



ผลของวิธีการบูรณะภายในรากฟันร้าวที่ได้รับการรักษาลงรากฟันต่อความต้านทานการแตกหัก

EFFECT OF RESTORATION METHOD ON FRACTURE RESISTANCE OF
ENDODONTICALLY TREATED TEETH WITH RADICULAR CRACKS

สุนันท์ สิ้นส่งสุข

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

ผลของวิธีการบูรณะภายในรากฟันร้าวที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันต่อความต้านทานการแตกหัก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECT OF RESTORATION METHOD ON FRACTURE RESISTANCE OF
ENDODONTICALLY TREATED TEETH WITH RADICULAR CRACKS



SUWANAN SINSONGSOOK

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

ผลของวิธีการบูรณะภายในรากฟันร้าวที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันต่อความต้านทานการแตกหัก

ของ

สุวนันท์ สิ้นส่งสุข

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

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	ผลของวิธีการบูรณะภายในรากฟันร้าวที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันต่อความต้านทานการแตกหัก
ผู้วิจัย	สุนันท์ สิ้นสงสุข
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ทพญ.ดร. กุลนันท์ คำรงวุฒิ

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการแตกหักของรากฟันร้าวที่ได้รับการอุดด้วยกัตตาเปอร้ชาร่วมกับบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยได้ต่อรอยร้าว 2 มิลลิเมตร วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: ใช้ฟันหน้าล่างวีรยตรงจำนวน 30 ซี่ ตัดตัวฟันให้ได้รากฟันความยาว 12 มิลลิเมตร สร้างรอยร้าวในแนวตั้งโดยใช้ค้อนและสิ่ว คัดเลือกเฉพาะรากฟันที่มีรอยร้าว 1 ตำแหน่ง ความยาว 4-5 มิลลิเมตร ที่บริเวณผิวด้านนอกรากฟัน ขยายคลองรากฟันและอุดด้วยกัตตาเปอร้ชา แบ่งกลุ่มโดยการสุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม ได้รับการอุดคลองรากฟันด้วยกัตตาเปอร้ชาเพียงอย่างเดียว กลุ่มที่ 2 ได้รับการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตเล็กได้ต่อรอยร้าว 2 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ 3 ได้รับการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยเล็กได้ต่อรอยร้าว 2 มิลลิเมตร ทดสอบความต้านทานการแตกหักของรากฟันด้วยเครื่องทดสอบสากลโดยใช้หัวกดทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร กดด้วยความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ทำให้รากฟันแตกหักในหน่วยนิวตันและสังเกตรูปแบบการแตกหัก ผลการศึกษา: ค่าเฉลี่ยของแรงกดที่ทำให้รากฟันเกิดการแตกหักมีค่าสูงสุดในกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย 717.753 ± 72.44 นิวตัน รองลงมาคือกลุ่มเรซินคอมโพสิต 680.308 ± 51.69 นิวตัน และกลุ่มกัตตาเปอร้ชา 207.165 ± 37.28 นิวตัน วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและเปรียบเทียบรายคู่ด้วยสถิติทูเคซเฮสดี พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มกัตตาเปอร้ชาและกลุ่มเรซินคอมโพสิต และระหว่างกลุ่มกัตตาเปอร้ชาและกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย ($p < .05$) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มเรซินคอมโพสิตและกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย ($p > .05$) สรุป: การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันในรากฟันร้าวด้วยเรซินคอมโพสิตและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยช่วยเพิ่มความต้านทานการแตกหักได้เมื่อเปรียบเทียบกับกรอุดด้วยกัตตาเปอร้ชาเพียงอย่างเดียว แต่ในสองวิธีการบูรณะนี้มีค่าความต้านทานการแตกหักไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ : รากฟันร้าว, การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟัน, เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี, เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย, ความต้านทานการแตกหัก

Title	EFFECT OF RESTORATION METHOD ON FRACTURE RESISTANCE OF ENDODONTICALLY TREATED TEETH WITH RADICULAR CRACKS
Author	SUWANAN SINSONGSOOK
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Dr. Kunlanun Dumrongvute

Objective: This study aimed to compare the fracture resistance of radicular cracks obturated with gutta-percha and restored using dual-cured resin composite and fiber-reinforced composite post, placed 2 mm apical to the cracks. Materials and Methods: Thirty extracted bovine mandibular anterior teeth with straight roots were decoronated to obtain a 12 mm root length. Longitudinal cracks were simulated using a hammer and chisel, selecting only the roots with a single crack line of 4-5 mm on the external surface. Root canals were prepared and obturated with gutta-percha. Randomly divided into three groups (n = 10). Group 1: obturated with gutta-percha with no restoration inside the canals; group 2: restored with dual-cured resin composite 2 mm apical to the cracks; group 3: restored with fiber-reinforced composite post 2 mm apical to the cracks. Fracture resistance tests were performed using a Universal Testing Machine with a 2 mm diameter steel spherical tip. A compressive force was applied at a crosshead speed of 1 mm/min until fracture occurred. The maximum force (newton) and fracture patterns were recorded. Results: The highest mean fracture resistance was observed in the fiber-reinforced composite post group (717.753 ± 72.44 N), followed by the dual-cured resin composite group (680.308 ± 51.69 N), and the gutta-percha group (207.165 ± 37.28 N). Data were analyzed using one-way ANOVA, followed by pairwise comparisons with Tukey's HSD. Significant differences were found between the gutta-percha group and both the dual-cured resin composite and fiber-reinforced composite post groups ($p < .05$). However, no significant differences were observed between the dual-cured resin composite and fiber-reinforced composite post groups ($p > .05$). Conclusion: Radicular cracks restored with dual-cured resin composite and fiber-reinforced composite post significantly improved fracture resistance compared to gutta-percha. However, no significant differences were found between these two restoration methods.

Keyword : Radicular cracks, Intraorifice barrier, Dual-cured resin composite, Fiber-reinforced composite post, Fracture resistance

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ สถานที่ และทุนงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ อ.ทพญ.ดร.กุลนันท์ ดำรงวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ให้ความกรุณาแนะนำและให้คำปรึกษาเพื่อให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมถึงขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิทยาเอ็นโดดอนต์และคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ทุกท่านที่เมตตาอบรมสั่งสอนให้ความรู้ตลอดช่วงเวลาของการศึกษา

สุวนันท์ สิ้นส่งสุข



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความสำคัญของงานวิจัย	3
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	4
ขอบเขตของงานวิจัย	4
กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	5
คำถามงานวิจัย.....	6
สมมติฐานงานวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
การจัดการฟันร้าว	7
การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟัน	7
Clearfil DC Core plus.....	9
Adhesive system	9
Clearfil Tri-S Bond Universal Quick	10
การบูรณะด้วยเดือยฟัน	10

DT Light-Post.....	11
การใช้พื้นผิวในงานวิจัย	12
การทดสอบค่าความต้านทานการแตกหัก	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	15
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	15
การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง.....	16
การคัดเลือกพื้น	17
ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างพื้นที่ใช้ในการทดลอง.....	17
ขั้นตอนการบูรณะภายในรูปเปิดคลองรากฟัน.....	19
ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่สำหรับใส่เดือยฟัน	19
ขั้นตอนการใส่เดือยฟัน.....	19
การทดสอบความต้านทานการแตกหักของรากฟัน	20
การรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	22
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ.....	25
สรุปผลการวิจัย.....	25
อภิปรายผลการวิจัย	25
ข้อเสนอแนะ	30
บรรณานุกรม	31
ภาคผนวก.....	38
ประวัติผู้เขียน.....	41

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 บันทึกค่าความต้านทานการแตกหัก.....	21
ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยของแรงกดที่ทำให้รากฟันเกิดการแตกหัก (นิวตัน).....	22
ตาราง 3 แจกแจงรูปแบบการแตกหักของรากฟัน.....	24



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย	5
ภาพประกอบ 2 Clearfil DC Core plus.....	9
ภาพประกอบ 3 เดือยฟัน DT Light-Post Illusion X-RO ขนาดต่างๆ	12
ภาพประกอบ 4 ฟันหน้าวัว	13
ภาพประกอบ 5 การคำนวณกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G* power	16
ภาพประกอบ 6 การแบ่งกลุ่มฟันที่ใช้ในการทดลอง	18
ภาพประกอบ 7 โมเดลการสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลอง	20
ภาพประกอบ 8 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักในแต่ละกลุ่ม	23
ภาพประกอบ 9 รูปแบบการแตกหักของรากฟัน	23

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ฟันร้าว (cracked tooth) คือ การแตกของฟันแบบไม่สมบูรณ์ (incomplete fracture) ซึ่งฟันจะยังไม่มีอาการแยกชิ้นส่วนออกจากกัน รอยร้าวมีจุดเริ่มต้นจากด้านบนตัวฟันและสามารถขยายบริเวณลงไปถึงรากฟัน อีกทั้งทิศทางของรอยร้าวในแนวนอน (horizontal) มักจะขยายไปในแนวใกล้กลางและไกลกลาง (mesiodistally)⁽¹⁾ โดยรอยร้าวที่ขยายลึกลงไปถึงโพรงเนื้อเยื่อในฟันเป็นสาเหตุของการอักเสบและการติดเชื้อของเนื้อเยื่อในฟันได้ จากการศึกษาของ Ricucci และคณะ ในปี 2015⁽²⁾ ตรวจฟันที่มีรอยร้าวด้วยวิธีทางจุลพยาธิวิทยา พบแผ่นคราบชีวภาพของแบคทีเรีย (bacterial biofilms) อยู่ภายในท่อเนื้อฟันบริเวณที่มีรอยร้าว นอกจากนี้ยังพบการสะสมของเซลล์อักเสบ (inflammatory cells) ของเนื้อเยื่อในฟันที่ติดกับรอยร้าวดังนั้นจะเห็นได้ว่ารอยร้าวสามารถเป็นทางผ่านเข้าของแบคทีเรียซึ่งนำมาสู่การอักเสบในหลายระดับตั้งแต่การอักเสบแบบเฉียบพลัน (acute inflammation) ไปจนถึงก่อให้เกิดการตายของเนื้อเยื่อในฟันได้ (pulp necrosis)

ฟันร้าวไม่ใช่การวินิจฉัย (clinical diagnosis) แต่เป็นลักษณะที่พบจากการตรวจทางคลินิก (clinical finding) ผู้ป่วยที่มีฟันร้าวมักมีอาการปวดหรือเสียวฟันเมื่อมีสิ่งกระตุ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิร้อนเย็นและการกัดเคี้ยว โดยระดับของความเจ็บปวดมักมีความสัมพันธ์กับแรงที่ใช้ในการกัด อย่างไรก็ตามการตรวจฟันร้าวในทางคลินิกทำได้ยากโดยเฉพาะเมื่อรอยร้าวมีการขยายขอบเขตลึกลงไปถึงใต้เหงือกหรือในโพรงเนื้อเยื่อในฟัน จึงจำเป็นต้องมีการใช้เครื่องมือต่างๆ เพื่อช่วยระบุตำแหน่งของรอยร้าว เช่น การทดสอบด้วยการใช้แสงส่องผ่าน (transillumination test) การย้อมสี (dyes) และการใช้เครื่องมือที่มีกำลังขยาย (magnification)⁽³⁾

ความสำเร็จในการรักษาฟันร้าวที่ต้องได้รับการรักษาลงรากฟันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดย Krell และ Caplan ในปี 2018⁽³⁾ ศึกษาแบบย้อนหลัง (retrospective study) เพื่อดูอัตราความสำเร็จ (success rate) ของการรักษาฟันร้าวที่ต้องได้รับการรักษาลงรากฟันและบูรณะด้วยครอบฟันในระยะเวลา 12 เดือน โดยในการศึกษาได้ดูความสัมพันธ์ของอัตราความสำเร็จและปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ร่องลึกปริทันต์ ตำแหน่งการขยายบริเวณของรอยร้าวบนตัวฟัน และการวินิจฉัยรอยโรคปลายรากฟัน จากนั้นรวบรวมข้อมูลแล้วนำมาวิเคราะห์สร้างเป็นดรชนี้ที่ช่วยคาดการณ์การพยากรณ์โรค เรียกว่า Iowa Staging index 2018⁽³⁾ โดยมีลำดับของการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ปัจจัยแรกที่น่าสนใจมาพิจารณาคือร่องลึกปริทันต์ พบว่าหากฟันร้าวมีร่องลึกมากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร จะจัดอยู่ใน lowa stage IV ซึ่งมีอัตราความสำเร็จอยู่เพียงร้อยละ 41 แต่เมื่อพบว่าร่องลึกปริทันต์น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร จะพิจารณาปัจจัยถัดมาคือตำแหน่งของรอยร้าว โดยพบว่าหากไม่มีรอยร้าวที่บริเวณไกลกลาง (distal marginal ridge) จะจัดอยู่ใน lowa stage I มีอัตราความสำเร็จอยู่ร้อยละ 93 แต่หากพบรอยร้าวบริเวณไกลกลาง ปัจจัยที่ต้องพิจารณาคือการวินิจฉัยรอยโรคปลายรากฟัน หากมีการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเนื้อเยื่อรอบปลายรากอักเสบแบบไม่มีอาการ (asymptomatic apical periodontitis: AAP) โรคเนื้อเยื่อรอบปลายรากอักเสบเรื้อรังแบบมีหนอง (chronic apical abscess: CAA) หรือโรคเนื้อเยื่อรอบปลายรากอักเสบมีหนองเฉียบพลัน (acute apical abscess: AAA) จะจัดอยู่ใน lowa stage III ซึ่งมีอัตราความสำเร็จอยู่ที่ร้อยละ 69 แต่หากไม่พบรอยโรครอบปลายรากฟันจะจัดอยู่ใน lowa stage II มีอัตราความสำเร็จอยู่ที่ร้อยละ 84 นอกจากนี้

