THE EFFECT OF HYDROXYAPATITE TOOTHPASTE ON MICROLEAKAGE OF CLASS II COMPOSITE RESIN RESTORATIONS IN PRIMARY MOLARS

Sukridta THONGSAWAT[1], Dusit NANTANAPIBOON[2], Chawalid PIANMEE[3] and Wannakorn SRIARJ[4]

1 Master of Science in Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand
2 Dental Material Research and Development Center and Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand
3 Dental Center, Surin Hospital, Thailand
4 Department of Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand; wannakorn.s@chula.ac.th (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 6 February 2026 **Revised:** 27 February 2026 **Published:** 13 March 2026

ABSTRACT

The study aimed to compare microleakage of Class II composite resin restorations in primary molars following the use of 1,500-ppm fluoride toothpaste and hydroxyapatite toothpaste. Class II cavities were prepared on the sound proximal surfaces of extracted primary molars and restored with composite resin. The specimens were subjected to thermocycling for 10,000 cycles and randomly assigned to two groups according to the type of toothpaste (n = 10 per group): group 1 1,500-ppm fluoride toothpaste and group 2 hydroxyapatite toothpaste. Subsequently, the specimens were subjected to a 7 days pH-cycling at 37°C. Microleakage was evaluated using a dye penetration method by immersing the specimens in 0.5% basic fuchsin solution for 24 hours. The teeth were then sectioned through the middle of the restorations and examined under a stereomicroscope to measure the depth of dye penetration. Statistical analysis was performed using the Mann-Whitney U test at a significance level of 0.05. The results revealed that the microleakage proportion in the hydroxyapatite toothpaste group was not significantly different from the 1,500-ppm fluoride toothpaste group ($p > 0.05$).

Keywords: Microleakage, Resin Composite, Primary Molar, Hydroxyapatite Toothpaste

CITATION INFORMATION: Thongsawat, S., Nantanapiboon, D., Pianmee, C., & Sriarj, W. (2026). The Effect of Hydroxyapatite Toothpaste on Microleakage of Class II Composite Resin Restorations in Primary Molars. *Procedia of Multidisciplinary Research, 4*(3), 5

ผลของยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินชนิดคลาสทูในฟันกรามน้ำนม

สุกฤตา ทองสวัสดิ์[1], ดุสิต นันทนพิบูล[2], ชวลิต เพียรมี[3] และ วรรณกร ศรีอาจ[4]

1 สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 ศูนย์วิจัยและพัฒนาทันตวัสดุและภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3 แผนกทันตกรรมโรงพยาบาลสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

4 ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; wannakorn.s@chula.ac.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินคลาสทูในฟันกรามน้ำนม ภายหลังการใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ความเข้มข้น 1,500 ส่วนในล้านส่วน และยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยเตรียมโพรงฟันชนิดคลาสทูบนด้านประชิดของฟันกรามน้ำนมที่ถูกถอนและบูรณะด้วยคอมโพสิตเรซิน นำชิ้นงานเข้ากระบวนการเทอร์โมไซคลิง 10,000 รอบ และสุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามชนิดของยาสีฟัน (กลุ่มละ 10 ชิ้น) ได้แก่ กลุ่ม 1 ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน และกลุ่ม 2 ยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ ต่อมานำชิ้นงานเข้ากระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างเป็นเวลา 7 วัน อุณหภูมิ 37°C ประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคด้วยวิธีการแทรกซึมของสีย้อม โดยแช่ชิ้นงานในสารละลายเบสิกฟุคซินความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เวลา 24 ชั่วโมง ตัดชิ้นงานผ่านกึ่งกลางวัสดุบูรณะ และตรวจประเมินภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอเพื่อวัดความลึกของการแทรกซึมของสีย้อม วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบแมนน์-วิทนีย์ ยู ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนการรั่วซึมระดับจุลภาคในกลุ่มยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน ($p > 0.05$)

คำสำคัญ: การรั่วซึมระดับจุลภาค, วัสดุคอมโพสิตเรซิน, ฟันกรามน้ำนม, ยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์

ข้อมูลการอ้างอิง: สุกฤตา ทองสวัสดิ์, ดุสิต นันทนพิบูล, ชวลิต เพียรมี และ วรรณกร ศรีอาจ. (2569). ผลของยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินชนิดคลาสทูในฟันกรามน้ำนม. *Procedia of Multidisciplinary Research, 4*(3), 5

บทนำ

วัสดุคอมโพสิตเรซินเป็นวัสดุบูรณะที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้บูรณะฟันหลัง เนื่องจาก มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงบดเคี้ยว มีความสวยงามใกล้เคียงกับสีฟันธรรมชาติ และสามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับระบบสารยึดติด ซึ่งส่งผลให้สามารถบูรณะฟันด้วยแนวคิดการรักษาแบบอนุรักษ์เนื้อฟัน (Minimal invasive restoration) ได้ (Siokis et al., 2021) โดยสมาคมทันตแพทย์สำหรับเด็กแห่งสหรัฐอเมริกา (American Academy of Pediatric Dentistry) ได้แนะนำให้ใช้วัสดุคอมโพสิตเรซินในการบูรณะฟันชนิดคลาสวันและคลาสทูทั้งในฟันกรามน้ำนมและฟันกรามแท้ โดยมีรายงานการศึกษาที่แสดงถึงความสำเร็จในการใช้วัสดุคอมโพสิตเรซินบูรณะฟันชนิดคลาสทูในฟันน้ำนมซึ่งคาดว่าจะหลุดตามธรรมชาติภายในระยะเวลา 2 ปี (American Academy of Pediatric Dentistry, 2024) อย่างไรก็ตาม การบูรณะฟันด้วยวัสดุคอมโพสิตเรซินเป็นกระบวนการที่มีความไวต่อเทคนิค (Technique sensitive) และมีปัญหาการหดตัวของวัสดุระหว่างกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization shrinkage) (Ortiz-Ruiz et al., 2020) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมระดับจุลภาค (Microleakage) (Rathi et al., 2020) และนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนต่างๆ เช่น การเสียวฟันภายหลังการบูรณะ การติดสีบริเวณขอบวัสดุ การแตกหักของฟันหรือวัสดุบูรณะ รวมถึงการเกิดฟันผุซ้ำ (Kleverlaan & Feilzer, 2005) โดยปัญหาฟันผุซ้ำถือเป็นสาเหตุหลักของความล้มเหลวในการบูรณะฟันกรามแท้ ซึ่งพบในวัสดุคอมโพสิตเรซินได้มากกว่าวัสดุอะมัลกัมถึง 3.5 เท่า (Bernardo et al., 2007) ดังนั้นจึงมีความพยายามในการศึกษาหาแนวทางต่างๆ เพื่อลดภาวะแทรกซ้อนและเกิดความสำเร็จในการบูรณะฟันด้วยวัสดุคอมโพสิตเรซิน

