

COMPARISON OF MICROLEAKAGE BETWEEN NANOHYDROXYAPATITE INCORPORATION INTO RESIN-BASED SEALANT AND CONVENTIONAL RESIN-BASED SEALANTS: A PILOT STUDY

Pornpimon KITTIPONPUWARAK¹, Kemporn KITSAHAWONG¹, Apa JUNTAVEE¹ and Anoma RATTANACHAROENTHUM¹

1 Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Thailand; pornpimon.k@kkumail.com (P. K.);
kkempo@kku.ac.th (K. K.); apajun@kku.ac.th (A. J.); ranoma@kku.ac.th (A. R.)

ARTICLE HISTORY

Received: 6 February 2026

Revised: 27 February 2026

Published: 13 March 2026

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the microleakage of a nanohydroxyapatite-containing resin-based sealant compared with two conventional resin-based sealants. Fifteen extracted maxillary premolars were randomly assigned to three groups (n = 5 each): Group 1, resin-based sealant containing nanohydroxyapatite (nHA); Group 2, resin-based sealant containing fluoride (CP); and Group 3, resin-based sealant without remineralizing agent (EC). After sealant on occlusal surface, all specimens underwent thermocycling between 5 °C and 55 °C for 5,000 cycles, then were immersed in 5% methylene blue solution at 37 °C for 24 hours. Each tooth was sectioned buccolingually into two 1 mm-thick slices, and microleakage was assessed under a stereomicroscope. The result showed that Group 3 (EC) exhibited the greatest microleakage, followed by Group 1 (nHA), whereas Group 2 (CP) showed the least. These differences were not statistically significant (p = 0.823).

Keywords: Microleakage, Resin-Based Sealant, Nanohydroxyapatite, Fluoride, Remineralizing Agent

CITATION INFORMATION: Kittiponpuwarak, P., Kitsahawong, K., Juntavee, A., & Rattanacharonthum, A. (2026). Comparison of Microleakage between Nanohydroxyapatite Incorporation into Resin-Based Sealant and Conventional Resin-Based Sealants: A Pilot Study. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 31

การเปรียบเทียบรอยซึมเล็กระหว่างสารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินที่มีองค์ประกอบของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์และสารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินแบบดั้งเดิม: การศึกษานำร่อง

พรพิมล กิตติพลภูวรักษ์¹, เข้มพร กิจสหวงศ์¹, อาภา จันท์เทวี¹ และ โอนมา รัตนะเจริญธรรม¹

1 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; pornpimon.k@kkumail.com (พรพิมล);

kkempo@kku.ac.th (เข้มพร); apajun@kku.ac.th (อาภา); ranoma@kku.ac.th (โอนมา)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อประเมินการเกิดรอยซึมเล็กของสารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์เปรียบเทียบกับสารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินแบบดั้งเดิม โดยทำการศึกษาในฟันกรามน้อยบนจำนวน 15 ซี่ โดยสุ่มแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 สารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (nHA) กลุ่มที่ 2 สารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์ (CP) และกลุ่มที่ 3 สารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ (EC) หลังจากเคลือบหลุมร่องฟันกลุ่มตัวอย่างจำลองการใช้งานด้วยเครื่องเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิชนิดเป็นจังหวะ ที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 5,000 รอบ จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายเมทีลีน บลู ความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปตัดในแนวด้านแก้มและด้านเพดานเพื่อให้ได้ชิ้นงานตัวอย่าง จำนวน 2 ชิ้น ความหนา 1 มิลลิเมตร และนำชิ้นงานไปศึกษาการเกิดรอยซึมเล็กภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่ 3 (EC) มีการเกิดรอยซึมเล็กมากที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มที่ 1 (nHA) และกลุ่มที่ 2 (CP) มีการเกิดรอยซึมเล็กน้อยที่สุด ซึ่งทั้งสามกลุ่มแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.823$)

คำสำคัญ: รอยซึมเล็ก, สารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซิน, นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์, ฟลูออไรด์, สารคืนกลับแร่ธาตุ

ข้อมูลการอ้างอิง: พันธุ์. (2569). การเปรียบเทียบรอยซึมเล็กระหว่างสารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินที่มีองค์ประกอบของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์และสารผึ่งกลุ่มและร่องฟันชนิดเรซินแบบดั้งเดิม: การศึกษานำร่อง.

