ผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันต่อค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์

กนกภัสสร บุญดีกุล[1] กุลนันทน์ ดำรงวุฒิ[1*]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวผนังคลองรากฟันและอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ภายหลังใช้เอทานอลเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

วิธีการวิจัย: นำฟันกรามน้อยล่างจำนวน 12 ซี่ ลงบล็อกเรซินอะคริลิกและตัดตามแนวแกนฟันออกเป็น 2 ส่วน ล้างพื้นผิวรากฟันด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นแบ่งตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ตัวอย่าง ล้างพื้นผิวผนังคลองรากฟันด้วยน้ำยาที่แตกต่างกัน ได้แก่ น้ำกลั่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 และเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที แล้วจึงหยดอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์บริเวณกึ่งกลางรากฟัน บันทึกวิดีโอด้วยกล้องร่วมกับเลนส์มาโคร ใช้ภาพเมื่อซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันที หลังสัมผัส 1 และ 5 นาทีมาคำนวณค่ามุมสัมผัสโดยใช้โปรแกรมอิมเมจเจ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการวิเคราะห์การแปรปรวนซ้ำที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการศึกษา: ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำยาล้างคลองรากฟันทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา ($p < 0.05$) โดยพื้นผิวผนังคลองรากฟันกลุ่มที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์มีค่ามุมสัมผัสสูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่น และเอทานอลตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบน้ำยาล้างคลองรากฟันในกลุ่มเดียวกัน พบว่าค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา โดยสูงสุดเมื่อซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันทีและลดลงหลังสัมผัส 1 นาทีและ 5 นาที

สรุป: เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์เพิ่มขึ้น คุณสมบัติการเปียกหรือการไหลแผ่ลดลง ในขณะที่การล้างด้วยเอทานอลสามารถลดค่ามุมสัมผัสและเพิ่มคุณสมบัติการเปียกของพื้นผิวรากฟันได้

คำสำคัญ: คุณสมบัติการเปียก ค่ามุมสัมผัส เอทานอล อีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์

วันที่รับ: 3 ตุลาคม 2568
วันที่แก้ไข: 15 ธันวาคม 2568
วันที่ตอบรับ: 22 ธันวาคม 2568

[1]ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110
*(*ผู้ติดต่อบทความ)*

Effect of Irrigants on the Contact Angle of Epoxy Resin-Based Sealer

Kanokpatsorn Boondeekul[1] Kunlanun Dumrongvute[1*]

Abstract

Objective: To compare the contact angles between root dentin and an epoxy resin–based sealer after using ethanol as the final irrigant at different time intervals.

Methods: Twelve extracted human mandibular premolars were embedded in acrylic resin blocks and sectioned longitudinally into two halves. The root dentin surfaces were irrigated with 25 mL of 5.25% sodium hypochlorite (NaOCl), followed by 10 mL of 17% ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA). The specimens were then divided into three groups (n = 8 per group) according to the final irrigant used: distilled water, 5.25% NaOCl, and 70% ethanol. Each specimen was irrigated with 10 mL of the assigned solution for 1 minute. After drying the surfaces, a drop of the epoxy resin-based sealer was placed on the middle third of the root surface, and a video was recorded using a camera equipped with a macro lens. Images captured immediately, after one minute, and five minutes of contact were analyzed to determine the contact angle using ImageJ software. Data were statistically analyzed using one-way ANOVA and repeated-measures ANOVA at a significance level of 0.05.

Results: The mean contact angle values differed significantly among the three groups at all time intervals ($p < 0.05$). The NaOCl group showed the highest contact angle, followed by the distilled water and ethanol groups, respectively. Within each group, the mean contact angle decreased over time, being highest immediately after contact and gradually decreasing after 1 and 5 minutes.

Conclusion: The wettability and flow of epoxy resin-based sealers decreased when NaOCl was used as the final irrigant, whereas irrigation with ethanol improved the surface wettability of root dentin.

Keyword: Wettability, Contact angle, Ethanol, Epoxy resin-based root canal sealer

Received Date: Oct 3, 2025
Revised Date: Dec 15, 2025
Accepted Date: Dec 22, 2025

[1]*Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand.*
*(*Corresponding author)*

บทนำ (Introduction)

การอุดคลองรากฟันเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการรักษาคลองรากฟัน กัตตาเปอร์ชา (gutt a percha) เป็นวัสดุอุดคลองรากฟันหลักซึ่งไม่สามารถยึดติดกับผนังคลองรากฟันและมีการไหลแผ่ได้จำกัด จึงต้องอาศัยซีลเลอร์ (sealer) เป็นตัวกลางเพื่อเพิ่มความแนบสนิทระหว่างผนังคลองรากฟันกับวัสดุอุดคลองรากฟัน ซีลเลอร์ทำหน้าที่เติมเต็มช่องว่างความไม่สม่ำเสมอของคลองรากฟัน รวมถึงคลองรากฟันแขนงที่กัตตาเปอร์ชาไม่สามารถเข้าถึง ช่วยสร้างการป้องกันทางกายภาพ (physical barrier) และลดความเสี่ยงของการรั่วซึมจากของเหลวและเชื้อจุลชีพ ทั้งนี้คุณสมบัติที่สำคัญของซีลเลอร์ ได้แก่ การไหลแผ่ (flow) ซึ่งช่วยให้ซีลเลอร์แทรกซึมเข้าสู่ระบบคลองรากฟันและท่อเนื้อฟัน ทำให้เกิดการยึดอยู่ (retention) และการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical lock) รวมทั้งส่งเสริมการปิดผนึกของระบบคลองรากฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (1,2)

