเลือกที่ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีได้ แต่ควรใช้เป็นการฆ่าเชื้อเป็นระยะตามคำแนะนำของผู้รักษา ไม่ใช่การทำความสะอาดประจำวัน นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาด้านคุณสมบัติเชิงกล ความปลอดภัยทางชีวภาพ การยอมรับของผู้ป่วย และประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อเพิ่มเติมก่อนนำไปใช้ทางคลินิกจริง

ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ประเมินเฉพาะผลของวิธีการทำความสะอาดต่อการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุ โดยไม่ได้จำลองปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นที่พบในทางคลินิก เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต ความร้อน ความชื้น เหงื่อ และสารยึดติด นอกจากนี้ ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมที่มีความหนาสม่ำเสมอและมีพื้นผิวเรียบ ซึ่งแตกต่างจากสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรทางคลินิกที่มีรูปร่างซับซ้อน ความหนาไม่สม่ำเสมอ รายละเอียดผิว และการลงสี

หลายชั้น อีกทั้งการศึกษานี้ใช้สีเหลืองเพียงสีเดียว จึงยังไม่สามารถอธิบายผลต่อเฉดสีผิวจริงที่มีความหลากหลายได้ทั้งหมด อีกประเด็นหนึ่งคือ ความถี่ของการทำความสะอาดในแต่ละวิธีไม่เท่ากัน โดยน้ำประปา คลอร์เฮกซิดีน และสบู่จำลองการทำความสะอาดแบบรายวัน ขณะที่ไมโครเวฟจำลองการทำความสะอาดแบบรายเดือน ดังนั้น ผลการศึกษาควรถูกตีความด้วยความระมัดระวังก่อนนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิก

บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาในห้องปฏิบัติการนี้

1. การทำความสะอาดด้วยไมโครเวฟเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดในทั้งยางคอมพาวด์และซิลิโคนอิลาสโตเมอร์เอ็มดีเอ็กซ์ 4-4210 และไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นได้ชัดในทางคลินิกหลังจำลองระยะเวลาการทำความสะอาด 18 เดือน

2. การทำความสะอาดด้วยสบู่ทำให้เกิดความไม่คงตัวของสีมากที่สุดโดยเฉพาะในยางคอมพาวด์ ดังนั้นหากจะนำยางคอมพาวด์ไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสำหรับสิ่งประดิษฐ์เทียมใบหน้าและขากรรไกรควรกำหนดแนวทางการทำความสะอาดที่เหมาะสมและติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานอย่างใกล้ชิดโดยเฉพาะเมื่อใช้งานเกินระยะเวลาประมาณ 6 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยวิจัยฯ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการและไม่มีการใช้มนุษย์หรือสัตว์ทดลอง จึงไม่เข้าข่ายต้องขอรับการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนทั้งหมดขอรับรองว่าไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้

