

EFFECT OF SILVER DIAMINE FLUORIDE ON MICROTENSILE BOND STRENGTH OF DEMINERALIZED DENTIN

Thanpitcha KRISANAWONG^{1*}, Papichaya INTAJAK¹, Vibul PAISANKOBKIT¹
and Charnsak SUKAJINTANAKARN¹

1 Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, Thailand; thanpitcha.kri@g.swu.ac.th (T. K.)
(Corresponding Author)

ABSTRACT

This study aimed to investigate the differences in microtensile bond strength (μ TBS) on demineralized dentin when silver diamine fluoride (SDF) was applied, followed by different adhesive modes. Thirty-two extracted human premolars were used. All specimens randomly divided into four groups, categorized by SDF-treated and untreated dentin, after a two-week period, resin composite restorations were performed using different adhesive modes (Etch and Rinse or Self-etch). Specimens were prepared for μ TBS test. The debonded dentin surfaces and the adhesive-dentin interfaces were observed using a light microscope and scanning electron microscope. The results of μ TBS were analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey's post-hoc test with statistical significance level of .05. The results showed that SDF-treated demineralized dentin significantly increase μ TBS compared to non-SDF treated group restored with self-etch mode. In contrast, SDF-treated demineralized dentin groups were not significantly different from non-SDF treated group restored with etch and rinse mode. In conclusion, the restorative methods of demineralized teeth when SDF was applied for two weeks, both etch and rinse and self-etch modes can be used.

Keywords: Silver Diamine Fluoride, Microtensile Bond Strength, Demineralized Dentin

CITATION INFORMATION: Krisanawong, T., Intajak, P., Paisankobrit, V., & Sukajintanakarn, C. (2026). Effect of Silver Diamine Fluoride on Microtensile Bond Strength of Demineralized Dentin. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 32.

ผลของซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์ต่อค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาคใน ฟันสูญเสียแร่ธาตุ

ธัญพิชชา กฤษณวงศ์^{1*}, ปพิชญา อินทจักร¹, วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์¹ และ ชานุกต์ สุธะจินตนากาญจน์¹

1 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; thanpitcha.kri@g.swu.ac.th (ธัญพิชชา)
(ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาค (μ TBS) เมื่อทาซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์บนฟันสูญเสียแร่ธาตุ และบูรณะด้วยระบบของสารยึดติดที่แตกต่างกัน ใช้ฟันกรามน้อยแท้ 32 ซี่ 4 กลุ่ม แบ่งเป็นกลุ่มที่ทาและไม่ทาซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์ เว้นระยะเวลา 2 สัปดาห์จากนั้นใช้สารยึดติดระบบเอทซ์แอนด์รีนส์และเซลฟ์เอทซ์บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต ทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาค ศึกษาบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับสารยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นำค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาคมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและเปรียบเทียบภายหลังด้วยทูกีย์ นัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 ผลการศึกษาพบว่า การทาซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาคสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ทาซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเซลฟ์เอทซ์อย่างมีนัยสำคัญ แต่การทาซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์ไม่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาคแตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ทาและบูรณะด้วยระบบเอทซ์แอนด์รีนส์อย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าเมื่อทาซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์บนฟันสูญเสียแร่ธาตุ 2 สัปดาห์ สามารถบูรณะได้ทั้งระบบสารยึดติดเอทซ์แอนด์รีนส์และเซลฟ์เอทซ์

คำสำคัญ: ซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์, ค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาค, ฟันสูญเสียแร่ธาตุ

ข้อมูลการอ้างอิง: ธัญพิชชา กฤษณวงศ์, ปพิชญา อินทจักร, วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์ และ ชานุกต์ สุธะจินตนากาญจน์. (2569). ผลของซิลเวอร์ไไดเอมีนฟลูออไรด์ต่อค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาคในฟันสูญเสียแร่ธาตุ. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 32.

บทนำ

ฟันผุเป็นโรคที่พบแพร่หลายทั่วโลกตลอดในทุกช่วงอายุ (Bagramian et al., 2009) ฟันเกิดการละลายตัวของแร่ธาตุ (Demineralization) จากกรดของแบคทีเรีย (Nobuhiro, 2005; Pitts et al., 2017) กระบวนการละลายตัวของแร่ธาตุนี้ถูกกระตุ้นให้ดำเนินต่อด้วยเอนไซม์ที่ย่อยสลายของคอลลาเจน (Zarella et al., 2015) 38 เปอร์เซนต์ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ (SDF; Silver Diamine Fluoride) มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ 44,800 ppm ใช้ในการรักษาอย่างแพร่หลายมาตั้งแต่ปี 1960 (Mei, Chu, Lo, et al., 2013; Peng et al., 2012; Seifo et al., 2020) จากคุณสมบัติฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เพิ่มกระบวนการคืนกลับของแร่ธาตุในเนื้อฟัน (Remineralization) ยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการสลายของคอลลาเจนในเนื้อฟันทั้งเมทริกซ์เมทัลโลโปรตีนและซิสเตอีนคาเทปซิน และหยุดยั้งฟันผุ (Knight et al., 2005; Mei, Chu, Low, et al., 2013; Mei et al., 2012; Peng et al., 2012; Rosenblatt et al., 2009; Zhao et al., 2018) จึงนำมาใช้เพื่อหยุดการดำเนินของรอยโรคฟันผุในการบูรณะฟันแบบอนุรักษ์ (Innes et al., 2019) เหมาะสมในเคสผู้ป่วยอายุน้อยซึ่งไม่พร้อมให้ความร่วมมือในการรักษา ผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยที่มีฟันผุหลายซี่แต่ไม่สามารถทำการรักษาให้เสร็จภายในครั้งเดียว การใช้ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ในผู้ป่วยเหล่านี้จะหยุดการเจริญของรอยโรค ทำให้ยังรักษาเนื้อฟันไว้ได้ มีระยะเวลาเพิ่มขึ้นสำหรับการรักษา โดยไคต์ไลน์แนะนำให้รออย่างน้อย 2 สัปดาห์ก่อนเริ่มการบูรณะ (Young et al., 2021) หลังทา เนื้อฟันเกิดการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติงระดับจุลภาค (μ TBS; Microtensile Bond Strength) ระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุบูรณะ ในการวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาในเนื้อฟันปกติ มีทั้งการศึกษาที่ค่าการยึดติดไม่ต่างกันระหว่างทากับไม่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ (Quock et al., 2012) และค่าการยึดติดลดลงหลังทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ (Intajak et al., 2024) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าความแข็งแรงยึดติงระดับจุลภาคในฟันสูญเสียแร่ธาตุระหว่างการไม่ทาและทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นบูรณะด้วยระบบเอทช์แอนด์รีนส์ (Etch and Rinse) และเซลฟ์เอทช์ (Self-etch) เพื่อหาแนวทางของขั้นตอนการบูรณะที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น เพิ่มความสำเร็จในการรักษาทั้งในแง่ของการใช้งานและความยั่งยืน