ความสามารถในการไหลแผ่ของซีลเลอร์สัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติการเปียก (wettability) ซึ่งเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างซีลเลอร์และพื้นผิวผนังคลองรากฟัน ประเมินได้จากค่ามุมสัมผัส (contact angle) พื้นผิวผนังคลองรากฟันที่มีพลังงานพื้นผิวอิสระสูง (surface free energy) จะดึงดูดโมเลกุลของซีลเลอร์ให้กระจายบนพื้นผิวได้ดีขึ้น ทำให้ค่ามุมสัมผัสลดลง ส่งเสริมคุณสมบัติการเปียก ช่วยเพิ่มการไหลแผ่ของซีลเลอร์ให้เข้าสู่ความไม่สม่ำเสมอของระบบคลองรากฟันและท่อเนื้อฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางตรงกันข้ามเมื่อค่ามุมสัมผัสสูง ซีลเลอร์จะมีคุณสมบัติการเปียกต่ำ ซึ่งเกิดจากแรงตึงผิวของซีลเลอร์สูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีลเลอร์กับพื้นผิวผนังคลองรากฟัน ทำให้ซีลเลอร์ไม่สามารถแพร่กระจายบนพื้นผิวได้และมีลักษณะเกาะกันเป็นหยด (droplet-like behavior) การกระจายตัวที่จำกัดนี้ส่งผลให้การไหลแผ่ลดลง ซีลเลอร์ไม่สามารถไหลและแทรกซึมเข้าสู่ความไม่สม่ำเสมอของผนังคลองรากฟันได้อย่างเพียงพอ ทำให้ประสิทธิภาพในการปิดผนึกลดลง (3,4) ด้วยเหตุนี้ค่ามุมสัมผัสจึงทำหน้าที่เป็นตัวชี้วัดสำคัญของคุณสมบัติการเปียกและส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการไหลแผ่ โดยค่ามุมสัมผัสน้อยกว่า 90 องศาบ่งชี้ถึงคุณสมบัติการเปียกที่ดี ทำให้ให้ซีลเลอร์ไหลแผ่และแทรกซึมได้ดี ในขณะที่ค่ามุมสัมผัสมากกว่า 90 องศาสะท้อนถึงคุณสมบัติการเปียกที่ไม่ดีจำกัดการกระจายตัวของซีลเลอร์บนพื้นผิวผนังคลองรากฟัน (5) ดังนั้นการเตรียมพื้นผิวผนังคลองรากฟันให้ส่งเสริมคุณสมบัติการเปียกจึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่เพิ่มการไหลแผ่ของซีลเลอร์ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของการปิดผนึกและความสำเร็จของการรักษาคลองรากฟัน

ในปัจจุบันนิยมเตรียมพื้นผิวผนังคลองรากฟันก่อนอุดคลองรากฟัน โดยการล้างด้วยสารละลายอีดีทีเอ (ethylenediaminetetraacetic acid; EDTA) เพื่อประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์และเผยผึ่งของท่อเนื้อฟัน ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite; NaOCl) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์หรือเชื้อจุลชีพที่อาจหลงเหลืออยู่ (6) อย่างไรก็ตามมีหลายการศึกษาพบว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์หลังใช้สารสลายแร่ธาตุ เช่น สารละลายอีดีทีเอ หรือกรดซิตริก ส่งผลให้พื้นผิวผนังคลองรากฟันเกิดการสึกกร่อนมีลักษณะขรุขระ ไม่เรียบ (7,8) ทำให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คุณสมบัติการเปียกและการไหลแผ่ลดลง (9) นอกจากนี้ยังทำให้คอลลาเจนในท่อเนื้อฟันเกิดการสลายตัว รบกวนการยึดติดของเอเอชพลัส (AH Plus®; Dentsply, Zurich, Switzerland) ซึ่งเป็นอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ (epoxy resin-based sealer) (10) ภายหลังเริ่มมีการนำเอทานอล (ethanol) มาเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันก่อนอุดคลองรากฟัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เนื้อฟันแห้งก่อนการอุดคลองรากฟัน พบว่าการล้างเอทานอลสามารถส่งเสริมให้ซีลเลอร์แทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้มากขึ้น การรั่วซึมที่บริเวณปลายรากฟันลดน้อยลง (11,12) Pantoja และคณะ (4) ศึกษาผลของเอทานอลในการปรับสภาพเนื้อฟัน พบว่าพื้นผิวคลองรากฟันที่ล้างด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 และ 100 มีค่าพลังงานพื้นผิวอิสระเพิ่มขึ้น และมีค่ามุมสัมผัสระหว่างอีพ็อกซีเรซิน

เบสซีลเลอร์กับผนังคลองรากฟันลดลง ในปัจจุบันมีการศึกษาประสิทธิภาพของเอทานอลในการปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันเพิ่มมากขึ้น แต่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวผนังคลองรากฟันที่ล้างด้วยเอทานอลเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายเปรียบเทียบกับน้ำยาล้างคลองรากฟันที่ใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ สารละลายอีดีทีเอและโซเดียมไฮโปคลอไรต์ นอกจากนี้ยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสัมผัสในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการไหลแผ่ของซีลเลอร์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาคือเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวผนังคลองรากฟันและอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ภายหลังใช้เอทานอลเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินผลของเอทานอลต่อพฤติกรรมการไหลแผ่ของซีลเลอร์ได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

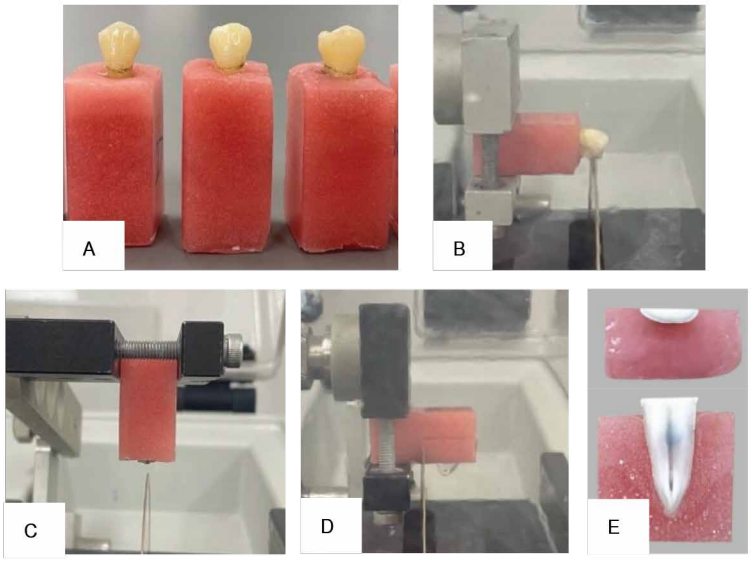
กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยการคำนวณด้วยโปรแกรม G*power เวอร์ชั่น 3.1.9.6 โดยใช้ขนาดของผล (effect size) จากงานวิจัยของ de Assis และคณะ (13) ซึ่งทำการศึกษาคล้ายคลึงกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดอย่างน้อย 15 ตัวอย่าง จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 24 ตัวอย่าง แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 3 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 8 ตัวอย่าง

