



ผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันต่อค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์
EFFECT OF IRRIGANTS ON CONTACT ANGLE OF EPOXY RESIN-BASED SEALER



กนกภัสสร บุญดีกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

ผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันต่อค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECT OF IRRIGANTS ON CONTACT ANGLE OF EPOXY RESIN-BASED SEALER



KANOKPATSORN BOONDEEKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Clinical Dentistry)

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันต่อค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์

ของ

กนกภัสสร บุญดีกุล

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(อาจารย์ ทพญ. ดร.กุลนันท์ ดำรงวุฒิ) (อาจารย์ ทพญ. ดร.จารุมา ศักดิ์ดี)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ทพ. ดร.ณัฐพล กิตติคุณเดชา)

ชื่อเรื่อง	ผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันต่อค่ามัมส์ของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์
ผู้วิจัย	กนกภัสสร บุญดีกุล
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ทพญ. ดร. กุลนันท์ ดำรงวุฒิ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่ามัมส์ระหว่างเนื้อฟันที่ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ นำฟันกรามน้อยรากเดียวลงบล็อกเรซินอะคริลิกและตัดแบ่งบล็อกฟันบริเวณกึ่งกลางออกเป็น 2 ส่วนตามแนวแกนฟัน ล้างพื้นผิวรากฟันด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 25 มิลลิตร ตามด้วยอีดีทีเอร้อยละ 17 10 มิลลิตร จากนั้นแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ตัวอย่าง ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกัน ได้แก่ (1) น้ำกลั่น (2) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 และ (3) เอทานอลร้อยละ 70 ปริมาตร 10 มิลลิตร เป็นเวลา 1 นาที ซับพื้นผิวให้แห้ง หลังจากนั้นหยดซีลเลอร์บริเวณกึ่งกลางของรากฟัน บันทึกวิดีโอด้วยกล้องร่วมกับเลนส์ไมโครและใช้ภาพเมื่อซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันที หลังสัมผัส 1 และ 5 นาทีมาคำนวณค่ามัมส์โดยใช้โปรแกรมอิมเมจเจ วิเคราะห์ค่ามัมส์ระหว่างน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและวิเคราะห์ค่ามัมส์ที่ระยะเวลาแตกต่างกันด้วยการวิเคราะห์การแปรปรวนซ้ำที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 มีค่ามัมส์สูงที่สุด ตามด้วยน้ำกลั่น และเอทานอลร้อยละ 70 ตามลำดับ และค่ามัมส์ของน้ำยาล้างคลองรากฟันทั้ง 3 ชนิดมีค่าแตกต่างกันทุกช่วงเวลา โดยค่ามัมส์หลังซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันทีจะมีค่ามากที่สุดและน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งค่ามัมส์มากแสดงถึงคุณสมบัติการเปียกที่ไม่ดีส่งผลให้การไหลแผ่ลดลง การศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าคุณสมบัติการเปียกหรือการไหลแผ่ของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์บนพื้นผิวผนังคลองรากฟันจะลดลงเมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้าย และการล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 70 สามารถเพิ่มคุณสมบัติการเปียกของพื้นผิวเนื้อฟันบริเวณรากฟันได้

คำสำคัญ : คุณสมบัติการเปียก, ค่ามัมส์, เอทานอล, อีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์, เอเอชพลัส

Title	EFFECT OF IRRIGANTS ON CONTACT ANGLE OF EPOXY RESIN-BASED SEALER
Author	KANOKPATSORN BOONDEEKUL
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Kunlanun Dumrongvute

This study aimed to compare contact angles between dentin treated with different irrigants and an epoxy resin-based sealer. Single-rooted premolars were embedded in acrylic resin and cut into 2 sections along longitudinal axis. The root canal surfaces were rinsed with 5.25% sodium hypochlorite (25 ml), followed by 17% EDTA (10 ml). Samples were divided into 3 groups (n=5) and rinsed with different irrigants (10 ml, 1 minute): (1) distilled water, (2) 5.25% sodium hypochlorite, and (3) 70% ethanol. After drying, a drop of sealer was placed onto each surface. The contact angle was measured by recording a video with a macro lens camera and capturing images at initial contact, as well as at 1 minute and 5 minutes after initial contact. The angles were calculated using ImageJ software. Data were analyzed using one-way ANOVA for different irrigants, and repeated measures ANOVA for different time points, with significance set at 0.05. The results indicated that the group rinsed with 5.25% sodium hypochlorite had the highest contact angle, followed by distilled water and 70% ethanol, respectively. Contact angles differed significantly across all time points, with the highest angle immediately after contact decreasing over time. A higher contact angle suggests poor wettability, which affects sealer flow. This study concludes that the wettability and flow of epoxy resin-based sealers decrease when sodium hypochlorite is used as the final irrigant, while rinsing with 70% ethanol enhances wettability on root dentin surfaces.

Keyword : Wettability, Contact angle, Ethanol, Epoxy resin-based sealer, AH plus

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเมตตากรุณาของคณาจารย์และบุคลากรหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณ อ.ทพญ.ดร.กุลนันท์ ดำรงวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ตลอดจนแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ หลายประการที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาเข็นโดคอนต์ และคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านที่ให้ความรู้และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงการศึกษา

ขอบพระคุณนางกนกพร สุขยานนท์ สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ภายในห้องปฏิบัติการชั้น 10 และขอบพระคุณนายศิริชัช ภู่อ่าง สำหรับความช่วยเหลือในการตัดแปลงวิธีวัดค่ามุมสัมผัสโดยจำลองให้ได้หลักการเดียวกับเครื่องวัดค่ามุมสัมผัสโดยตรง

ขอบพระคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ รวมถึงเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณครอบครัว รุ่งพี และเพื่อนๆ ทุกคนที่สนับสนุนและให้กำลังใจ รวมถึงให้คำปรึกษาจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กนกภัสสร บุญดีกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
คำถามวิจัย.....	2
ความสำคัญของงานวิจัย	3
จุดมุ่งหมายของงานวิจัย	4
ขอบเขตของงานวิจัย	4
ตัวแปรที่ศึกษา.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
กรอบแนวคิดวิจัย	5
สมมติฐานงานวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite; NaOCl)	7
กรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซีติก หรืออีดีทีเอ (Ethylenediaminetetraacetic acid; EDTA) ...	9
เอทานอล (Ethanol).....	12
อีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ (Epoxy resin-based sealer).....	14

พลังงานพื้นผิวและคุณสมบัติการเปียก (Surface energy and wettability).....	15
มุมสัมผัสและคุณสมบัติการเปียก (Contact angle and wettability).....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	20
วัสดุอุปกรณ์	20
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	20
การคัดเลือกพื้นที่ใช้ในการทดลอง.....	21
การวัดค่ามุมสัมผัส	22
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	23
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	25
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	28
สรุปผลการวิจัย.....	28
อภิปรายผล	28
ข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก.....	40
ประวัติผู้เขียน.....	46

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมุมสัมผัสระหว่างเนื้อพื้นบริเวณรากฟันกับ	
อ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์.....	25



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย	5
ภาพประกอบ 2 ท่อเนื้อฟันที่ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่าง ๆ จากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 700 เท่า (ก) ล้างด้วยอีทีทีเเคความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (ข) ล้างด้วยอีทีทีเเคความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ⁽¹⁴⁾	10
ภาพประกอบ 3 ท่อเนื้อฟันที่ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (ก) ล้างด้วยอีทีทีเเคความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร, (ข,ค) ล้างด้วยอีทีทีเเคความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความ เข้มข้นร้อยละ 6 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร, กำลังขยาย 3000 และ 4000 เท่า	12
ภาพประกอบ 4 สูตรและโครงสร้างเคมีของเอทานอล	12
ภาพประกอบ 5 (ก) การวัดมุมสัมผัส (ข) ของเหลวที่หยดลงบนพื้นผิวที่ไม่ชอบและชอบน้ำ ⁽³⁵⁾ ..	17
ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างเครื่องวัดมุมสัมผัสโดยตรง (ก) Dynamic Contact Angle Analyzer (FTA° 200) (ข) Rame-Hart goniometer software	18
ภาพประกอบ 7(ก) แผนภาพตัวอย่างเครื่องวัดค่ามุมสัมผัสที่ดัดแปลงขึ้นมา มีองค์ประกอบดังนี้ (1) เครื่องวัดอุณหภูมิ (2) ไมโครปิเปต (3)ฐานแก้วรอง (4) แผ่นตัวอย่างชิ้นงาน (5) หยดของเหลว ที่ทดสอบ (6) เครื่องควบคุมความดัน (7) กล้องบันทึกภาพ (8) แหล่งกำเนิดแสง (ข) ภาพตัวอย่าง ที่ได้จากการทดลอง	18
ภาพประกอบ 8 ผลการคำนวณกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรม G*power.....	21
ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการเตรียมบล็อกฟันตัวอย่าง.....	22
ภาพประกอบ 10 (ก) เครื่องวัดค่ามุมสัมผัสที่ดัดแปลงขึ้นมา มีองค์ประกอบดังนี้ (1) กล้อง บันทึกภาพ (2) ไมโครปิเปต (3) ฐานวาง (4) บล็อกฟันตัวอย่าง (5) แหล่งกำเนิดแสง (ข) การ บันทึกวิดีโอด้วยกล้อง	24

ภาพประกอบ 11 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัส จำแนกตามน้ำยาล้างคลองรากฟันที่ ระยะเวลาต่างๆ.....	26
ภาพประกอบ 12 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัส จำแนกตามช่วงเวลาของน้ำยาล้างคลอง รากฟันแต่ละชนิด.....	26
ภาพประกอบ 13 ภาพตัวอย่างของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์แต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละช่วงเวลา	27



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การรักษาคลองรากฟันมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาและส่งเสริมการหายของเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน โดยต้องกำจัดแบคทีเรียภายในระบบคลองรากฟันให้ได้มากที่สุด จึงต้องมีการทำความสะอาดคลองรากฟัน (cleaning) ตกแต่งรูปร่างคลองรากฟันให้เหมาะสม (shaping) และอุดคลองรากฟันแบบสามมิติ (three-dimensional obturation) ด้วยวัสดุที่แนบสนิทไม่มีการรั่วซึม (impermeability) มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) มีเสถียรภาพเชิงมิติ (dimensional stability)⁽¹⁾ การอุดคลองรากฟันจึงเป็นอีกหนึ่งขั้นตอนที่สำคัญเพื่อปิดผนึกเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจหลงเหลืออยู่ภายในท่อเนื้อฟันและป้องกันไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ภายในระบบคลองรากฟันลงไปรบกวนเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันและสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการหายของเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน Khayat และคณะ⁽²⁾ พบว่าฟันที่อุดคลองรากฟันด้วยกัตตาเปอร์ชา (gutta percha) เพียงอย่างเดียว เกิดการรั่วซึมของน้ำลายตั้งแต่ส่วนต้นไปจนถึงปลายคลองรากฟันได้ภายใน 2 วัน ในขณะที่ฟันที่อุดด้วยกัตตาเปอร์ชาพร้อมกับซิลเลอร์พบการรั่วซึมข้างประมาณ 1 เดือน แสดงให้เห็นว่าซิลเลอร์มีบทบาทสำคัญในการอุดคลองรากฟันที่ช่วยป้องกันการรั่วซึมจากของเหลวและเชื้อจุลินทรีย์

ซิลเลอร์ทำหน้าที่เป็นสารยึดเหนี่ยว (binding agent) ช่วยยึดติดระหว่างผนังคลองรากฟันกับวัสดุอุดคลองรากฟัน เติมเต็มส่วนที่เป็นช่องว่าง ความไม่สม่ำเสมอของคลองรากฟัน และคลองรากฟันแขนงที่กัตตาเปอร์ชาเข้าไม่ถึง ซึ่งซิลเลอร์ที่ดีควรใช้งานได้ง่าย มีคุณสมบัติความแนบสนิท มีเสถียรภาพเชิงมิติ ไม่ละลายตัวเมื่อสัมผัสกับของเหลวในร่างกาย มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ไม่ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน ไม่ทำให้เนื้อฟันติดสี มีความทึบรังสี และสามารถรื้อออกได้หากจำเป็น⁽³⁾ อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีซิลเลอร์ชนิดใดมีคุณสมบัติดังกล่าวครบถ้วน อีพ็อกซีเรซินเบสซิลเลอร์เป็นซิลเลอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีส่วนประกอบเป็นเรซินที่ช่วยในการยึดติดกับเนื้อฟัน เกิดการแนบสนิทได้ดี มีเสถียรภาพเชิงมิติสูง และมีการพัฒนาเพื่อลดการหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) แต่มีข้อจำกัดคือมีความไวต่อน้ำสูง เนื่องจากเป็นเรซินที่มีส่วนประกอบของมอนอเมอร์ ชนิดไม่ชอบน้ำ (hydrophobic monomers) Roggendorf และคณะ⁽⁴⁾ พบว่าการ

บนเบื่อนของของเหลวบริเวณปลายรากฟัน มีผลทำให้เอเอชพลัส (AH plus) เกิดการรั่วซึมมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การไหลแผ่ (flow) และการยึดติดที่ดีของซีลเลอร์ เป็นคุณสมบัติที่มีความแตกต่างกันไปในซีลเลอร์แต่ละชนิด ขึ้นกับความเปียก (wettability) ของพื้นผิวเนื้อฟันในผนังคลองรากฟัน ซึ่งเป็นผลมาจากการเตรียมพื้นผิวคลองรากฟัน การเตรียมผิวคลองรากฟันด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกัน รวมถึงวิธีการล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พื้นผิวเนื้อฟันเกิดการเปียกที่แตกต่างกัน สารละลายแร่ธาตุที่ใช้ในการกำจัดชั้นสเมียร์ นอกเหนือจากอีดีทีเอแล้วยังมีอีกหลายชนิด เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดเอทิโดรอนิก (etidronic acid) หรือเฮชอีบีพี (HEBP) และกรดเปอร์อะซิติก (peracetic acid) เป็นต้น จะส่งผลให้เนื้อฟันสึกกร่อน (dentin erosion) แตกต่างกัน ทำให้สภาพของพื้นผิวเนื้อฟันหลังล้างแตกต่างกัน⁽⁵⁾ นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายหลายชนิดนอกเหนือจากไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ เช่น คลอเฮกซิดีน (chlorhexidine) หรือ เอทานอล (ethanol) เป็นต้น⁽⁶⁾

เอทานอลถูกนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติด เนื่องจากส่วนประกอบของสารยึดติดมักประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำ ซึ่งเข้ากันได้ดีกับเอทานอล มีการศึกษาพบว่าการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลส่งเสริมให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้น แต่การศึกษาส่วนใหญ่ศึกษาการยึดติดกับเนื้อฟันส่วนตัวฟันเท่านั้น⁽⁷⁾ อย่างไรก็ตามเริ่มมีการศึกษาที่นำเอทานอลมาใช้สำหรับการเตรียมพื้นผิวคลองรากฟันแล้ว Steven และคณะ⁽⁸⁾ พบว่าการใช้เอทานอลเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายภายหลังการกำจัดชั้นสเมียร์ สามารถเพิ่มการแทรกซึมของซีลเลอร์ (sealer penetration) และลดการรั่วซึมได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ Pantoja และคณะ^(9, 10) พบว่าเมื่อนำเอทานอลมาใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวคลองรากฟัน จะทำให้พื้นผิวคลองรากฟันมีคุณสมบัติความเปียกที่ดี โดยลดค่าความหยาบของผิว เพิ่มค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสระหว่างอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์กับผนังคลองรากฟันลดลงได้ และเมื่อนำเอทานอลไปใช้เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายและอุดคลองรากฟันด้วยอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ จะพบการแทรกซึมของซีลเลอร์เข้าไปในท่อเนื้อฟันได้ดี

คำถามวิจัย

น้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อคุณสมบัติการเปียกของเนื้อฟันบริเวณรากฟันหรือไม่

ความสำคัญของงานวิจัย

การอุดคลองรากฟันให้มีประสิทธิภาพเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการรักษาคลองรากฟัน แต่กัตตาเปอร์ชาไม่มีคุณสมบัติการยึดติดกับผิวฟัน จำเป็นต้องอาศัยซีลเลอร์เป็นตัวกลางทำให้เกิดความแนบสนิทระหว่างผนังคลองรากฟันกับวัสดุอุดคลองรากฟัน โดยคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ (physiochemical properties) ที่สำคัญของซีลเลอร์คือการไหลแผ่ ซึ่งจะทำให้เกิดการแทรกซึมของซีลเลอร์เข้าไปในท่อเนื้อฟัน ช่วยเพิ่มการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical lock) และการยึดอยู่ (retention) ของวัสดุอุดคลองรากฟัน ทำให้เกิดการป้องกันทางกายภาพ (physical barrier) รวมถึงช่วยฝังกลบแบคทีเรียที่ตกค้างภายในท่อเนื้อฟัน^(11, 12)

