

การวิเคราะห์สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์บนเนื้อฟันมนุษย์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

อธิมาศ ภัฏอนันต์* เกศราภรณ์ คะชา** ชัยญูชา อุ่บ้าน** เบญญาภา พุกษ์อักษรกุล**
ณภัทร์ ลักนาเคนทร์** วรุณี เกิดวงศ์บัณฑิต**

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: ศึกษาผลของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดต่อการอุดต่อเนื้อฟัน ความลึกของสารที่สามารถเข้าไปในท่อเนื้อฟัน และการคงอยู่ของสารในท่อเนื้อฟัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: แผ่นเนื้อฟันกรามใหญ่ซี่ที่สามจำนวน 24 ซี่ ถูกกัดผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริก ร้อยละ 37 แบ่งเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซี่ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่ม 2 ทาสารลดการเสียวฟันเอ็มเอสพอลิเมอร์ กลุ่ม 3-6 ทาสารลดการเสียวฟันเอ็มเอสพอลิเมอร์ แล้วไปแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส เป็นเวลา 1 3 6 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ศึกษาการอุดต่อเนื้อฟันและความลึกของสารที่เข้าไปในท่อเนื้อฟันของแผ่นเนื้อฟันทั้งหมด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในแนวตัดขวางและแนวความยาวของท่อเนื้อฟัน

ผลการศึกษา: ท่อเนื้อฟันหลังกัดกรดฟอสฟอริกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.34-3.43 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.94 ไมโครเมตร การทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานเอ็มเอสพอลิเมอร์ พบสารอุดต่อเนื้อฟันและลึกเข้าไปในท่อเนื้อฟัน โดยสารสามารถเข้าไปในท่อเนื้อฟันลึก 105.75-119.42 ไมโครเมตร ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จำนวนผลึกของสารลดลงเมื่อเวลาผ่านไปหลังแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิสเป็นเวลา 1 3 6 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ เริ่มจากก่อนแช่ร้อยละ 83.34 และลดลงจนเป็นร้อยละ 73.47 66.20 56.32 และ 46.19 (ภาพตัดขวางท่อเนื้อฟัน) เริ่มจากก่อนแช่ร้อยละ 78.31 และลดลงจนเป็นร้อยละ 73.61 58.68 56.24 และ 43.35 (ภาพขนานท่อเนื้อฟัน) สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ในทุกกลุ่มอุดต่อเนื้อฟันโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับแผ่นเนื้อฟันที่ถูกกรดกัดที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ($p < 0.01$)

สรุป: สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพและคงอยู่ ในการอุดและลึกเข้าไปในท่อเนื้อฟันมากกว่าร้อยละ 50 หลังทาสาร 12 ชั่วโมง

คำสำคัญ: เนื้อฟันที่ไวต่อการเสียว เอ็มเอสพอลิเมอร์ สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

วันที่รับ: 4 กันยายน 2566

วันที่แก้ไข: 23 มิถุนายน 2567

วันที่ตอบรับ: 11 กันยายน 2567

*โรงพยาบาลพระนั่งเกล้า 91 ถนนธนบุรี ต.บางกระสอ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

**สำนักวิชาทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง 365 หมู่ 12 ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57100

Scanning Electron Microscopic Analyses of Polymer-Based Desensitizing Agent on Human Dentine

Athimas Chatanan* Ketsaraporn Kacha** Chitnucha Oonban** Benyapa Phruekakkharakun**
Napat Luppakan** Varunee Kerdvongbundit**

Abstract

Objectives: To evaluate the effects of polymer-based desensitizing agent by scanning electron microscope that occludes, penetrates into and persists in the dentinal tubules.

Materials and Methods: Twenty-four dentine discs from third molars were etched with 37% phosphoric acid and divided into 6 groups (each group 4 pieces); Group 1: served as control, Group 2: applied with MS polymer desensitizer, Group 3-6: applied with MS polymer desensitizer and immersed in reversed osmosis water for 1, 3, 6 and 12 hours, respectively. All dentine discs were examined dentinal tubule occlusion and penetration by SEM in both cross-sectional and longitudinal views.

Results: The diameters of dentinal tubules that etched with phosphoric acid were 2.34 to 3.43 μm and the mean was 2.94 μm . The MS polymer-based desensitizing agent occluded and penetrated into the dentinal tubules at the depth from 105.75 to 119.42 μm on magnification 1,000X. When the samples were immersed in reverse osmosis water for 1, 3, 6 and 12 hours, the particles decreased respectively from before immersed 83.34 to 73.47, 66.20, 56.32 until 46.19 % in cross-sectional view and from before immersed 78.31 to 73.61, 58.68, 56.24 until 43.35 % in longitudinal view. The polymer-based desensitizing agent in all groups were statistically significant difference occluded dentinal tubules compared to etched dentine discs on magnification 1,000X ($p < 0.01$).

Conclusion: Polymer-based desensitizing agent has efficiency and persist in dentinal tubule occlusion and penetration more than 50% after 12 hours of application.

Keywords: Hypersensitive dentine, MS polymer, Polymer-based desensitizing agent, Scanning electron microscope

Received Date: Sep 4, 2023

Revised Date: Jun 23, 2024

Accepted Date: Sep 11, 2024

*Pranangklae Hospital 91 Nonthaburi Road, Bang Krasaw, Mueang Nonthaburi District, Nonthaburi 11000, Thailand

**School of Dentistry, Mae Fah Luang University, Mae Fah Luang University 365 Moo 12, Nang Lae Subdistrict, Mueng Chiang Rai District, Chiang Rai 57100, Thailand

บทนำ (Introduction)

อาการเสียวฟันมักมาจากหลายสาเหตุ เช่น เหงือกกร่น (gingival recession) ฟันสึกจากการขัดถู (abrasion) กรด (erosion) แร่งที่ไม่ลงตามแนวแกนฟัน (abfraction) หรือการรักษาทางทันตกรรม เช่น การขูดหินน้ำลายและเกลารากฟัน (scaling and root planing) การสูญเสียชั้นเคลือบฟัน (enamel) นำไปสู่เนื้อฟันที่เผยผิง (exposed dentine) (1-2) ซึ่งในชั้นเนื้อฟันมีท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) ที่มีของเหลวอยู่ภายใน หากเกิดการเคลื่อนไหวของของเหลวภายในท่อเนื้อฟันจากสิ่งกระตุ้น เช่น น้ำเย็น น้ำร้อน ของหวาน การเขี่ย (exploration) การเป่าลม (air blow) ก็เกิดอาการเสียวฟัน ตามทฤษฎีการเคลื่อนไหวของของเหลวในท่อเนื้อฟัน (hydrodynamic theory) (3) ในปัจจุบันมีการรักษาหลายรูปแบบทั้งรุกราน (invasive) เช่น การบูรณะเนื้อฟันด้วยวัสดุอุดฟัน และไม่รุกราน (non-invasive) เช่น ทาสารเคลือบฟันที่มีคุณสมบัติอุดท่อเนื้อฟัน (block dentinal tubule) และยับยั้งการกระตุ้นกระแสประสาท (depolarizing nerve synapse) (4) จึงเป็นที่นิยมใช้ยาสีฟันที่มีส่วนผสมของฟลูออไรด์เป็นการรักษาแบบไม่รุกราน และเลือกใช้วิธีนี้เป็นอันดับแรก (5) ส่วนการนำสารที่มีคุณสมบัติอุดท่อเนื้อฟันเพื่อลดการเสียวฟันก็มีการใช้อย่างกว้างขวาง โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท (6) คือ ตามการใช้งาน มีแบบที่ใช้ที่บ้าน จะใช้ง่ายและสามารถใช้รักษาฟันหลายซี่ เช่น ผงขัดฟัน (tooth powder) ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปากและหมากฝรั่ง สำหรับแบบที่ใช้โดยทันตแพทย์หรือทันตบุคลากร วิธีนี้ซับซ้อนและมีค่าใช้จ่าย ใช้ในการรักษาฟันบางซี่ นอกจากนี้ยังแบ่งตามกลไกการทำงาน (mechanism of action) เช่น ชัดขวางการไหลของของเหลวในท่อเนื้อฟัน (blocking the flow of tubular liquid) การอุดท่อเนื้อฟัน (occlusion of dentinal tubule) เช่น ฟลูออไรด์ (Fluoride) โดยการตกตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์คริสตัล (Calcium Fluoride crystal) ออกซาเลต (Oxalate) โดยการรวมกลุ่มของแคลเซียมออกซาเลต (Calcium Oxalate) จึงลดการซึมผ่านเนื้อฟัน (dentine permeability) ได้ถึงร้อยละ 98 (7,8) เช่น เอ็มเอสพอลิเมอร์ (MS polymer) และโพแทสเซียม

ออกซาเลต (Potassium Oxalate) วาร์นิช (Varnish) ใช้การคลุมเนื้อฟันที่เผยผิง เช่น โคปอล วาร์นิช (Copal Varnish) แอดฮีซีฟเรซิน (adhesive resin) สารเคลือบท่อเนื้อฟัน เช่น วาร์นิชบอนด์ดีเอ็นเอเจนท์ (bonding agent) กลูมา (Gluma®) และอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังมีสารที่ลดการตอบสนองเส้นประสาทที่มีผลต่อความเจ็บปวด เช่น โพแทสเซียมไนเตรต (Potassium Nitrate) โดยประจุโพแทสเซียมผ่านเข้าไปในท่อเนื้อฟัน จึงลดการกระตุ้นเส้นประสาทที่นำไปสู่ความเจ็บปวด จากการศึกษาของ Davies และคณะ ปี 2011 (9) พบการอุดท่อเนื้อฟันด้วยยาสีฟัน 3 ชนิด ที่มีส่วนผสมอาร์จินีน (Arginine) สตรอนเทียม (Strontium) และฟลูออไรด์ พบการอุดท่อเนื้อฟัน ถึงแม้หลังจากการทดสอบด้วยกรด (acid challenge) นอกจากนี้ยังพบการอุดท่อเนื้อฟันหลังใช้โพแทสเซียมออกซาเลต (10) และมีการศึกษาถึงการลดอาการเสียวฟันด้วยสารชนิดต่าง ๆ (6) ทั้งนี้การศึกษาในปี 2021 พบการใช้โพแทสเซียมออกซาเลตร้อยละ 3 ลดการเสียวฟันในมนุษย์ โดยคงผลการอุดท่อเนื้อฟันและลดการซึมผ่านเนื้อฟันจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง (11) ส่วน Kijssamanmith และคณะ (12) พบฟลูออไรด์ ออกซาเลตและแอดฮีซีฟเรซินหยุดการเคลื่อนไหวของของเหลวในท่อเนื้อฟัน จึงลดการซึมผ่านเนื้อฟัน นอกจากนี้กรดอินทรีย์ (organic acid) ในอาหารจะละลายชั้นสเมียร์ (smear layer) หรือสารที่อุดท่อเนื้อฟันทำให้ท่อเนื้อฟันเปิด เพิ่มการซึมผ่านของเนื้อฟันตลอดจนการเสียวฟัน (13)