การศึกษานี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หมายเลขรับรอง SWUEC-671048 โดยใช้ฟันกรามน้อยล่างของมนุษย์ที่ถูกถอนมาโดยไม่สามารถระบุแหล่งที่มาได้ จำนวน 12 ซี่ เป็นฟัน 1 ราก 1 คลองรากฟันที่มีการสร้างรากสมบูรณ์ ไม่มีรอยผุ ไม่มีรอยร้าว และไม่มีพยาธิสภาพบนตัวฟันและรากฟัน

การวัดค่ามุมสัมผัส

นำฟันกรามน้อยล่าง 12 ซี่ ลงบล็อกเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเองในแม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยให้รอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (cementoenamel junction;CEJ) อยู่เหนือขอบบล็อกเรซินอะคริลิค (รูปที่ 1A) หลังจากนั้นนำบล็อกฟันตัวอย่างไปตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นตัวอย่างความเร็วต่ำ ตัดส่วนตัวฟันด้านบนตั้งฉากกับแนวแกนฟันที่ระดับรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (รูปที่ 1B) แล้วตัดแบ่งบล็อคฟันตัวอย่างเป็น 2 ส่วนตามแนวแกนฟันผ่านด้านแก้ม-ลิ้น (buccolingual direction) ที่บริเวณกึ่งกลางของคลองรากฟัน (รูปที่ 1C-D) หลังจากนั้นขัดหน้าตัดพื้นผิวผนังคลองรากฟันด้วยเครื่องขัดนาโน 1000 ที โพลิชเชอร์ (Nano 1000T polisher; PACE Technology, Tucson, AZ, USA) และกระดาษทรายน้ำที่มีเม็ดทรายซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) เบอร์ 800 1200 และ 2000 ตามลำดับ เพื่อให้ได้หน้าตัดส่วนพื้นผิวผนังคลองรากฟันที่เรียบเนียน (4,14,15) จะได้บล็อคฟันตัวอย่างสำหรับใช้ในการทดลอง (รูปที่ 1E)

นำบล็อคฟันตัวอย่างจำนวน 24 ชิ้น ล้างพื้นผิวผนังคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เพื่อจำลองการล้างคลองรากฟันระหว่างการขยายคลองรากฟัน หลังจากนั้นล้างด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 1 นาที เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ (13) และแบ่งตัวอย่างแบบสุ่มเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ตัวอย่าง ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกัน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที ได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 และเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 หลังจากนั้นซับบล็อกฟันตัวอย่างด้วยกระดาษซับเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้พื้นผิวผนังคลองรากฟันแห้ง



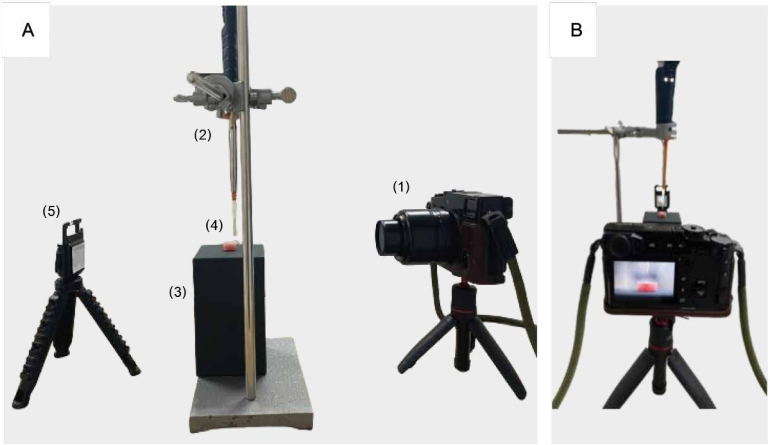
รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมบล็อกฟันตัวอย่าง: (A) ฟันกรามน้อยล่างในบล็อกเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเอง; (B) ตัดส่วนตัวฟันด้านบนตั้งฉากกับแนวแกนฟันที่ระดับรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน; (C,D) ตัดแบ่งบล็อคฟันตัวอย่างเป็น 2 ส่วนตามแนวแกนฟันที่บริเวณกึ่งกลางของคลองรากฟัน; และ (E) บล็อคฟันตัวอย่างสำหรับใช้ในการทดลอง

Fig 1. Procedure for preparing sample tooth block: (A) Mandibular premolar embedded in a self-cured acrylic resin block; (B) The coronal portion of the tooth was sectioned perpendicular to the long axis at the cemento-enamel junction; (C, D) The specimen block was longitudinally sectioned into two halves along the long axis at the midpoint of the root canal; and (E) The prepared tooth specimen block for experimentation.

นำบล็อคฟันตัวอย่างที่แห้งแล้ววางบนฐานวางจัดตำแหน่งให้ปลายไมโครปิเปต (micropipette) อยู่กึ่งกลางรากฟันที่ระยะ 5 มิลลิเมตรจากแนวรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟันและห่างจากบล็อคฟันตัวอย่าง 5 มิลลิเมตร (รูปที่ 2A) ผสมเอเอชพลัสอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ใส่ในไมโครปิเปต ซึ่งกำหนดปริมาตร 100 ไมโครลิตร หยดซีลเลอร์ลงบนกึ่งกลางของรากฟันบนบล็อคฟันตัวอย่าง ควบคุมระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมซีลเลอร์จนนำมาหยดลงบนบล็อกฟันตัวอย่างไม่เกิน 60 วินาที บันทึกวิดีโอด้วยกล้องฟูจิฟิล์มรุ่นเอ็กซ์โปร2 (Fujifilm X-PRO2; FUJIFILM Corporation, Minato-ku, Tokyo, Japan) ร่วมกับเลนส์ฟูจิฟิล์ม เอ็กซ์เอฟ 60 มิลลิเมตร เอฟ/2.4 อาร์ มาโคร (Fujifilm XF 60mm f/2.4 R Macro; FUJIFILM Corporation, Minato-ku, Tokyo, Japan) (รูปที่ 2B) จับภาพขณะที่ซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันที หลังสัมผัส 1 นาทีและ 5 นาที นับจากซีลเลอร์เริ่มสัมผัสกับพื้นผิว (14,16,17) แล้วนำมาคำนวณหาค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ เวอร์ชั่น 1.54 (ImageJ; National Institutes of Health, USA) (รูปที่ 3)