Davis และ Shariff ในปี 2019⁽⁴⁾ ศึกษาจากเหตุไปหาผลแบบไปข้างหน้า (prospective cohort study) เพื่อดูอัตราความสำเร็จและอัตราการอยู่รอดของการรักษาฟันร้าวที่มีรอยร้าวลึกลงไปถึงรากฟันและขยายขอบเขตจากรูเปิดคลองรากฟันลงไปที่รากอย่างน้อย 5 มิลลิเมตร โดยได้ทำการรักษาคคลองรากฟันร่วมกับการบูรณะด้วยภายในรูเปิดคลองรากฟัน (intra-orifice barrier) ด้วยวัสดุบูรณะฟันแบบไฮบริด ซึ่งมีส่วนผสมของวัสดุสองชนิด ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass ionomer cement) และเรซินคอมโพสิต (resin composite) ผลการศึกษาพบว่าใน 2 ปีแรกฟันทั้งหมดมีอัตราการอยู่รอด (survival rate) ร้อยละ 100 และใน 4 ปี มีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 96.6 นอกจากนี้ยังมีอัตราความสำเร็จใน 2-4 ปี อยู่ที่ร้อยละ 90.6 ซึ่งการบูรณะด้วยวัสดุป้องกันภายในรูเปิดคลองรากฟันนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการผนึกรอยร้าวและป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรีย⁽⁴⁾ โดยสามารถป้องกันการรั่วซึมได้ดีกว่าการอุดด้วยกัตะตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันยังมีส่วนช่วยในการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่รากฟัน โดยพบว่าการบูรณะด้วยวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุในกลุ่มเรซินคอมโพสิต (resin-based composite)⁽⁵⁾ ไบโอเซรามิกซีเมนต์ (bioceramic cement) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์⁽⁶⁾ และเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (dual-cured resin composite)⁽⁷⁾ ส่งเสริมให้รากฟันมีความต้านทานการแตกหักที่สูงขึ้น

นอกจากการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยวัสดุต่างๆข้างต้นแล้ว ฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากฟันอาจมีการบูรณะด้วยวัสดุประเภทเดียวกันเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการช่วยการยึดอยู่กับแกนฟันในกรณีที่มีการสูญเสียเนื้อฟันไปมาก⁽⁸⁾ และช่วยลดปริมาณการใส่วัสดุบูรณะ

ภายในรูเปิดคลองรากฟันที่อาจมีการหดตัวหลังการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวส่งผลให้การผนึกมีประสิทธิภาพมากขึ้น⁽⁹⁾ โดยในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่สำหรับใส่เดือยฟันต้องมีความระมัดระวังเนื่องจากอาจมีการสูญเสียเนื้อฟันบริเวณรากฟันมากขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงของรากฟันลดลง⁽¹⁰⁾ อีกทั้งยังทำให้เกิดการขยายบริเวณของรอยร้าว (crack propagation) จึงคาดว่าอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงในการแตกหักของรากฟันได้⁽¹¹⁾

อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาถึงผลของการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันและการใส่เดือยฟันต่อความต้านทานการแตกหักในรากฟันร้าว ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีความสนใจในการเปรียบเทียบความต้านทานการแตกหักของรากฟันร้าวที่ได้รับการรักษาคคลองรากฟันร่วมกับการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟัน โดยเลือกใช้เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (dual-cured resin composite: Clearfil DC Core Plus) เปรียบเทียบกับการบูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (fiber-reinforced composite post: DT Light-Post)

ความสำคัญของงานวิจัย

อุบัติการณ์การเกิดฟันร้าวมีแนวโน้มพบมากในผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ^(12, 13) จากการศึกษาของ Hiatt ในปี 1973⁽¹⁴⁾ พบอุบัติการณ์การเกิดฟันร้าวสูงที่สุดในผู้ป่วยกลุ่มอายุ 40-49 นอกจากนี้ยังพบมากที่สุดในพื้นที่กรามล่างแท้ซี่ที่สอง รองลงมาคือพื้นที่กรามล่างแท้ซี่ที่หนึ่ง โดยพบอุบัติการณ์การเกิดร้อยละ 40 และ 29 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Khovidhunkit และคณะในปี 2014⁽¹⁵⁾ ศึกษาในผู้ป่วยคณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดลจำนวน 200 คน ซึ่งมีอายุตั้งแต่ 12-80 ปี โดยซักประวัติและจดบันทึกพฤติกรรมเสี่ยงที่ก่อให้เกิดรอยร้าวบนตัวฟัน หลังจากนั้นตรวจฟันทุกซี่ในช่องปากของผู้ป่วยเพื่อหารอยร้าว โดยเกณฑ์ในการตรวจว่าเป็นฟันร้าวคือพบรอยร้าว (craze) หรือรอยร้าว (cracked) อย่างน้อยหนึ่งตำแหน่งบนตัวฟัน ผลการศึกษาพบว่าผู้ป่วย 194 จาก 200 คน จะพบฟันร้าวอย่างน้อย 1 ซี่ ในช่องปาก และพบรอยร้าวหรือรอยร้าวในฟัน 1,932 จาก 5,096 ซี่ นอกจากนี้ยังพบว่าอุบัติการณ์การเกิดฟันร้าวเพิ่มมากขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้นและเมื่ออายุ 41 ปีขึ้นไปจะพบฟันร้าวอย่างน้อยหนึ่งซี่ในช่องปาก โดยปัจจัยเสี่ยงที่นำไปสู่การเกิดรอยร้าวที่พบมากที่สุดคือการบ่งเคี้ยวเคี้ยวโดนของแข็งและการชอบรับประทานอาหารแข็ง ส่วนปัจจัยอื่นๆ เช่น เคี้ยวอาหารข้างเดียว ความเครียด และการเกิดอุบัติเหตุ เป็นต้น

ฟันร้าวสามารถสร้างความยุ่งยากในการจัดการและการรักษาให้แก่ทันตแพทย์ได้ตั้งแต่วขั้นตอนการตรวจเนื่องจากรอยร้าวขนาดเล็กที่ลึกลงไปถึงใต้เหงือกและโพรงเนื้อเยื่อในฟันอาจตรวจพบได้ยาก จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่กำลังขยายช่วย เช่น กระจกทันตกรรม (dental loupe) หรือ กล้องจุลทรรศน์ปฏิบัติการทันตกรรม (dental operating microscope: DOM) ภายใต้แสง

ช่องว่างที่เพียงพอ นอกจากนี้ในการวางแผนการรักษาต้องคำนึงถึงการผนึกรอยร้าวไม่ให้รั่วซึม และป้องกันไม่ให้รอยร้าวขยาย (seal and stabilized) โดยการบูรณะครอบคลุมปุ่มฟัน (full coverage) อย่างไรก็ตามในกรณีที่รอยร้าวขยายขอบเขตลึกลงไปถึงรากฟัน ไม่สามารถบูรณะ ครอบคลุมลงไปจนถึงส่วนของรากฟันได้ จึงแนะนำให้มีการบูรณะภายในคลองรากฟันด้วยวัสดุ บูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟัน (intra-orifice barrier)⁽¹⁾ หรือการใส่เดือยฟัน ทั้งนี้เลือกวัสดุและ วิธีการบูรณะที่เหมาะสมจึงอาจเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มอัตราความสำเร็จในการรักษา โดยใน ปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการรั่วซึม และประสิทธิภาพในการ ด้านทานการแตกหักของรากฟันที่ได้รับการรักษารากฟันและบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วย วัสดุต่างๆ รวมถึงการใส่เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย⁽¹⁶⁾ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาถึง ประสิทธิภาพของวัสดุเหล่านี้ในกรณีที่ต้องบูรณะในรากฟันที่มีรอยร้าวร่วมด้วย การศึกษาครั้งนี้จึง มีความสนใจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการบูรณะภายในคลองรากฟันในแง่ของความ ด้านทานการแตกหัก โดยเปรียบเทียบระหว่างการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอม โพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (dual-cured resin composite: Clearfil DC Core Plus) และการใส่เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (fiber- reinforced composite post: DT Light- Post)

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการแตกหักของรากฟันร้าวที่ได้รับการบูรณะภายในรูเปิด คลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและการบูรณะด้วยเดือย ฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย

ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองที่ทำในฟันหน้าวัวที่ถูกถอนโดยมีการจำลอง สถานการณ์การใส่วัสดุบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันหลังจากอุดคลองรากฟันเพื่อเปรียบเทียบ ความต้านทานการแตกหักของการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยา เคมีและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย

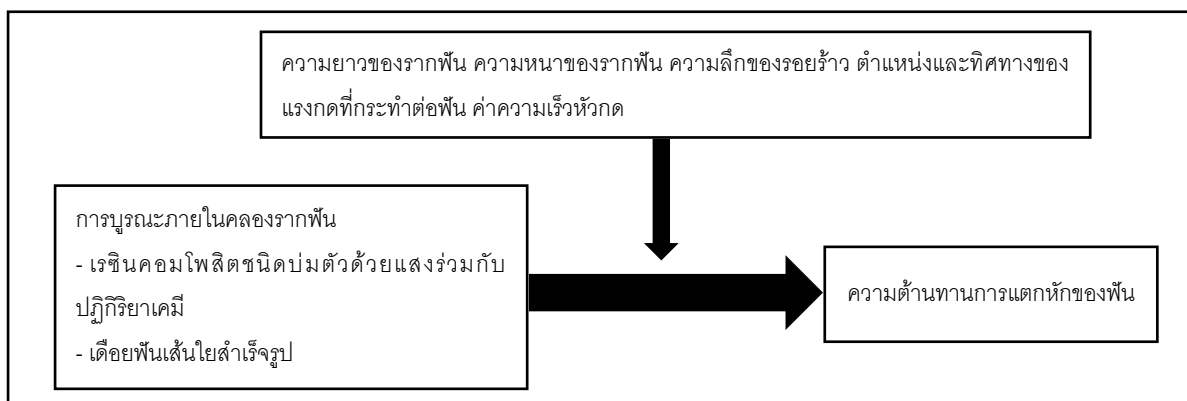
ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น คือ วิธีการบูรณะภายในคลองรากฟัน ได้แก่ การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (Clearfil DC Core Plus) และการใส่เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (DT Light-Post)
2. ตัวแปรตาม คือ ค่าแรงกดที่ใช้ทดสอบจนทำให้เกิดการแตกหักของฟัน (บันทึกค่าแรงในหน่วยนิวตัน)
3. ตัวแปรควบคุม คือ ความยาวของรากฟัน ความหนาของรากฟัน ความลึกของรอยร้าว ตำแหน่งและทิศทางของแรงกดที่กระทำต่อฟัน ค่าความเร็วหัวกด

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (dual-cured resin composite) หมายถึง เรซินคอมโพสิตที่สามารถบ่มตัวได้ด้วยปฏิกิริยาเคมีโดยไม่ต้องใช้แสง หรืออาจมีการใช้แสงร่วมด้วยก็ได้
2. เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (fiber-reinforced composite post) หมายถึง เดือยฟันที่ประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือ เส้นใย (fiber) เช่น เส้นใยคาร์บอน เส้นใยควอร์ต และเส้นใยแก้ว ส่วนที่สองคือเมทริกซ์ของเรซินโพลีเมอร์ (matrix of polymer resin) โดยส่วนใหญ่จะเป็นอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) และบิสจีเอ็มเอ (bis-GMA)⁽¹⁷⁾
3. ค่าความต้านทานการแตกหัก (fracture resistance) หมายถึง ค่าของแรงสูงสุดที่ทำให้ฟันเริ่มมีการแตกหักโดยบันทึกค่าในหน่วยนิวตัน

กรอบแนวคิดงานวิจัย



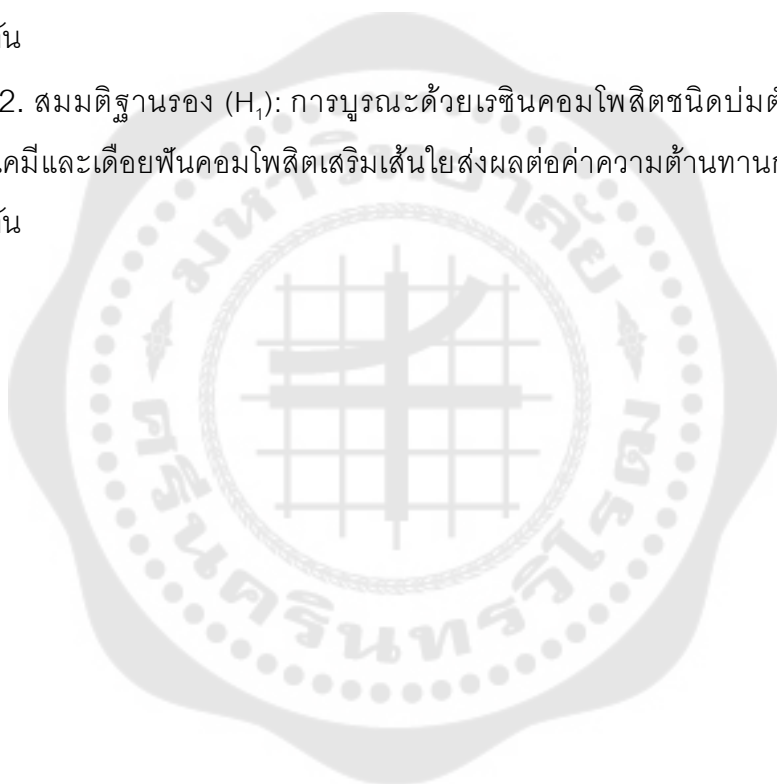
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

คำถามงานวิจัย

ความต้านทานการแตกหักของรากฟันร้าวที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันและบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยวัสดุชนิดเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี มีความแตกต่างจากการบูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยหรือไม่