ความสามารถในการไหลแผ่สู่ระบบคลองรากฟันที่ซับซ้อนและเติมเต็มช่องว่างระหว่างผนังคลองรากฟัน การวัสดุอุดคลองรากฟัน รวมถึงการแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้ดีของซีลเลอร์ขึ้นอยู่กับความเปียกของพื้นผิวเนื้อฟันในผนังคลองรากฟัน ความเปียกแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว วัดและแสดงผลออกมาเป็นค่ามุมสัมผัส (contact angle) ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความหยาบของพื้นผิว (surface roughness) และสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ (surface free energy) มุมสัมผัสที่เกิดจากซีลเลอร์กับผิวเนื้อฟันเป็นสิ่งสำคัญ ค่ามุมสัมผัสระหว่างซีลเลอร์กับพื้นผิวผนังคลองรากฟันที่น้อยจะแสดงถึงพลังงานพื้นผิวอิสระและความเปียกของเนื้อฟันที่มากขึ้น ทำให้มีแนวโน้มของการไหลแผ่และส่งผลให้เกิดการแทรกซึมของซีลเลอร์เข้าสู่ท่อเนื้อฟันได้ดียิ่งขึ้น^(9, 13)

การเตรียมพื้นผิวของผนังคลองรากฟันด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันก่อนอุดคลองรากฟันที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือการล้างอิตาลีที่เอตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ เพื่อประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์ที่ดี⁽¹⁴⁾ อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์หลังใช้สารละลายแร่ธาตุ เช่น อิติทีเอ หรือกรดซิตริก ส่งผลให้เกิดการสึกกร่อนของพื้นผิวของผนังคลองรากฟัน^(15, 16) Neelakantan และคณะ⁽¹⁷⁾ พบว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์หลังจากอิตาลีที่เอ จะทำให้ปฏิกิริยาการยึดติดทางเคมีระหว่างเอเอชพลัส ซึ่งเป็นอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์กับคอลลาเจนในท่อเนื้อฟันไม่ดี ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกต่ำ แสดงให้เห็นว่าการสลายของคอลลาเจนในท่อเนื้อฟันส่งผลต่อการยึดติดของเอเอชพลัส ภายหลังเริ่มมีการนำเอทานอลมาเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันก่อนอุดคลองรากฟัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เนื้อฟันแห้งก่อนการอุดคลองรากฟัน ส่งเสริมให้ซีลเลอร์แทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันเพิ่มมากขึ้น เกิดการรั่วซึมที่บริเวณปลายรากฟันลดน้อยลง^(8, 18) Pantoja และคณะ⁽⁹⁾ ศึกษาผลของเอทานอลในการปรับสภาพเนื้อฟัน โดยพบว่า การล้างคลองราก

พันธุ์ด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 และ 100 สามารถลดค่าความหยาบของผิวเนื้อพันธุ์เพิ่มค่าพลังงานพื้นผิวอิสระ และลดค่ามุมสัมผัสระหว่างอีพ็อกซีเรซินเบสซิลิเคอร์กับผนังคลองรากพันธุ์ได้ โดยทั้งสองความเข้มข้นให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน แต่ในด้านการแทรกซึมของซิลิเคอร์ในท่อเนื้อพันธุ์เมื่อปรับสภาพผิวเนื้อพันธุ์ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ ได้แก่ ใช้เข็มล้างดูดน้ำออก ใช้แท่งกระดาษซับ ล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 70 และล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 100 พบว่าเมื่อปรับสภาพผิวด้วยเอทานอลร้อยละ 100 อีพ็อกซีเรซินเบสซิลิเคอร์จะแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อพันธุ์ทุกส่วนได้ดีกว่าเอทานอลร้อยละ 70 ⁽¹⁰⁾

ถึงแม้การใช้วิธีที่เอและซีเดียวไฮโปคลอไรต์เป็นน้ำยาล้างคลองรากพันธุ์ขั้นสุดท้ายให้ผลในการกำจัดชั้นสเมียร์ที่ดี ⁽¹⁴⁾ แต่ในแง่การเตรียมพื้นผิวของผนังคลองรากพันธุ์ก่อนอุดคลองรากพันธุ์อาจมีข้อเสียบางประการที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของซิลิเคอร์ มีหลายการศึกษาพบว่าการใช้วิธีที่เอร่วมกับไฮเดียมไฮโปคลอไรต์จะส่งผลให้พื้นผิวของผนังคลองรากพันธุ์เกิดการสึกกร่อน มีลักษณะขรุขระ ไม่เรียบ ส่งผลทำให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติการเปียก และการไหลแผ่ลดลงเช่นกัน ^(5, 15) ในปัจจุบันมีการศึกษานำเอทานอลมาปรับสภาพพื้นผิวคลองรากพันธุ์ ซึ่งเอทานอลสามารถลดค่ามุมสัมผัสของซิลิเคอร์ได้ และยังส่งผลให้เกิดการแทรกซึมของเอเอชพลัสเข้าสู่ท่อเนื้อพันธุ์ได้เพิ่มมากขึ้น แต่ยังไม่มีการศึกษาใดเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อพันธุ์ที่ใช้เอทานอลกับน้ำยาชนิดอื่นๆ ในการเป็นน้ำยาล้างคลองรากพันธุ์ขั้นสุดท้ายกับอีพ็อกซีเรซินเบสซิลิเคอร์ การศึกษานี้จึงมีความสนใจการเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อพันธุ์และอีพ็อกซีเรซินเบสซิลิเคอร์ เมื่อใช้เอทานอลในการเป็นน้ำยาล้างคลองรากพันธุ์ขั้นสุดท้าย

จุดมุ่งหมายของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อพันธุ์ที่ใช้น้ำยาล้างคลองรากพันธุ์ที่แตกต่างกันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซิลิเคอร์

ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ทำในฟันมนุษย์ที่ถูกถอน โดยมีการจำลองการล้างคลองรากพันธุ์ด้วยน้ำยาล้างคลองรากพันธุ์ที่แตกต่างกันสามชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น ไฮเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 และเอทานอลร้อยละ 70 หลังจากนั้นนำรากพันธุ์ตัวอย่างไปวัดค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อพันธุ์กับอีพ็อกซีเรซินเบสซิลิเคอร์

ตัวแปรที่ศึกษา

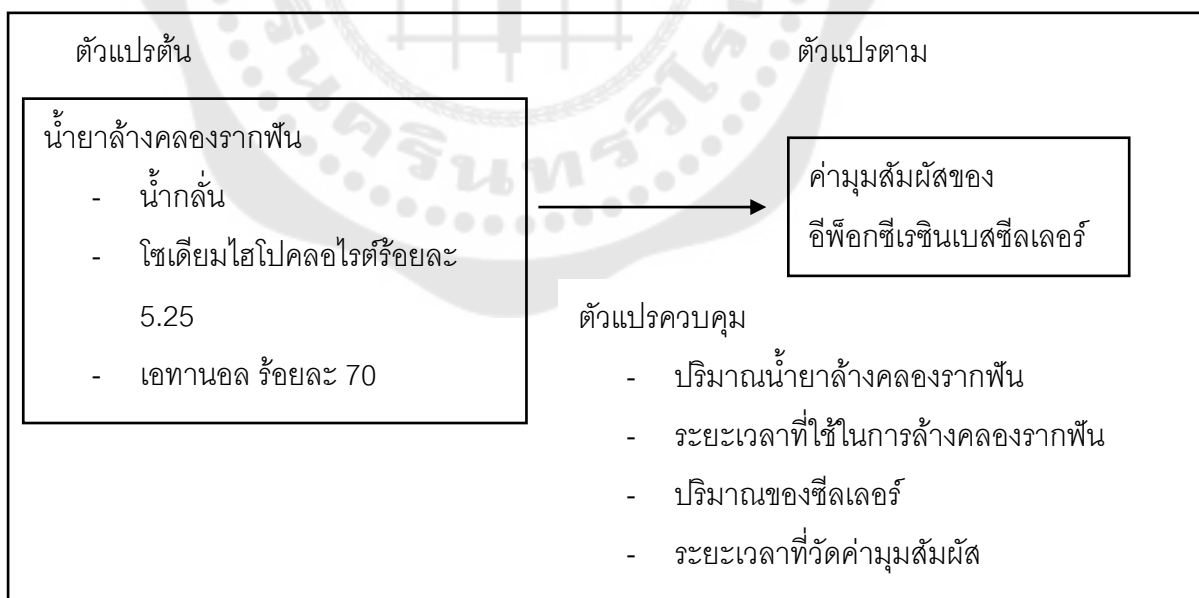
1. ตัวแปรต้น คือ น้ำยาล้างคลองรากฟัน ได้แก่ น้ำกลั่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 และเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 70
2. ตัวแปรตาม คือ ค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อฟันบริเวณรากฟันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ บันทึกในหน่วยองศา
3. ตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณน้ำยาล้างคลองรากฟัน ระยะเวลาที่ใช้ในการล้างคลองรากฟัน ปริมาณของซีลเลอร์ และระยะเวลาที่วัดค่ามุมสัมผัส

นิยามศัพท์เฉพาะ

ค่ามุมสัมผัส (contact angle) หมายถึง มุมระหว่างซีลเลอร์ที่ใช้ในการอุดคลองรากฟันกับพื้นผิวเนื้อฟันบริเวณคลองรากฟัน

การเปียก (wettability) หมายถึง คุณสมบัติทางกายภาพของพื้นผิวเนื้อฟันบริเวณคลองรากฟัน ส่งผลต่อการไหลแผ่ของซีลเลอร์บนพื้นผิว

กรอบแนวคิดวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย

สมมติฐานงานวิจัย

สมมติฐานหลัก: ชนิดของน้ำยาล้างคลองรากฟันไม่ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อฟันบริเวณรากฟันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์

สมมติฐานรอง: ชนิดของน้ำยาล้างคลองรากฟันส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อฟันบริเวณรากฟันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เป้าหมายหลักของการเตรียมคลองรากฟันคือเพื่อทำความสะอาดและตกแต่งรูปร่างคลองรากฟันให้น้ำยาล้างคลองรากฟันและยาเข้าไปทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีรูปร่างเหมาะสมสำหรับการอุดคลองรากฟัน น้ำยาล้างคลองรากฟันจึงจำเป็นในการทำทำความสะอาดคลองรากฟันและช่วยป้องกันการอุดตันของเศษเนื้อเยื่อบริเวณปลายรากฟัน นอกจากนี้ น้ำยาล้างคลองรากฟันยังมีบทบาทในการเตรียมพื้นผิวของผนังคลองรากฟัน เพื่อให้การอุดคลองรากฟันมีประสิทธิภาพอีกด้วย คุณสมบัติในอุดมคติของน้ำยาล้างคลองรากฟันมีดังนี้⁽¹⁶⁾

- สามารถชะล้างเนื้อเยื่อ เศษสกปรก และเชื้อจุลินทรีย์ให้หลุดออกจากคลองรากฟัน
 - ช่วยหล่อลื่นระหว่างการใส่เครื่องมือลงไป ในคลองรากฟัน ลดแรงเสียดทานของเครื่องมือ
 - ช่วยในการกำจัดเศษเนื้อฟัน และเศษเนื้อเยื่อที่เกิดจากการขยายคลองรากฟัน
 - มีความสามารถในการละลายสารอนินทรีย์ (inorganic tissue) เช่น เนื้อฟัน
 - มีความสามารถในการละลายสารอินทรีย์ (organic tissue) เช่น คอลลาเจน
- เนื้อเยื่อในไบโอฟิล์ม
- มีความสามารถในการไหลเข้าไปในบริเวณที่เข้าถึงยาก
 - ซ้ำเชื้อแบคทีเรียและยีสต์ ทั้งที่อยู่ภายในและภายนอกไบโอฟิล์ม
 - ไม่ระคายเคือง และไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อรอบปลายราก
 - ไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อฟัน ไม่ทำให้โครงสร้างของฟันอ่อนแอ

ในปัจจุบันยังไม่มีน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดใดที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามอุดมคติ ดังนั้นจึงต้องใช้ น้ำยาล้างคลองรากฟันร่วมกันหลายชนิดในการทำทำความสะอาดคลองรากฟันเพื่อให้การรักษาคลองรากฟันประสบความสำเร็จ

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite; NaOCl)

โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายเนื้อเยื่อในและกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี เมื่อโซเดียมไฮโปคลอไรต์สัมผัสกับน้ำจะแตกตัวเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na^+) และไฮโปคลอไรต์ไฮดรอกไซด์ (OCl^-) สร้างสมดุลโดยเกิด

เป็นกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีกับเนื้อเยื่อที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ ดังนี้⁽¹⁹⁾

- ปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชัน (saponification reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อโซเดียมไฮโปคลอไรด์ละลายสารอินทรีย์และไขมันในเนื้อเยื่อ โดยทำหน้าที่ย่อยสลายกรดไขมัน (fatty acid) แล้วเปลี่ยนให้เป็นเกลือของกรดไขมัน (fatty acid salts) หรือสบู่ และกลีเซอรอล (glycerol) หรือแอลกอฮอล์ (alcohol) ปฏิกิริยานี้จะลดแรงดึงดูดของสารละลายลงส่งผลให้เกิดการทำลายฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย

- ปฏิกิริยาสะเทิน (neutralization reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือกับน้ำ ปฏิกิริยานี้มีการดึงไฮดรอกซิลไอออนออก ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) มีค่าลดลง

- ปฏิกิริยาคลอรามิเนชัน (chloramination reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อกรดไฮโปคลอรัสสัมผัสกับเนื้อเยื่อที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย (solvent) ปลดปล่อยคลอรีน (chlorine) ไปรวมกับกรดอะมิโน เกิดเป็นคลอรามิน (chloramine) ขัดขวางกระบวนการเผาผลาญของเซลล์แบคทีเรีย (metabolism) ซึ่งคลอรีนเป็นสารออกซิแดนต์ที่มีความไวสูง (strong oxidant) ทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันของกลุ่มซัลไฟไฮดริล (sulphydryl group) บนเอนไซม์ที่สำคัญของแบคทีเรีย ทำให้เอนไซม์ของแบคทีเรียไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

ความสามารถในการละลายเนื้อเยื่อ (Tissue solubility of NaOCl)

คุณสมบัติละลายเนื้อเยื่อนับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำยาล้างคลองรากฟัน⁽²⁰⁾ Grossman และ Meiman⁽²¹⁾ ได้รายงานว่าโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 สามารถละลายเนื้อเยื่อได้โดยใช้เวลาตั้งแต่ 20 นาที ถึง 2 ชั่วโมง

Trepagnier และคณะ⁽²²⁾ ประเมินความสามารถในการละลายเนื้อเยื่อของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 2.5 และ 5 ที่ระยะเวลาต่างกัน นำน้ำยาที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ล้างคลองรากฟันที่มีเนื้อเยื่อในที่มีชีวิตอยู่ด้วยน้ำยาความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นระยะเวลา 1 5 15 และ 60 นาที และน้ำยาความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 2.5 เป็นระยะเวลา 5 นาที พบว่าที่ระยะเวลา 5 นาที โซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 มีความสามารถในการละลายเนื้อเยื่อได้ไม่แตกต่างกัน และละลายได้มากกว่าความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ระยะเวลาที่น้ำยาสัมผัสกับเนื้อเยื่อมีผลต่อการละลายเนื้อเยื่อ โดยระยะเวลา 60 นาทีจะละลายเนื้อเยื่อได้ดีกว่าที่ระยะเวลา 1 5 และ 15 นาที นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำสามารถเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการละลายเนื้อเยื่อได้ อีกทั้งการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่ได้รับความร้อนจะช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์จากการตัดเนื้อฟันได้มีประสิทธิภาพกว่าโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในอุณหภูมิปกติ⁽²³⁾

กรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติก หรืออีดีทีเอ (Ethylenediaminetetraacetic acid; EDTA)

