

แรงต้านทานการแตกหักของฟันที่มีคลองรากฟันผายด้วยการบูรณะเดือยและแกนฟันต่างชนิดกัน

ณปภา เอี่ยมจิรสกุล* จารุวัฒน์ จุลแดง** อมรเทพ วัชรางกูร***

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อประเมินแรงต้านทานการแตกหักของฟันที่มีคลองรากฟันผายด้วยการบูรณะเดือยและแกนฟันต่างชนิดกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: เลือกฟันมนุษย์หน้าตัดบนคูกกลางที่ถูกถอนจากเหตุผลทางปริทันต์ 30 ซี่เก็บไว้ในน้ำกลั่น ทำการรักษาคลองรากฟัน แบ่งฟันเป็น 5 กลุ่ม ตามการบูรณะฟันดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม ทำการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมพอสิตโดยตรง กลุ่มที่ 2 เดือยและแกนฟันโลหะ กลุ่มที่ 3 บูรณะด้วยเดือยฟันไฟเบอร์และแกนคอมพอสิต กลุ่มที่ 4 เดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิต และ กลุ่มที่ 5 เดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอสิต แล้วฝังไว้ในท่อพีวีซีโดยจำลองลักษณะทางปริทันต์ นำชิ้นงานมาทดสอบแรงกดอัดทำมุม 135 องศา กับแกนฟันในแนวตั้งด้านเพดานโดยใช้เครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน โดยใช้แรงกดอัดด้วยอัตราเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งเกิดการแตกหัก บันทึกค่าแรงต้านทานการแตกหักและรูปแบบความล้มเหลว วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและการทดสอบโพสฮอคกุกิที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการทดลอง: กลุ่มที่ 5 มีแรงต้านทานการแตกหักที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ กลุ่มควบคุมมีความแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เดือยไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากเดือยฟันไฟเบอร์และเดือยฟันโลหะ ชิ้นงานทั้งหมดในกลุ่มที่ 2 และ 5 มีความล้มเหลวที่ไม่สามารถบูรณะได้ ส่วนเดือยฟันไฟเบอร์และเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิตมีความล้มเหลวที่สามารถบูรณะได้

สรุปผล: กลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอสิตมีแรงต้านทานการแตกหักที่สูงที่สุด ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มเดือยฟันโลหะ เดือยฟันไฟเบอร์ และเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิต ในทางคลินิกเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิตเป็นทางเลือกในการบูรณะฟันที่มีคลองรากฟันผาย

คำสำคัญ: คลองรากฟันผาย แรงต้านทานการแตกหัก เดือยและแกนฟัน การเสริมเรซินคอมพอสิต รูปแบบความล้มเหลว

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
 **ทันตแพทย์ โรงพยาบาลวังหิน อ.วังหิน จ.ศรีสะเกษ 33270
 ***ทันตแพทย์ โรงพยาบาลศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพฯ ต.องค์รักษ์ อ.องค์รักษ์ จ.นครนายก 26120

Fracture Resistance of Flared Root Canal Teeth Restored with Different Post and Core Restorations

Napapa Aimjirakul* Jarupat Jundaeng** Amornthep Vachrangkura***

Abstract

Objective: To evaluate the fracture resistance of flared root canal teeth restored with different post and core restorations.

Materials and Methods: Thirty human maxillary central incisors with periodontal reasons were selected and stored in distilled water. Endodontic treatment was performed. The teeth were randomly divided into five groups: direct composite core (group 1, control group), cast post and core (group 2), fiber post and composite core (group 3), fiber post relined with composite resin (group 4), and composite resin reinforcement with cast post and core (group 5). After that they were embedded into PVC tubes with periodontal simulation. The specimens were tested at compressive load to 135 degrees of palatal aspect by universal testing machine with cross-head speed of 0.5 mm/min. Fracture resistance (N) and mode of failure were recorded. Data were analyzed with one-way ANOVA and post hoc Tukey HSD test ($\alpha=0.05$).

Results: Group 5 had significantly highest fracture resistance. The control group had significantly different from the others ($p<0.05$). The fiber post relined with composite resin had no significantly different among the fiber post and composite core and cast post and core ($p>0.05$). All specimens in group 2 and 5 were classified as non-restorable failures. Most of fiber post and composite core and fiber post relined with composite resin had restorable failures.

Conclusion: The composite reinforcement with cast post and core group had the highest fracture resistance. No significant differences were found among cast post and core, fiber post and composite core and fiber post relined with composite resin. In the clinical application, fiber post relined with composite resin could be an alternative choice for restoring flared root canals.

Key words: Flared root canal, Fracture resistance, Post and core, Composite resin reinforcement, Failure mode

*Assistant Professor, Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, Sukhumvit 23, Wattana, Bangkok, 10110 Thailand

**Dentist, Wanghin Hospital, Wanghin District, Sisaket 33270

***Dentist, HRH Princess Maha Chakri Sirindhorn Medical Center, Ongkharak District, Nakhonnayok 26120

บทนำ

ฟันหลังรักษาคลองรากฟันมักมีโครงสร้างของฟันเหลืออยู่น้อย มีโอกาสเกิดการแตกหักสูง ดังนั้นการบูรณะฟันหลังรักษาคลองรากฟันเพื่อเก็บรักษาซี่ฟันนั้นไว้ในช่องปากและใช้งานได้ตามปกติ เช่น การอุดฟัน อินเลย์ (inlay) ออเนลย์ (onlay) ครอบฟัน หรือ เดือยและแกนฟันพร้อมครอบฟัน เนื่องจากฟันที่ต้องรักษารากมักมีฟันผุขนาดใหญ่จนเกิดพยาธิสภาพในโพรงประสาทฟัน จึงทำให้เสียโครงสร้างฟันไปมาก เดือยฟันจึงเป็นตัวเลือกที่ใช้บูรณะหลังการรักษาคลองรากฟัน [1] ฟันหลังรักษาคลองรากฟันที่มีคลองรากฟันกว้างมีความแข็งแรงน้อยกว่าปกติ เนื่องจากมีการสูญเสียโครงสร้างของฟันมากจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดฟันผุใต้ครอบฟันหรือเดือยและแกนฟันเก่า ฟันเจริญเติบโตไม่เต็มที่ในผู้ป่วยเด็ก (immature teeth) และมีคลองรากฟันขนาดใหญ่กว่าปกติ ฟันที่เกิดการสลายของรากฟันด้านใน (internal root resorption) หรือมีพยาธิสภาพอื่นในโพรงประสาทฟัน ฟันที่มีความผิดปกติในการเจริญเติบโต เช่น การก่อก่อฟัน (germination) ฟันที่รับการกรอแต่งภายในคลองรากฟันมากเกินไป หรือฟันที่ได้รับการรักษารากฟันผิดวิธี ทำให้หลังการรักษาคลองรากฟัน มีเนื้อฟันรอบคลองรากบางและเสี่ยงต่อการแตกหัก [2]

