



ความต้านทานต่อการแตกหักของฟันซึ่งได้รับการรักษาคลองรากที่มีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์เมื่อบูรณะ
ด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต

**Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth with Incomplete Crown Ferrules
Restored with Quartz Fiber Posts and Resin Cores**

พะนอจิต เมืองอำพัน

Panorjit Muangamphan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Oral Health Sciences**

Prince of Songkla University

2552

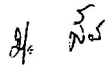
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์ ความต้านทานต่อการแตกหักของฟันซึ่งได้รับการรักษาคลองรากที่มีเฟอร์รูต
ไม่สมบูรณ์เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต
ผู้เขียน นางสาวพะนอจิต เมืองอำพัน
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

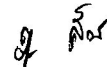
คณะกรรมการสอบ





(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญรัตน์ สัตพันธ์)

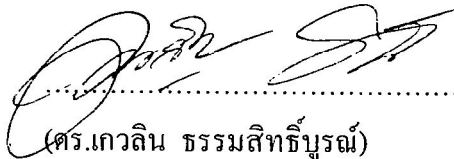
ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ เลิศจิราการ)



กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญรัตน์ สัตพันธ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม





(ดร.เกวลิน ธรรมสิทธิ์บุรณ์)

กรรมการ
(ดร.เกวลิน ธรรมสิทธิ์บุรณ์)



กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีระชัย ธรรมวานิช)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
สุขภาพช่องปาก

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ความต้านทานต่อการแตกหักของฟันซึ่งได้รับการรักษาคลองรากที่มีเฟอร์- รูลไม่สมบูรณ์เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนเรซินคอม- โพสิต
ผู้เขียน	นางสาวพะนอจิต เมืองอำพัน
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพช่องปาก
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

การศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าการสร้างให้เกิดเฟอร์รูลโดยรอบ (360 องศา) ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคลองราก อย่างไรก็ตามยังมีความขัดแย้งในเรื่องความต้านทานต่อการแตกหักของฟันกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของฟันและรูปแบบการแตกของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟันกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน ทำการศึกษาแรงต้านการแตกหักโดยแบ่งฟันตัดหน้าบนที่ได้รับการรักษาคลองรากออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ ได้แก่ กลุ่ม 2FR มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบตัวฟัน กลุ่ม 0FR ไม่มีเฟอร์รูล กลุ่ม 2FR-B มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านริมฝีปาก กลุ่ม 2FR-Pa มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านเพดาน และกลุ่ม 2FR-BMPa มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านริมฝีปาก ด้านใกล้กลาง และด้านเพดาน บูรณะฟันทุกกลุ่มด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟันโลหะ ทดสอบความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน โดยวางหัวกดบนรอยบากด้านเพดานของครอบฟัน ทำมุม 135 องศา กับแนวแกนฟัน ให้แรงกับฟันแบบคงที่ อัตราเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตร/นาที บันทึกค่าแรงที่ทำให้รากฟัน เดือยฟัน หรือแกนฟันแตก วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว และทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทุคีย์ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดาน ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันสูงสุดในกลุ่ม 2FR-BMPa (778.14 ± 224.81 นิวตัน) รองลงมาคือกลุ่ม 2FR-Pa (735.98 ± 191.14 นิวตัน) 2FR (668.92 ± 170.49 นิวตัน) 2FR-B (454.71 ± 57.89 นิวตัน) และ 0FR (425.42 ± 141.07 นิวตัน) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดาน พบว่าค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักในกลุ่ม 2FR-BMPa กลุ่ม 2FR-Pa และกลุ่ม 2FR มีค่าสูงสุด และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ($p < 0.05$) ในขณะที่กลุ่ม 2FR-B และกลุ่ม 0FR (3)