การทบทวนวรรณกรรม

การสูญเสียแร่ธาตุในฟันผุที่ชั้นเนื้อฟันจะเกิดบริเวณระหว่างท่อเนื้อฟัน (Intertubular dentin) และรอบท่อเนื้อฟัน (Peritubular dentin) (Ogawa et al., 1983) ในงานวิจัยนี้ใช้อีดีทีเอ (EDTA; ethylene diamine tetra-acetic acid) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จำลองการเกิดฟันสูญเสียแร่ธาตุ (Demineralized Dentin) (Sayed et al., 2019) อีดีทีเอช่วยละลายแร่ธาตุในเนื้อฟันได้โดยไม่ทำลายโครงสร้างของคอลลาเจน จึงมีหลายงานใช้อีดีทีเอเพื่อจำลองการเกิดฟันผุ (Kim et al., 2011) ปัจจุบันการรักษาโรคฟันผุไม่ได้มุ่งเน้นที่การบูรณะอย่างเท่านั้น การบูรณะฟันแบบอนุรักษ์มีการใช้ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการป้องกันฟันผุดีเยี่ยม (Rosenblatt et al., 2009) โครงสร้างทางเคมีคือ $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{F}$ องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ซิลเวอร์ (Silver), ฟลูออไรด์ (Fluoride) และแอมโมเนีย (Ammonia) ใช้ในการรักษาทางทันตกรรมได้ทั้งฟันน้ำนมและฟันแท้ มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ 44,800 ppm สูงกว่าในฟลูออไรด์วานิช (Fluoride Varnish) (Seifo et al., 2020) มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียก่อโรคฟันผุ (Knight et al., 2005; Mei, Chu, Low, et al., 2013; Seifo et al., 2020) ช่วยให้เกิดกระบวนการคืนกลับของแร่ธาตุ เกิดผลึกฟลูออโรอะพาไทต์ (fluorapatite), ซิลเวอร์ฟอสเฟต (silver phosphate) และแคลเซียมฟลูออไรด์ (calcium fluoride) จากการทำปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์กับโครงสร้างฟัน เพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวฟัน แคลเซียมฟลูออไรด์ที่เกิดขึ้นมีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์อย่างช้า ๆ (Peng et al., 2012; Rosenblatt et al., 2009; Zhao et al., 2018) และมีฤทธิ์ในการยับยั้งเมทริกซ์เมทัลโลโปรตีนและซิสเตอีนคาเทปซิน ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการสลายของคอลลาเจนในเนื้อฟัน ดังนั้นซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์จึงมีคุณสมบัติในการทำให้ฟันผุที่เกิดขึ้นแล้วกลายเป็นฟันผุที่หยุดการดำเนินของรอยโรค (Arrested Caries) (Horst et al., 2016; Sharma et al., 2015; Young et al., 2021) และลดโอกาสการเกิดรอยผุซ้ำ (Secondary Caries) (Mei et al., 2016) หลังทาควรติดตามอาการที่ระยะเวลา 2-4 สัปดาห์

เพื่อประเมินการหยุดของฟันผุ เนื้อฟันควรแข็ง สีเข้มขึ้น อาจเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือดำ และไม่ควรมีไบโอฟิล์มเกาะ จึงถือว่าการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ประสบความสำเร็จ จากนั้นจึงพิจารณาบูรณะฟันต่อไป (Seifo et al., 2020; Young et al., 2021) ในงานวิจัยนี้จำลองการเตรียมโพรงฟันในห้องปฏิบัติการด้วยกระดานซิลิกอนคาร์ไบด์ขนาดกริต 600 สร้างชั้นสเมียร์ในรูปแบบที่โมโนเมอร์ของสารยึดติดสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟันได้ (Shinoda et al., 2011) ในขั้นตอนบูรณะ ระบบเอทซ์แอนดรีนส์จะกำจัดชั้นสเมียร์ออกด้วยกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid) ระบบเซลฟ์เอทซ์จะเป็นการปรับชั้นสเมียร์โดยไม่เอาออก ลักษณะของชั้นสเมียร์กับคุณสมบัติทางเคมีของสารยึดติด จึงเป็นสององค์ประกอบสำคัญที่ส่งอิทธิพลต่อความสำเร็จเมื่อทำการยึดติด ในงานวิจัยนี้ใช้สารยึดติด Scotchbond Universal Plus Adhesive แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 โมโนเมอร์ที่มีหมู่ทำหน้าที่ (Functional Monomer) คือ เท็นเอ็มดีพี (10-MDP; 10-Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate) เป็นโมโนเมอร์ที่นิยมใช้แพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างพันธะที่แข็งแรงและเสถียรในระดับชั้นนาโนกับแคลเซียมในเนื้อฟัน (Saikaew et al., 2022)