การทำความสะอาดคลองรากฟันให้สะอาดต้องกำจัดเชื้อโรค สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในคลองรากฟัน น้ำยาล้างคลองรากฟันที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ แต่ไม่มีความสามารถในการกำจัดสารอนินทรีย์ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้น้ำยาชนิดอื่นในการกำจัดสารอนินทรีย์ ซึ่งอีดีทีเอเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันที่มีประสิทธิภาพในการละลายสารอนินทรีย์รวมถึงไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วย แต่สามารถกำจัดเชื้อได้น้อยและไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้⁽¹⁶⁾

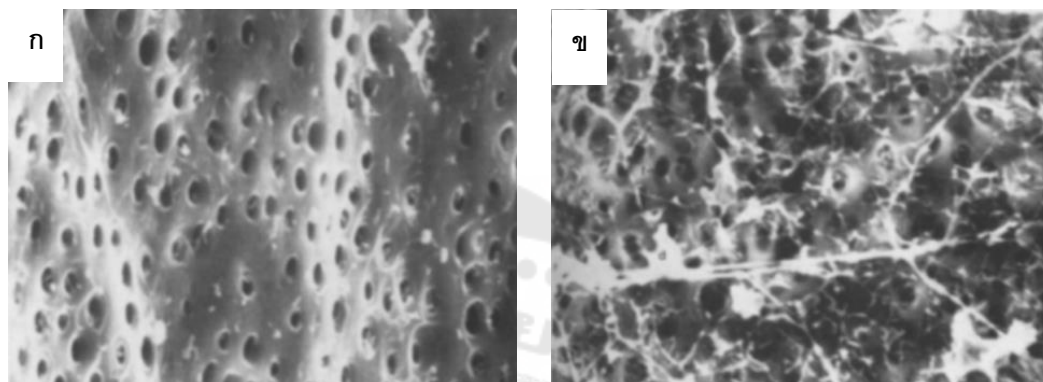
อีดีทีเอเป็นสารในกลุ่มกรดอะมิโนโพลิคาร์บอกซิลิก (aminopolycarboxylic acid) เป็นสารคีเลต(chelating agent) มีสูตรโครงสร้างคือ $(\text{HO}_2\text{CCH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2$ อีดีทีเอมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี ละลายน้ำได้ ใช้ในการกำจัดสารอนินทรีย์หรือชั้นสเมียร์ มีความสามารถในการดึงโมเลกุลที่มีประจุบวกของโลหะ (cationic metal ions) จากเนื้อฟัน เช่น Ca^{2+} และ Fe^{3+} เมื่ออีดีทีเอจับกับแคลเซียมในเนื้อฟัน จะเกิดเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียร ทำให้กระบวนการสลายแร่ธาตุหยุดลง อีดีทีเอจึงเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่จำกัด (self-limit)⁽²⁴⁾

ความสามารถในการกำจัดชั้นสเมียร์ (Smear layer removal)

ชั้นสเมียร์ประกอบด้วยเศษเนื้อฟัน ฟรีเดนทีน เศษเนื้อเยื่อใน ส่วนยื่นของเซลล์สร้างเนื้อฟัน น้ำยาล้างคลองรากฟันที่หลงเหลืออยู่ และอาจจะพบแบคทีเรียร่วมด้วย อีดีทีเอนิยมนำมาใช้ในการล้างคลองรากฟันเพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ และการใช้ร่วมกับสารที่สามารถละลายสารอินทรีย์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์ ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้อีดีทีเอหลังจากการล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์⁽²⁴⁾ การใช้อีดีทีเอในการล้างคลองรากฟันส่งผลให้ชั้นสเมียร์ถูกกำจัดทำให้เพิ่มการซึมผ่านสารของเนื้อฟันได้ดีขึ้น อีกทั้งเมื่อใช้อีดีทีเอร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรต์จะทำให้เกิดการทำความสะอาดคลองรากฟันที่ดี

Yamada และคณะ⁽¹⁴⁾ ศึกษาผลของการใช้สารคีเลตหลายชนิดเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้าย โดยใช้เฉพาะสารคีเลต 20 มิลลิลิตร หรือใช้สารคีเลต 10 มิลลิลิตร ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์และลักษณะของท่อเนื้อฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด พบว่าการใช้อีดี

ที่เอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 ปริมาตร 10 มิลลิลิตรสามารถกำจัดชั้นสเมียร์ และเศษผงที่เกิดจากการขยายคลองรากฟันได้ดีที่สุด ในขณะที่การใช้ดีทีเอเพียงอย่างเดียวสามารถกำจัดชั้นสเมียร์ได้ดี แต่ไม่สามารถกำจัดเศษผงที่เกิดจากการขยายคลองรากฟันได้ (ภาพประกอบ 2)



ภาพประกอบ 2 ท่อน้ำที่ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่าง ๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 700 เท่า (ก) ล้างด้วยดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (ข) ล้างด้วยดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ⁽¹⁴⁾

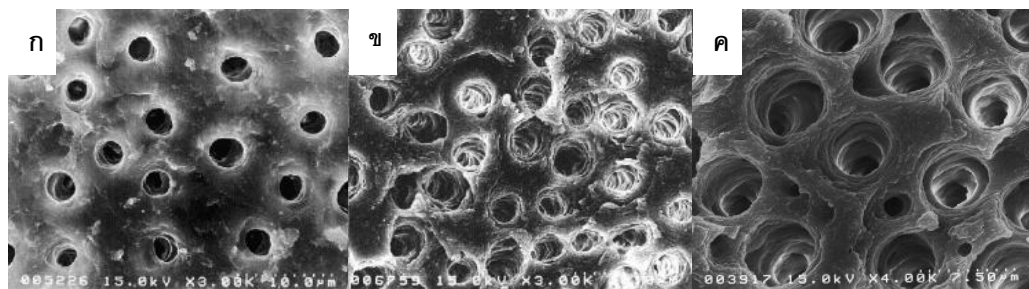
ปัจจุบันจึงนิยมใช้ดีทีเอกำจัดชั้นสเมียร์ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้าย แต่การศึกษาของ Neelakantan และคณะ ⁽¹⁷⁾ ศึกษาผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายต่อความแข็งแรงพันธะผลึกออกเมื่ออุดคลองรากฟันด้วยเอเซพพลัสซึ่งเป็นอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ พบว่ากลุ่มที่ล้างดีทีเอแล้วตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ให้ค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกต่ำกว่าในกลุ่มที่ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์แล้วตามด้วยดีทีเอ และให้ผลใกล้เคียงกับกลุ่มที่ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังทำการทดสอบปฏิกิริยาเคมีระหว่างซีลเลอร์และเนื้อฟันด้วย Fourier transform infrared spectroscopy (FTIRS) พบว่าในกลุ่มที่ล้างดีทีเอแล้วตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์และกลุ่มที่ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เพียงอย่างเดียวไม่พบพันธะเคมีระหว่างเนื้อฟันและซีลเลอร์ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ชั้นสเมียร์ถูกกำจัดด้วยดีทีเอไปแล้ว การล้างโซเดียมไฮโปคลอไรต์ตามจะส่งผลให้เกิดการทำลายคอลลาเจนในท่อเนื้อฟันหรือเกิดการฟุ้งตัวของชั้นคอลลาเจน

ซึ่งจะส่งผลที่ไม่ดีต่อการยึดติด (adhesion) กับผนังคลองรากฟันหากใช้ซีฟ็อกซีเรซินเบสซีล-เลอร์ (epoxy resin-based sealer) ในการอุดคลองรากฟัน

การสึกกร่อนของเนื้อฟัน (Dentin erosion)

ถึงแม้ปัจจุบันการใช้ซีดีทีเอบตามด้วยไฮโปคลอไรต์ยังเป็นที่นิยมอยู่มาก เนื่องจากคุณสมบัติการฆ่าเชื้อของไฮโปคลอไรต์ และคุณสมบัติในการกำจัดชั้นสเมียร์ของซีดีทีเอบ แต่ก็มีหลายการศึกษาพบว่าการใช้ซีดีทีเอบร่วมกับไฮโปคลอไรต์ยังส่งผลให้เกิดการสึกกร่อนของเนื้อฟันได้ จากการศึกษาของ Niu และคณะ⁽¹⁵⁾ พบว่ากลุ่มที่ล้างด้วยซีดีทีเอบเพียงอย่างเดียว เนื้อฟันรอบท่อเนื้อฟัน (peritubular dentin) และเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentin) มีลักษณะเรียบและแบน สามารถเห็นท่อเนื้อฟันเปิดโล่งอย่างชัดเจน ในขณะที่กลุ่มที่ล้างไฮโปคลอไรต์หลังจากซีดีทีเอบ จะพบเนื้อฟันรอบท่อเนื้อฟันและเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟันมีลักษณะไม่เรียบ ท่อเนื้อฟันมีขนาดใหญ่กว่าปกติ และมีความขรุขระ เนื่องจากซีดีทีเอบทำให้สูญเสียแคลเซียม และไฮโปคลอไรต์ทำให้เกิดการละลายของส่วนอินทรีย์ในเนื้อฟัน โดยลักษณะดังกล่าวไม่ได้เกิดแค่บนพื้นผิวของผนังคลองรากฟัน แต่ยังรวมถึงภายในท่อเนื้อฟันอีกด้วย (ภาพประกอบ 3) เช่นเดียวการศึกษาของ Ulusoy และคณะ⁽⁵⁾ พบว่าการใช้สารซีเลตร่วมกับไฮโปคลอไรต์ส่งผลให้ความแข็งแรงระดับจุลภาคลดลง และเกิดการสึกกร่อนของเนื้อฟันได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารซีเลต หรือไฮโปคลอไรต์เพียงอย่างเดียว ซึ่งพื้นผิวของผนังคลองรากฟันที่เกิดการสึกกร่อนจะมีลักษณะขรุขระ ไม่เรียบ มีค่าความหยาบของผิวสูงขึ้น ทำให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คุณสมบัติการเปียก และการไหลแผ่ลดลงเช่นกัน

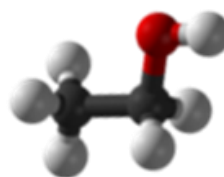
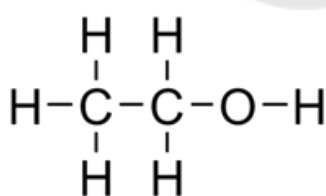
นอกจากนี้บางการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการได้รับไฮโปคลอไรต์ที่มีความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานสามารถลดความแข็งแรงในการดัด (flexural strength) และโมดูลัสของความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของเนื้อฟันได้อย่างมาก⁽²⁵⁾ ซึ่งการสึกกร่อนของเนื้อฟันอาจส่งผลที่ไม่พึงประสงค์ ทั้งต่อสภาพพื้นผิวของรากฟันก่อนการอุดคลองรากฟัน รวมถึงความแข็งแรงของเนื้อฟัน กระบวนการรักษาต่างๆทั้งทางกายภาพและทางเคมี จึงควรลดสิ่งนี้อาจก่อให้เกิดผลต่างๆดังที่กล่าวไป



ภาพประกอบ 3 ท่อเนื้อฟันที่ล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่างๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (ก) ล้างด้วยอีดีทีที่เอความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร, (ข,ค) ล้างด้วยอีดีทีที่เอความเข้มข้นร้อยละ 15 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 6 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร, กำลังขยาย 3000 และ 4000 เท่า

เอทานอล (Ethanol)

เอทานอล หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) คือ แอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย มีความไวไฟและค่าออกเทนสูง มีสูตรเคมี คือ C_2H_5OH ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นไฮดรอกซิลดริเวทีฟ (hydroxyl derivative) ของไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) เกิดจากการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล (OH) มีจุดหลอมเหลว -114.1 องศาเซลเซียสและมีจุดเดือด 78.5 องศาเซลเซียส สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้ผลิตอาหาร และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือใช้ทางการแพทย์⁽²¹⁾ เป็นต้น



ภาพประกอบ 4 สูตรและโครงสร้างเคมีของเอทานอล

เอทานอลถูกนำมาใช้ในการปรับสภาพพื้นผิว (Ethanol-wet bonding technique) เพื่อแก้ไขปัญหาการยึดติดของวัสดุบูรณะกับเนื้อฟัน เนื่องจากส่วนประกอบในระบบสารยึดติดมักเป็น

มอนอเมอร์ ชนิดไม่ชอบน้ำ ซึ่งเอทานอลจะเข้าไปแทนที่น้ำก่อนการยึดติด ช่วยให้ไม่เกิดการฟุ้งตัวของคอลลาเจน มอนอเมอร์ชนิดไม่ชอบน้ำก็จะสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลเกิดเป็นชั้นไฮบริดชนิดไม่ชอบน้ำขึ้นมา โดยมีการศึกษาการขจัดน้ำส่วนเกินออกจากผิวเนื้อฟันที่ปราศจากแร่ธาตุโดยการล้างผิวด้วยเอทานอลร้อยละ 100 จำนวน 3 ครั้ง จะพบการแทนที่น้ำด้วยเอทานอลทั้งหมด ⁽²⁶⁾ นอกจากนี้ Pei และคณะ ⁽⁷⁾ ทำการศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเอทานอลในบริเวณรากฟัน พบว่าเอทานอลสามารถแทรกซึมเข้าไปแทนที่น้ำที่ตกค้างอยู่ภายในช่องว่างได้ และพบว่าเมื่อเส้นใยคอลลาเจนสัมผัสกับเอทานอล จะเกิดการหดตัว ทำให้พื้นที่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจนในเนื้อฟันเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการแทรกซึมของมอนอเมอร์ได้มากขึ้นเช่นกัน

สำหรับงานรักษารากฟัน ก่อนจะทำการอุดคลองรากฟันนั้นการเตรียมพื้นผิวคลองรากฟันเป็นสิ่งสำคัญ การล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายด้วยน้ำยาที่แตกต่างกันอาจทำให้คุณสมบัติของเนื้อฟันบริเวณรากฟันเปลี่ยนแปลง น้ำยาล้างคลองรากฟันบางชนิดอาจส่งเสริมให้เกิดการไหลผ่านของซิลเลอร์เข้าไปในท่อเนื้อฟันมากขึ้น เมื่อซิลเลอร์ชนิดไม่ชอบน้ำสัมผัสกับพื้นผิวที่แห้งและมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเช่นกัน จะส่งผลให้มีค่ามุมสัมผัสที่ต่ำ เกิดการไหลผ่านของซิลเลอร์สูง เกิดการประสานเชิงกล (intermechanical interlock) ในท่อเนื้อฟัน ทำให้มีคุณสมบัติการยึดติดและการแนบสนิทที่ดี ^(8, 18) Wilcox และคณะ ⁽¹⁸⁾ ศึกษาการทำให้ผนังคลองรากฟันแห้งโดยการใช้อัลกอฮอล์ร้อยละ 95 มาใช้เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายเปรียบเทียบกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลังจากนั้นพิจารณาปริมาณของซิลเลอร์ที่พบภายหลังการอุดคลองรากฟัน พบว่าที่บริเวณส่วนต้นของคลองรากฟันไม่มีความแตกต่างกัน แต่ส่วนกลางและส่วนปลายของคลองรากฟัน กลุ่มที่ใช้แอลกอฮอล์จะพบปริมาณของซิลเลอร์ที่มากกว่า นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Steven และคณะ ⁽⁸⁾ ที่ศึกษาการรั่วซึมและการแทรกซึมของซิลเลอร์ โดยใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายที่แตกต่างกันระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเอทานอลร้อยละ 95 ภายหลังการกำจัดชั้นเคลือบด้วยอีทีเอแล้ว พบว่ากลุ่มที่ใช้เอทานอลมีการรั่วซึมที่น้อยกว่า และมีการแทรกซึมของซิลเลอร์เฉลี่ยมากถึง 265 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกับอีกกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 141 ไมโครเมตร นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะพบว่าซิลเลอร์ที่อยู่บริเวณรอยต่อของกลุ่มเอทานอลมีลักษณะที่เรียบ และติดกับชั้นเนื้อฟัน ในขณะที่กลุ่มไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะพบช่องว่างระหว่างซิลเลอร์กับเนื้อฟัน และซิลเลอร์มีลักษณะไม่เรียบ มีรูพรุน

อีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ (Epoxy resin-based sealer)

เป็นซีลเลอร์ที่ปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีจุดเด่น คือ มีการไหลแผ่และแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้ ทำให้เกิดการยึดติดกับผนังคลองรากฟันได้ดี มีเสถียรภาพเชิงมิติสูง พบการหดตัวและขยายเล็กน้อย รวมถึงมีการละลายตัวต่ำ