แหล่งทุน

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. Atay A. Overview of maxillofacial prosthetics. New York: Novinka; 2013.
2. The glossary of prosthodontic terms: ninth edition. J Prosthet Dent. 2017;117(5 Suppl):e1-e105. doi:10.1016/j.prosdent.2016.12.001
3. Gupta A, Verma A, Dubey T, Thakur S. Maxillofacial prosthetics part 1: a review. Int J Adv Res. 2017;5(9):31-40. doi:10.21474/IJAR01/5504
4. Dubey SG, Balwani TR, Chandak AV, Pande S. Material in maxillofacial prosthodontics: a review. J Evol Med Dent Sci. 2020;9(44):3319-3324. doi:10.14260/jemds/2020/729
5. Phayuha T, Chanatapaporn P, Sookto T, Puasiri S. Effect of nano-titanium dioxide on the color stability and mechanical properties of Factor II A-103 compared with Multisil-Epithetics maxillofacial silicone elastomer. Khon Kaen Dent J. 2021;24(1):28-40.
6. Bansal S, Khindria S, Kansal M. Maxillofacial prosthetic materials. J Indian Prosthodont Soc. 2009;9(1):2-5. doi:10.4103/0972-4052.52862
7. Mitra A. Maxillofacial prosthetic materials: an inclination towards silicones. J Clin Diagn Res. 2014;8(12):ZE08-ZE10. doi:10.7860/JCDR/2014/9229.5244
8. Prawatvatchara W, Punyawattananon V, Uasuwan P, Boonpitak K, Surintanasarn A, Yamockul S. Extraoral maxillofacial prosthesis materials part I: history and silicone elastomer. Khon Kaen Dent J. 2024;27(2):29-42.
9. Montgomery PC, Kiat-Amnuay S. Survey of currently used materials for fabrication of extraoral maxillofacial prostheses in North America, Europe, Asia, and Australia. J Prosthodont. 2009;19(6):482-490. doi:10.1111/j. 1532-849X.2009.00538.x
10. Coward TJ, Seelaus R, Li SY. Computerized color formulation for African-Canadian people requiring facial prostheses: a pilot study. J Prosthodont. 2008;17(4):327-335. doi:10.1111/j.1532-849X.2007.00288.x

11. Sae-Oui P. Rubber chemicals. Pathum Thani: National Science and Technology Development Agency; 2005.
12. Craig RG, Koran A, Yu R, Spencer J. Color stability of elastomers for maxillofacial appliances. J Dent Res. 1978;57(9-10):866-871. doi:10.1177/00220345780570090401
13. Chen MS, Udagama MA, Drane JB. Evaluation of facial prostheses for head and neck cancer patients. J Prosthet Dent. 1981;46(5):538-544. doi:10.1016/0022-3913(81)90244-4
14. Jani RM, Schaaf NG. An evaluation of facial prostheses. J Prosthet Dent. 1978;39(5):546-550. doi:10.1016/S0022-3913(78)80191-7
15. Andres CJ, Haug SP, Brown DT, Bernal G. Effects of environmental factors on maxillofacial elastomers: Part II—report of survey. J Prosthet Dent. 1992;68(3):519-522. doi:10.1016/0022-3913(92)90422-7
16. Lewis DH, Castleberry DJ. An assessment of recent advances in external maxillofacial materials. J Prosthet Dent. 1980;43(4):426-432. doi:10.1016/0022-3913(80)90215-2
17. Sweeney WT, Fischer TE, Castleberry DJ, Cowperthwaite GF. Evaluation of improved maxillofacial prosthetic materials. J Prosthet Dent. 1972;27(3):297-305. doi:10.1016/0022-3913(72)90039-X
18. Beatty MW, Mahanna GK, Dick K, Jia W. Color changes in dry-pigmented maxillofacial elastomer resulting from ultraviolet light exposure. J Prosthet Dent. 1995;74(5):493-98. doi:10.1016/S0022-3913(05)80351-8
19. Mohite UH. Environmental factors affecting mechanical properties of facial prosthetic elastomers [thesis]. Chicago: Loyola University; 2019.
20. Gary JJ, Smith CT. Pigments and their application in maxillofacial elastomers: a literature review. J Prosthet Dent. 1998;80(2):204-208. doi:10.1016/S0022-3913(98)70111-8
21. Bryant AW, Schaaf NG, Casey DM. The use of a photoprotective agent to increase the color stability of a tinted extraoral prosthetic silicone. J Prosthodont. 1994;3(2):96-102. doi:10.1111/j.1532-849X.1994.tb00135.x
22. Bishal AK, Wee AG, Barao VAR, Yuan JCC, Landers R, Sukotjo C, Takoudis CG. Color stability of maxillofacial prosthetic silicone functionalized with oxide nanocoating. J Prosthet Dent. 2019;121(3):538-543. doi:10.1016/j.prosdent.2018.06.007
23. Farah A, Sherriff M, Coward T. Color stability of nonpigmented and pigmented maxillofacial silicone elastomer exposed to three different environments. J Prosthet Dent. 2018;120(3):476-482. doi:10.1016/j.prosdent.2017.11.016
24. Kiat-amnuay S, Beerbower M, Powers JM, Paravina RD. Influence of pigments and opacifiers on color stability of silicone maxillofacial elastomer. J Dent. 2009;37 Suppl 1:e45-e50. doi:10.1016/j.jdent.2009.05.004
25. Kiat-Amnuay S, Johnston DA, Powers JM, Jacob RF. Color stability of dry earth pigmented maxillofacial silicone A-2186 subjected to microwave energy exposure. J Prosthodont. 2005;14(2):91-96. doi:10.1111/j.1532-849X.2005. 00017.x
26. Han Y, Powers JM, Kiat-Amnuay S. Effect of opacifiers and UV absorbers on pigmented maxillofacial silicone elastomer. Part 1: Color stability after artificial aging. J Prosthet Dent. 2013;109(6):397-401. doi:10.1016/S0022-3913(13)60327-3
27. Hatamleh MM, Watts DC. Mechanical properties and bonding of maxillofacial silicone elastomers. Dent Mater. 2010;26(2):185-191. doi:10.1016/j.dental.2009.10.001
28. Dow Corning Corporation. SILASTIC MDX4-4210 biomedical grade elastomer: applications. Midland (MI): Dow Corning; 2005.
29. Chotprasert N, Shrestha B, Sipiyaruk K. Effects of disinfection methods on the color stability of precolored and hand-colored maxillofacial silicone: an in vitro study. Int J Biomater. 2022;2022:7744744. doi:10.1155/2022/7744744

