

ความต้านทานการแตกหักของฟันจำลองสภาวะปลายรากฟันเปิด เมื่อได้รับการเสริม
ความแข็งแรงด้วยเดือยเสมือนรากฟัน

**FRACTURE RESISTANCE OF SIMULATED IMMATURE PERMANENT TEETH WITH
ANATOMIC POST**

กฤติกา เจริญวุฒิลาภ^{1*}, สุวิทย์ วิมลจิตต์², จารума ศักดิ์ดี²

Krittika Chareonwutilap^{1*}, Suwit Wimonchit², Jaruma Sakdee²

¹คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

¹Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University.

²ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University.

*Corresponding author, e-mail: nikingpenguin@gmail.com

Received: 8 June 2022; **Revised:** 10 January 2023; **Accepted:** 10 March 2023

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ : เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการแตกหักของฟันจำลองสภาวะปลายรากฟันเปิดที่ได้รับการ
การสร้างแนวกันปิดปลายรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอแล้วบูรณะด้วยเดือยเสมือนรากฟันกับการอุดตลอดคลองราก
ฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอร่วมกับบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต วัสดุและวิธีการ : ใช้ฟันกรามน้อยล่างของมนุษย์ที่ถูก
ถอน 30 ซี่ กรอเตรียมให้เป็นฟันจำลองสภาวะปลายรากฟันเปิด แบ่งฟันเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ กลุ่มที่ 1 ไม่ได้
รับการอุดภายในคลองรากฟัน กลุ่มที่ 2 ทำการสร้างแนวกันปิดปลายรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอหนา 3 มิลลิเมตร
ร่วมกับเดือยเสมือนรากฟัน และกลุ่มที่ 3 ทำการอุดตลอดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอและบูรณะด้วยเรซินคอม
โพสิต ให้แรงกดซึ่งเป็นแรงคงที่ทำมุม 30 องศากับแนวแกนฟันบนตัวฟันจนเกิดการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบแรง
สากล บันทึกค่าแรงมากที่สุดซึ่งทำให้ฟันแตกหักในหน่วยนิวตัน และวิเคราะห์ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน
ทางเดียวร่วมกับทดสอบโพสท์ฮอคด้วยวิธีของตุ๊กิ ผลการศึกษา : การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแรงกดที่ทำให้ฟัน
เกิดการแตกหักทางสถิติแสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่ม จากการทดสอบโพสท์ฮอคพบว่า กลุ่มที่ 1 (721.43 ± 95.80 นิวตัน) มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 ($1,115.01 \pm 101.50$ นิวตัน) และกลุ่มที่ 3 ($1,071.04 \pm 124.97$ นิวตัน)
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การแตกหักของฟันที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับ 1/3 ทางด้านคอฟัน โดยอยู่ในลักษณะ
เฉียงจากตัวฟันไปสู่รากฟัน สรุป : การเสริมความแข็งแรงของฟันปลายรากเปิดด้วยการใช้เดือยเสมือนรากฟัน

หรือการอุดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอ็มที่มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน โดยการแตกหักพบที่ระดับตัวฟัน และระดับ 1/3 ทางด้านคอฟัน

คำสำคัญ: การเสริมความแข็งแรงให้กับฟัน; ความต้านทานการแตกหัก; ฟันที่มีการสร้างรากฟันไม่สมบูรณ์; เดือยเสมือนรากฟัน; โปรรูทเอ็มทีเอ็ม

Abstract

Objective: To compare the fracture resistance of simulated human immature teeth that had ProRoot[®] MTA as apical barriers and then restored with an anatomic post and filled in the entire root canal with ProRoot[®] MTA, then restored with composite resin. Materials and methods: Thirty extracted human mandibular premolars were prepared to be artificial immature teeth. They were randomly divided into three groups, 10 teeth each by the stratification size of the tooth. Group I – no root canal filling, Group II - 3 millimeters apical plug of ProRoot[®] MTA and anatomic post and Group III – entire root canal filled with ProRoot[®] MTA and composite restoration. The sample was subjected to static compression loads, 30 degrees to their long axis, until fractured under a Universal Testing Machine. The maximum force to fracture was recorded in Newtons and analyzed by One-Way ANOVA and Tukey's Honestly Significance Difference (HSD). Results: From the statistical analysis, the mean load to fracture was found to be different at a statistically significant level among the groups. Following the Post-hoc test showed that the load in Group I (721.43 ± 95.80 newtons) were statistically lower than Group II (1,115.01 ± 101.50 newtons) and Group III (1,071.04 ± 124.97 newtons). One-third of the cervical were shown in the major fracture point which were presented in an oblique fashion from crown through root direction. Conclusions: Reinforcement of immature teeth with anatomic post or entire root canal filling with ProRoot[®] MTA effectively increased fracture resistance with no differences. The common fracture level was found at the crown and one-third cervical of the root levels.

Keywords: Reinforcement; Fracture Resistance; Immature Teeth; Anatomic Post; ProRoot[®] MTA

บทนำ

เมื่อฟันถูกรบกวนจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ในช่วงระยะการสร้างรากฟัน ทั้งเกิดการติดเชื้อ หรือได้รับอุบัติเหตุ ล้วนทำให้มีการสร้างรากฟันไม่สมบูรณ์ (Immature permanent teeth) มีลักษณะรูเปิดปลายรากฟันกว้าง และมีเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟัน (Dentinal wall) บาง โครงสร้างของฟันมีความอ่อนแอ และอาจเกิดการแตกหักได้จากแรงขนาดเล็ก ไม่ว่าจะแรงจากการบดเคี้ยวหรือการบาดเจ็บเล็กน้อย [1, 2] ฟันที่มีการสร้างรากฟันไม่สมบูรณ์มีโอกาสเกิดการแตกหักสูงถึงร้อยละ 61 และการแตกหักส่วนใหญ่พบที่ตำแหน่งคอฟัน (Cervical area) โดยพบการแตกหักมากขึ้นในฟันที่อยู่ในระยะการพัฒนาของรากฟันน้อยกว่า [2] จึงมีการค้นหาวิธีการบูรณะฟัน