เมทิลเมทาโครเลต-พี-สไตรีนซัลโฟนิคแอซิด โคพอลิเมอร์ (Methyl Methacrylate-P-Styrene Sulfonic acid copolymer) หรือเอ็มเอสพอลิเมอร์ เป็นโคพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำ ประกอบด้วยเมทิลเมทาโครเลตและกรดสไตรีนซัลโฟนิค เมื่อมีการทาบบนผิวเนื้อฟัน จะสร้างพันธะกับแคลเซียมไอออน (Calcium ion) ที่ปล่อยออกมาจากชั้นสเมียร์ (smear layer) บนพื้นผิวเนื้อฟันและยึดติดบนผิวของเนื้อฟัน เกิดเป็นโครงสร้างผลึกพอลิเมอร์ของแคลเซียมที่ไม่ละลายน้ำ ปกคลุมท่อเนื้อฟันที่เผยผิง จึงอุดปิดท่อเนื้อฟัน (14) การศึกษาในปี 2015 รายงานการใช้สารลดการเสียวฟันเอ็มเอส

พอลิเมอร์ที่มีโซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride) ที่เรียกว่าเอ็มเอสโคทเอฟ (MS coat F) พบฟลูออไรด์ไอออน (Fluoride ion) ถูกปล่อยออกมาปิดท่อนเนื้อฟันและลดการเกิดการปราศจากแร่ธาตุ (demineralization) แม้ภายใต้ภาวะที่เป็นกรด และห้วงผลยับยั้งการพุดของฟันได้อีกด้วย (15) จากการสารลดการเสียวฟันเอ็มเอสพอลิเมอร์ที่มีฟลูออไรด์เป็นเวลา 5 นาที จะทำให้ฟลูออไรด์ซึมผ่านเข้าเนื้อฟันได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับการทาสารลดการเสียวฟัน 30 วินาที จึงสามารถทนกรด (acid resistant) ได้มากขึ้น (16)

อีกทั้งมีรายงานว่า สารลดการเสียวฟันที่มีเอ็มเอสพอลิเมอร์อุดท่อนเนื้อฟัน และสามารถลดอาการเสียวฟันจากการกระตุ้นของอุณหภูมิ เชิงกลและจากสารเคมีได้อย่างไรก็ตามสารลดการเสียวฟันที่มีเอ็มเอสพอลิเมอร์ยังประกอบไปด้วยกรดออกซาลิก (Oxalic acid) ร้อยละ 1 ยังสามารถอุดท่อนเนื้อฟันได้ลึกและดีกว่าสารลดการเสียวฟันที่มีฟลูออโรลูมิเนียมแคลเซียมซิลิเกตเป็นองค์ประกอบ (Fluoro Alumino Calcium silicate-based desensitizer) และสารลดการเสียวฟันที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ (Calcium Phosphate-based desensitizer) ในปัจจุบันมีการพัฒนาองค์ประกอบของสารลดการเสียวฟันที่มีเอ็มเอสพอลิเมอร์ โดยเพิ่มความเข้มข้นของของเหลวในรูปแบบเจล เพื่อเพิ่มการยึดติดบนผิวเนื้อฟัน โซเดียมฟลูออไรด์และโพแทสเซียมฟอสเฟต (Potassium Phosphate) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อฟันและลดการกระตุ้นเส้นประสาทในตัวฟัน (14-15,17) แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเอ็มเอสพอลิเมอร์ กรดออกซาลิกและฟลูออไรด์ไอออน รวมทั้งการอุดปิดและคงอยู่ในท่อนเนื้อฟันยังคงไม่ทราบแน่ชัด (14,18) การศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (polymer-based desensitizing agent) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ในการอุดท่อนเนื้อฟัน ความลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่สามารถเข้าไปในท่อนเนื้อฟัน ประสิทธิภาพการคงอยู่ของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปและอยู่ในท่อนเนื้อฟัน ณระยะเวลาที่ต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

การศึกษานี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง 2565 รหัสโครงการวิจัย: EC 22113-22 COA: 140/2022 โดยเป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้แผ่นเนื้อฟัน (dentine disc) มนุษย์ ที่มีอายุ 18-25 ปี จากฟันกรามใหญ่ซี่ที่สาม (19-21) ซึ่งปราศจากโรคปริทันต์ ฟันผุ การบูรณะ การรักษาคลองรากฟัน ตัวฟันแตก ฟันสึกจากการขัดถู สีกร่อนจากการด การละลายของรากฟัน ภายนอก/ภายใน ความผิดปกติระหว่างการสร้างฟัน การแตกร้าว จำนวน 24 ซี่ (14,22)

การดำเนินการวิจัย

เก็บฟันที่ถอนจากคลินิกทันตกรรม สำนักวิชาทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ซึ่งแช่อยู่ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ที่มีส่วนประกอบของยาอะม็อกซิซิลลิน (Amoxicillin) 500 มิลลิกรัม/ลิตร (23) นำมาเลือกฟันที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ชะล้างและซูดเนื้อเยื่อรอบฟันให้หมดจนสะอาด จำนวน 24 ซี่ ดังนี้

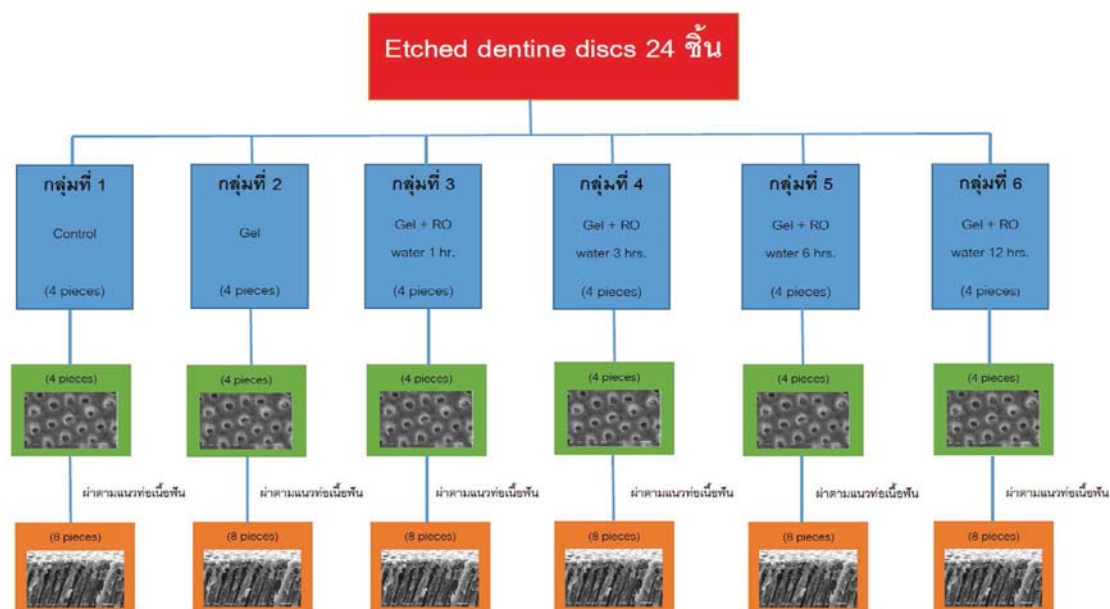
นำไปแช่ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ที่มีส่วนประกอบของยาอะม็อกซิซิลลิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งหลังจากถอนฟัน ฟันจะถูกนำมาวิจัยภายใน 2 เดือน นำฟันไปตัดในแนวตัดขวาง (cross section) ห่างจากยอดปุ่มฟัน 2 มิลลิเมตร (10) เพื่อให้ได้แผ่นเนื้อฟันด้วยดิสเพชร (diamond disc) (16) ให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร (24) นำไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 1,000 1,200 1,500 2,000 และ 3,000 ตามลำดับ เก็บชิ้นเนื้อฟันทั้งหมดไว้ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ที่มีส่วนประกอบของยาอะม็อกซิซิลลิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อรอทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (Sun Medical Co., Ltd., Shiga, Japan) ที่ประกอบด้วย โพลีเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl-Methacrylate) โพลีสไตรีนซิลโฟนิคแอซิดโคพอลิเมอร์ กรดออกซาลิก ฟลูออไรด์และน้ำ โดยก่อนนำไปทดสอบให้นำไปทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิค (Ultrasonic cleaner) กัดผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)

ความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 15 วินาที เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ นำไปล้างด้วยน้ำรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis water) นาน 1 นาที เก็บเป็นกลุ่มที่ 1 จำนวน 4 ชิ้น นำเนื้อฟันที่เหลือ 20 ชิ้น มาหาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ในปริมาณเท่ากับเมล็ดข้าว เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (ตามคำแนะนำของบริษัท ไดรฟ์ เติ้นท์ล อินคอร์ปอเรชั่น จำกัด) นำผิวเนื้อฟันไปล้างน้ำรีเวอร์สออสโมซิส เพื่อเก็บเป็นกลุ่มที่ 2 จำนวน 4 ชิ้น นำเนื้อฟันที่เหลือ 16 ชิ้น ไปแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส เป็นเวลา 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง เก็บไว้เป็นกลุ่มที่ 3, 4, 5 และ 6 จำนวนกลุ่มละ 4 ชิ้น

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

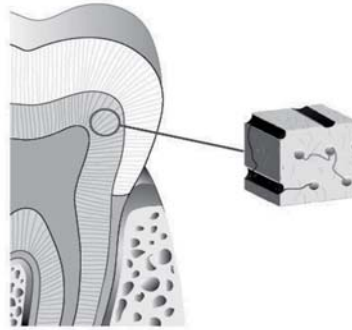
นำแผ่นเนื้อฟันที่กัดผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริก จำนวน 24 ชิ้น จัดเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 4 ชิ้น กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2 ชัดด้วยสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ กลุ่มที่ 3-6 ชัดด้วยสารลดการเสียวฟัน

พื้นฐานพอลิเมอร์ นำไปแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส เป็นเวลา 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 นำแผ่นเนื้อฟันแต่ละกลุ่มจำนวน 4 ชิ้น ไปเตรียมศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM; Mira, Tescan, Czech Republic) เพื่อศึกษาภาพในแนวขวางต่อเนื้อฟัน หลังจากนั้นนำแผ่นเนื้อฟันทั้งหมดไปผ่าตามแนวความยาวของท่อเนื้อฟัน ดังนั้นในแต่ละกลุ่มจะมีแผ่นเนื้อฟันในแนวขนานต่อเนื้อฟันจำนวน 8 ชิ้น แล้วนำไปเตรียมเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (25) โดยเก็บชิ้นเนื้อฟันไว้ในโถดูดความชื้น (desiccator) อย่างน้อย 2 วัน ระหว่างรอการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (10) เนื้อฟันประกอบไปด้วยท่อเนื้อฟันที่รวมตัวกันดังรูปที่ 2 หากเคลือบฟัน/เคลือบรากฟันสึกหรือหายไป จะทำให้ท่อเนื้อฟันโผล่และเกิดอาการเสียวฟัน การใช้สารอุดท่อเนื้อฟันจะช่วยลดอาการเสียวฟันได้



รูปที่ 1 แผนผังแสดงการเตรียมและแบ่งกลุ่มชิ้นตัวอย่าง

Fig 1. A diagram showing the preparation and grouping of samples.