ฟันหลังรักษาคลองรากฟันที่มีคลองรากฟันกว้างมีความยากในการบูรณะมากกว่าฟันปกติ เนื่องจากปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่น้อย จากการศึกษาของ Tian AH พบว่าปริมาณเนื้อฟันรอบคลองรากฟันที่เหลืออยู่แปรผันโดยตรงกับค่าแรงต้านทานในการแตกหักของสิ่งบูรณะ [3] หลักการสำคัญของงานบูรณะด้วยเดือยฟันคือการรักษาเนื้อฟันรอบคลองรากฟันที่เหลืออยู่ไว้ให้มากที่สุดเพื่อให้เกิดความแข็งแรงและสามารถต้านทานการแตกหักของฟันหลังจากรักษาคลองรากฟัน นอกจากนี้การศึกษาของ Yoldas และคณะพบว่า งานบูรณะช่วยเสริมความแข็งแรงของฟัน และทำให้เกิดรูปแบบการกระจายแรงที่เหมาะสม [4]

ในอดีตการบูรณะฟันหลังรักษาคลองรากฟันที่มีคลองรากขนาดใหญ่มักนิยมใช้เดือยและแกนฟันโลหะ โดยไม่ได้พิจารณาเกี่ยวกับปริมาณและคุณภาพของเนื้อฟัน

ที่เหลืออยู่ [5] และเนื่องด้วยความแนบสนิทของตัวเดือยกับผนังคลองรากฟันจากการลอกเลียนรูปร่างของคลองรากฟันด้วยวัสดุพิมพ์ปากโดยตรง จากการศึกษาของ Coelho และคณะพบว่าเดือยและแกนฟันโลหะช่วยเพิ่มการยึดติดกับคลองรากฟันเท่านั้นและยังมีแนวโน้มเกิดการแตกหักด้วยเพราะมีความแข็งต่างกันมากเมื่อเทียบกับเนื้อฟันโดยเทียบจากค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) และผลของแรงแบบลิ้ม (wedging effect) จากรูปร่างของเดือยฟันโลหะที่ใหญ่ ทรงสอบ และมีส่วนต้นกว้างมากตามรูปร่างของคลองรากฟัน [6,7]

ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาวัสดุจำพวกเดือยฟันไฟเบอร์สำเร็จรูป (prefabricated fiber post) และเรซินคอมพอสิตเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการรักษาผู้ป่วยที่จำเป็นต้องใช้เดือยฟันในการบูรณะ มีข้อดีของเดือยฟันไฟเบอร์สำเร็จรูปคือ มีความสามารถยึดติดกับฟันได้โดยใช้สารยึดติดหรือเรซินซีเมนต์ [8] มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน หลังการยึดติดเดือยฟันสามารถกระจายแรงไปสู่ฟันได้อย่างเหมาะสมเสมือนเป็นโช้คอัพ (shock absorber) [9] และยังช่วยลดอุบัติการณ์รากฟันแตกหักได้อีกด้วย [10] ในกรณีของฟันหลังรักษารากแล้วคลองรากฟันผาย ฟันที่ว่างภายในคลองรากจะถูกแทนที่ด้วยชั้นของเรซินซีเมนต์หนา จากการศึกษา พบว่ามีค่าแรงต้านทานการหลุดของเดือยฟันไฟเบอร์สำเร็จรูปต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ [11] และฟันที่มีคลองรากฟันรูปร่างรีเกิดปัญหานี้เช่นกันคือ เกิดฟันที่ว่างในคลองรากโดยเฉพาะคลองรากฟันส่วนต้น เนื่องจากเดือยฟันไฟเบอร์มีรูปร่างกลม เมื่อชั้นของเรซินซีเมนต์หนาโอกาสเกิดฟองอากาศภายในเนื้อซีเมนต์ เป็นปัจจัยส่งเสริมให้เกิดการหลุดของเดือยฟัน [12] วิธีการแก้ปัญหาคือการใช้เรซินคอมพอสิตอุดเสริมบริเวณช่องว่างบนเดือยฟันไฟเบอร์หรือเทคนิคเสริม (relined technique) เพื่อลอกเลียนรูปร่างคลองรากฟันเหมือนกับการทำเดือยฟันโลหะชนิดขึ้นรูปเอง เพียงแต่เปลี่ยนวัสดุจากโลหะผสมเป็นเรซินคอมพอสิต ข้อดีของเทคนิคนี้คือ มีความแนบสนิทของเดือยฟันกับผนังคลองรากฟัน และช่วยลดความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์ [13,14]

จากปัญหาเรื่องปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่บาง และมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกหักในลักษณะที่ไม่สามารถบูรณะต่อได้ โดยเฉพาะฟันหน้าบนของผู้ป่วยเด็กที่มีทางเลือกในการรักษาอย่างจำกัด มีเทคนิคการเสริมความหนาของผนังคลองรากฟัน จากการศึกษาของ Lui ถึงเทคนิคการเสริมความแข็งแรงของคลองรากฟันด้านในเพื่อลดความเสี่ยงการแตกหักของรากฟัน โดยการใช้กรดกัดเนื้อฟัน ทาสารยึดติดเนื้อฟัน และเสริมผนังคลองรากด้วยเรซินคอมพอสิต จากนั้นยึดด้วยเดือยโลหะรูปทรงขนาน [15] ข้อเสียของเทคนิคการทำนี้คือ ไม่สามารถควบคุมปริมาตรปริมาตรได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะบริเวณส่วนปลายของคลองรากฟัน แม้ว่าใช้วัสดุจำพวกเรซินคอมพอสิตที่บ่มด้วยแสงที่ช่วยเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์มากขึ้น แต่ก็ยังมีข้อจำกัดของความลึกในการบ่มตัว (depth of cure) ที่ระยะเพียง 4-5 มิลลิเมตรเท่านั้น เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่ปล่อยให้แสงผ่านเรซินคอมพอสิตได้บางส่วน สรุปได้ว่าการก่อตัวของเรซินคอมพอสิตจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแสงที่ส่องผ่านได้ในแต่ละระดับความลึก [16] ต่อมาก็มีความพยายามที่จะแก้ไขข้อบกพร่องนี้โดยใช้เดือยฟันสำเร็จรูปที่นำแสงได้ (light transmitting post) เดือยฟันสามารถนำแสงจากเครื่องฉายแสงไปตลอดความยาวของเดือย จึงทำให้เรซินคอมพอสิตเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ได้อย่างทั่วถึงแม้แต่บริเวณส่วนปลายของคลองรากฟัน [2]

รูปแบบการแตกหักหลังจากบูรณะด้วยเดือยฟันถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการพิจารณาเลือกชนิดของเดือยฟันที่จะบูรณะ เนื่องจากมีผลในอนาคตว่าเมื่อเกิดการแตกหักแล้ว ฟันซี่นั้นยังสามารถทำการบูรณะซ้ำใหม่ด้วยวิธีเดิมหรือวิธีอื่นๆ ได้หรือไม่ หรือจำเป็นต้องถอนฟันเนื่องจากไม่สามารถบูรณะต่อได้ จากการศึกษาของ Mezzomo และคณะ ได้แบ่งรูปแบบการแตกหักของฟันเป็นสองประเภทคือการแตกหักที่สามารถบูรณะต่อได้ (repairable failure) เช่น การเกิดความล้มเหลวของการยึดติดของรอยต่อระหว่างเดือยฟัน ซีเมนต์ และเนื้อฟัน เป็นผลให้เกิดรอยแตกและชั้นซีเมนต์หลุด แต่สุดท้ายแล้วฟันซี่นั้นยังสามารถบูรณะใหม่ได้ตามปกติ อีกรูปแบบหนึ่งคือการแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะต่อได้ (irreparable failure) เช่น การแตกหักของ