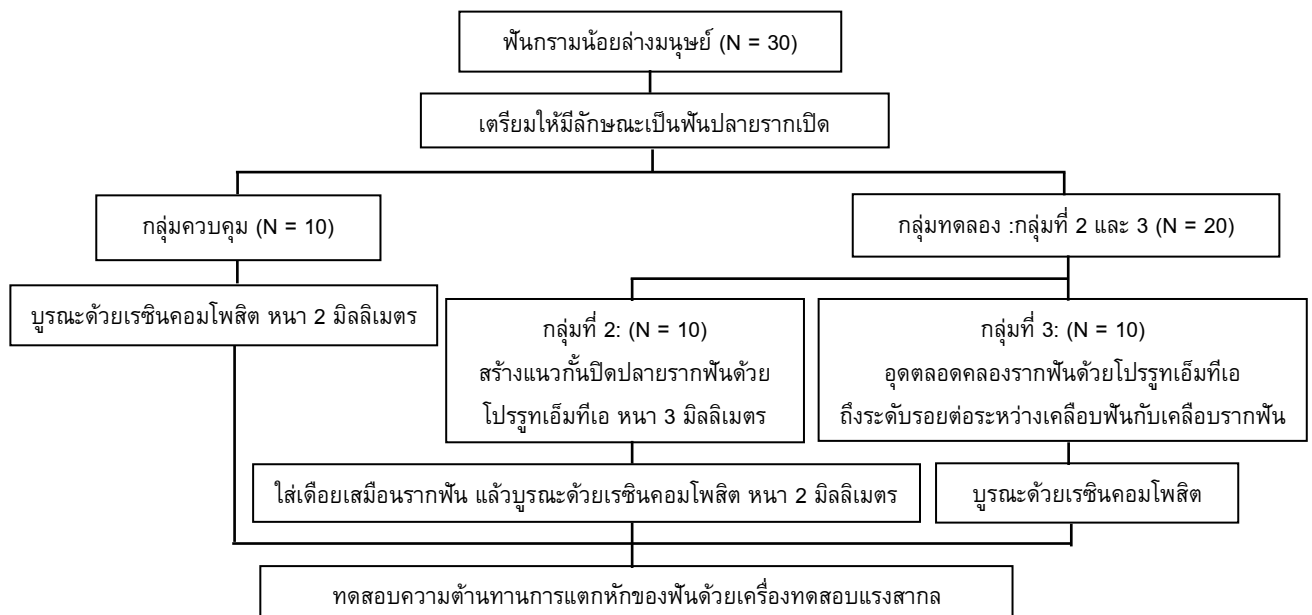
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการแตกหักของฟันจำลองสภาวะปลายรากฟันเปิดที่ได้รับการสร้างแนวกันปิดปลายรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอแล้วบูรณะด้วยเดือยเสมือนรากฟันกับการอุดตลอดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอร่วมกับเรซินคอมโพสิต

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (SWUEC-G-279/2564X) ใช้ฟันกรามน้อยล่างของมนุษย์ที่ถูกถอน และเก็บในสารละลาย 0.1 % ไธมอล (0.1% Thymol solution) คัดเลือกฟันที่มี 1 รากฟันและ 1 คลองรากฟัน จำนวน 30 ซี่ โดยเป็นฟันที่ไม่มีรอยผุ ไม่มีรอยร้าวหรือรอยแตก ไม่เคยผ่านการรักษาหรือการบูรณะใดมาก่อน อีกทั้งไม่พบลักษณะการละลายของรากฟันภายในและภายนอก ฟันที่ถูกคัดเลือกเข้าสู่การศึกษามีขนาดของฟันเมื่อวัดด้วยเครื่องมือวัดเวอร์เนียร์ดิจิตัล (Digital vernier caliper: Mitutoyo, Japan) ในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น และแนวใกล้กลางใกล้กลางที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (Cementoenamel junction: CEJ) แตกต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร เมื่อถ่ายภาพรังสีของฟันในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น และแนวใกล้กลางใกล้กลาง มีคลองรากฟันที่ส่วน 1/3 ระดับตัวฟัน (Coronal 1/3) และ 1/3 ระดับกึ่งกลางของรากฟัน (Middle 1/3) ที่มีรูปร่างตรง

เตรียมฟันให้มีความยาวส่วนรากฟัน 9 มิลลิเมตร เมื่อวัดจากรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟันถึงปลายรากฟัน [7] กรอเตรียมตลอดคลองรากฟันจนทะลุออกนอกปลายรากฟัน 1 มิลลิเมตร ด้วยหัวกรอพีโซริ่มเมอร์ ขนาด 1-6 (Mani Inc., Tochigi, Japan) คลองรากฟันที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 มิลลิเมตร เพื่อจำลองสภาวะปลายรากฟันเปิดระยะที่ 3 ตามการจำแนกของ Cvek ขั้นตอนนี้จะล้างคลองรากฟันด้วย 2.5% โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 3 มิลลิลิตร, 17% Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) 2 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ 3 มิลลิลิตร ถ่ายภาพรังสีในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น และแนวใกล้กลางใกล้กลาง เพื่อดูลักษณะคลองรากฟัน แล้วสุ่มแบ่งฟันโดยเรียงตามขนาดของฟันเป็น 3 กลุ่ม ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังแสดงกระบวนการทดลอง

กลุ่มที่ 1 เป็นฟันที่ไม่ได้รับการบูรณะภายในคลองรากฟัน ซึ่งจะได้รับการบูรณะฟันที่ด้านบดเคี้ยวด้วยเรซินคอมโพสิต (Filtek Z350XT® shade A3.5, 3M ESPE, Minnesota, USA) หนา 2 มิลลิเมตร โดยมีการทำหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ลึก 1 มิลลิเมตร ด้วยการใช้แท่งหัวกดซึ่งจะใช้ในการทดสอบความต้านทานการแตกหักกดลงที่ตำแหน่งกึ่งกลางของวัสดุเรซินคอมโพสิต เพื่อเป็นตำแหน่งสำหรับการให้แรงกดในการทดสอบต่อไป