สมมติฐานงานวิจัย

1. สมมติฐานหลัก (H_0): การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยส่งผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของฟันไม่แตกต่างกัน
2. สมมติฐานรอง (H_1): การบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยส่งผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของฟันแตกต่างกัน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการฟันร้าว

การจัดการฟันร้าวเริ่มต้นจากการตรวจและการวินิจฉัยที่ถูกต้อง โดยเมื่อสงสัยว่ามีฟันร้าวควรซักประวัติถึงพฤติกรรมเสี่ยง เช่น การเคี้ยวของแข็ง การนอนกัดฟันหรือเค้นฟัน ร่วมกับการตรวจทางคลินิก ในการแยกฟันร้าวและฟันแตก (fracture) สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือจิกลงไปบนรอยร้าว (wedging) หากเป็นรอยร้าวขึ้นส่วนของฟันจะไม่มีอาการแยกออกจากกัน แต่หากเป็นฟันแตกขึ้นส่วนของฟันจะมีการขยับ⁽¹⁾ การรักษาฟันร้าวขึ้นอยู่กับระดับความลึกของรอยร้าวและการวินิจฉัยโรคของเนื้อเยื่อใน โดยหากวินิจฉัยว่าฟันมีการอักเสบแบบผันกลับได้ (reversible pulpitis) ให้ทำการบูรณะแบบครอบคลุมปุ่มฟัน (full coverage) ได้แก่ ครอบฟัน (crown) เพื่อช่วยในการผนึกรอยร้าวไม่ให้รั่วซึมและป้องกันไม่ให้รอยร้าวขยาย โดยไม่ต้องทำการรักษาลงรากฟัน แต่หากฟันถูกวินิจฉัยว่ามีการอักเสบแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible pulpitis) ฟันตาย (pulp necrosis) รอยร้าวมีการขยายขอบเขตเข้าไปถึงโพรงเนื้อเยื่อใน หรือฟันจำเป็นต้องได้รับการใส่เดือยฟันเนื่องจากมีเนื้อฟันเหลือไม่เพียงพอ ให้พิจารณารักษาลงรากฟันร่วมกับการบูรณะครอบคลุมปุ่มฟัน⁽¹⁸⁾ นอกจากนี้ในกรณีที่รอยร้าวขยายขอบเขตลึกถึงรากฟัน ไม่สามารถบูรณะครอบคลุมลงไปจนถึงส่วนของรากฟันได้ แนะนำให้มีการบูรณะภายในคลองรากฟันด้วยวัสดุบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันร่วมด้วยเพื่อช่วยผนึกคลองรากฟันและป้องกันการรั่วซึมของแบคทีเรีย⁽¹⁾

การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟัน

สาเหตุหลักของความล้มเหลวในการรักษาลงรากฟันเกิดจากการบูรณะฟันที่ไม่เหมาะสม Ray และ Trope ในปี 1995⁽¹⁹⁾ เปรียบเทียบการพบการอักเสบรอบปลายรากในฟันที่ผ่านการรักษาลงรากฟันโดยดูจากปัจจัยในเรื่องของคุณภาพวัสดุบูรณะและคุณภาพของวัสดุอุดคลองรากฟัน พบว่าการที่มีวัสดุบูรณะที่ไม่ดี (poor restoration: PR) ส่งผลให้พบการอักเสบของปลายรากฟันมากกว่าในกลุ่มที่มีการอุดคลองรากฟันไม่ดี (poor endodontic filling: PE) นอกจากนี้ Khayat และคณะ ในปี 1993⁽²⁰⁾ พบว่าแบคทีเรียในน้ำลายมนุษย์สามารถรั่วซึมผ่านฟันที่อุดด้วยกัตตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียวได้ภายในเวลาเฉลี่ยน้อยกว่า 30 วัน แต่ในกลุ่มควบคุมที่มีการอุดปิดในคลองรากฟันด้วยขี้ผึ้ง (sticky wax) ความหนา 3 มิลลิเมตร ไม่พบการรั่วซึม ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นเทคนิคที่ช่วยในการผนึกคลองรากฟันส่วนบน ป้องกันการรั่วซึมของแบคทีเรีย

ผ่านกัตตาเปอร์ชา ซึ่งเรียกเทคนิคนี้ว่าการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟัน (intra-orifice barrier) Roghanizad และ Jones ในปี 1996⁽²¹⁾ ได้แนะนำการใช้เทคนิคนี้เป็นครั้งแรก โดยหลังจากที่อุดคลองรากฟันแล้ว ให้ตัดกัตตาเปอร์ชาต่ำลงมาจากรูเปิดคลองรากฟัน 3 มิลลิเมตร เพื่อให้เป็นที่อยู่ของวัสดุบูรณะ โดยพบว่าความหนา 3 มิลลิเมตรเพียงพอต่อการป้องกันการรั่วซึม⁽²²⁾ นอกจากนี้ยังสามารถรีออกได้ง่ายหากต้องมีการรักษาคคลองรากฟันซ้ำ⁽²¹⁾ คุณสมบัติในอุดมคติของวัสดุที่นำมาบูรณะ ได้แก่ ยึดติดกับผนังคลองรากฟัน ป้องกันการรั่วซึมของแบคทีเรีย ไม่รบกวนการยึดติดของวัสดุบูรณะชั้นสุดท้าย และสามารถใช้งานได้ง่าย⁽²³⁾

de Araújo และคณะในปี 2022⁽²³⁾ ทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์หือภิมาณ (systematic review and meta-analysis) ถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการรั่วซึมของการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันของวัสดุชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับการอุดด้วยกัตตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว พบว่าการบูรณะด้วยวัสดุในกลุ่มเรซินคอมโพสิต ไบโอเซรามิกซีเมนต์ และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ให้ผลในการป้องกันการรั่วซึมที่ดีกว่าการอุดด้วยกัตตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว

นอกจากประโยชน์ในการผนึกคลองรากฟันและป้องกันการรั่วซึมแล้ว การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันยังสามารถช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่รากฟันและป้องกันการแตกหักได้ จากการศึกษาของ Nagas และคณะในปี 2010⁽⁶⁾ เปรียบเทียบการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุในกลุ่มเรซินคอมโพสิต ไบโอเซรามิกซีเมนต์ และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ พบว่ากลุ่มที่ได้รับการบูรณะด้วยวัสดุเหล่านี้มีค่าความต้านทานการแตกหักที่สูงกว่ากลุ่มที่อุดด้วยกัตตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Aboobaker และคณะในปี 2015⁽⁵⁾ พบว่าการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Resin modified glass ionomer cement) นาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ (flowable nano hybrid composite) และอมัลกัม (amalgam) ส่งเสริมให้มีค่าความต้านทานการแตกหักที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการบูรณะ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี ซึ่งสามารถนำมาใช้บูรณะภายในคลองรากฟันได้⁽⁷⁾ และยังได้รับความนิยมในการใช้เป็นวัสดุก่อแกนฟันและบูรณะฟันร่วมกับเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยเนื่องจากมีค่าความแข็งแรงและค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ใกล้เคียงกับโครงสร้างฟัน มีปริมาณวัสดุอัดแทรกมากขึ้น มีความหนืดต่ำ (low viscosity) สามารถใช้เป็นตัวประสาน (cementation) ระหว่างเดือยฟันและรากฟัน อีกทั้งยังมีความสามารถในการบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี ส่งเสริมให้วัสดุสามารถ

ก่อตัวภายในคลองรากฟันได้ดี เช่น Clearfil DC Core plus, MultiCore Flow และ LuxaCore Z-Dual

Clearfil DC Core plus

Clearfil DC Core Plus (Kuraray Noritake, Japan) เป็นวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี สามารถบ่มตัวเองได้ในบริเวณที่แสงไม่สามารถส่องถึง มี Filler content 74 wt.%, 52 vol.% โดยใช้เวลาในการบ่มตัวด้วยแสง (light- polymerization) 10 วินาที และบ่มตัวเอง (self-polymerization) 6 นาที⁽²⁴⁾ (ภาพประกอบ 2)



ภาพประกอบ 2 Clearfil DC Core plus

Adhesive system

ระบบสารยึดติดแบ่งออกได้เป็น ระบบโททอลเอทช์ (total-etch system) ซึ่งใช้ร่วมกับกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) เข้มข้นร้อยละ 37 และระบบเซลฟ์เอทช์ (self-etch system) ซึ่งมีส่วนประกอบของโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic monomer) โดยระบบเซลฟ์เอทช์แบ่งย่อยได้เป็น ระบบเซลฟ์เอทช์ 1 ขั้นตอน (1-step self-etch adhesives) และระบบเซลฟ์เอทช์ 2 ขั้นตอน (2-step self-etch adhesives) นอกจากนี้ยังมีสารยึดติดชนิดยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟ (universal adhesive) ที่สามารถใช้งานได้ทั้งระบบโททอลเอทช์ 1 ขั้นตอน และระบบเซลฟ์เอทช์ 2 ขั้นตอน

การเตรียมผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกในระบบโททอลเอทช์จะช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงยึดติด (bond strength) ระหว่างวัสดุบูรณะกับผิวฟันโดยทำให้เกิดการดึงออกของแร่ธาตุ (demineralization) ในไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) เกิดการเปิดออกของท่อเนื้อฟัน (dental tubule) เพิ่มขึ้น ทำให้โมโนเมอร์สามารถแทรกซึมเข้าไปได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการเตรียมผิวคลองรากฟันด้วยกรดฟอสฟอริกทำให้ต้องเพิ่มขั้นตอนการล้างน้ำ ซึ่งยากต่อการควบคุม

ความชื้นให้เหมาะสมโดยหากในคลองรากฟันมีความชื้นมากเกินไป (over wet) โมโนเมอร์จะมีการละลายตัวมากขึ้นเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งอาจทำให้ความสามารถในการยึดติดแน่นลง⁽²⁵⁾

Clearfil Tri-S Bond Universal Quick

Clearfil Tri-S Bond Universal Quick (Kuraray Noritake, Japan) เป็นสารยึดติดชนิดยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟ ที่สามารถใช้ร่วมกับทั้งระบบเซลฟ์เอทช์ 1 ขั้นตอน และระบบโททอลเอทช์ 2 ขั้นตอน ที่มีการเตรียมผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริก เข้มข้นร้อยละ 37 ก่อนการทาสารยึดติด

ทางบริษัทผู้ผลิตได้มีการแนะนำให้ใช้สารยึดติด Clearfil Tri-S Bond Universal Quick ร่วมกับวัสดุก่อกแกนฟัน Clearfil DC Core Plus โดยในสารยึดติดนี้มีส่วนประกอบของสารกระตุ้นการบ่มตัวด้วยการสัมผัส (touch-polymerization activator) และในวัสดุก่อกแกนฟันจะมีส่วนประกอบของสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะ (specific chemical initiator) ทำให้เมื่อวัสดุมีการสัมผัสกันจะเกิดการบ่มตัวทางเคมี (chemical polymerization) เพื่อให้วัสดุสามารถบ่มตัวได้ในบริเวณคลองรากฟันที่แสงไม่สามารถส่องถึง⁽²⁶⁾ ซึ่งในขั้นตอนการทำงาน หลังจากทาสารยึดติดภายในคลองรากฟันแล้ว ได้มีการแนะนำให้เป่าลมและซับส่วนเกิน ร่วมกับการฉายแสงภายในคลองรากฟัน จากการศึกษาของ Dwianthany และคณะในปี 2021⁽²⁷⁾ ศึกษาผลของระยะเวลาการฉายแสงสารยึดติดภายในคลองรากฟันต่อความแข็งแรงยึดติดของวัสดุก่อกแกนฟันชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี ผลการทดสอบพบว่า การฉายแสง Clearfil Universal Bond Quick เป็นเวลา 20 วินาที ก่อนใส่วัสดุบูรณะมีค่าความแข็งแรงยึดติดสูงกว่าการฉายแสง 10 วินาที นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Clearfil Universal Bond Quick และ Prime & Bond Universal ที่ได้รับการฉายแสง 20 วินาที พบว่าค่าความแข็งแรงยึดติดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การบูรณะด้วยเดือยฟัน

การใส่เดือยในฟันในฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากฟันแล้วมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยการยึดอยู่กับแกนฟันในกรณีที่มีการเสียเนื้อฟันไปมาก นอกจากนี้ยังช่วยกระจายแรงเค้นจากวัสดุบูรณะและช่วยปิดผนึกคลองรากฟัน เกณฑ์ในการพิจารณาใส่เดือยฟันขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยคือ ตำแหน่งของฟันในขากรรไกร ความต้องการใช้ฟัน เช่น ในกรณีที่เป็นฟันหลักรับน้ำหนักของฟันปลอมถอดได้⁽²⁸⁾ และปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ โดยในกรณีฟันกรามที่มีปริมาณเนื้อฟันเหลืออยู่

มาก มีความสูงของโพรงเนื้อเยื่อในมากกว่า 4 มิลลิเมตร และมีเฟอร์รูล (ferrule) สูงและหนาอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร^(29, 30) อาจพิจารณาไม่จำเป็นต้องใส่เดือยฟัน

ประเภทของเดือยฟันแบ่งตามคุณสมบัติทางกายภาพได้เป็น 2 ประเภท คือ เดือยชนิดแข็ง (rigid post) และเดือยชนิดไม่แข็ง (non rigid post) โดยเดือยชนิดแข็งเป็นเดือยที่มีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อฟัน ได้แก่ เดือยโลหะหล่อ (custom cast post) และเดือยโลหะสำเร็จรูป (prefabricated metal post) ส่วนเดือยชนิดไม่แข็งเป็นเดือยที่มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ได้แก่ เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย ซึ่งเดือยฟันชนิดนี้สามารถลดความเสี่ยงในการเกิดรากแตกได้ เนื่องจากมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ค่าความแข็งแรงทางแรงกด (compressive strength) ค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (flexural strength) และการขยายตัวตามความร้อน (thermal expansion) ที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้เมื่อมีแรงมากระทำจะเกิดการกระจายแรงที่เหมาะสม⁽³¹⁾

เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (fiber-reinforced composite post) ประกอบด้วยสองส่วน ส่วนแรกคือ เส้นใย (fiber) และส่วนที่สองคือเมทริกซ์ของเรซินโพลีเมอร์ (matrix of polymer resin) โดยส่วนใหญ่จะเป็นอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) และบิสจีเอ็มเอ (bis-GMA) โดยเดือยฟันนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามส่วนประกอบของเส้นใย⁽³¹⁾

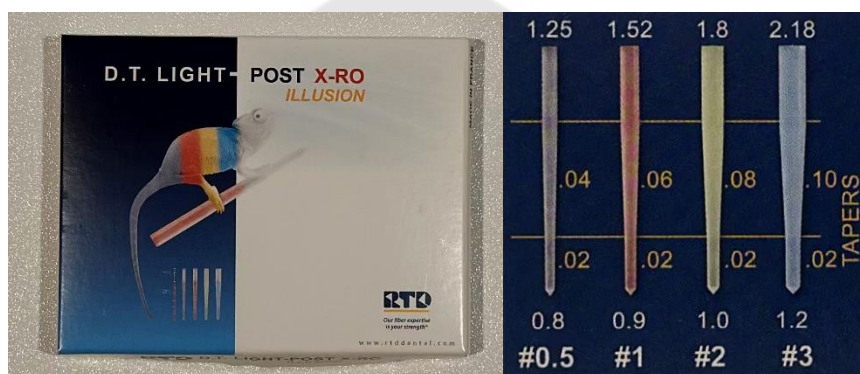
1. เดือยฟันเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber post) ประกอบด้วยเส้นใยคาร์บอนในอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน มีความแข็งแรง แต่มีข้อเสียคือมีสีดำ ส่งผลต่อความสวยงาม
2. เดือยฟันเส้นใยแก้ว (glass fiber post) มีคุณสมบัติทางชีวเคมี (biomechanical) เหมือนกับเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน แต่มีสีที่สวยงามกว่าและสามารถนำแสงได้ เช่น FRC Postec plus
3. เดือยฟันเส้นใยควอร์ต (quartz fiber post) ประกอบด้วยผลึกซิลิกา มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับเดือยฟันคาร์บอนและมีสีขาว ส่งผลให้สามารถใช้ในฟันที่ต้องการความสวยงามได้เช่นเดียวกับเดือยฟันเส้นใยแก้ว เช่น DT light post

DT Light-Post

DT Light-Post Illusion X-RO (RTD Dental, France) เป็นเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอร์ต มีความแข็งแรงต่อการโค้งงอที่สูง (high flexural strength)⁽³²⁾ สามารถมองเห็นได้

ในภาพถ่ายรังสี แสงส่องผ่านได้ (light transmission) มีค่าความผายสองระดับ (double taper) ในเดือยฟันแต่ละชิ้น โดยมีทั้งหมด 4 ขนาด (ภาพประกอบ 3) ได้แก่

1. ขนาด 0.5 มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลาย 0.8 มิลลิเมตร มีค่าความผาย 0.02 และ 0.04
2. ขนาด 1 มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลาย 0.9 มิลลิเมตร มีค่าความผาย 0.02 และ 0.06
3. ขนาด 2 มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลาย 1.0 มิลลิเมตร มีค่าความผาย 0.02 และ 0.08
4. ขนาด 3 มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลาย 1.2 มิลลิเมตร มีค่าความผาย 0.02 และ 0.10



ภาพประกอบ 3 เดือยฟัน DT Light-Post Illusion X-RO ขนาดต่างๆ

การใช้ฟันวูในงานวิจัย

ฟันวู (ภาพประกอบ 4) ถูกนำมาใช้ในการทดลองในงานทางทันตกรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย มีขนาดใหญ่ และมีความที่บ่งชี้ใกล้เคียงกับฟันมนุษย์ ทำให้ง่ายต่อการศึกษา Tanaka และคณะในปี 2008⁽³³⁾ ศึกษาความแตกต่างของความที่บ่งชี้ระหว่างฟันมนุษย์และฟันวู พบว่าเคลือบฟันฟันวูมีความที่บ่งชี้สูงกว่าเคลือบฟันมนุษย์อย่างมีนัยสำคัญ แต่บริเวณเนื้อฟันในบริเวณตัวฟันและรากฟันของฟันวูมีความที่บ่งชี้น้อยกว่าฟันมนุษย์ อย่างไรก็ตามค่าความแตกต่างนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งยังมีการศึกษาที่พบว่าองค์ประกอบของเคลือบฟันและเนื้อฟันวูมีความใกล้เคียงกับฟันมนุษย์^(34, 35) นอกจากนี้ Soares และคณะในปี 2016⁽³⁶⁾ ทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและทำการวิเคราะห์ห่อภิมาณ (systematic review and meta-analysis) เกี่ยวกับการใช้ฟันวูแทนฟันมนุษย์เพื่อทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดของวัสดุ (bond strength) พบว่าความสามารถในการยึดติดของวัสดุกับเนื้อฟันทั้งสองชนิดนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ในการนำฟันวัวมาใช้ในการวิจัย ได้มีการแนะนำให้เลือกใช้ฟันวัวที่มีอายุมาก เนื่องจากมีขนาดของโพรงฟัน (pulp chamber) และคลองรากฟัน (root canal) ที่ไม่ใหญ่จนเกินไป⁽³⁷⁾ อีกทั้งเคลือบฟันและเนื้อฟันยังมีค่าความแข็งใกล้เคียงกับฟันมนุษย์ Fonseca และคณะในปี 2008⁽³⁸⁾ เปรียบเทียบค่าความแข็งของฟันวัวในช่วงอายุต่างๆ และฟันมนุษย์โดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบนूप (Knoop Hardness Test) พบว่าเมื่อวัวมีอายุมากขึ้นจะมีค่าความแข็งของเคลือบฟันและเนื้อฟันมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับฟันมนุษย์พบว่าค่าความแข็งของตัวอย่างเคลือบฟันมนุษย์ที่อายุ 20 ถึง 30 ปี มีความใกล้เคียงกับฟันวัวอายุ 38 และ 40 เดือน อย่างไรก็ตามในส่วนของเนื้อฟันพบว่าฟันวัวทุกช่วงอายุมีค่าความแข็งใกล้เคียงกับฟันมนุษย์



ภาพประกอบ 4 ฟันหน้าวัว

การทดสอบค่าความต้านทานการแตกหัก

การทดสอบความต้านทานการแตกหักเป็นการประเมินแรงสูงสุดที่จะทำให้วัสดุแตกออกจากกัน ในหลายการศึกษานิยมใช้เครื่องทดสอบวัสดุทางกล (universal testing machine) ในการทดสอบโดยให้แรงบนด้านบดเคี้ยวของฟันผ่านหัวกดที่ทำจากโลหะ (metallic device) เช่น หัวโลหะทรงกลม (steel sphere) หัวโลหะทรงกระบอก (steel cylinder) เครื่องมีรูปลิ่ม (wedge shape)^(5, 6, 39) โดยอาจมีการกำหนดจุดสัมผัสให้สัมผัสเฉพาะวัสดุบูรณะ สัมผัสเฉพาะเนื้อฟัน หรือสัมผัสทั้งวัสดุและเนื้อฟัน Adanir และคณะในปี 2012⁽⁴⁰⁾ ทดสอบผลของหัวกดชนิดต่างๆ ต่อความต้านทานการแตกหักในฟันกรามน้อย ที่ได้รับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตบนด้านบดเคี้ยวพบว่าหัวกดที่มีการสัมผัสปุ่มฟันจะทำให้เกิดการแยกออกของปุ่มฟันและวัสดุบูรณะจากความเค้นแรงดึง (tensile stress) เป็นการทดสอบพื้นผิวการยึดติด (adhesive interface) ส่วนหัวกดที่มีการสัมผัสเฉพาะวัสดุบูรณะจะทำให้เกิดแรงกดลงไปในตัวฟันและมีการกระจายแรงไปยังเนื้อฟันลงไปสู่รากฟันแตกต่างกันตามค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ (modulus of elasticity) และทำให้เกิดการแตกหักของรากฟัน ซึ่งวิธีนี้เป็นการทดสอบความต้านทานการแตกหักภายในโครงสร้างฟัน

ในการทดสอบค่าความต้านทานการแตกหักของรากฟันในพื้นที่ได้รับการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันนิยมใช้หัวกดโลหะที่มีลักษณะเป็นทรงกลม โดยกำหนดให้ตำแหน่งของหัวกดอยู่บริเวณกึ่งกลางและสัมผัสเฉพาะบริเวณวัสดุบูรณะ ดังเช่นในการศึกษาของ Aboobaker และคณะในปี 2015⁽⁵⁾ และการศึกษาของ Nagas และคณะในปี 2010⁽⁶⁾ ทดสอบความต้านทานการแตกหักโดยใช้หัวโลหะทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร กดที่บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางวัสดุบูรณะ กำหนดค่าความเร็วในการทดสอบ (crosshead speed) 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนกว่าจะเกิดการแตก บันทึกค่าในหน่วยนิวตัน คำนวณออกมาเป็นค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหัก (mean)

ข้อดีของการทดสอบค่าความต้านทานการแตกหักเป็นการทดสอบคุณสมบัติทางชีวกลศาสตร์ของวัสดุโดยใช้เวลาน้อยและเครื่องมือมีราคาถูก อย่างไรก็ตามคุณสมบัติในการใช้งานของวัสดุที่แท้จริงสามารถทดสอบได้จากการทดสอบทางคลินิกเท่านั้น



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. วัสดุ

- 1.1 ไฟล์ชนิดเค (K-files; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)
- 1.2 ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบโพรเทเปอร์เน็กซ์ (ProTaper Next file system; Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) ขนาดเอ็กซ์ 4 (X4: 40/.06)
- 1.3 หัวกรอเร็วปลายสอบเคลือบกากเพชรดี 16 (D16 Taper Diamond bur)
- 1.4 กระดาษขั้บรูปกรวยแหลม (paper points)
- 1.5 ซีลเลอร์เอเอชพลัส (AH Plus; Dentsply, DeTrey, Konstanz, Germany)
- 1.6 กัดตาเปอร์ชา (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) ขนาดเอ็กซ์ 4
- 1.7 เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (Clearfil DC Core Plus; Kuraray Noritake, Japan)
- 1.8 สารยึดติด (Clearfil Tri-S Bond Universal Quick; Kuraray Noritake, Japan)
- 1.9 เดียวฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (DT Light-Post Illusion X-RO; RTD Dental, France)
- 1.10 หัวกรอเตรียมพื้นที่เดือย (D.T. Light-Post Drill; RTD Dental, France) เบอร์ 1
- 1.11 เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเอง (self-cure acrylic resin)
- 1.12 ซิลิโคนชนิดไลท์บอดี้ (Silagum light; DMG, Germany)
- 1.13 ขี้ผึ้งทางทันตกรรมสีชมพู (dental pink wax)
- 1.14 สีย้อมเมทิลีนบลู (methylene blue dye)

2. สารเคมี

- 2.1 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite; NaOCl) ความเข้มข้นร้อยละ 2.5
- 2.2 กรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระแอสีติก (ethylenediaminetetraacetic acid; EDTA) ความเข้มข้นร้อยละ 17
- 2.3 กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid; H_3PO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 37

2.4 สารละลายไทมอล (thymol) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1

3. อุปกรณ์

3.1 เครื่องตัดไอโซเมต (IsoMet 1000; Buehler, USA)

3.2 เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine; EZ Test Series, Shimadzu, Kyoto, Japan)

3.3 ดิจิทัลเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ (digital vernier caliper)

3.4 เครื่องตัดและอุดคลองรากฟัน (Element IC; Kerr, USA)

3.5 เครื่องขยายเอ็กซ์สแมร์ทพลัส (X-SMART® PLUS, Dentsply Maillefer)

3.6 วงแหวนพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride)

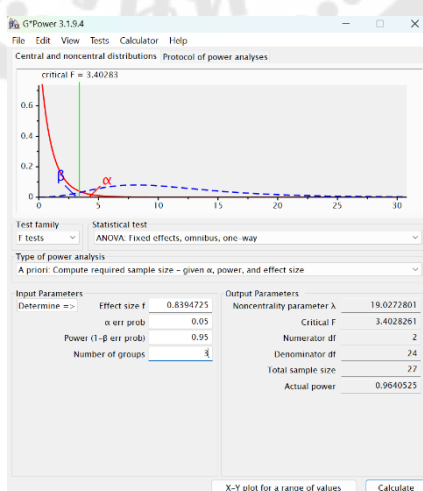
3.7 ตะเกียงแอลกอฮอล์ (alcohol burner)

3.8 สิว (mortise chisel; Narex Bystrice, Czech Republic) หน้าตัด 3 มิลลิเมตร

3.9 ค้อน (hammer)

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง

กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยการคำนวณผ่านโปรแกรม G* power เวอร์ชัน 3.1.9.4 โดยอ้างอิงจากการศึกษานำร่อง (pilot study) กำหนดค่า Statistical Power เท่ากับ 0.95 และทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 27 ซี่ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้ตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 30 ซี่ แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ (ภาพประกอบ 5)



ภาพประกอบ 5 การคำนวณกลุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G* power

การคัดเลือกฟัน

ใช้ฟันตัดหน้าล่างซี่กลางและซี่ข้างของวัยช่วงอายุ 3-5 ปี ที่ได้รับการถอนโดยคนถอนเดียวกัน ซึ่งมี 1 ราก และเป็นฟันที่มีการสร้างรากสมบูรณ์ จำนวน 30 ซี่ หลังจากถอนออกมาล้างทำความสะอาดและเก็บในสารละลายไทมอล (thymol) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 พิจารณาลักษณะจำนวน และรูปร่างของคลองรากฟันด้วยภาพถ่ายรังสีในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้นและแนวใกล้กลางไกลกลาง ต้องมองเห็นคลองรากฟันชัดเจน มี 1 คลองรากฟัน คลองรากฟันตรง และไม่พบความผิดปกติ เช่น คลองรากฟันตีบตัน ตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ปฏิบัติการทันตกรรมไม่พบรอยผุและรอยร้าวบนฟัน