รูปที่ 2 แสดงท่อเนื้อฟันในแนวตัดขวางและแนวขนานท่อเนื้อฟัน

Fig 2. Block section of dentine shows the cross-sectional and parallel views of dentinal tubule.

การวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งเป็น 2 ชุด

ข้อมูลชุดที่ 1 เป็นการศึกษาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่อุดท่อเนื้อฟัน โดยนับผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่อุดท่อเนื้อฟัน จากภาพแนวตัดขวางท่อเนื้อฟันที่กำลังขยาย 1,000 3,000 และ 5,000 เท่า โดยไม่ได้คำนวณที่กำลังขยาย 3,000 และ 5,000 เท่า เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ศึกษา (area of interest) ถูกขยาย ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ทำให้ค่าที่ได้ไม่

น่าเชื่อถือเมื่อเทียบกับค่าของ 1,000 เท่า เกณฑ์การนับท่อเนื้อฟันตามแนวตัดขวาง คือ นับท่อเนื้อฟันทุกท่อ ส่วนท่อที่อยู่ที่ยอดของภาพจะนับเมื่อเห็นมากกว่าสองในสามของท่อเนื้อฟันทั้งหมด ส่วนเกณฑ์การนับอนุภาคของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปท่อเนื้อฟันคือ การมีผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์

คำนวณออกมาเป็นร้อยละของท่อเนื้อฟันที่มีสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์

$$\text{ร้อยละของท่อเนื้อฟันที่มีสารลดการเสียวฟัน} = \frac{\text{จำนวนท่อเนื้อฟันที่มีสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์} \times 100}{\text{จำนวนท่อเนื้อฟันทั้งหมด}}$$

จัดจำแนกเป็น 5 กลุ่ม ตามการอุดของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (9,25)

- กลุ่ม 1 อุดท่อเนื้อฟันทั้งหมด (ร้อยละ 100)
- กลุ่ม 2. อุดท่อเนื้อฟันส่วนใหญ่ (ร้อยละ 50 ถึงน้อยกว่า 100)
- กลุ่ม 3. อุดท่อเนื้อฟันบางส่วน (ร้อยละ 25 ถึงน้อยกว่า 50)
- กลุ่ม 4. อุดท่อเนื้อฟันส่วนน้อย (ร้อยละน้อยกว่า 25)
- กลุ่ม 5. ไม่อุดท่อเนื้อฟัน (ร้อยละ 0)

ข้อมูลชุดที่ 2 เป็นการศึกษาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน โดยนับผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ในท่อเนื้อฟัน จาก

ภาพตัดแนวขนานท่อเนื้อฟัน เกณฑ์การนับท่อเนื้อฟันตามแนวท่อเนื้อฟัน จะพิจารณาท่อเนื้อฟันที่เห็นลักษณะท่ออย่างต่อเนื่อง

คำนวณเป็นร้อยละของจำนวนท่อเนื้อฟันที่มีสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์เข้าไป (ที่กำลังขยาย 1,000 3,000 และ 5,000 เท่า)

$$\text{ร้อยละของท่อเนื้อฟันที่มีสารลดการเสียวฟัน} = \frac{\text{จำนวนท่อเนื้อฟันที่มีสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์} \times 100}{\text{จำนวนท่อเนื้อฟันทั้งหมด}}$$

ส่วนความลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน จากภาพตัดแนวขนานท่อเนื้อฟัน วัดจากระยะตั้งแต่พื้นผิวของท่อเนื้อฟันจนถึงระยะลึกที่สุดของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่สามารถเข้าไปในแต่ละท่อเนื้อฟัน ซึ่งผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์มีโอกาสหลุดออกระหว่างขั้นตอนการศึกษา จึงไม่นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ แต่ใช้ในการพรรณนาความลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟันเป็นไมโครเมตร (μm) โดยศึกษาความลึกของผลึกสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่ลึกที่สุดในการศึกษานี้ใช้กำลังขยาย 1,000 เท่า ไม่ได้ศึกษาที่ 3,000 และ 5,000 เท่า เพื่อให้ได้ความลึกที่สุดที่สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์สามารถลงไปได้

ขั้นตอนที่ใช้ศึกษาทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในภาชนะปิด เพื่อป้องกันฝุ่นละอองหรือสิ่งปนเปื้อน เนื่องจากอาจถูกนำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดอีกครั้งเมื่อต้องการ เมื่อเสร็จสิ้นการศึกษาวิจัยจะรวบรวมฟันดังกล่าว ไปทิ้งในถังขยะติดเชื้อของสำนักวิชาทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

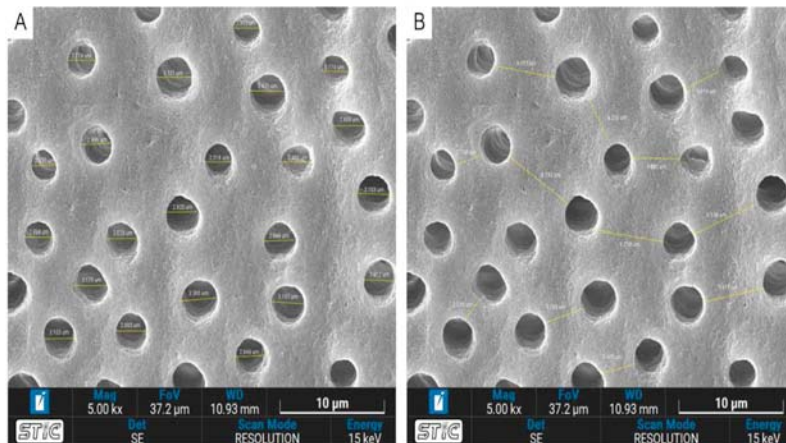
นำข้อมูลทั้ง 2 ชุด มาคำนวณสถิติใน IBM SPSS Statistics 29.0.0.0 (IBM Corporation New Orchard Road Armonk, NY 10504, USA) โดยนำมาทดสอบชาปีโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) พบว่าข้อมูลเป็นชนิดพาราเมตริก (parametric) จึงใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one – way analysis of variance, ANOVA) ตามด้วยการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (posteriori tests หรือ post hoc test) โดยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ (multiple comparison) ในการศึกษาจะใช้ทุกิเอชเอสดี (Tukey HSD) และเชฟฟี (Scheffe) สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลชุดที่

1 ซึ่งเป็นการศึกษาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่อุดท่อเนื้อฟัน โดยนับผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่อุดท่อเนื้อฟัน จากภาพแนวตัดขวางท่อเนื้อฟันที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ($p < 0.01$) ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 เป็นการศึกษาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน โดยนับผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ในท่อเนื้อฟัน จากภาพตัดแนวขนานท่อเนื้อฟัน ใช้ในการพรรณนาการเข้าไปในท่อเนื้อฟันของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์

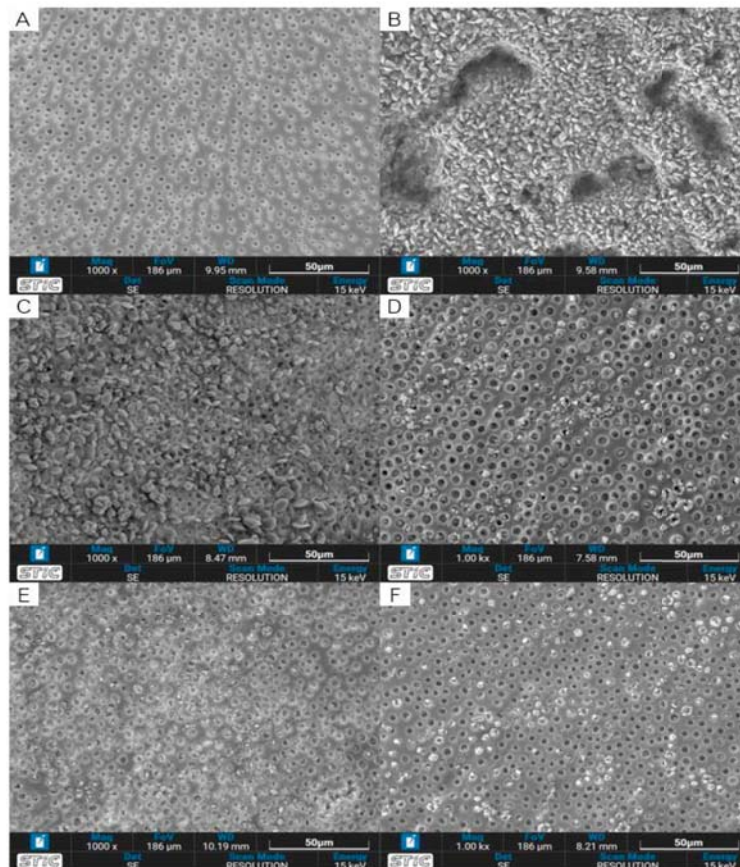
ผลการศึกษา (Results)

แผ่นเนื้อฟันทุกชั้นที่นำมากัดด้วยกรดฟอสฟอริก มีลักษณะของท่อเนื้อฟันที่ไม่มีชั้นสเมียร์ พบเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันมีขนาด 2.34-3.43 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.94 ไมโครเมตร และระยะระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentine) มีค่า 2.02-6.78 ไมโครเมตร (รูปที่ 3) เช่นเดียวกับภาพตัดขวางและภาพแนวขนานท่อเนื้อฟัน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของท่อเนื้อฟันที่กำลังขยาย 1,000 3,000 และ 5,000 เท่า ดังแสดงในรูป 4A-9A หลังจากทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ พบผลึกพอลิเมอร์ปกคลุมท่อเนื้อฟันที่เผยผิง (รูปที่ 4B-6B) และอยู่ภายในท่อเนื้อฟัน (รูปที่ 7B-9B) เมื่อนำไปแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิสเป็นเวลา 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง จะพบว่าผลึกลดลงตามเวลาที่ผ่านไป ทั้งภาพตัดขวางและภาพแนวขนานท่อเนื้อฟัน (รูปที่ 4C-9C, 4D-9D, 4E-9E และ 4F-9F)