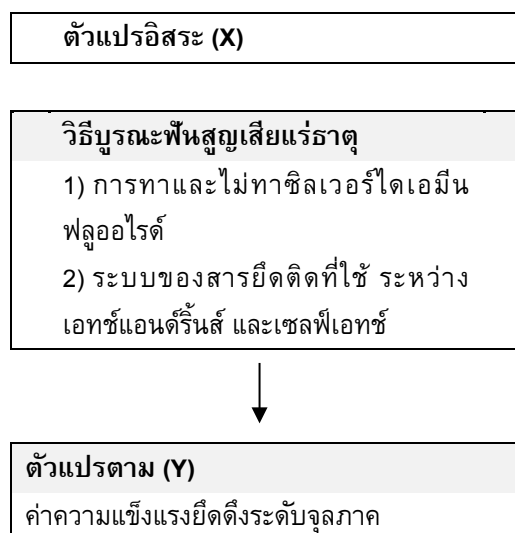
ตารางที่ 1 แสดงค่าความเป็นกรดต่าง องค์ประกอบ และวิธีใช้สารยึดติดในงานวิจัย

ชื่อผลิตภัณฑ์	pH	องค์ประกอบ	วิธีใช้
Scotchbond Universal Plus Adhesive	2.7	Bis-GMA, Vitrebond copolymer, ethanol, water, initiators, fillers, accelerators	1) ทาในลักษณะกวน 20 วินาที 2) เป่าอย่างน้อย 5 วินาที จนไม่มีการเคลื่อนที่ของของเหลว 3) ฉายแสง 10 วินาที
Lot no. 11936735			

สมมติฐานการวิจัย

1) การเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาคหลังทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์บนฟันสูญเสียแร่ธาตุ ไม่แตกต่างกันเมื่อใช้วิธีบูรณะแตกต่างกัน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้ฟันกรามน้อยแท้งจำนวน 32 ซี่ คำนวณด้วยโปรแกรม G*Power 3.1 ผ่านการรับรองจริยธรรมจากคณะกรรมการจริยธรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถอนเนื่องจากการจัดฟันภายในคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประเทศไทย ฟันที่นำมาใช้ในการทดลองต้อง

ปราศจากรอยโรคฟันผุ รอยร้าว และวัสดุบูรณะ ทำความสะอาดและจัดเก็บหลังการถอนในสารละลายไฮมอล 0.1 เปอร์เซ็นต์ แบ่งฟันออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ซี่ด้วยวิธีการสุ่ม ตัดเคลือบฟันด้านบดเคี้ยวออกจนถึงชั้นเนื้อฟันด้วยเครื่องไอโซเมต ขัดด้วยกระดาษทรายซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 600 แซฟฟันที่ตัดและขัดแล้วในสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ 30 นาที จำลองการเกิดเนื้อฟันสูญเสียแร่ธาตุของฟันผุ ล้างออกด้วยน้ำกลั่น กลุ่มที่ 1 ไม่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเอทซ์แอนดรีนส์ กลุ่มที่ 2 ไม่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเซลฟ์เอทซ์ กลุ่มที่ 3 ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเอทซ์แอนดรีนส์ กลุ่มที่ 4 ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเซลฟ์เอทซ์ การทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ ทาแบบกวน 1 นาที ทิ้งไว้ 2 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่น 30 วินาที แช่น้ำลายเทียม 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เปลี่ยนน้ำลายเทียมทุกวัน ล้างด้วยน้ำกลั่นก่อนเริ่มทำการบูรณะ สารยึดติดที่ใช้คือ Scotchbond Universal Plus Adhesive วัสดุที่ใช้ในการบูรณะคือเรซินคอมโพสิตยี่ห้อ Filtek™ Z350 เจต A3.5 ที่ความหนา 4 มิลลิเมตร อุทครั้งละ 2 มิลลิเมตร ฉายแสงชั้นละ 20 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 2 จากนั้นแช่ในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมงก่อนเริ่มการทดสอบ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษา (1) ค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาค ตัดฟันในแนวตั้งฉากกับหน้าตัดที่ทำการยึดติด ขนาด 1 x 1 ตารางมิลลิเมตรออกมาเป็นแท่ง วางชิ้นงานบนแท่นทดสอบค่าแรงยึดติดของเครื่องทดสอบวัสดุสากล ยึดด้วยกาวไฮยาโนอะคริเลต ให้แรงด้วยความเร็วเดียวกันที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาทีจนเกิดการแตกหัก คำนวณค่าที่วัดได้จากเครื่องออกในหน่วยเมกะปาสคาล (MPa) (Quock et al., 2012; Sano et al., 2020) นำค่าจากชิ้นงาน 5 แท่งที่ได้จากการตัดฟันซี่เดียวกันมาเฉลี่ยเป็นค่าแรงยึดติดของฟันซี่นั้น ใช้ฟัน 8 ซี่คำนวณค่าในแต่ละกลุ่ม ทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วย Shapiro-Wilk test ทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบด้วยทูกีย์ (Tukey's HSD) ความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอสเวอร์ชัน 24 (SPSS Inc., IBM Corporation, NY, USA) (2) ลักษณะการแตกหัก (Mode of Failure) ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Olympus รุ่น SZX7 ที่กำลังขยาย x5.6 การแตกหักที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 4 ลักษณะ คือ แตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต (Adhesive Failure), แตกหักในชั้นเนื้อฟัน (Cohesive in Dentin), แตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิต (Cohesive in Composite) และการแตกหักแบบผสม (Mixed Failure) (3) เนื้อฟันหลังเกิดการแตกหักและชั้นรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซิน ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโหมดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (x3000) เคลือบพื้นผิวด้วยทองเป็นเวลา 120 วินาที ความดันเร่ง 10 kV