Procedia of Multidisciplinary Research, 4(3), 31

บทนำ

ฟันผุเป็นปัญหาทางทันตสุขภาพที่พบได้บ่อยและจัดเป็นโรคที่มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยร่วมกัน ได้แก่ พันธุกรรม เชื้อจุลินทรีย์ อาหาร เวลา และปัจจัยป้องกันต่างๆ (Pitts et al., 2017) โดยเฉพาะในฟันกรามแท้ที่เพิ่งขึ้น พบว่า มีการเกิดฟันผุบริเวณด้านบดเคี้ยวสูง เนื่องจากมีหลุมและร่องฟันที่ลึก ชั้นเคลือบฟันยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ รูปร่างซับซ้อน และทำความสะอาดได้ไม่ทั่วถึง จึงเป็นแหล่งสะสมของเศษอาหารและแบคทีเรียจนเกิดฟันผุได้ง่าย (Hannigan et al., 2000) จึงได้มีการนำสารผนึกหลุมและร่องฟันมาใช้ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เศษอาหารติดและลดการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย จึงสามารถป้องกันการเกิดฟันผุได้ (Tinanoff, 2019) ซึ่งสารผนึกหลุมและร่องฟันผลิตมาจากวัสดุที่หลากหลาย โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ สารผนึกหลุมและร่องฟันกลาสไอโอโนเมอร์ (Glass ionomer sealants) และ สารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซิน (Resin-based sealants) ในปัจจุบันสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินมีอายุการใช้งานยาวนาน และคงทน แต่ยังคงมีความกังวลในเรื่องของการเกิดการหดตัวของวัสดุเรซินอาจทำให้เกิดรอยร้าวซึมได้เร็ววัสดุได้ ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสี่ยงในการเกิดฟันผุ จึงได้มีการพัฒนาสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินให้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้นควบคู่กับการพัฒนาวัสดุให้สามารถเกิดการคืนกลับของแร่ธาตุได้ ในช่วงเวลาที่ผ่านมานักวิจัยได้สนใจใช้ออนุภาคขนาดนาโนในวัสดุทันตกรรม เนื่องจากมีอัตราส่วนผิวต่อปริมาตรสูง สามารถปรับขนาด รูปร่าง การกระจายตัว และการเกาะกลุ่มของอนุภาคได้ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลและชีวภาพ (Gregori et al., 2006) โดยสารคืนกลับแร่ธาตุที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite; HA) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเคลือบฟันและเนื้อฟัน มีคุณสมบัติชีวภาพที่ดี ปลอดภัย ไม่เป็นพิษ และส่งเสริมการยึดเกาะของกระดูก จึงได้มีการสังเคราะห์ให้มีขนาดระดับนาโนเพื่อให้มีขนาดใกล้เคียงกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ของฟัน ซึ่งคุณสมบัติของไฮดรอกซีอะพาไทต์จะช่วยให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุแคลเซียม-ฟอสเฟต ลดอาการเสียวฟัน และยับยั้งการเกาะติดของคราบแบคทีเรียได้ (Chen et al., 2021; Netalkar et al., 2022) ด้วยบทบาทเหล่านี้จึงถูกนำมาพัฒนาสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดใหม่ (สิทธิบัตรไทย หมายเลขยื่นคำขอ 2503003 เมื่อวันที่ 16/09/2025) โดยใช้นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (20-60 นาโนเมตร) และความสำเร็จของสารผนึกหลุมและร่องฟัน คือ ความสามารถในการป้องกันฟันผุ ซึ่งการเกิดรอยซึมเล็กที่บริเวณผิวรอยต่อของวัสดุและผิวเคลือบฟัน เป็นปัจจัยที่มีผลกับความสำเร็จดังกล่าว (Duangthip & Lussi, 2003) ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบการเกิดรอยร้าวซึมเล็กของสารผนึกหลุมและร่องฟันที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์กับสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินแบบดั้งเดิม เพื่อนำข้อมูลการเกิดรอยซึมเล็กที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุต่อไป

การทบทวนวรรณกรรม

ฟันผุมักพบบนด้านบดเคี้ยว โดยเฉพาะในบริเวณหลุมและร่องฟันของฟันกรามแท้ที่เพิ่งขึ้น (Salmerón-Valdés et al., 2016) เนื่องจากยังมีการพัฒนาของชั้นเคลือบฟันที่ยังไม่สมบูรณ์ ลักษณะกายวิภาคของด้านบดเคี้ยวที่ซับซ้อน และการแปรงฟันที่ไม่ทั่วถึงในบริเวณดังกล่าว (Canga et al., 2021) โดยมีรายงานว่า ลักษณะบริเวณร่องฟัน มักพบเป็นรูปตัววี (V) โดยแบ่งออกเป็นร่องฟันตื้นและร่องฟันลึก ซึ่งพบว่า ความชุกของการเกิดฟันผุในฟันกรามแท้พบในร่องฟันลึกมากกว่าร่องฟันตื้น (Sánchez-Pérez et al., 2019) จึงได้มีการนำสารผนึกหลุมและร่องฟันมาใช้ในงานป้องกันทางทันตกรรม โดยใช้ปิดผนึกหลุมร่องฟันช่วยให้หลุมและร่องฟันที่ลึกตื้นขึ้น ป้องกันการสะสมของเศษอาหาร ทำให้ไม่มีแหล่งอาหารของเชื้อ จึงสามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อได้ (Simonsen, 2002) ในปัจจุบันสารผนึกหลุมและร่องฟันถูกผลิตขึ้นมาจากวัสดุที่หลากหลาย และได้มีการพยายามพัฒนาวัสดุ ทั้งในแง่ของการใช้งานและคุณสมบัติในด้านต่างๆ ให้ดีขึ้น โดยสามารถแบ่งสารผนึกหลุมและร่องฟัน ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ สารผนึกหลุมและร่องฟันกลาสไอโอโนเมอร์ และสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซิน (Colombo & Beretta, 2018) ซึ่งในปัจจุบันกลุ่มของสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซิน ได้มีการพัฒนาทั้งคุณสมบัติทางกล การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และการคืนกลับของ