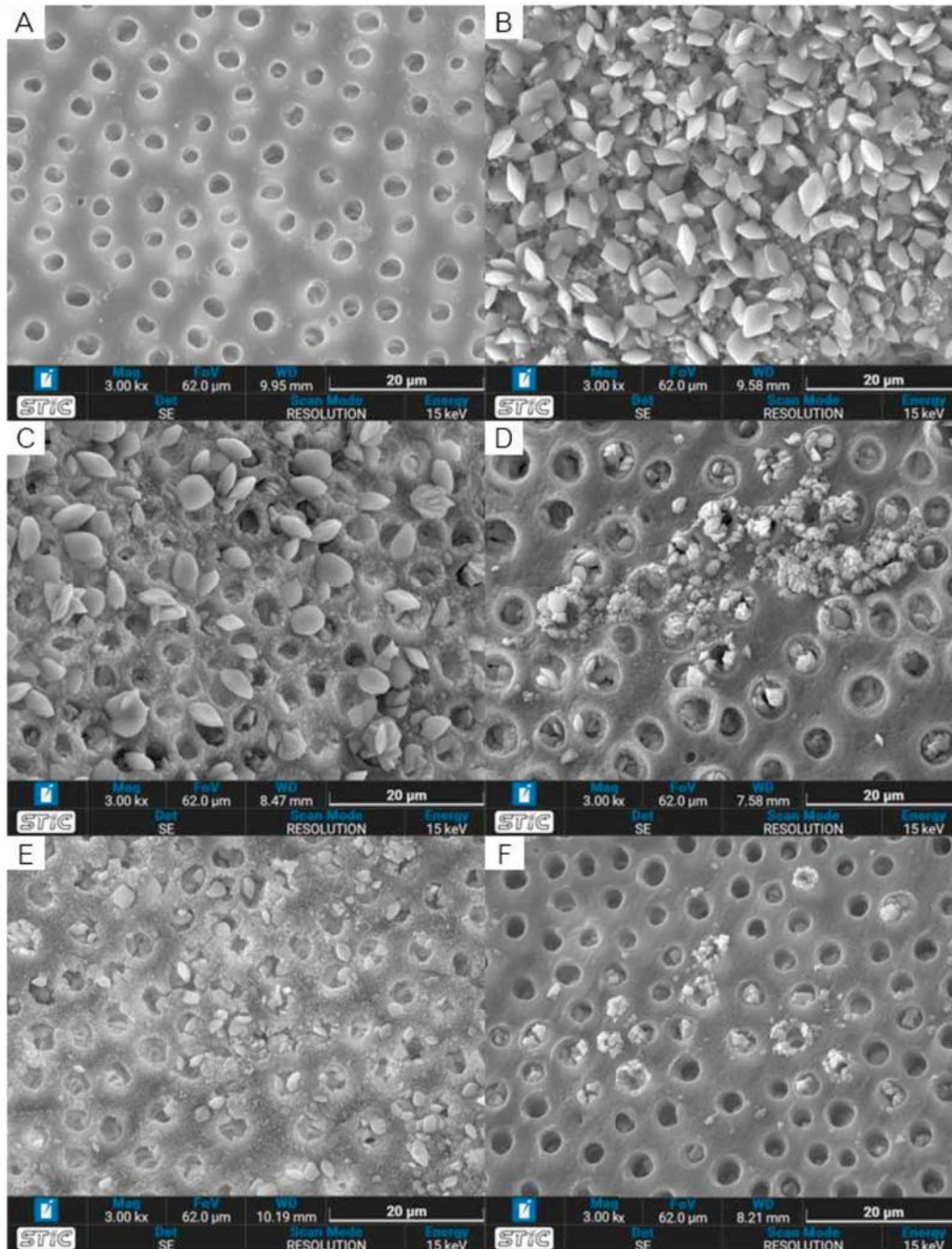
จากการศึกษาชั้นตัวอย่างที่ทาเจลต่างหลอดกัน พบว่าอนุภาคของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ทั้งสองหลอดมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน จะเห็นว่ามีการพบผลึกที่รวมตัวกันเป็นกลุ่ม ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4, 5 และ 6



รูปที่ 3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟัน (A) และระยะระหว่างท่อเนื้อฟัน (B) หลังกัดด้วยกรดฟอสฟอริก ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า
 Fig 3. SEM micrographs of diameter of dentinal tubules (A) and intertubular dentine (B) after phosphoric acid etched on magnification 1,000X.

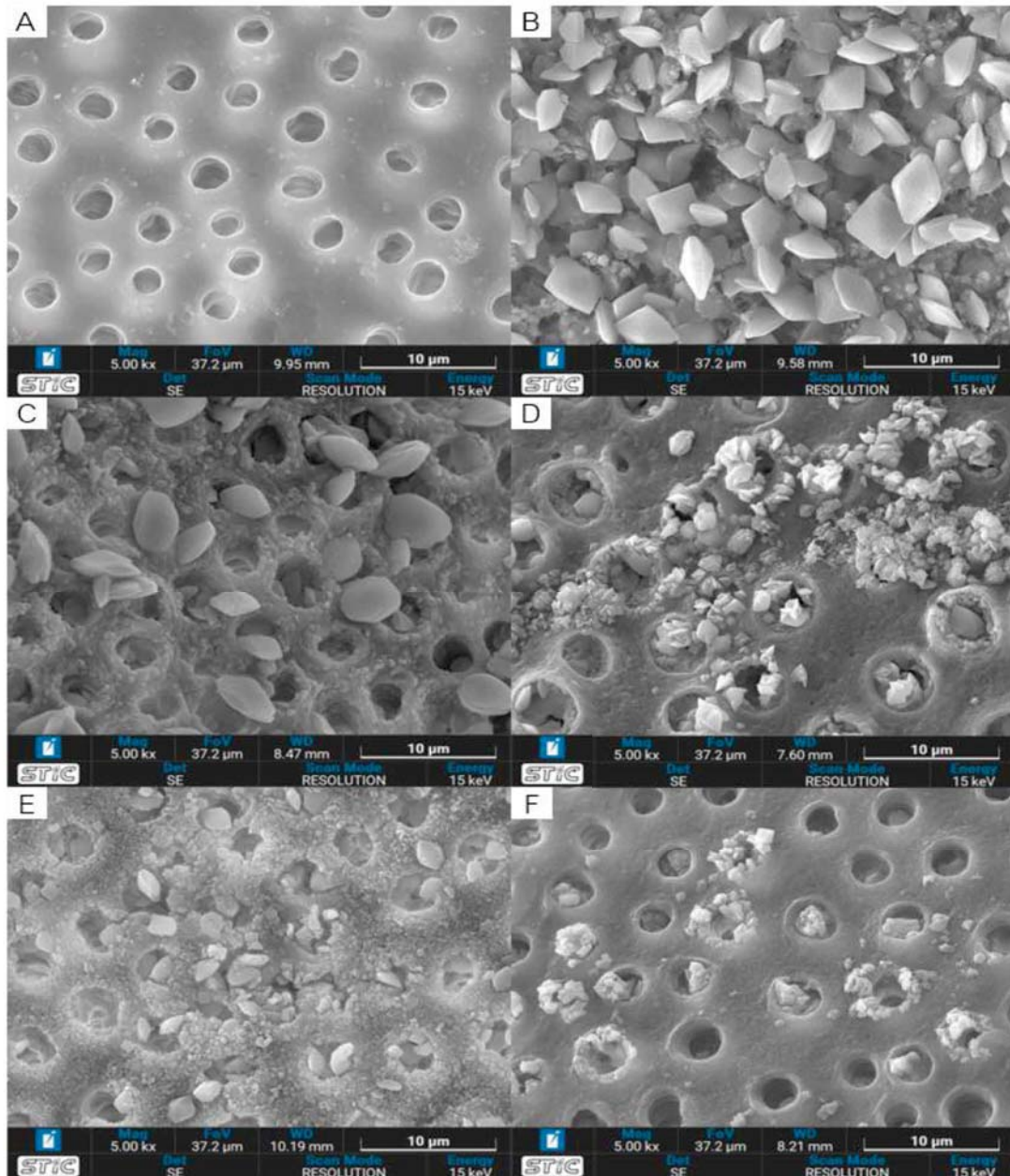


รูปที่ 4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงท่อเนื้อฟันในแนวตัดขวางหลังกัดด้วยกรดฟอสฟอริก (A) แล้วทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (B) หลังจากแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส 1 ชั่วโมง (C) 3 ชั่วโมง (D) 6 ชั่วโมง (E) และ 12 ชั่วโมง (F) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า
 Fig 4. SEM micrographs of the cross sectional view of dentinal tubules after phosphoric acid etched (A) then applied MS polymer (B) immersed in reverse osmosis water 1 hour (C) 3 hours (D) 6 hours (E) and 12 hours (F) on magnification 1,000X.



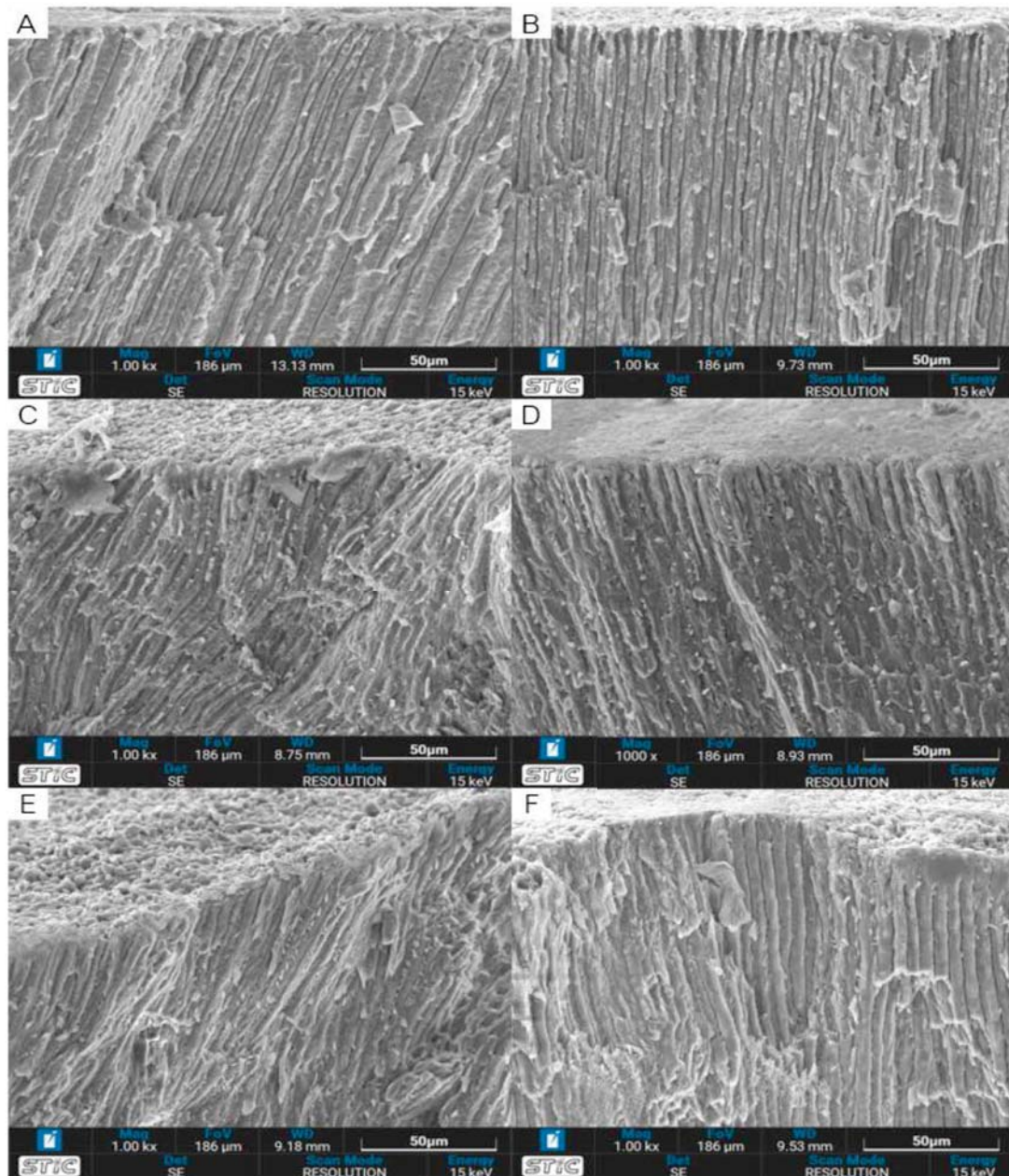
รูปที่ 5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงท่อเนื้อฟันในแนวตัดขวางหลังกัดด้วยกรดฟอสฟอริก (A) แล้วทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (B) หลังจากแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส 1 ชั่วโมง (C) 3 ชั่วโมง (D) 6 ชั่วโมง (E) และ 12 ชั่วโมง (F) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