ผลการวิจัย

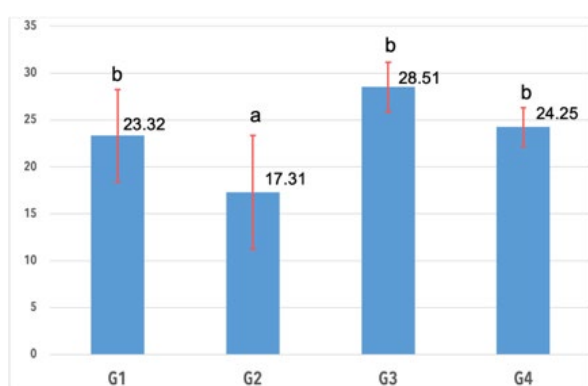
ผลการศึกษาค่าแรงยึดติดระดับจุลภาคแสดงในภาพที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวตามด้วยทูกีย์แสดง ความแตกต่างเมื่อบูรณะด้วยขั้นตอนแตกต่างกัน ($F = 9.474$, $p < 0.0001$) ในกลุ่มที่ 3 ฟันสูญเสียแร่ธาตุที่ทาซิลเวอร์

ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเอนท์รีนส์มีค่าแรงยึดดึงระดับจุลภาคเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{X} = 28.51$, S.D.= 2.65) รองลงมาคือกลุ่มที่ 4 พันธูญเสียแร่ธาตุที่ไม่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเซลฟ์เอนท์รีนส์ ($\bar{X} = 24.25$, S.D.= 2.05) กลุ่มที่ 1 พันธูญเสียแร่ธาตุที่ไม่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเอนท์รีนส์ ($\bar{X} = 23.32$, S.D.= 4.91) และกลุ่มที่ 2 พันธูญเสียแร่ธาตุที่ไม่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเซลฟ์เอนท์รีนส์มีค่าแรงยึดดึงระดับจุลภาคเฉลี่ยต่ำที่สุด ($\bar{X} = 17.31$, S.D.= 6.06) กลุ่มที่ 2 มีค่าต่ำกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เปอร์เซ็นต์การแตกหักแสดงในภาพที่ 4 การแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิตพบมากที่สุดในกลุ่มที่ 4 (85%) รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 (70%), กลุ่มที่ 2 (57.5%) และกลุ่มที่ 1 (42.5%) ตามลำดับ การแตกหักแบบผสมพบมากที่สุดในกลุ่มที่ 1 (50%) รองลงมาคือกลุ่มที่ 2 (42.5%), กลุ่มที่ 3 (25%) และกลุ่มที่ 4 (12.5%) ตามลำดับ การแตกหักในชั้นเรซินคอมโพสิตพบเฉพาะในกลุ่มที่ 1 (7.5%) และกลุ่มที่ 3 (2.5%) และที่พบน้อยที่สุดคือการแตกหักในชั้นเนื้อฟัน พบในกลุ่มที่ 3 และ 4 (2.5%) เท่านั้น การแตกหักที่พบมากที่สุดในงานวิจัยคือการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต โดยเฉพาะในกลุ่มที่ 3 และ 4

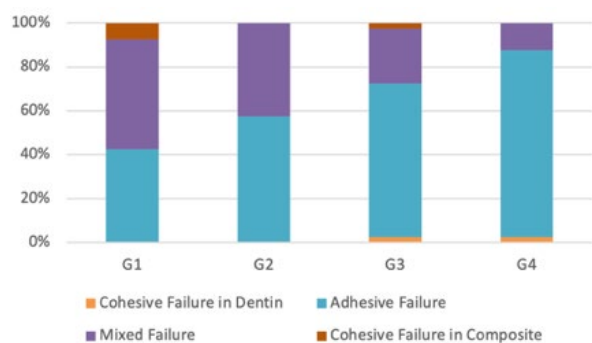
ผลการศึกษาพื้นผิวเนื้อฟันหลังการแตกหักภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 3000 ดังแสดงในภาพที่ 5 กลุ่มที่ 1 (5a) และ 2 (5c) ไม่มีการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ พบรูพรุนในระหว่างท่อเนื้อฟัน, รอบท่อเนื้อฟัน และเนื้อฟันในท่อ ลักษณะดังกล่าวไม่ปรากฏในกลุ่มที่ 3 (5b) และ 4 (5d) ที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ แต่พบผลิตภัณฑ์ของซิลเวอร์ บางตำแหน่งเริ่มมีการรวมตัวกันของผลิตภัณฑ์ และในกลุ่มที่บูรณะด้วยระบบเอนท์รีนส์ พบเรซินแท็ก (Resin Tag) หักที่ท่อเนื้อฟันส่วนบนมากกว่ากลุ่มที่บูรณะด้วยระบบเซลฟ์เอนท์รีนส์