แร่ธาตุ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้ดีขึ้น (Cviki et al., 2018) สารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท แบ่งตามการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน แบ่งตามปริมาณของวัสดุอุดแทรก และแบ่งตามความโปร่งแสงของวัสดุ (Babu et al., 2014) โดย Clinpro® Sealant จัดอยู่ในกลุ่มที่ไม่มีวัสดุอุดแทรก มีความทึบแสง และสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ในส่วนของ Eco-S™ Sealant จัดอยู่ในกลุ่มที่มีวัสดุอุดแทรก และมีความทึบแสง และ Sealant incorporating Nanohydroxyapatite จัดอยู่ในกลุ่มที่มีวัสดุอุดแทรก มีความโปร่งแสง และมีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นส่วนประกอบ การคืนกลับแร่ธาตุ เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาสารฉนวนและร่องฟัน โดยกระบวนการคืนกลับของแร่ธาตุ เป็นกลไกการซ่อมแซมโครงสร้างของฟันตามธรรมชาติที่เกิดจากการคืนกลับของแร่ธาตุในรูปของไอออนเข้าสู่โครงสร้างของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ภายใต้สภาวะที่มีความใกล้เคียงความเป็นกลาง ทำให้เกิดผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ชั้นใหม่ โดยผลึกจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความสามารถในการละลายที่ทนต่อความเป็นกรดมากขึ้น (Batra & Shetty, 2021; Hemagaran & Neelakantan, 2014) โดยการคืนกลับของแร่ธาตุเกิดจากการพัฒนาวัสดุด้วยการผสมสารคืนกลับของแร่ธาตุเข้าไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติดังกล่าว จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเติมสารคืนกลับของแร่ธาตุหลากหลายชนิด เข้าไปในสารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซิน เช่น ฟลูออไรด์ อะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต และนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งในการศึกษานี้ได้สนใจนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ เนื่องจากเป็นหนึ่งในสารที่มีการเข้ากันได้ทางชีวภาพ และเป็นส่วนประกอบหลักทั้งเคลือบฟันและเนื้อฟัน โดยสูตรทางเคมีคือ $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ มีขนาดประมาณ 20-100 นาโนเมตร (Chen et al., 2021) และกลไกการทำงานของนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ คือ จะช่วยให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุแคลเซียม-ฟอสเฟต ลดอาการเสียวฟัน และยับยั้งการเกาะติดของคราบแบคทีเรียได้ (Chen et al., 2021; Netalkar et al., 2022) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์มาใช้ในทางทันตกรรม เช่น เคลือบรากฟันเทียม เป็นส่วนผสมในสารที่ใช้ในการปลูกกระดูก วัสดุทางทันตกรรม เช่น เรซินคอมโพสิต เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ สารฉนวนและร่องฟัน รวมถึงยาสีฟัน และน้ำยาบ้วนปาก แต่ในปัจจุบันสารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นส่วนประกอบยังไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด มีเพียงการศึกษาที่นำนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ในส่วนต่างๆ เข้าไปผสมในสารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเท่านั้น จึงได้เกิดการพัฒนาศาสน์ฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นส่วนประกอบขึ้น โดยลักษณะสารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินในอุดมคติได้แก่ การมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย และสามารถเกิดการคืนกลับของแร่ธาตุได้ (AIGhannam et al., 2022) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของสารฉนวนและร่องฟันจะขึ้นอยู่กับการเกิดรอยซึมเล็ก และการยึดอยู่ (Koruyucu et al., 2020; Netalkar et al., 2022) และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การศึกษาของสารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ในทางห้องปฏิบัติการ มีการศึกษาค่อนข้างน้อย โดยพบว่ามีเพียงการศึกษาการยึดอยู่ของวัสดุ โดยศึกษาเกี่ยวกับกำลังแรงเฉือน แต่ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดรอยซึมเล็กของวัสดุ จึงทำให้เกิดการศึกษาในครั้งนี้