Fig 5. SEM micrographs of the cross sectional view of dentinal tubules after phosphoric acid etched (A) then applied MS polymer (B) immersed in reverse osmosis water 1 hour (C) 3 hours (D) 6 hours (E) and 12 hours (F) on magnification 3,000X.



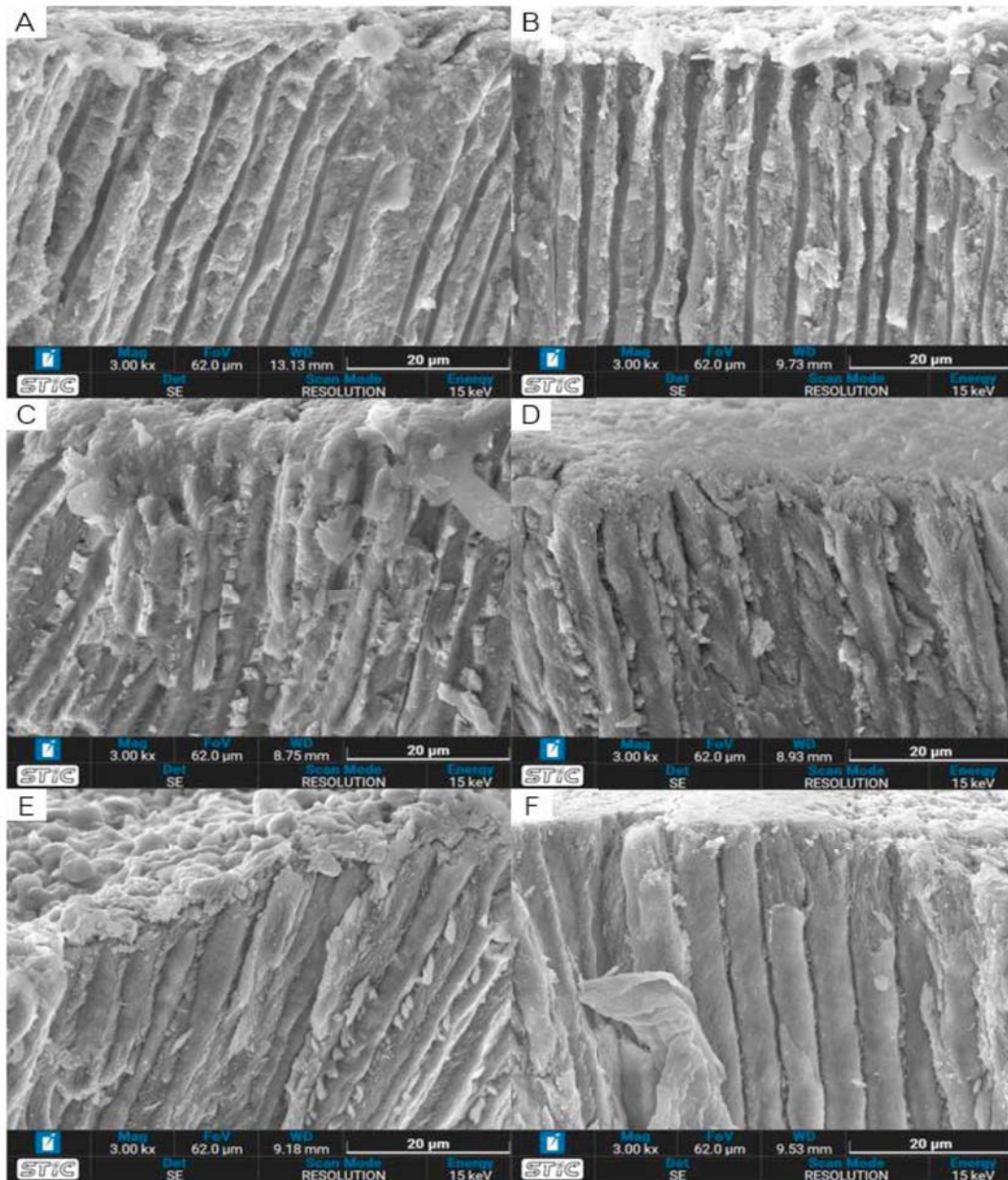
รูปที่ 6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงท่อเนื้อฟันในแนวตัดขวางหลังกัดด้วยกรดฟอสฟอริก (A) แล้วทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (B) หลังจากแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส 1 ชั่วโมง (C) 3 ชั่วโมง (D) 6 ชั่วโมง (E) และ 12 ชั่วโมง (F) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

Fig 6. SEM micrographs of the cross sectional view of dentinal tubules after phosphoric acid etched (A) then applied MS polymer (B) immersed in reverse osmosis water 1 hour (C) 3 hours (D) 6 hours (E) and 12 hours (F) on magnification 5,000X.



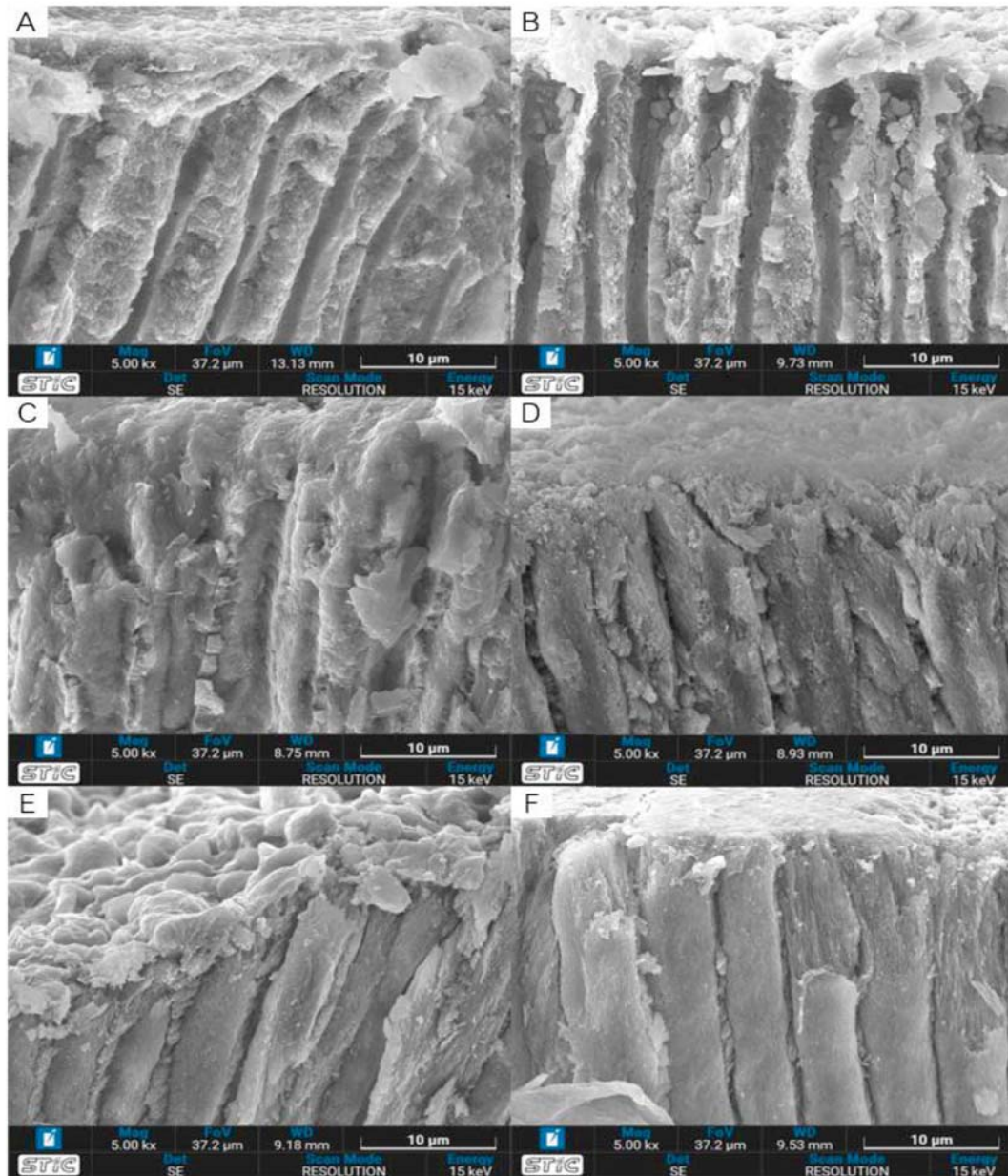
รูปที่ 7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงท่อเนื้อฟันที่ตัดในแนวขนานท่อเนื้อฟันหลังกัดด้วยกรดฟอสฟอริก (A) แล้วทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (B) หลังจากแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส 1 ชั่วโมง (C) 3 ชั่วโมง (D) 6 ชั่วโมง (E) และ 12 ชั่วโมง (F) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

Fig 7. SEM micrographs of the longitudinal sectional view of dentinal tubules after phosphoric acid etched (A) then applied MS polymer (B) immersed in reverse osmosis water 1 hour (C) 3 hours (D) 6 hours (E) and 12 hours (F) on magnification 1,000X.