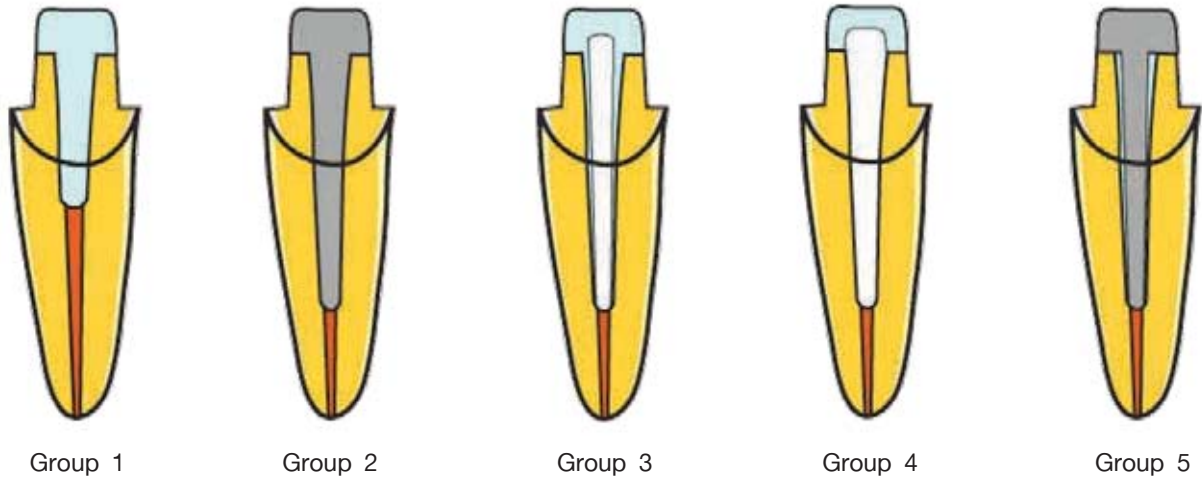
รากในแนวนอน (horizontal fracture) หรือในแนวตั้ง (vertical fracture) ซึ่งสัมพันธ์กับการสะสมแรงที่เนื้อฟันมากกว่าปกติ โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะเกิดกับเดือยฟันโลหะเนื่องจากวัสดุมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูง [17]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาทางด้านทันตกรรมการแตกหักในฟันหลังรักษารากที่มีคลองรากฟันกว้างด้วยเดือยฟันต่างชนิด โดยมีสมมติฐานว่าเดือยฟันแต่ละชนิดที่บูรณะในฟันหลังรักษารากที่มีคลองรากฟันขยายให้ค่าแรงด้านทันตกรรมการแตกหักไม่ต่างกัน นอกจากนี้ยังศึกษารูปแบบการแตกหักหลังจากทดสอบแรงด้วยว่าเป็นประเภทใดระหว่างการแตกหักที่สามารถบูรณะต่อได้กับการแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะต่อได้

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกฟันตัดซี่กลางบนของมนุษย์ ซึ่งถูกถอนด้วยสภาวะโรคปริทันต์ ไม่มีรอยผุ และไม่มีวัสดุอุด ขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีความยาว 21 มิลลิเมตร จำนวน 30 ซี่ มาทำการรักษาคคลองรากฟัน โดยขยายคลองรากฟันจนถึงเครื่องมือขยายคลองรากฟันชนิดเค (K-file) เบอร์ 60 ล้างคลองรากฟันด้วย สารละลายร้อยละ 1.25 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Dent CU, Thailand) แล้วอุดปิดคลองรากฟันด้วยกัตตาเปอร์ชา (Dentsply, Petrópolis, Brazil) โดยวิธีการอัดแน่นด้านข้าง (lateral condensation) และใช้ซีเมนต์พนักคลองรากฟันที่ปราศจากยูจีนอลชนิดเอเอชพลัส (AH Plus®, Dentsply International, USA) จากนั้นใช้หัวเจาะชนิดพีโซ (Peeso reamer) กรอตัดกัตตาเปอร์ชาลงไปใคลองรากฟันเลือกกัตตาเปอร์ชาปลายราก 4 มิลลิเมตร จำนวน 24 ซี่ และอีก 6 ซี่ เป็นกลุ่มควบคุม กรอตัดกัตตาเปอร์ชาลงไปใคลองรากฟันด้วยความลึก 2 มิลลิเมตรจากรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน เมื่อกรอตัดกัตตาเปอร์ชาจนได้ความลึกที่ต้องการแล้วจึงใช้หัวกรอกากเพชรรูปเปลวไฟขยายคลองรากฟันให้กว้าง เหลือความหนาของผนังโดยรอบไว้ 1 มิลลิเมตร และทำการถ่ายภาพรังสีตรวจสอบความกว้างของคลองรากฟัน

จากนั้นบูรณะฟันด้วยวิธีต่างๆ กัน โดยแบ่งฟัน 30 ซี่ แบบสุ่มเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซี่ ดังนี้ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การบูรณะเดือยและแกนฟันในแต่ละกลุ่ม
 Fig 1. Post and core restoration in each group.

**กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) เรซินคอมพอสิตโดยตรง
 (Direct composite core)**

โดยใช้สารยึดติดชนิดกรดกัดรวม (Scotchbond Multipurpose Plus®, 3M ESPE, Germany) และอุดปิดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมพอสิต (Filtek Z250®, 3M ESPE, Germany) โดยใช้วิธีการอุดเป็นชั้น (incremental technique) ชั้นละ 2 มิลลิเมตรและใช้เครื่องฉายแสง (Halogen XL2500, 3M ESPE, USA) ฉายเป็นเวลา 40 วินาที

**กลุ่มที่ 2 เดือยและแกนฟันโลหะ
 (Cast post and core)**

แต่งซีฟิ่งแต่งแบบ (blue inlay wax) เพื่อลอกเลียนรายละเอียดส่วนภายในคลองรากฟันและแต่งแกนฟัน แล้วส่งห้องปฏิบัติการเพื่อเหียงเป็นเดือยฟันโลหะ (Ni-Cr alloy,

Remanium CS, Dentaurum, Pforzheim, Germany) แล้วยึดด้วยสารยึดติดชนิดก้อตัวด้วยตนเอง (Super-Bond C&B®, Sun Medical, Japan)

**กลุ่มที่ 3 เดือยฟันไฟเบอร์และแกนคอมพอสิต
 (Fiber post and composite core)**

ใส่เดือยฟันไฟเบอร์ (ParaPost®FIBER LUX™, Coltène/Whaledent AG, Switzerland) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 มิลลิเมตร เข้าไปในคลองรากฟัน จากนั้นใช้สารยึดติด (ParaBond®, Coltène/Whaledent AG, Switzerland) ทำให้ทั่วภายในคลองรากฟันและเดือยฟันไฟเบอร์ และเป่าให้แห้ง แล้วจึงใช้เรซินคอมพอสิตชนิดเหลว (ParaCore®, Coltène/Whaledent AG, Switzerland) ยึดและสร้างแกนฟันขึ้นมา ใช้เครื่องฉายแสง ฉายเป็นเวลา 40 วินาที