ผลการศึกษาชั้นรอยต่อระหว่างเนื้อฟัน สารยึดติด และเรซินคอมโพสิตในแต่ละกลุ่มภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 3000 ดังแสดงในภาพที่ 6 ทุกกลุ่มการทดลองพบเรซินแท็กยาวลงมาเป็นแท่งทรงกลมปลายมน ในกลุ่มที่ 1 (6a) และ 2 (6c) พบการแตกแขนงออกด้านข้างของเรซินแท็ก ไม่พบการแตกแขนงในกลุ่มที่ 3 (6b) และ 4 (6d) ความหนาของชั้นสารยึดติดในกลุ่มพันธูญเสียแร่ธาตุที่ไม่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์อยู่ที่ประมาณ 8-10 ไมโครเมตร (6a, 6c) ขณะที่ความหนาของชั้นสารยึดติดในกลุ่มที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์อยู่ที่ประมาณ 2-3 ไมโครเมตร (6b, 6d) และพบชั้นไฮบริดในกลุ่มที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเอนท์รีนส์ (6b) ความหนาไม่สม่ำเสมอแต่ปรากฏตลอดแนว มีพื้นผิวขรุขระเล็กน้อย

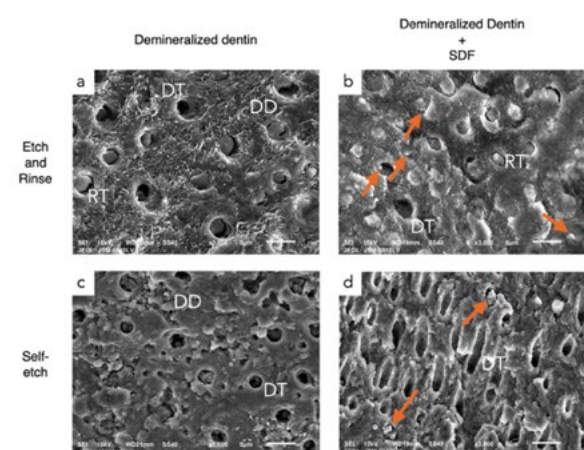


ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงยึดดึงระดับจุลภาคแต่ละกลุ่ม

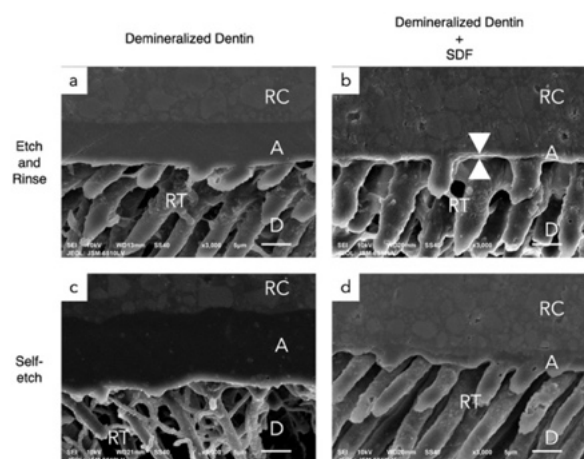
* ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)



ภาพที่ 4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของลักษณะการแตกหักที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่ม



ภาพที่ 5 พื้นผิวเนื้อฟันหลังการแตกหักภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (x3000) ลูกศรสีส้มชี้ผลึกซิลเวอร์ (DD; Demineralized Dentin, DT; Dentinal Tubule, RT; Resin Tag)



ภาพที่ 6 ชั้นรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (x3000) ลูกศรสีขาวแสดงชั้นไฮบริด (RC; Resin Composite, A; Adhesive, D; Dentin, RT; Resin Tag)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงผลของการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์บนฟันสูญเสียแร่ธาตุ และบูรณะด้วยขั้นตอนแตกต่างกัน พบว่าขั้นตอนบูรณะที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าแรงยึดติดระดับจุลภาคแตกต่างกัน จึงปฏิเสธสมมติฐานว่างของงานวิจัย และสามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