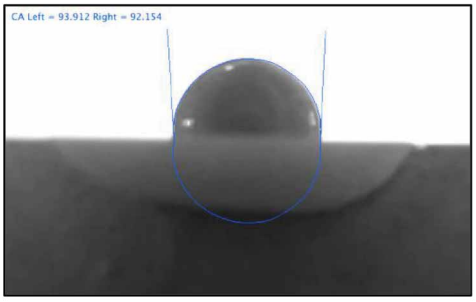
การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS version 28 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) ทดสอบการกระจายของข้อมูลโดยการทดสอบชาพิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) และทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน (homogeneity of variances) โดยการทดสอบของเลวีน (Levine's Test) พบว่าข้อมูลไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ($P > 0.05$) เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสระหว่างน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบพหุคูณโดยการทดสอบทูกี้ (Tukey's test) สำหรับการเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสภายหลังซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันที 1 นาที และ 5 นาทีของน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดเดียวกันใช้การวิเคราะห์การแปรปรวนซ้ำ (Repeated-measure ANOVA) โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



รูปที่ 2 (A) เครื่องวัดค่ามุมสัมผัสที่ดัดแปลงจากการศึกษาของ Kontakiotis และคณะ (16) มีองค์ประกอบดังนี้ (1) กล้องบันทึกภาพ (2) ไมโครปิเปต (3) ฐานวาง (4) บล็อคฟันตัวอย่าง (5) แหล่งกำเนิดแสง; และ (B) การบันทึกวิดีโอด้วยกล้องร่วมกับเลนส์มาโคร

Fig 2. (A) The customized contact angle measurement device consists of the following components: (1) Camera, (2) Micropipette, (3) Sample stage, (4) Sample, (5) Light source; and (B) Video recording using the camera with macro len.



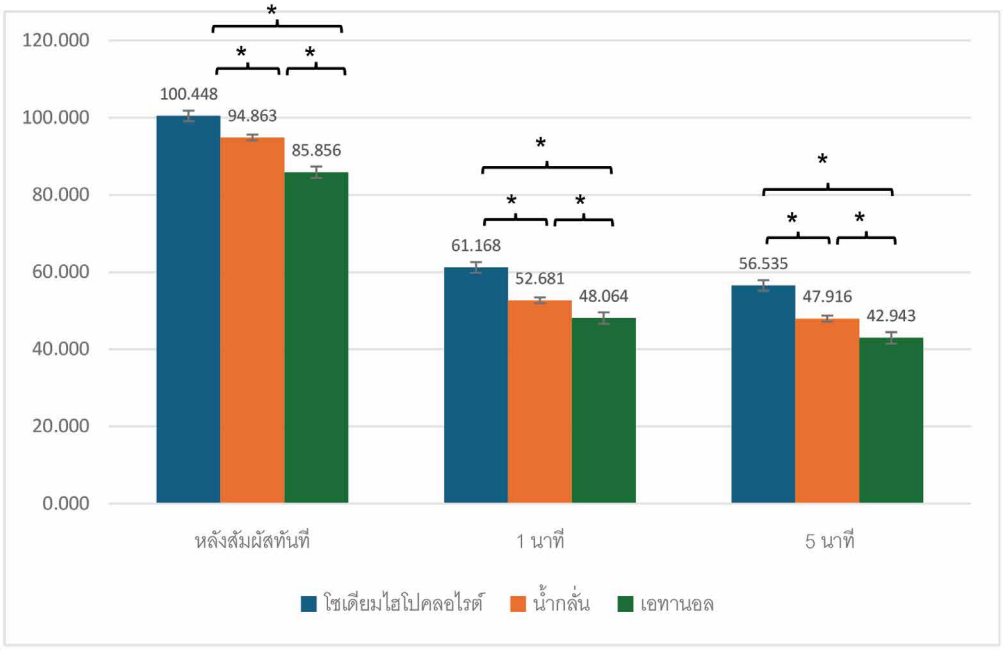
รูปที่ 3 การวัดค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ โดยวัดค่าด้านซ้ายและด้านขวาของซีลเลอร์ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อกำหนดเป็นค่ามุมสัมผัสของซีลเลอร์ตัวอย่าง

Fig 3. Measurement of contact angle using ImageJ software. The contact angles on the left and right sides of the sealer were measured, and the average value was calculated to represent the contact angle of the sealer.

ผลการวิจัย (Results)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสระหว่างกลุ่มที่ล้างน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา พบว่าพื้นผิวที่ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันทั้ง 3 ชนิด มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4) โดยกลุ่มที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์สูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่น และกลุ่มที่ล้างด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสน้อยที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับภาพถ่ายของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ (รูปที่ 5) พบว่าซีลเลอร์บนพื้นผิวผนังคลองรากฟันที่ล้างด้วยเอทานอลมีค่ามุมสัมผัสน้อยและไหลแผ่ดีที่สุดตั้งแต่วินาทีแรกที่ซีลเลอร์สัมผัสกับพื้นผิวเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 และน้ำกลั่น

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดเดียวกันที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน พบว่าพื้นผิวที่ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันทั้ง 3 ชนิด มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูปที่ 4) โดยค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสหลังซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันทีจะมีค่ามากที่สุด ตามด้วยค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่เวลา 1 นาที และ 5 นาที ตามลำดับ สอดคล้องกับที่สังเกตเห็นว่า ซีลเลอร์จะไหลแผ่มากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป (รูปที่ 5)