สมมติฐานการวิจัย

การเกิดรอยซึมเล็กของสารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์เปรียบเทียบกับสารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์และสารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ เมื่อศึกษาด้วยวิธีการใช้สีย้อม มีความแตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยทางห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental study) โดยใช้ฟันกรามน้อยบนที่ไม่มีรอยผุไม่พบรอยแตก ร้าว ไม่มีประวัติได้รับการบูรณะ และไม่มีคามผิดปกติบนผิวเคลือบฟัน นำมาเก็บในสารละลายไทมอล ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 หลังจากถอนไม่เกิน 6 เดือน จำนวน 15 ซี่ ทำการสุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่ายแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 สารฉนวนและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (nHA) กลุ่มที่ 2 สารฉนวน

และร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์ (CP) และกลุ่มที่ 3 สารผนึกหลุมและร่องฟันเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ (EC) กลุ่มละ 5 ซี่

การเตรียมกลุ่มตัวอย่าง

นำฟันมาทำความสะอาด โดยการขัดด้านบดเคี้ยวด้วยผงฟัมมิส และทำการผนึกหลุมและร่องฟันกลุ่มตัวอย่าง ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงขั้นตอนการผนึกหลุมและร่องฟัน

วัสดุ	ขั้นตอนการใช้
สารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Sealant incorporating Nanohydroxyapatite) กรตฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 (Scotchbond™ Etchant; 3M ESPE, USA)	1) ทากรดฟอสฟอริกบนผิวฟันทิ้งไว้ 20 วินาที 2) ล้างน้ำและเป่าลมจนกว่าผิวฟันเป็นสีขาวขุ่น 3) ผนึกสารผนึกหลุมและร่องฟันบนผิวฟันด้านบดเคี้ยว 4) ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี 40 วินาที
สารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์ (Clinpro® Sealant; 3M ESPE, USA) กรตฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 (Scotchbond™ Etchant; 3M ESPE, USA)	1) ทากรดฟอสฟอริกบนผิวฟันทิ้งไว้ 20 วินาที 2) ล้างน้ำและเป่าลมจนกว่าผิวฟันเป็นสีขาวขุ่น 3) ผนึกสารผนึกหลุมและร่องฟันบนผิวฟันด้านบดเคี้ยว 4) ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี 20 วินาที
สารผนึกหลุมและร่องฟันเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ (Eco-S™ Sealant; Vericom, South Korea) กรตฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 (DenFil™ Etchant; Vericom, South Korea)	1) ทากรดฟอสฟอริกบนผิวฟันทิ้งไว้ 20 วินาที 2) ล้างน้ำและเป่าลมจนกว่าผิวฟันเป็นสีขาวขุ่น 3) ผนึกสารผนึกหลุมและร่องฟันบนผิวฟันด้านบดเคี้ยว 4) ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี 20 วินาที

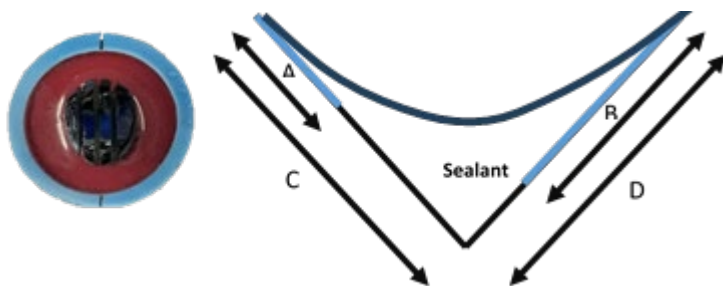
จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม มาแช่ในน้ำลายเทียมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นเสร็จแล้วนำชิ้นตัวอย่างเข้าเครื่องควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิชนิดเป็นจังหวะ ที่อุณหภูมิ 5 องศา เป็นเวลา 30 วินาที สลับกับอุณหภูมิ 55 องศา เป็นเวลา 30 วินาที มีช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 10 วินาที เป็นจำนวน 5,000 รอบ หลังจากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างมาปิดรากฟันด้วยซีเมนต์และทาด้วยน้ำยาทาเล็บ 2 ชั้น ที่บริเวณผิวฟันทั้งหมด โดยเว้นบริเวณด้านบดเคี้ยวให้ห่างจากสารผนึกหลุมและร่องฟันเป็นระยะ 1 มิลลิเมตรโดยรอบ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปแช่ในสีย้อมเมทิลีน บลู ความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการล้างกลุ่มตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น และนำมายึดด้วยอีพ็อกซีในท่อพีวีซี โดยให้คอปฟันอยู่เหนือระดับอีพ็อกซี 2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการตัดแบ่งตัวฟันในแนวด้านแกม-ด้านเพดาน จะได้ชิ้นงานทั้งหมด 2 ชั้น แต่ละชั้นจะมีความหนา 1 มิลลิเมตร โดยแต่ละชิ้นงานจะนำไปวัดระยะทั้ง 2 ด้าน (ภาพที่ 1) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาระยะรอยซึมเล็กภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Olympus DSX100, Japan) ที่กำลังขยาย 74 เท่า แต่ละชั้นจะถูกวิเคราะห์พื้นผิวทั้ง 2 ด้านด้วยโปรแกรมตีเอสเอ็กซ์ ซอฟแวร์