แม้ว่ายาสีฟันฟลูออไรด์จะเป็นยาสีฟันที่ได้รับคำแนะนำให้ใช้ในการป้องกันฟันผุมาเป็นเวลานาน (Wright et al., 2014) และถูกแนะนำให้ใช้ในทุกกลุ่มอายุและทุกระดับความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุ แต่ในปัจจุบัน มีการนำไฮดรอกซีอะพาไทต์มาใช้เป็นส่วนผสมในยาสีฟัน โดยมีรายงานการศึกษาพบว่าสามารถลดการยึดเกาะของแบคทีเรียบนผิวฟัน ช่วยให้พื้นผิวฟันมีความเรียบมากขึ้น และชักนำให้เกิดการสร้างชั้นปกป้องพื้นผิวฟัน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการรักษาสมดุลความเป็นกรดด่าง และเป็นแหล่งของไอออนเพื่อส่งเสริมกระบวนการคืนกลับของแร่ธาตุ (Enax et al., 2019; Pushpalatha et al., 2023) นอกจากนี้ การศึกษาของ Butera และคณะ ยังพบว่าการแปรงฟันด้วยยาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์ความเข้มข้นร้อยละ 20 เป็นระยะเวลา 1 เดือน สามารถก่อให้เกิดการตกตะกอนของแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสบนพื้นผิวของวัสดุคอมโพสิตเรซินได้ (Butera et al., 2021)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาผลของยาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์ต่อการคืนกลับของแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้น ในขณะที่การศึกษาผลของยาสีฟันดังกล่าวต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟันยังมีอยู่อย่างจำกัดโดยเฉพาะในฟันกรามน้ำนม นอกจากนี้ จากรายงานการศึกษาที่พบการตกตะกอนของแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสบนพื้นผิวของวัสดุคอมโพสิตเรซินหลังจากการแปรงฟันด้วยยาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินที่บูรณะในโพรงฟันชนิดคลาสทูในฟันกรามน้ำนม ภายหลังการใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน และยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์

การทบทวนวรรณกรรม

วัสดุคอมโพสิตเรซินถูกนำมาใช้ในงานทันตกรรมมานานกว่า 50 ปี และได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีความสวยงามที่มีสีใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ และไม่มีส่วนประกอบของปรอท จึงถูกนำมาใช้ทดแทนวัสดุบูรณะชนิดอะมัลกัม นอกจากนี้ การใช้งานร่วมกับระบบสารยึดติดยังช่วยให้สามารถเตรียมโพรงฟันตามแนวคิดการรักษาแบบอนุรักษ์เนื้อฟัน โดยการกำจัดเฉพาะเนื้อฟันที่ผุ และคงเนื้อฟันส่วนที่ดีเอาไว้ได้ (Chesterman et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของการบูรณะฟันด้วยวัสดุคอมโพสิตเรซินคือ การหดตัวและความเครียดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งก่อให้เกิดแรงหดตัวภายในวัสดุต้านกับแรงยึดติดกับผนังโพรงฟันจากสารยึดติด หาก

การหดตัวของวัสดุมากกว่าจะส่งผลให้เกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟัน ขาดความแนบสนิท นำไปสู่การรั่วซึมระดับจุลภาคและการเกิดฟันผุซ้ำได้ เพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวทางการบูรณะเพื่อควบคุมหรือลดความเครียดจากการหดตัวของวัสดุจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เช่น การเลือกใช้วัสดุคอมโพสิตเรซินที่มีการหดตัวต่ำ การบูรณะด้วยเทคนิคการบูรณะทีละชั้น และการใช้วัสดุคอมโพสิตเรซินชนิดไหลแผ่ได้เป็นชั้นดูดซับความเครียด (Miletić, 2018) นอกจากนี้ การดูแลสุขภาพช่องปากอย่างเหมาะสมร่วมกับการตรวจสุขภาพฟันอย่างสม่ำเสมอ ยังมีบทบาทสำคัญในการช่วยตรวจพบความผิดปกติของวัสดุบูรณะได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น (Aljehani et al., 2023)

ไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และไม่เป็นพิษ มีสูตรโครงสร้างคือ $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับส่วนประกอบอนินทรีย์ของกระดูกและฟันของมนุษย์ (Chen et al., 2021; Mohd Pu'ad et al., 2020) โดยในชั้นเคลือบฟัน ผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์จะเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบรวมกันเป็นแท่งเคลือบฟัน เรียงตัวตั้งแต่รอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันไปจนถึงผิวเคลือบฟันด้านนอก การเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบนี้ส่งผลให้ชั้นเคลือบฟันมีความทนทานต่อแรง มีความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และมีคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสง (O'Hagan-Wong et al., 2022) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว จึงมีการนำไฮดรอกซีอะพาไทต์มาใช้ในทางการแพทย์และทันตกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดูก และวัสดุเคลือบผิวของข้อเทียมหรือรากฟันเทียม (Legeros & Legeros, 2008) รวมถึงได้ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในยาสีฟันเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดยบริษัท Sangi ประเทศญี่ปุ่น ภายใต้ชื่อทางการค้า Apadent ซึ่งมีความเข้มข้นของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ร้อยละ 5-20 (Juntavee, 2017; O'Hagan-Wong et al., 2022) การศึกษาของ Bossù และคณะ พบว่ายาสีฟันที่มีไฮดรอกซีอะพาไทต์ความเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถทำให้พื้นผิวชั้นเคลือบฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุไปมีความเรียบมากขึ้น มีการตกตะกอนของแร่ธาตุ และมีการสร้างชั้นอะพาไทต์ขึ้นใหม่ อีกทั้งยังมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยเฉพาะ *Streptococcus mutans* และช่วยยับยั้งการสร้างชั้นไบโอฟิล์ม (Bossù et al., 2019) นอกจากนี้ มีงานวิจัยระบุว่าความเข้มข้นของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เหมาะสมในการส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นอยู่ที่ร้อยละ 10 (Chen et al., 2021) ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการคืนกลับของแร่ธาตุและลดความลึกของรอยผุไม่แตกต่างจากยาสีฟันฟลูออไรด์ความเข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วน (Amaechi et al., 2019) นอกจากคุณสมบัติด้านการป้องกันฟันผุแล้ว ยาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์ยังถูกนำมาใช้เพื่อลดอาการเสียวฟัน โดยผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์จะเข้าไปจับกับสายคอลลาเจนและโครงสร้างไฮดรอกซีอะพาไทต์ในชั้นเนื้อฟัน ส่งผลให้เกิดการอุดตันของท่อเนื้อฟัน และเพิ่มการสะสมแร่ธาตุจากการดึงดูดแคลเซียมไอออน และฟอสเฟตไอออนจากน้ำลาย (Enax et al., 2019)

สมมติฐานการวิจัย

ไม่มีความแตกต่างกันของการรั่วซึมระดับจุลภาคระหว่างวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินและฟันในโพรงฟันชนิดคลาสทูในฟันกรามน้ำนม ภายหลังการใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน และยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์

วิธีดำเนินการวิจัย

ระเบียบการวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการศึกษาวิจัยในมนุษย์ (หมายเลข HREC-DCU 2025-049) และคณะกรรมการความปลอดภัยทางชีวภาพ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (หมายเลข DENT CU-IBC 025/2025)

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

คำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G*Power 3.1.9.7 สูตรการทดสอบทางสถิติที่ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลสองกลุ่ม (t tests) อ้างอิงจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Ibrahim และคณะ (Ibrahim et al., 2023) โดยอ้างอิงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคะแนนการรั่วซึมระดับจุลภาค และกำหนดค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I error, α) เท่ากับ 0.05 และค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II error, β) เท่ากับ 0.2 แบ่งกลุ่มทดลอง

เป็น 2 กลุ่ม เมื่อคำนวณออกมาจะได้จำนวนตัวอย่างกลุ่มละ 9 ชิ้น เมื่อคำนวณเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดร้อยละ 10 จึงใช้ตัวอย่างจำนวนกลุ่มละ 10 ชิ้น รวมจำนวนตัวอย่างเท่ากับ 20 ชิ้น

การเตรียมฟันตัวอย่าง

นำฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 หรือ 2 ของมนุษย์ที่ถูกถอนด้วยเหตุผลทางการแพทย์ ซึ่งผ่านการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อด้วยสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ มาตรวจสอบผิวเคลือบฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ ที่กำลังขยาย 20 เท่า โดยฟันที่นำมาใช้ต้องมีด้านประชิดอย่างน้อยหนึ่งด้านที่ปราศจากรอยผุ รอยร้าว รอยขุ่นขาว ไม่มีการสะสมแร่ธาตุที่ผิดปกติ และไม่มีความผิดปกติของผิวเคลือบฟันในบริเวณที่จะกำหนดเป็นขอบของโพรงฟัน จากนั้นทำการขัดฟันบริเวณด้านบดเคี้ยวจนบริเวณที่จะเตรียมโพรงฟันมีลักษณะเป็นระนาบโดยใช้เครื่องขัดผิววัสดุร่วมกับกระดาษทราย แล้วจึงยึดฟันเข้ากับบล็อกเรซิน โดยจัดตำแหน่งให้รอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (Cemento-Enamel Junction: CEJ) อยู่สูงกว่าระดับบล็อกเรซิน 2 มิลลิเมตร