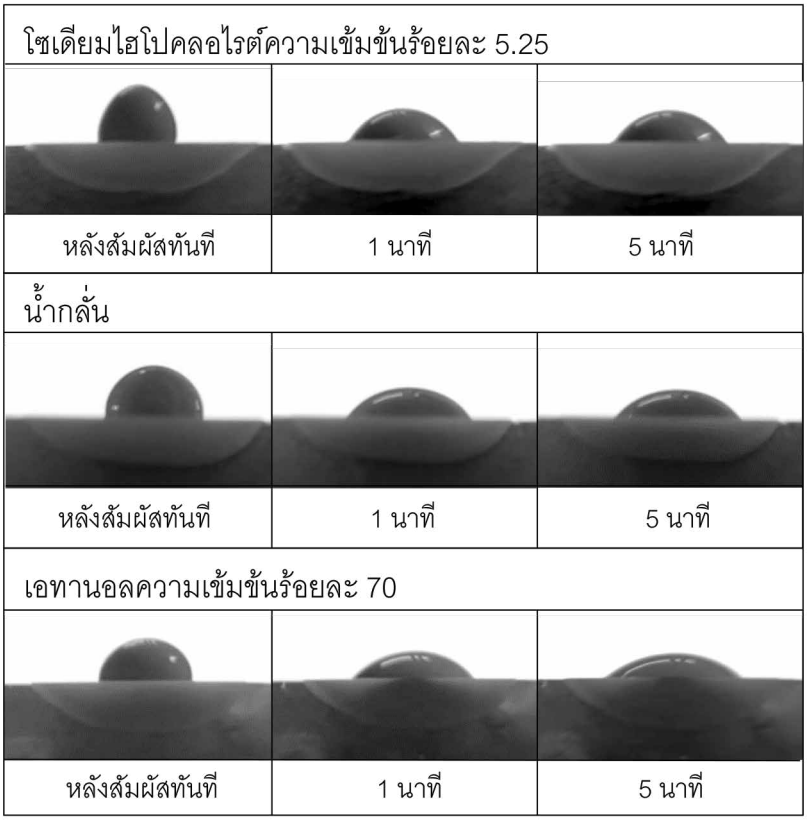


* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* Statistically significant difference ($p < 0.05$)

รูปที่ 4 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัส จำแนกตามน้ำยาล้างคลองรากฟันที่ระยะเวลาต่าง ๆ

Fig 4. Bar chart showing the mean contact angles, classified by types of root canal irrigants at different exposure times.



รูปที่ 5 ภาพถ่ายของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์แต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละช่วงเวลา
Fig 5. Images of epoxy resin-based sealers from each experimental group at various time points.

บทวิจารณ์ (Discussions)

ค่ามุมสัมผัสและคุณสมบัติการเปียกของเนื้อฟันมีบทบาทสำคัญต่อการไหลแผ่ของซีลเลอร์ระหว่างการอุดคลองรากฟัน ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติการเปียกหรือค่ามุมสัมผัสระหว่างซีลเลอร์กับพื้นผิวคลองรากฟัน ได้แก่ พลังงานพื้นผิวของเนื้อฟัน แรงตึงผิวของซีลเลอร์ ความเรียบสม่ำเสมอและความหยาบของพื้นผิว รวมถึงการปนเปื้อนบนผิว (18) นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฟันตลอดจนความหนาแน่นและขนาดของท่อเนื้อฟันยังมีผลต่อคุณสมบัติการเปียกโดยตรง (19) มีรายงานการศึกษาหลายฉบับระบุว่าการล้างคลองรากฟันด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันบางชนิดสามารถช่วยปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟันให้มีพลังงานพื้นผิวที่เหมาะสมก่อนการอุดคลองรากฟันได้ (13,14,17,20-22) หลายการศึกษาเปรียบเทียบผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่าง ๆ ต่อคุณสมบัติการเปียกของเนื้อฟัน พบว่าการล้างพื้นผิวคลองรากฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 สามารถลดค่ามุมสัมผัสได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ล้างด้วยน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว (13,23,24) เนื่องจากสารละลายอีดีทีเอมีคุณสมบัติสลายสารอนินทรีย์ จึงสามารถกำจัดชั้นสเมียร์ออกจากพื้นผิวคลองรากฟัน ส่งผลให้พื้นผิวคลองรากฟันมีความเรียบสม่ำเสมอ เกิดการเผยผึ่งของท่อเนื้อฟันส่งเสริมให้พื้นผิวผนังคลองรากฟันมีคุณสมบัติการเปียกมากขึ้นและค่ามุมสัมผัสลดลง ซึ่งเอื้อต่อการไหลแผ่และการแทรกซึมของซีลเลอร์เข้าสู่ความไม่สม่ำเสมอของผนังคลองรากฟันได้ดีขึ้น (13,19)

จากผลการทดลองพบว่าพื้นผิวคลองรากฟันกลุ่มที่ล้างโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายมีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษา (13,17) ที่พบว่าการล้างโซเดียมไฮโปคลอไรต์หลังจากสารละลายอีดีทีเอส่งผลให้เนื้อฟันรอบท่อเนื้อฟันและเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟันมีลักษณะไม่เรียบ ท่อเนื้อฟันมีขนาดใหญ่กว่าปกติ และมีความขรุขระ โดยลักษณะดังกล่าวไม่ได้เกิดแค่บนพื้นผิวของผนังคลองรากฟันแต่ยังมีผลไปถึงภายในท่อเนื้อฟันอีกด้วย (7,25) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Elbahary และคณะ (26) ซึ่งประเมินความหยาบของพื้นผิวเนื้อฟัน โดยการวิเคราะห์พื้นผิว 3 มิติที่มีความละเอียดสูง (quantitative 3D surface texture analysis) พบว่ากลุ่มที่ล้างด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 แสดงค่าความหยาบพื้นผิวคลองรากฟันสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ล้างด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 เพียงอย่างเดียวเนื่องจากสารละลายอีดีทีเอทำให้ผนังคลองรากฟันอ่อนลงจากการสลายส่วนอนินทรีย์หรือทำให้เนื้อฟันสูญเสียแคลเซียม เมื่อล้างต่อด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ซึ่งมีคุณสมบัติสลายส่วนอินทรีย์หรือสลายคอลลาเจนในเนื้อฟัน จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ความหยาบของพื้นผิวคลองรากฟันเพิ่มขึ้น จึงสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่ากลุ่มที่ล้างด้วยสารละลายอีดีทีเอตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์สูงขึ้น แสดงว่าพื้นผิวคลองรากฟันมีคุณสมบัติการเปียกต่ำลง ส่งผลให้ซีลเลอร์ไหลแผ่และแทรกซึมได้ลดลง