การวิเคราะห์รอยซึมเล็ก

วัดระยะการแทรกซึมของสีย้อมเมทิลีน บลู (A, B) และระยะพื้นผิวหน้าตัดสารผนึกหลุมและร่องฟัน (C, D) (หน่วยไมโครเมตร) (ภาพที่1) จากนั้นนำมาคำนวณเพื่อหาร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กของแต่ละพื้นผิว เมื่อได้ค่าร้อยละครบทั้ง 4 พื้นผิวแล้ว นำไปหาค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กของฟัน 1 ซี่ ดังสูตร

$$\text{ร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กของชิ้นงานตัวอย่าง 1 พื้นผิว} = \left[\frac{A + B}{C + D} \times 100 \right] \div 2$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กของฟันตัวอย่าง 1 ซี่} = \frac{(\text{ผลรวมของร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กทั้ง 2 พื้นผิว})}{2}$$



ภาพที่ 1 แสดงการตัดฟัน และวิธีการวัดระยะเพื่อนำไปคำนวณร้อยละการเกิดรอยซึมเล็ก

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 28.0 (SPSS Inc., USA) เนื่องจากการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติชาร์ปีโร วิลค์ (Shapiro wilk) แล้วพบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และมีความแปรปรวนของข้อมูลแบบปกติ จึงเลือกใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ในการตรวจสอบความแตกต่างของข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า สารฟันสีหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (nHA) มีค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็ก เท่ากับ 66.61 ± 39.92 โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 94.36% และ 0.00% (ไม่มีการรั่วซึม) ตามลำดับ สารฟันสีหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์ (CP) มีค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็ก เท่ากับ 64.84 ± 25.61 โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 100.00% และ 33.68% ตามลำดับ และสารฟันสีหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ (EC) มีค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กเท่ากับ 76.11 ± 23.27 โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 100.00% และ 49.25% ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กของวัสดุทั้งสามชนิด พบว่าสารฟันสีหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ (EC) มีการเกิดรอยซึมเล็กมากที่สุด รองลงมาเป็นสารฟันสีหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (nHA) และสารฟันสีหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์ (CP) มีการเกิดรอยซึมเล็กน้อยที่สุด แต่ทั้งสามกลุ่มแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.823$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรอยซึมเล็กของสารฟันสีหลุมและร่องฟันทั้งสามชนิด

วัสดุ	Mean \pm SD	Maximum	Minimum	P-value
Resin-based pit and fissure sealants with nanohydroxyapatite (nHA)	$66.61 \pm 39.92\%$	94.36%	0.00%	0.823
Resin-based pit and fissure sealants with fluoride (CP)	$64.84 \pm 25.61\%$	100.00%	33.68%	
Resin-based pit and fissure sealants without remineralizing agent (EC)	$76.11 \pm 23.27\%$	100.00%	49.25%	

*แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานำร่องนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการเกิดรอยซึมเล็กระหว่างสารฟันสีหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (nHA) และสารฟันสีหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ สารฟันสีหลุม