เอเอช 26 (AH 26) เป็นอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ชนิดหนึ่ง มีระยะเวลาก่อตัวนาน สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของฟันได้เนื่องจากมีส่วนประกอบของเงิน และมีฟอร์มาลดีไฮด์อิสระที่ปล่อยออกมาภายใน 12 ชั่วโมงแรก ทำให้มีความเป็นพิษสูง จึงมีความนิยมลดลง ต่อมาพัฒนามาเป็นเอเอชพลัส โดยวางขายในรูปแบบหลอด จำนวน 2 หลอด คือ หลอดอีพอกไซด์ (Epoxides) ประกอบไปด้วย บิสฟีนอลเอ (Bisphenol-A epoxy resin) บิสฟีนอลบี (Bisphenol-F epoxy resin) ไอรอนออกไซด์ (Iron oxide pigments) แคลเซียมทังสเตต (Calcium tungstate) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (Zirconium oxide) และซิลิกอนออกไซด์ (Silicon oxide) ส่วนหลอดเอมีน จะประกอบไปด้วยไดเบนซิลไดเอมีน (Dibenzyl diamine) อะมิโนอะดามันเทน (Aminoadamantane) ไตรไซโคลเดเคน ไดเอมีน (Tricyclodecane diamine) แคลเซียมทังสเตต เซอร์โคเนียมออกไซด์ และซิลิกอนออกไซด์ ซึ่งเอเอชพลัสมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเอเอช 26 หลายประการ คือ ผสมและใช้งานง่ายขึ้น มีความหนาของฟิล์มที่บางกว่า มีความเป็นพิษน้อยกว่า โดยจะมีความเป็นพิษอยู่ในช่วงระยะเวลา 4 ชั่วโมงแรก แต่เมื่อเกิดการก่อตัวจนเสร็จสมบูรณ์แล้วความเป็นพิษจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่พบความอักเสบแบบเรื้อรัง⁽²⁷⁾ นอกจากนี้ยังมีความต้านทานต่อการหดตัวจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage) เนื่องจากปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีลเลอร์ชนิดนี้มีการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic polymer) ซึ่งมีเสถียรภาพทางมิติสูง

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเอเอชพลัสมีค่าความแข็งแรงพันธะผลักรากที่ดี เนื่องจากสามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ระหว่างกลุ่มอะมิโนของคอลลาเจนภายในเนื้อฟันและวงอีพอกซี (epoxy ring) ของเรซิน ทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical lockong)⁽²⁷⁾ การศึกษาของ Donnermeyer และคณะ⁽²⁸⁾ พบว่าแม้จะใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกัน เอเอชพลัสก็ให้ค่าความแข็งแรงพันธะผลักรากที่สูงกว่าซิลิโคนเบสซีลเลอร์และไบโอเซรามิกเบสซีลเลอร์ โดยการใช้ไซโตเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับอีดีทีเอให้ค่าสูงที่สุด⁽¹⁷⁾ นอกจากนี้ยังมีหลายการศึกษาที่พบว่าเอเอชพลัสมีความแนบสนิทที่ดีและสามารถแทรกซึมเข้าสู่ท่อเนื้อฟันได้ดี การศึกษาของ Balguerie และคณะ⁽²⁹⁾ เปรียบเทียบการแนบสนิทของซีลเลอร์กับผนังคลองรากฟันและการแทรกซึมเข้าสู่ท่อเนื้อฟันของซีลเลอร์ที่แตกต่างกัน พบว่าเอเอชพลัสมีความแนบสนิทที่ดีที่สุด ไม่พบช่องว่างระหว่างกัตตาเปอร์ชา ซีลเลอร์ และผนังคลองราก

พื้น รวมถึงมีการแทรกซึมของซิลเลอร์เข้าสู่ท่อเนื้อพื้นที่ระดับส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลายของ รากพื้นคือ 62.5 53.3 และ 22.3 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าซิลเลอร์ชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Singh และคณะ⁽³⁰⁾ พบว่าภายหลังจากการกำจัดชั้นสเมียร์ เอเอชพลัส สามารถแทรกซึมลึกเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้ถึง 24 ไมโครเมตร ซึ่งมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับซิงค์ออกไซด์ยูจินอลเบสซิลเลอร์ และการศึกษาของ Wilkonski และคณะ⁽⁶⁾ ที่ศึกษาการแทรกซึมของเอเอชพลัสในท่อเนื้อฟันเมื่อใช้เอทานอลและคลอเฮกซิดีนเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันชั้นสุดท้าย พบว่าคลอเฮกซิดีนทำให้ซิลเลอร์แทรกซึมเข้าท่อเนื้อฟันได้ดีกว่าเอทานอล แต่ทั้งสองกลุ่มให้ผลที่ดีกว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่เป็นกลุ่มควบคุม แต่อย่างไรก็ตามเอเอชพลัสเป็นวัสดุที่มีความไวต่อน้ำสูง Roggendorf และคณะ⁽⁴⁾ พบว่าซิลเลอร์จะไม่ยึดเกาะกับผนังคลองรากฟันที่มีความชื้นสูงหรือมีน้ำสะสมอยู่ ทำให้มีการปนเปื้อนของของเหลวบริเวณปลายรากฟัน มีผลทำให้เอเอชพลัสเกิดการรั่วซึมมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

พลังงานพื้นผิวและคุณสมบัติการเปียก (Surface energy and wettability)

ในสภาวะปกติอะตอมภายในวัสดุจะมีเสถียรภาพและมีพันธะหรือปฏิกิริยาที่สมดุล ในทางตรงกันข้ามอะตอมที่พื้นผิวจะมีปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์และไม่สมดุล ดังนั้นจึงมีพลังงานพันธะที่ยังไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น พลังงานพื้นผิวเป็นการวัดพลังงานที่พื้นผิวของวัสดุ ซึ่งเป็นผลมาจากพันธะที่ไม่สมบูรณ์นี้ เพื่อให้อะตอมเกิดเสถียรภาพพื้นผิวจึงพยายามลดพลังงานให้เหลือน้อยที่สุด โดยการดูดซับวัสดุที่มีพลังงานต่ำกว่าลงบนพื้นผิว เมื่อเกิดกระบวนการดูดซับจำนวนอะตอมที่ไม่สมดุลบนพื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวสูงจะลดลง เนื่องจากถูกแทนที่ด้วยพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลที่มีพลังงานต่ำกว่า ของเหลวจะมีพลังงานพื้นผิวต่ำกว่าของแข็ง จึงเป็นสาเหตุให้ของเหลวสามารถไหลแผ่ไปบนพื้นผิวที่เป็นของแข็ง⁽³¹⁾

การใช้พลังงานพื้นผิวอธิบายคุณสมบัติของของแข็ง แสดงถึงคุณสมบัติการเปียกหรือแนวโน้มที่ของเหลวจะไหลแผ่บนพื้นผิวของของแข็งนั้นๆ การเปียกคำนวณได้จากคำอธิบายสมการของยัง (Young's Equation) ที่ประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัส พลังงานพื้นผิว พลังงานของของเหลว และพลังงานอิสระระหว่างพื้นผิวสัมผัสของวัตถุกับของเหลว⁽³²⁾ เมื่อของเหลวสัมผัสกับพื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำ อะตอมที่พื้นผิวจะมีพลังงานเพียงเล็กน้อยสำหรับดูดซับของเหลวและเกิดปฏิกิริยากับพื้นผิว ส่งผลให้ของเหลวไหลแผ่บนพื้นผิวนั้นๆ ได้น้อย มีมุมสัมผัสสูง พื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำจึงแสดงถึงการเปียกที่ไม่ดี พื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำ ได้แก่ไฮโดรคาร์บอน เนื่องจากไฮโดรคาร์บอนจะยึดกันไว้ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals)

forces) ที่อ่อนแอ ในขณะที่พื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวสูง อะตอมที่พื้นผิวจะมีพลังงานสำหรับดูดซับของเหลวและเกิดปฏิสัมพันธ์กับพื้นผิวมาก ส่งผลให้ของเหลวไหลแผ่ได้ดี มีมุมสัมผัสต่ำ แสดงถึงคุณสมบัติการเปียกที่ดี ตัวอย่างของพื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวสูง ได้แก่ แก้ว เซรามิก โลหะ และวัสดุที่ยึดติดกันด้วยพันธะที่แรงกว่า เช่น พันธะไอออนิก โควาเลนต์ และโลหะ⁽³¹⁾ ปัจจุบันการวัดพลังงานพื้นผิวมีหลายวิธี แบ่งตามความแตกต่างของการวัดมุมสัมผัส เช่น การวัดมุมสัมผัสโดยใช้ฟองอากาศ แก๊สชนิดต่างๆ หรือการวัดมุมสัมผัสโดยใช้น้ำ สารละลายอื่นๆ รวมไปถึงของเหลวใดๆ

งานรักษาคอลงรากพื้นผิวมีการใช้น้ำยาล้างคอลงรากพื้นผิวต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเนื้อพื้นทั้งทางเคมีและโครงสร้าง และการเปลี่ยนแปลงนั้นอาจส่งผลต่อการยึดติดของวัสดุกับพื้นผิวเนื้อพื้น ความต้านทานต่อความเครียด และการเกาะติดของแบคทีเรียกับพื้นผิวเนื้อพื้น สำหรับกระบวนการยึดติดสารยึดติดจะต้องสัมผัสกับพื้นผิวอย่างใกล้ชิด เพื่อช่วยให้เกิดการดึงดูดของโมเลกุล และทำให้สารเคมีนั้นๆ สามารถสร้างพันธะหรือแพร่เข้าไปภายในเพื่อเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค กระบวนการยึดติดส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากพลังงานพื้นผิวของพื้นผิวของแข็ง Dogan Buzoglu และคณะ⁽³³⁾ ศึกษาผลของการใช้อีทีอีเอ สารหล่อลื่นอาร์ซีเพริบ (RC-Prep) และโซเดียมไฮโปคลอไรต์เพียงอย่างเดียวและใช้ร่วมกันต่อพลังงานพื้นผิวของเนื้อพื้นบริเวณรากฟันโดยใช้เทคนิคแคปทีฟบับเบิล (captive bubble technique) หรือการวัดมุมสัมผัสโดยการใส่ฟองอากาศ พบว่าการใช้อีทีอีเอ สารหล่อลื่นอาร์ซีเพริบ และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ทำให้พลังงานพื้นผิวของเนื้อพื้นบริเวณรากฟันลดลง นอกจากการวัดมุมสัมผัสโดยใช้ฟองอากาศแล้วมุมสัมผัสสามารถวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะการหยดตัวของของเหลว (drop shape analyzer) โดยใช้สารละลายชนิดต่างๆ ได้ Yilmaz และคณะ⁽³⁴⁾ ประเมินผลของการเติมสารลดแรงตึงผิวในสารละลายอีทีอีเอต่อการเปียกของเนื้อพื้นบริเวณคอลงรากฟัน โดยใช้น้ำกลั่น ไดไอโอโดมีเทน (diiodomethane) และเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ในการวัดมุมสัมผัส พบว่าการใช้สารละลายอีทีอีเอร่วมกับสารลดแรงตึงผิวเพียงชนิดเดียวหรือการใช้ร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรต์ส่งผลให้มุมสัมผัสของน้ำ ไดไอโอโดมีเทน และเอทิลีนไกลคอลลดลง รวมถึงสามารถเพิ่มพลังงานพื้นผิวของเนื้อพื้นบริเวณรากฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าชนิดของน้ำยาล้างคอลงรากฟันส่งผลต่อมุมสัมผัสและพลังงานพื้นผิวของเนื้อพื้น และพบว่าเมื่อสารที่ใช้ในการทดสอบมีพลังงานพื้นผิวแตกต่างกัน ทำให้ปฏิกิริยาที่จะกระทำต่อพื้นผิวของแข็งแตกต่างกันไปด้วย ส่งผลให้พลังงานของพื้นผิวชนิดเดียวกันอาจมีความแตกต่างกันเมื่อทดสอบด้วยสารต่างชนิดกัน

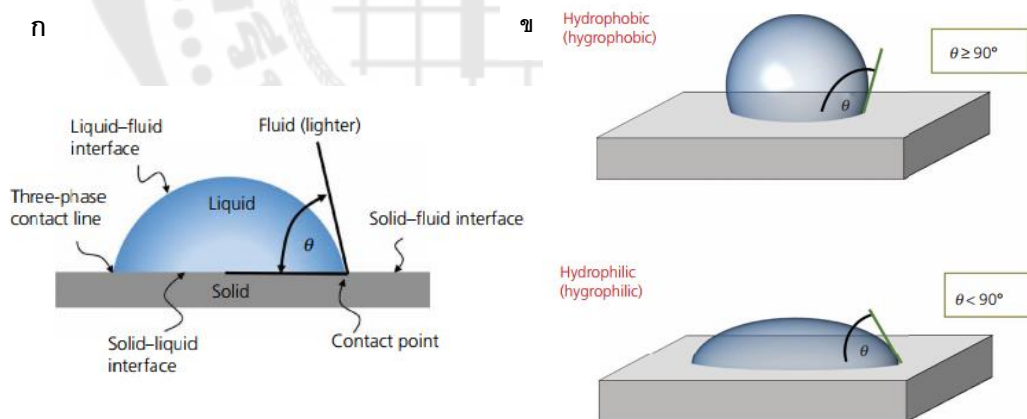
มุมสัมผัสและคุณสมบัติการเปียก (Contact angle and wettability)

มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างพื้นผิวของแข็ง (solid surface) ที่เป็นระนาบอ้างอิงกับรอยต่อระหว่างของเหลวและของเหลว (liquid–fluid interface) ที่บริเวณเส้นสัมผัส 3 ด้าน (three-phase contact line) สังเกตได้จากฝั่งของของเหลว (liquid side) ⁽³⁵⁾ (ภาพประกอบ 5ก)

มุมสัมผัสเป็นคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic property) ที่แสดงถึงคุณสมบัติการเปียกของพื้นผิวที่เป็นของแข็ง โดยสามารถบ่งบอกลักษณะของพื้นผิว (ภาพประกอบ 5ข) ดังนี้

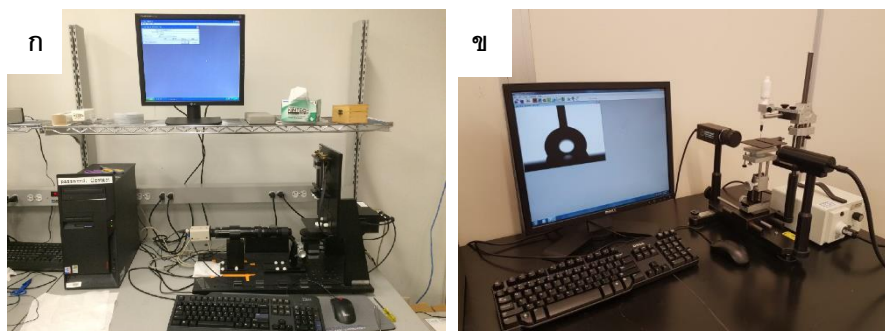
- พื้นผิวที่ชอบน้ำ (hydrophilic surface) คือเมื่อคำนวณตามสมการของยังพบว่ามุมสัมผัสของน้ำมีขนาดเล็กกว่า 90 องศา
- พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic surface) คือเมื่อคำนวณตามสมการของยังพบว่ามุมสัมผัสของน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับ 90 องศา

นอกจากนี้มุมสัมผัสยังขึ้นอยู่กับของเหลวที่นำมาทดสอบอีกด้วย หากมุมสัมผัสน้อยกว่า 90 องศา สามารถบ่งบอกว่าของเหลวที่นำมาทดสอบมีแรงดึงดูดน้อย และพื้นผิวของของแข็งนั้นมีลักษณะชอบความชื้น สามารถส่งเสริมให้เกิดการไหลแผ่ของของเหลวได้ดี ^(35, 36)

