

REMINERALIZING EFFECTS OF FLUORIDE VARNISHES ON ARTIFICIAL ENAMEL CARIOUS LESIONS: A PILOT STUDY

Ratdanaya YODSUWAN¹, Penarsan SOONTHAROTOKE² and Kemporn KITSAHAWONG²

1 Master of Science in Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Thailand; ratdanayayodsuwan.y@kkumail.com (Corresponding Author)

2 Division of Pediatric Dentistry, Department of Preventive Dentistry, Khon Kaen University, Thailand; penaso@kku.ac.th (P. S.); kkempo@kku.ac.th (K. K.)

ARTICLE HISTORY

Received: 10 April 2026

Revised: 24 April 2026

Published: 16 May 2026

ABSTRACT

This study aimed to investigate the remineralization effect of rosin-based and water-base fluoride varnish on artificial enamel caries lesions. Artificial human enamel caries samples were randomly allocated into four groups: water-based fluoride varnish, fluoride varnish, fluoride varnish combined with tricalcium phosphate (TCP), and a control group (no treatment). The chemical composition of treated samples was analyzed using energy dispersive x-ray spectroscopy (EDX) after undergoing a pH-cycling (14 days). Result: At the lesion surface (0 μm), the fluoride varnish group showed the highest mean (SD) fluoride content (4.17 (3.67)), followed by the fluoride varnish combined with TCP group (3.66 (2.63)), the water-based fluoride varnish group (2.53 (1.45)), and the control group (1.54 (0.60)). Across all depths (0-200 μm), the fluoride varnish group consistently exhibited higher fluoride content than the other groups. Conclusion: Both rosin-based and water-base fluoride varnishes increased fluoride content on enamel surfaces and may enhance remineralization compared with the control group. However, rosin-based fluoride varnish tends to provide greater fluoride retention. It should be noted that EDX analysis evaluates elemental composition as weight percentage at the analyzed area and cannot directly confirm fluoride incorporated into the enamel crystal structure or true remineralization.

Keywords: Remineralization, Fluoride Varnish, Enamel, Artificial Enamel Caries, Fluoride

CITATION INFORMATION: Yodsuwan, R., Soontharotoke, P., & Kitsahawong, K. (2026). Remineralizing Effects of Fluoride Varnishes on Artificial Enamel Carious Lesions: A Pilot Study. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(5), 56

ผลการคืนกลับแร่ธาตุของฟลูออไรด์วาร์นิชต่อรอยผุเคลือบฟันจำลอง: การศึกษานำร่องในห้องปฏิบัติการ

รัตน์ดนยา ยอดสุวรรณ¹, เพ็ญอาสาพห์ สุนทรโรทก² และ เข้มพร กิจสหวงศ์²

1 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต วิชาเอกทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น;
ratdanayayodsuwan.y@kkumail.com (ผู้ประพันธ์บทความ)

2 แผนกวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก สาขาวิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น; ninkii.penarsan@gmail.com (เพ็ญอาสาพห์); kkempo@kku.ac.th (เข้มพร)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการคืนกลับแร่ธาตุในรอยผุเคลือบฟันจำลองหลังการใช้ฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินและชนิดน้ำ โดยสุ่มตัวอย่างรอยผุเคลือบฟันมนุษย์จำลองแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำ ฟลูออไรด์วาร์นิช ฟลูออไรด์วาร์นิชร่วมกับไตรแคลเซียมฟอสเฟต และกลุ่มควบคุม (ไม่ใช้สารทดลองใดๆ) หลังทาสารและผ่านกระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปาก (pH cycling) เป็นเวลา 14 วัน นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน ผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความลึก 0 ไมโครเมตร กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟลูออไรด์สูงสุดที่ 4.17 (3.67) รองลงมาคือ กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชร่วมกับไตรแคลเซียมฟอสเฟต 3.66 (2.63) กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำ 2.53 (1.45) และกลุ่มควบคุม 1.54 (0.60) และเมื่อพิจารณาทุกระดับความลึกตั้งแต่ 0 ถึง 200 ไมโครเมตร พบว่า กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชมีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างสม่ำเสมอ จึงสรุปได้ว่า การใช้ฟลูออไรด์วาร์นิชทั้งชนิดโรซินและชนิดน้ำสามารถเพิ่มปริมาณฟลูออไรด์บนผิวเคลือบฟันและอาจส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินมีแนวโน้มให้การคงอยู่ของฟลูออไรด์ได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานเป็นเพียงการประเมินองค์ประกอบธาตุในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักเท่านั้น ไม่สามารถยืนยันได้โดยตรงว่าฟลูออไรด์เข้าสู่โครงสร้างผลึกของเคลือบฟันและเกิดการคืนกลับแร่ธาตุอย่างแท้จริง

คำสำคัญ: การคืนกลับแร่ธาตุ, ฟลูออไรด์วาร์นิช, เคลือบฟัน, รอยผุเคลือบฟันจำลอง, ฟลูออไรด์

ข้อมูลการอ้างอิง: รัตน์ดนยา ยอดสุวรรณ, เพ็ญอาสาพห์ สุนทรโรทก และ เข้มพร กิจสหวงศ์. (2569). ผลการคืนกลับแร่ธาตุของฟลูออไรด์วาร์นิชต่อรอยผุเคลือบฟันจำลอง: การศึกษานำร่องในห้องปฏิบัติการ. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(5), 56