และร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์ (CP) และสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ (EC) โดยเลือกใช้ฟันกรามน้อยบน เนื่องจากมีลักษณะของหลุมและร่องฟันที่ลึกและแคบ (Nelson SJ, 2015) ซึ่งเป็นความท้าทายทางกายวิภาคที่สำคัญในการทดสอบความสามารถในการไหลตัวและการแทรกซึมของสารผนึกหลุมและร่องฟัน (Donly & Segura, 1998) และลักษณะทางกายวิภาคของฟันกรามน้อยบน เช่น ปุ่มฟัน (Cusp) และร่องฟัน (Groove) มีความสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเทียบกับฟันกรามจึงทำให้เกิดความแม่นยำในการวัด (Nelson, 2015) โดยตัวอย่างฟันถูกเก็บในสารละลายไทโมลร้อยละ 0.1 ทันทีหลังการถอน เพื่อป้องกันการแห้งและลดการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ เพราะสารละลายไทโมลมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย (Boruziniat et al., 2017) และระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บฟันต้องไม่เกิน 6 เดือน เนื่องจากมีรายงานว่า การเก็บฟันเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน (Naseem & Paul, 2022) ในส่วนวิธีที่ใช้ในการประเมินการเกิดรอยซึมเล็กได้เลือกใช้สีย้อมเมทิลีน บลู เนื่องจากเป็นสีย้อมที่ละลายน้ำได้ดี มีอนุภาคขนาดเล็ก ประมาณ 0.52 นาโนเมตร และสามารถซึมผ่านเนื้อฟันได้ ซึ่งอนุภาคของสีย้อมมีขนาดเล็กกว่าค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3-1.5 ไมโครเมตร (Fabianelli et al., 2007) ดังนั้น สีย้อมเมทิลีน บลู จึงเหมาะสมในการนำมาใช้จำลองการแทรกซึมของช่องเหงือกในช่องปากและการเคลื่อนที่ของแบคทีเรีย รวมถึงเอนไซม์และสารพิษของแบคทีเรีย (Kidd, 1976) จากการศึกษาที่ผ่านมาการวิเคราะห์ผลการเกิดรอยซึมเล็ก สามารถทำได้หลายวิธี เช่น โดยการแบ่งระดับคะแนนการแทรกซึมของสีย้อม หรือการวัดระยะการแทรกซึมของสีย้อมโดยตรง ซึ่งการวิเคราะห์ผลการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีการวัดระยะทางการแทรกซึมของสีย้อมเพื่อนำมาคำนวณร้อยละการเกิดรอยซึมเล็ก เนื่องจากสามารถแสดงค่าการแทรกซึมได้ละเอียดกว่า (Angwarawong et al., 2013; Namchaitaharn et al., 2023) และในการศึกษาการเกิดรอยซึมเล็กของการศึกษานี้ ได้เลือกใช้เครื่องควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิชนิดเป็นจังหวะ เพื่อจำลองลักษณะของช่องปากที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็น โดยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลทำให้เกิดการหดตัวและการขยายตัวของวัสดุ จึงทำให้รูปร่างของวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจก่อให้เกิดรอยซึมเล็กที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุและผิวฟัน (Morresi et al., 2014) และการศึกษาได้ใช้เครื่องควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิชนิดเป็นจังหวะ 5,000 รอบ เนื่องจากเทียบเท่ากับการใช้งานทางคลินิกประมาณ 6 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับระยะเวลาที่ทันตแพทย์นัดผู้ป่วยกลับมาตรวจซ้ำ (Gale & Darvell, 1999) โดยผลการศึกษการเกิดรอยซึมเล็ก พบว่าสารผนึกหลุมและร่องฟันเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ (EC) มีค่าเฉลี่ยการเกิดรอยซึมเล็กมากที่สุด รองลงมาเป็นสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ (nHA) และสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์ (CP) มีค่าเฉลี่ยการเกิดรอยซึมเล็กน้อยที่สุด แต่ทั้งสามกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.823$) ซึ่งในการศึกษานี้พบว่า CP หรือ Clinpro® Sealant เป็นสารผนึกหลุมและร่องฟันที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก มีค่าเฉลี่ยการเกิดรอยซึมเล็กน้อยกว่าสารผนึกหลุมและร่องฟันในกลุ่มที่มีวัสดุอัดแทรก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Juntavee และคณะ และ Namchaitaharn และคณะ ปี ค.ศ.2023 ที่พบว่า Clinpro® Sealant มีค่าเฉลี่ยการเกิดรอยซึมเล็กน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสารผนึกหลุมและร่องฟันในกลุ่มที่มีวัสดุอัดแทรก (Juntavee et al., 2023; Namchaitaharn et al., 2023) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีรายงานว่า การที่มีวัสดุอัดแทรกในสารผนึกหลุมและร่องฟัน จะมีผลช่วยเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ ลดการหดตัว และลดการดูดซึมน้ำ แต่ในทางตรงข้ามก็มีผลทำให้วัสดุมีความหนืดสูงขึ้น จึงมีผลทำให้การแทรกซึมและการไหลของวัสดุน้อยลง (Hamirattisai, 2009) และอีกหนึ่งสาเหตุที่มีผลต่อการเกิดรอยซึมเล็กอาจมาจากในขั้นตอนการเตรียมผิวฟัน เมื่อใช้กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 ทาบริเวณชั้นเคลือบฟัน จะทำให้เกิดการละลายของแท่งเคลือบฟัน (Enamel rod) เกิดเป็นรูพรุน และทำให้เกิดเรซินแท็ก (Resin tag) เกิดการยึดอยู่ของวัสดุ และมีรายงานว่าในกรณีที่สารผนึกหลุมและร่องฟันมีส่วนประกอบของสารคืนกลับแร่ธาตุตัวสารคืนกลับแร่ธาตุอาจสามารถแทรกซึมเข้าไปในบริเวณรูพรุน ทำให้โครงสร้างของผิวเคลือบฟันเหมาะสมในการเกิดการยึดเกาะเชิงกลที่ดีขึ้น (Fabianelli et al., 2007) โดยสารคืนกลับแร่ธาตุทั้งฟลูออไรด์ และนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ จะเกิดการแลกเปลี่ยนของแร่ธาตุและตกตะกอนเป็นผลึกขึ้นมาใหม่ ได้แก่ ฟลูออโรอะพาไทต์ และไฮดรอกซีอะพาไทต์ตามลำดับ บนผิวเคลือบฟัน ทำให้เพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างรอยต่อกับวัสดุ (Sakkasteh et al., 2023)