กลุ่มที่ 4 เดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอลิต (Fiber post relined with composite resin)

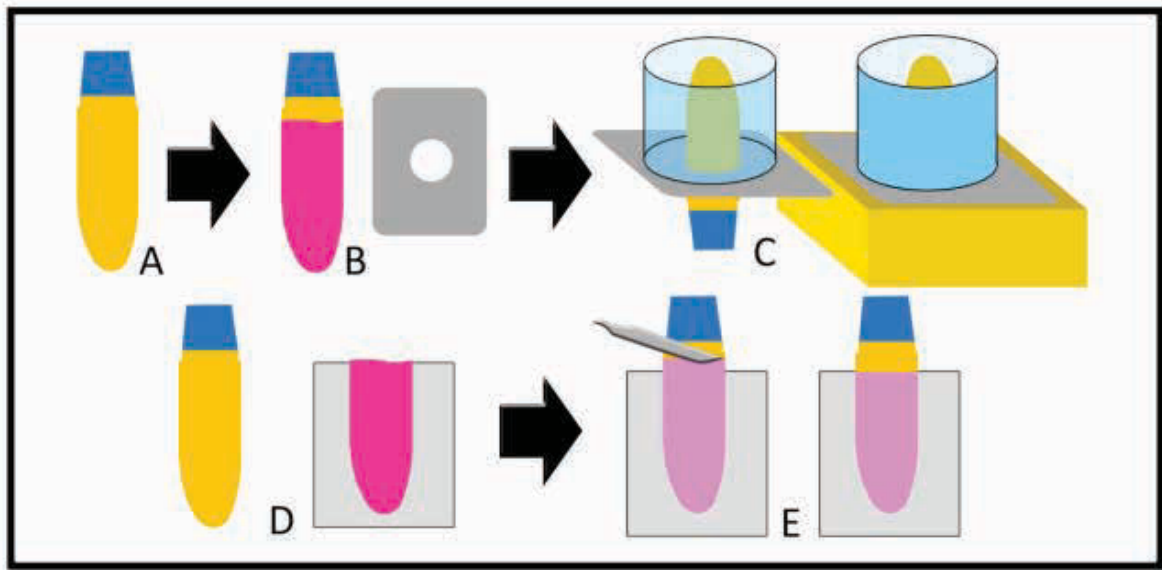
ใส่เดือยฟันไฟเบอร์ (ParaPost® FIBER LUX™, Coltène/Whaledent AG, Switzerland) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 มิลลิเมตร เข้าไปในคลองรากฟัน จากนั้นใช้วาสลินทาที่ผนังภายในคลองรากฟัน และใช้เรซินคอมพอลิต (Filtek Z250®, 3M ESPE, Germany) ปั้นแต่งโดยรอบเดือยฟันไฟเบอร์ ด้วยความหนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำเข้าไปในคลองรากฟัน และใช้เครื่องฉายแสง ฉายเป็นเวลา 40 วินาที เมื่อเรซินคอมพอลิตบ่มตัวสมบูรณ์ก็ดึงออกจากคลองรากฟัน และทำการเติมเรซินคอมพอลิตขึ้นมาเรื่อยๆ จนกระทั่งแต่งถึงส่วนของแกนฟัน ดึงเดือยฟันออกจากคลองรากฟัน ทำความสะอาดและล้างคลองรากฟันให้สะอาด และใช้สารยึดติดชนิดก้อตัวด้วยตนเอง (Super-Bond C&B®, Sun Medical, Japan) ในการยึดเดือยฟันให้เข้าที่

กลุ่มที่ 5 เดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอลิต (Composite resin reinforcement with cast post and core)

ใช้สารยึดติดชนิดกรดกัตรวม (Scotchbond Multipurpose Plus®, 3M ESPE, Germany) ทาภายในคลองรากฟัน จากนั้นนำเรซินคอมพอลิต (Filtek Z250, 3M ESPE, Germany) อุดเข้าไปในคลองรากฟันจนเต็มคลองราก แล้วใส่เดือยฟันไฟเบอร์ (ParaPost® FIBER LUX™, Coltène/Whaledent AG, Switzerland) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 มิลลิเมตร ที่เคลือบด้วยวาสลินโดยรอบใส่เข้าไปในคลองรากฟัน และกำจัดเรซินคอมพอลิตที่เกินออก และใช้เครื่องฉายแสง ฉายเป็นเวลา 40 วินาที เมื่อเรซินคอมพอลิตบ่มตัวสมบูรณ์แล้วจึงดึงเดือยฟันไฟเบอร์ออกจากคลองรากฟัน และทำการแต่งซี่ฟันเพื่อลอกเลียนรายละเอียดส่วนภายในคลองรากฟันและแต่งแกนฟัน แล้วส่งห้องปฏิบัติการ

การเพื่อเยียงเป็นโลหะ (Ni-Cr alloy, Remanium CS, Dentaurum, Pforzheim, Germany) จากนั้นยึดด้วยสารยึดติดชนิดก้อตัวด้วยตนเอง (Super-Bond C&B®, Sun Medical, Japan)

หลังจากบูรณะเดือยและแกนฟัน กรอเตรียมฟันขั้นสุดท้าย (final preparation) สำหรับทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน (porcelain fused to metal) ด้วยหัวกรอปากเพชรรูปเปลวไฟ โดยกรอด้านใกล้แก้ม (buccal) กว้าง 1.2 มิลลิเมตร และด้านใกล้ลิ้น (lingual) กว้าง 0.5 มิลลิเมตร ให้เหลือเฟอร์รูล (ferrule) 1 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจึงนำฟันมาลงบล็อกโดยการนำรากฟันไปชุบในซีฟิ่ง (Epoxyglass, Diadema, SP, Brazil) ที่หลอมเหลวต่ำกว่ารอยต่อระหว่างเคลือบผิวฟันและเคลือบรากฟัน 2 มิลลิเมตร จะได้ซีฟิ่งที่มีความหนา 0.2 ถึง 0.3 มิลลิเมตร จากนั้นนำฟิล์มภาพถ่ายรังสีภายในช่องปากที่ใช้แล้ว มาตัดเป็นวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรที่กึ่งกลางแผ่นฟิล์ม แล้วนำฟันที่มีการเคลือบผิวรากฟันด้วยซีฟิ่งมาเสียบใส่แผ่นฟิล์ม และยึดติดไม่ให้เคลื่อนที่ จากนั้นนำท่อพลาสติกชนิดพีวีซี (PVC) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรและสูง 25 มิลลิเมตร มาครอบใส่ส่วนของรากฟันให้อยู่กึ่งกลางท่อ และให้ส่วนของตัวฟันหันลงพื้น แล้วยึดไว้ด้วยแผ่นไม้ทะลุ จากนั้นนำเรซินอะคริลิกชนิดบ่มตัวด้วยตนเอง (self-cured acrylic resin) ผสมให้เหลวแล้วมาเทใส่ท่อพีวีซี กำจัดอะคริลิกส่วนเกินออก และรอให้แข็งตัว จากนั้นนำแผ่นฟิล์มออกและดึงซีฟิ่งออก แล้วละลายซีฟิ่งออกจากบล็อกอะคริลิก ฉีดวัสดุพิมพ์แบบพอลิอีเทอร์ (Impregum F, 3M ESPE, Germany) และนำฟันใส่กลับเข้าที่เดิมให้แนบสนิท รอวัสดุพิมพ์ปากแข็งตัว จากนั้นใช้มีดผ่าตัด (Scalpel blade, Xishan Medical Instrument factory, Xishan, China) กำจัดวัสดุพิมพ์แบบส่วนเกินออกให้หมด (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 แสดงการฝังรากฟันและจำลองเอ็นยึดปริทันต์: (A) ฟันตัดซี่กลางบน; (B) รากฟันที่ปกคลุมด้วยขี้ผึ้งและนำมาสอดใส่ฟิล์มภาพถ่ายรังสี; (C) ตำแหน่งฟิล์มภาพถ่ายรังสีและท่อพลาสติกชนิดพีวีซีบนแผ่นไม้; (D) ดึงฟันออกจากท่อพลาสติกโดยปราศจากขี้ผึ้ง; (E) กำจัดวัสดุพิมพ์แบบพอลิเอเทอร์ส่วนเกินและแสดงการฝังรากฟันที่สมบูรณ์