บทนำ

ฟันผุเป็นปัญหาทางทันตกรรมที่พบบ่อยในทุกช่วงวัย เกิดจากความไม่สมดุลระหว่างกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization) และการคืนกลับแร่ธาตุ (remineralization) ฟันผุส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย (Anil et al., 2022) แนวทางการป้องกันและส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุสามารถทำได้โดยใช้ฟลูออไรด์ ในปัจจุบันมีหลายการศึกษาที่สนับสนุนการใช้ฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซิน (rosin-base varnish) เนื่องจากมีคุณสมบัติยึดเกาะบนผิวฟันได้ดีและปลดปล่อยฟลูออไรด์อย่างต่อเนื่อง (Shen et al., 2016) อย่างไรก็ตาม วาร์นิชชนิดดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านองค์ประกอบและลักษณะทางกายภาพ เช่น การเกิดคราบบนผิวฟัน หรืออาจเกิดอาการแพ้จากยางสนหรือโรซินได้ จึงมีการพัฒนาฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำ (water-based varnish) เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว แต่ยังขาดข้อมูลเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการคืนกลับแร่ธาตุของรอยผุเคลือบฟันจำลองระหว่างฟลูออไรด์วาร์นิชทั้งสองชนิด จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษานำร่องการคืนกลับแร่ธาตุในรอยผุเคลือบฟันจำลองระหว่างฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินและชนิดน้ำในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและประกอบการเลือกใช้ฟลูออไรด์วาร์นิชที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันในอนาคต

การทบทวนวรรณกรรม

โดยทั่วไป ภายในช่องปากจะเกิดวัฏจักรการสูญเสียแร่ธาตุสลับกับการคืนกลับแร่ธาตุของผิวฟันอย่างต่อเนื่อง การสูญเสียแร่ธาตุเกิดจากการที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นจากการย่อยสลายน้ำตาล ส่งผลทำให้แร่ธาตุในโครงสร้างไฮดรอกซีอะพาไทต์เกิดการละลาย เมื่อค่าความเป็นกรดต่างในช่องปากลดลงต่ำกว่าระดับวิกฤต (critical pH) ในทางตรงกันข้าม การคืนกลับแร่ธาตุจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดต่างกลับคืนสู่สภาวะปกติ โดยมีการสะสมแคลเซียมและฟอสเฟตช่วยฟื้นฟูโครงสร้างฟันที่สูญเสียไป (Anil et al., 2022)

ฟลูออไรด์เป็นสารสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุ มีกลไกการออกฤทธิ์หลัก 3 ประการ ได้แก่ 1) ยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุ โดยแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ให้เป็นฟลูอออะพาไทต์ ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$) ซึ่งมีความทนทานต่อการละลายในสภาวะกรดได้ดีกว่าและช่วยลดค่าความเป็นกรดต่างที่ระดับวิกฤต 2) ส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุ โดยสะสมแคลเซียมและฟอสเฟต รวมถึงเกิดแคลเซียมฟลูออไรด์ซึ่งเป็นแหล่งสะสมฟลูออไรด์ 3) ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดฟันผุ (Buzalaf et al., 2011) ในทางคลินิก ฟลูออไรด์วาร์นิชเป็นรูปแบบฟลูออไรด์เฉพาะที่ที่นิยมใช้ในทันตกรรมสำหรับเด็ก (Virupaxi et al., 2016; Wierichs et al., 2018) เนื่องจากสามารถยึดเกาะบนผิวฟันเป็นชั้นฟิล์มติดแน่นและปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้อย่างต่อเนื่อง (Karlinsey et al., 2012) โดยมีการศึกษาพบว่า ฟลูออไรด์วาร์นิชสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงสุดในช่วง 3 สัปดาห์แรก และค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลา (Milgrom & Castillo, 2004) ฟลูออไรด์วาร์นิชสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินและฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำ ซึ่งมีองค์ประกอบ คุณสมบัติ และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน

ฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซิน ประกอบด้วย โรซิน น้ำมัน และฟลูออไรด์ มีลักษณะเป็นฟิล์มเหนียว อาจทิ้งคราบและทำให้รู้สึกไม่สบายในช่องปากช่วงแรก มีความเข้มข้นฟลูออไรด์อยู่ในระดับสูง ประมาณร้อยละ 5 หรือ 22,600 ส่วนในล้านส่วน (ppm) สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้อย่างต่อเนื่อง แต่จำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารและน้ำเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงหลังจากทา ซึ่งอาจรบกวนการประเมินผิวฟันทางคลินิก รวมถึงมีผลต่อความสวยงามชั่วคราว ในขณะที่ ฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำมีส่วนประกอบหลักเป็นน้ำและฟลูออไรด์ ไม่ทิ้งคราบสีบนผิวฟัน ทำให้รู้สึกสบายในช่องปากทั้งในด้านรสชาติ กลิ่น ใช้งานง่าย แม้ว่าจะมีความเข้มข้นฟลูออไรด์ต่ำกว่า คือ ประมาณร้อยละ 2.1 หรือ 9,500 ส่วนในล้านส่วน แต่ทางผู้ผลิตระบุว่าฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำสามารถให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซิน อีกทั้งยังใช้เวลาในการปลดปล่อยฟลูออไรด์เพียงประมาณ 15 นาที ช่วยให้ผู้สามารถรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำได้ทันทีและไม่ส่งผลกระทบต่อ การตรวจประเมินทางคลินิกหรือความสวยงามของผิวฟัน (3M ESPE Dental Products, 2023; Solventum Dental Solutions, 2024)