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างฟันที่ใช้ในการทดลอง

ตัดตัวฟันให้ตั้งฉากกับแนวแกนฟันด้วยเครื่องตัดไอโซเมต (IsoMet 1000; Buehler, USA) ตรวจสอบความยาวโดยใช้ดิจิทัลเวอร์เนียแคลิเปอร์ (digital vernier caliper) ให้ได้รากฟันยาว 12 มิลลิเมตร เลือกเฉพาะฟันที่มีความกว้างในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น 6-7 มิลลิเมตร และความกว้างในแนวใกล้กลางไกลกลาง 5-6 มิลลิเมตร มีคลองรากฟันลักษณะกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคลองรากฟันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร และมีขนาด Initial Apical File (IAF) ไม่เกิดไฟล์ชนิดเคขนาด 30 จากนั้นนำฟันไปยึดในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเอง (self-cure acrylic resin) ที่อยู่ภายในวงแหวนพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) และสร้างรอยร้าวในแนวตั้งบริเวณส่วนบนของรากฟันโดยการใช้ค้อน (hammer) น้ำหนัก 225 กรัม ส่งถ่ายแรงขนาดใกล้เคียงกันผ่านสิ่ว (mortise chisel; Narex Bystrice, Czech Republic) ที่มีหน้าตัดกว้าง 3 มิลลิเมตร ไปยังรากฟัน ดึงฟันออกมาจากบล็อกเพื่อตรวจสอบรอยร้าวด้วยสีย้อมเมทิลีนบลู (methylene blue) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ปฏิบัติการทันตกรรม คัดเลือกเฉพาะรากฟันที่มีรอยร้าว 1 ตำแหน่ง ซึ่งมีความยาวรอยร้าว 4-5 มิลลิเมตร ที่ผิวรากฟันด้านนอก จากนั้นกำหนดความยาวทำงาน (working length) โดยใส่ไฟล์ชนิดเค (K-file; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ขนาด 25 หรือ 30 เข้าไปในคลองรากฟันจนเห็นปลายของไฟล์โผล่ออกที่รูเปิดปลายรากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ปฏิบัติการทันตกรรม ใช้ความยาวนี้ลบ 1 มิลลิเมตร เป็นความยาวในการทำงาน ขยายคลองรากฟันโดยใช้ไฟล์ระบบโปรเทปเปอร์เนกซ์ (ProTaper Next file system; Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) จนถึงขนาดขนาดเอ็กซ์ 4 (X4: 40/.06) ระหว่างเปลี่ยนเครื่องมือล่างคลองรากฟันด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite; NaOCl) ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ร่วมกับการทำคลองรากฟันให้โล่ง (patency) ด้วยไฟล์ชนิดเคขนาด 25 หรือ 30 ทุกครั้ง ขับคลองรากฟันให้แห้งด้วยกระดาษซับรูปกรวยแหลม (paper point) ก่อนอุดคลอง

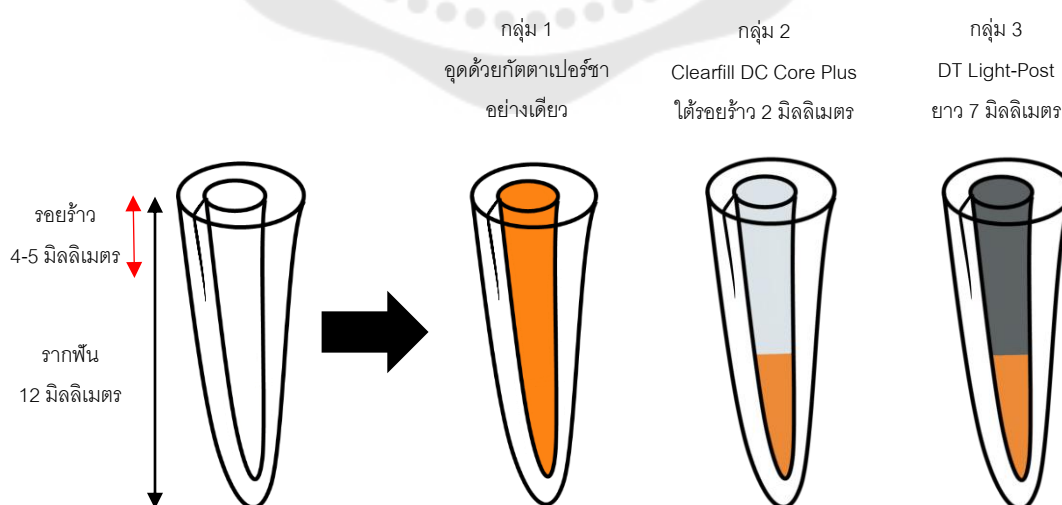
รากฟันล่างด้วยกรดเอทิลีนไดเอมีนเตตระแอสีติก (ethylenediaminetetraacetic acid; EDTA) ความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ชั้บคลองรากฟันให้แห้งด้วยกระดาษซับรูปกรวยแหลม แบ่งฟันอย่างสุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ ดังนี้ (ภาพประกอบ 6)

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มรากฟันร้าวที่ได้รับการอุดคลองรากฟันด้วยกัตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มรากฟันร้าวที่ได้รับการอุดคลองรากฟันด้วยกัตาเปอร์ชาที่ระดับใต้ต่อรอยร้าว 2 มิลลิเมตร และบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (Clearfil DC Core Plus; Kuraray Noritake, Japan)

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มรากฟันร้าวที่ได้รับการอุดคลองรากฟันด้วยกัตาเปอร์ชาและบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (DT Light-Post Illusion X-RO; RTD Dental, France) ยาว 7 มิลลิเมตร

ทำการอุดคลองรากฟันด้วยเทคนิคเวอร์ติคัลคอมแพคชัน (warm vertical compaction) โดยใช้กัตาเปอร์ชาแท่งหลัก (main cone) ขนาด 40/.06 ร่วมกับซีลเลอร์เอเอชพลัส (AH Plus; Dentsply, DeTrey, Konstanz, Germany) จากนั้นถ่ายภาพรังสีเพื่อยืนยันว่าวัสดุอุดคลองรากฟันเต็มแน่นในทุกมิติ นำชิ้นตัวอย่างฟันทั้งหมดเก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ซีลเลอร์แข็งตัวอย่างสมบูรณ์



ภาพประกอบ 6 การแบ่งกลุ่มฟันที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟัน

ตัดกั๊กตาเปอร์ชาใต้ต่อรอยร้าว 2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องมือให้ความร้อน (heat plugger) ล้างทำความสะอาดคลองรากฟันด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร และขับคลองรากฟันให้แห้งด้วยกระดาษซับรูปกรวยแหลม ทาสารยึดติด (Clearfil Tri-S Bond Universal Quick; Kuraray Noritake, Japan) ในคลองรากฟันโดยถูเบาๆ เป่าลม 5 วินาที ฉายแสง 20 วินาที จากนั้นบูรณะด้วย เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (Clearfil DC Core Plus; Kuraray Noritake, Japan) จนเต็มโพรงฟัน ฉายแสง 20 วินาที ตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสีไม่พบช่องว่างภายในวัสดุบูรณะและระหว่างวัสดุบูรณะกับกั๊กตาเปอร์ชา

ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่สำหรับใส่เดือยฟัน

กรอกำจัดกั๊กตาเปอร์ชาจากรูเปิดคลองรากฟันลงไป 7 มิลลิเมตร โดยใช้ D.T. Light-Post Drill (RTD Dental, France) เบอร์ 1 ใช้เอ็นโดอนติกปลั๊กเกอร์ (endodontic plugger) กดอัดผิวกั๊กตาเปอร์ชาให้แน่น โดยให้เหลือกั๊กตาเปอร์ชาบริเวณส่วนปลายรากฟัน 4-5 มิลลิเมตร จากนั้นล้างพื้นที่เดือยฟันด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร และขับให้แห้งด้วยกระดาษซับรูปกรวยแหลม

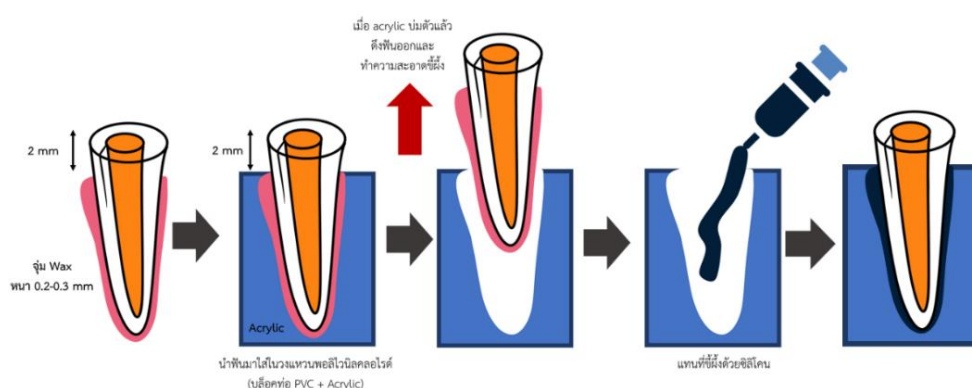
ขั้นตอนการใส่เดือยฟัน

ทากรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ลงบนเดือยฟัน D.T. Light-Post เบอร์ 1 เป็นเวลา 5 วินาที ล้างและเป่าลม ทาสารยึดติด (Clearfil Tri-S Bond Universal Quick; Kuraray Noritake, Japan) เป่าลม 5 วินาที จากนั้นทาสารยึดติด (Clearfil Tri-S Bond Universal Quick; Kuraray Noritake, Japan) ในคลองรากฟัน ขับส่วนเกินด้วยกระดาษซับรูปกรวยแหลมและเป่าลมเบาๆ 5 วินาที ฉายแสง 20 วินาที ใช้เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี (Clearfil DC Core Plus; Kuraray Noritake, Japan) ฉีดลงในคลองรากฟัน แล้วใส่เดือยฟันตามลงไปทันที ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที ตัดส่วนเกินด้านบนออกด้วยหัวกรอเร็วปลายสอบเค็ลบากาเพชรดี 16 (D16 Taper Diamond bur) ตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสีไม่พบช่องว่างภายในวัสดุบูรณะและระหว่างวัสดุบูรณะกับกั๊กตาเปอร์ชา

หลังจากบูรณะเรียบร้อยแล้วนำขึ้นตัวอย่างฟันทั้งหมดเก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลอง

การทดสอบความต้านทานการแตกหักของรากฟัน

หลังจากเก็บรากฟันในอุณหภูมิที่กำหนดครบระยะเวลาแล้ว นำฟันไปสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลอง (periodontal ligament: PDL) โดยนำรากฟันไปจุ่มในขี้ผึ้งทางทันตกรรมสีชมพู (dental pink wax) ให้มีความหนาประมาณ 0.2-0.3 มิลลิเมตร และมีระยะห่างจากขอบรากฟันด้านบน 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำรากฟันจุ่มลงไปในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเอง (self-cure acrylic resin) ที่อยู่ในวงแหวนพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) โดยมีระยะห่างระหว่างส่วนบนของเรซินอะคริลิกกับผิวขอบรากฟันด้านบน 2 มิลลิเมตร เมื่ออะคริลิกเกิดการบ่มตัวให้ทำเครื่องหมายบริเวณรากฟันและบล็อกเรซินอะคริลิก นำรากฟันออกจากบล็อก เช็ดทำความสะอาดขี้ผึ้งภายในบล็อกเรซินอะคริลิกด้วยไม้พันสำลี และเช็ดทำความสะอาดบริเวณผิวรากฟันด้วยผ้าก๊อซแห้ง จากนั้นใส่วัสดุซิลิโคนชนิดไลต์บอดี้ (Silagum light, DMG, Germany) แล้วใส่รากฟันกลับเข้าไปที่เดิมอีกครั้งให้ตรงตำแหน่งเครื่องหมายที่ทำไว้ในตอนแรก (ภาพประกอบ 7)



ภาพประกอบ 7 โมเดลการสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลอง

นำบล็อกเรซินอะคริลิกไปวางที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine; EZ Test Series, Shimadzu, Kyoto, Japan) ใช้หัวโลหะทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร กดขนานกับแนวแกนรากฟัน (vertical load) ที่บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางวัสดุบูรณะ โดยหัวกดจะสัมผัสเฉพาะบริเวณวัสดุบูรณะเท่านั้น กำหนดความเร็วหัวกดคงที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนเกิดการแตกหัก บันทึกค่าแรงในหน่วยนิวตัน (newton) สังเกตรูปแบบของการแตกหัก (fracture pattern) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ปฏิบัติการทันตกรรมและบันทึกใน 2 รูปแบบ ดังนี้

- 1) การแตกแบบครอบคลุมรอยร้าวเดิม (involved crack line)
- 2) การแตกแบบไม่ครอบคลุมรอยร้าวเดิม (not involved crack line)

การรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

บันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดสอบค่าความต้านทานการแตกหักในหน่วยนิวตัน (newton) รวบรวมข้อมูลมาคำนวณค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักในแต่ละกลุ่มการทดลอง ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS ทดสอบการแจกแจงข้อมูลโดยชาปิโรวิลค์ (Shapiro-Wilk test) หากข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักแต่ละกลุ่มโดยสถิติ one-way analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยสถิติ Tukey's test หากข้อมูลมีการกระจายตัวไม่ปกติ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักแต่ละกลุ่มโดยการทดสอบ Kruskal-Wallis test และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยสถิติ Wilcoxon Rank-Sum test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 1 บันทึกค่าความต้านทานการแตกหัก