กลุ่มที่ 2 และ 3 ได้รับการสร้างแนวกันปิดปลายรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอ (ProRoot® MTA, Densply Tulsa dental, Tulsa OK, USA) โดยกลุ่มที่ 2 มีความหนา 3 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ 3 ได้รับการอุดเอ็มทีเอจากปลาย-รากฟันขึ้นมาถึงระดับรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน ใช้อัตราส่วนผสมเอ็มทีเอต่อน้ำกลั่น 3:1.5 ซึ่งตวงน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักสารเคมีแบบดิจิทัล กดวัสดุให้แนบกับผนังคลองรากฟันด้วยเอ็นโดดอนติกพลักเกอร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยอัลตราโซนิคส์ (P5 Newtron XS™, Satelec®, Acteon, North America) ความแรงระดับ 4 [13] ที่ส่วนปลายรากฟันสัมผัสกับแผ่นแก้ว (Glass slab) เพื่อป้องกันวัสดุอุดเกินออกนอกปลายรากฟัน ตรวจสอบการบูรณะด้วยภาพรังสี แล้วใส่แท่งกระดาษซับและสำลีก้อนเล็กชุบน้ำกลั่นปราศจากเชื้อภายในคลองรากฟันของกลุ่มที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นบูรณะด้วยวัสดุอุดฟันชั่วคราว Cavit™ (3M ESPE, Germany) เก็บฟันที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)

กลุ่มที่ 2 ใช้เดือยฟัน D.T. light post® (Bisco Inc., Schaumburg, IL USA) ขนาด 2 ที่ถูกเซตด้วยผ้าก๊อชชุบ 70% แอลกอฮอล์ ใส่ในคลองรากฟันถึงตำแหน่งของวัสดุเอ็มทีเอ ทาสารหล่อลื่นกิลีเซอร์ริน (KY gel Durex®, Thailand) ที่ผนังคลองรากฟัน และทาสารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้นร้อยละ 35 (Scotchbond™ Etchant, 3M ESPE, Minnesota, USA) บนผิวเดือยฟัน 15 วินาที ล้างน้ำเปล่า 5 วินาที เป่าให้แห้ง แล้วทาสารคูควบไซเลนโมโน-บอนด์ เอ็น (Monobond N®, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein, German) บนผิวเดือยฟันทิ้งไว้ 60 วินาที เป่าลม แล้วทาสารยึดติดซิงเกิลบอนด์ยูนิเวอร์ซอล (3M™ Single Bond Universal Adhesive, 3M ESPE, Minnesota, USA) ทับผิวเดือยฟัน 20 วินาที เป่าลม 5 วินาที และฉายแสง 10 วินาที แล้วใช้เรซินคอมโพสิตแต่งรอบเดือยฟันตั้งแต่ส่วนปลายเดือยฟันขึ้นมาจนถึงระดับต่ำกว่าปุ่มฟันด้านลิ้น 2 มิลลิเมตร ใส่เดือยฟันลงในคลองรากฟัน ดึงเดือยฟันเข้าออก 2 ครั้ง ฉายแสงจากด้านบดเคี้ยว 5 วินาที ใส่เดือยฟันกลับเข้าในตำแหน่งเดิมได้ จากนั้นจับดึงเดือยฟันออกจากคลองรากฟันโดยใช้เข็มจับเข็ม (Needle holder) แล้วฉายแสงนอกฟันต่ออีก 40 วินาที เดือยเสมือนรากฟันควรลอกเลียนรายละเอียดช่องว่างของคลองรากฟันได้อย่างถูกต้องและไม่มีฟองอากาศ กรอขัดแต่งผิวเดือยฟัน เซตรอบเดือยฟันด้วยผ้าก๊อชชุบน้ำกลั่น และล้างคลองรากฟันด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ 3 มิลลิเมตร ซับคลองรากฟันให้แห้ง

เตรียมคลองรากฟันโดยทาสารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้นร้อยละ 35 ที่ผนังคลองรากฟัน 15 วินาที ล้างน้ำเปล่า 5 วินาที เป่าแห้ง แล้วทาสารยึดติดเอ็กไซต์ เอฟ ดีเอสซี (Excite F DSC®, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein, German) เคลือบที่ผนังคลองรากฟัน และเดือยเสมือนรากฟัน 10 วินาที เป่าลมเบา ๆ แล้วเคลือบเดือยเสมือนรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวสองทางมัลติคอร์ โพลว์ (Multicore® Flow, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein, German) และฉีดเรซินคอมโพสิตมัลติคอร์ โพลว์ที่ผสมแล้วใส่ในคลองรากฟัน ยึดเดือยเสมือนรากฟันในคลองรากฟัน ฉายแสงจากด้านบดเคี้ยว 20 วินาที โดยจับยึดเดือยเสมือนรากฟันให้อยู่ในตำแหน่งในคลองรากฟันไปด้วย [5, 14] กรอตัดเดือยเสมือนรากฟันและกรอเป็นโพรงฟันลึก 2 มิลลิเมตร จากขอบของโพรงฟันทางด้านลิ้น แล้วบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตตามขั้นตอนเดียวกับกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 3 โปรรูทเอ็มทีเอ (ProRoot® MTA): เปลี่ยนวัสดุอุดฟันชั่วคราวเป็นวัสดุเรซินคอมโพสิต โดยความหนาของเรซินคอมโพสิตแต่ละชั้นไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ฉายแสงเป็นเวลา 40 นาทีต่อชั้น และทำตำแหน่งที่จุดกึ่งกลางของเรซินคอมโพสิตเช่นเดียวกับกลุ่มที่ 1

ถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบคุณภาพของการบูรณะฟันของทั้ง 3 กลุ่ม เก็บฟันไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 100% ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ จนถึงระยะเวลาทดสอบการแตกหัก