ให้ค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักน้อยสุดโดยไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) และพบว่า กลุ่ม 2FR-B และกลุ่ม 0FR ให้ค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักน้อยกว่ากลุ่ม 2FR-BMPa กลุ่ม 2FR-Pa และกลุ่ม 2FR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) รูปแบบการแตกของฟันพบว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูล ส่วนมากเป็นการแตกในแนวเฉียงจากด้านเพดานบริเวณคอฟันไปยังรากฟันด้านแก้ม ส่วนในกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล ส่วนมากเป็นการแตกแนวระนาบระดับรอยต่อของแกนฟันกับรอยต่อของเคลือบฟัน และเคลือบรากฟัน และพบการแตกแนวระนาบระดับต่ำกว่าขอบบนของบล็อกเรซินอะคริลิก ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้สรุปได้ว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดาน ค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักของฟันที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานหรือด้านเดียวกับแรงที่ทำกับฟันมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม หรือไม่มีเฟอร์รูล

Thesis Title	Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth with Incomplete Crown Ferrules Restored with Quartz Fiber Posts and Resin Cores
Author	Miss Panorjit Muangamphan
Major Program	Oral Health Sciences
Academic Year	2009

ABSTRACT

The *in vitro* studies have shown that the 360 degrees of complete crown ferrules increase fracture resistance of endodontically treated teeth. However, the results of incomplete crown ferrules on fracture resistance are controversy. The purpose of this study was to investigate the effect of incomplete crown ferrule on the fracture resistance and mode of failure of endodontically treated teeth restored with quartz fiber posts, resin cores and crowns. Fifty maxillary incisors were endodontically treated and divided into five groups ($n = 10$): group 2FR, 2-mm circumferential ferrule; group 0FR, no ferrule; group 2FR-B, 2-mm ferrule only in buccal region; group 2FR-Pa, 2-mm ferrule only in palatal region and group 2FR-BMPa, 2-mm ferrule in buccomesiopatal region. Teeth were restored with quartz fiber posts, resin cores and metal crowns. A compressive load was applied to the palatal notch with a crosshead speed of 1 mm/min at an angle of 135 degrees to the long axis of teeth until failure occurred. Statistical analysis was performed with one-way analysis of variance and the Turkey Honestly Significant Different test ($\alpha = .05$). The mode of failure was determined by stereomicroscope for all specimens. Group 2FR-BMPa showed the highest mean fracture load at 778.14 ± 224.81 N, followed by group 2FR-Pa, 735.98 ± 191.14 N, group 2FR, 668.92 ± 170.49 N, group 2FR-B, 454.71 ± 57.89 N, and group 0FR, 425.42 ± 141.07 N, respectively. Group 2FR-BMPa, group 2FR-Pa and group 2FR showed the highest resistance to fracture and no statistically significant difference was found between groups ($p > .05$). Group 2FR-B and group 0FR yielded the lowest resistance to fracture and no statistically significant difference was found between groups ($p > .05$). The fracture resistance in group 2FR-B and group 0FR were significantly lower than that of the group 2FR-BMPa, group 2FR-Pa and group 2FR ($p < .05$). The mode of failure was an oblique palatal to

facial root fracture for the groups with ferrules. In the groups without ferrules, horizontal root fracture at the junction between the core base and the tooth root and the middle third of the root just below the acrylic resin block was the predominant mode of failure. Within the limitations of this study, it can be concluded that when a compressive load was applied to the palatal surface, the presence of palatal ferrule provided the highest fracture resistance to the tooth restored with quartz fiber posts, resin cores and crowns.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูป	(10)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การทบทวนวรรณกรรม	2
วัตถุประสงค์	17
2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	18
3 ผลการวิจัย	30
4 บทวิจารณ์	35
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	47
ประวัติผู้เขียน	51

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า	
1	เดือยพินที่ใช้ในการศึกษา	25
2	ระบบสารยึดติดที่ใช้ในการศึกษา	26
3	เรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษา	26
4	สารยึดติดกับผนังคลองรากฟันที่ใช้ในการศึกษา	27
5	ค่าเฉลี่ยขนาดรากฟัน ความยาวรากฟัน แรงด้านการแตกหักของพิน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่ม	30
6	การทดสอบข้อมูลด้วยการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA)	32