ฟันสูญเสียแร่ธาตุที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์มีความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาคสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ทา โดยสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญต่อกลุ่มที่ไม่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์และบูรณะด้วยระบบเซลฟ์เอทซ์ เนื่องจากฟันธรรมชาติที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่เนื้อฟันจะเปิดออก เกิดรูพรุนในเนื้อฟัน (Gandolfi et al., 2018) การมีรูพรุนในเนื้อฟันปริมาณมาก เทียบเท่ากับลักษณะเนื้อฟันที่ปรากฏในฟันผุ (Tjäderhane et al., 1998) สอดคล้องกับภาพที่ 5 กลุ่มที่ไม่ได้ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ (5a, 5c) พบรูพรุนในเนื้อฟันระหว่างท่อ และเนื้อฟันในท่อ เรซินไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปได้ทั้งหมด ปริมาณการแทรกซึมของเรซินส่งผลอย่างมากต่อความสามารถในการยึดติด (Hashimoto et al., 2000) ขณะที่ในการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพียงพอในการหยุดฟันผุ (Seifo et al., 2020; Young et al., 2021) เมื่อศึกษาชั้นรอยต่อภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในภาพที่ 6 พบว่าเรซินแทรกในกลุ่มที่ 2 ยาวลงมาและมีการแตกแขนงออกด้านข้างอย่างชัดเจน (6c) แต่ไม่พบการแตกในกลุ่มที่ 3 และ 4 (6b, 6d) เนื่องจากในกลุ่มที่ 3 และ 4 เนื้อฟันผ่านการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ พบผลึกของซิลเวอร์หลงเหลือในเนื้อฟัน และเนื้อฟันระหว่างท่อตั้งรูปในภาพที่ 5 ผลึกซิลเวอร์มีทั้งทรงกลมเดี่ยว และทรงกลมที่เริ่มรวมตัวกัน ปิดกั้นท่อเนื้อฟัน และปิดท่อที่เชื่อมระหว่างท่อเนื้อฟัน เรซินแทรกจึงแทรกซึมได้จำกัด และไม่เกิดการแตกแขนงออกด้านข้าง สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ของลักษณะการแตกหักที่เกิดขึ้น ในกลุ่มที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ส่วนใหญ่เป็นการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินคอมโพสิต ขณะที่การแตกหักแบบผสมพบมากในกลุ่มที่ไม่ทา ผลึกเหล่านี้และปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์กับเนื้อฟัน ทำให้เนื้อฟันแข็งขึ้น และมีความแข็งแรงเชิงกลมากขึ้นจากการเกิดผลึกฟลูออโรอะพาไทต์, ซิลเวอร์ฟอสเฟต และแคลเซียมฟลูออไรด์ (Peng et al., 2012; Rosenblatt et al., 2009; Zhao et al., 2018) สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่ากระบวนการบูรณะฟันผุจำลอง เมื่อทำการบูรณะและผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบร้อน-เย็นเป็นจังหวะ (Thermocycling) ฟันผุจำลองที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์มีความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาคมากกว่าในกลุ่มที่ไม่ทา (Ajchareeya et al., 2025)

และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการบูรณะด้วยระบบเอทซ์แอนดรีนส์และเซลฟ์เอทซ์เมื่อบูรณะบนเนื้อฟันที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ สารยึดติด Scotchbond Univesal Plus มี pH อยู่ที่ 2.7 เป็นสารยึดติดชนิดกรดอ่อนมาก ขณะที่ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์มี pH 10 ความเป็นด่างสูง เมื่อทาสารยึดติดลงบนเนื้อฟันจึงเกิดปฏิกิริยาบัฟเฟอร์ได้ แต่ในงานวิจัยนี้มีการเปลี่ยนน้ำลายเทียมทุกวันตลอด 2 สัปดาห์ pH ของซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์บนเนื้อฟันลดลง จึงไม่เกิดปฏิกิริยาบัฟเฟอร์รุนแรงจนยอมอเมอร์ในสารยึดติดสูญเสียความเป็นกรดอ่อน (Uctasli et al., 2023) การไม่ได้ใช้กรดฟอสโฟริกก่อนจึงไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาบัฟเฟอร์จนค่าแรงยึดติดต่างกัน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยที่เปรียบเทียบการบูรณะด้วยเอทซ์แอนดรีนส์และเซลฟ์เอทซ์บนเนื้อฟันปกติ พบว่าการใช้กรดเอทซ์ก่อนไม่มีผลต่อการยึดติด (Wagner et al., 2014) เมื่อบูรณะด้วยสารยึดติดยูนิเวอร์ซัลที่มีแท่นเอ็มดีพีเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากเกิด 10-MDP-Ca ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เสถียรทั้งเชิงเคมีและเชิงกลระดับจุลภาคระหว่างแร่ธาตุในเนื้อฟันกับคอลลาเจน (Mokeem et al., 2023; Saikaew et al., 2022)

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการศึกษาค่าแรงยึดติดระดับจุลภาคของฟันสูญเสียแร่ธาตุที่ทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ และบูรณะด้วยวิธีเอทซ์แอนดรีนส์กับเซลฟ์เอทซ์ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1) ในกรณีที่ผู้ป่วยฟันผุเข้าเกณฑ์การใช้ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ในการรักษา และไม่สามารถทำการบูรณะฟันผุทั้งหมดได้ในทันที เช่น ผู้ป่วยสูงอายุ เด็กเล็ก ผู้ป่วยที่มีความต้องการพิเศษ ผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง มีฟันผุหลายซี่ ไม่สามารถเข้ารับการรักษาทางทันตกรรมได้อย่างต่อเนื่อง หรือมีข้อจำกัดอื่น ๆ ที่ทำให้การบูรณะต้องล่าช้าออกไป การทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์สามารถรักษาเนื้อฟันไว้ได้ก่อนทยอยบูรณะ ไม่สูญเสียเนื้อฟันเพิ่ม และไม่ลดความสามารถในการยึดติดของวัสดุบูรณะ