รูปที่ 8 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงท่อเนื้อฟันที่ตัดในแนวขนานท่อเนื้อฟันหลังกัดด้วยกรดฟอสฟอริก (A) แล้วทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (B) หลังจากแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส 1 ชั่วโมง (C) 3 ชั่วโมง (D) 6 ชั่วโมง (E) และ 12 ชั่วโมง (F) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

Fig 8. SEM micrographs of the longitudinal sectional view of dentinal tubules after phosphoric acid etched (A) then applied MS polymer (B) immersed in reverse osmosis water 1 hour (C) 3 hours (D) 6 hours (E) and 12 hours (F) on magnification 3,000X.



รูปที่ 9 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงท่อเนื้อฟันที่ตัดในแนวขนานท่อเนื้อฟันหลังกัดด้วยกรดฟอสฟอริก (A) แล้วทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ (B) หลังจากแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส 1 ชั่วโมง (C) 3 ชั่วโมง (D) 6 ชั่วโมง (E) และ 12 ชั่วโมง (F) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

Fig 9. SEM micrographs of the longitudinal sectional view of dentinal tubules after phosphoric acid etched (A) then applied MS polymer (B) immersed in reverse osmosis water 1 hour (C) 3 hours (D) 6 hours (E) and 12 hours (F) on magnification 5,000X.

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวตามด้วย ทูทีเอชเอสดีและเชฟฟีของภาพแนวตัดขวางท่อนื้อฟัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแผ่นนื้อฟันที่ถูกกรัดกัด กับแผ่นนื้อฟันที่ทาสารลดการเสียวฟัน พื้นฐานพอลิเมอร์ในทุกกลุ่มการศึกษาที่ ($p < 0.01$) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละของค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการเข้าไปและความลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อนื้อฟัน จากภาพที่ได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของท่อนื้อฟันในแนวขวาง และแนวขนานท่อนื้อฟันที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พบท่อนื้อฟันเผยผิ่ทั้งหมดหลังจากกัดด้วยกรดฟอสฟอริก และหลังจากทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ พบผลึกพอลิเมอร์ปกคลุมท่อนื้อฟันที่เผยผิ่ร้อยละ 83.34 ± 12.17 และ 78.31 ± 11.75 พบผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่ลึกที่สุด 119.42 ไมโครเมตร เมื่อนำไปแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส เป็นเวลา 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง จะพบว่าผลึกลดลงผันตามเวลาที่ผ่านไป โดยภาพนื้อฟันที่ตัดขวางร้อยละ 73.47 ± 6.91 , 66.20 ± 37.21 , 56.32 ± 9.66 และ 46.19 ± 4.71 ที่ 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง และภาพขนานท่อนื้อฟันร้อยละ 73.61 ± 13.02 , 58.68 ± 15.37 , 56.24 ± 13.57 และ 43.35 ± 4.71 ที่ 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง พบความลึกของผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่ 112.15 , 110.74 , 109.86 และ 105.75 ไมโครเมตร ที่ 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละของค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการเข้าไปและความลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อนื้อฟัน จากภาพที่ได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของท่อนื้อฟันในแนวขวาง และแนวขนานท่อนื้อฟันที่กำลังขยาย 3,000 เท่า พบท่อนื้อฟันเผยผิ่ทั้งหมดหลังจากกัดด้วยกรดฟอสฟอริก และหลังจากทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ พบผลึกพอลิเมอร์ปกคลุมท่อนื้อฟันที่เผยผิ่ร้อยละ 86.82 ± 11.29 และ 69.62 ± 24.44 เมื่อนำไปแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส เป็นเวลา 1, 3, 6 และ 12

ชั่วโมง จะพบว่าผลึกลดลงผันตามเวลาที่ผ่านไป โดยภาพนื้อฟันที่ตัดขวางร้อยละ 82.48 ± 9.19 , 79.28 ± 4.34 , 75.07 ± 11.73 และ 75.45 ± 18.23 ที่ 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง และภาพขนานท่อนื้อฟันร้อยละ 64.83 ± 12.42 , 60.22 ± 16.29 , 57.69 ± 11.18 และ 55.87 ± 15.02 ที่ 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 3 เช่นเดียวกับตารางที่ 2 แต่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของท่อนื้อฟันในแนวขวางและแนวขนานท่อนื้อฟันที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบท่อนื้อฟันเผยผิ่ทั้งหมดหลังจากกัดด้วยกรดฟอสฟอริก และหลังจากทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ พบผลึกพอลิเมอร์ปกคลุมท่อนื้อฟันที่เผยผิ่ร้อยละ 95.69 ± 4.98 และ 61.46 ± 22.67 เมื่อนำไปแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส เป็นเวลา 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง จะพบว่าผลึกลดลงผันตามเวลาที่ผ่านไป โดยภาพนื้อฟันที่ตัดขวางร้อยละ 90.53 ± 17.64 , 86.19 ± 10.34 , 76.16 ± 7.86 และ 81.78 ± 7.95 ที่ 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง และภาพขนานท่อนื้อฟันร้อยละ 66.67 ± 10.84 , 64.05 ± 0.76 , 61.01 ± 21.01 และ 59.79 ± 10.11 ที่ 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง

จากตารางที่ 1-3 เมื่อแบ่งการเข้าไปของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ในท่อนื้อฟันออกเป็นกลุ่มตามการศึกษาของ Davies และคณะ (9) และ Chen และคณะ (25) จะพบท่อนื้อฟันทั้งหมดเปิดหลังกัดกรดฟอสฟอริก และหลังทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์จะพบผลึกอุดท่อนื้อฟันมากกว่าร้อยละ 50 ทุกกลุ่มการทดลองและทุกกำลังขยาย ยกเว้นหลังจากแช่ในน้ำรีเวอร์สออสโมซิสนาน 12 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พบผลึกอุดท่อนื้อฟันร้อยละ 46.19 ± 4.71

การใช้สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์อุดท่อนื้อฟันจะลดอาการเสียวฟัน ดังนั้นจำนวนท่อนื้อฟันถูกอุดมาก จะลดอาการเสียวฟัน เช่นเดียวกันหากสารดังกล่าวเข้าไปในท่อนื้อฟันยิ่งลึก การคงอยู่และคุณสมบัติการลดเสียวฟันก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนทาสารที่มีการเปิดของท่อนื้อฟันทั้งหมด หลังจากทาสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์จะมีการอุดของท่อนื้อฟันบ้างถึงแม้เวลาจะผ่านไป ดังแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละของค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการเข้าไปและความลึกของสารลดการเสียวฟัน พื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน จากภาพที่ได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของท่อเนื้อฟันในแนวขวางและแนวขนานท่อเนื้อฟันที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

Table 1. Percentage mean \pm SD of occluded and depth of penetrated MS polymer particles in cross sectional and longitudinal dentinal tubules from scanning electron micrograph on magnification 1,000X.

Method	Dentinal tubules (mean \pm SD)							
	Cross section (N = 4 each method)				Longitudinal section (N = 8 each method)			
	No. of tubules	No. of occluded tubules	%	Group	No. of tubules	No. of occluded tubules	%	Maximum depth (μ m)
Etched	714.00 \pm 100.00	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00*	5	36.75 \pm 4.53	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	0.00
Etched+Gel	559.75 \pm 90.50	471.75 \pm 124.36	83.34 \pm 12.17	2	27.88 \pm 7.74	22.13 \pm 7.55	78.31 \pm 11.75	119.42
Etched+Gel then RO water 1 hr.	633.75 \pm 258.76	459.25 \pm 172.13	73.47 \pm 6.91	2	37.63 \pm 5.76	27.50 \pm 5.18	73.61 \pm 13.02	112.15
Etched+Gel then RO water 3 hrs.	556.00 \pm 92.90	355.00 \pm 198.66	66.20 \pm 37.21	2	38.50 \pm 5.37	22.00 \pm 3.70	58.68 \pm 15.37	110.74
Etched+Gel then RO water 6 hrs.	520.25 \pm 189.74	301.50 \pm 135.29	56.32 \pm 9.66	2	27.88 \pm 4.42	15.38 \pm 2.77	56.24 \pm 13.57	109.86
Etched+Gel then RO water 12 hrs.	508.50 \pm 233.59	234.75 \pm 114.86	46.19 \pm 4.71	3	33.13 \pm 6.71	14.75 \pm 7.21	43.35 \pm 4.71	105.75

* Statistically significant difference from etched and etched plus gel in all groups at (p < 0.01).

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละของค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการเข้าไปและความลึกของสารลดการเสียวฟัน พื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน จากภาพที่ได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของท่อเนื้อฟันในแนวขวางและแนวขนานท่อเนื้อฟันที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

Table 2. Percentage mean \pm SD of occluded and depth of penetrated MS polymer particles in cross sectional and longitudinal dentinal tubules from scanning electron micrograph on magnification 3,000X.

Method	Dentinal tubules (mean \pm SD)						
	Cross section (N = 4 each method)			Group	Longitudinal section (N = 8 each method)		
	No. of tubules	No. of occluded tubules	%		No. of tubules	No. of occluded tubules	%
Etched	84.00 \pm 11.97	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	5	8.13 \pm 1.55	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Etched+Gel	75.75 \pm 20.71	64.50 \pm 15.15	86.82 \pm 11.29	2	8.38 \pm 1.06	5.75 \pm 2.05	69.62 \pm 24.44
Etched+Gel then RO water 1 hr.	86.25 \pm 21.64	75.75 \pm 25.51	82.48 \pm 9.19	2	9.00 \pm 1.31	5.88 \pm 1.55	64.83 \pm 12.42
Etched+Gel then RO water 3 hrs.	80.00 \pm 3.56	63.50 \pm 5.80	79.28 \pm 4.34	2	8.25 \pm 0.71	5.00 \pm 1.51	60.22 \pm 16.29
Etched+Gel then RO water 6 hrs.	82.00 \pm 6.32	61.00 \pm 4.76	75.07 \pm 11.73	2	8.00 \pm 0.76	4.63 \pm 1.06	57.69 \pm 11.18
Etched+Gel then RO water 12 hrs.	80.00 \pm 7.75	59.50 \pm 11.56	75.45 \pm 18.23	2	9.13 \pm 1.13	5.13 \pm 1.64	55.87 \pm 15.02

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละของค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการเข้าไปและความลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน จากภาพที่ได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของท่อเนื้อฟันในแนวขวางและแนวขนานท่อเนื้อฟันที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

Table 3. Percentage mean \pm SD of occluded and depth of penetrated MS polymer particles in cross sectional and longitudinal dentinal tubules from scanning electron micrograph on magnification 5,000X.