พื้นผิวคลองรากฟันกลุ่มที่ล้างด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์น้อยกว่ากลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่นและกลุ่มที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติช่วยให้คอลลาเจนคายน้ำบางส่วนออก ทำให้เส้นใยคอลลาเจนหดตัว เพิ่มช่องว่างระหว่างเส้นใย (27,28) ส่งผลให้วัสดุที่ไม่ชอบน้ำ เช่น อีพ็อกซีเรซิน แทรกซึมและฝังตัวได้ดีขึ้น (29) Pei และคณะ (30) ยังพบว่าเอทานอลสามารถลดความชื้นของเนื้อฟันบริเวณรากฟันได้ โดยเทคนิคการยึดติดแบบเปียกของเอทานอล (ethanol wet-bonding technique) ช่วยลดขั้วของคอลลาเจน ทำให้เรซินที่มีขั้วต่ำและไม่ชอบน้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอลได้ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดการยึดติดที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเมื่ออีพ็อกซีเรซินจับกับคอลลาเจนในเนื้อฟันที่ผ่านการล้างด้วยเอทานอล วัสดุที่ไม่ชอบน้ำ เช่น เอเอชพลัส จึงมีการไหลแผ่ดีขึ้น สามารถแทรกซึมเข้าสู่ท่อเนื้อฟันและช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (4,10,31) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า (4,12) ซึ่งพบว่าการใช้เอทานอลเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายส่งผลให้ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์น้อยกว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์หรือสารละลายอีดีทีเอเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่าเอทานอลช่วยเตรียมพื้นผิวคลองรากฟันให้เหมาะสมต่อการอุดคลองรากฟันด้วยอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับรายงานของ Kauravi และคณะ (32) ที่พบว่าเอเอชพลัสมีค่ามุมสัมผัสต่ำสุดเมื่อเนื้อฟันอยู่ในสภาวะแห้ง ซึ่งสภาวะดังกล่าวสามารถจำลองได้ด้วยการล้างผนังคลองรากฟันด้วยเอทานอลความเข้มข้นสูงและทำให้แห้งสนิท จากผลการศึกษานี้และการศึกษาก่อนหน้าแสดงให้เห็นว่าเอทานอลสามารถลดค่ามุมสัมผัสของพื้นผิวผนังคลองรากฟันทำให้เนื้อฟันแห้งมากขึ้น เป็นผลให้พื้นผิวผนังคลองรากฟันมีคุณสมบัติการเปียกมากขึ้น สร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการไหลแผ่ของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ ส่งผลให้ซีลเลอร์สามารถกระจายและแทรกซึมเข้าสู่ท่อเนื้อฟันได้ดีขึ้น ลดโอกาสเกิดช่องว่างภายในระบบคลองรากฟัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ความสามารถในการไหลแผ่ของซีลเลอร์ เอทานอลจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายก่อนการอุดคลองรากฟัน (30,31,33)

ในการศึกษานี้ทำการตัดฟันตามแนวแกนรากฟันเพื่อให้ได้พื้นผิวเนื้อฟันด้านในของรากฟัน (intraradicular dentin) ซึ่งเป็นบริเวณที่จะสัมผัสซีลเลอร์โดยตรง และเลือกทดสอบที่บริเวณส่วนกลางของรากฟัน (middle third of the root) เนื่องจากมีความสม่ำเสมอของโครงสร้างท่อเนื้อฟันมากกว่าส่วนปลายหรือส่วนคอฟัน (14,17,34,35) ขัดพื้นผิวผนังคลองรากฟันด้วยเครื่องขัดนาโน 1000 ที โพลิชเชอร์ร่วมกับกระดาษทรายน้ำที่มีเม็ดซิลิคอนคาร์ไบด์ เพื่อควบคุมให้พื้นผิวคลองรากฟันก่อนการทดลองมีความเรียบสม่ำเสมอเท่ากันในทุกกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากความหยาบของพื้นผิวเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัส Tartari และคณะ (15) ศึกษาผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันต่อความหยาบของพื้นผิวคลองรากฟัน โดยเตรียมพื้นผิวด้วยการขัดกระดาษทรายน้ำและวัดค่าความหยาบของรากฟันส่วนต้น กลาง และปลายพบว่าทั้ง 3 ตำแหน่งมีค่าความหยาบพื้นผิวไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ย (Arithmetical Roughness mean; Ra) 0.10-0.12 ไมโครเมตร และภายหลังการล้างน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่าง ๆ พื้นผิวคลองรากฟันทั้ง 3 ตำแหน่งก็มีค่าความหยาบของพื้นผิวไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าความหยาบของพื้นผิวคลองรากฟันแต่ละตำแหน่งมีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเลือกใช้ตำแหน่งส่วนกลางของรากฟันจึงไม่ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสและยังเป็นบริเวณที่เหมาะสมต่อการไหลแผ่ของซีลเลอร์มากที่สุด (14,15,36)

การทดลองทั้งหมดดำเนินการภายใต้สภาวะควบคุม เพื่อป้องกันผลกระทบจากอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งมีผลต่อแรงตึงผิวของของเหลว (37) และควบคุมปริมาตรของซีลเลอร์เท่ากับ 100 ไมโครลิตร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของซีลเลอร์อาจส่งผลต่อค่ามุมสัมผัส (38) นอกจากนี้ยังจำลองขั้นตอนทางคลินิกโดยกำจัดชั้นสเมียร์ด้วยสารละลายอีดีทีเอร้อยละ 17 ตามด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายชนิดต่าง ๆ และซับให้แห้งก่อนหยดซีลเลอร์ เพื่อเตรียมพื้นผิวคลองรากฟันให้ใกล้เคียงกับสภาวะในทางคลินิกมากที่สุด สำหรับการวัดค่ามุมสัมผัส เลือกเวลาหลังซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันที ที่เวลา 1 นาที และ 5 นาที เพื่อจำลองช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มใส่ซีลเลอร์จนถึงสิ้นสุดการอุดคลองรากฟัน โดยซีลเลอร์เอเอชพลัสมีระยะเวลาก่อตัวประมาณ 385–464 นาที (39,40) จากการทดลองพบว่าที่ระยะเวลามากกว่า 5 นาทีขึ้นไป ซีลเลอร์มีการไหลแผ่ลดลงและมีค่ามุมสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกำหนดเวลา 5 นาทีเป็นช่วงสุดท้ายในการวัด แม้ว่าการไหลแผ่ของซีลเลอร์จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป แต่ในการอุดคลองรากฟันด้วยเทคนิควอร์มเวอร์ติคอลคอนเดนเซชัน (warm vertical condensation) ที่ใช้ความร้อนและแรงกดก็สามารถช่วยเพิ่มการไหลแผ่และการแทรกซึมของซีลเลอร์เข้าสู่ท่อเนื้อฟันได้มากขึ้น (41)