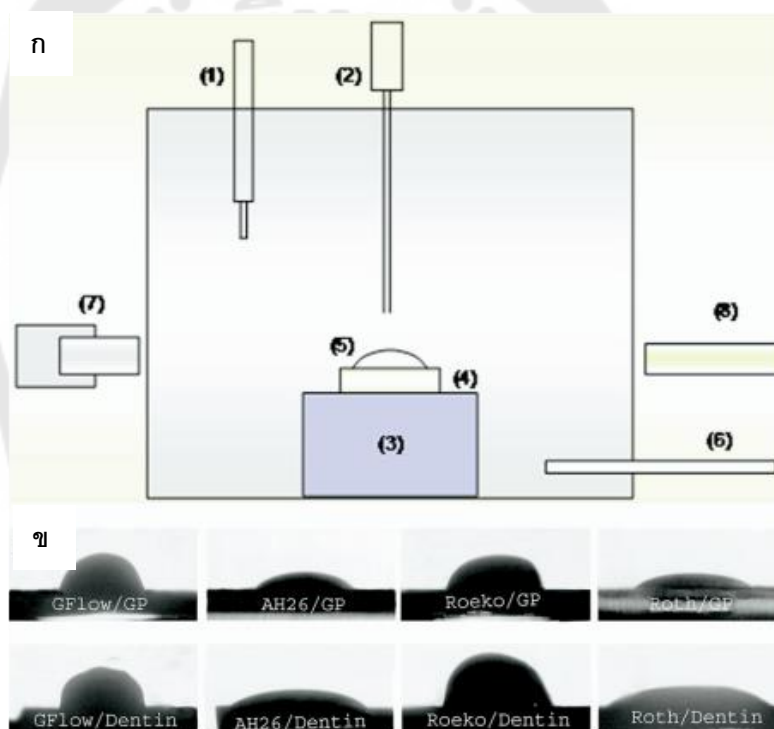


ภาพประกอบ 5 (ก) การวัดมุมสัมผัส (ข) ของเหลวที่หยดลงบนพื้นผิวที่ไม่ชอบและชอบน้ำ ⁽³⁵⁾

การวัดมุมสัมผัสทำได้โดยใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสโดยตรงหรือดัดแปลงวิธีการวัดโดยอาศัยหลักการของเครื่องวัดค่ามุมสัมผัส ^(9, 37–40)



ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างเครื่องวัดมุมสัมผัสโดยตรง (ก) Dynamic Contact Angle Analyzer (FTA° 200) (ข) Rame-Hart goniometer software



ภาพประกอบ 7(ก) แผนภาพตัวอย่างเครื่องวัดค่ามุมสัมผัสที่ดัดแปลงขึ้นมา มีองค์ประกอบดังนี้ (1) เครื่องวัดอุณหภูมิ (2) ไมโครปิเปต (3) ฐานแก้วรอง (4) แผ่นตัวอย่างชิ้นงาน (5) หยอดของเหลวที่ทดสอบ (6) เครื่องควบคุมความดัน (7) กล้องบันทึกภาพ (8) แหล่งกำเนิดแสง (ข) ภาพตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง

สำหรับขั้นตอนการอุดคลองรากฟัน ซิลเลอร์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการยึดติดระหว่างผนังคลองรากฟันกับวัสดุอุดคลองรากฟัน ช่วยป้องกันการรั่วซึมจากของเหลวและเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ซิลเลอร์ยังทำหน้าที่เติมเต็มส่วนที่เป็นช่องว่าง ความไม่สม่ำเสมอของคลองรากฟัน และคลองรากฟันแขนงที่กัตตาเปอร์ซาเข้าไม่ถึง ซิลเลอร์ควรมีการไหลแผ่ที่เพียงพอ ดังนั้นการเตรียมพื้นผิวของผนังคลองรากฟันเพื่อส่งเสริมการเปียกของเนื้อฟันจึงเป็นสิ่งสำคัญ^(41, 42) ซึ่งการวัดมุมสัมผัสของซิลเลอร์สามารถบ่งบอกการเปียกของเนื้อฟันได้⁽³⁶⁾ Kontakiotis และคณะ⁽⁴⁰⁾ เปรียบเทียบมุมสัมผัสของซิลเลอร์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ รอท 801 (Roth 801) เอเอช 26 (AH 26) โรโกซีล (RoekoSeal) และกัตตาโฟลว์ (Gutta-Flow) บนพื้นผิวเนื้อฟันและกัตตาเปอร์ซา ผลการศึกษาพบว่า รอท 801 และเอเอช 26 มีมุมสัมผัสต่อพื้นผิวเนื้อฟันต่ำกว่าพื้นผิวกัตตาเปอร์ซา ในขณะที่โรโกซีลและกัตตาโฟลว์มีมุมสัมผัสต่อพื้นผิวเนื้อฟันและกัตตาเปอร์ซาที่ใกล้เคียงกัน และมุมสัมผัสของโรโกซีลและกัตตาโฟลว์สูงกว่ารอท 801 และเอเอช 26 แสดงให้เห็นว่ารอท 801 และเอเอช 26 มีการไหลแผ่บนพื้นผิวเนื้อฟันดีกว่าซิลเลอร์อีก 2 ชนิด นอกจากนี้การศึกษาของ Ballal และคณะ⁽³⁷⁾ เปรียบเทียบมุมสัมผัสของเอเอชพลัสและเทอร์มาซีลพลัส (ThermaSeal Plus) บนพื้นผิวของเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกัน พบว่าค่ามุมสัมผัสระหว่างซิลเลอร์ทั้ง 2 ชนิดกับเนื้อฟันที่ล้างด้วยอีดีทีเอสูงกว่าน้ำยาล้างคลองรากฟันอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่ามุมสัมผัสระหว่างเอเอชพลัสและเนื้อฟันที่ล้างด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และน้ำกลั่นไม่แตกต่างกัน แต่มากกว่าเนื้อฟันที่ล้างด้วยกรดมาลิก (maleic acid) และคิวมิกซ์ (QMix) อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่มุมสัมผัสระหว่างเทอร์มาซีลพลัสและเนื้อฟันที่ล้างด้วยกรดมาลิก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และน้ำกลั่นไม่แตกต่างกัน แต่มากกว่าเนื้อฟันที่ล้างด้วยคิวมิกซ์อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพพื้นผิวเนื้อฟันด้วยคิวมิกซ์ส่งเสริมให้เนื้อฟันมีคุณสมบัติการเปียกที่ดีขึ้น ทำให้มุมสัมผัสของเอเอชพลัสและเทอร์มาซีลพลัสมีค่าต่ำที่สุด ตรงข้ามกับเนื้อฟันที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยอีดีทีเอที่แสดงค่ามุมสัมผัสสูงที่สุด จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าสภาพพื้นผิวเนื้อฟันและชนิดของซิลเลอร์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อมุมสัมผัส โดยสภาพพื้นผิวของเนื้อฟันจะเปลี่ยนแปลงไปตามการปรับสภาพด้วยชนิดของน้ำยาล้างคลองรากฟันที่ใช้ ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อการไหลแผ่ของซิลเลอร์ ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างส่วนผงและส่วนเหลว ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสม ระยะเวลาการก่อตัว อุณหภูมิ รวมถึงขนาดอนุภาคของส่วนประกอบในซิลเลอร์ อนุภาคขนาดเล็กจะส่งผลให้ซิลเลอร์ไหลแผ่ได้ดี เป็นต้น⁽⁴³⁾

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

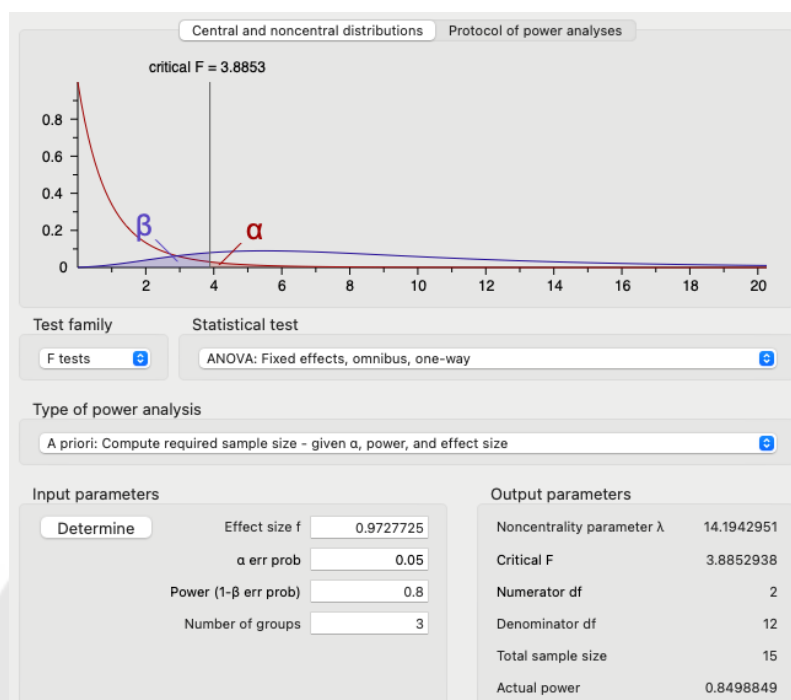
วัสดุอุปกรณ์

1. พันตัวอย่าง 8 ซี่ เป็นฟันกรามน้อยล่างของมนุษย์ที่มีจำนวน 1 ราก และมี 1 คลองรากฟัน มีการสร้างรากสมบูรณ์ ไม่มีรอยผุ ไม่มีรอยร้าว และไม่มีพยาธิสภาพบนตัวฟัน
2. สารละลายไทมอล (thymol) ร้อยละ 0.1
3. วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมบล็อกฟันตัวอย่าง
 - 3.1. แม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า
 - 3.2. เรซินอะคริลิก ชนิดบ่มเอง (Self-curing acrylic resin)
 - 3.3. เครื่องตัดชิ้นตัวอย่างความเร็วต่ำ (The Buehler IsoMet Low Speed Cutting Machine)
 - 3.4. เครื่องขัดนาโน 1000 ที ไกรเดอร์ โพลิชเซอร์ (NANO 1000T GRINDER-POLISHER)
 - 3.5. กระดาษทรายน้ำ เบอร์ 800 1200 และ 1800
4. น้ำยาล้างคลองรากฟัน
 - 4.1. น้ำกลั่น
 - 4.2. อีทีทีไอความเข้มข้นร้อยละ 17
 - 4.3. โซเดียมไฮโปคลอไรด์ร้อยละ 5.25
 - 4.4. เอทานอลร้อยละ 70
5. เอเอชพลัส (AH plus; Dentsply, Zurich, Switzerland)
6. เครื่องวัดค่ามุมสัมผัสที่ดัดแปลงขึ้นมา
7. กล้อง Fujifilm รุ่น X-Pro2 เลนส์ Fujifilm XF 60mm f/2.4 R Macro

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยการคำนวณด้วยโปรแกรม G*power เวอร์ชัน 3.1.9.6 โดยใช้ขนาดของผล (effect size) จากงานวิจัยก่อนหน้าที่คล้ายคลึงกันของ de Assis และคณะ⁽³⁸⁾ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดอย่างน้อย 15 ตัวอย่าง ตาม

ภาพประกอบ 8 การศึกษานี้จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 15 ตัวอย่าง แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 3 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 5 ตัวอย่าง



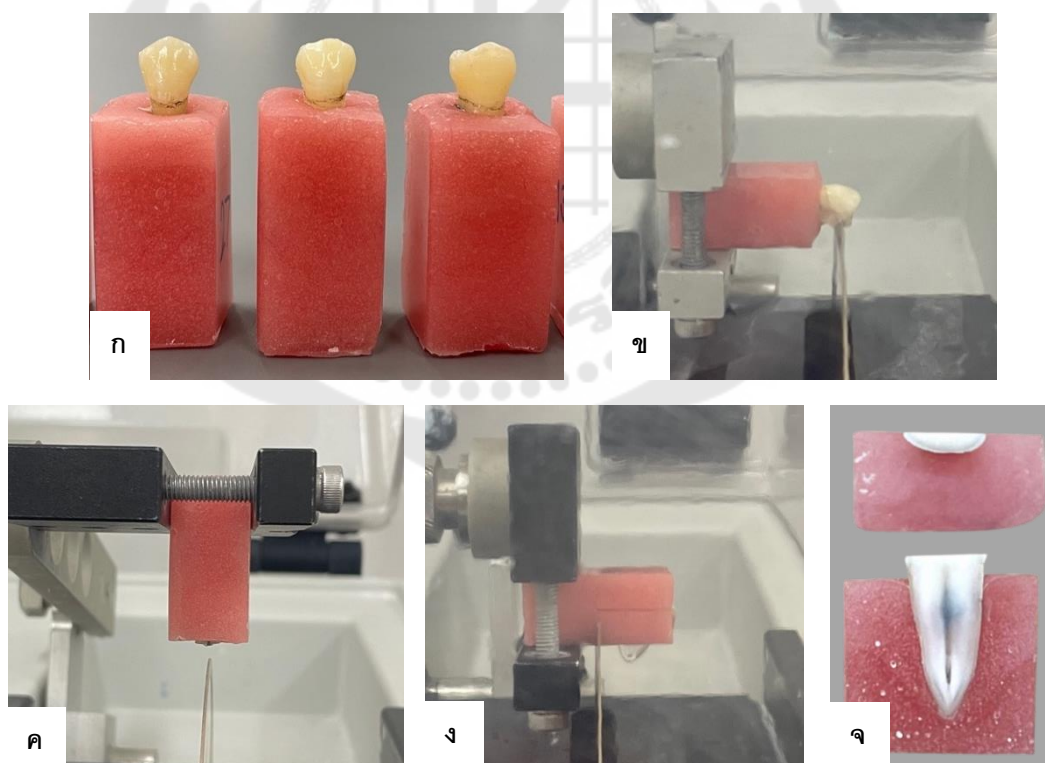
ภาพประกอบ 8 ผลการคำนวณกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรม G*power

การคัดเลือกฟันที่ใช้ในการทดลอง

ใช้ฟันกรามน้อยล่างของมนุษย์ที่ถูกถอนมาโดยไม่สามารถระบุแหล่งที่มาได้ โดยเป็นฟันที่มีจำนวน 1 ราก และมี 1 คลองรากฟัน เก็บในสารละลายไทมอล ร้อยละ 0.1 จำนวน 8 ซี่ เป็นฟันที่มีการสร้างรากสมบูรณ์ ไม่มีรอยผุ ไม่มีรอยร้าว และไม่มีพยาธิสภาพบนตัวฟัน มีรูปร่าง ขนาด และความยาวที่ใกล้เคียงกัน มีคลองรากฟันตรงและไม่พบความผิดปกติในคลองรากฟัน จากนั้นถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากฟัน (Periapical radiograph) ในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น (buccolingual) และแนวใกล้กลางใกล้กลาง (mesiodistal) เพื่อยืนยันการมีคลองรากฟันเดียว และรากฟันมีค่ามุมความโค้งน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 องศา

การวัดค่ามุมสัมผัส

นำฟัน 8 ซี่ ไปลงบล็อกเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเองในแม่พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยให้ รอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (cemento-enamel junction) อยู่เหนือเรซินอะคริลิก (ภาพประกอบ 9ก) หลังจากนั้นนำบล็อกฟันตัวอย่างไปตัดด้วยเครื่องตัดขึ้นตัวอย่างความเร็วต่ำ โดยตัดส่วนตัวฟันด้านบนออกตั้งฉากกับแนวแกนฟันที่ระดับรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (ภาพประกอบ 9ข) และตัดแบ่งบล็อกฟันตัวอย่างเป็น 2 ส่วนตามแนวแกนฟันผ่านด้านแก้ม-ลิ้น (buccolingual direction) ที่บริเวณกึ่งกลางของคลองรากฟัน (ภาพประกอบ 9ค-ง) จะได้บล็อก ฟันตัวอย่างสำหรับการทดลอง (ภาพประกอบ 9จ) หลังจากนั้นนำบล็อกฟันตัวอย่างทั้ง 15 ชิ้น ไปขัดพื้นผิวผนังคลองรากฟันด้วยเครื่องขัดนาโน 1000 ที่ ไกรเดอร์ โพลิชเชอร์และกระดาด หทรายน้ำที่มีเม็ดทรายซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) เบอร์ 800 1200 และ 2000 ตามลำดับ เพื่อให้ได้หน้าตัดที่เรียบเนียน ^(9, 39, 44)



ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการเตรียมบล็อกฟันตัวอย่าง

นำบล็อกจากตัวอย่างจำนวน 15 ชิ้น ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จำลองการล้างคลองรากฟันระหว่างการขยายคลองรากฟัน หลังจากนั้นล้างด้วยอีดีทีเอร้อยละ 17 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 1 นาที เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์⁽³⁸⁾ และแบ่งตัวอย่างแบบสุ่มเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ตัวอย่าง ได้แก่