Method	Dentinal tubules (mean \pm SD)						
	Cross section (N = 4 each method)			Group	Longitudinal section (N = 8 each method)		
	No. of tubules	No. of occluded tubules	%		No. of tubules	No. of occluded tubules	%
Etched	27.50 \pm 4.65	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	5	5.25 \pm 1.16	0.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
Etched+Gel	22.75 \pm 15.11	21.50 \pm 13.40	95.69 \pm 4.98	2	5.00 \pm 0.93	3.13 \pm 1.46	61.46 \pm 22.67
Etched+Gel then RO water 1 hr.	47.00 \pm 35.99	43.00 \pm 36.67	90.53 \pm 17.64	2	5.63 \pm 0.52	3.75 \pm 0.71	66.67 \pm 10.84
Etched+Gel then RO water 3 hrs.	19.25 \pm 6.29	16.25 \pm 4.43	86.19 \pm 10.34	2	6.25 \pm 0.71	4.00 \pm 0.76	64.05 \pm 0.76
Etched+Gel then RO water 6 hrs.	31.00 \pm 3.16	23.75 \pm 4.57	76.16 \pm 7.86	2	5.50 \pm 0.93	3.38 \pm 1.41	61.01 \pm 21.01
Etched+Gel then RO water 12 hrs.	26.00 \pm 4.69	21.00 \pm 2.16	81.78 \pm 7.95	2	5.75 \pm 1.04	3.38 \pm 0.52	59.79 \pm 10.11

บทวิจารณ์ (Discussion)

สารลดการเสียวฟันควรจะเข้าไปในท่อเนื้อฟัน แม้เวลาผ่านไป เมื่ออยู่ในสภาวะช่องปากที่มีน้ำลาย ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมากที่สุด เนื่องจากน้ำลายของมนุษย์ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 98 ส่วนที่เหลือเป็น อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เมือก (mucous) สารยับยั้งแบคทีเรีย (antibacterial agent) และเอนไซม์ (enzyme) ชนิดต่าง ๆ เอนไซม์ในน้ำลายสามารถย่อยแบ่งที่อยู่ในอาหารในระดับโมเลกุล ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการย่อยอาหาร น้ำลายช่วยชะล้างอาหารที่ติดอยู่ตามซอกฟัน และปกป้องไม่ให้เกิดการเน่าเสียจากแบคทีเรีย (bacteria) (26) น้ำลายจึงอาจมีผลต่อการแทรกซึมหรือการคงอยู่ของสารลดการเสียวฟัน ขณะเดียวกันก็จะปกคลุมเนื้อฟัน การศึกษานี้จึงแช่ฟันในน้ำรีเวอร์สออสโมซิส

จากการศึกษาที่พบเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันเฉลี่ยขนาด 2.94 ไมโครเมตร สอดคล้องกับการศึกษาเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันในฟันกรามแท้ในมนุษย์ (27-28) และระยะระหว่างท่อเนื้อฟัน มีค่า 2.02-6.78 ไมโครเมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Xu และ Wang (29) พบท่อเนื้อฟันที่เผยผิหลังกัดด้วยกรดฟอสฟอริก ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับผู้ที่มีอาการเสียวฟันจากการเผยผิของท่อเนื้อฟัน การทาสารลดการเสียวฟันจะช่วยอุดท่อเนื้อฟันดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษานี้ที่พบผลึกสารลดการเสียวฟันอุดปากท่อเนื้อฟันและสามารถลึกลงไปในท่อเนื้อฟันได้อีกด้วย จากภาพแนวตัดขวางและแนวขนานท่อเนื้อฟันที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ภายใต้กำลังขยาย 1,000 3,000 และ 5,000 เท่า และจะทำให้ลดการเสียวฟันได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Gillam และคณะ (30) พบการอุดของออกซาเลตบนและในท่อเนื้อฟัน และ Kameyama และคณะ (14) ที่พบการอุดท่อเนื้อฟันโดยอธิบายว่าเกิดจากฟลูออไรด์ไอออนทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน จนเกิดอนุภาคแคลเซียมฟลูออไรด์ (calcium fluoride particle) เข้าไปอุดท่อเนื้อฟัน (18,31) และยังคงอุดท่อเนื้อฟันลดลงหลังใส่กรด (15,32-33) การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน ดังปรากฏในภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จะเห็นผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ และจะเห็นลักษณะของผลึกชัดเจนที่กำลังขยายใหญ่ขึ้น คือ 3,000 และ 5,000 เท่า ดังแสดงในภาพตัดขวางท่อเนื้อฟัน จำนวนและความลึกของท่อเนื้อฟันที่ถูกอุดด้วยผลึกจะมีค่าใกล้เคียงความจริงที่กำลังขยายต่ำ (ในการศึกษานี้คือ 1,000 เท่า) มากกว่าค่าที่ได้จากภาพที่กำลังขยายสูง (ในการศึกษานี้คือ 3,000 และ 5,000 เท่า) เนื่องจากจะเห็นท่อเนื้อฟันเป็นบริเวณกว้างและการเข้าไปของสารไม่ได้สมำเสมอกันตลอดท่อเนื้อฟัน ส่วนภาพที่ได้จากการตัดแนวขนานท่อเนื้อฟัน พบว่าที่กำลังขยาย 1,000 เท่า เห็นผลึกไม่ชัดเจน จึงต้องขยายให้ได้กำลังขยาย 3,000 และ 5,000 เท่า เพื่อให้ได้ภาพชัดและระยะลึกสุดที่ผลึกเข้าไปในท่อเนื้อฟัน ทำให้การวัดความลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน จึงใช้กำลังขยาย 1,000 เท่า เท่านั้น ทั้งนี้จึงไม่ได้คำนวณทางสถิติที่กำลังขยาย 3,000 และ 5,000 เท่า เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ศึกษาถูกขยายเพียงตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ทำให้ค่าที่ได้ไม่น่าเชื่อถือเมื่อเทียบกับค่ากำลังขยายที่ 1,000 เท่า

เนื่องจากกำลังขยายต่ำที่สุดของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ที่พอจะมองเห็นสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้อยู่ในท่อเนื้อฟันคือ 1,000 เท่า ซึ่งอาจจะมีผลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ลงไปในท่อเนื้อฟันลึกกว่านั้น แต่ไม่สามารถใช้กำลังขยายที่ต่ำกว่า 1,000 เท่า ได้ ทำให้ค่าความลึกของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่เข้าไปในท่อเนื้อฟันอาจน้อยกว่าที่เป็นจริง นอกจากนี้วิธีการผ่าแยกชิ้นตัวอย่างทำให้ชั้นสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ที่อยู่ในท่อเนื้อฟันหลุดออกจากท่อเนื้อฟัน ค่าที่ได้จึงน้อยกว่าความเป็นจริง หากศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโฟกัสร่วมชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน (Confocal laser scanning microscope, CLSM; LSCM) ก็จะได้ค่าที่แท้จริงกว่านี้ เนื่องจากเป็นกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางในการศึกษาทางชีววิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่ต้องการภาพความละเอียดสูง และเก็บภาพเฉพาะบริเวณจุดโฟกัส

โดยสามารถเลือกระดับความลึกของชั้นตัวอย่างที่ต้องการได้ ให้ภาพที่มีความสว่างและความคมชัดสูง เพิ่มความแตกต่างของสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) ภาพที่ได้จึงมีคุณภาพความคมชัดสูง มีความจำเพาะและความไวในการจำแนกและรับสัญญาณแสงได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมเสริม และยังสามารถสแกนได้ 3 สี พร้อมกัน ทั้งยังสามารถกำหนดค่าการสแกนภาพได้หลายรูปแบบ จะช่วยให้สามารถอ่านสารที่เข้าไปในท่อเนื้อฟันได้อย่างแท้จริง แต่การศึกษาวิจัยนี้มีข้อจำกัดในเรื่องงบประมาณและเวลา จึงศึกษาโดยการใช้อัลตร้าซาวด์ทรานส์มิสซิวิตรอนแบบส่องกราด ซึ่งต้องแบ่งฟันตามแนวยาวของท่อเนื้อฟัน มีผลให้สารที่เข้าไปอยู่ในท่อเนื้อฟันหลุดออก จึงได้ค่าความลึกของสารที่เข้าไปในท่อเนื้อฟันน้อยกว่าความเป็นจริง และจากเทคนิคการศึกษาด้วยอัลตร้าซาวด์ทรานส์มิสซิวิตรอนแบบส่องกราด ไม่สามารถกำหนดภาพให้ได้ภาพที่มีองค์ประกอบของชั้นตัวอย่างที่เหมือนหรือใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะภาพที่เกิดจากการตัดตามแนวท่อเนื้อฟัน เนื่องจากมีปัจจัยที่ส่งผลต่อภาพที่ได้ เช่น แนวการตัดชิ้นส่วนตามแนวท่อเนื้อฟัน การเตรียมชิ้นตัวอย่าง ระยะเวลาถ่ายภาพที่ได้จากอัลตร้าซาวด์ทรานส์มิสซิวิตรอนแบบส่องกราด ดังนั้นการใช้อัลตร้าซาวด์ทรานส์มิสซิวิตรอนแบบชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน จะทำให้ผลได้ชัดเจนถูกต้องยิ่งขึ้น

จากการใช้เจลคนละหลอด และพบอนุภาคของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์แต่ละหลอดมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน โดยพบผลึกที่รวมตัวกันเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งอาจเกิดมาจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ เช่น ส่วนต้นของหลอด ซึ่งต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไปว่าเป็นที่สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ กระบวนการเก็บสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ เช่น อายุ อุณหภูมิ ความชื้น หรืออื่น ๆ นอกจากนี้เมื่อเวลาผ่านไปสารที่อยู่ในท่อเนื้อฟันและบนเนื้อฟันลดลง อาจมีการหลุดออกโดยการชะล้างจากน้ำหรือแรงคาพิลลารี (capillary force) ซึ่งเป็นแรงดึงที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันเอง (cohesion) และแรงยึดติดของโมเลกุลน้ำกับพื้นผิวหรือผนังเซลล์

การศึกษาของ Mehta และคณะ (34) ด้วยมาตรวัดความปวดด้วยสายตา (Visual Analog Scale, VAS) นาน 6 เดือน พบสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ สามารถลดการเสียวฟันได้ แต่ผลที่ได้น้อยกว่านาโนซีล (Nanoseal, Nippon Shika Yakuhin Co., Ltd., Shimonoseki, Japan), ทีทเมท (Teethmate Desensitizer, Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japan) และ กลูมา (Gluma Desensitizer PowerGel, HeraeusKulzer, Hanau, Germany) สอดคล้องกับการศึกษานี้ที่พบการอุดปิดท่อเนื้อฟันบางส่วนและลดน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป ขณะที่ Mushtaq และคณะ (35) ศึกษาการอุดปิดท่อเนื้อฟันของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ ด้วยอัลตร้าซาวด์ทรานส์มิสซิวิตรอนแบบส่องกราดพบว่า สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์สามารถอุดปิดท่อเนื้อฟันได้เหนือกว่าวิวาเซนส์ (VivaSens®, Ivoclar Vivadent) และ กลูมา ส่วน Nomura และคณะ (36) ใช้การศึกษาตามรูปแบบการศึกษาการซึมผ่านเนื้อฟันของ Pashley (32) พบสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์สามารถลดการซึมผ่านของสารในท่อเนื้อฟันได้ ต่อมาในปี 2022 Matsuda และคณะพบฟลูออไรด์ในสารลดการเสียวฟันยังคงอยู่ที่ผิวเนื้อฟันและลึกเข้าไปในชั้นเนื้อฟัน ส่งเสริมให้เกิดการทำให้เป็นแร่ (mineralization) (16) นอกจากนี้กรดออกซาลิกในสารลดเสียวฟันมีบทบาทในการเป็นชั้นต้านกรด (acid-resistant layer) และส่งเสริมให้เกิดผลึกแคลเซียมออกซาลेटที่ไม่ละลายน้ำปกคลุมผิวเนื้อฟัน (37)