Fig 2. Diagram representation of root embedment and periodontal ligament simulation: (A) maxillary central incisor tooth; (B) root covered with wax and X-ray film; (C) position of film with plastic cylinder over a perforated wood plate; (D) tooth removal from plastic cylinder without wax; (E) removal of excess polyether and complete root embedment.

การทดสอบการให้แรงชนิดคงที่ (Static loading test)

นำชิ้นงานทดสอบมาเข้าเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน (Model 8972; Instron Inc, High Wy-combe, UK) (รูปที่ 3) โดยใช้แรงกดอัด (compressive load) ที่

เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตรงตำแหน่งกึ่งกลางฟันด้านใกล้เพดาน และทำมุม 135 องศากับแกนฟันในแนวตั้ง ซึ่งใช้หัวกดอัดด้วยอัตราเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที จนเกิดการแตกหักของชิ้นงานและบันทึกค่าแรงกดอัด (N)



รูปที่ 3 แสดงการทดสอบการให้แรงชนิดคงที่

Fig 3. Static loading test.

ลักษณะการแตกหักของชิ้นงาน (Failure mode of specimen)

ลักษณะการแตกหักของชิ้นงานหลังจากทดสอบแรง แบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ การแตกหักที่สามารถบูรณะต่อได้ (restorable failure) เช่น แตกหักบริเวณคอปิ่น หรือแตกหักลักษณะอื่นที่ยังสามารถทำการบูรณะใหม่ได้ และการแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะได้ (non-restorable failure) เช่น เกิดการแตกหักต่ำกว่าบริเวณรากฟันส่วนต้น แตกแนวเฉียง (oblique fracture) แนวนอน (horizontal fracture) หรือแนวตั้ง (vertical fracture) จนไม่สามารถทำการบูรณะต่อได้และจำเป็นต้องถอนฟัน [18]

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำค่าเฉลี่ยของข้อมูล (mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและการทดสอบไคสอกคูกิ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลอง

จากการทดสอบพบว่า ข้อมูลมีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (homogeneity of variances) ค่าสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) แสดงให้เห็นว่าเดือยฟันแต่ละชนิดมีค่าแรงต้านทานการแตกหักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าเฉลี่ยของแรงต้านทานการแตกหักแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 4 พบว่ากลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอสิต มีค่าแรงต้านทานการแตกหักสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนกลุ่มเรซินคอมพอสิตโดยตรง (กลุ่มควบคุม) มีค่าแรงต้านทานการแตกหักแตกต่างจากทุกกลุ่มการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าแรงต้านทานการแตกหักในกลุ่มเดือยฟันโลหะ เดือยฟันไฟเบอร์และแกนคอมพอสิต และเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิต ($p > 0.05$)

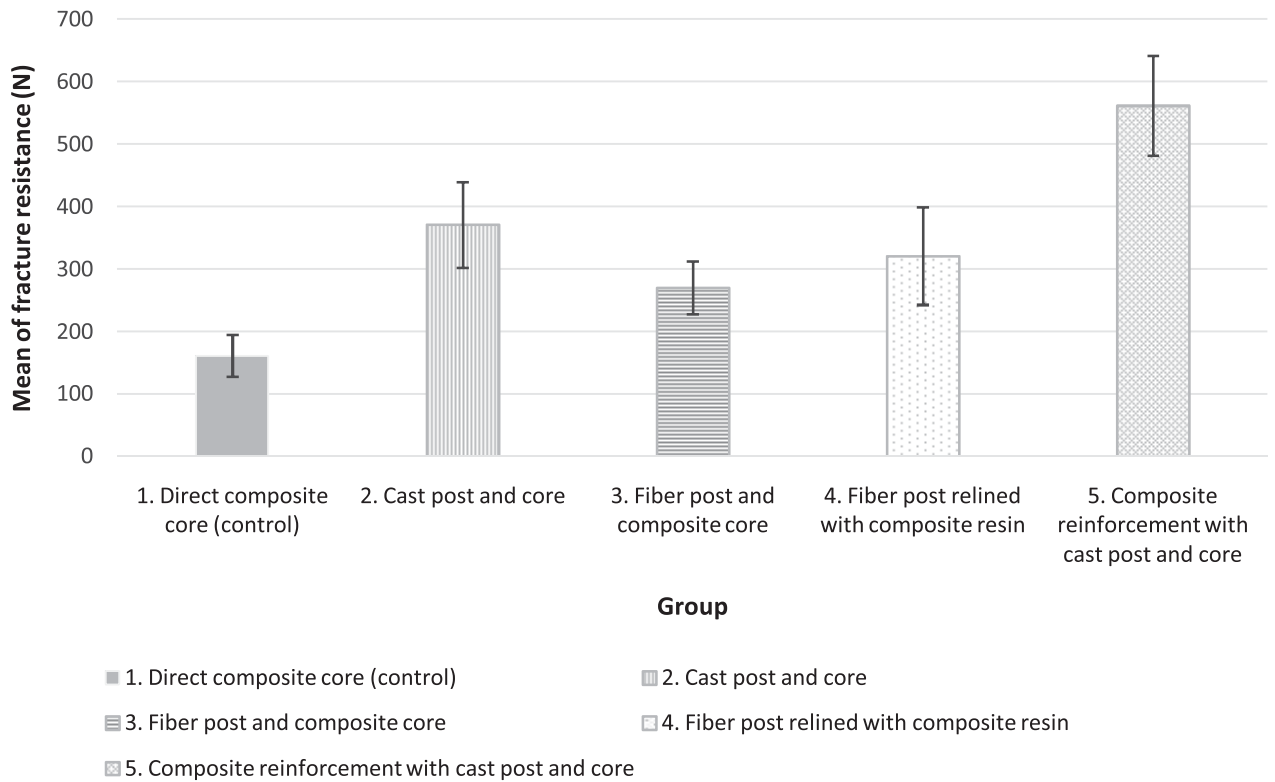
จากค่าเฉลี่ยของค่าแรงต้านทานการแตกหัก พบว่ากลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอสิต มีค่าเฉลี่ยของค่าแรงต้านทานการแตกหักสูงกว่ากลุ่มเดือยฟันโลหะ กลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิต กลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์และแกนคอมพอสิต และ กลุ่มเรซินคอมพอสิตโดยตรง (กลุ่มควบคุม) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าแรงต้านทานการแตกหักเฉลี่ย (N) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มการทดลอง