จึงทำให้ลดโอกาสการเกิดการรั่วซึมได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ที่พบว่าสารผนึกหลุมและร่องฟันที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุ (EC) และมีเพียงวัสดุอุดแทรก อาจทำให้มีการแทรกซึมของเรซินแท็ก (Resin tag) เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีสารคืนกลับที่จะแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนจากการใช้กรดกัด จึงเป็นสาเหตุทำให้มีค่าเฉลี่ยการรั่วซึมเล็กมากกว่ากลุ่มอื่นได้ ถึงแม้ว่าการทดสอบการเกิดรอยซึมเล็กระหว่างสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินมีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ สารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์ และสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่ไม่มีสารคืนกลับแร่ธาตุในการศึกษานำร่องนี้ จะพบว่าค่าเฉลี่ยการเกิดรอยซึมเล็กของวัสดุทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินมีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่าเฉลี่ยการเกิดรอยซึมเล็กมากกว่ากลุ่มสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า กลุ่มสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินมีนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์บางซี่ไม่มีการเกิดรอยซึมเล็กเลย เมื่อเทียบกับกลุ่มสารผนึกหลุมและร่องฟันชนิดเรซินที่มีฟลูออไรด์มีการเกิดรอยซึมเล็กในทุกชั้นฟันตัวอย่าง แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษานำร่องที่กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างขึ้นมา ดังนั้น จึงควรมีการนำผลการศึกษาที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาขนาดประชากรที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาการเกิดรอยซึมเล็กต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารนำไปอ้างอิงเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- AlGhannam, M. I., AlAbbas, M. S., AlJishi, J. A., AlRuwaiti, M. A., AlHumaid, J., & Ibrahim, M. S. (2022). Remineralizing Effects of Resin-Based Dental Sealants: A Systematic Review of In Vitro Studies. *Polymers*, 14(4), 779.
- Angwarawong, T., Thangsiriamnuay, K., Badkeaw, C., Tadmala, T., Nirothorn, S., & Angwaravong, O. (2013). Comparison of Microleakage between Resin Sealant with Amorphous Calcium Phosphate Versus Sealants with and without Fluoride. *Journal of the Dental Association of Thailand*, 63(3), 120-128.
- Ash, M. M., & Nelson, S. J. (2003). *Wheeler's dental anatomy, physiology, and occlusion*. 8th ed. St. Louis: Saunders.
- Babu, G., Mallikarjun, S., Premkumar, C., & Wilson, B. (2014). Pit and fissure sealants in pediatric dentistry. *SRM Journal of Research in Dental Sciences*, 5(4), 253.
- Batra, A., & Shetty, V. (2021). Non-Fluoridated Remineralising Agents-A Review of Literature. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 10(9), 638-644.
- Boruziniat, A., Danaifard, N., Gifani, M., & Hakimi, N. (2017). Effect of Storage Media and Sterilization Method on Shear Bond Strength of Composite to Enamel of Extracted Teeth. *J Dent Mater Tech*, 6(3), 96-102.
- Canga, M., Malagnino, G., Malagnino, V. A., & Malagnino, I. (2021). Effectiveness of sealants treatment in permanent molars: A longitudinal study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 14(1), 41-45.
- Chen, L., Al-Bayatee, S., Khurshid, Z., Shavandi, A., Brunton, P., & Ratnayake, J. (2021). Hydroxyapatite in oral care products—a review. In *Materials* (Vol. 14, Number 17). MDPI AG.
- Colombo, S., & Beretta, M. (2018). Dental Sealants Part 3: Which material? Efficiency and effectiveness. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 19(3), 247-249.
- Cvikl, B., Moritz, A., & Bekes, K. (2018). Pit and Fissure Sealants-A Comprehensive Review. *Dentistry Journal*, 6(2).
- Donly, K. J., & Segura, A. (1998). The effect of material composition on microleakage of pit-and-fissure sealants. *Quintessence Int*, 29(4), 208-212.