การเตรียมโพรงฟันและการบูรณะ

เตรียมโพรงฟันชนิดคลาสทูบนด้านประชิดของฟันด้วยหัวกรอกากเพชรทรงกระบอกชนิดกรอเร็ว โดยกำหนดขนาดโพรงฟันให้มีความสูงในแนวด้านบดเคี้ยว-ด้านเหงือก (Occluso-cervical) 3 มิลลิเมตร ความลึกในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (Mesio-distal) 1 มิลลิเมตร และความกว้างในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น (Bucco-lingual) 2 มิลลิเมตร ตรวจสอบขนาดโพรงฟันด้วยเครื่องวัดขนาดดิจิตอล และกำหนดให้ขอบโพรงฟันด้านเหงือกอยู่บนชั้นเคลือบฟันที่มีความหนาอย่างน้อย 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นยึดแผ่นแมทริกซ์โลหะกับฟันด้วยทอฟเฟิลมายรีเทนเนอร์ โดยให้ขอบบนของแผ่นแมทริกซ์เสมอกับขอบบนของโพรงฟัน จากนั้นปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37.5 เป็นเวลา 15 วินาที โดยเริ่มทากรดบริเวณเคลือบฟันก่อน จากนั้นล้างกรดออกด้วยน้ำกลั่น 10 วินาที และเป่าลมเบา ๆ 5 วินาที โดยให้ผนังโพรงฟันยังคงมีความชื้นไม่มีลักษณะขาวขุ่น จากนั้นทาสารยึดติด OptiBond FL ตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยเริ่มจากทาสารไพร์มเมอร์ (OptiBond FL Prime) พร้อมกวนเบา ๆ 15 วินาที เป่าลม 10 วินาที จนผนังโพรงฟันมีลักษณะเงามัน แล้วจึงทาสารเรซินแอดฮีซีฟ (OptiBond FL Adhesive) บาง ๆ ให้ทั่วโพรงฟันเป็นเวลา 15 วินาที ซับส่วนเกินออกด้วยผ้าก๊อซ และฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง Elipar^{TM} DeepCure-S (ความเข้มแสง 1470 mW/cm^2) เป็นเวลา 20 วินาที โดยวางปลายแท่งนำแสงห่างขอบบนของแผ่นแมทริกซ์ 1 มิลลิเมตร ครอบคลุมโพรงฟัน และทำการวัดความเข้มแสงก่อนฉายทุกครั้ง จากนั้นทำการบูรณะด้วยวัสดุคอมโพสิตเรซิน Filtek^{TM} Z350 ด้วยเทคนิคการบูรณะเป็นชั้นในแนวระนาบ (Horizontal layering technique) โดยชั้นแรกหนา 2 มิลลิเมตรและชั้นที่สองหนา 1 มิลลิเมตร ฉายแสงในแต่ละชั้นเป็นเวลา 40 วินาที เมื่อถอดแผ่นแมทริกซ์ออกแล้วจึงฉายแสงซ้ำด้านประชิดอีก 40 วินาที โดยวางปลายแท่งนำแสงตั้งฉากกับด้านประชิดของฟันและห่างจากพื้นผิว 1 มิลลิเมตร จากนั้นกำจัดวัสดุส่วนเกินด้วยใบมีดผ่าตัดเบอร์ 11 และเก็บตัวอย่างในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำฟันมายึดลงในบล็อกเรซินใหม่ โดยให้ส่วนตัวฟันและรากฟันที่นอกเหนือจากบริเวณวัสดุบูรณะอยู่ภายในส่วนเรซิน กระบวนการบูรณะฟันทั้งหมดทำโดยทันตแพทย์ผู้มีประสบการณ์เพียงคนเดียว เพื่อควบคุมเทคนิคในการบูรณะฟัน

กระบวนการทำเทอร์โมไซคลิง (Thermocycling)

นำชิ้นฟันตัวอย่างเข้าสู่กระบวนการทำเทอร์โมไซคลิงจำนวน 10,000 รอบ ระหว่างอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส โดยกำหนดเวลาในการแช่รอบละ 30 วินาที และเวลาเคลื่อนย้ายระหว่างอุณหภูมิ 5 วินาที (Cayo-Rojas et al., 2021)

กระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างภายในช่องปาก (pH cycling)

สุ่มแบ่งฟันตัวอย่างทั้งหมดออกเป็น 2 กลุ่มตามชนิดของยาสีฟัน (ตารางที่ 1) ด้วยวิธีสุ่มอย่างง่าย (Simple randomization) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel จะได้ฟันตัวอย่างกลุ่มละ 10 ซี่ ดังนี้

กลุ่มที่ 1: ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ความเข้มข้น 1,500 ส่วนในล้านส่วน (SYSTEMA® Ultra care & protect)

กลุ่มที่ 2: ยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ความเข้มข้นร้อยละ 24 และไม่มีส่วนผสมของฟลูออไรด์ (Biorepair® sensitive)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบในยาสีฟัน และวันหมดอายุ

ยาสีฟัน	วันหมดอายุ	ส่วนประกอบ
ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน (SYSTEMA® Ultra care & protect)	Exp.010728	Water, Sorbitol, Hydrated Silica, PEG-8, Sodium Lauryl Sulfate, Cellulose Gum,Flavor, CI 77891, Sodium Saccharin, **Sodium Fluoride**, Methylparaben, Dipotassium Glycyrrhizate
ยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ ความเข้มข้นร้อยละ 24 (Biorepair® sensitive)	Exp.300827	Aqua, **microRepair® (Zinc Hydroxyapatite)**, Glycerin, Sorbitol, Silica, PEG-32, Cellulose gum, Aroma, Sodium Myristoyl Sarcosinate, Sodium Methyl Cocoyl Taurate, Sodium Saccharin, Citric acid, Phenoxyethanol, Benzyl Alcohol, Sodium Benzoate.

นำชิ้นฟันตัวอย่างเข้าสู่กระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิพร้อมเขย่าในแนวราบ โดยเริ่มกระบวนการจากสภาวะการสูญเสียแร่ธาตุ 3 ชั่วโมงด้วยสารละลายสำหรับกระบวนการเสียแร่ธาตุ (2.2 mmol/L $CaCl_2$, 2.2 mmol/L NaH_2PO_4, 0.05 mol/L acetic acid (CH_3COOH) และปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วย 1.0 mol/l KOH) 2 ครั้งต่อวัน และสภาวะการคืนกลับของแร่ธาตุ 2 ชั่วโมง ด้วยสารละลายสำหรับกระบวนการคืนกลับแร่ธาตุ (1.5 mmol/L $CaCl_2$, 0.9 mmol/L NaH_2PO_4, 0.15 mol/L KCl และปรับค่าความเป็นกรดด่างด้วย 1.0 mol/l KOH) คั่นกลางระหว่างกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ และแช่ชิ้นฟันในสารละลายยาสีฟัน 2 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 2 นาที โดยแช่ก่อนกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุครั้งแรก และหลังจากกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุครั้งที่สอง หลังจากนั้นจึงแช่ชิ้นฟันในสารละลายสำหรับกระบวนการคืนกลับแร่ธาตุไว้ข้ามคืน (Phyo et al., 2024) ในกระบวนการนี้จะเปลี่ยนสารละลายและเตรียมใหม่ทุกครั้ง โดยใช้ปริมาณสารละลายสำหรับกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ และการคืนกลับแร่ธาตุ 10 มิลลิลิตรต่อชิ้นงาน และใช้ปริมาณสารละลายยาสีฟัน 5 มิลลิลิตรต่อชิ้นงาน ซึ่งเตรียมโดยผสมยาสีฟันกับน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนัก ในระหว่างขั้นตอนการเปลี่ยนสารละลาย ชิ้นฟันถูกล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 10 วินาที และซับให้แห้งทุกครั้ง ภาชนะที่ใช้มีการแยกช่องสำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้นและแยกสารละลายแต่ละชนิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน เมื่อครบ 7 วัน ชิ้นฟันถูกนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและเก็บไว้ในตู้ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิห้อง (Itthagarun et al., 2007; Thaveesangpanich et al., 2005)

การประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาค

ประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคด้วยวิธีการแทรกซึมของสีย้อม (Dye penetration method) โดยใช้เทปกาวหน้าเดียวขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 4 มิลลิเมตร ปิดทับบริเวณรอยต่อขอบวัสดุบูรณะด้านเหงือก จากนั้นทาน้ำยาทาเล็บทั่วทั้งซี่ฟันและบล็อคเรซินทั้งหมด 2 ชั้น ทิ้งไว้ให้แห้งสนิทก่อนแกะเทปกาวออก จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายเบสิกฟุคซินความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วล้างออกด้วยน้ำปราศจากไอออนและซับให้แห้ง จากนั้นตัดฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางผ่านกึ่งกลางของวัสดุบูรณะด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ เพื่อให้ได้ชิ้นฟันจำนวน 2 ชิ้นต่อซี่ จากนั้นอ่านผลการรั่วซึมภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ ที่กำลังขยาย 40 เท่า โดยวัดระยะทางการแทรกซึมของสีย้อมจากผิวฟันด้านนอกสุดตามแนวขอบด้านเหงือก (Mosharrafian et al., 2023) แล้วคำนวณเป็นค่าสัดส่วนการรั่วซึม ดังสูตรคำนวณ

$$\text{สัดส่วนการรั่วซึม} = \frac{\text{ระยะทางการแทรกซึมของสีย้อม}}{\text{ระยะทางทั้งหมดของผนังโพรงฟันด้านเหงือก}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส เวอร์ชัน 29.0.2 (SPSS version 29.0.2, SPSS Inc., USA) โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของสัดส่วนการรั่วซึมในแต่ละ

กลุ่มการทดลอง ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal distribution) ในแต่ละกลุ่มด้วยการทดสอบชาพิโร-วิลด์ (Shapiro-Wilk test) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนการรั่วซึมระดับจุลภาคระหว่างกลุ่มการทดลองด้วยการทดสอบแมนน์-วิทนีย์ ยู (Mann-Whitney U test) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่มตามชนิดยาสีฟันที่ใช้ โดยแต่ละกลุ่มมีฟันตัวอย่างจำนวน 10 ซี่ รวมฟันทั้งหมด 20 ซี่ จากการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนการรั่วซึมระดับจุลภาค โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงาน 2 ชิ้นต่อฟันหนึ่งซี่ พบว่าค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบแมนน์-วิทนีย์ ยู พบว่า กลุ่มที่ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน และกลุ่มที่ใช้ยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ มีค่าสัดส่วนการรั่วซึมระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสัดส่วนการรั่วซึม และผลวิเคราะห์ทางสถิติ

กลุ่มการทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการรั่วซึม ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	p-value*
กลุ่มยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน	10	0.787 ± 0.164	0.785
กลุ่มยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์	10	0.742 ± 0.354	

* วิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบแมนน์-วิทนีย์ ยู (Mann-Whitney U test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินชนิดคลาสทูในฟันกรามน้ำนม ภายหลังการใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน และยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ ภายใต้สภาวะการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยมีกระบวนการทำเทอร์โมไซคลิงจำนวน 10,000 รอบ เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่องปากซึ่งเทียบเท่ากับระยะเวลาการใช้งานทางคลินิกประมาณ 1 ปี (Cayo-Rojas et al., 2021) ร่วมกับการจำลองการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างภายในช่องปากเป็นเวลา 7 วัน ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุสลับกับกระบวนการคืนกลับแร่ธาตุ รวมทั้งได้จำลองพฤติกรรมการแปรงฟันด้วยการแช่ชิ้นฟันในสารละลายยาสีฟันวันละ 2 ครั้ง เพื่อเลียนแบบสภาวะในช่องปากของผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุสูง (Buzalaf et al., 2010)

การประเมินการรั่วซึมระดับจุลภาคในการศึกษานี้ใช้วิธีการแทรกซึมของสีย้อม ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีขั้นตอนการทำที่ไม่ซับซ้อน ใช้ระยะเวลาสั้น และสามารถใช้สีย้อมได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีหรือรังสีที่เป็นอันตราย นอกจากนี้ยังมีสีย้อมให้เลือกใช้ได้หลายชนิด เช่น สารละลายเบสิกฟุคซิน เมทิลีนบลู และซิลเวอร์ไนเตรต (Taylor & Lynch, 1992) โดยการศึกษานี้เลือกใช้สารละลายเบสิกฟุคซินความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เนื่องจากเป็นสีย้อมที่แสดงขอบเขตการรั่วซึมได้ชัดเจน ใช้งานง่าย และแปลผลได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ที่ซับซ้อน (Sharafeddin & Feizi, 2017)

งานวิจัยนี้เลือกใช้ฟันกรามน้ำนมเป็นฟันตัวอย่างซึ่งมีความแตกต่างจากฟันแท้ทั้งด้านกายวิภาค โครงสร้างระดับจุลภาค และองค์ประกอบทางเคมี โดยฟันน้ำนมมีปริมาณแร่ธาตุโดยรวมต่ำกว่า โดยเฉพาะแคลเซียมและฟอสฟอรัส (Can-Karabulut et al., 2009) ส่งผลให้การตอบสนองต่อกระบวนการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดแตกต่างไปจากฟันแท้ นอกจากนี้ ความหนาแน่นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันในฟันน้ำนมที่มากกว่า ยังส่งผลให้สารปรับสภาพผิวฟันสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อฟันได้ลึกและก่อให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุเพิ่มมากขึ้น (Agostini et al., 2001) แม้การ