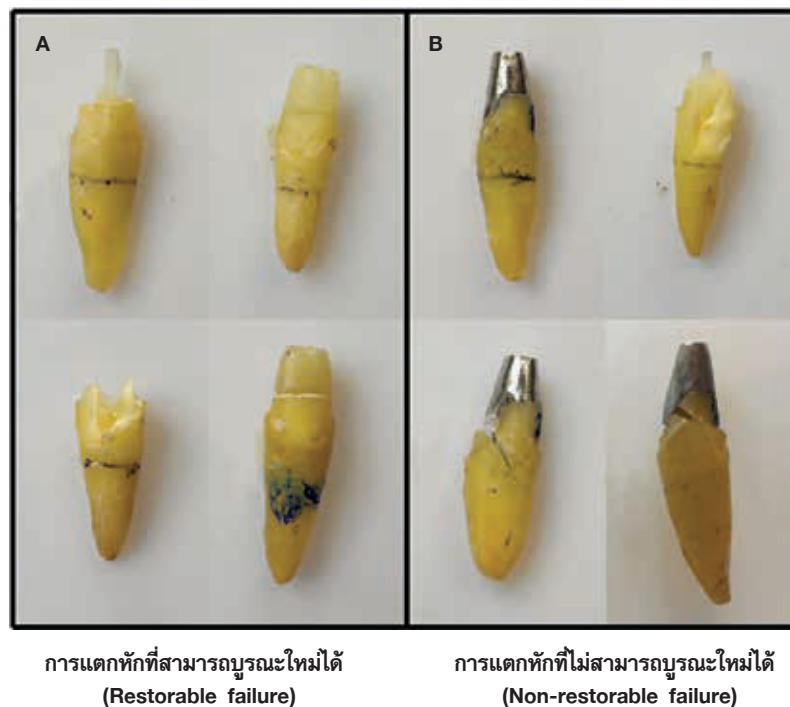
Table 1. Fracture resistance means (N) and standard deviation (SD) of each experimental group.

Group	Mean	SD
1. Direct composite core (control)	161.27 ^a	33.58
2. Cast post and core	370.81 ^b	68.39
3. Fiber post and composite core	270.05 ^b	42.04
4. Fiber post relined with composite resin	321.00 ^b	78.26
5. Composite reinforcement with cast post and core	561.49 ^c	80.01

อักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
Different alphabets indicate significant difference between the groups ($p < 0.05$)



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าแรงต้านทานการแตกหักเฉลี่ย (N) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มการทดลอง
 Fig 4. Graph shows fracture resistance means (N) and standard deviation (SD) of each experimental group.



รูปที่ 5 ลักษณะการแตกหัก A: การแตกหักที่สามารถบูรณะใหม่ได้ (ซ้าย) และ B: การแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะใหม่ได้ (ขวา)
 Fig 5. Failure mode A: Restorable failure (left) B: Non-restorable failure (right).

สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะการแตกหักแสดงในรูปที่ 5 และค่าร้อยละของลักษณะการแตกหัก (ตารางที่ 2) ที่สามารถบูรณะใหม่ได้และการแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะได้ซึ่งพบว่ากลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 5 มีลักษณะการแตกหักที่ไม่

สามารถบูรณะได้ และร้อยละ 66.67 ของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 มีลักษณะการแตกหักที่สามารถบูรณะใหม่ได้ ส่วนในกลุ่มควบคุมพบว่ามีลักษณะการแตกหักที่สามารถบูรณะใหม่ได้ทั้งหมด

ตารางที่ 2 ร้อยละของลักษณะการแตกหักในแต่ละกลุ่มการทดลอง

Table 2. Percentage of failure mode in each experimental group.

Failure mode	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5
Restorable	100	0	66.67	66.67	0
Non-restorable	0	100	33.33	33.33	100

บทวิจารณ์

จากการศึกษาครั้งนี้ปฏิเสฐสมมติฐานข้างต้นและสรุปได้ว่าเดือยฟันแต่ละชนิดในฟันหลังรักษารากที่มีคลองรากฟันผายมีค่าแรงต้านทานการแตกหักที่แตกต่างกัน โดยในกลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอลิตมีค่าแรงต้านทานการแตกหักสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ และกลุ่มควบคุมที่เป็นกลุ่มเรซินคอมพอลิตโดยตรงมีค่าแรงต้านทานการแตกหักต่ำที่สุด ส่วนลักษณะการแตกหักของกลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะ และกลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอลิต เป็นลักษณะการแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะได้ เช่น แตกหักแนวเฉียงบริเวณส่วนกลางราก ส่วนกลุ่มของเดือยฟันไฟเบอร์และแกนคอมพอลิต และเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอลิต ส่วนใหญ่เป็นลักษณะการแตกหักที่สามารถบูรณะได้

ในอดีตการใช้เดือยและแกนฟันโลหะบูรณะในฟันหลังรักษารากที่มีคลองรากฟันผายเป็นที่นิยม เนื่องจากฟันสูญเสียโครงสร้างไปมาก และด้วยคุณสมบัติของตัวโลหะผสมที่มีค่ามอดุลัสสภาพยืดหยุ่นสูงมาก เป็นผลให้เดือยฟันบิดงอได้ยากในภาวะรับแรง ทำให้มีความแข็งแรงสูง นอกจากนี้คลองรากฟันผายทำให้เดือยและแกนฟันโลหะมีขนาดใหญ่และหนาตามรูปร่างคลองรากฟัน จึงทำให้ค่าแรงต้านทานการแตกหักมากกว่าเดือยและแกนฟันโลหะในคลองรากฟัน

ขนาดเล็กกว่า ในการวิจัยครั้งนี้พบว่า เดือยและแกนฟันโลหะมีค่าแรงต้านทานการแตกหักสูงกว่ากลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์และแกนคอมพอลิต สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yoldas และคณะที่ศึกษารูปแบบแรงเครียดในฟันหลังรักษารากที่มีคลองรากฟันผายที่บูรณะด้วยเดือยฟันรูปแบบต่างๆ กัน [4] แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัววัสดุโลหะมีความแข็งแรงมาก จึงไม่เกิดการบิดตัวและสะสมแรงที่ได้รับไว้สูง ชั้นซีเมนต์ที่ยึดติดจะรับแรงจากเดือยฟันโลหะมาก และเกิดการยึดไม่อยู่ (adhesive failure) เสมือนเดือยฟันโลหะไม่ยึดติดกับฟันและมีสภาพเป็นเหมือนลิ่มตอกฟัน ทำให้เกิดการแตกหักของรากฟันได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่พบว่ากลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะและกลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอลิตมีลักษณะการแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะต่อได้ นอกจากนี้การศึกษาของ Fokkinga และคณะเกี่ยวกับการวิเคราะห์รูปแบบการแตกหักของเดือยฟันต่างชนิดในคลินิก พบว่าเดือยฟันโลหะที่ใช้บูรณะในฟันหลังรักษารากฟันมีโอกาสดังกล่าวหรือครอบฟันแตกหักถึงร้อยละ 13.2 [19]

อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการพัฒนาเดือยฟันไฟเบอร์ที่มีค่ามอดุลัสสภาพยืดหยุ่นต่ำและมีความสามารถในการกระจายแรงไปตลอดความยาวของเดือยฟัน ทำให้เดือยฟันชนิดนี้สามารถถ่ายทอดแรงจากเดือยฟันไปสู่โครงสร้าง

เนื้อฟันที่เหลืออยู่ได้ เป็นการลดการสะสมแรงที่ตัวเดือย นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติของวัสดุและหลักการบูรณะที่เป็นลักษณะโมโนบล็อก (monobloc) ที่ช่วยถ่ายทอดแรง [20] สามารถลดการแตกหักของรากฟันได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ferrari และคณะที่ศึกษาเกี่ยวกับการบูรณะฟันด้วยเดือยฟันไฟเบอร์ [21]

ในการศึกษานี้ใช้เรซินคอมพอสิตชนิดเหลวยึดเดือยฟันไฟเบอร์ แต่ลักษณะรูปร่างคลองรากฟันที่ผายและมีช่องว่างระหว่างเดือยฟันและผนังคลองราก จึงทำให้โอกาสเกิดรูพรุนหรือฟองอากาศตกค้างอยู่ในเนื้อวัสดุมาก ซึ่งเป็นจุดอ่อนที่จะเกิดรอยแตกเริ่มต้นและลดการยึดติดของเดือยฟัน [22] เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิตโดยลอกเลียนลักษณะภายในคลองรากฟัน ทำให้เกิดความแนบสนิทของเดือยฟันและผนังคลองรากฟัน เป็นผลทำให้ค่าแรงต้านทานการแตกหักของกลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์และแกนคอมพอสิตต่ำกว่ากลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอสิตสอดคล้องกับการศึกษาของ Chieffi และคณะ [23]

องค์ประกอบของเรซินคอมพอสิตประกอบด้วยเมทริกซ์ (matrix) และ วัสดุอัดแทรก (filler) ทำให้มีคุณสมบัติทางกลคล้ายคลึงกับเนื้อฟันและสามารถใช้บูรณะในงานบูรณะ [24] ดังนั้นการเสริมความแข็งแรงโครงสร้างภายในคลองรากฟันด้วยวัสดุที่มีความเข้ากันได้กับเนื้อฟันจึงเหมาะสมกว่าการแทนที่ด้วยเดือยฟันโลหะที่มีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงซึ่งทำให้มีแนวโน้มรากแตกหักได้ง่าย [3] เป็นเหตุผลที่ทำให้กลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอสิตมีค่าแรงต้านทานการแตกหักสูงที่สุดในการทดลองนี้ เนื่องจากเป็นเทคนิคการบูรณะที่ใช้คุณสมบัติของวัสดุสองชนิดรวมกันคือ เรซินคอมพอสิตที่เสริมผนังคลองรากฟันและช่วยกระจายแรงเมื่อบดเคี้ยว [25] กับเดือยฟันโลหะที่มีความแข็งแรงสูง และมีความแนบสนิทกับคลองรากฟัน ช่วยลดความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lui [15] นอกจากนี้ยังพบว่าช่องว่างสำหรับเดือยฟันหลังเสริมคลองรากฟันควรบูรณะด้วยเดือยฟันทรงขนานและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย เพราะจะให้การยึดติดและความแข็งแรงมากกว่าเดือยฟันทรงสอบและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ [26] อย่างไรก็ตามการใช้เดือยฟันโลหะจะ

เกิดการสะสมความเครียดทำให้เกิดรอยแยกระหว่างเดือยฟันโลหะ เรซินคอมพอสิต และผนังคลองรากฟัน นำมาสู่การแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะได้ [27]

จากการศึกษาของ Kimmel ได้ให้ข้อพิจารณาการบูรณะฟันหลังรักษาคลองรากฟันผายด้วยเดือยฟัน เพื่อเสริมโครงสร้างในส่วนที่หายไป มีหลักดังนี้ เดือยฟันมีความแนบสนิทกับคลองรากฟัน กำจัดเนื้อฟันที่เหลืออยู่ให้น้อยที่สุด มีความแข็งแรง มีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นที่เหมาะสมต่อการดูดซับและกระจายแรง เสริมความแข็งแรงของรากฟัน มีเทคนิคการทำงาน และสามารถยับยั้งรอยแตกไม่ให้ลุกลามไปถึงบริเวณเนื้อเยื่อปริทันต์ [28]

การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า การใส่ครอบฟันอาจบดบังผลของเทคนิคการบูรณะเดือยและแกนฟันที่แตกต่างกันได้ [29] ในงานวิจัยนี้พบว่า ค่าแรงต้านทานการแตกหักของเดือยฟันต่างชนิดกันอยู่ระหว่าง 270-570 นิวตัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dikbas และคณะ ที่ทำการทดสอบแรงต้านทานการแตกหักของเดือยและแกนฟันร่วมกับการใส่ครอบฟัน [30]

การศึกษานี้ทดสอบชิ้นงานด้วยแรงสถิต (static loading test) ซึ่งมักใช้ประเมินค่าแรงต้านทานการแตกหักของเดือยฟันในฟันหลังรักษาคลองรากฟัน [31] ถึงแม้ว่าแรงที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นนี้จะจำลองสภาพแรงกระแทกที่เกิดจากอุบัติเหตุทางกีฬาหรือการใช้งานที่ผิดปกติอย่างการนอนกัดฟัน [28] แต่งานบูรณะในทางคลินิก ไม่ได้เกิดความล้มเหลวหลังจากนั้นทันที ดังนั้นหากมีการศึกษาเพิ่มเติมข้างหน้า ควรจะมีการทดสอบแรงพลวัต (dynamic loading test) เพื่อทดสอบความล้าของวัสดุและจำลองสภาพการใช้งานในช่องปากเสมือนจริงด้วย [32] การศึกษานอกกาย (*in vitro* study) มีข้อจำกัดหลายอย่างเกี่ยวกับการจำลองงานปฏิบัติการให้เหมือนกับสภาพจริง เช่น สภาพช่องปาก แรงบดเคี้ยวที่ในความเป็นจริง ไม่ได้มีเพียงแต่แรงกดอัด (compressive strength) แต่ยังมีแรงเฉือน (shear strength) และแรงดึง (tensile strength) ด้วย ดังนั้นในอนาคต การศึกษาในกาย (*in vivo* study) จึงมีความสำคัญเพื่อยืนยันผลการวิจัยที่ได้จากครั้งนี้ว่าสอดคล้องกันหรือไม่