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการคืนกลับแร่ธาตุระหว่างฟลูออไรด์วาร์นิชทั้งสองชนิดยังมีน้อย ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาของผู้ผลิตโดยรายงานว่า การดูดซึมฟลูออไรด์เข้าสู่ผิวเคลือบฟัน (enamel fluoride uptake) แตกต่างอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวานิชชนิดโรซินที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 แบบดั้งเดิม แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงผลการคืนกลับแร่ธาตุ จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับอ้างอิงการศึกษาอื่นๆ และเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการเลือกผลิตภัณฑ์ฟลูออไรด์วาร์นิช

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลการคืนกลับแร่ธาตุในรอยผุเคลือบฟันจำลองหลังได้รับฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินและชนิดน้ำ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานในห้องปฏิบัติการ

สมมติฐานการวิจัย

การใช้ฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินและฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำ มีส่วนช่วยส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุในรอยผุเคลือบฟันจำลองและส่งผลการคืนกลับแร่ธาตุ แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

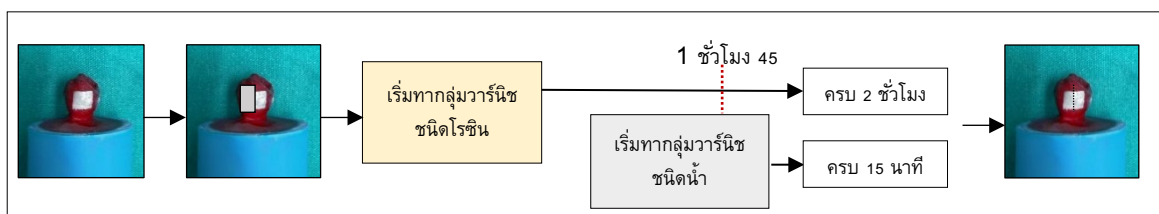
การศึกษานี้เป็นการวิจัยทางห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental study) ได้รับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์แบบยกเว้นจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ HE682228 ใช้ฟันกรามน้อยบนของมนุษย์ ซึ่งถูกถอนเพื่อการรักษาทันตกรรมจัดฟัน โดยมีเกณฑ์คัดเข้า คือมีเคลือบฟันปกติ เกณฑ์คัดออก คือ ฟันผุที่เป็นโพรงและไม่เป็นโพรง ฟันตกรกระ ฟันเปลี่ยนสี ฟันมีรอยแตกร้าว ฟันที่มีภาวะเคลือบฟันสะสมแร่ธาตุน้อยเกิน ฟันที่ได้รับการบูรณะ หรือรักษาดอลงรากฟัน กำหนดขนาดตัวอย่างทั้งหมด 20 ซี่ แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซี่ ฟันตัวอย่าง ด้วยวิธีสุ่มแบบง่าย (Simple Randomization) กลุ่มที่ 1 ฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำ (Clinpro™ Clear Fluoride Treatment) กลุ่มที่ 2 ฟลูออไรด์วาร์นิช (Duraphat® Varnish) กลุ่มที่ 3 ฟลูออไรด์วาร์นิชร่วมกับไตรแคลเซียมฟอสเฟต (V-varnish™ Premium) และกลุ่มที่ 4 กลุ่มควบคุม ไม่ใช้สารทดลองใดๆ แช่น้ำลายเทียม (กลุ่มควบคุมลบ)

การเตรียมชิ้นฟันตัวอย่าง ครั้งที่ 1

ทำความสะอาดฟันที่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้า กำจัดคราบเลือด น้ำลาย หินน้ำลาย และเนื้อเยื่ออ่อน จากนั้นยึดฟันในท่อพีวีซี โดยฝังส่วนรากฟันด้วยดินน้ำมันและปิดทับด้วยอะคริลิเกรซิน ให้รอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (cemento-enamel junction: CEJ อยู่สูงห่างจากขอบท่อพีวีซี) ประมาณ 2 มิลลิเมตร นำไปสร้างรอยผุเคลือบฟันจำลองโดยแซ่ขึ้นฟันในสารละลายที่ประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 2.2 มิลลิโมลต่อลิตร โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 2.2 มิลลิโมลต่อลิตร กรดอะซิติก 0.05 โมลต่อลิตร และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ ที่ปรับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.4 เป็นเวลา 96 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนสารละลายทุก 24 ชั่วโมง (Lo et al., 2010) หลังจากนั้นล้างฟันด้วยน้ำปราศจากไอออนและตรวจสอบลักษณะผิวฟัน ซึ่งจะพบลักษณะสีขาวขุ่นแสดงถึงรอยผุระยะเริ่มต้น