- กลุ่มที่ 1 น้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ล้างเป็นระยะเวลา 1 นาที
- กลุ่มที่ 2 โซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ล้างเป็นระยะเวลา 1 นาที

- กลุ่มที่ 3 เอทานอลร้อยละ 70 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ล้างเป็นระยะเวลา 1 นาที

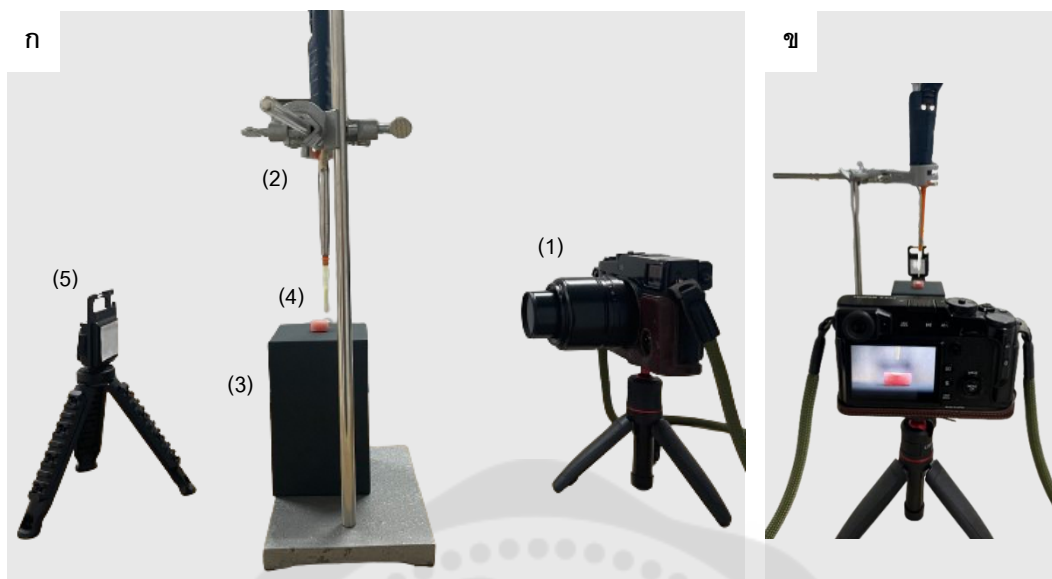
หลังจากนั้นซับบล็อกจากตัวอย่างด้วยกระดาษเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้แห้งก่อนนำไปวัดค่ามุมสัมผัส ใช้วิธีวัดค่ามุมสัมผัสแบบดัดแปลงโดยจำลองให้ได้หลักการเดียวกับเครื่องวัดค่ามุมสัมผัสโดยตรง (ภาพประกอบ 10ก)⁽⁴⁰⁾

นำบล็อกจากตัวอย่างที่แห้งแล้ววางบนฐานวาง โดยให้ปลายไมโครปิเปตห่างจากบล็อกจากตัวอย่าง 5 มิลลิเมตร และอยู่กึ่งกลางรากฟันที่ระยะ 5 มิลลิเมตร จากแนวรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน ผสมเอเซพพลัสซีลเลอร์อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ควบคุมระยะเวลาตั้งแต่ผสมซีลเลอร์จนนำมาหยดลงบนบล็อกจากตัวอย่างให้ไม่เกิน 60 วินาที ใช้ไมโครปิเปตหยดซีลเลอร์ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงบนกึ่งกลางของรากฟันบนบล็อกจากตัวอย่างบน ที่ ก วิดีโอ ด้วย กล้อง Fujifilm รุ่น X-Pro2 เลนส์ Fujifilm XF 60mm f/2.4 R Macro (ภาพประกอบ 10ข) ใช้ภาพถ่ายหลังซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันที 1 นาทีและ 5 นาที นับจากซีลเลอร์เริ่มสัมผัสกับพื้นผิว^(37, 39) (ภาพประกอบ 13) มาคำนวณหาค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรม ImageJ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติในงานวิจัยนี้อาศัยโปรแกรม SPSS version 28 (SPSS Inc, Chicago, IL) ทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยการทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test)

หากข้อมูลมีการกระจายปกติ ทำการเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสระหว่างน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบพหุคูณด้วย Tukey's test สำหรับการเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสภายหลังซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันที 1 นาทีและ 5 นาทีของน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดเดียวกัน จะใช้การวิเคราะห์การแปรปรวนซ้ำ (Repeated measure ANOVA) โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



ภาพประกอบ 10 (ก) เครื่องวัดค่ามุมสัมผัสที่ดัดแปลงขึ้นมา มีองค์ประกอบดังนี้ (1) กล้องบันทึกภาพ (2) ไมโครปีเปต (3) ฐานวาง (4) บล็อกพื้นตัวอย่าง (5) แหล่งกำเนิดแสง (ข) การบันทึกวิดีโอด้วยกล้อง

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมสัมผัสระหว่างเนื้อฟันบริเวณรากฟันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์แสดงในตารางที่ 1

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา พบว่ากลุ่มที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์สูงที่สุด ในขณะที่กลุ่มที่ล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 70 มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสน้อยที่สุดในทุกช่วงเวลาทดสอบ โดยทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพประกอบ 11)

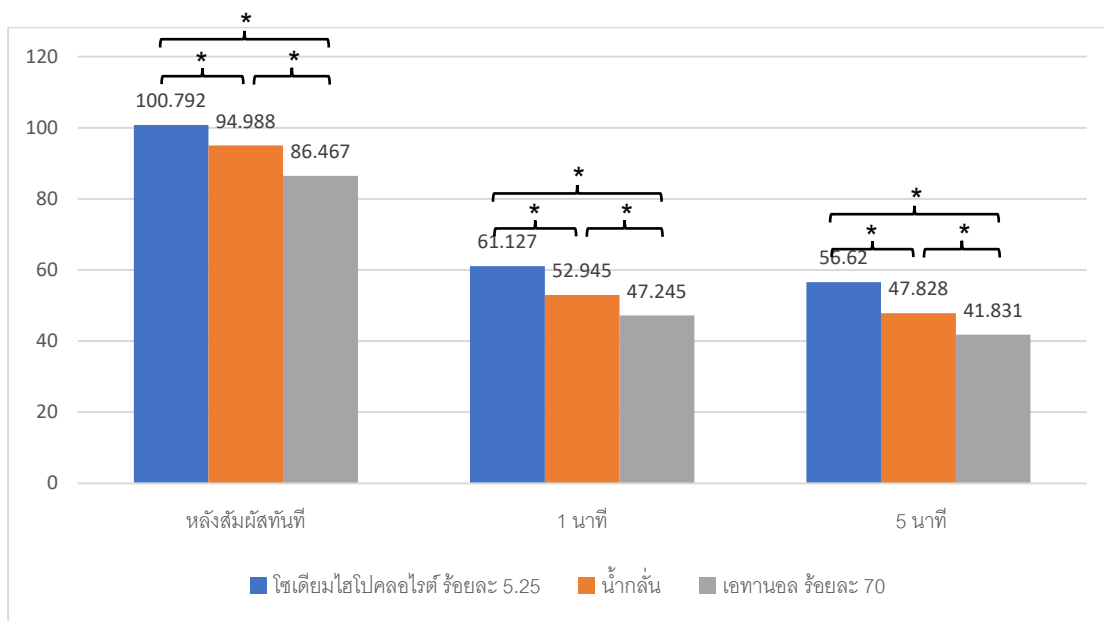
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดเดียวกันที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน พบว่าน้ำยาล้างคลองรากฟันทั้ง 3 ชนิด มีค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสทุกช่วงเวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสหลังซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันทีจะมีค่ามากที่สุดตามด้วยค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่เวลา 1 นาที และ 5 นาที ตามลำดับ (ภาพประกอบ 12)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมุมสัมผัสระหว่างเนื้อฟันบริเวณรากฟันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์

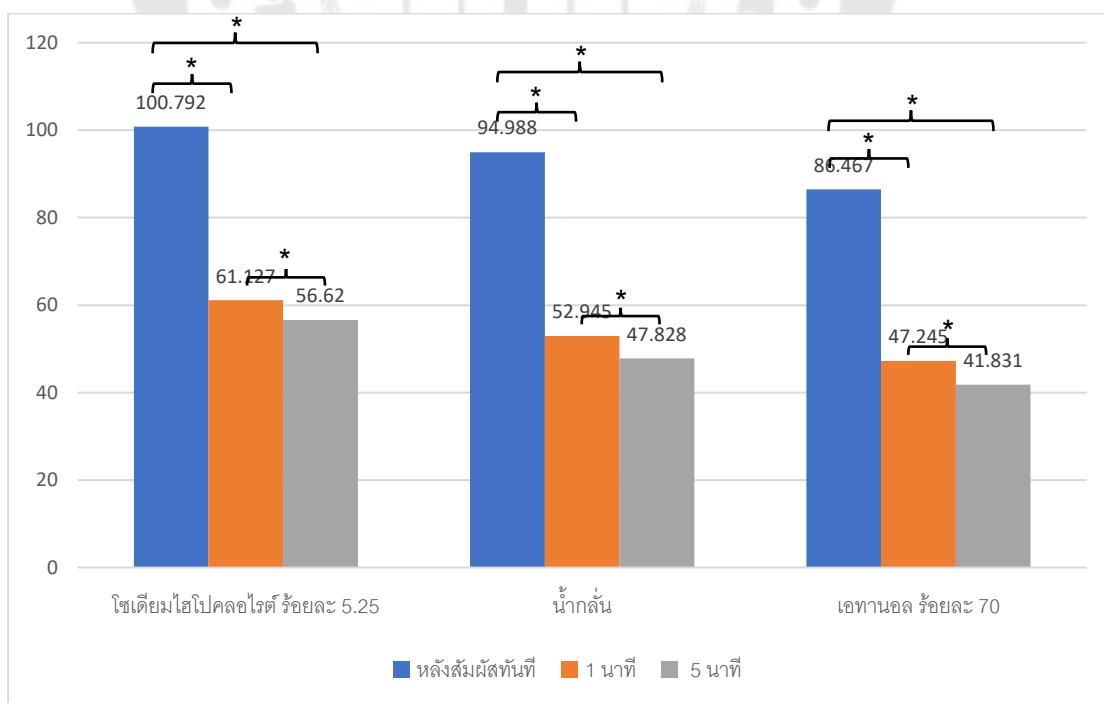
น้ำยาล้างคลองรากฟัน	มุมสัมผัส		
	หลังสัมผัสทันที	1 นาที	5 นาที
โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	100.792 (1.560) ^{A,a}	61.127 (1.059) ^{A,b}	56.620 (0.948) ^{A,c}
น้ำกลั่น	94.988 (0.988) ^{B,a}	52.945 (1.033) ^{B,b}	47.828 (1.659) ^{B,c}
เอทานอล ร้อยละ 70	86.467 (0.718) ^{C,a}	47.245 (0.823) ^{C,b}	41.831 (0.639) ^{C,c}

อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

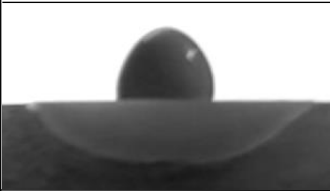
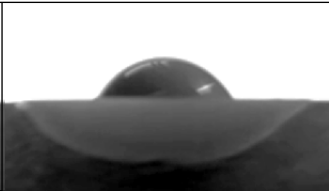
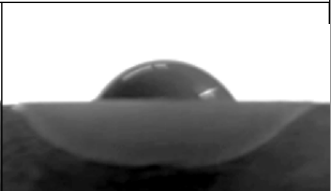
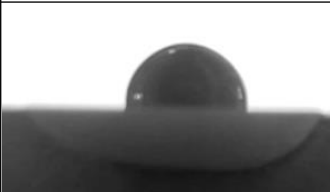
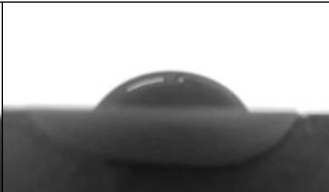
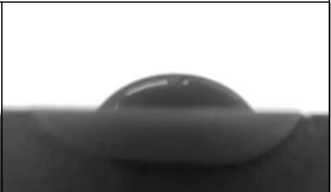
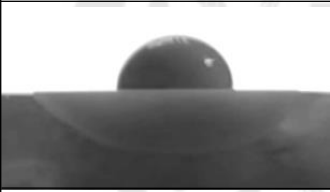
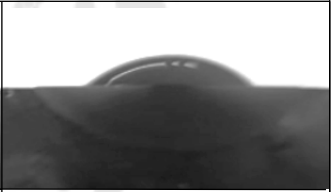
อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 11 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยมุมผสมพันธุ์ จำแนกตามน้ำยาล้างคลองรากฟันที่
ระยะเวลาต่างๆ



ภาพประกอบ 12 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยมุมผสมพันธุ์ จำแนกตามช่วงเวลาของน้ำยาล้างคลอง
รากฟันแต่ละชนิด

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25		
		
หลังสัมผัสทันที	1 นาที	5 นาที
น้ำกลั่น		
		
หลังสัมผัสทันที	1 นาที	5 นาที
เอทานอล ร้อยละ 70		
		
หลังสัมผัสทันที	1 นาที	5 นาที

ภาพประกอบ 13 ภาพตัวอย่างของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์แต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละช่วงเวลา

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ภายใต้การศึกษานี้พบว่าชนิดของน้ำยาล้างคลองรากฟันส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อฟันบริเวณรากฟันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์ โดยกลุ่มที่ล้างด้วยไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 มีค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์สูงที่สุด ในขณะที่กลุ่มที่ล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 70 มีค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุดในทุกช่วงเวลาทดสอบ และน้ำยาล้างคลองรากฟันทั้ง 3 ชนิด มีค่ามุมสัมผัสแตกต่างกันทุกช่วงเวลา โดยค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสหลังซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวฟันที่จะมีค่ามากที่สุดและจะน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป

อภิปรายผล

การเป็ยเป็นคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่สำคัญ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว วัดและแสดงผลออกมาเป็นค่ามุมสัมผัส โดยค่ามุมสัมผัสต่ำบ่งบอกถึงของแข็งมีพลังงานพื้นผิวสูง ทำให้ของเหลวสามารถไหลแผ่ได้ดี ในขณะที่ค่ามุมสัมผัสสูงบ่งบอกถึงของแข็งมีพลังงานพื้นผิวต่ำ ทำให้ของเหลวไหลแผ่ไม่ดี⁽³⁵⁾ ยิ่งค่ามุมสัมผัสต่ำของเหลวจะยิ่งไหลแผ่บนพื้นผิวได้เร็วขึ้น ในการอุดคลองรากฟันหากซีลเลอร์ที่ใช้มีค่ามุมสัมผัสระหว่างซีลเลอร์กับพื้นผิวผนังคลองรากฟันน้อยแสดงว่าผนังคลองรากฟันมีพลังงานพื้นผิวและความเปียกมาก ทำให้มีแนวโน้มว่าซีลเลอร์จะสามารถไหลแผ่และแทรกซึมเข้าสู่ท่อเนื้อฟันได้ดียิ่งขึ้น^(9, 13)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเปียกหรือค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของแข็งและของเหลว ได้แก่ พลังงานพื้นผิวของของแข็ง แรงตึงผิวของของเหลว ความสม่าเสมอของพื้นผิวของแข็ง ความหยาบของพื้นผิว และการปนเปื้อนของพื้นผิว⁽⁴⁵⁾ แต่สำหรับความเปียกของเนื้อฟันอาจมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ อีก เช่น องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฟัน ความหนาแน่นและขนาดของท่อเนื้อฟัน เป็นต้น⁽⁴⁶⁾ ในการอุดคลองรากฟันต้องการให้ซีลเลอร์ไหลแผ่ไปบนพื้นผิวและเข้าไปเติมเต็มในซอกหลืบของระบบคลองรากฟันให้ได้มากที่สุด จึงต้องพยายามทำให้ผนังคลองรากฟันมีความสะอาด มีพื้นผิวเรียบสม่าเสมอ รวมไปถึงเตรียมพื้นผิวผนังคลองรากฟันให้มีพลังงานพื้นผิวที่เหมาะสมก่อนการอุดคลองรากฟัน มีการศึกษาพบว่า การล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่างๆ สามารถช่วยเตรียมพื้นผิวให้มีความเหมาะสมสำหรับการอุดคลองรากฟันได้ดี^(28, 33, 37-39, 47)