ชิ้นงาน	ค่าความต้านทานการแตกหัก (นิวตัน)		
	กัตตาเปอร์ชา	เรซินคอมโพสิตชนิดปมตัว ด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี	เดือยฟันคอมโพสิตเสริม เส้นใย
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทดสอบค่าความต้านทานการแตกหักของรากฟันแต่ละกลุ่มพบว่าค่าเฉลี่ยของแรงกดที่ทำให้รากฟันเกิดการแตกหักมีค่าสูงสุดในกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย 717.753 ± 72.44 นิวตัน รองลงมาคือกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี 680.308 ± 51.69 นิวตัน และกลุ่มกัตาเปอร์ชา 207.165 ± 37.28 นิวตัน

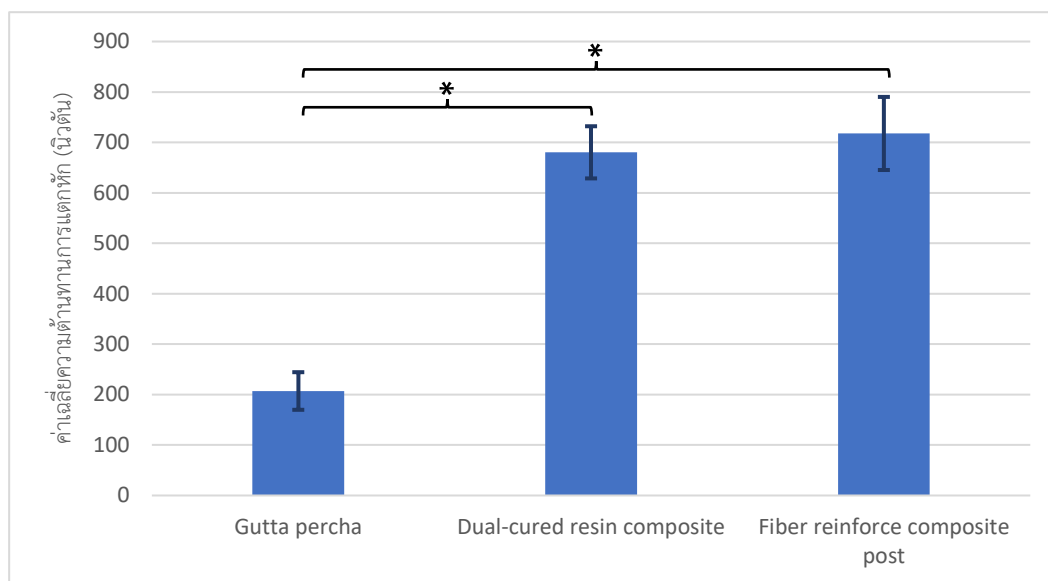
ทดสอบข้อมูลด้วยชาปีโรวิลค์ (Shapiro-Wilk test) พบว่ามีการแจกแจงปกติ และทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Homogeneity of variance) ด้วยการทดสอบเลวีเน (Levene test) พบว่าข้อมูลมีความแปรปรวนเท่ากัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของกลุ่มกัตาเปอร์ชา เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี และเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม จากนั้นทดสอบด้วยสถิติทูเกี เฮชเอสดี (Tukey's HSD) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มกัตาเปอร์ชาและกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี ($p < .001$) และระหว่างกลุ่มกัตาเปอร์ชาและกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย ($p < .001$) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย ($p = .305$) ดังแสดงในตาราง 2 และภาพประกอบ 8

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยของแรงกดที่ทำให้รากฟันเกิดการแตกหัก (นิวตัน)

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นิวตัน)
กัตาเปอร์ชา	207.165 ± 37.28^a
เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสง ร่วมกับปฏิกิริยาเคมี	680.308 ± 51.69^b
เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย	717.753 ± 72.4^b
ค่า p-value	< 0.001

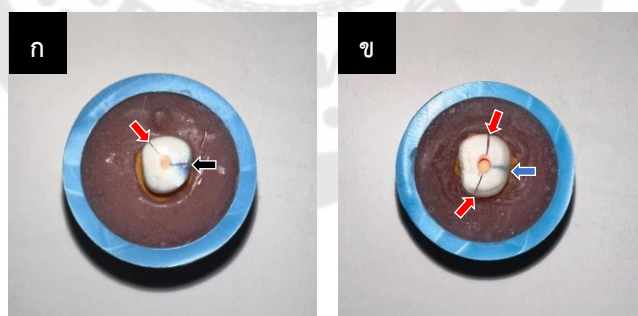
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษด้วยที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพประกอบ 8 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักในแต่ละกลุ่ม

เครื่องหมาย * แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

เมื่อศึกษารูปแบบการแตกหักของรากฟันทั้งหมดพบว่าส่วนใหญ่มีรอยแตกตั้งแต่ 2 รอยขึ้นไปร่วมกับการแตกที่ตำแหน่งรอยร้าวเดิม รองลงมาคือมีรอยแตก 1 รอยที่ไม่ใช่ตำแหน่งรอยร้าวเดิม และมีรอยแตก 2 รอยที่ไม่ใช่ตำแหน่งรอยร้าวเดิม ดังแสดงในภาพประกอบ 9 และตาราง 3



ภาพประกอบ 9 รูปแบบการแตกหักของรากฟัน

ลูกศรสีแดงแสดงรอยแตกจากการให้แรงกด ลูกศรสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งรอยร้าวเดิม และลูกศรสีดำแสดงรอยแตกจากการให้แรงกดที่ตำแหน่งรอยร้าวเดิม

ก. รอยแตก 2 รอยร่วมกับการแตกที่ตำแหน่งรอยร้าวเดิม

ข. รอยแตก 2 รอยที่ไม่ใช่ตำแหน่งรอยร้าวเดิม

ตาราง 3 แจกแจงรูปแบบการแตกหักของรากฟัน

กลุ่ม	รูปแบบการแตกของรากฟัน				รวม
	การแตกที่ตำแหน่ง		การแตกที่ไม่ใช่ตำแหน่ง		
	รอยร้าวเดิม		รอยร้าวเดิม		
	1 รอย	≥2 รอย	1 รอย	≥2 รอย	
กัฏตาเปอร์ชา	0	4	5	1	10
เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัว ด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี	0	10	0	0	10
เดือยฟันคอมโพสิต เสริมเส้นใย	0	10	0	0	10
รวม	0 (0%)	24 (80%)	5 (16.67%)	1 (3.33%)	30 (100%)

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การบูรณะภายในรูปเปิดคลองรากฟันในรากฟันร้าวด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีค่าความต้านทานการแตกหักสูงกว่าการอุดด้วยกัตตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยพบว่าค่าความต้านทานการแตกหักไม่มีความแตกต่างกัน

อภิปรายผลการวิจัย

การบูรณะฟันร้าวต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุในการผนึกรอยร้าวไม่ให้รั่วซึมและการป้องกันไม่ให้รอยร้าวขยาย (seal and stabilized) ฟันร้าวที่มีขอบเขตอยู่เฉพาะบริเวณตัวฟันควรมีการบูรณะครอบคลุมฟันทั้งหมด (full coverage) แต่เมื่อรอยร้าวมีการขยายขอบเขตลึกลงไปถึงรากฟันมีคำแนะนำให้บูรณะภายในรูปเปิดคลองรากฟันด้วยวัสดุที่สามารถยึดติดกับผนังคลองรากฟัน⁽⁴⁾ หรือใส่เดือยฟันร่วมกับเรซินซีเมนต์⁽⁹⁾ เพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันการรั่วซึมของแบคทีเรีย⁽⁴¹⁾ อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมความต้านทานการแตกหักให้แก่รากฟัน⁽⁵⁾ เรซินคอมโพสิตเป็นหนึ่งในวัสดุที่นิยมนำมาบูรณะ Yavari และคณะในปี 2012⁽⁴²⁾ พบว่าการบูรณะภายในรูปเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตสามารถช่วยป้องกันการรั่วซึมของแบคทีเรียได้ดีกว่าการอุดด้วยกัตตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว Aboobaker และคณะในปี 2015⁽⁵⁾ พบว่าการบูรณะภายในรูปเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตสามารถช่วยเพิ่มค่าความต้านทานการแตกหักให้แก่รากฟันได้ดีกว่าการอุดด้วยกัตตาเปอร์ชา สอดคล้องกับผลการศึกษาคั้งนี้ที่พบว่ารากฟันร้าวที่ได้รับการบูรณะภายในรูปเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการอุดด้วยกัตตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยพบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุทั้งสองชนิดมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับเนื้อฟัน โดยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น 16.1 กิกะปาสกาล⁽⁴³⁾ เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีค่า 15 กิกะปาสกาล⁽⁴⁴⁾ และเนื้อฟันมีค่า 18.6 กิกะปาสกาล⁽⁴⁴⁾ ทำให้เมื่อมีแรงมากระทำบนวัสดุจะเกิดการ

กระจายแรงไปยังส่วนต่างๆของรากฟันได้สม่ำเสมอ และทั้งสองวัสดุมีลักษณะการกระจายแรงที่คล้ายคลึงกัน Jain และคณะในปี 2024⁽⁴⁵⁾ ทดสอบไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element) จำลองการให้แรงในฟันหน้าบนที่ได้รับการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิต พบว่าเมื่อให้แรงกระทำบนฟันจะเกิดการกระจายแรงค้ำจุนจากเรซินคอมโพสิตไปยังผนังคลองรากฟันอย่างสม่ำเสมอ คล้ายคลึงกับการกระจายแรงของการบูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในการศึกษาของ Jang และคณะในปี 2012⁽⁴⁴⁾ ซึ่งทดสอบไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการให้แรงในฟันหน้าบนที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย พบว่าเดือยฟันมีการกระจายแรงค้ำจุนไปยังเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟัน และเมื่อเปรียบเทียบกับเดือยฟันโลหะหล่อที่มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 112 กิกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่ามอดุลัสยืดหยุ่นในเนื้อฟันมาก พบว่ามีการสะสมแรงค้ำจุนภายในเดือยฟัน ไม่ค่อยมีการกระจายแรงไปยังผนังคลองรากฟัน และส่งถ่ายแรงลงไปสู่ปลายรากฟันซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงในการแตกหักของรากฟันในแนวดิ่งมากกว่าเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย นอกจากนี้ Yoon และคณะในปี 2016⁽⁴⁶⁾ ทดสอบไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการให้แรงในฟันกรามล่างที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยในตำแหน่งแตกต่างกัน ได้แก่ ที่ตำแหน่งรากฟันด้านใกล้กลางใกล้แก้ม (mesio-buccal root) และรากฟันด้านไกลกลาง (distal root) ผลการศึกษาพบว่าการใช้เดือยฟันในทั้งสองตำแหน่งจะมีการกระจายแรงค้ำจุนไปยังผนังคลองรากฟันในลักษณะเดียวกัน และมีการสะสมแรงค้ำจุนสูงสุดในบริเวณผนังคลองรากฟันที่ตำแหน่งปลายสุดของเดือยฟัน แต่การใช้เดือยฟันที่รากไกลกลางจะมีค่าแรงค้ำจุนสูงสุดที่ต่ำกว่าการใช้เดือยฟันที่รากฟันใกล้กลางใกล้แก้ม อาจเนื่องมาจากรากฟันด้านไกลกลางมักมีความตรงมากกว่าจึงสามารถกระจายแรงได้สม่ำเสมอ

ในกรณีของรากฟันที่มีรอยร้าว การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยวัสดุที่มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันได้ต่อรอยร้าว 2 มิลลิเมตร สามารถช่วยลดความเค้นบริเวณพื้นผิวรอยร้าวและความเค้นภายในเนื้อฟันได้ Boonrawd และคณะในปี 2022⁽⁴⁷⁾ ทดสอบไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการให้แรงในฟันรำลึกถึงรากฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีที่ระดับความลึกแตกต่างกัน ได้แก่ ความลึกระดับเดียวกับจุดสิ้นสุดรอยร้าว และความลึกได้ต่อรอยร้าว 2 มิลลิเมตร พบว่าการบูรณะที่ระดับความลึกได้ต่อรอยร้าว 2 มิลลิเมตร จะมีค่าความเค้นภายในเนื้อฟันและความเค้นที่บริเวณพื้นผิวรอยร้าวต่ำกว่าการบูรณะที่ระดับเดียวกันกับจุดสิ้นสุดรอยร้าว อีกทั้งยังมีค่าความเค้นต่ำกว่าความต้านแรงดึงสูงสุดของเนื้อฟัน (tensile strength)⁽⁴⁸⁾ จึงสามารถลดการขยายขอบเขตต่อของรอยร้าว (crack propagation) อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมความแข็งแรงให้แก่รากฟัน ส่วนการบูรณะที่ระดับเดียวกับจุดสิ้นสุดรอยร้าว

ทำให้เกิดค่าความเค้นสะสมที่สูงกว่าค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของฟันซึ่งทำให้เกิดการขยายขอบเขตต่อของรอยร้าวได้

เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะใช้ร่วมกับสารยึดติด (adhesive) ทำให้วัสดุบูรณะและผนังคลองรากฟันเกิดการเชื่อมเป็นหนึ่งเดียวกันเรียกว่าโมโนบล็อก (monoblocks) อีกทั้งเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมียังมีคุณสมบัติบ่มตัวได้สองแบบ คือ การบ่มตัวด้วยแสง (light-cure) และบ่มตัวด้วยตัวเองจากปฏิกิริยาเคมี (self-cure) เพื่อให้วัสดุสามารถบ่มตัวได้ในบริเวณที่แสงส่องไม่ถึง โดยเฉพาะการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันที่มีความลึกจึงเกิดความแนบสนิทที่ดี ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้เมื่อมีแรงกระทำจะเกิดการกระจายแรงที่สม่ำเสมอ ซึ่งช่วยส่งเสริมความแข็งแรงให้แก่เนื้อฟันที่เหลือได้ (reinforce residual tooth structure)⁽⁴⁹⁾