การทดสอบความต้านทานการแตกหักของฟัน

สร้างอวัยวะปริทันต์จำลองโดยจุ่มรากฟันในซีเมนต์ที่ถูกหลอมเหลวให้มีความหนาของซีเมนต์ประมาณ 0.2 – 0.3 มิลลิเมตร นำฟันไปใส่ลงในแหวนพอลิไวนิลคลอไรด์ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 15 มิลลิเมตร โดยฝังอยู่ในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเอง (Self – cured acrylic resin) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างเรซินอะคริลิกกับรอยต่อระหว่างเคลือบรากฟันกับเคลือบฟัน 2 มิลลิเมตร เพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่างฟันและสันกระดูก (Crest bone) นำฟันออกในขณะที่เรซินอะคริลิกกำลังอุ่นร้อน เช็ดซีเมนต์ออกจากผิวรากฟัน และหลุมเบ้าฟันในบล็อกระซินอะคริลิก แล้วแทนที่ด้วยวัสดุพิมพ์ปากซิลิโคนชนิดไลท์บอดี้ (Silagum® light, DMG, Germany) นำฟันใส่กลับเข้าตำแหน่ง แล้วนำชิ้นงานไปถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบแนวฟันในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้นและแนวใกล้กลางใกล้กลาง

ทดสอบการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบแรงสากล (Universal testing machine: EZTest, Shimadzu, Kyoto, Japan) ด้วยการให้แรงคงที่ทำมุม 30 องศา กับแนวแกนฟันบริเวณกึ่งกลางของฟันด้านบดเคี้ยวที่ทำตำแหน่งไว้ [15] โดยใช้แท่งหัวกดที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วคงที่ 1 มิลลิเมตร ต่อนาทีจนเกิดการแตกหัก [16] บันทึกค่าแรงที่ทำให้ฟันแตกหักในหน่วยนิวตัน และบันทึกตำแหน่งที่ฟันเกิดการแตกหัก

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของขนาดฟันด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว วิเคราะห์ความต้านทานการแตกหักของฟันโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าแรงกดที่ทำให้ฟันเกิดการแตกหัก ที่ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยการทดสอบซาไฟโร-วิลค์ และทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนภายในกลุ่มด้วยการทดสอบของเลวิน แล้วเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงกดระหว่างกลุ่มด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ร่วมกับทดสอบโพสฮอคด้วยวิธีของตุกี ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistics 21; SPSS Inc., IL, USA) ซึ่งกำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P < 0.05$ เปรียบเทียบตำแหน่งที่เกิดการแตกหักของฟันด้วยสถิติเชิงพรรณนา

ผลการวิจัย

ขนาดเฉลี่ยของฟันในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้นและแนวใกล้กลางใกล้กลางของทั้งสามกลุ่มมีขนาดแตกต่างกันน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร และมีขนาดของฟันที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดฟัน (มิลลิเมตร) ที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		ช่วงของค่าความเชื่อมั่นที่ระดับ 95%	
	BL	MD	BL	MD
กลุ่มควบคุม	7.12 ± 0.82	5.22 ± 0.48	6.53 – 7.71	4.88 – 5.57
เดือยเสมือนรากฟัน	7.44 ± 0.41	5.26 ± 0.36	7.14 – 7.74	5.00 – 5.52
โปรรูทเอ็มทีเอ	7.28 ± 0.51	5.09 ± 0.56	6.92 – 7.64	4.69 – 5.50
P - value	0.508	0.723		

BL = แนวใกล้ลิ้นใกล้แก้ม, MD = แนวใกล้กลางใกล้กลาง

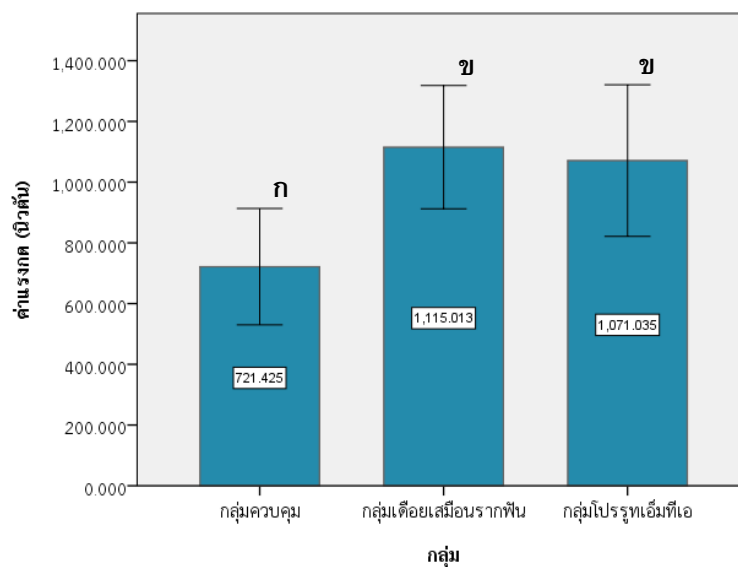
การทดสอบความต้านทานการแตกหักของฟัน

ค่าแรงกดที่ทำให้ฟันแตกหักของทุกกลุ่มมีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ และมีความแปรปรวนเท่ากัน เมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวร่วมกับการทดสอบโพสฮอคด้วยวิธีของตุ๊กิ พบว่าความต้านทานการแตกหักของฟันในกลุ่มควบคุมต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับการบูรณะภายในคลองรากฟันด้วยเดือยเสมือนรากฟันและกลุ่มที่ได้รับการอุดตลอดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอร่วมกับเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยของแรงกดที่ทำให้ฟันแตกหักของกลุ่มที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยเสมือนรากฟันและกลุ่มที่ได้รับการอุดตลอดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 2