30. Centers for Disease Control and Prevention. How to make and use a soapy water handwashing solution [Internet]. [cited 2026 Mar 1]. Available from:https://www.cdc.gov/global-water-sanitation-hygiene/media/pdfs/334204-C_NCEZID_IG_HandwashingSolution-p.pdf
31. Santhaveesuk P, Saenthaveesuk P, Holland JN, Kiat-Amnuay S. Microwave disinfection of facial silicone prostheses, part 1: color stability. J Prosthet Dent. 2024;131(5):980.e1-980.e8. doi:10.1016/j.prosdent.2024.02.011
32. Alqahtani A, AlHelal AA, Albani R, Ali M, Ali O, Khan AS, Habib SR. Effect of cigarette smoking on the optical properties of contemporary dental ceramics: an in vitro analysis. Peer J. 2024;12:e18564. doi:10.7717/peerj.18564
33. Eldiwany M, Friedl KH, Powers JM. Color stability of light-cured and post-cured composites. Am J Dent. 1995;8(4):179-181.
34. Gupta P, Deshpande S, Radke U, Ughade S, Sethuraman R. The color stability of maxillofacial silicones: a systematic review and meta-analysis. J Indian Prosthodont Soc. 2021;21(2):138.
35. Kiat-Amnuay S, Lemon JC, Powers JM. Effect of opacifiers on color stability of pigmented maxillofacial silicone A-2186 subjected to artificial aging. J Prosthodont. 2002;11(2):109-116. doi:10.1053/jopr.2002.124357
36. Beumer J, Marunick MT, Esposito SJ. Maxillofacial rehabilitation: surgical and prosthodontic management of cancer-related, acquired, and congenital defects of the head and neck. Quintessence Publishing; 2011.
37. Cevik P, Yildirim-Bicer AZ. Effect of different types of disinfection solution and aging on the hardness and colour stability of maxillofacial silicone elastomers. Int J Artif Organs. 2018;41(2):108-114. doi:10.5301/ijao.5000659
38. Lemon JC, Chambers MS, Jacobsen ML, Powers JM. Color stability of facial prostheses. J Prosthet Dent. 1995;74(6):613-618. doi:10.1016/S0022-3913(05)80314-2
39. Haug SP, Andres CJ, Moore BK. Color stability and colorant effect on maxillofacial elastomers. Part I: Colorant effect on physical properties. J Prosthet Dent. 1999;81(4):418-422. doi:10.1016/S0022-3913(99)80008-0
40. Chamaria A, Aras MA, Chitre V, Rajagopal P. Effect of chemical disinfectants on the color stability of maxillofacial silicones: an in vitro study. J Prosthodont. 2019;28(2):e869-e872. doi:10.1111/jopr.12768
41. Moreno A, Goiato MC, dos Santos DM, Haddad MF, Pesqueira AA, Bannwart LC. Influence of different disinfecting solutions on the color change of artificial irises used in ocular prostheses. Color Res Appl. 2014;39(1):56-62. doi:10.1002/col.21754
42. Magdalena CMAP, Silva AAM e, Liu PL, Macedo AP, Demets GJF, Silva-Lovato CH. Effect of different pigmentations, hygiene protocols, and time on maxillofacial silicone properties. Braz J Oral Sci. 2025;24:e256503. doi:10.20396/bjos.v24i00.8676503.
43. Ho CC, Khew MC. Surface characterisation of chlorinated unvulcanised natural rubber latex films. Int J Adhes Adhes. 1999;19(5):387-398. doi:10.1016/S0143-7496(98)00067-0
44. Santhaveesuk P, Serichetaphongse P, Kiat-Amnuay S. Microwave disinfection of facial silicone prostheses, part 2: mechanical properties. J Prosthet Dent. 2024;131(2):340.e1-340.e6. doi:10.1016/j.prosdent.2023.11.029