แม้ว่าการเตรียมตัวอย่างและการล้างพื้นผิวรากฟันในการศึกษานี้จะพยายามจำลองขั้นตอนให้ใกล้เคียงทางคลินิกมากที่สุด แต่ยังคงมีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ พื้นผิวผนังคลองรากฟันที่ผ่านการขัดและตัดแบ่งฟันแตกต่างจากผนังคลองรากฟันที่ผ่านการขยายและทำความสะอาดจริงในทางคลินิก การล้างพื้นผิวรากฟันภายหลังจากการตัดแบ่งน้ำยาจะไหลผ่านในทิศทางจากบนลงล่าง แตกต่างจากสภาวะทางคลินิกที่น้ำยามีการหมุนวนภายในคลองรากฟัน อย่างไรก็ตามมีการกำหนดปริมาตรและระยะเวลาในการล้างให้เท่ากันทุกกลุ่ม เพื่อให้การสัมผัสของน้ำยากับพื้นผิวรากฟันมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการจำลองการใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่าง ๆ เพื่อปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันบริเวณคลองรากฟัน และวัดค่ามุมสัมผัสระหว่างซีลเลอร์กับเนื้อฟัน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติการเปียกและการไหลแผ่ของซีลเลอร์เท่านั้น การเลือกใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันในทางคลินิกจำเป็นต้องพิจารณาอีกหลายคุณสมบัติร่วมด้วย เช่น ความสามารถในการชะล้างเนื้อเยื่อ เศษสกปรก และเชื้อจุลชีพให้หลุดออกจากคลองรากฟัน ความสามารถในการละลายสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ การฆ่าเชื้อจุลชีพทั้งภายในและภายนอกไบโอฟิล์ม รวมถึงความปลอดภัยต่อเนื้อเยื่อรอบปลายรากและผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อฟัน (8) และเพื่อให้

สอดคล้องกับการใช้งานในทางคลินิกควรมีการศึกษาต่อเนื่องโดยจำลองการอุดคลองรากฟันจริงเพื่อประเมินการไหลแผ่และการแทรกซึมของซีลเลอร์เข้าสู่ท่อเนื้อฟัน รวมถึงการศึกษาซีลเลอร์ชนิดอื่น ๆ เช่น แคลเซียมซิลิเกตเบสซีลเลอร์ (Calcium silicate-based sealer) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการใช้งานต่อไป

บทสรุป (Conclusions)

น้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่าง ๆ มีผลต่อค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์บนพื้นผิวผนังคลองรากฟัน การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นน้ำยาล้างขั้นสุดท้ายทำให้คุณสมบัติการเปียกของพื้นผิวและการไหลแผ่ของซีลเลอร์ลดลง ในขณะที่การล้างด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 สามารถเพิ่มคุณสมบัติการเปียกของพื้นผิวผนังคลองรากฟันและลดค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวผนังคลองรากฟันกับซีลเลอร์ ส่งเสริมให้ซีลเลอร์สามารถไหลแผ่สู่ระบบคลองรากฟันที่ซับซ้อน เพิ่มความแนบสนิทระหว่างผนังคลองรากฟันกับวัสดุอุดคลองรากฟัน

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Mamootil K, Messer H. Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. Int Endod J. 2007; 40(11):873-81.

2. Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao C, De-Deus G, Zehnder M. The impact of root dentine conditioning on sealing ability and push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer. Int Endod J. 2011;44(6):491-8.

3. Mohan RP, Pai AR. The comparison between two irrigation regimens on the dentine wettability for an epoxy resin based sealer by measuring its contact angle formed to the irrigated dentine. J Conserv Dent. 2015;18(4):275-8.

4. Pantoja CA, Silva DH, Soares AD, Ferraz CC, Gomes BP, Zaia AA, et al. Influence of ethanol on dentin roughness, surface free energy, and interaction between AH Plus and root dentin. Braz Oral Res. 2018;32:e33. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0033.

5. Marmur A, Della Volpe C, Siboni S, Amirfazli A, Drelich JW. Contact angles and wettability: towards common and accurate terminology. Surf Innov. 2017;5(1):3-8.

6. Yamada RS, Armos A, Goldman M. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. J Endod. 1983;9(4):137-42.

7. Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. Int Endod J. 2002;35(11):934-9.

8. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. Dent Clin North Am. 2010;54(2):291-312.

9. Ulusoy Ö, Mantı A, Çelik B. Nanohardness reduction and root dentine erosion after final irrigation with ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acids. Int Endod J. 2020;53(11): 1549-58.

10. Neelakantan P, Sharma S, Shemesh H, Wesselink PR. Influence of irrigation sequence on the adhesion of root canal sealers to dentin: a Fourier transform infrared spectroscopy and push-out bond strength analysis. J Endod. 2015; 41(7):1108-11.

11. Wilcox LR, Wiemann AH. Effect of a final alcohol rinse on sealer coverage of obturated root canals. J Endod. 1995;21(5):256-8.

12. Stevens RW, Strother JM, McClanahan SB. Leakage and sealer penetration in smear-free dentin after a final rinse with 95% ethanol. J Endod. 2006;32(8):785-8.

13. de Assis DF, do Prado M, Simão RA. Evaluation of the interaction between endodontic sealers and dentin treated with different irrigant solutions. J Endod. 2011;37(11):1550-2.

14. Hu X, Ling J, Gao Y. Effects of irrigation solutions on dentin wettability and roughness. J Endod. 2010;36(6):1064-7.

15. Tartari T, Duarte Junior AP, Silva JO, Klautau EB, Souza MH, Souza PD. Etidronate from medicine to endodontics: effects of different irrigation regimes on root dentin roughness. J Appl Oral Sci. 2013;21(5):409-15.

16. Kontakiotis EG, Tzanetakis GN, Loizides AL. A comparative study of contact angles of four different root canal sealers. J Endod. 2007;33(3): 299-302.

17. Ballal NV, Tweeny A, Khechen K, Prabhu KN, Tay FR. Wettability of root canal sealers on intraradicular dentine treated with different irrigating solutions. J Dent. 2013;41(6):556-60.