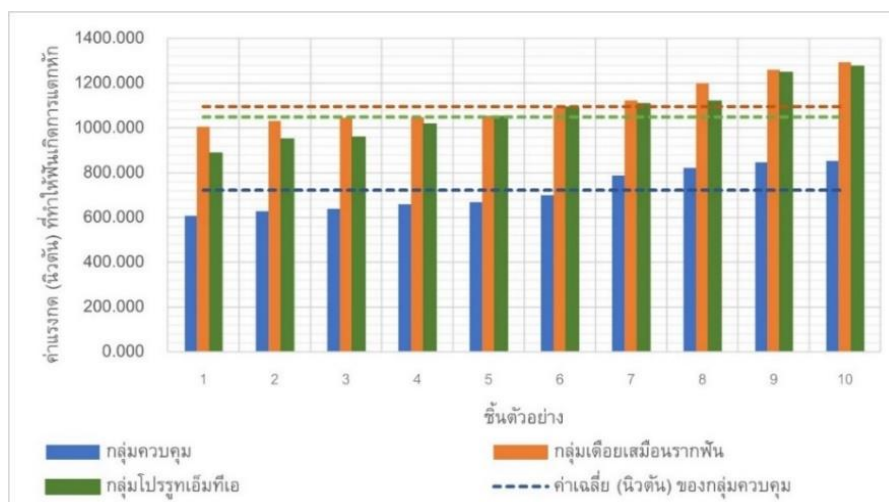
ตารางที่ 2 ค่าแรงกด (นิวตัน) ที่ทำให้ฟันจำลองสภาวะปลายรากฟันเปิดเกิดการแตกหัก

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นิวตัน)	ค่าต่ำสุด (นิวตัน)	ค่าสูงสุด (นิวตัน)
ควบคุม	721.43 ± 95.80 ^ก	608.00	853.50
เดือยเสมือนรากฟัน	1,115.01 ± 101.50 ^ข	1,005.25	1,293.50
โปรรูทเอ็มทีเอ	1,071.04 ± 124.97 ^ข	887.75	1,274.75

อักษรภาษาไทยด้วยยกที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ร่วมกับการทดสอบโพสฮอคด้วยวิธีของตุ๊กิ



ภาพที่ 2 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงกด (นิวตัน) ที่ทำให้ฟันเกิดการแตกหัก อักษรภาษาไทยที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 3 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าแรงกด (นิวตัน) ที่ทำให้พื้นเกิดการแตกหัก ของแต่ละชั้นตัวอย่าง

ผลการทดสอบความต้านทานการแตกหักของกลุ่มที่ได้รับการบูรณะภายในคลองรากฟันด้วยเดือยเสมือน-รากฟันมีบางชั้นตัวอย่างซึ่งใช้แรงกดจนเกิดการแตกหักมากกว่ากลุ่มที่ได้รับการอุดตลอดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอร่วมกับเรซินคอมโพสิต ดังภาพที่ 3

การศึกษารูปแบบการแตกหักของฟัน

การแตกหักส่วนใหญ่เกิดที่ระดับ 1/3 ทางด้านคอฟันของรากฟัน ดังตารางที่ 3 การแตกหักส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ระดับต่ำกว่าระดับรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน 2 มิลลิเมตร ในลักษณะเฉียงจากตัวฟันไปสู่รากฟัน ดังภาพที่ 4 กลุ่มควบคุมพบการแตกหักที่ระดับรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน 1 ซี่, ระดับต่ำกว่ารอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน 1 และ 2 มิลลิเมตร จำนวน 1 และ 8 ซี่ ตามลำดับ กลุ่มเดือยเสมือนรากฟันพบการแตกหักที่ระดับตัวฟัน 1 ซี่, การแตกหักที่ระดับต่ำกว่ารอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน 2 และ 3 มิลลิเมตร จำนวน 7 และ 2 ซี่ ตามลำดับ ส่วนกลุ่มโปรรูทเอ็มทีเอ พบการแตกหักที่ระดับตัวฟัน 1 ซี่ และเกิดการแตกหักที่ระดับต่ำกว่ารอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน 2 มิลลิเมตร จำนวน 9 ซี่

ตารางที่ 3 ตารางแจกแจงความถี่แสดงร้อยละของลักษณะการแตกหักที่เกิดขึ้น

กลุ่ม	ระดับของการแตกหัก		รวม
	ระดับตัวฟัน	ระดับ 1/3 ทางด้านคอฟันของรากฟัน	
ควบคุม	0	10	10
เดือยเสมือนรากฟัน	1	9	10
โปรรูทเอ็มทีเอ	1	9	10
รวม	2 (6.67%)	28 (93.33 %)	30 (100 %)



ภาพที่ 4 การแตกหักซึ่งเกิดที่ระดับระดับต่ำกว่าระดับรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน 2 มิลลิเมตร
ก. ภาพชิ้นงานหลังการทดสอบในบลิออคอะคริลิกเรซิน ข. ฟันซึ่งเกิดการแตกหักหลังการทดสอบ

สรุปและอภิปรายผล

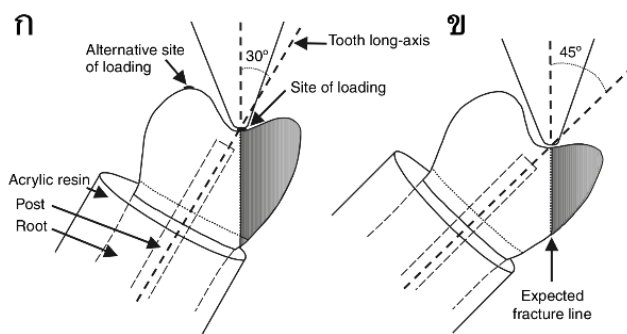
การอภิปรายผลการวิจัย

ฟันกรามน้อยล่างเป็นฟันที่มีอุบัติการณ์พบลักษณะเป็นเดนส์อีแวกินาทัส (Dens evaginatus) ได้ร้อยละ 2.35 – 4.08 การแตกหักหรือสึกของปุ่มนูนมีโอกาสทำให้น้ำเยื่อในตาย หากเกิดในระยะที่ฟันยังมีการเจริญของราก-ฟันไม่สมบูรณ์จะทำให้รากฟันหยุดการพัฒนาและมีลักษณะเป็นฟันแท่งปลายรากเปิด [17-19]