ปรับสภาพผิวฟันดังกล่าวจะทำให้เกิดการสร้างชั้นไฮบริด (Hybrid layer) ที่มีความหนามากขึ้นในฟันน้ำนม แต่มีรายงานว่าการแทรกซึมของเรซินในสารยึดติดเข้าสู่โครงสร้างเนื้อฟันที่สูญเสียแร่ธาตุนั้นอาจเกิดขึ้นได้อย่างไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้แรงในการยึดติดของวัสดุบูรณะกับเนื้อฟันของฟันน้ำนมต่ำลง (Nör et al., 1996) อีกทั้งความหนาของชั้นเคลือบฟันที่บางกว่าฟันแท้ ยังเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้ฟันน้ำนมมีความเสี่ยงต่อการเกิดการรั่วซึมระดับจุลภาคบริเวณขอบวัสดุบูรณะได้สูงกว่า (Güngör et al., 2014)

ผลการศึกษาพบว่า การรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินในกลุ่มที่ใช้ยาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่ายาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์สามารถคงความสมบูรณ์ของขอบวัสดุบูรณะได้ในระดับใกล้เคียงกับยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากการสะสมของแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสบนพื้นผิวของวัสดุคอมโพสิตเรซินและบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟัน ซึ่งอาจช่วยเพิ่มความแนบสนิทของขอบวัสดุบูรณะ โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Butera และคณะ ที่พบการตกตะกอนของแร่ธาตุบนพื้นผิวคอมโพสิตเรซินหลังการใช้ยาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Butera et al., 2021) นอกจากนี้ จากลักษณะทางโครงสร้างของฟันน้ำนมที่มีปริมาณแร่ธาตุโดยรวมต่ำและมีโครงสร้างของเนื้อฟันไวต่อการสูญเสียแร่ธาตุดังที่กล่าวไปแล้ว อาจทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟันได้ง่าย ซึ่งผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์จากยาสีฟันอาจมีบทบาทในการตกตะกอนและช่วยเติมเต็มรอยรั่วขนาดเล็กบนผิวฟันและบริเวณรอยต่อของวัสดุบูรณะ อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นแหล่งของแคลเซียมและฟอสเฟตไอออนเพื่อส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุ (Amaechi et al., 2019; Memarpour et al., 2019) ในขณะที่ฟลูออไรด์ในยาสีฟันมีกลไกการออกฤทธิ์หลักโดยการเข้าไปเกาะติดกับผิวฟัน ช่วยยับยั้งการละลายของแร่ธาตุฟันเมื่ออยู่ในสภาวะกรด (Buzalaf, 2011) และส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุโดยการดึงดูดแคลเซียมและฟอสเฟตไอออน ส่งผลให้เกิดการสร้างฟลูโออะพาไทต์ ซึ่งมีความทนทานต่อกรดมากขึ้น (Buzalaf et al., 2011; Yeh et al., 2025) แต่ไม่ก่อให้เกิดการอุดช่องว่างขนาดเล็กโดยตรง อย่างไรก็ตาม แม้ทั้งไฮดรอกซีอะพาไทต์และฟลูออไรด์จะมีบทบาทในการป้องกันการสูญเสียและส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุ แต่กลไกเหล่านี้ยังไม่สามารถทดแทนการปิดช่องว่างที่เกิดจากแรงหดตัวของวัสดุคอมโพสิตเรซินได้ทั้งหมด จึงทำให้ค่าการรั่วซึมระดับจุลภาคของทั้งสองกลุ่มอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน

แม้จะมีการศึกษาที่พบว่าการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ลงในวัสดุบูรณะ เช่น กลาสไอโอโนเมอร์ สามารถช่วยลดการรั่วซึมระดับจุลภาคได้ (Sharafeddin & Feizi, 2017) แต่กลไกดังกล่าวนั้นมีความแตกต่างจากการใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ในรูปแบบยาสีฟัน เนื่องจากการเติมผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์เข้าไปในส่วนประกอบของวัสดุโดยตรงจะช่วยเสริมคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ และเพิ่มความสามารถในการยึดติดกับเนื้อฟัน (Moshaverinia et al., 2008) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดช่องว่างที่เกิดจากแรงหดตัวของวัสดุ ในขณะที่ไฮดรอกซีอะพาไทต์ในยาสีฟันนั้นเป็นการออกฤทธิ์ภายหลังการบูรณะ โดยมุ่งเน้นที่การตกตะกอนของแร่ธาตุบนผิวฟันและวัสดุบูรณะ ช่วยให้ผิวฟันมีความเรียบ และเป็นแหล่งของไอออนเพื่อส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุบริเวณรอยต่อเป็นหลัก ดังนั้น กลไกดังกล่าวจึงอาจไม่เพียงพอที่จะส่งผลให้ค่าการรั่วซึมระดับจุลภาคลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุดเด่นของการศึกษานี้คือ การมุ่งเน้นประเมินผลของการใช้ยาสีฟันต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินในโพรงฟันชนิดคลาสทูในฟันกรามน้ำนม ซึ่งเป็นประเด็นที่มีความสำคัญทางคลินิก เนื่องจากการบูรณะในโพรงฟันชนิดดังกล่าวมีอัตราการล้มเหลวค่อนข้างสูง โดยเฉพาะจากการรั่วซึมบริเวณขอบวัสดุบูรณะด้านเหงือกของโพรงฟันด้านประชิด ขณะที่รายงานการศึกษาในประเด็นนี้ยังมีอยู่อย่างจำกัด นอกจากนี้ การนำกระบวนการเทอร์โมไซคลิงมาใช้ร่วมกับการจำลองการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง ยังช่วยให้สามารถจำลองทั้งความเครียดจากอุณหภูมิและสภาวะในช่องปากของผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งไม่สามารถจำลองสภาวะที่ซับซ้อนในช่องปากได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะบทบาทของน้ำลายและไบโอฟิล์ม ซึ่งในสภาวะจริง เชื้อจุลชีพภายในไบโอฟิล์มจะมีการสร้าง

กรดและเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมอย่างต่อเนื่องบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟัน นอกจากนี้ ไบโอฟิล์มยังอาจทำหน้าที่เป็นตัวกั้น (Barrier) ต่อการซึมผ่านของฟลูออไรด์และผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์เข้าสู่ผิวฟัน อีกทั้งยังขาดการจำลองแรงบดเคี้ยวซ้ำๆ ซึ่งก่อให้เกิดความเครียดเชิงกลและความล้าของการยึดติดบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและฟัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาทางคลินิกต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ การใช้ฟันกรามน้ำนมที่ถูกถอนเป็นฟันตัวอย่าง ซึ่งมีลักษณะทางกายวิภาคและโครงสร้างของชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันที่แตกต่างจากฟันกรามแท้ จึงทำให้ผลการศึกษาไม่สามารถนำไปอ้างอิงหรือสรุปผลกับฟันแท้ได้โดยตรง

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่า ยาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์สามารถรักษาความสมบูรณ์ของขอบวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินได้ในระดับใกล้เคียงกับยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน โดยประเมินจากค่าการรั่วซึมระดับจุลภาคระหว่างวัสดุบูรณะและฟัน แม้ว่ายาสีฟันไฮดรอกซีอะพาไทต์จะไม่แสดงผลในการลดการรั่วซึมระดับจุลภาคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,500 ส่วนในล้านส่วน แต่จากคุณสมบัติของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เป็นแหล่งของแคลเซียมและฟอสเฟตไอออน อาจมีบทบาทในการส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุบริเวณผิวฟันและรอยต่อของวัสดุบูรณะ ซึ่งอาจช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุซ้ำบริเวณรอยต่อของวัสดุบูรณะและฟันได้

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากการศึกษาผลของยาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์ต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินชนิดคลาสทูในฟันกรามน้ำนม ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ คือ ยาสีฟันที่มีส่วนผสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์อาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการดูแลสุขภาพช่องปากสำหรับผู้ป่วยที่มีวัสดุบูรณะคอมโพสิตเรซินในฟันกรามน้ำนม โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยเด็กที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุสูง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

พิจารณาศึกษาเพิ่มเติมในสภาวะทางคลินิก ซึ่งมีปัจจัยร่วมที่ซับซ้อน เช่น การไหลเวียนของน้ำลายและการเปลี่ยนแปลงของจุลชีพในช่องปาก รวมถึงศึกษาผลของยาสีฟันที่มีไฮดรอกซีอะพาไทต์ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Agostini, F. G., Kaaden, C., & Powers, J. M. (2001). Bond strength of self-etching primers to enamel and dentin of primary teeth. *Pediatr Dent, 23*(6), 481-486.

Aljehani, W., Almakinah, A., Alshahri, A., Albluwy, O., Alamray, S., Alaiyed, A., Alqahtani, M., Faqiehi, S., Alasmari, N., Alkhaldi, A., & Alenazy, F. (2023). Microleakage Among Different Dental Restorative Materials: Causes, Detection, and Impact on Marginal Integrity. *Journal of Healthcare Sciences, 03*, 489-497.

Amaechi, B. T., AbdulAzees, P. A., Alshareif, D. O., Shehata, M. A., Lima, P., Abdollahi, A., Kalkhorani, P. S., & Evans, V. (2019). Comparative efficacy of a hydroxyapatite and a fluoride toothpaste for prevention and remineralization of dental caries in children. *BDJ Open, 5*, 18.

American Academy of Pediatric Dentistry. (2024). Pediatric restorative dentistry. *The Reference Manual of Pediatric Dentistry*, 452-465.

Bernardo, M., Luis, H., Martin, M. D., Leroux, B. G., Rue, T., Leitão, J., & DeRouen, T. A. (2007). Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. *The Journal of the American Dental Association, 138*(6), 775-783.

Bossù, M., Saccucci, M., Salucci, A., Di Giorgio, G., Bruni, E., Uccelletti, D., Sarto, M. S., Familiari, G., Relucenti, M., & Polimeni, A. (2019). Enamel remineralization and repair results of Biomimetic Hydroxyapatite toothpaste on deciduous teeth: an effective option to fluoride toothpaste. *Journal of Nanobiotechnology, 17*(1), 17.

Butera, A., Pascadopoli, M., Gallo, S., Lelli, M., Tarterini, F., Giglia, F., & Scribante, A. (2021). SEM/EDS Evaluation of the Mineral Deposition on a Polymeric Composite Resin of a Toothpaste Containing Biomimetic Zn-Carbonate Hydroxyapatite (microRepair(®)) in Oral Environment: A Randomized Clinical Trial. *Polymers (Basel), 13*(16).

Buzalaf, M. A., Hannas, A. R., Magalhães, A. C., Rios, D., Honório, H. M., & Delbem, A. C. (2010). pH-cycling models for in vitro evaluation of the efficacy of fluoridated dentifrices for caries control: strengths and limitations. *J Appl Oral Sci, 18*(4), 316-334.

Buzalaf, M. A. R., Pessan, J. P., Honório, H. M., & Ten Cate, J. M. (2011). Mechanisms of action of fluoride for caries control. *Monogr Oral Sci, 22*, 97-114.

Buzalaf, M. I. A. R. (2011). *Fluoride and the oral environment*. Karger.

Can-Karabulut, D. C., Oz, F. T., Karabulut, B., Batmaz, I., & Ilk, O. (2009). Adhesion to primary and permanent dentin and a simple model approach. *Eur J Dent, 3*(1), 32-41.

Cayo-Rojas, C. F., Hernández-Caba, K. K., Aliaga-Mariñas, A. S., Ladera-Castañeda, M. I., & Cervantes-Ganoza, L. A. (2021). Microleakage in class II restorations of two bulk fill resin composites and a conventional nanohybrid resin composite: an in vitro study at 10,000 thermocycles. *BMC Oral Health, 21*(1), 619.

Chen, L., Al-Bayatee, S., Khurshid, Z., Shavandi, A., Brunton, P., & Ratnayake, J. (2021). Hydroxyapatite in Oral Care Products-A Review. *Materials (Basel), 14*(17).