กำหนดพื้นที่ศึกษาและขั้นตอนการทดสอบทดลอง

สร้างหน้าต่างครั้งที่ 1 ขนาด 4 × 4 มิลลิเมตร ด้วยเทปกาวยึดบริเวณกึ่งกลางของฟันและทาน้ำยาทาเล็บที่มีคุณสมบัติทนกรดบริเวณผิวเคลือบฟันส่วนที่เหลือทั้งหมด ต่อมา สร้างหน้าต่างครั้งที่ 2 เพื่อเป็นพื้นที่ควบคุมโดยตัดเทปกาวยึดขนาด 2x4 มิลลิเมตร ติดบริเวณด้านซ้ายของหน้าต่างเดิม และเริ่มทาฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซิน ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง 45 นาที แล้วจึงเริ่มทาฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำ (ภาพที่ 1) ทั้งนี้ อ้างอิงข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตซึ่งระบุว่าฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำใช้ระยะเวลาในการดูดซึมฟลูออไรด์เพียง 15 นาที เมื่อกลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินครบ 2 ชั่วโมงและกลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำครบ 15 นาที นำชิ้นฟันของกลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินมาลอกแผ่นโรซินด้วยใบมีดอย่างระมัดระวังและล้างชิ้นฟันทุกกลุ่มด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 20 วินาที (Larrie Baghal et al., 2023) จากนั้นลอกเทปกาวยึดบริเวณพื้นที่ควบคุมออกและนำชิ้นฟันไปแช่น้ำลายเทียม 24 ชั่วโมง ก่อนเข้าสู่กระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปาก



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะพื้นที่ศึกษาและขั้นตอนการทาสารทดลอง

การเข้ากระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปาก

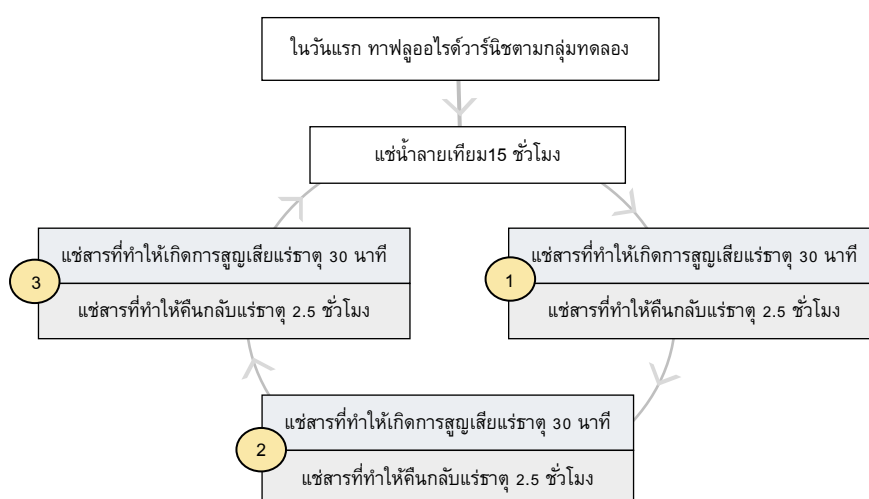
เตรียมสารละลายต่างๆ โดยมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1) สารสำหรับทำสารละลายเพื่อให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.5 มิลลิโมลาร์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.9 มิลลิโมลาร์ กรดอะซิติก ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปรับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5 (Oliveira et al., 2014)

2) สารสำหรับทำสารละลายเพื่อให้เกิดการคืนกลับแร่ธาตุ ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.5 มิลลิโมลาร์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.9 มิลลิโมลาร์ โพแทสเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 130 มิลลิโมลาร์ และกรดเฮฟเฟส ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปรับค่าความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 7 (Oliveira et al., 2014)

3) สารสำหรับทำน้ำลายเทียม ได้แก่ โพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.65 กรัมต่อลิตร แมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.058 กรัมต่อลิตร แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.165 กรัมต่อลิตร ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.804 กรัมต่อลิตร โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.365 กรัมต่อลิตร โซเดียมเบนโซเอต ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร โซเดียมคาร์บอเนตซีเมทิลเซลลูโลส ความเข้มข้น 7.8 กรัมต่อลิตร และน้ำปราศจากไอออน 1 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.73 (Panich & Poolthong, 2009)

ขั้นตอนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปากใน 1 รอบ (24 ชั่วโมง) ทำทั้งหมด 14 รอบ เป็นเวลา 14 วันติดต่อกัน ซึ่งประกอบด้วยการสูญเสียแร่ธาตุ 30 นาทีสลับกับการคืนกลับแร่ธาตุ 2.5 ชั่วโมง วันละ 3 รอบย่อย (เลียนแบบการรับประทานอาหาร 3 มื้อต่อวัน) แล้วแช่น้ำลายเทียม 15 ชั่วโมง (ภาพที่ 2)



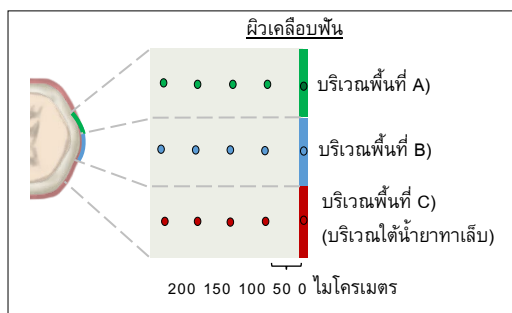
ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปาก 1 รอบ