การศึกษานี้ได้จำลองให้ฟันมีสภาวะปลายรากฟันเปิดระยะที่ 3 ตามการจำแนกของ Cvek [2] อันเป็นระยะซึ่งเหมาะสมกับการบูรณะด้วยวิธีใส่เดือยฟันที่ความยาวของเดือยฟันควรมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวรากฟันที่อยู่ในเบ้ากระดูก [20] เดือยฟันจึงมีการยึดอยู่ มีความต้านทานการหลุดออกในแนวตั้ง และต่อแรงกระทำจากด้านข้างและการหมุน [21] อีกทั้งได้สร้างแนวกันปิดปลายรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอหนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่ให้การผนึกบริเวณปลายรากฟันและความแนบสนิทขอบซึ่งสามารถป้องกันความล้มเหลวจากการรั่วซึมของวัสดุที่อาจเป็นสาเหตุให้แบคทีเรียหรือผลิตภัณฑ์จากแบคทีเรียเข้าสู่คลองรากฟันได้ [22-23] และการกำหนดความยาวส่วนรากฟัน 9 มิลลิเมตร ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อจำลองให้ฟันมีความยาวเท่ากับ 2/3 ของความยาวรากฟันที่สมบูรณ์ ได้คำนวณจากค่าเฉลี่ยของฟันกรามน้อยล่างที่มีความยาวของส่วนรากฟันเฉลี่ย 13.12 มิลลิเมตร [24]

ปริมาณเนื้อฟันบริเวณตัวฟันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อสมบัติความต้านทานการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากฟันแล้ว ฟันที่มีความหนาของผนังเนื้อฟันหนาน้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร จะมีความต้านทานการแตกหักน้อยกว่าฟันปกติ [15] การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงควบคุมขนาดของฟันที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบ-รากฟันของฟันที่เข้าร่วมในการศึกษา ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มักเกิดการแตกหักขึ้นเมื่อฟันได้รับแรง [2]

การทดสอบความต้านทานการแตกหักได้ใช้แรงกดซึ่งทำมุม 30 องศา กับแนวแกนฟัน แรงที่ให้เพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ (Static load) เพื่อจำลองเป็นแรงที่กระทำต่อฟันในแนวผิดปกติ (Unfavorable load direction) ที่จะทำให้เกิดความเค้นเนื่องจากแรงดึง (Tensile stress) และแรงเฉือน (Shear stress) เสมือนเป็นแรงกระทำจากอุบัติเหตุ แรงที่เกิดขึ้นกับฟันหลักยึด (Abutment) ของฟันปลอมชนิดถอดได้ หรือแรงที่เกิดกับเดือยฟันและวัสดุที่กั้นระหว่างการรื้อครอบฟันบูรณะเฉพาะกาล (Provisional crown) [25] การให้แรงกระทำบนฟันที่มีทิศทางทำมุม 30 องศากับแนวแกนฟัน ดังภาพที่ 5ก จะสัมพันธ์กับเดือยฟันมากกว่าการให้แรงทำมุม 45 องศากับแนวแกนฟัน ดังภาพที่ 5ข ความเค้นเนื่องจากแรงดึงจะเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสที่เกิดการยึดติดระหว่างวัสดุในคลองรากฟันกับผนังเนื้อฟัน



ภาพที่ 5 แนวการแตกหักที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อให้แรงกระทำบนตำแหน่งและแนวแรงกระทำที่กำหนด
ก. เมื่อให้แรงทำมุม 30 องศา กับแนวแกนฟัน ข. เมื่อให้แรงทำมุม 45 องศา กับแนวแกนฟัน

ที่มา: จากการศึกษาของ Fokkinga และคณะ ในปี 2005 [26]

โปรรูทเอ็มทีเอเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการอุดคลองรากฟันของฟันแท้ปลายรากเปิด ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การอุดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอสามารถทำให้ฟันจำลองสภาวะปลายรากฟันเปิดมีความต้านทานต่อการแตกหักเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Bayram และ Bayram ในปี 2016 [7], Linsuwanont และคณะ ในปี 2018 [11] และการศึกษาของภัทร และสุวิทย์ ในปี พ.ศ. 2564 [8] ที่พบว่า การอุดคลองรากฟันด้วยวัสดุในกลุ่มไตรแคลเซียมซิลิเกตซีเมนต์สามารถเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักให้ฟันปลายรากฟันเปิดได้ เมื่อเทียบกับการอุดคลองรากฟันด้วยกัตตาเพอร์ชา การบูรณะภายในคลองรากฟันด้วยเดือยฟัน เส้นใย และเรซินคอมโพสิต

การบูรณะส่วนตัวฟันด้วยเรซินคอมโพสิตในกลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอ็มทีเอทำให้ฟันมีความต้านทานการแตกหักมากกว่าการบูรณะส่วนตัวฟันด้วยวัสดุบูรณะชั่วคราวในการศึกษานำร่อง เรซินคอมโพสิต (Filtek Z350XT[®]) มีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) 15 จิกะปาสคาล ซึ่งใกล้เคียงกับมอดูลัสของความยืดหยุ่นของเนื้อฟันที่มีค่าเท่ากับ 14 – 18.6 จิกะปาสคาล [3] เช่นเดียวกับกลุ่มเดือยเสมือนรากฟันซึ่งวัสดุบูรณะในส่วนตัวฟันเป็นเดือยฟันเส้นใยและเรซินคอมโพสิตที่มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน

การบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยสำเร็จรูปในฟันปลายรากเปิดที่คลองรากฟันมีขนาดใหญ่เพิ่มโอกาสเกิดฟองอากาศภายในชั้นเรซินซีเมนต์ซึ่งจะลดการยึดอยู่ของเดือยฟัน [5] อีกทั้งความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์ยังมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของการยึดเหนี่ยว (Pullout strengths) ของเดือยฟันอีกด้วย [27] การเลือกวิธีบูรณะโดยใช้เดือยเสมือนรากฟันเป็นวิธีที่สามารถลดการเกิดช่องว่างและรูพรุนระหว่างเดือยฟันเส้นใยกับคลองรากฟันได้ [12] การไม่มีรูพรุนในชั้นเรซินซีเมนต์จะทำให้การกระจายความเครียดสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวของเนื้อฟันบริเวณรากฟัน [28] อันจะเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักให้กับฟัน