ในการศึกษานี้พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงกด (compressive strength) ของวัสดุไม่มีผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของรากฟัน ถึงแม้ว่าเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะมีค่าความต้านทานต่อแรงกดประมาณ 550 เมกะปาสกาล⁽⁵⁰⁾ สูงกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีที่มีค่า 268 เมกะปาสกาล⁽⁵¹⁾ และเนื้อฟันที่มีค่า 297 เมกะปาสกาล⁽⁵²⁾ แต่จากผลการศึกษา พบว่าทั้งสองวัสดุมีค่าความต้านทานการแตกหักของรากฟันไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากเมื่อให้แรงกดแก่รากฟัน จะเกิดการแตกหักที่บริเวณรอยร้าวซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีความอ่อนแอมากที่สุดก่อนที่จะเกิดการแตกในเนื้อวัสดุ

การใส่เดือยฟันจะต้องมีการกรอเตรียมพื้นที่ภายในคลองรากฟัน (post space preparation) ซึ่งทำให้สูญเสียเนื้อฟันเพิ่มขึ้นและอาจเพิ่มโอกาสการขยายขอบเขตต่อของรอยร้าว (crack propagation) หรือเกิดรอยร้าวใหม่ (crack initiation)⁽⁵³⁾ ส่งผลให้ความแข็งแรงของรากฟันลดลง⁽⁵⁴⁾ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้เลือกใช้เดือยฟันที่มีขนาดใกล้เคียงกับคลองรากฟันและใช้หัวกรอเตรียมพื้นที่สำหรับเดือยฟันที่มีขนาดเดียวกับเดือยฟันที่ใช้ จึงมีการสูญเสียเนื้อฟันค่อนข้างน้อย ปัจจัยนี้จึงอาจไม่มีผลต่อค่าความต้านทานการแตกหัก แต่การศึกษานี้ไม่ได้สังเกตและบันทึกผลการขยายขอบเขตของรอยร้าวและการเกิดรอยร้าวใหม่ในชิ้นงานหลังได้รับการกรอเตรียมพื้นที่สำหรับใส่เดือยฟัน จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าการขยายขอบเขตของรอยร้าวส่งผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของรากฟันหรือไม่

รูปแบบการแตกหักของรากฟันในกลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและกลุ่มเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยเป็นไปในลักษณะเดียวกันทุกชิ้นงาน คือมีรอยแตกมากกว่า 1 ตำแหน่ง ซึ่งพบที่ตำแหน่งเดียวกับรอยร้าวเดิมบริเวณด้านข้างรากฟัน

(proximal) ในทุกชั้นงาน อาจเนื่องมาจากรอยร้าวเป็นตำแหน่งที่มีความอ่อนแอมากที่สุด⁽⁵⁵⁾ ร่วมกับมีการแตกที่บริเวณด้านแก้มหรือด้านลิ้น โดยบริเวณนี้มักไม่พบการตกตะกอนภายในท่อ เนื้อฟันที่เรียกว่าเนื้อฟันสเกลอโรติก (sclerotic dentin) ซึ่งเนื้อฟันลักษณะนี้จะมีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อฟันปกติ โดยเนื้อฟันสเกลอโรติกมักพบที่บริเวณด้านใกล้กลางและไกลกลางของรากฟัน เมื่อสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะพบเนื้อฟันที่มีความโปร่งแสงแตกต่างกันลักษณะคล้ายปีกผีเสื้อ (butterfly effect)⁽⁵⁶⁾ Sodvadiya และคณะในปี 2021⁽⁵⁷⁾ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของเนื้อฟันสเกลอโรติกและการเกิดรอยร้าวเมื่อให้แรงกดลงบนรากฟันโดยตรงในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนฟัน ผลการทดสอบพบว่าเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ชั้นงานส่วนใหญ่มีเนื้อฟันสเกลอโรติกที่บริเวณด้านใกล้กลางและไกลกลาง อีกทั้งยังพบว่าเมื่อให้แรงแก่รากฟัน การแตกหักมักจะเกิดบริเวณเนื้อฟันด้านแก้มและด้านลิ้นที่ไม่มีเนื้อฟันสเกลอโรติกซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่า ส่วนในกลุ่มกัตตาเปอร์ชามีรูปแบบการแตกหักที่แตกต่างออกไป เนื่องจากเกิดการกระจายแรงจากหัวกดในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยกัตตาเปอร์ชาเป็นวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มเมื่อได้รับแรงกดวัสดุจะเกิดการยุบตัว ทำให้หัวกดแทรกเข้าไปในคลองรากฟันและสัมผัสกับผนังคลองรากฟันโดยตรง เกิดแรงในการแยกเนื้อฟันทำให้เนื้อฟันแตกออกจากกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากชั้นงานแล้วพบว่าหัวกดที่มีการสัมผัสบริเวณผนังใกล้กลางและไกลกลางก่อนจะทำให้เกิดรอยแตกบริเวณด้านแก้มและด้านลิ้น และหัวกดที่มีการสัมผัสบริเวณด้านแก้มและด้านลิ้นก่อนจะเกิดรอยแตกที่ตำแหน่งใกล้กลางและไกลกลาง โดยรอยแตกเหล่านี้ไม่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งรอยร้าวเดิม

ในการศึกษานี้เลือกใช้ฟันวัวซึ่งนิยมนำมาใช้ในงานวิจัยทางทันตกรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติหลายประการที่คล้ายฟันมนุษย์ เช่น ความแข็งผิว (hardness)⁽³⁸⁾ ความแข็งแรงยึดติดกับวัสดุทางทันตกรรม (bond strength)⁽³⁶⁾ และระดับความทึบรังสี (radiographic density)⁽³³⁾ รวมถึงมีกระบวนการสร้างฟัน⁽⁵⁸⁾ และมีองค์ประกอบภายในฟันที่คล้ายคลึงกัน Teruel และคณะในปี 2015⁽⁵⁹⁾ วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ (elemental analysis) ภายในฟันมนุษย์เปรียบเทียบกับฟันวัว สุกร และแกะ พบว่าฟันวัวมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่คล้ายคลึงกับฟันมนุษย์มากที่สุด และในการศึกษาของ Castanho และคณะในปี 2011⁽⁶⁰⁾ พบว่าฟันวัวมีการตกตะกอนของท่อเนื้อฟันเกิดเป็นเนื้อฟันสเกลอโรติกได้เช่นเดียวกับฟันมนุษย์

วิธีการให้แรงในการทดสอบความต้านทานการแตกหักของฟันมีความหลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการทดสอบ Linsuwanont และคณะในปี 2018⁽³⁹⁾ ทดสอบความต้านทานการแตกหักในฟันหน้าบนโดยให้แรงด้วยหัวกดรูปสี่เหลี่ยม (chisel-shaped tip) บริเวณเหนือ

ปุ่มพื้นด้านเพดาน (cingulum) ในทิศทาง 135° กับแนวแกนฟันเพื่อเป็นการจำลองทิศทางของแรงบดเคี้ยวที่มักพบในบริเวณฟันหน้าบน Coelho-de-Souza และคณะในปี 2010⁽⁶¹⁾ ทดสอบความต้านทานการแตกหักในฟันกรามน้อยที่ได้รับการบูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตโดยใช้หัวกดรูปทรงกลม (spherical tip) กดตั้งฉากกับแนวแกนฟัน หัวกดสัมผัสเฉพาะบริเวณปุ่มพื้นด้านแก้มและด้านลิ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางฟันเพื่อทดสอบความเค้นแบบดึง (tensile stress) บริเวณพื้นผิวยึดติดระหว่างฟันและวัสดุบูรณะ (adhesive surface)⁽⁶²⁾ ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความต้านทานการแตกหักของวัสดุบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันบริเวณรากฟันร้าวเท่านั้น จึงทดสอบโดยการกดรากฟันที่ตำแหน่งกึ่งกลางวัสดุบูรณะโดยให้แรงในแนวตั้ง (vertical forces) ซึ่งเป็นแรงที่มักพบในฟันหลัง⁽⁶³⁾ ดังเช่นการศึกษาของ Aboobaker และคณะในปี 2015⁽⁵⁾ ทดสอบค่าความต้านทานการแตกหักของรากฟันที่ได้รับการบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันด้วยวัสดุที่แตกต่างกันด้วยหัวกดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร กดตั้งฉากกับแนวแกนฟันด้วยความเร็วหัวกดคงที่ (static loading) 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วหัวกดที่นิยมใช้ในการทดสอบความต้านทานการแตกหักของรากฟัน^(6, 64) อย่างไรก็ตามการใช้ความเร็วหัวกดแบบคงที่อาจไม่สามารถจำลองสถานการณ์จริงทางคลินิกของการบดเคี้ยวที่มีลักษณะเป็นการให้แรงแบบต่อเนื่อง (cyclic loading)⁽⁶⁵⁾

นอกจากความแตกต่างในเรื่องของทิศทางการให้แรงแล้ว ในแต่ละการศึกษายังมีการออกแบบโมเดลที่แตกต่างกัน เช่น ความยาวรากฟันที่ใช้ ความสูงของรากฟันเหนือบล็อกลูก และวิธีการฝังรากฟันในบล็อก โดยในการศึกษานี้เลือกตัดรากฟันให้มีความยาว 12 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความยาวเฉลี่ยของของรากฟันกรามล่าง⁽⁶⁶⁾ กำหนดให้มีความสูงเหนือบล็อกลูก 2 มิลลิเมตร เพื่อเป็นการจำลองลักษณะให้เหมือนกับระดับกระดูกปกติในทางคลินิก⁽⁶⁴⁾ อีกทั้งยังได้มีการสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลอง โดยใช้วัสดุซิลิโคนชนิดไลต์บอดี้ซึ่งมีความอดุลย์ยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเอ็นยึดปริทันต์ธรรมชาติในฟันมนุษย์^(67, 68) เอ็นยึดปริทันต์นี้มีบทบาทสำคัญในการช่วยกระจายแรงให้มีความคล้ายคลึงกับในทางคลินิก

จากผลการการศึกษาและการอภิปรายผลการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า การบูรณะภายในรูเปิดคลองรากฟันในรากฟันร้าวที่ได้รับการรักษาคคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมีและเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย ช่วยส่งเสริมความต้านทานการแตกหักให้แก่รากฟันร้าวได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับการอุดด้วยกัตตาเปอร์ชาเพียงอย่างเดียว

ข้อเสนอแนะ

ด้วยข้อจำกัดของวิธีการสร้างรอยร้าว เพื่อให้เกิดรอยร้าวบริเวณรากฟันที่สามารถควบคุมจำนวนรอยร้าว ขอบเขต และความยาวของรอยร้าวได้ จึงไม่อาจจำลองสภาวะฟันร้าวที่เกิดขึ้นจริงในทางคลินิกได้ทั้งหมด ดังนั้นในการศึกษาต่อไปอาจมีการพัฒนาวิธีการจำลองรอยร้าวที่สามารถสร้างรอยร้าวได้ตั้งแต่บริเวณตัวฟันจนถึงรากฟันเพื่อให้คล้ายคลึงกับลักษณะฟันร้าวในทางคลินิกมากที่สุด นอกจากนี้อาจมีการสังเกตและบันทึกผลในเรื่องของการขยายขอบเขตต่อของรอยร้าวและการเกิดรอยร้าวขึ้นใหม่หลังได้รับการเตรียมคลองรากฟันและการกรอเตรียมพื้นที่สำหรับเดือยฟัน เนื่องจากอาจเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อค่าความต้านทานการแตกหักของรากฟัน



บรรณานุกรม

1. Rivera E, Walton R. Cracking the cracked tooth code: detection and treatment of various longitudinal tooth fractures. American Association Endodontists Colleagues for Excellence Newsletter. 2008;2:1-19.
2. Ricucci D, Siqueira Jr JF, Loghin S, Berman LH. The cracked tooth: histopathologic and histobacteriologic aspects. Journal of Endodontics. 2015;41(3):343-52.
3. Krell KV, Caplan DJ. 12-month success of cracked teeth treated with orthograde root canal treatment. Journal of Endodontics. 2018;44(4):543-8.
4. Davis MC, Shariff SS. Success and survival of endodontically treated cracked teeth with radicular extensions: a 2-to 4-year prospective cohort. Journal of Endodontics. 2019;45(7):848-55.
5. Aboobaker S, Nair BG, Gopal R, Jituri S, Veetil FRP. Effect of intra-orifice Barriers on the fracture resistance of endodontically treated teeth—an ex-vivo study. Journal of Clinical and Diagnostic Research. 2015;9(2):ZC17.
6. Nagas E, Uyanik O, Altundasar E, Durmaz V, Cehreli ZC, Vallittu PK, et al. Effect of different intraorifice barriers on the fracture resistance of roots obturated with Resilon or gutta-percha. Journal of Endodontics. 2010;36(6):1061-3.
7. Piyaporn Kusrisomsup NV, Amara Muangmingsuk, Pisol Senawongse Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with dual-cured resin composite within root canal at different depths. Mahidol Dental Journal. 2014;34.
8. Robbins JW. Restoration of the endodontically treated tooth. Dental Clinics of North America. 2002;46(2):367-84.
9. Dewi A, Yeh Y, Vinaikosol N, Lauwakul P. Management of cracked tooth with deep cracks and periodontal defect: A 1-year follow-up. Chiang Mai Dental Journal. 2020;41(2):175-86.
10. Hunter A, Feiglin B, Williams J. Effects of post placement on endodontically treated teeth. The Journal of Prosthetic Dentistry. 1989;62(2):166-72.
11. Çapar iD, Uysal B, Ok E, Arslan H. Effect of the size of the apical enlargement with

rotary instruments, single-cone filling, post space preparation with drills, fiber post removal, and root canal filling removal on apical crack initiation and propagation. *Journal of Endodontics*. 2015;41(2):253-6.