บทสรุป

ภายใต้สภาวะจำกัดของการทดลองนี้ พบว่าฟันหลังรักษาคลองรากฟันผายที่บูรณะด้วย เดือยและแกนฟันโลหะที่เสริมเรซินคอมพอลิตมีค่าแรงต้านทานการแตกหักสูงที่สุดตามด้วยกลุ่มเดือยและแกนฟันโลหะ เดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอลิต เดือยฟันไฟเบอร์และแกนคอมพอลิต และกลุ่มที่บูรณะด้วยเรซินคอมพอลิตโดยตรง ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ลักษณะการแตกหักของกลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอลิต เป็นการแตกหักที่สามารถบูรณะได้ ดังนั้น เดือยฟันไฟเบอร์ร่วมกับเรซินคอมพอลิตจึงเป็นทางเลือกในการบูรณะฟันที่มีคลองรากฟันผาย

เอกสารอ้างอิง

1. Santos-Filho PC, Veríssimo C, Soares PV, Saltarelo RC, Soares CJ, Marcondes Martins LR. Influence of ferrule, post system, and length on biomechanical behavior of endodontically treated anterior teeth. *J Endod* 2014; 40(1): 119-123.
2. Tait CM, Ricketts DN, Higgins AJ. Weakened anterior roots – intraradicular rehabilitation. *Br Dent J* 2005; 198(10): 609-617.
3. Tjan AH, Whang SB. Resistance to root fracture of dowel channels with various thicknesses of buccal dentin walls. *J Prosthet Dent* 1985; 53(4): 496-500.
4. Yoldas O, Akova T, Uysal H. An experimental analysis of stresses in simulated flared root canals subjected to various post-core applications. *J Oral Rehabil* 2005; 32(6): 427-432.
5. Morgano SM, Brackett SE. Foundation restorations in fixed prosthodontics: current knowledge and future needs. *J Prosthet Dent* 1999; 82(6): 643-657.
6. Coelho CS, Biffi JC, Silva GR, Abrahão A, Campos RE, Soares CJ. Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts. *Dent Mater J* 2009; 28: 671-678.
7. Silva GR, Santos-Filho PC, Simamoto-Júnior PC, Martins LR, Mota AS, Soares CJ. Effect of post type and restorative techniques on the strain and fracture resistance of flared incisor roots. *Braz Dent J* 2011; 22(3): 230-237.
8. Teixeira CS, Silva-Sousa YT, Sousa-Neto MD. Bond strength of fiber posts to weakened roots after resin restoration with different light-curing times. *J Endod* 2009; 35(7): 1034-1039.
9. Maccari PC, Cosme DC, Oshima HM, Burnett LH Jr, Shinkai RS. Fracture strength of endodontically treated teeth with flared root canals and restored with different post systems. *J Esthet Restor Dent* 2007; 19(1): 30-36.
10. Santos AF, Meira JB, Tanaka CB, Xavier TA, Ballester RY, Lima RG, et al. Can fiber posts increase root stresses and reduce fracture? *J Dent Res* 2010; 89(6): 587-591.
11. D’Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D’Amario M. The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *J Prosthet Dent*. 2007; 98(3): 193-198.
12. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Borracchini A, Ferrari M. SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. *J Adhes Dent* 2005; 7(3): 235-240.
13. Boudrias P, Sakkal S, Petrova Y. Anatomical post design meets quartz fiber technology: rationale and case report. *Compend Contin Educ Dent* 2001; 22(4): 337-340.

14. Grandini S, Sapio S, Simonetti M. Use of anatomic post and core for reconstructing an endodontically treated tooth: a case report. *J Adhes Dent* 2003; 5(3): 243-247.
15. Lui JL. Composite resin reinforcement of flared canals using light-transmitting plastic posts. *Quintessence Int* 1994; 25(5): 313-319.
16. Pires JA, Cvitko E, Denehy GE, Swift EJ Jr. Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int* 1993; 24(7): 517-521.
17. Mezzomo LA, Corso L, Marczak RJ, Rivaldo EG. Three-dimensional FEA of effects of two dowel-and-core approaches and effects of canal flaring on stress distribution in endodontically treated teeth. *J Prosthodont* 2011; 20(2): 120-129.
18. Silva GR, Santos-Filho PC, Simamoto-Júnior PC, Martins LR, Mota AS, Soares CJ. Effect of post type and restorative techniques on the strain and fracture resistance of flared incisor roots. *Braz Dent J* 2011; 22(3): 230-237.
19. Fokkinga WA, Kreulen CM, Vallittu PK, Creugers NH. A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. *Int J Prosthodont* 2004; 17(4): 476-482.
20. Ferrari M, Cagidiaco MC, Goracci C, Vichi A, Mason PN, Radovic I, et al. Long-term retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent* 2007; 20(5): 287-291.
21. Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of fiber-resin forced epoxy-resin posts and cast post-and-core. *Am J Dent* 2000; 13 (Spec No): 15B-18B.
22. Clavijo VG, Reis JM, Kabbach W, Silva AL, Oliveira Junior OB, Andrade MF. Fracture strength of flared bovine roots restored with different intraradicular posts. *J Appl Oral Sci* 2009; 17(6): 574-578.
23. Chieffi N, Chersoni S, Papacchini F, Vano M, Goracci C, Davidson CL, Tay FR, Ferrari M. The effect of application sustained seating pressure on adhesive luting procedure. *Dent Mater* 2007; 23(2): 159-164.
24. William JO. *Dental Materials and Their Selection*. 3rd ed. Chicago (IL), Quintessence Publishing; 2002. p.113-131.
25. Boschian Pest L, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dent Mater* 2002; 18(8): 596-602.
26. Mattison GD. Photoelastic stress analysis of cast-gold endodontic posts. *J Prosthet Dent* 1982; 48(4): 407-411.
27. Anusornsuwan S, Limlawan T. Restoration of flared root canal. *SWU Dent J* 2013; 6(1): 66-76.
28. Kimmel SS. Restoration of endodontically treated tooth containing wide or flared canal. *N Y State Dent J* 2000; 66(10): 36-40.
29. Al-Wahadni AM, Hamdan S, Al-Omiri M, Hammad MM, Hatamleh MM. Fracture resistance of teeth restored with different post systems: in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106(2): e77-83.
30. Dikbas I, Tanalp J, Ozel E, Koksall T, Ersoy M. Evaluation of the effect of different ferrule designs on the fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors incorporating fiber posts, composite cores and crown restorations. *J Contemp Dent Pract* 2007; 8(7): 62-69.
-

31. Hu S, Osada T, Shimizu T, Warita K, Kawawa T. Resistance to cyclic fatigue and fracture of structurally compromised root restored with different post and core restorations. Dent Mater J 2005; 24(2): 225-231.

32. Krejci I, Lutz F. In-vitro test results of the evaluation of dental restoration systems. Correlation with in-vivo results. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1990; 100(12): 1445-1449.

ติดต่อขอความ:

พศ.ทพญ.ดร. ณปภา เอี่ยมจิรกุล
ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110
โทรศัพท์ 02-649-5212
จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ napapa@g.swu.ac.th

Corresponding author:

Assistant Professor Dr. Napapa Aimjirakul
Department of Conservative Dentistry
and Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Srinakharinwirot University,
Sukhumwit 23, Wattana, Bangkok 10110
Tel: 02-649-5212
E-mail: napapa@g.swu.ac.th