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

กิรวุฒิ เหลืองตระกูล
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
โทรศัพท์ : 043 202 623
จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ : kiralu@kku.ac.th

KDJ Khon Kaen University Dental Journal

Effect of Cleansing Methods on Color Change in Rubber Compound and MDX 4-4210 Silicone Elastomer

Tularat Sooktho [1] *Kanttheepob Innkaew* [2] *Pannawit Buruthpakdee* [2] *Pichet Daengna* [2]
Pitpern Chanatapaporn [1] *Rajda Chaichit* [3] *Kirawut Luengtrakoon* [1,*]

Research Article

Abstract

Objective: To compare color changes in rubber compound and MDX 4-4210 silicone elastomer after cleaning with tap water, 2% chlorhexidine, soap, or microwave irradiation at 6, 12, and 18 months.

Materials and Methods: Disc-shaped specimens of rubber compound and MDX 4-4210 silicone elastomer were prepared (50 specimens per group; 8 groups; total n=400). The specimens were stored in opaque containers and subjected to different cleansing methods simulating 6–18 months of use. Color was measured using a spectrophotometer before cleaning and after each simulated time interval. Color changes within groups were analyzed using the Friedman test, and comparisons between groups were performed using the Mann–Whitney U test because the data were not normally distributed.

Results: Microwave irradiation produced the lowest color change in both materials and did not result in clinically perceptible color change after 18 months of simulated cleansing. In the microwave group, rubber compound showed lower **Δ**E* values than MDX 4-4210 silicone elastomer at 6 and 18 months, whereas no significant difference was found at 12 months. Soap and tap-water cleansing produced clinically perceptible color changes in rubber compound at 6 and 12 months, respectively. In contrast, MDX 4-4210 silicone elastomer showed clinically perceptible color changes after cleansing with 2% chlorhexidine and soap at 18 months.

Conclusion: Within the limitations of this in vitro study, microwave irradiation resulted in the least color change in both materials, whereas soap cleansing produced the greatest color instability, particularly in rubber compound. Therefore, if rubber compound is to be considered for clinical application, limitations related to cleansing method, cleansing frequency, and expected service duration should be carefully considered.

Keywords: Color change/ Rubber compound/ MDX 4-4210 silicone elastomer

Corresponding author

Kirawut Luengtrakoon
Department of Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Khon Kaen University.
Khon Kaen, 40002.
Tel. : +66 43 202 623
E-mail : kiralu@kku.ac.th

[1] *Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University.*
[2] *Undergraduate Student, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University.*
[3] *Division of Dental Public Health, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University.*
** Corresponding author*