2) เมื่อซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์หยุดฟันผุแล้ว สามารถบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตได้ทั้งระบบเธรตแอนด์รีนส์ และ เซลฟ์เธรต โดยสารยึดติดที่ใช้ต้องมีแท่นเอ็มดีพีเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น ในผู้ป่วยที่จำเป็นต้องใช้เวลาในการรักษาแต่ละครั้งให้น้อยที่สุด เช่น ผู้ป่วยเด็กเล็ก สามารถนำขั้นตอนการใช้กรดฟอสโฟริกออกได้ และบูรณะด้วยระบบเซลฟ์เธรต ดังนั้น ในทางคลินิก เมื่อรักษาผู้ป่วยฟันผุด้วยการทาซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ สามารถบูรณะได้ทั้งระบบเธรตแอนด์รีนส์และเซลฟ์เธรต เพื่อประสิทธิภาพในการยึดติดระยะยาวของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต และคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้ป่วย อีกทั้งยังมีความมุ่งหวังว่าการพิจารณาใช้ซิลเวอร์ไดเอมีนฟลูออไรด์ในผู้ป่วยจะช่วยหยุดยั้งฟันผุ ป้องกันการเกิดฟันผุซ้ำ เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุในเนื้อฟัน และคุณสมบัติดังกล่าวยังดำเนินต่อไปหลังบูรณะ จากผลึกของซิลเวอร์ที่หลงเหลือในเนื้อฟัน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ในห้องปฏิบัติการ สามารถทดสอบด้วยสารยึดติดหลายยี่ห้อมากขึ้น เนื่องจากสารยึดติดแต่ละยี่ห้อองค์ประกอบต่างกัน ส่งผลต่อการยึดติดแตกต่างกัน
- 2) สามารถทดสอบด้วยระยะเวลาที่นานขึ้น เพื่อศึกษาการใช้งานในระยะยาว
- 3) เนื่องด้วยข้อจำกัดของการทดลองในห้องปฏิบัติการ (In Vitro Limitations) ฟันจำลองจากการสูญเสียแร่ธาตุด้วยวิธีที่ดีที่เอ ไม่สามารถเหมือนกับฟันจริงในช่องปาก ที่มีระดับของการสูญเสียแร่ธาตุ เชื้อแบคทีเรีย และความลึกแตกต่างกัน การแช่น้ำลายเทียมเองก็ไม่สามารถเลียนแบบพลวัตการไหลของน้ำลาย, pH ที่ขึ้นลงในช่องปาก และเอนไซม์ในน้ำลาย ทั้งหมดเป็นการกำหนดปัจจัยควบคุมเพื่อให้การทดลองอยู่บนมาตรฐานเดียวกันโดยใกล้เคียงกับช่องปากมากที่สุด โดยสามารถอิงผลการศึกษานี้ไปทำการรักษาและติดตามผลทางคลินิก เพื่อผลที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Ajchareeya, P., Kunwara, T., Panupong, J., Pipop, S., & Chantida, P. N. M. (2025). The performance of silver diamine fluoride on bond strength and ultramorphology of universal adhesive to artificial carious dentin under thermocycling conditions. *Clin Oral Investig*, 29(5), 225. <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06304-6>
- Bagramian, R. A., Garcia-Godoy, F., & Volpe, A. R. (2009). The global increase in dental caries. A pending public health crisis. *Am J Dent*, 22(1), 3-8.
- Gandolfi, M. G., Taddei, P., Pondrelli, A., Zamparini, F., Prati, C., & Spagnuolo, G. (2018). Demineralization, Collagen Modification and Remineralization Degree of Human Dentin after EDTA and Citric Acid Treatments. *Materials (Basel)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/ma12010025>
- Hashimoto, M., Ohno, H., Endo, K., Kaga, M., Sano, H., & Oguchi, H. (2000). The effect of hybrid layer thickness on bond strength: demineralized dentin zone of the hybrid layer. *Dent Mater*, 16(6), 406-411. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(00\)00035-x](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(00)00035-x)
- Horst, J. A., Ellenikiotis, H., & Milgrom, P. L. (2016). UCSF Protocol for Caries Arrest Using Silver Diamine Fluoride: Rationale, Indications and Consent. *J Calif Dent Assoc*, 44(1), 16-28.
- Innes, N. P. T., Chu, C. H., Fontana, M., Lo, E. C. M., Thomson, W. M., Uribe, S., Heiland, M., Jepsen, S., & Schwendicke, F. (2019). A Century of Change towards Prevention and Minimal Intervention in Cariology. *J Dent Res*, 98(6), 611-617. <https://doi.org/10.1177/0022034519837252>
- Intajak, P., Yuan, Y., Sakaguchi, N., Saikaew, P., Eamsaard, P., Matsumoto, M., Sano, H., & Tomokiyo, A. (2024). Effect of Silver Diamine Fluoride on Bonding Performance and Ultra-morphological