12. Khovidhunkit S-oP, Songmanee S. Prevalence of cracked tooth in a group of patients at the Faculty of Dentistry, Mahidol University. *Mahidol Dental Journal* 2014;34:234-42.

13. Liao W-C, Tsai Y-L, Chen K-L, Blicher B, Chang S-H, Yeung S-Y, et al. Cracked teeth: Distribution and survival at 6 months, 1 year and 2 years after treatment. *Journal of the Formosan Medical Association*. 2022;121(1):247-57.

14. Hiatt WH. Incomplete crown-root fracture in pulpal-periodontal disease. *Journal of Periodontology*. 1973;44(6):369-79.

15. Khovidhunkit S-oP, Songmanee S. Prevalence of cracked tooth in a group of patients at the Faculty of Dentistry, Mahidol University. *M Dent J*. 2014;34:234-42.

16. Makade CS, M, Ganesh K. Meshram, M, Manjusha Warhadpande, M, Pravinkumar G. Patil, MDS. A comparative evaluation of fracture resistance of endodontically treated teeth restored with different post core systems-an in-vitro study. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. 2011;8(3):90-5.

17. Drummond JL, Bapna MS. Static and cyclic loading of fiber-reinforced dental resin. *Dental Materials*. 2003;19(3):226-31.

18. Abbott P, Leow N. Predictable management of cracked teeth with reversible pulpitis. *Australian Dental Journal*. 2009;54(4):306-15.

19. Ray H, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *International Endodontic Journal*. 1995;28(1):12-8.

20. Khayat A, Lee S-J, Torabinejad M. Human saliva penetration of coronally unsealed obturated root canals. *Journal of Endodontics*. 1993;19(9):458-61.

21. Roghanizad N, Jones JJ. Evaluation of coronal microleakage after endodontic treatment. *Journal of Endodontics*. 1996;22(9):471-3.

22. Hansen SR, Montgomery S. Effect of restoration thickness on the sealing ability of

TERM. Journal of Endodontics. 1993;19(9):448-52.

23. Araújo LPd, da Rosa WLdO, de Araujo TS, Immich F, da Silva AF, Piva E. Effect of an Intraorifice Barrier on Endodontically Treated Teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. BioMed Research International. 2022;2022.

24. Irie M, Maruo Y, Nishigawa G, Yoshihara K, Matsumoto T. Flexural strength of resin core build-up materials: Correlation to root dentin shear bond strength and pull-out force. Polymers. 2020;12(12):2947.

25. Theodor Y, Koesmaningati H, Gita F, editors. Adhesive capability of total-etch, self-etch, and self-adhesive systems for fiber post cementation. Journal of Physics: Conference Series; 2017: IOP Publishing.

26. SUKSRIJAKRAWAL P, SUKSRIJAKRAWAL P, Paisankobrit V. THE EFFECT OF DUAL-CURED ACTIVATOR WITH UNIVERSAL ADHESIVE ON PUSH-OUT BOND STRENGTH OF DUAL-CURED CORE BUILD-UP AND FIBER POST: Srinakharinwirot University; 2022.

27. Dwianthany WS, Abdou A, Tichy A, Yonekura K, Ikeda M, Hosaka K, et al. Additive effects of touch-activated polymerization and extended irradiation time on bonding of light-activated adhesives to root canal dentin. The Journal of prosthetic dentistry. 2022;127(5):750-8.

28. Sorensen JA, Martinoff JT. Endodontically treated teeth as abutments. The Journal of Prosthetic Dentistry. 1985;53(5):631-6.

29. Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. The Journal of prosthetic dentistry. 1990;63(5):529-36.

30. Lloyd PM, Palik JF. The philosophies of dowel diameter preparation: a literature review. The Journal of Prosthetic Dentistry. 1993;69(1):32-6.

31. Ree M, Schwartz RS. The endo-restorative interface: current concepts. Dental Clinics. 2010;54(2):345-74.

32. Galhano GÁ, Valandro LF, De Melo RM, Scotti R, Bottino MA. Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts. Journal of Endodontics. 2005;31(3):209-11.

33. Tanaka JLO, Medici Filho E, Salgado JAP, Salgado MAC, Moraes LCd, Moraes MELd, et al. Comparative analysis of human and bovine teeth: radiographic density. *Brazilian Oral Research*. 2008;22:346-51.
34. Soares LES, Campos ADF, Martin AA. Human and bovine dentin composition and its hybridization mechanism assessed by FT-Raman spectroscopy. *Journal of Spectroscopy*. 2013;2013.
35. Arango-Santander S, Montoya C, Pelaez-Vargas A, Ossa EA. Chemical, structural and mechanical characterization of bovine enamel. *Archives of Oral Biology*. 2020;109:104573.
36. Soares F, Follak A, Da Rosa L, Montagner A, Lenzi T, Rocha R. Bovine tooth is a substitute for human tooth on bond strength studies: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Dental Materials*. 2016;32(11):1385-93.
37. Sten S. Bovine teeth in age assessment, from medieval cattle to Belgian blue: methodology, possibilities and limitations: Institutionen för arkeologi och antikens kultur; 2004.
38. Fonseca R, Haiter-Neto F, Carlo H, Soares C, Sinhoreti M, Puppini-Rontani R, et al. Radiodensity and hardness of enamel and dentin of human and bovine teeth, varying bovine teeth age. *Archives of Oral Biology*. 2008;53(11):1023-9.
39. Linsuwanont P, Kulvitit S, Santiwong B. Reinforcement of simulated immature permanent teeth after mineral trioxide aggregate apexification. *Journal of Endodontics*. 2018;44(1):163-7.
40. Adanir N, Kaya BU, Kececi AD. Fracture resistance of roots restored with four different fiber-reinforced composite posts. *Medical Principles and Practice*. 2015;24(6):538-43.
41. Araújo LPd, da Rosa WLdO, de Araujo TS, Immich F, da Silva AF, Piva E. Effect of an Intraorifice Barrier on Endodontically Treated Teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. *BioMed Research International*. 2022;2022(1):2789073.
42. Yavari HR, Samiei M, Shahi S, Aghazadeh M, Jafari F, Abdolrahimi M, et al. Microleakage comparison of four dental materials as intra-orifice barriers in endodontically

treated teeth. Iranian endodontic journal. 2012;7(1):25.

43. Pest LB, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. Dental Materials. 2002;18(8):596-602.
44. Jang J-H, Park S-J, Min K-S, Lee B-N, Chang H-S, Oh W-M, et al. Stress behavior of cemented fiber-reinforced composite and titanium posts in the upper central incisor according to the post length: Two-dimensional finite element analysis. Journal of Dental Sciences. 2012;7(4):384-9.
45. Jain A, Shah NC, Kumar M, Ishwar S, Purkayastha DD, Mishra D, et al. Stress distribution pattern in two different no-post systems in endodontically treated maxillary central incisors: A three-dimensional finite element analysis. Journal of Conservative Dentistry and Endodontics. 2024;27(6):572-6.
46. Yoon HG, Oh HK, Lee D-Y, Shin J-H. 3-D finite element analysis of the effects of post location and loading location on stress distribution in root canals of the mandibular 1st molar. Journal of Applied Oral Science. 2018;26:e20160406.
47. Boonrawd N, Rungsiyakull P, Rungsiyakull C, Louwakul P. Effects of composite resin core level and periodontal pocket depth on crack propagation in endodontically treated teeth: An extended finite element method study. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2022;128(2):195. e1-. e7.
48. Miguez P, Pereira P, Atsawasuan P, Yamauchi M. Collagen cross-linking and ultimate tensile strength in dentin. Journal of dental research. 2004;83(10):807-10.
49. Belli S, Eraslan O, Eskitascioglu G, Karbhari V. Monoblocks in root canals: a finite elemental stress analysis study. International endodontic journal. 2011;44(9):817-26.
50. Chieruzzi M, Pagano S, Pennacchi M, Lombardo G, D'Errico P, Kenny JM. Compressive and flexural behaviour of fibre reinforced endodontic posts. Journal of dentistry. 2012;40(11):968-78.
51. Rüttermann S, Alberts I, Raab WH, Janda RR. Physical properties of self-, dual-, and light-cured direct core materials. Clinical oral investigations. 2011;15:597-603.
52. Milewski G. Numerical and experimental analysis of effort of human tooth hard

tissues in terms of proper occlusal loadings. *Acta of bioengineering and biomechanics*. 2005;7(1):47.

53. Zuli TAB, Guedes OA, Gonçalves GFZA, da Silva Júnior AR, Borges ÁH, Aranha AMF. Effect of post space preparation drills on the incidence of root dentin defects. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 2020;45(4).

54. Bhagat A, Mittal L, Mogla S, Kaur T, Dheeraj M, Marwah G. Impact of Root Dentin Thickness on the in vitro Compressive Strength of Teeth treated with Recent Post and Core Systems. *The journal of contemporary dental practice*. 2017;18(11):1065-70.

55. Kishen A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. *Endodontic topics*. 2006;13(1):57-83.

56. Lin GSS, Ghani NRNA, Noorani TY. The existence of butterfly effect and its impact on the dentinal microhardness and crack formation after root canal instrumentation. *Odontology*. 2021;109:672-8.

57. Sodvadiya UB, Bhat GS, Shetty A, Hegde MN, Shetty P. The “Butterfly Effect” and Its Correlation to the Direction of the Fracture Line in Root Dentin. *Journal of Endodontics*. 2021;47(5):787-92.

58. Brown WB, Christofferson P, Massler M, Weiss M. Postnatal tooth development in cattle. *American journal of veterinary research*. 1960;21:7-34.

59. de Dios Teruel J, Alcolea A, Hernández A, Ruiz AJO. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Archives of oral biology*. 2015;60(5):768-75.

60. Castanho GM, Marques MM, Marques JB, Camargo MA, Cara AAD. Micromorphological and hardness analyses of human and bovine sclerotic dentin: a comparative study. *Brazilian Oral Research*. 2011;25:274-9.

61. Coelho-de-Souza FH, Rocha AdC, Rubini A, Klein-Júnior CA, Demarco FF. Influence of adhesive system and bevel preparation on fracture strength of teeth restored with composite resin. *Brazilian dental journal*. 2010;21:327-31.

62. Silva GRd, Silva NRd, Soares PV, Costa AR, Fernandes-Neto AJ, Soares CJ. Influence of different load application devices on fracture resistance of restored premolars.

Brazilian dental journal. 2012;23:484-9.

63. Soliman P, Roshdy N, Fouda M. Assessment of fracture resistance in teeth with simulated perforating internal root resorption cavities repaired with biodentine, retro MTA and portland cement (A comparative in vitro study). Acta Scientific Dental Sciences. 2021;5(8):85-92.

64. Yasa E, Arslan H, Yasa B, Akcay M, Alsancak M, Hatirli H. The force required to fracture endodontically roots restored with various materials as intra-orifice barriers. Nigerian journal of clinical practice. 2017;20(10):1237-41.

65. Ordinola-Zapata R, Fok A. Research that matters: debunking the myth of the “fracture resistance” of root filled teeth. 2021. p. 297-300.

66. Al-Rammahi HM, Chai WL, Nabhan MS, Ahmed HM. Root and canal anatomy of mandibular first molars using micro-computed tomography: a systematic review. BMC Oral Health. 2023;23(1):339.

67. Jamani K, Harrington E, Wilson H. Rigidity of elastomeric impression materials. Journal of oral rehabilitation. 1989;16(3):241-8.

68. Wang S-J, Wang S-Y. In vivo measurement of the elastic modulus of the human periodontal ligament. Medical Engineering & Physics. 2003;25(2):163-.



ตาราง 1 บันทึกค่าความต้านทานการแตกหัก

กลุ่ม	ชิ้นงาน	ค่าแรง (นิวตัน)
กลุ่มกัฏตาเปอร์ซ่า	1	150.925
	2	165.875
	3	166.050
	4	202.275
	5	209.675
	6	217.800
	7	221.250
	8	225.575
	9	240.575
	10	271.650
	ค่าเฉลี่ย	207.165
กลุ่มเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัว ด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมี	1	590.925
	2	629.500
	3	638.000
	4	656.500
	5	675.000
	6	685.400
	7	722.500
	8	725.000
	9	732.000
	10	748.250
	ค่าเฉลี่ย	680.308
กลุ่มเดือยฟันคอมโพสิต เสริมเส้นใย	1	638.750
	2	629.750
	3	640.500
	4	677.500

กลุ่มเดือยพันคอมโพสิต เสริมเส้นใย	5	698.750
	6	727.000
	7	748.750
	8	789.250
	9	794.250
	10	833.025
	ค่าเฉลี่ย	717.753

ตาราง 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยสถิติทูกี เอสเอสดี

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
กัฒตาเปอร้ชา	เรชินคอมโพสิต	-473.1425*	24.913750	<.001	-534.91409	-411.37091
	เดือยพันคอมโพ สิตเสริมเส้นใย	-510.5875*	24.913750	<.001	-572.35909	-448.81591
เรชินคอมโพสิต	กัฒตาเปอร้ชา	-473.1425*	24.913750	<.001	411.37091	534.91409
	เดือยพันคอมโพ สิตเสริมเส้นใย	-37.445	24.913750	.305	-99.21659	24.32659
เดือยพันคอมโพ สิตเสริมเส้นใย	กัฒตาเปอร้ชา	-510.5875*	24.913750	<.001	448.81591	527.35909
	เรชินคอมโพสิต	-37.445	24.913750	.305	-24.32659	99.21659

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุวพันธ์์ สิ้นส่งสุข
วัน เดือน ปี เกิด	21 กรกฎาคม 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพ
วุฒิการศึกษา	ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมคลินิก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 110/70 ซอยกาญจนาภิเษก005 เขตบางแค แขวงหลักสอง กรุงเทพ รหัสไปรษณีย์ 10160