ในการศึกษานี้ภายหลังการเตรียมบล็อกพื้นตัวอย่าง จะมีการขัดพื้นผิวผนังคลองรากฟัน ด้วยเครื่องขัดนาโน 1000 ที่ ไกรเดอร์ โพลิชเซอร์ร่วมกับกระดาษทรายน้ำที่มีเม็ดทรายซิลิคอนคาร์ไบด์ เบอร์ 800 1200 และ 2000 ตามลำดับ เพื่อควบคุมให้พื้นผิวก่อนการทดลองมีความเรียบสม่ำเสมอเท่าๆ กันทุกกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากความหยาบของพื้นผิวเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัส จากการศึกษาของ Tartari และคณะ⁽⁴⁴⁾ ศึกษาผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันต่อค่าความหยาบของพื้นผิวผนังคลองรากฟัน โดยมีการเตรียมพื้นผิวผนังคลองรากฟันก่อนการทดลองด้วยการขัดกระดาษทรายน้ำที่มีเม็ดทรายซิลิคอนคาร์ไบด์ เบอร์ 400 600 1200 และ 2000 ตามลำดับ หลังจากนั้นมีการวัดค่าความหยาบของพื้นผิวผนังคลองรากฟันที่ระดับส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลายของรากฟัน พบว่าทั้ง 3 ตำแหน่งมีค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ย (Arithmetical Roughness mean; Ra) 0.10-0.12 ไมโครเมตร โดยแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ และภายหลังการล้างน้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่างๆ ความหยาบของพื้นผิวในแต่ละตำแหน่งมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของโครงสร้างเนื้อฟันบริเวณรากฟันแต่ละตำแหน่งจะไม่ส่งผลต่อการทดลองหากมีการเตรียมพื้นผิวผนังคลองรากฟันให้มีความเรียบด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียดสูง^(39, 44, 48)

ในการศึกษานี้ทุกกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการจำลองการล้างคลองรากฟันให้เหมือนขั้นตอนปกติทางคลินิกด้วยการล้างพื้นผิวผนังคลองรากฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นการจำลองการล้างคลองรากฟันระหว่างการขยายคลองรากฟันและล้างอีทีเอเพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ แล้วจึงตามด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันที่ทดสอบแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม โดยกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่นถือเป็นกลุ่มควบคุมซึ่งแสดงผลของการใช้อีทีเอเพียงชนิดเดียวสำหรับเตรียมพื้นผิวก่อนการอุดคลองรากฟัน⁽³⁷⁻³⁹⁾ เมื่อล้างด้วยอีทีเอที่มีคุณสมบัติละลายสารอินทรีย์จะเป็นการกำจัดชั้นสเมียร์ออกจากพื้นผิวผนังคลองรากฟัน ส่งผลให้พื้นผิวมีความเรียบสม่ำเสมอ เกิดการเผยผิของท่อเนื้อฟันส่งเสริมให้พื้นผิวมีคุณสมบัติการเปียกมากขึ้นและมีความมุมสัมผัสที่ลดลง^(38, 46) de Assis และคณะ⁽³⁸⁾ พบว่ากลุ่มที่กำจัดชั้นสเมียร์ก่อนด้วยการล้างอีทีเอร้อยละ 17 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 นาที จะมีค่ามุมสัมผัสน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ล้างอีทีเอ ในขณะที่ Dogan Buzoglu และคณะ⁽³³⁾ ศึกษาผลของน้ำยาล้างคลองรากฟันต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเนื้อฟัน พบว่ากลุ่มที่ใช้อีทีเอร้อยละ 17 เป็นระยะเวลา 15 นาที จะมีพลังงานพื้นผิวของเนื้อฟันบริเวณรากฟันลดลงส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้น และเนื้อฟันบริเวณรากฟันมีคุณสมบัติการเปียกลดลง เนื่องจากเนื้อฟันมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคอลลาเจนซึ่งมีพลังงานพื้นผิวต่ำและอะพาไทต์ซึ่งมีพลังงานพื้นผิวสูง⁽³⁷⁾ เมื่อล้างด้วยอีทีเอที่มีคุณสมบัติละลายสารอินทรีย์ ทำให้มีการสูญเสียอะพาไทต์

เหลือชั้นของคอลลาเจนบนพื้นผิวของเนื้อฟันซึ่งมีพลังงานพื้นผิวต่ำ คุณสมบัติการเปียกจึงลดลงจากการศึกษาข้างต้นแสดงถึงผลที่ขัดแย้งกันอาจสรุปได้ว่าการล้างอิตาลีที่เอเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอสำหรับการเตรียมพื้นผิวคลองรากฟันก่อนอุดคลองรากฟัน

สำหรับกลุ่มที่ล้างโซเดียมไฮโปคลอไรต์หลังจากอิตาลีที่เอพบว่าค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซิลเลอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้า^(37, 38) เนื่องจากความสม่ำเสมอของพื้นผิวและความหยาบของพื้นผิวเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อมุมสัมผัส มีหลายการศึกษาพบว่า การล้างโซเดียมไฮโปคลอไรต์หลังจากอิตาลีที่เอทำให้เกิดการสึกกร่อนของเนื้อฟันเพิ่มมากขึ้น Niu และคณะ⁽¹⁵⁾ พบว่ากลุ่มที่ล้างด้วยอิตาลีที่เอร้อยละ 15 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 1 และ 3 นาทีเพียงอย่างเดียว เนื้อฟันจะมีลักษณะเรียบและแบน มองเห็นท่อเนื้อฟันเปิดโล่งอย่างชัดเจน และเมื่อนำไปล้างต่อด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 6 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 2 นาที จะพบว่าเนื้อฟันรอบท่อเนื้อฟันและเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟันมีลักษณะไม่เรียบ ท่อเนื้อฟันมีขนาดใหญ่กว่าปกติ และมีความขรุขระ โดยลักษณะดังกล่าวไม่ได้เกิดแค่นพื้นผิวของผนังคลองรากฟัน แต่ยังรวมถึงภายในท่อเนื้อฟันอีกด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Hu และคณะ⁽³⁹⁾ เมื่อประเมินค่าความหยาบของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์วิเคราะห์แรงอะตอม (atomic force microscope) พบว่ากลุ่มที่แช่ด้วยอิตาลีที่เอร้อยละ 17 เป็นระยะเวลา 10 นาที และกลุ่มที่แช่โซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 5.25 เป็นระยะเวลา 10 นาที พื้นผิวเนื้อฟันมีค่าความหยาบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่แช่น้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 10 นาที และการศึกษาของ Ari และคณะ⁽⁴⁷⁾ ซึ่งใช้เครื่องทดสอบความหยาบด้วยคอมพิวเตอร์ (computerized roughness tester) เพื่อวัดความหยาบของพื้นผิวเนื้อฟัน พบว่าการแช่เนื้อฟันในอิตาลีที่เอร้อยละ 17 โซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 2.5 และร้อยละ 5.25 เป็นระยะเวลา 15 นาที ทำให้ค่าความหยาบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่แช่น้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 15 นาที เนื่องจากอิตาลีที่เอทำให้ผนังคลองรากฟันอ่อนลงจากการสลายส่วนอินทรีย์หรือทำให้เกิดการสูญเสียแคลเซียมของเนื้อฟันและโซเดียมไฮโปคลอไรต์มีคุณสมบัติสลายส่วนอินทรีย์หรือสลายคอลลาเจนในเนื้อฟัน จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ความหยาบของพื้นผิวเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าอิตาลีที่เอและโซเดียมไฮโปคลอไรต์ทำให้พื้นผิวคลองรากฟันมีความหยาบเพิ่มขึ้น จึงสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่ากลุ่มที่ล้างอิตาลีที่เอตามด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์จะมีความมุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซิลเลอร์มากขึ้น

สำหรับกลุ่มที่ล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 70 พบว่ามีค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซิลเลอร์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ล้างด้วยน้ำกลั่น และน้อยกว่ากลุ่มที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโป

คลอไรต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเอทานอลสามารถส่งเสริมให้คอลลาเจนเกิดการคายน้ำบางส่วน เกิดการหดตัวของของเส้นใยคอลลาเจนภายในเนื้อฟัน⁽⁴⁹⁾ ส่งผลให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนเพิ่มขึ้น⁽⁵⁰⁾ และส่งเสริมการฝังตัวของวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ⁽⁵¹⁾ Pei และคณะ⁽⁷⁾ ยังแสดงให้เห็นว่าเอทานอลอาจลดความชื้นของเนื้อฟันบริเวณรากฟันได้อีกด้วย เทคนิคการยึดติดแบบเปียกด้วยเอทานอล (ethanol wet-bonding technique) ทำให้คอลลาเจนมีขั้วต่ำลง เมื่อสัมผัสกับเรซินที่ไม่ชอบน้ำซึ่งมีขั้วต่ำเช่นกัน จึงส่งผลให้มอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยเอทานอลได้ดี ช่วยเพิ่มการยึดติดกับพื้นผิวของเนื้อฟัน Malacarne และคณะ⁽⁵²⁾ พบว่าการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยเอทานอลสามารถส่งเสริมการแทรกซึมของเรซินไดเมทาคริเลตที่ไม่ชอบน้ำให้เข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนและท่อเนื้อฟันได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อเรซินอีพ็อกซีจับกับคอลลาเจนในเนื้อฟันพบว่าหากมีการแทนที่น้ำด้วยแอลกอฮอล์ จะทำให้วัสดุไม่ชอบน้ำบางชนิด เช่น เอเซพพลัส มีการไหลแผ่ที่ดีขึ้น สามารถเข้าไปในท่อเนื้อฟันและแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนได้⁽¹⁷⁾ จากการศึกษาก่อนหน้านี้^(8, 18) ได้ประเมินผลของเอทานอลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเนื้อฟันและพบว่าเมื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยเอทานอลจะส่งเสริมให้น้ำยาล้างคลองรากฟันและซีลเลอร์สามารถแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันและช่องว่างในระบบคลองรากฟันได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยเอทานอลร้อยละ 70 และ 100 สามารถเพิ่มพลังงานพื้นผิวของเนื้อฟันและลดความหยาบพื้นผิว ซึ่งส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสลดลง รวมถึงส่งเสริมให้อีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์แทรกซึมเข้าสู่ท่อเนื้อฟันได้เพิ่มขึ้น^(9, 10) สอดคล้องกับผลของการศึกษานี้ที่พบว่าการล้างพื้นผิวคลองรากฟันด้วยเอทานอลหลังจากอีดีทีเอส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์น้อยกว่ากลุ่มที่ล้างด้วยอีดีทีเอตามด้วยไฮโปคลอไรต์ รวมถึงน้อยกว่ากลุ่มที่ล้างด้วยอีดีทีเอเพียงอย่างเดียวด้วย แสดงให้เห็นว่าการล้างด้วยเอทานอลทำให้คลองรากฟันมีพื้นผิวที่เหมาะสมสำหรับการอุดคลองรากฟันด้วยอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์

Kauravi และคณะ⁽⁵³⁾ ศึกษาอิทธิพลของระดับความชื้นของเนื้อฟันที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติการเปียกของซีลเลอร์ชนิดต่างๆ พบว่าเอเซพพลัสมีค่ามุมสัมผัสน้อยที่สุดเมื่อเนื้อฟันอยู่ในสภาวะแห้ง โดยสภาวะแห้งคือการนำเนื้อฟันล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 90 เป็นระยะเวลา 1 นาที หลังจากนั้นซับด้วยกระดาษจนแห้งสนิท ซึ่งคล้ายคลึงกับการเตรียมเนื้อฟันตัวอย่างในการศึกษานี้ ในขณะที่ Nagas และคณะ⁽⁵⁴⁾ ศึกษาผลของระดับความชื้นภายในคลองรากฟันที่ส่งผลต่อการยึดติดของซีลเลอร์กับเนื้อฟัน พบว่าการเตรียมให้คลองรากฟันมีความชื้นเล็กน้อยเมื่ออุดคลองรากฟันด้วยซีลเลอร์เอเซพพลัสส่งผลให้ค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกสูงที่สุด และ

มากกว่าการเตรียมคลองรากฟันด้วยเอทานอล แตกต่างจากผลการศึกษา⁵⁴ อย่างไรก็ดีตาม Nagas และคณะ ใช้การล้างครั้งสุดท้ายด้วยเอทานอลร้อยละ 95 และเก็บรากฟันไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนรากฟันแห้งสนิท ทำให้ฟันตัวอย่างขาดน้ำอย่างมากก่อนการอุดคลองรากฟัน ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทำให้ขึ้นฟันตัวอย่างแห้งที่ใช้ในการศึกษานี้ สำหรับกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยเอทานอล น้ำจะถูกแทนที่ด้วยเอทานอล ดังนั้นช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนจึงถูกแทนที่ด้วยเอทานอล เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นใยคอลลาเจนยุบตัว⁽⁷⁾ และอาจส่งเสริมการให้เกิดการแทรกซึมของวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งเอทานอลระเหยเร็วกว่าน้ำ ดังนั้นควรทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของเนื้อฟันหรืออุดคลองรากฟันทันทีหลังจากการทำให้ขึ้นฟันตัวอย่างแห้ง เพื่อป้องกันการระเหยของเอทานอลและการยุบตัวของเส้นใยคอลลาเจน⁽⁵⁵⁾

ปัจจุบันยังไม่มีค่ามาตรฐานของค่ามอดุลัสของซิลิเคอร์ เนื่องจากการวัดค่ามอดุลัสยังไม่มีขั้นตอนวิธีการที่กำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล จึงทำให้แต่ละการศึกษามีวิธีการวัดที่ต่างกันไป เช่น ปริมาตรของซิลิเคอร์ที่นำมาทดสอบ หรือระยะเวลาที่วัดค่ามอดุลัส ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ค่ามอดุลัสของแต่ละการศึกษาไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ในการศึกษานี้ค่ามอดุลัสหลังซิลิเคอร์สัณฐานพื้นผิวทันทีคือ 86.467-100.792 ค่ามอดุลัสที่ระยะเวลา 1 นาที หลังซิลิเคอร์สัณฐานพื้นผิวคือ 47.245-61.127 องศา และที่ระยะเวลา 5 นาที หลังสัณฐานพื้นผิวคือ 41.831-56.620 องศา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา โดยซิลิเคอร์ชนิดต่างๆ มีค่ามอดุลัสหลังสัณฐานพื้นผิวทันทีประมาณ 85.2-145.2 องศา⁽⁵⁶⁾ นอกจากนี้ยังมีหลายการศึกษาที่แสดงผลค่ามอดุลัสของเอเอชพลัส ซึ่งเป็นซิลิเคอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยค่ามอดุลัสระหว่างเอเอชพลัสและพื้นผิวเนื้อฟัน คือ 32.37-59.9 องศา โดยวัดที่ระยะเวลาหลังซิลิเคอร์สัณฐานพื้นผิวตั้งแต่ 1 นาทีเป็นต้นไป^(37, 38, 57, 58)

ในการศึกษานี้การวัดมอดุลัสทั้งหมดดำเนินการภายใต้สภาวะควบคุม โดยทำการทดลองทุกขั้นตอนในสภาพแวดล้อมเดียวกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสามารถส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงตึงผิวของของเหลว (surface tension coefficient)⁽⁵⁹⁾ และควบคุมปริมาตรของซิลิเคอร์เท่ากับ 100 ไมโครลิตร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของซิลิเคอร์อาจส่งผลต่อค่ามอดุลัส⁽⁶⁰⁾ นอกจากนี้ยังจำลองขั้นตอนการรักษาคลองรากฟันทางคลินิก คือ มีการกำจัดชั้นสเมียร์ด้วยการล้างอัติโนมัติที่ร้อยละ 17 ตามด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้ายชนิดต่าง ๆ การซึบขึ้นฟันตัวอย่างให้แห้งก่อนหดยซิลิเคอร์ ควบคุมปริมาตรของน้ำยาล้างคลองรากฟันและควบคุมระยะเวลาในการล้างขึ้นฟันตัวอย่าง สำหรับเวลาการวัดค่ามอดุลัสที่เลือกในการศึกษานี้ ได้แก่ หลังซิลิเคอร์สัณฐานพื้นผิวทันที 1 นาทีและ 5 นาที แสดงถึงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นใส่