การเตรียมชิ้นตัวอย่าง ครั้งที่ 2

เมื่อครบ 14 วัน ชิ้นฟันถูกนำมาตัดด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ (Mecatome T180, Brié-et-Angonnes, France) โดยตัดในแนวนานกับแกนฟัน 1 ครั้ง และตัดในแนวตั้งฉากกับแกนฟันจำนวน 2 ครั้ง กำหนดระยะห่างจากขอบหน้าต่าง ด้านบนและด้านล่างอย่างละ 1 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ชิ้นตัวอย่างความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชิ้น

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำชิ้นฟันที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำให้แห้งในตู้ควบคุมความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นยัดติดบนแผ่นคาร์บอน และเคลือบผิวด้วยโลหะผสมแพลทินัม-ทองคำด้วยเครื่องเคลือบผิวด้วยไอโลหะ (sputter coater) เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้น นำชิ้นฟันไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน กำหนดตำแหน่งการวัดทั้งหมด 15 สเปกตรัมต่อหนึ่งชิ้นฟัน แบ่งเป็น 3 บริเวณ บริเวณละ 5 สเปกตรัม ได้แก่ บริเวณพื้นที่ A) บริเวณรอยผุเคลือบฟันจำลองที่ทาสารทดลองและผ่านกระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปาก บริเวณพื้นที่ B) บริเวณรอยผุเคลือบฟันจำลองที่ไม่ทาสารทดลองแต่ผ่านกระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปาก และบริเวณพื้นที่ C) บริเวณรอยผุเคลือบฟันจำลองที่ไม่ทาสารทดลองและไม่ผ่านกระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปาก โดยทำการวัดที่ระยะ 0, 50, 100, 150 และ 200 ไมโครเมตรจากผิวเคลือบฟัน ตามลำดับ (ภาพที่ 3) ผลการวิเคราะห์รายงานเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของฟลูออไรด์ ฟอสฟอรัส และแคลเซียม

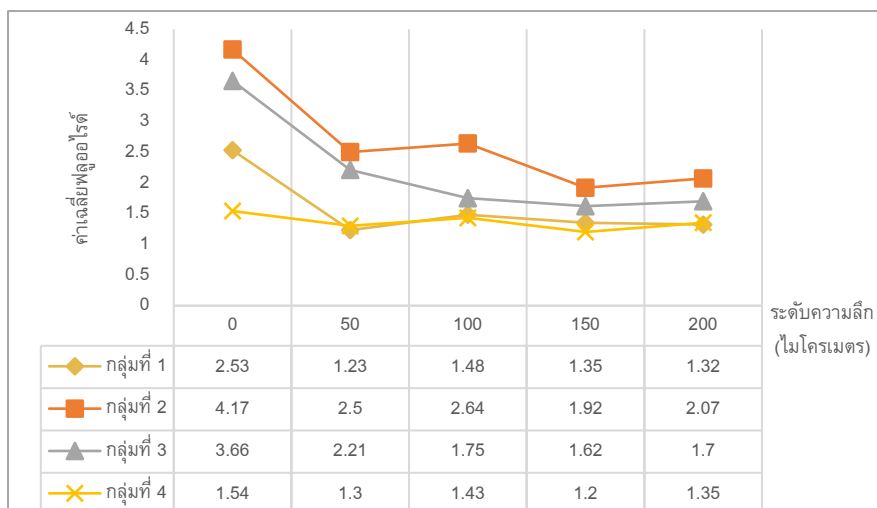


ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งการวัดองค์ประกอบทางเคมี ทั้ง 15 สเปกตรัม บนหน้าตัดของชิ้นเคลือบฟัน