- Duangthip, D., & Lussi, A. (2003). Effects of fissure cleaning methods, drying agents, and fissure morphology on microleakage and penetration ability of sealants in vitro. *Pediatric Dentistry*, 25(6), 527-533.
- Fabianelli, A., Pollington, S., Davidson, C. L., Cagidiaco, M. C., & Goracci, C. (2007). The relevance of microleakage studies. *International Dentistry SA*, 9(3), 64-74.
- Gale, M. S., & Darvell, B. W. (1999). Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *Journal of Dentistry*, 27(2), 89-99.
- Gregori, G., Kleebe, H.-J., Mayr, H., & Ziegler, G. (2006). EELS characterisation of β -tricalcium phosphate and hydroxyapatite. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(8), 1473-1479.
- Hannigan, A., O'Mullane, D. M., Barry, D., Schäfer, F., & Roberts, A. J. (2000). A Caries Susceptibility Classification of Tooth Surfaces by Survival Time. *Caries Research*, 34(2), 103-108.
- Harnirattisai, C. (2009). Tooth coloured restorative materials; Resin composite, glass ionomer, polyacid modified resin composite, resin pit fissure sealants. In S. K. U. S. K. W. Suchatlam pong C (Ed.), *Fundamental of dental biomaterials 1* (pp. 141-157). Faculty of dentistry, Mahidol university.
- Hemagaran, G., & Neelakantan, P. (2014). Remineralization of the Tooth Structure-The Future of Dentistry. *International Journal of PharmTech Research CODEN*, 6(2), 487-493.
- Juntavee, A., Juntavee, N., Chaisuntitrakoon, A., Millstein, P. L., & Abedian, B. (2023). J Clin Exp Dent. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e810-e820.
- Kidd, E. A. (1976). Microleakage: a review. *J Dent*, 4(3), 131-137.
- Koruyucu, M., Bektaş, D., Aydınoglu, C., Barlak, P., & Seymen, F. (2020). Clinical success rate of fissure sealants: One-year follow-up. *European Oral Research*, 54(3), 109-113.
- Morresi, A. L., D'Amario, M., Capogreco, M., Gatto, R., Marzo, G., D'Arcangelo, C., & Monaco, A. (2014). Thermal cycling for restorative materials: Does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 29, 295-308.
- Namchaitaharn, S., Rattanacharonthum, A., & Kitsahawong, K. (2023). The Comparative Study of Microleakage between Resin-Based and Giomer Pit and Fissure Sealants: A Pilot Study. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 1(12).
- Naseem, M. H., & Paul, V. A. (2022). Effect of Disinfection and Storage Media on the Fracture Strength of Teeth. *Journal of Dental Materials and Techniques*, 11(4), 228-239.
- Nelson, S. J. (2015). Maxillary Premolars. In *Dental Anatomy, Physiology, and Occlusion* (10th ed., pp. 77-90). St. Louis: Saunders.
- Netalkar, P. P., Maithreye, S. R., Karuna, Y. M., Natarajan, S., Gadipelly, T., Bhat P, D., Dasgupta, A., & Lewis, A. (2022). Effect of nano-hydroxyapatite incorporation on fluoride-releasing ability, penetration, and adaptation of a pit and fissure sealant. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 32(3), 344-351.
- Pitts, N. B., Zero, D. T., Marsh, P. D., Ekstrand, K., Weintraub, J. A., Ramos-Gomez, F., Tagami, J., Twetman, S., Tsakos, G., & Ismail, A. (2017). Dental caries. *Nature Reviews Disease Primers*, 3(1), 17030.
- Sakkasteh, S. V., Ghasemi, M., Beigi, E., & Kianfar, A. (2023). Effect of nano-hydroxyapatite on the microleakage of pit and fissure sealants: A systematic review and meta-analysis. *J Dent (Shiraz)*, 24(1), 28-36.

- Salmerón-Valdés, E., Scougall-Vilchis, R., Alanis-Tavira, J., & Morales-Luckie, R. (2016). Comparative study of fluoride released and recharged from conventional pit and fissure sealants versus surface prereacted glass ionomer technology. *Journal of Conservative Dentistry*, 19(1), 41.
- Sánchez-Pérez, L., Irigoyen-Camacho, M. E., Molina-Frechero, N., & Zepeda-Zepeda, M. (2019). Fissure depth and caries incidence in first permanent molars: A five-year follow-up study in schoolchildren. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19).
- Simonsen, R. J. (2002). Pit and fissure sealant: review of the literature. *Pediatric Dentistry*, 24(5), 393-414.
- Tinanoff, N. (2019). Dental Caries. In *Pediatric Dentistry* (pp. 169-179). Elsevier.

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).