- Characteristics to Sound Dentin. *Dent Mater*, 40(4), e24-e32. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2024.02.020>
- Kim, D. S., Park, S. H., Choi, G. W., Choi, K. K., & Kim, S. Y. (2011). Effect of EDTA treatment on the hybrid layer durability in total-etch dentin adhesives. *Dent Mater J*, 30(5), 717-722. <https://doi.org/10.4012/dmj.2011-056>
- Knight, G. M., McIntyre, J. M., Craig, G. G., Mulyani, Zilm, P. S., & Gully, N. J. (2005). An in vitro model to measure the effect of a silver fluoride and potassium iodide treatment on the permeability of demineralized dentine to *Streptococcus mutans*. *Aust Dent J*, 50(4), 242-245. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2005.tb00367.x>
- Mei, M. L., Chu, C. H., Lo, E. C., & Samaranayake, L. P. (2013). Fluoride and silver concentrations of silver diammine fluoride solutions for dental use. *Int J Paediatr Dent*, 23(4), 279-285. <https://doi.org/10.1111/ipd.12005>
- Mei, M. L., Chu, C. H., Low, K. H., Che, C. M., & Lo, E. C. (2013). Caries arresting effect of silver diamine fluoride on dentine carious lesion with *S. mutans* and *L. acidophilus* dual-species cariogenic biofilm. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 18(6), e824-831. <https://doi.org/10.4317/medoral.18831>
- Mei, M. L., Li, Q. L., Chu, C. H., Yiu, C. K., & Lo, E. C. (2012). The inhibitory effects of silver diamine fluoride at different concentrations on matrix metalloproteinases. *Dent Mater*, 28(8), 903-908. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.04.011>
- Mei, M. L., Zhao, I. S., Ito, L., Lo, E. C., & Chu, C. H. (2016). Prevention of secondary caries by silver diamine fluoride. *Int Dent J*, 66(2), 71-77. <https://doi.org/10.1111/idj.12207>
- Mokeem, L. S., Garcia, I. M., & Melo, M. A. (2023). Degradation and Failure Phenomena at the Dentin Bonding Interface. *Biomedicines*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/biomedicines11051256>
- Nobuhiro, T. (2005). Microbial ecosystem in the oral cavity: Metabolic diversity in an ecological niche and its relationship with oral diseases. *International Congress Series*, 1284, 103-112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ics.2005.06.071>
- Ogawa, K., Yamashita, Y., Ichijo, T., & Fusayama, T. (1983). The ultrastructure and hardness of the transparent layer of human carious dentin. *J Dent Res*, 62(1), 7-10. <https://doi.org/10.1177/00220345830620011701>
- Peng, J. J., Botelho, M. G., & Matinlinna, J. P. (2012). Silver compounds used in dentistry for caries management: a review. *J Dent*, 40(7), 531-541. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.03.009>
- 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. *Nat Rev Dis Primers*, 3, 17030. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.30>
- Quock, R. L., Barros, J. A., Yang, S. W., & Patel, S. A. (2012). Effect of silver diamine fluoride on microtensile bond strength to dentin. *Oper Dent*, 37(6), 610-616. <https://doi.org/10.2341/11-344-l>
- Rosenblatt, A., Stamford, T. C., & Niederman, R. (2009). Silver diamine fluoride: a caries "silver-fluoride bullet". *J Dent Res*, 88(2), 116-125. <https://doi.org/10.1177/0022034508329406>

- Saikaew, P., Sattabanasuk, V., Harnirattisai, C., Chowdhury, A., Carvalho, R., & Sano, H. (2022). Role of the smear layer in adhesive dentistry and the clinical applications to improve bonding performance. *Jpn Dent Sci Rev*, 58, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2021.12.001>
- Sano, H., Chowdhury, A., Saikaew, P., Matsumoto, M., Hoshika, S., & Yamauti, M. (2020). The microtensile bond strength test: Its historical background and application to bond testing. *Jpn Dent Sci Rev*, 56(1), 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.10.001>
- Sayed, M., Matsui, N., Uo, M., Nikaido, T., Oikawa, M., Burrow, M. F., & Tagami, J. (2019). Morphological and elemental analysis of silver penetration into sound/demineralized dentin after SDF application. *Dent Mater*, 35(12), 1718-1727. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.08.111>
- Seifo, N., Robertson, M., MacLean, J., Blain, K., Grosse, S., Milne, R., Seeballuck, C., & Innes, N. (2020). The use of silver diamine fluoride (SDF) in dental practice. *Br Dent J*, 228(2), 75-81. <https://doi.org/10.1038/s41415-020-1203-9>
- Sharma, G., Puranik, M. P., & K, R. S. (2015). Approaches to Arresting Dental Caries: An Update. *J Clin Diagn Res*, 9(5), Ze08-11. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2015/12774.5943>
- Shinoda, Y., Nakajima, M., Hosaka, K., Otsuki, M., Foxton, R. M., & Tagami, J. (2011). Effect of smear layer characteristics on dentin bonding durability of HEMA-free and HEMA-containing one-step self-etch adhesives. *Dent Mater J*, 30(4), 501-510. <https://doi.org/10.4012/dmj.2011-001>
- Tjäderhane, L., Larjava, H., Sorsa, T., Uitto, V. J., Larmas, M., & Salo, T. (1998). The activation and function of host matrix metalloproteinases in dentin matrix breakdown in caries lesions. *J Dent Res*, 77(8), 1622-1629. <https://doi.org/10.1177/00220345980770081001>
- Uctasli, M., Stape, T. H. S., Mutluay, M. M., & Tezvergil-Mutluay, A. (2023). Silver diamine fluoride and resin-dentin bonding: Optimization of application protocols. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 126, 103468. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2023.103468>
- Wagner, A., Wendler, M., Petschelt, A., Belli, R., & Lohbauer, U. (2014). Bonding performance of universal adhesives in different etching modes. *J Dent*, 42(7), 800-807. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.04.012>
- Young, D. A., Quock, R. L., Horst, J., Kaur, R., MacLean, J. K., Frachella, J. C., Duffin, S., Semprum-Clavier, A., & Ferreira Zandona, A. G. (2021). Clinical Instructions for Using Silver Diamine Fluoride (SDF) in Dental Caries Management. *Compend Contin Educ Dent*, 42(6), e5-e9.
- Zarella, B. L., Cardoso, C. A., Pelá, V. T., Kato, M. T., Tjäderhane, L., & Buzalaf, M. A. (2015). The role of matrix metalloproteinases and cysteine-cathepsins on the progression of dentine erosion. *Arch Oral Biol*, 60(9), 1340-1345. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.06.011>
- Zhao, I. S., Gao, S. S., Hiraishi, N., Burrow, M. F., Duangthip, D., Mei, M. L., Lo, E. C., & Chu, C. H. (2018). Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: a literature review. *Int Dent J*, 68(2), 67-76. <https://doi.org/10.1111/idj.12320>.

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).