18. Johnson R, Dettre R. Wettability and contact angles. In: Matijevic E, editor. Surface and Colloid Science. Vol 2. New York: Wiley-Interscience; 1969. p.140-42.

19. Rosales J, Marshall G, Marshall S, Watanabe L, Toledano M, Cabrerizo M, et al. Acid-etching and hydration influence on dentin roughness and wettability. J Dent Res. 1999; 78(9):1554-9.

20. Ari H, Erdemir A, Belli S. Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root canal dentin. J Endod. 2004;30(11):792-5.

21. Dogan Buzoglu H, Calt S, Gümüs-derelioglu M. Evaluation of the surface free energy on root canal dentine walls treated with chelating agents and NaOCl. Int Endod J. 2007;40(1):18-24.

22. Donnermeyer D, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E, Dammaschke T. Influence of the final irrigation solution on the push-out bond strength of calcium silicate-based, epoxy resin-based and silicone-based endodontic sealers. Odontology. 2019;107(2):231-6.

23. La Rosa GR, Scolaro C, Leanza G, Rapisarda S, Isola G, Cutroneo M, et al. Surface tension and wetting ability comparison of sodium hypochlorite and ethylenediaminetetraacetic acid with and without surfactants. G Ital Endod. 2021; 35(1):10-7.

24. Buyukozer Ozkan H, Terlemez A, Batibay AB, Erdogan H, Kont Cobankara F. Evaluation of surface tensions and root-dentin surface contact angles of different endodontic irrigation solutions. BMC Oral Health. 2024;24(1): 681. doi: 10.1186/s12903-024-04453-w.

25. Wang Z, Maezono H, Shen Y, Haapasalo M. Evaluation of root canal dentin erosion after different irrigation methods using energy-dispersive X-ray spectroscopy. J Endod. 2016;42(12):1834-9.

26. Elbahary S, Haj-Yahya S, Khawalid M, Tsesis I, Rosen E, Habashi W, et al. Effects of different irrigation protocols on dentin surfaces as revealed through quantitative 3D surface texture analysis. Sci Rep. 2020;10(1):22073. doi: 10.1038/s41598-020-79003-9.

27. Osorio E, Toledano M, Aguilera F, Tay F, Osorio R. Ethanol wet-bonding technique sensitivity assessed by AFM. J Dent Res. 2010;89(11):1264-9.

28. Vafaei S, Podowski M. Analysis of the relationship between liquid droplet size and contact angle. Adv Colloid Interface Sci. 2005; 113(2-3):133-46.

29. Tay F, Pashley DH, Kapur R, Carrilho M, Hur Y, Garrett L, et al. Bonding BisGMA to dentin—a proof of concept for hydrophobic dentin bonding. J Dent Res. 2007;86(11):1034-9.

30. Pei D, Huang X, Huang C, Wang Y, Ouyang X, Zhang J. Ethanol-wet bonding may improve root dentine bonding performance of hydrophobic adhesive. J Dent. 2012;40(5):433-41.

31. Pantoja CD, da Silva DH, de Jesus Soares A, Ferraz CC, de Almeida Gomes BP, Zaia AA, et al. Effect of ethanol-conditioned dentine on sealer penetration into dentinal tubules: a confocal microscopy study. Braz J Oral Sci. 2021; 20:e211194-e. doi: 10.1016/j.joen.2013.07.026.

32. Kauravi S, Attavar SH, Singh GP. Influence of Dentin Moisture Conditions on the Wetting Action of Different Endodontic Sealers Using Rame-Hart Goniometer: An: In Vitro: Study. J Int Oral Health. 2022;14(6):624-8.

33. Pashley EL, Zhang Y, Lockwood PE, Rueggeberg FA, Pashley DH. Effects of HEMA on water evaporation from water–HEMA mixtures. Dent Mater. 1998;14(1):6-10.

34. Kunam D, Uppalapati Y, Ponnapalli AT, Krishna CN, Bode Y, Yadatha S. Comparative evaluation of wettability of AH plus, Ceraseal and Guttaflow bioseal root canal sealers on root canal dentin: An in vitro study. J Conserv Dent Endod. 2024;27(10):1021-5.

35. Ha JH, Kim HC, Kim YK, Kwon TY. An evaluation of wetting and adhesion of three bioceramic root canal sealers to intraradicular human dentin. Materials (Basel). 2018;11(8):1286. doi: 10.3390/ma11081286.

36. Tsenova-Ilieva I, Simeonova S, Karova E. Atomic force microscopy study on the effect of different irrigation regimens on the surface roughness of human root canal dentin. Niger J Clin Pract. 2022;25(3):261-6.

37. Newmann A. Contact angles and their temperature dependence. Adv Colloid Interface Sci. 1974;4(2-3):105-91.

38. Good RJ, Koo M. The effect of drop size on contact angle. J Colloid Interface Sci. 1979;71(2):283-92.

39. Kwak SW, Koo J, Song M, Jang IH, Gambarini G, Kim HC. Physicochemical properties and biocompatibility of various bioceramic root canal sealers: in vitro study. J Endod. 2023;49(7): 871-9.

40. Silva EJ, Ehrhardt IC, Sampaio GC, Cardoso ML, Oliveira DD, Uzeda MJ, et al. Determining the setting of root canal sealers using an in vivo animal experimental model. Clin Oral Investig. 2021;25:1899-906.

41. Schmidt S, Schäfer E, Bürklein S, Rohrbach A, Donnermeyer D. Minimal dentinal tubule penetration of endodontic sealers in warm vertical compaction by direct detection via SEM analysis. J Clin Med. 2021;10(19):4440. doi: 10.3390/jcm10194440.

ติดต่อบทความ:
อ.ดร.ทพญ.กุลนันทน์ ดำรงวุฒิ
ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 คลองเตยเหนือ เขตวัฒนา
กรุงเทพมหานคร 10110
โทรศัพท์: 02 649 5000 ต่อ 15112
อีเมล์: kdumrongvute@gmail.com

Corresponding author:
Dr. Kunlanun Dumrongvute
Department of Conservative Dentistry and
Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Srinakharinwirot University 114 Sukhumvit 23,
Khlong Toei Nuea, Watthana, Bangkok 10110,
Thailand.
Tel: (662) 649 5000 ext. 15112
E-mail: kdumrongvute@gmail.com