ผลการวิจัย

1) ข้อมูลเชิงพรรณนาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแร่ธาตุ

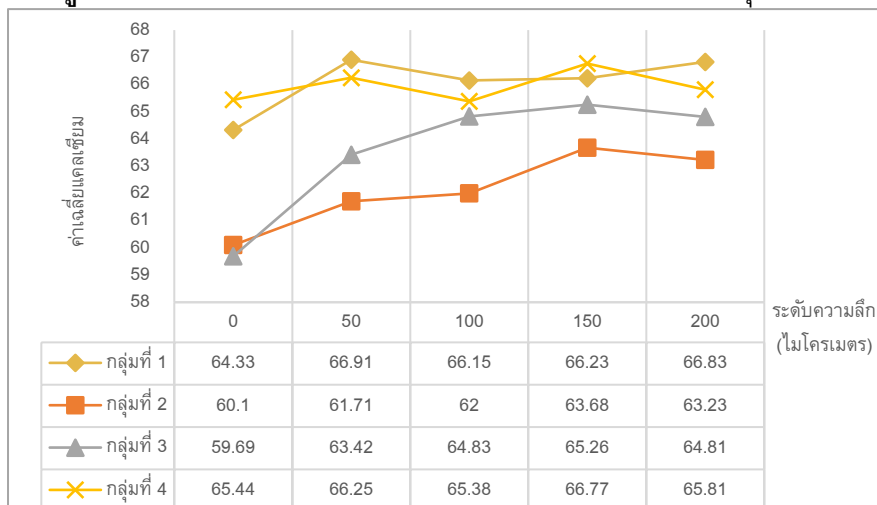
ในบริเวณพื้นที่ A) ซึ่งเป็นบริเวณรอยผุเคลือบฟันจำลองที่ทาสารทดลองและผ่านกระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปาก 14 วัน เมื่อศึกษาค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของฟลูออไรด์ที่ระดับความลึก 0 ไมโครเมตร พบว่า กลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงที่สุด 4.17(3.67) รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.66(2.63) กลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.53(1.45) และกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 1.54(0.60) (ดังแผนภูมิที่ 1) เมื่อพิจารณาทุกระดับความลึก ตั้งแต่ 0 ถึง 200 ไมโครเมตร พบว่ากลุ่มที่ 2 ยังคงมีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างต่อเนื่องในทุกระดับความลึก ในส่วนของฟอสฟอรัสและแคลเซียม พบว่าค่าเฉลี่ยในทุกกลุ่มมีแนวโน้มใกล้เคียงกันในทุกระดับความลึก (ดังแผนภูมิที่ 2 และ 3)



แผนภูมิที่ 1 กราฟเส้นแสดงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟลูออไรด์ ทั้ง 4 กลุ่มทดลอง



แผนภูมิที่ 2 กราฟเส้นแสดงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัส ทั้ง 4 กลุ่มทดลอง



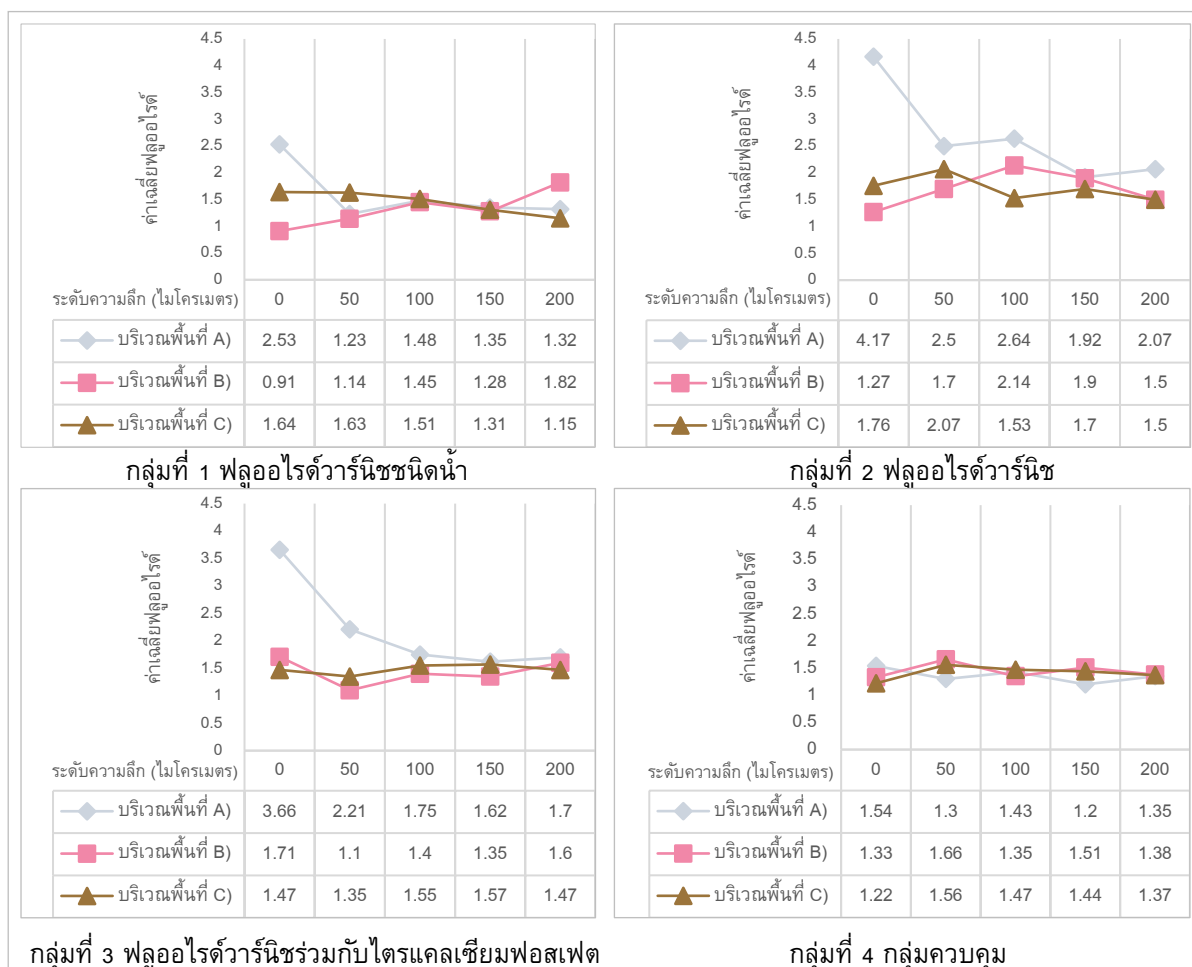
แผนภูมิที่ 3 กราฟเส้นแสดงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแคลเซียม ทั้ง 4 กลุ่มทดลอง