การเสริมความแข็งแรงภายในคลองรากฟันด้วยเดือยเสมือนรากฟัน หรือโปรรูทเอ็มทีเอต่างก็เป็นวัสดุที่มีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน เมื่อมีแรงมากระทบกับฟันจะเกิดการประสานเป็นหน่วยเดียวกันระหว่างวัสดุและเนื้อฟันบริเวณรากฟัน วัสดุจะมีการบิดตัวไปพร้อมกับเนื้อฟันทำให้มีการกระจายและถ่ายทอดแรงที่เท่า ๆ กันในทุกบริเวณ ลดการสะสมแรงเค้นที่รากฟันและลดความเสี่ยงต่อการแตกหักของรากฟัน [3, 30] อีกทั้งการเตรียมผิวเนื้อฟันก่อนการยึดเดือยเสมือนรากฟันด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้นร้อยละ 35 จะกำจัดชั้นเคลือบและทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุ (Demineralization) ของชั้นเนื้อฟัน เมื่อใช้เรซินซีเมนต์ในการ

ยึดติดของฟันจึงเกิดการแพร่เข้าไปของเรซินแท็ก (Resin tag) เข้าไปในท่อเนื้อฟัน [31] เช่นเดียวกับการอุดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอมที่เอทีวัสดุสามารถเหนียวนาให้เกิดการสร้างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างเอมที่เอและเนื้อฟันได้ [32] การบูรณะภายในคลองรากฟันด้วยวิธีทั้งสองจึงสามารถเสริมความแข็งแรงให้ฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน

รูปแบบการแตกหักที่สามารถบูรณะฟันต่อได้ ได้แก่ ความล้มเหลวจากระบบยึดติดของวัสดุที่นำมาบูรณะ (Adhesive failures) และการแตกหักที่เกิดขึ้นเหนือระดับของสันกระดูก ส่วนการแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะฟันต่อได้ หมายถึง การแตกหักของรากฟันในแนวตั้ง และการแตกหักที่ระดับต่ำกว่าระดับของสันกระดูก [26] ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า การแตกหักส่วนใหญ่เกิดขึ้นเป็นลักษณะเฉียงลงสู่รากฟันที่ระดับสันกระดูกจำลอง โดยไม่พบความล้มเหลวจากการที่วัสดุบูรณะฟันหลุดออกจากโพรงฟันก่อนการแตกหัก การบูรณะฟันด้วยวัสดุที่มีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันและมีความสามารถในการยึดติดกับเนื้อฟันมีแนวโน้มที่จะสามารถบูรณะฟันต่อได้หลังฟันแตกหัก [33] ในการเลือกวัสดุบูรณะภายในคลองรากฟัน เพื่อเสริมความแข็งแรงให้ฟันที่มีการพัฒนาของรากฟันไม่สมบูรณ์ควรมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันบริเวณรากฟันมีความสามารถในการยึดติดกับเนื้อฟัน ป้องกันการเกิดการร้าวซึมที่ส่วนตัวฟันได้ สามารถใช้งานได้ง่ายและรีออกได้เมื่อจำเป็น [10]

สรุปผลการวิจัย

การเสริมความแข็งแรงของฟันปลายรากเปิดภายหลังการสร้างแนวกันปิดปลายรากฟันด้วยโปรรูทเอมที่เอโดยใช้เดือยเสมือนรากฟันหรือการอุดตลอดคลองรากฟันด้วยโปรรูทเอมที่เอร่วมกับการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความต้านทานการแตกหักให้ฟันได้ไม่แตกต่างกัน โดยการแตกหักของฟันภายหลังได้รับแรงกดพบที่ระดับตัวฟันและระดับ 1/3 ทางด้านคอฟัน ซึ่งส่วนมากเป็นรูปแบบการแตกหักที่สามารถบูรณะฟันต่อได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ali, M. R. W., Mustafa, M., Bårdsen, A., and Bletsa, A. (2019). Fracture resistance of simulated immature teeth treated with a regenerative endodontic protocol. *Acta Biomaterialia Odontologica Scandinavica*, 5(1), 30-37.
- [2] Cvek, M. (1992). Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha. A retrospective clinical study. *Endodontics & Dental Traumatology*, 8(2), 45-55.
- [3] Tay, F. R., and Pashley, D. H. (2007). Monoblocks in root canals: A hypothetical or a tangible goal. *Journal of Endodontics*, 33(4), 391-398.