Chesterman, J., Jowett, A., Gallacher, A., & Nixon, P. (2017). Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. *British Dental Journal, 222*(5), 337-344.

Enax, J., Fabritius, H. O., Fabritius-Vilpoux, K., Amaechi, B. T., & Meyer, F. (2019). *Modes of Action and Clinical Efficacy of Particulate Hydroxyapatite in Preventive Oral Health Care – State of the Art*. The Open Dentistry Journal.

Güngör, H. C., Canoğlu, E., & Cehreli, Z. C. (2014). The effects of dentin adhesives and liner materials on the microleakage of class II resin composite restorations in primary and permanent teeth. *J Clin Pediatr Dent, 38*(3), 223-228.

Ibrahim, M., AlKhalefah, A., Alsaghirat, A., Alburayh, R., & Alabdullah, N. (2023). Comparison between Different Bulk-Fill and Incremental Composite Materials Used for Class II Restorations in Primary and Permanent Teeth: In Vitro Assessments. *Materials, 16*, 6674.

Itthagarun, A., King, N. M., & Rana, R. (2007). Effects of child formula dentifrices on artificial caries like lesions using in vitro pH-cycling: preliminary results. *Int Dent J, 57*(5), 307-313.

Juntavee A. (2017). Alternative Approaches in Pediatric Dental Caries Management. *The Journal of the Dental Association of Thailand, 67*(3), 179-188.

Kleverlaan, C. J., & Feilzer, A. J. (2005). Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater, 21*(12), 1150-1157.

Legeros, R. Z., & Legeros, J. P. (2008). 16-Hydroxyapatite. In T. Kokubo (Ed.), *Bioceramics and their Clinical Applications* (pp. 367-394). Woodhead Publishing.

Memarpour, M., Shafiei, F., Rafiee, A., Soltani, M., & Dashti, M. H. (2019). Effect of hydroxyapatite nanoparticles on enamel remineralization and estimation of fissure sealant bond strength to remineralized tooth surfaces: an in vitro study. *BMC Oral Health, 19*(1), 92.

Miletić, V. (2018). *Dental composite materials for direct restorations*. Springer.

Mohd Pu'ad, N. A. S., Abdul Haq, R. H., Mohd Noh, H., Abdullah, H. Z., Idris, M. I., & Lee, T. C. (2020). Synthesis method of hydroxyapatite: A review. *Materials Today: Proceedings, 29*, 233-239.

Mosharrafian, S., Farahmand, N., Poorzandpoush, K., Hosseinipour, Z. S., & Kahforushan, M. (2023). In vitro microleakage at the enamel and dentin margins of class II cavities of primary molars restored with a bulk-fill and a conventional composite. *Clin Exp Dent Res, 9*(3), 512-517.

Moshaverinia, A., Ansari, S., Moshaverinia, M., Roohpour, N., Darr, J. A., & Rehman, I. (2008). Effects of incorporation of hydroxyapatite and fluoroapatite nanobioceramics into conventional glass ionomer cements (GIC). *Acta Biomater, 4*(2), 432-440.

Nör, J. E., Feigal, R. J., Dennison, J. B., & Edwards, C. A. (1996). Dentin bonding: SEM comparison of the resin-dentin interface in primary and permanent teeth. *J Dent Res, 75*(6), 1396-1403.

O'Hagan-Wong, K., Enax, J., Meyer, F., & Ganss, B. (2022). The use of hydroxyapatite toothpaste to prevent dental caries. *Odontology, 110*(2), 223-230.

Ortiz-Ruiz, A. J., Pérez-Guzmán, N., Rubio-Aparicio, M., & Sánchez-Meca, J. (2020). Success rate of proximal tooth-coloured direct restorations in primary teeth at 24 months: a meta-analysis. *Scientific Reports, 10*(1), 6409.

Phyo, W. M., Saket, D., da Fonseca, M. A., Auychai, P., & Sriarj, W. (2024). In vitro remineralization of adjacent interproximal enamel carious lesions in primary molars using a bioactive bulk-fill composite. *BMC Oral Health, 24*(1), 37.

Pushpalatha, C., Gayathri, V. S., Sowmya, S. V., Augustine, D., Alamoudi, A., Zidane, B., Hassan Mohammad Albar, N., & Bhandi, S. (2023). Nanohydroxyapatite in dentistry: A comprehensive review. *The Saudi Dental Journal, 35*(6), 741-752.

Rathi, S., Nikhade, P., Chandak, M., Motwani, N., Rathi, C., & Chandak, M. (2020). Microleakage in Composite Resin Restoration- A Review Article. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences, 9*, 1006-1011.

Sharafeddin, F., & Feizi, N. (2017). Evaluation of the effect of adding micro-hydroxyapatite and nano-hydroxyapatite on the microleakage of conventional and resin-modified Glass-ionomer Cl V restorations. *J Clin Exp Dent, 9*(2), e242-e248.

Siokis, V., Michailidis, T., & Kotsanos, N. (2021). Tooth-coloured materials for class II restorations in primary molars: systematic review and meta-analysis. *Eur Arch Paediatr Dent, 22*(6), 1003-1013.

Taylor, M. J., & Lynch, E. (1992). Microleakage. *J Dent, 20*(1), 3-10.

Thaveesangpanich, P., Itthagarun, A., King, N. M., & Wefel, J. S. (2005). The effects of child formula toothpastes on enamel caries using two in vitro pH-cycling models. *International Dental Journal, 55*(4), 217-223.

Wright, J. T., Hanson, N., Ristic, H., Whall, C. W., Estrich, C. G., & Zentz, R. R. (2014). Fluoride toothpaste efficacy and safety in children younger than 6 years: A systematic review. *The Journal of the American Dental Association, 145*(2), 182-189.

Yeh, C.-H., Wang, Y.-L., Vo, T. T., Lee, Y.-C., & Lee, I. T. (2025). Fluoride in Dental Caries Prevention and Treatment: Mechanisms, Clinical Evidence, and Public Health Perspectives. *Healthcare, 13*(17), 2246.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).