ในบริเวณพื้นที่ B) ซึ่งเป็นรอยผุเคลือบฟันจำลองที่ไม่ทาสารทดลองแต่ผ่านกระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปากเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่า ที่ระดับความลึก 0 ไมโครเมตร กลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงสุด เท่ากับ 1.71 (0.68) อย่างไรก็ตาม ไม่พบกลุ่มใดที่มีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงสุดอย่างต่อเนื่องในทุกระดับความลึก โดยค่าฟลูออไรด์มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่ม ขณะที่ฟอสฟอรัสและแคลเซียมมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับความลึก และไม่พบกลุ่มใดแสดงค่าเฉลี่ยสูงอย่างสม่ำเสมอในทุกระดับความลึก

ในบริเวณพื้นที่ C) ซึ่งเป็นรอยผุเคลือบฟันจำลองที่ไม่ทาสารทดลองและไม่ผ่านกระบวนการจำลองความเป็นกรดต่างในช่องปากเป็นระยะเวลา 14 วัน (บริเวณได้น้ำยาทาเล็บ) พบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟลูออไรด์ ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ในทุกระดับความลึก มีแนวโน้มใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มทดลอง ไม่พบว่ามีกลุ่มใดที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดอย่างต่อเนื่อง

2) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์ ทั้ง 3 บริเวณ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบทั้ง 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณพื้นที่ A) B) และ C) พบว่าในทุกกลุ่มทดลอง บริเวณพื้นที่ A) มีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงที่สุดในช่วงระดับความลึกที่ 0 ไมโครเมตร โดยเฉพาะในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 อย่างไรก็ตาม เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์ทั้ง 3 บริเวณมีแนวโน้มลดลงและมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 150-200 ไมโครเมตร ซึ่งค่าฟลูออไรด์ทั้ง 3 บริเวณอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันประมาณ 1.3-1.6 (ดังแผนภูมิที่ 4)



แผนภูมิที่ 4 กราฟเส้นแสดงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟลูออไรด์ ทั้ง 3 บริเวณ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาในบริเวณที่หาสารทดลอง พบว่าที่ระดับความลึก 0 ไมโครเมตร กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชมีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงสุด รองลงมาคือ กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชร่วมกับไตรแคลเซียมฟอสเฟต กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดน้ำและกลุ่มควบคุมตามลำดับ เมื่อพิจารณาทุกระดับความลึก พบว่า กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชยังคงมีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างต่อเนื่อง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Yu และคณะ ในปี ค.ศ. 2017 ที่พบว่ากลุ่มที่ได้รับฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำมีปริมาณฟลูออไรด์บนผิวเคลือบฟันสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) (Yu et al., 2017) อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Vicente และคณะ ในปี ค.ศ. 2017 รายงานว่า การตรวจพบฟลูออไรด์บนผิวเคลือบฟันอาจเกิดจากคราบหรือเศษวาร์นิชตกค้างมากกว่าการเข้าสู่โครงสร้างผลึกของเคลือบฟันอย่างแท้จริง เนื่องจากเมื่อประเมินโครงสร้างผิวเคลือบฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยังพบร่องรอยของการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันอยู่ (Vicente et al., 2017) สำหรับบริเวณที่ไม่ได้หาสารทดลองโดยตรง พบว่า กลุ่มฟลูออไรด์วาร์นิชร่วมกับไตรแคลเซียมฟอสเฟตมีค่าเฉลี่ยฟลูออไรด์สูงสุดที่ระดับความลึก 0 ไมโครเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Karlinsey และคณะ ในปี ค.ศ. 2012 ที่ศึกษาผลจากการไม่ได้สัมผัสสารโดยตรง (non-contact effects) ของวาร์นิช พบว่า วาร์นิชที่มีไตรแคลเซียมฟอสเฟต (TCP) มีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสเฟตไปยังบริเวณใกล้เคียงได้อย่างต่อเนื่อง (Karlinsey et al., 2012)

ผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่า ฟลูออไรด์วาร์นิชทั้งชนิดโรซินและชนิดน้ำสามารถช่วยเพิ่มปริมาณฟลูออไรด์บนผิวเคลือบฟันและอาจมีส่วนส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุในรอยผุเคลือบฟันจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใช้สารทดลอง โดยฟลูออไรด์วาร์นิชชนิดโรซินมีแนวโน้มให้ปริมาณฟลูออไรด์สูงกว่าชนิดน้ำ ซึ่งอาจสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการปลดปล่อยและคงอยู่ของฟลูออไรด์บนพื้นผิวเคลือบฟันได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สเปกโตรเมตริกแบบกระจายพลังงานเป็นเพียงการประเมินองค์ประกอบธาตุในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักของบริเวณที่ตรวจวัดเท่านั้น ไม่สามารถยืนยันได้โดยตรงว่าฟลูออไรด์ที่ตรวจพบได้เข้าสู่โครงสร้างผลึกของเคลือบฟันและก่อให้เกิดการคืนกลับแร่ธาตุอย่างแท้จริง อีกทั้งยังไม่สามารถวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุ (mineral density) หรือปริมาณแร่ธาตุที่สะสมภายในชั้นเคลือบฟันได้