รายการรูป

รูปที่	หน้า
7 ชุดโพรเทปเปอร์ที่ใช้เตรียมคลองรากฟัน	21
8 เครื่องเอ็กซ-สมาร์ทอิเล็กทรอนิกส์และด้ามกรอ	21
9 กลุ่ม 2FR	22
10 กลุ่ม 0FR	23
11 กลุ่ม 2FR-B	23
12 กลุ่ม 2FR-Pa	23
13 กลุ่ม 2FR-BMPa	23
14 เดือยฟันดีทีไลท์เบอร์ 3 และเข็มกรอสำหรับเตรียมคลองรากฟัน	24
15 กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 32 สารยึดติด สารยึดติดกับผนังคลองรากฟัน และเรซินคอมโพสิต	25
10 การเคลื่อนย้ายขลุ่ยแบบที่รากฟัน	28
11 รากฟันที่ได้รับการเคลื่อนย้ายขลุ่ยแบบ	28
12 ตำแหน่งหัวกดที่กดลงบนรอยบากบนครอบฟัน และแรงกดที่ทำมุม 135 องศา กับแนวแกนฟัน	29
13 boxplot แสดงค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากกรณีมีเฟอร์รูลในตำแหน่งต่างกัน	31
14 รูปแบบและความถี่ของการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลในตำแหน่งต่างกัน ลูกศรชี้ขึ้นแสดงความถี่ของการหลุดของเดือยฟัน แกนฟันและครอบฟันแบบสมบูรณ์	34

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

การบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากมีบทบาททางทันตกรรมอย่างมาก เพื่อให้ฟันมีลักษณะทางกายวิภาคที่เหมาะสมและทำหน้าที่ในช่องปากได้ปกติ เนื่องจากฟันที่รักษาคลองรากมาแล้วมักสูญเสียเนื้อฟันจาการรอยโรคเดิมและจากการกรอเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟัน ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้ส่งผลต่อการเพิ่มโอกาสของการแตกหักของฟันในระหว่างการใช้งานในช่องปาก ดังนั้นการวางแผนการบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในกรณีที่เนื้อฟันเหลืออยู่น้อย มีการแนะนำให้ดึงฟันด้วยเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน (orthodontic extrusion)^{1, 2} หรือทำศัลยกรรมเพิ่มความสูงตัวฟัน (periodontal crown lengthening)^{1, 2} ส่วนกรณีที่พิจารณาแล้วพบว่าไม่สามารถบูรณะฟันซี่นั้นได้แนะนำให้ถอนฟันซี่นั้นออก² แต่ถ้าพิจารณาแล้วพบว่าสามารถบูรณะฟันซี่นั้นได้มักแนะนำให้บูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟัน² ในปัจจุบันการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูป แกนเรซินคอมโพสิต และครอบฟันเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบูรณะฟันหน้าที่ได้รับการรักษาคลองรากนอกเหนือจากการบูรณะด้วยเดือยฟันเหวี่ยงและครอบฟัน เนื่องจากฟันหน้าต้องการความสวยงามและการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปใช้ระยะเวลาในการทำในคลินิกน้อย

การออกแบบเดือยฟัน แกนฟัน และครอบฟันมีความสำคัญต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวในการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองราก ปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน คือการสร้างให้เกิดเฟอร์รูล จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการออกแบบให้มีเฟอร์รูลช่วยลดการเกิดรากฟันแตกได้³⁻¹⁰ เฟอร์รูลหมายถึงการมีเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างแนวเส้นศูตรรอยต่อของฟันที่กรอแต่งแล้วกับรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและแกนฟันโดยรอบ Barkhordar และคณะ⁵ พบว่าการออกแบบให้มีเฟอร์รูลลดอุบัติการณ์การเกิดรากฟันแตกได้นอกจากนี้ยังพบรูปแบบการแตกในแนวราบมากกว่าการแตกในแนวตั้งซึ่งพบในกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล และรูปแบบการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลสามารถให้การบูรณะซ้ำได้ สำหรับความสูงของเฟอร์รูลที่ตำแหน่งต่างๆรอบตัวฟันก็มีความสำคัญเช่นกัน โดยพบว่ามีความสัมพันธ์กับแรงที่กระทำบนฟัน (functional occlusal loading) จากการศึกษาของ Nicholls ในปี ค.ศ.2001¹⁰ พบว่าฟันตัดหน้าบนที่