- [4] Brito-Junior, M., Pereira, R. D., Verissimo, C., Soares, C. J., Faria-e-Silva, A. L., Camilo, C. C., and Sousa-Neto, M. D. (2014). Fracture resistance and stress distribution of simulated immature teeth after apexification with mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 47(10), 958-966.
- [5] Aimjirakul, N., Jundaeng, J., and Vachrangkura, A. (2016). Fracture resistance of flared root canal teeth restored with different post and core restorations. *Srinakharinwirot University Dental Journal*, 9(1), 71-84.
- [6] Sivieri-Araujo, G., Tanomaru-Filho, M., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Bortoluzzi, E. A., Jorge, É. G., and Reis, J. M. S. (2015). Fracture Resistance of Simulated Immature Teeth after Different Intra-radicular Treatments. *Brazilian Dental Journal*, 26(3), 211-215.
- [7] Bayram, E., and Bayram, H. M. (2016). Fracture resistance of immature teeth filled with mineral trioxide aggregate, bioaggregate, and biodentine. *European Journal of Dentistry*, 10(2), 220-224.
- [8] Ancheun, P., and Wimonchit, S. (2021). Fracture resistance of simulated open apex teeth filled with three brands of calcium silicate cement. *Khon Kaen University Dental Journal*, 24(1), 66-75.
- [9] Tanalp, J., Dikbas, I., Malkondu, O., Ersev, H., Gungor, T., and Bayirli, G. (2012). Comparison of the fracture resistance of simulated immature permanent teeth using various canal filling materials and fiber posts. *Dental traumatology*, 28(6), 457-464.
- [10] Stuart, C. H., Schwartz, S. A., and Beeson, T. J. (2006). Reinforcement of immature roots with a new resin filling material. *Journal of Endodontics*, 32(4), 350-353.
- [11] Linsuwanont, P., Kulvitit, S., and Santiwong, B. (2018). Reinforcement of Simulated Immature Permanent Teeth after Mineral Trioxide Aggregate Apexification. *Journal of Endodontics*, 44(1), 163-167.
- [12] Anusornsuwan, S., and Limlawan, T., (2013). Restoration of flared root canal. *Srinakharinwirot University Dental Journal*, 6(1), 66-76.
- [13] Escribano-Escriba, B., Mico-Munoz, P., Manzano-Saiz, A., Giner-Lluesma, T., Collado-Castellanos, N., and Muwaquet-Rodriguez, S. (2016). MTA apical barrier: In vitro study of the use of ultrasonic vibration. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 8(3), 318-321.
- [14] Fonseca, R. B., Branco, C. A., Kasuya, A. V. B., Favarão, I. N., Carlo, H. L., and Coelho, T. M. K. (2011). Anatomic fiber posts, clinical technique and mechanical benefits - a case report. *Dental Press Endodontics*, 1(3), 71-78.
- [15] Haralur, S. B., Al-Qahtani, A. S., Al-Qarni, M. M., Al-Homrany, R. M., and Aboalkhair, A. E. (2016). Influence of remaining dentin wall thickness on the fracture strength of endodontically treated tooth. *Journal of Conservative Dentistry*, 19(1), 63-67.
- [16] Kim, J.-H., Park, S.-H., Park, J.-W., and Jung, I.-Y. (2010). Influence of post types and sizes on fracture resistance in the immature tooth model. *Journal of Korean Academy of Conservative Dentistry*, 35(4), 257-266.

- [17] Lin, C.-S., Llacer-Martinez, M., Sheth, C. C., Jovani-Sancho, M., and Biedma, B. M. (2018). Prevalence of Premolars with Dens Evaginatus in a Taiwanese and Spanish Population and Related Complications of the Fracture of its Tubercle. *European Endodontic Journal*, 3(2), 118-122.
- [18] Youcharoen, K., Sakulnamanka, S. S., and Wisuttisak, W., (2012). The prevalence of dens evaginatus in a group of Thai secondary schoolchildren. *Srinakharinwirot University Dental Journal*, 5(1), 56-64.
- [19] Sarabunchong, J., Chindasombatjaroen, J., and Arayasantiparb, R. (2013). The prevalence of premola teeth with dens evaginatus and related apical periodontitis in a group of Thai children in Bangkok. *Mahidol Dental Journal*, 33(1), 38-48.
- [20] Hargreaves, K. M., and Berman, L. H. (2016). *Cohen's pathways of the pulp expert consult* (11th ed.). Canada: Elsevier Health Sciences.
- [21] Schwartz, R. S., and Robbins, J. W. (2004). Post placement and restoration of endodontically treated teeth: A literature review. *Journal of Endodontics*, 30(5), 289-301.
- [22] Bani, M., Sungurtekin-Ekci, E., and Odabas, M. E. (2015). Efficacy of Biodentine as an Apical Plug in Nonvital Permanent Teeth with Open Apices: An In Vitro Study. *Biomed Research International*, Article 359275.
- [23] Ghorbanzadeh, A., Shokouhinejad, N., Fathi, B., Raoof, M., and Khoshkhounejad, M. (2014). *An In Vitro Comparison of Marginal Adaptation of MTA and MTA-Like Materials in the Presence of PBS at One-Week and Two-Month Intervals*. *Journal of Dentistry (Tehran University of Medical Sciences)*, 11(5), 560-568.
- [24] Kim, J.-H., Park, S.-H., Park, J.-W., and Jung, I.-Y. (2013). Crown and root lengths of incisors, canines, and premolars measured by cone-beam computed tomography in patients with malocclusions. *The Korean Journal of Orthodontics*, 43(6), 271-278.
- [25] Lawbundis, K., Vongphan, N., Muangmingsuk, A., and Senawongse, P. (2015). Effect of fiber post lengths on fracture resistance of endodontically treated teeth. *Mahidol Dental Journal*, 35(1), 86-95.
- [26] Fokkinga, W. A., Le Bell, A. M., Kreulen, C. M., Lassila, L. V., Vallittu, P. K., and Creugers, N. H. (2005). Ex vivo fracture resistance of direct resin composite complete crowns with and without posts on maxillary premolars. *International Endodontic Journal*, 38(4), 230-237.
- [27] D'Arcangelo, C., Cinelli, M., De Angelis, F., and D'Amario, M. (2007). The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 98(3), 193-198.
- [28] Silva, N. R. d., Aguiar, G. C. R., Rodrigues, M. d. P., Bicalho, A. A., Soares, P. B. F., Veríssimo, C., and Soares, C. J. (2015). Effect of resin cement porosity on retention of glass-fiber posts to root dentin: An experimental and finite element analysis. *Brazillian Dental Journal*, 26(6), 630-636.

- [29] Zarow, M., Dominiak, M., Szczeklik, K., Hardan, L., Bourgi, R., Cuevas-Suárez, C. E., Zamarripa-Calderón, J. E., Kharouf, N., and Filtchev, D. (2021). Effect of Composite Core Materials on Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. *Polymers*, 13(14), 2251.
- [30] Nithipratheep, A., and Leevailoj, C. (2011). Restoration of endodontically treated teeth: The monoblock concept. *Chulalongkorn University Dental Journal*, 34, 141-154.
- [31] Maroulakos, G., He, J., and Nagy, W. W. (2018). The Post-endodontic Adhesive Interface: Theoretical Perspectives and Potential Flaws. *Journal of Endodontics*, 44(3), 363-371.
- [32] Chang, S. W. (2012). Chemical characteristics of mineral trioxide aggregate and its hydration reaction. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 37(4), 188-193.
- [33] Dietschi, D., Duc, O., Krejci, I., and Sadan, A. (2007). Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: A systematic review of the literature-Part 1. Composition and micro- and macrostructure alterations. *Quintessence International*, 38(9), 733-743.