ซีลเลอร์ลงในคลองรากฟัน ระยะระหว่างการอุดและสิ้นสุดการอุดคลองรากฟันตามลำดับ ซึ่งซีลเลอร์ไฮเพกซ์พลัสมีระยะเวลาก่อตัวอยู่ที่ประมาณ 385-464 นาที่^(27, 61, 62) ค่ามุมสัมผัสที่วัดได้ในการศึกษานี้จึงอยู่ในช่วงระยะเวลาก่อนการก่อตัวสมบูรณ์ของซีลเลอร์ นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าซีลเลอร์จะมีการไหลแผ่ลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปมากกว่า 5 นาที่ โดยสังเกตได้จากค่ามุมสัมผัสที่ระยะเวลามากกว่า 5 นาที่ขึ้นไป ไม่มีความแตกต่างกันในทุกกลุ่ม จึงพิจารณาใช้ระยะเวลา 5 นาที่เป็นระยะเวลาสุดท้ายในการวัดค่ามุมสัมผัส ถึงแม้ว่าซีลเลอร์จะมีการไหลแผ่ลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป แต่ในทางคลินิกการอุดคลองรากฟันด้วยวิธีเวอร์มเวอร์ติคอลคอนเดนเซชัน (warm vertical condensation) จะมีแรงกดลงบนวัสดุอุดคลองรากฟันซึ่งส่งผลให้ซีลเลอร์เกิดการไหลแผ่ได้มากขึ้นรวมถึงส่งเสริมให้ซีลเลอร์แทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้เพิ่มขึ้น⁽⁶³⁾

จากที่กล่าวมาจึงสรุปได้ว่าคุณสมบัติการเปียกหรือการไหลแผ่ของอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์บนพื้นผิวผนังคลองรากฟันจะลดลงเมื่อล้างโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันขั้นสุดท้าย และการล้างด้วยเอทานอลร้อยละ 70 สามารถเพิ่มคุณสมบัติการเปียกของพื้นผิวเนื้อฟันบริเวณรากฟันได้ โดยช่วยลดค่ามุมสัมผัสระหว่างเนื้อฟันบริเวณรากฟันกับอีพ็อกซีเรซินเบสซีลเลอร์

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นเพียงการจำลองการใช้ น้ำยาล้างคลองรากฟันชนิดต่าง ๆ ปรับสภาพผิวเนื้อฟันบริเวณคลองรากฟัน เพื่อวัดค่ามุมสัมผัสระหว่างซีลเลอร์และเนื้อฟันบริเวณรากฟัน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่สำคัญของซีลเลอร์ ได้แก่ คุณสมบัติการเปียก และการไหลแผ่ของซีลเลอร์ อย่างไรก็ตามเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานทางคลินิกควรทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยจำลองการอุดคลองรากฟันและประเมินการไหลแผ่รวมถึงการแทรกซึมของซีลเลอร์เข้าไปในท่อเนื้อฟันหลังการอุดคลองรากฟัน

บรรณานุกรม

1. Kamin R, Vikram R, Meena N, Kumari RA, Adarsha M, Murthy CS. Effect of final irrigating solutions on penetration depth of resin-based sealers into dentinal tubules. J Conserv Dent. 2021;24(4):374.
2. Khayat A, Lee S-J, Torabinejad M. Human saliva penetration of coronally unsealed obturated root canals. J Endod. 1993;19(9):458-61.
3. Grossman LI. Endodontic practice, ed 10| Louis I. Grossman, Endodontic practice, ed 10., Lea & Febiger, Philadelphia (1980) An annotated glossary of terms used in endodontics, ed 3. J Endod. 1982;8:S34-S5.
4. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. J Endod. 2007;33(1):31-3.
5. 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.
6. Wilkoński W, Jamróz-Wilkońska L, Kępczyński M, Zapotoczny S, Maziarz U, Opita J, et al. The impact of irrigation protocols on epoxy sealer penetration depth in dentinal tubules. Study involving laser confocal microscopy. Aust Endod J. 2022;48(2):266-73.
7. 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.
8. 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.
9. Pantoja CAdMS, Silva DHd, Soares AdJ, Ferraz CCR, Gomes BPFdA, 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.
10. Pantoja CdMS, da Silva DH, de Jesus Soares A, Ferraz CCR, de Almeida Gomes

BPF, 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.

11. 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.
12. 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.
13. Mohan RP, Pai ARV. 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.
14. Yamada RS, Armos A, Goldman M. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating. *J Endod.* 1983;9:137-42.
15. 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.
16. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
17. 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.
18. Wilcox LR, Wiemann AH. Effect of a final alcohol rinse on sealer coverage of obturated root canals. *J Endod.* 1995;21(5):256-8.
19. Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J.* 2002;13:113-7.
20. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Endod J.* 2008;58(6):329-41.
21. Grossman LI, Meiman BW. Solution of pulp tissue by chemical agents. *J Am Dent Assoc.* 1941;28(2):223-5.
22. Trepagnier CM, Madden RM, Lazzari E. Quantitative study of sodium hypochlorite

as an in vitro endodontic irrigant. *J Endod*. 1977;3(5):194-6.

23. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod*. 2005;31(9):669-71.
24. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*. 2003;36(12):810-30.
25. Marending M, Luder H, Brunner T, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M. Effect of sodium hypochlorite on human root dentine—mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J*. 2007;40(10):786-93.
26. Jee SE, Zhou J, Tan J, Breschi L, Tay FR, Grégoire G, et al. Investigation of ethanol infiltration into demineralized dentin collagen fibrils using molecular dynamics simulations. *Acta biomater*. 2016;36:175-85.
27. Camargo RVd, Silva-Sousa YTC, Rosa RPFd, Mazzi-Chaves JF, Lopes FC, Steier L, et al. Evaluation of the physicochemical properties of silicone-and epoxy resin-based root canal sealers. *Braz Oral Res*. 2017;31.
28. 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.
29. Balguerie E, van der Sluis L, Vallaey K, Gurgel-Georgelin M, Diemer F. Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: a scanning electron microscopic study. *J Endod*. 2011;37(11):1576-9.
30. Singh CV, Rao SA, Chandrashekar V. An in vitro comparison of penetration depth of two root canal sealers: An SEM study. *J Conserv Dent*. 2012;15(3):261.
31. Jańczuk B, Białopiotrowicz T. Surface free-energy components of liquids and low energy solids and contact angles. *J Colloid Interface Sci*. 1989;127(1):189-204.
32. Young T. An essay on the cohesion of fluids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1805;95:65-87.
33. Dogan Buzoglu H, Calt S, Gümüşderelioglu 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.

34. Yılmaz Z, Basbag B, Buzoglu HD, Gümüsderelioglu M. Effect of low-surface-tension EDTA solutions on the wettability of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;111(1):109-14.
35. Marmur A, Della Volpe C, Siboni S, Amirfazli A, Drelich JW. Contact angles and wettability: Towards common and accurate terminology. *Surface Innovations*. 2017;5(1):3-8.
36. Smith WF, Hashemi J, Presuel-Moreno F. *Foundations of materials science and engineering*: McGraw-hill New York; 2006.
37. 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.
38. 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.
39. Hu X, Ling J, Gao Y. Effects of irrigation solutions on dentin wettability and roughness. *J Endod*. 2010;36(6):1064-7.
40. 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.
41. Siqueira Jr JF, Favieri A, Gahyva SM, Moraes SR, Lima KC, Lopes HP. Antimicrobial activity and flow rate of newer and established root canal sealers. *J Endod*. 2000;26(5):274-7.
42. Weisman MI. A study of the flow rate of ten root canal sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1970;29(2):255-61.
43. Zhou H-m, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng Y-f, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod*. 2013;39(10):1281-6.
44. Tartari T, Duarte Junior AP, Silva JOC, Klautau EB, Souza MHSe, Souza PdARSe. Etidronate from medicine to endodontics: effects of different irrigation regimes on root dentin roughness. *J Appl Oral Sci*. 2013;21(5):409-15.

45. Johnson R. Wettability and contact angles. *Surface and colloid science*. 1969;2:85.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. 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.
51. 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.
52. Malacarne J, Carvalho RM, de Goes MF, Svizero N, Pashley DH, Tay FR, et al. Water sorption/solubility of dental adhesive resins. *Dent Mater*. 2006;22(10):973-80.
53. 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.
54. Nagas E, Uyanik MO, Eymirli A, Cehreli ZC, Vallittu PK, Lassila LV, et al. Dentin moisture conditions affect the adhesion of root canal sealers. *J Endod*. 2012;38(2):240-4.
55. 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.
56. Babu BS, Shetty N, Nisha C, Faizal N, Vaidya M, John NK. Assessing the Contact Angle Between Dentin Treated With Irrigation and Calcium Hydroxide and Root Canal Sealers. *Cureus*. 2022;14(9).
57. Kunam D, Uppalapati Y, Ponnappalli AT, Krishna CNM, 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.
58. Tammineedi S, Kakollu S, Thota MM, Basam LC, Basam RC, Chinthamreddy S. Comparison of the effect of sodium hypochlorite, EDTA, and etidronic acid on wettability of root canal sealers using contact angle goniometer: An in vitro study. *J Dr NTR Univ Health Sci.* 2020;9(3):178-82.
59. Newmann A. Contact angles and their temperature dependence. *Adv Colloid Interface Sci.* 1974;4:105-91.
60. Good RJ, Koo M. The effect of drop size on contact angle. *J Colloid Interface Sci.* 1979;71(2):283-92.
61. Kwak SW, Koo J, Song M, Jang IH, Gambarini G, Kim H-C. Physicochemical properties and biocompatibility of various bioceramic root canal sealers: in vitro study. *J Endod.* 2023;49(7):871-9.
62. Silva EJNL, Ehrhardt IC, Sampaio GC, Cardoso ML, Oliveira DdS, 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.
63. 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.



ภาคผนวก

ตาราง 1 บันทึกค่ามุมสัมผัสของอีพ็อกซีเรซินเบสซิลิเคอร์

น้ำยาล้างคลองรากฟัน	ค่ามุมสัมผัส หลังสัมผัสทันที	ค่ามุมสัมผัส หลังสัมผัส 1 นาที	ค่ามุมสัมผัส หลังสัมผัส 5 นาที
โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	102.117	60.296	56.402
	102.731	59.779	57.971
	99.170	62.315	57.166
	100.318	61.818	55.857
	99.624	61.426	55.704
ค่าเฉลี่ย	100.792	61.127	56.620
น้ำกลั่น	93.481	51.630	46.017
	95.503	52.147	48.715
	94.587	53.195	46.235
	95.339	53.646	46.235
	96.0303	54.10	49.873
ค่าเฉลี่ย	94.988	52.945	47.828
เอทานอล ร้อยละ 70	86.977	46.222	41.552
	86.042	47.922	42.620
	86.597	47.365	41.364
	87.247	46.595	41.212
	85.469	48.123	42.405
ค่าเฉลี่ย	86.467	47.246	41.831

ตาราง 2 การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติชาปิโร-วิลค์

น้ำยาล้างคลองรากฟัน		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	p-value
ค่ามุมสัมผัส หลังสัมผัสทันที	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	.905	5	.439
	น้ำกลั่น	.939	5	.659
	เอทานอล ร้อยละ 70	.961	5	.812
ค่ามุมสัมผัส หลังสัมผัส 1 นาที	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	.939	5	.662
	น้ำกลั่น	.944	5	.697
	เอทานอล ร้อยละ 70	.925	5	.561
ค่ามุมสัมผัส หลังสัมผัส 5 นาที	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	.925	5	.562
	น้ำกลั่น	.908	5	.455
	เอทานอล ร้อยละ 70	.864	5	.242

ตาราง 3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติทูกีระหว่างน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันเมื่อซีลเลอร์สัมผัสพื้นผิวทันที

(I)	(J)	Mean	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
น้ำยาล้างคลองรากฟัน	น้ำยาล้างคลองรากฟัน	Difference			Interval	
		(I-J)			Lower Bound	Upper Bound
โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	น้ำกลั่น	5.803933 [*]	.723406	<.001	3.87398	7.73388
	เอทานอล ร้อยละ 70	14.325200 [*]	.723406	<.001	12.39525	16.25515
น้ำกลั่น	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	-5.803933 [*]	.723406	<.001	-7.73388	-3.87398
	เอทานอล ร้อยละ 70	8.521267 [*]	.723406	<.001	6.59132	10.45122
เอทานอล ร้อยละ 70	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	-14.325200 [*]	.723406	<.001	-16.25515	-12.39525
	น้ำกลั่น	-8.521267 [*]	.723406	<.001	-10.45122	-6.59132

ตาราง 4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติทูกีระหว่างน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันหลังซีลเลอร์ล้มผืนผิว 1 นาที

(I) น้ำยาล้างคลองรากฟัน	(J) น้ำยาล้างคลองรากฟัน	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	น้ำกลั่น	8.182000 [*]	.618225	<.001	6.53266	9.83134
	เอทานอล ร้อยละ 70	13.881300 [*]	.618225	<.001	12.23196	15.53064
น้ำกลั่น	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	-8.182000 [*]	.618225	<.001	-9.83134	-6.53266
	เอทานอล ร้อยละ 70	5.699300 [*]	.618225	<.001	4.04996	7.34864
เอทานอล ร้อยละ 70	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	-13.881300 [*]	.618225	<.001	-15.53064	-12.23196
	น้ำกลั่น	-5.699300 [*]	.618225	<.001	-7.34864	-4.04996

ตาราง 5 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติทูกีระหว่างน้ำยาล้างคลองรากฟันที่แตกต่างกันหลังซีลเลอร์ล้มผืนผิว 5 นาที

(I) น้ำยาล้างคลองรากฟัน	(J) น้ำยาล้างคลองรากฟัน	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	น้ำกลั่น	8.791900 [*]	.735612	<.001	6.82939	10.75441
	เอทานอล ร้อยละ 70	14.789200 [*]	.735612	<.001	12.82669	16.75171
น้ำกลั่น	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	-8.791900 [*]	.735612	<.001	-10.75441	-6.82939
	เอทานอล ร้อยละ 70	5.997300 [*]	.735612	<.001	4.03479	7.95981
เอทานอล ร้อยละ 70	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25	-14.789200 [*]	.735612	<.001	-16.75171	-12.82669
	น้ำกลั่น	-5.997300 [*]	.735612	<.001	-7.95981	-4.03479

ตาราง 6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติบอแนเฟอร์โรนีในกลุ่มโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 5.25 ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

(I) ระยะเวลา	(J) ระยะเวลา	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value ^c	95% Confidence Interval for Difference ^c	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	39.665 [*]	1.159	<.001	34.044	45.286
	3	44.172 [*]	.615	<.001	41.187	47.157
2	1	-39.665 [*]	1.159	<.001	-45.286	-34.044
	3	4.507 [*]	.764	.025	.802	8.211
3	1	-44.172 [*]	.615	<.001	-47.157	-41.187
	2	-4.507 [*]	.764	.025	-8.211	-.802

1 = เมื่อสัมผัสพื้นผิวทันที, 2 = หลังสัมผัสพื้นผิว 1 นาที, 3 = หลังสัมผัสพื้นผิว 5 นาที

ตาราง 7 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติบอแนเฟอร์โรนีในกลุ่มน้ำกลั่นที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

(I) ระยะเวลา	(J) ระยะเวลา	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value ^c	95% Confidence Interval for Difference ^c	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	42.043 [*]	.340	<.001	40.392	43.695
	3	47.160 [*]	.366	<.001	45.386	48.933
2	1	-42.043 [*]	.340	<.001	-43.695	-40.392
	3	5.117 [*]	.605	.006	2.183	8.050
3	1	-47.160 [*]	.366	<.001	-48.933	-45.386
	2	-5.117 [*]	.605	.006	-8.050	-2.183

1 = เมื่อสัมผัสพื้นผิวทันที, 2 = หลังสัมผัสพื้นผิว 1 นาที, 3 = หลังสัมผัสพื้นผิว 5 นาที

ตาราง 8 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติบอนเฟอร์โรนีในกลุ่มเอทานอลร้อยละ 70 ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

(I) ระยะเวลา	(J) ระยะเวลา	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value ^c	95% Confidence Interval for Difference ^c	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	39.221 [*]	.676	<.001	35.944	42.498
	3	44.636 [*]	.587	<.001	41.791	47.481
2	1	-39.221 [*]	.676	<.001	-42.498	-35.944
	3	5.415 [*]	.224	<.001	4.328	6.501
3	1	-44.636 [*]	.587	<.001	-47.481	-41.791
	2	-5.415 [*]	.224	<.001	-6.501	-4.328

1 = เมื่อสัมผัสพื้นผิวทันที, 2 = หลังสัมผัสพื้นผิว 1 นาที, 3 = หลังสัมผัสพื้นผิว 5 นาที

ประวัติผู้เขียน