มีความสูงของเฟอร์รูลด้านเพดานมากกว่าตำแหน่งอื่นๆจะต้านต่อการแตกหักของฟันได้ดี ส่วนฟันตัดหน้าล่างพบว่าการมีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆจะให้ผลต้านต่อการแตกหักได้ดีกว่า ดังนั้น Nicholls จึงแนะนำว่าควรให้มีความสูงของเฟอร์รูลด้านริมฝีปากและด้านเพดาน 1.5 มิลลิเมตร ส่วนความสูงของเฟอร์รูลด้านใกล้กลางและไกลกลาง 1 มิลลิเมตรก็เพียงพอ เนื่องจากความสูงดังกล่าวช่วยลดความเค้นเมื่อมีแรงมากระทำบนฟัน

ในทางคลินิกมักพบว่าฟันที่รักษาคลองรากสูญเสียเนื้อฟันไปมาก ทำให้ไม่สามารถกรอแต่งเนื้อฟันให้มีเฟอร์รูลได้โดยรอบ จึงอาจส่งผลต่อการพยากรณ์ของฟันซี่นั้นได้ และจากการศึกษาที่ผ่านมายังมีความขัดแย้งในเรื่องความต้านทานต่อการแตกหักของฟันในฟันหน้าบนกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างๆ เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูป แกนเรซินคอมโพสิต และครอบฟันว่าการมีเฟอร์รูลตำแหน่งใดที่ช่วยต้านต่อแรงที่มากระทำได้ดีกว่า ทำให้ขาดข้อมูลพื้นฐานในการทำนายความสำเร็จหรือความล้มเหลวภายหลังการบูรณะฟันในกรณีดังกล่าว

การทบทวนวรรณกรรม

การเกิดโรคของเนื้อเยื่อในโพรงฟันและเนื้อเยื่อรอบรากฟัน มีสาเหตุจากฟันผุ (caries) การทำหัตถการต่างๆ (operative procedures) หรือการได้รับอุบัติเหตุ (traumatic injury) ซึ่งสิ่งกระตุ้นเหล่านี้หากไม่รุนแรงอาจก่อให้เกิดการตอบสนองของเนื้อเยื่อในโพรงฟันเป็นการอักเสบแบบผันกลับ (reversible pulpitis) เมื่อกำจัดสาเหตุออก เช่น การกำจัดเนื้อฟันที่ผุและอุดฟัน แต่หากปัจจัยเหล่านี้เกิดร่วมกับมีช่องทางให้แบคทีเรียหรือสารพิษของแบคทีเรียเข้าสู่เนื้อเยื่อในโพรงฟัน จะทำให้การอักเสบรุนแรงขึ้นจนเนื้อเยื่อในโพรงฟันอักเสบและไม่สามารถผันกลับสู่สภาพปกติ (irreversible pulpitis) และหากไม่ได้รับการรักษาที่ถูกต้อง โรคจะลุกลามต่อไปจนกระทั่งทำให้เนื้อเยื่อในโพรงฟันตาย (pulpal necrosis) และเกิดโรคของเนื้อเยื่อรอบรากฟัน (periradicular disease) ตามมา การรักษาในกรณีที่เนื้อเยื่อในโพรงฟันไม่สามารถผันกลับสู่สภาพปกติได้ ฟันตายหรือเกิดโรคของเนื้อเยื่อรอบรากฟันคือการรักษาคลองรากฟัน (root canal treatment)

ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากมักเป็นฟันที่มีการสูญเสียเนื้อฟันไปมาก (extensive tooth destruction) จากการผุกว้างและลึกถึงโพรงในตัวของฟันหรือการได้รับอุบัติเหตุจนทำให้ฟันแตกหัก สูญเสียเนื้อฟันบางส่วนไป รวมทั้งการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันและการเตรียมคลองรากฟันซึ่งทำให้สูญเสียเนื้อฟันเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โครงสร้างเนื้อฟันที่เหลือภายหลังการรักษาคลองรากฟันอาจแตกต่างจากปกติ Rivera และ Yamauchi¹¹ พบว่าการเรียงตัวของเส้นใยคอลลาเจนในเนื้อฟันของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากต่างจากฟันปกติ เนื่องจากการเชื่อมต่อพันธะเคมีของเส้นใยคอลลาเจนที่ไม่สมบูรณ์ (immature crosslink) เป็นจำนวนมาก ทำให้ฟันที่ได้รับการรักษาคลองราก

มีความทนแรงดึง (tensile strength) ลดลงและมีความเปราะของฟันเพิ่มขึ้น Helfer Melnick และ Schilder¹² พบว่าฟันที่ได้รับการรักษาลงรากมีความขึ้นเพียงร้อยละ 9 เมื่อเทียบกับฟันปกติซึ่งมีความขึ้นร้อยละ 15.5 แต่การศึกษาของ Huang Schilder และ Nathanson¹³ และ Papa Cain และ Messer¹⁴ พบว่าความขึ้นของฟันที่ได้รับการรักษาลงรากไม่แตกต่างจากฟันปกติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Sedgley และ Messer¹⁵ ที่พบว่าคุณสมบัติทางชีวกลศาสตร์ ได้แก่ ความทนแรงเฉือนแบบกด (punch shear strength) การทนความเค้น (toughness) ความแข็ง (hardness) และแรงที่ใช้การทดสอบการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาลงรากและฟันปกติไม่แตกต่างกัน ดังนั้นฟันที่ได้รับการรักษาลงรากจึงไม่น่าเปราะกว่าฟันปกติ การที่ฟันที่ได้รับการรักษาลงรากแตกหักง่ายกว่าฟันปกติน่าจะเนื่องมาจากการสูญเสียเนื้อฟันไปมาก

ดังนั้นหลังจากรักษาลงรากฟันเสร็จแล้วควรบูรณะฟันให้เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกหักของตัวฟันหรือรากฟัน (crown or root fracture) ภายหลัง ซึ่งการบูรณะฟันเหล่านี้ทำได้หลายวิธี เช่น การอุดฟัน การทำอุดฝัง (onlay) ทำครอบฟัน หรือทำเดือยฟันร่วมกับครอบฟัน วิธีการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาลงรากมาแล้ว ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ปริมาณเนื้อฟันบริเวณตัวฟัน (coronal tooth structure) ที่เหลือ¹⁶ ตำแหน่งฟัน (position of the tooth)^{16,17} และแรงที่กระทำบนฟัน¹⁶

ปริมาณเนื้อฟันที่เหลือมีผลต่อการพิจารณาวิธีการบูรณะฟัน หากสูญเสียเนื้อฟันน้อยจากการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันเท่านั้น ควรบูรณะด้วยวัสดุบูรณะฟัน เช่น แก้วไอโอโนเมอร์ (glass ionomer) เรซินคอมโพสิต (resin composite) หรืออะมัลกัม (amalgam) ในกรณีที่เนื้อฟันเหลือมากกว่าครึ่งหนึ่งของตัวฟัน อาจทำครอบฟันโดยไม่จำเป็นต้องใช้เดือยฟัน ยกเว้นมีการสบฟันรุนแรงหรือต้องใช้ฟันขึ้นนั้นเป็นหลักยึดของฟันเทียม ส่วนในกรณีที่เนื้อฟันเหลือน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของตัวฟัน ต้องใช้เดือยฟันเพื่อเชื่อมแกนฟันเข้ากับรากฟันแต่ไม่จำเป็นต้องกรอฟันเพื่อดำเนินการหมุนของเดือยฟัน (anti-rotation) เพราะเนื้อฟันที่เหลืออยู่สามารถต้านต่อการหมุนของเดือยฟันได้ในกรณีที่เนื้อฟันหายไปโดยรอบ ต้องใช้เดือยฟันร่วมกับครอบฟัน และควรกรอฟันเพื่อดำเนินการหมุนของเดือย¹⁸