จากผลการศึกษาที่พบประสิทธิภาพของสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์อุดท่อเนื้อฟันและเข้าไปในท่อเนื้อฟัน กล่าวได้ว่า สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์ ควรจะมีคุณสมบัติลดการเสียวฟันในมนุษย์ได้ จึงควรจะมีการศึกษาต่อไปในสภาพที่เสมือนจริงในช่องปาก เช่น การคงตัวของสารในสภาวะแวดล้อมช่องปากที่มีน้ำลาย ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่างจากอาหาร เครื่องดื่ม ความดันในโพรงเนื้อเยื่อใน (pulp pressure) จะมีผลต่อสารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์นี้หรือไม่อย่างไร รวมถึงการศึกษาในระยะเวลาสั้น เพื่อให้เห็นผลทางคลินิก

บทสรุป (Conclusion)

สารลดการเสียวฟันพื้นฐานพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพและคงอยู่ ในการอุดและลึกลงไปในท่อเนื้อฟันมากกว่าร้อยละ 50 หลังทาสาร 12 ชั่วโมง

การขัดแย้งแห่งประโยชน์ส่วนบุคคลและผลประโยชน์ส่วนรวม (Conflict of Interest)

ผู้วิจัยมิได้มีผลประโยชน์ทับซ้อนในการศึกษาวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Dowell P, Addy M. Dentine hypersensitivity --a review. Aetiology, symptoms and theories of pain production. *J Clin Periodontol.* 1983;10(4): 341-50.
2. Kijssamanmith K, Surarit R, Vongsavan N. Effect of tropical fruit juices on dentine permeability and erosive ability in removing the smear layer: An in vitro study. *J Dent Sci.* 2016;11(2):130-5.
3. Brannstrom M. The hydrodynamic theory of dentinal pain: sensation in preparations, caries, and the dentinal crack syndrome. *J Endod.* 1986;12(10):453-7.
4. Kanehira M, Ishihata H, Saito M. Dentin hypersensitivity: Etiology, prevalence and treatment modalities. In: Sasaki K, Suzuki O, Takahashi N, editors. *Interface oral health science 2014.* Tokyo: Springer; 2015. p.325-33.
5. Liu XX, Tenenbaum HC, Wilder RS, Quock R, Hewlett ER, Ren YF. Pathogenesis, diagnosis and management of dentin hypersensitivity: an evidence-based overview for dental practitioners. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):220. doi: 10.1186/s12903-020-01199-z.
6. Davari A, Ataei E, Assarzadeh H. Dentin hypersensitivity: etiology, diagnosis and treatment; a literature review. *J Dent.* 2013;14(3):136-45.
7. Morris MF, Davis RD, Richardson BW. Clinical efficacy of two dentin desensitizing agents. *Am J Dent.* 1999;12(2):72-6.
8. Pillon FL, Romani IG, Schmidt ER. Effect of a 3% potassium oxalate topical application on dentinal hypersensitivity after subgingival scaling and root planing. *J Periodontol.* 2004; 75(11):1461-4.
9. Davies M, Paice EM, Jones SB, Leary S, Curtis AR, West NX. Efficacy of desensitizing dentifrices to occlude dentinal tubules. *Eur J Oral Sci.* 2011;119(6):497-503.
10. Gillam DG, Khan N, Mordan NJ, Barber PM. Scanning electron microscopy (SEM) investigation of selected desensitizing agents in the dentine disc model. *Endod Dent Traumatol.* 1999;15(5):198-204.
11. Chinajitphan N, Ajcharanukul O, Kijssamanmith K, Vongsavan N, Matthews B. Time-course of the effect of potassium oxalate in the treatment of hypersensitive dentine in man. *Arch Oral Biol.* 2021;126:105109. doi: 10.1016/j.archoralbio.2021.105109.
12. Kijssamanmith K, Wallanon P, Pitchayasatit C, Kittiratanaviwat P. The effect of fluoride iontophoresis on seal ability of self-etch adhesive in human dentin in vitro. *BMC Oral Health.* 2022; 22(1):109. doi: org/10.1186/s12903-022-02146-w.
13. Kijssamanmith K, Monthonjulaket N, Kuanpradit N, Thongwong K, Kijprasert N. The effect of iontophoresis delivery of fluoride in stannous fluoride desensitizing toothpaste on dentin permeability in human extracted teeth. *Sci Rep.* 2022;12(1):13615. doi: 10.1038/s41598-022-18043-9.

14. Kameyama A, Haruyama A, Nakazawa Y, Furusawa M, & Muramatsu T. Micrographic and spectroscopic analyses of the application of methyl methacrylate-p-styrene sulfonic acid copolymer-based desensitizing agents to bovine dentin. *Asian Pac J Dent*. 2019;19(iss 2):51-7.
15. Oshima M, Hamba H, Sadr A, Nikaido T, Tagami J. Effect of polymer-based desensitizer with sodium fluoride on prevention of root dentin demineralization. *Am J Dent*. 2015;28(3):123-7.
16. Matsuda Y, Altankhishig B, Okuyama K, Yamamoto H, Naito K, Hayashi M, Sano H, Sidhu SK, Saito T. Inhibition of demineralization of dentin by fluoride-containing hydrogel desensitizers: An in vitro study. *J Funct Biomater*. 2022;13(4):246. doi: 10.3390/jfb13040246.
17. Ma Q, Wang T, Meng Q, Xu X, Wu H, Xu D, Chen Y. Comparison of in vitro dentinal tubule occluding efficacy of two different methods using a nano-scaled bioactive glass-containing desensitising agent. *J Dent*. 2017;60:63-9.
18. Obayashi S, Hamba H, Nakamura K, Nikaido T, Tagami J. Preventive effect of experimental polymer-based desensitizers with NaF on demineralization of root dentin-observed using micro-CT. *Dent Mater J*. 2020;39(6):1050-6.
19. Mordan NJ, Barber PM, Gillam DG. The dentine disc. A review of its applicability as a model for the in vitro testing of dentine hypersensitivity. *J Oral Rehabil*. 1997;24(2):148-56.
20. Gillam DG, Mordan NJ, Newman HN. The dentin disc surface: a plausible model for dentin physiology and dentin sensitivity evaluation. *Adv Dent Res*. 1997;11(4):487-501.
21. Pereira JC, Martineli AC, Tung MS. Replica of human dentin treated with different desensitizing agents: a methodological SEM study in vitro. *Braz Dent J*. 2002;13(2):75-85.
22. Berg C, Unosson E, Engqvist H, Xia W. Comparative study of technologies for tubule occlusion and treatment of dentin hypersensitivity. *J Funct Biomater*. 2021;12(2):27. doi: 10.3390/jfb12020027.
23. Chatanan A, Kijssamanmith K, Kerdvongbundit V, Aroonrangsee T, Vongsavan N. Effect of a modified methyl methacrylate-pstyrene sulfonic acid copolymer-based gel desensitizer on dentin permeability and tubule occlusion in human dentin in vitro. *J Dent Sci*. 2024;19(3):in press.
24. Eldarrat A, High A, Kale GM. Age-related changes in cyclic voltammetry and potentiodynamic studies of normal human dentine. *J Mater Sci Mater Med*. 2003;14(11):979-84.
25. Chen CL, Parolia A, Pau A, Celerino de Moraes Porto IC. Comparative evaluation of the effectiveness of desensitizing agents in dentine tubule occlusion using scanning electron microscopy. *Aust Dent J*. 2015;60(1):65-72.
26. Wikipedia. Saliva [Internet]. Wikipedia; 2023 [cited 2023 April]. Available from: URL: <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A2>.
27. Schilke R, Lisson JA, Bauss O, Geurtsen W. Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. *Arch Oral Biol*. 2000;45(5):355-61.

28. Lopes MB, Sinhoreti MA, Gonini Júnior A, Consani S, McCabe JF. Comparative study of tubular diameter and quantity for human and bovine dentin at different depths. *Braz Dent J.* 2009;20(4):279-83.

29. Xu C, Wang Y. Chemical composition and structure of peritubular and intertubular human dentine revisited. *Arch Oral Biol.* 2012; 57(4):383-91.

30. Gillam DG, Mordan NJ, Sinodinou AD, Tang JY, Knowles JC, Gibson IR. The effects of oxalate-containing products on the exposed dentine surface: an SEM investigation. *J Oral Rehabil.* 2001;28(11):1037-44.

31. Arends J, Duschner H, Ruben JL. Penetration of varnishes into demineralized root dentine in vitro. *Caries Res.* 1997;31(3):201-5.

32. Pashley DH, Galloway SE. The effects of oxalate treatment on the smear layer of ground surfaces of human dentine. *Arch Oral Biol.* 1985; 30(10):731-7.

33. Tay FR, Pashley DH, Mak YF, Carvalho RM, Lai SC, Suh BI. Integrating oxalate desensitizers with total-etch two-step adhesive. *J Dent Res.* 2003;82(9):703-7.

34. Mehta D, Gowda VS, Santosh A, Finger WJ, Sasaki K. Randomized controlled clinical trial on the efficacy of dentin desensitizing agents. *Acta Odontol Scand.* 2014;72(8):936-41.

35. Mushtaq S, Gupta R, Dahiya P, Kumar M, Bansal V, Melwani SR. Evaluation of different desensitizing agents on dentinal tubule occlusion: A scanning electron microscope study. *Indian J Dent Sci.* 2019;11(3):121-4.

36. Nomura Y, Yasuo K, Iwata N, Yoshikawa K, Yamamoto K. Effect of various materials on dentin permeability for the treatment of dentin hypersensitivity. *Jpn J Conserv Dent.* 2013;56(6): 516-25.

37. Oguma H, Matsuda Y, Yoshihara K, Okuyama K, Sakurai M, Saito T, Inoue S, Yoshida Y. Prevention of root caries using oxalic acid. *Materials.* 2023;16(4):1454.

ติดต่อบทความ:

ทพญ. อธิมาศ ชัยภูอนันต์
โรงพยาบาลพระนั่งเกล้า 91 ถ.นนทบุรี ต.บางกระสอ
อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทรศัพท์ : 084 077 9137
อีเมลล์ : athimas.cha@gmail.com

Corresponding author:

Dr. Athimas Chatanan
Pranangkla Hospital 91 Nonthaburi Road,
Bang Krasaw, Mueang Nonthaburi District,
Nonthaburi 11000, Thailand.
Tel: (668) 4077 9137
E-mail: athimas.cha@gmail.com