ดังนั้น การที่กลุ่มทดลองมีปริมาณฟลูออไรด์สูงกว่ากลุ่มควบคุม อาจสะท้อนถึงการสะสมของฟลูออไรด์หรือคราบตกค้างของวาร์นิชบนผิวเคลือบฟันมากกว่าการคืนกลับแร่ธาตุภายในผิวเคลือบฟัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้วยเทคนิคอื่นๆ เช่น การถ่ายภาพรังสีจุลภาคแบบตัดขวาง (transverse microradiography) การวัดปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่องมือคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (micro-computed tomography) หรือการทดสอบความแข็งระดับจุลภาค (microhardness test) เพื่อให้สามารถอธิบายผลได้ชัดเจน เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของวัสดุในการส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุ โดยผลศึกษานำร่องนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับศึกษาเพิ่มเติมทั้งทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิก (*in vivo*) เพื่อยืนยันผลในสภาพแวดล้อมจริงและใช้เป็นแนวทางในการเลือกวัสดุทางคลินิกได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อผู้ป่วยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- 3M ESPE Dental Products. (2023). *3MTM Clinpro™ Clear 2.1% Sodium Fluoride Treatment-510(k) Summary*. Retrieved from <https://www.fda.gov/medical->
- Anil, A., Ibraheem, W. I., Meshni, A. A., Preethanath, R., & Anil, S. (2022). Demineralization and remineralization dynamics and dental caries. In *Dental Caries-The Selection of Restoration Methods and Restorative Materials*. IntechOpen.
- Buzalaf, M. A. R., Pessan, J. P., Honório, H. M. & Ten Cate, J. M. (2011). Mechanisms of action of fluoride for caries control. *Fluoride and the oral environment*, 22, 97-114.

- Jablonowski, B. L., Bartoloni, J. A., Hensley, D. M. & Vandewalle, K. S. (2012). Fluoride release from newly marketed fluoride varnishes. *Quintessence International*, 43(3), 221-228.
- Karlinsey, R. L., Mackey, A. C. & Schwandt, C. S. (2012). Effects on Dentin Treated with Eluted Multi-Mineral Varnish In Vitro. *The Open Dentistry Journal*, 6, 157-163.
- Larie Baghal, S. M., Salem, K., & Saati, K. (2023). An in-vitro comparative study of fluoride varnish and two calcium-containing fluoride products on the remineralization of primary teeth enamel. *Frontiers in Dentistry*, 20, 23.
- Lo, E. C. M., Zhi, Q. H. & Itthagarun, A. (2010). Comparing two quantitative methods for studying remineralization of artificial caries. *Journal of Dentistry*, 38(4), 352-359.
- Milgrom P. & Castillo, J. L. (2004). Fluoride release from varnishes in two in vitro protocols. *The Journal of the American Dental Association*, 135, 1696-1699.
- Oliveira, G. M. S., Ritter, A. V., Heymann, H. O., Swift, E., Donovan, T., Brock, G. & Wright, T. (2014). Remineralization effect of CPP-ACP and fluoride for white spot lesions in vitro. *Journal of Dentistry*, 42(12), 1592-1602.
- Panich, M. & Poolthong, S. (2009). The effect of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate and a cola soft drink on in vitro enamel hardness. *Journal of the American Dental Association*, 140(4), 455-460.
- Shen, P., Bagheri, R., Walker, G. D., Yuan, Y., Stanton, D. P., Reynolds, C. & Reynolds, E. C. (2016). Effect of calcium phosphate addition to fluoride containing dental varnishes on enamel demineralization. *Australian Dental Journal*, 61(3), 357-365.
- Solventum Dental Solutions. (2024). *3M™ Clinpro™ Clear: Fluoride. Simplified. Introducing the next generation in fluoride treatment*. 3M.com/ClinproClear
- Vicente, A., Ortiz Ruiz, A. J., González Paz, B. M., García López, J., & Bravo-González, L. A. (2017). Efficacy of fluoride varnishes for preventing enamel demineralization after interproximal enamel reduction. Qualitative and quantitative evaluation. *PloS one*, 12(4), e0176389.
- Virupaxi, S. G., Roshan, N. M., Poornima, P., Nagaveni, N. B., Neena, I. E., & Bharath, K. P. (2016). Comparative evaluation of longevity of fluoride release from three different fluoride varnishes—an invitro study. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 10(8), ZC33.
- Wierichs, R. J., Stausberg, S., Lausch, J., Meyer-Lueckel, H. & Esteves-Oliveira, M. (2018). Caries-Preventive Effect of NaF, NaF plus TCP, NaF plus CPP-ACP, and SDF Varnishes on Sound Dentin and Artificial Dentin Caries in vitro. *Caries Research*, 52(3), 199-211.
- Yu, O. Y., Mei, M. L., Zhao, I. S., Lo, E. C. M., & Chu, C. H. (2017). Effects of fluoride on two chemical models of enamel demineralization. *Materials*, 10(11), 1245.

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).