ตำแหน่งฟันมีส่วนสำคัญในการรับแรงบดเคี้ยว Mentink และคณะ¹⁹ พบว่าฟันหน้ามีความเสี่ยงต่อการแตกสูง เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับแรงกระทำหลายแนว ดังนั้นถ้าเหลือเนื้อฟันมากควรบูรณะด้วยวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต²⁰ แต่ถ้าเหลือเนื้อฟันน้อยกว่าร้อยละ 50 จำเป็นต้องบูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟัน ส่วนฟันกรามน้อย ต้องพิจารณาในแง่การใช้งาน ปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ และแรงที่กระทำ เช่น กรณีฟันกรามน้อยมีความเค้นจากการทำงาน (functional stress) หากมีการสูญเสียอวัยวะปริทันต์ (periodontium) และต้องใช้เป็นหลักยึดของฟันเทียม ในกรณีนี้มีความจำเป็นต้องใช้เดือยฟันร่วมกับครอบฟัน²¹ ส่วนฟันหลังซึ่งปกติรับแรงใน

แนวโค้งมากกว่าแรงเฉือน และฟันหลังมีด้านสบฟัน (occlusal) แบ่งเป็นปุ่ม (cusp) จึงมีโอกาที่ฟันจะแตกถ้ามีแรงบดเคี้ยวมาก Panitvisai และ Messer²² พบว่าเมื่อฟันหลังได้รับการรักษาคงรูปฟัน ฟันจะอ่อนแอมากขึ้นเนื่องจากการกรอแต่งฟันเพื่อบูรณะด้วยวัสดุอุดฟันที่มีขนาดใหญ่ (extensive cavity preparation) และจากการกรอเปิดทางเข้าสู่โพรงในตัวของฟัน²² จำเป็นต้องบูรณะครอบคลุมตัวฟันและปุ่มฟัน (cuspal coverage restoration) เช่น การทำอุดฟัน หรือทำครอบฟันเพื่อป้องกันการแตกของตัวฟันและรากฟัน²² กรณีสูญเสียเนื้อฟันไปมากควรพิจารณาทำเคี้ยวร่วมกับครอบฟัน

กรณีพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคงรูปมีการสึกของฟัน (tooth wear) เนื่องจากการสึกเหตุบดเคี้ยว (attrition) การกัดครูดฟันโดยไม่รู้ตัว (bruxism) หรือมีแรงบดเคี้ยวมากโดยเฉพาะตำแหน่งด้านข้าง (lateral direction) ควรบูรณะฟันด้วยเดือยฟันและครอบฟัน¹⁶ ส่วนกรณีฟันที่ได้รับการรักษาคงรูปเป็นหลักยึดของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ซึ่งจะได้รับแรงมาก โดยเฉพาะฟันที่เป็นหลักยึดของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ขยายฐานเนื่องจากทำหน้าที่เป็นจุดหมุนและรับแรงบิด (torque) ขณะเคี้ยวอาหาร จึงมีโอกาที่ทำให้รากฟันแตกได้ จากการศึกษพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคงรูปและเป็นหลักยึดของฟันเทียมมีความล้มเหลวมากกว่าฟันที่ได้รับการรักษาคงรูปแต่ไม่ได้เป็นหลักยึดของฟันเทียม 2 เท่า²¹

จากรายงานการศึกษาพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคงรูปส่วนใหญ่มักต้องใช้เดือยฟันร่วมกับครอบฟัน ดังนั้นการเลือกใช้เดือยฟันจึงเป็นสิ่งสำคัญเพราะมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งาน^{3, 7, 23-26}

เดือยฟัน คือวัสดุส่วนที่อยู่ในคลองรากฟันซึ่งได้รับการเตรียมไว้เพื่อให้การยึดอยู่ (retention) กับแกนฟัน (core)²⁷ เมื่อเชื่อมต่อกับแกนฟันที่มีรูปร่างของตัวฟัน (coronal tooth structure) ที่เหมาะสมจะทำให้มีการยึดอยู่และการต้านต่อการหลุด (retention and resistant form) ของครอบฟัน

ชนิดของเดือยฟัน เมื่อแบ่งตามวิธีการผลิต สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท²⁷ ได้แก่

เดือยฟันแบบเหวียง (custom cast post and core) คือเดือยฟันโลหะ (metal post and core) ผลิตด้วยกระบวนการหล่อแว็กซ์ (lost-wax technique) ทำให้เดือยและแกนฟันเชื่อมต่อนเป็นชิ้นเดียวกัน เดือยฟันชนิดนี้มีข้อดี คือมีความแนบกับผนังคลองรากฟันดีเนื่องจากสร้างตามลักษณะคลองรากฟัน เหมาะกับฟันที่มีคลองรากหรือฟันที่มีการสูญเสียเนื้อฟันไปค่อนข้างมาก มีความแข็งแรงสูง แต่มีข้อเสีย คือ ถ้าต้องรู้จะทำได้ยาก แม้ว่าเดือยฟันชนิดนี้มีความต้านทานต่อการแตกหักสูงกว่าเดือยฟันสำเร็จรูป แต่อาจทำให้รากฟันแตกได้^{28,29} เนื่องจากเดือยฟันชนิดนี้มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นต่างจากเนื้อฟันทำให้เมื่อมีแรงกระทำต่อฟันแรงที่เกิดขึ้นจึงถ่ายทอดไปสู่รากฟัน³⁰

เดือยฟันสำเร็จรูป (prefabricated post) เป็นเดือยฟันที่ผลิตขึ้นจากบริษัทผู้ผลิต โดยออกแบบให้มีความแตกต่างกันในวัสดุ (materials) รูปร่าง (shapes) และพื้นผิว (surface configurations) มีข้อดีคือโอกาสทำให้เกิดรากฟันแตกน้อยกว่าการใช้เดือยฟันแบบเหวี่ยง³⁰ เนื่องจากเดือยฟันชนิดนี้มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงเนื้อฟัน³¹ ส่วนข้อเสีย คือไม่สามารถทำให้เกิดความแนบสนิทตลอดคลองรากฟันได้

เดือยฟันสำเร็จรูป แบ่งตามวัสดุ ได้เป็น

เดือยฟันโลหะ (metallic post) ทำจากโลหะผสม ได้แก่ โคบอล-โครเมียม (cobalt-chromium) นิกเกิล-โครเมียม (nickel-chromium) แพลททินัม-ทอง-แพลเลเดียม (platinum-gold-palladium) และโลหะผสมไทเทเนียม (titanium alloys) เดือยฟันโลหะมีมอดูลัสความยืดหยุ่นและความแข็งแรงสูงกว่าเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย (fiber-reinforced composite post) ทำให้พบรูปแบบการแตกของรากฟันมากกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย³²

เดือยฟันอโลหะ (non metallic post)¹⁷ แบ่งเป็นเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย และเดือยฟันสำเร็จรูปเซรามิก (ceramic post)¹⁸

เดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย มีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยที่เรียงตัวขนานกันและล้อมรอบด้วยเรซินอีพอกซี (epoxy resin) สามารถแบ่งตามชนิดของเส้นใยได้ดังนี้ เดือยฟันเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber post) เดือยฟันเส้นใยแก้ว (glass fiber post) เดือยฟันเส้นใยควอตซ์ (quartz fiber post)³³ เดือยชนิดเส้นใยริบบิ้น (ribbon fiber post) การเรียงตัวของเส้นใยมีลักษณะต่างๆ เช่น เรียงตัวตามยาวต่อเนื่องกันและขนานกัน (unidirectional) แบบถัก (braided) หรือแบบสาน (woven) เดือยฟันชนิดนี้ลดการถ่ายทอดแรงไปยังรากฟันเพราะมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงเนื้อฟัน (เดือยฟันมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น = 9-50 จิกะปาสคาล ส่วนเนื้อฟันมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น = 14-18 จิกะปาสคาล)³⁴⁻³⁶ เมื่อมีแรงมากระทำต่อฟันพบว่าเดือยฟันประเภทนี้จะดูดซับแรงที่เกิดขึ้นและกระจายแรงที่เกิดขึ้นไปสู่เนื้อฟันส่วนที่เหลือจึงช่วยลดอุบัติการณ์การแตกของตัวฟันและรากฟัน

เดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีความแข็งแรงต่ำกว่าเดือยฟันเซรามิกและเดือยฟันโลหะ แต่มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน³⁷ จึงมีคุณสมบัติดัดงอตัว (flexibility) ใกล้เคียงกับเนื้อฟันมากกว่าเดือยฟันโลหะ ส่วนการยึดอยู่ได้จากการยึดกับผนังคลองรากฟันด้วยซีเมนต์เรซิน (resin cement) และใช้วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตเป็นแกนฟัน เดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) ได้ดี มีความต้านทานต่อการกัดกร่อน (corrosion resistance) ดี แต่มองไม่เห็นจากภาพรังสีและมีสีดำ การใช้งานเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนกรณีเหลือเนื้อฟันมากและมีเพอร์รูทเหมาะสมจะมีอัตราความสำเร็จสูง กรณีเหลือเนื้อฟันน้อยและมีเพอร์รูทไม่เพียงพอ เมื่อมีแรงบิดเคี้ยวอาจทำให้เดือยฟันงอและเกิดการเคลื่อนที่ของแกนฟันในระยะทางสั้นๆ

(micromovement) ทำให้เกิดการแตกของซีเมนต์และมีการร่วบริเวณขอบครอบฟัน³⁸ จากการศึกษาทางคลินิกพบว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนลดโอกาสเกิดรากฟันแตกหัก เนื่องจากคุณสมบัติดั่งงอตัวได้ เมื่อได้รับแรงเดือยฟันชนิดนี้จะดูดซับแรงเอาไว้จึงลดการกระจายแรงเครียดไปยังรากฟัน³⁹ เนื่องจากเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีสีดำจึงมีการดัดแปลงเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนด้วยการเคลือบด้วยเส้นใยแก้ว (glass fiber) และเส้นใยควอตซ์ (quartz fiber) เพื่อให้มีสีขาว³⁸

เดือยฟันเส้นใยแก้ว มีสีขาว โปร่งแสง (translucent) หรือทึบแสง (opaque) มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นต่ำกว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน ผลิตได้จากแก้วหลายชนิด ได้แก่ อีกลาส (E-glass, Electric glass) เป็นแก้วชนิดหนึ่งที่มีนิยมนำมาทำเดือยฟัน ซึ่งวัฏภาคอสัณฐาน (amorphous phase) ประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) บอริกออกไซด์ (B_2O_3) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และมีออกไซด์บางชนิดของโลหะอัลคาไลน (alkali metals) ส่วนเอส-กลาส (S-glass, high strength glass) มีองค์ประกอบของเฟสอสัณฐานคล้ายกับอีกลาส แต่ต่างกันในส่วนสัดส่วนขององค์ประกอบ (composition) นอกจากนี้เดือยฟันเส้นใยแก้วสามารถผลิตได้จากเส้นใยควอตซ์ ซึ่งควอตซ์เป็นซิลิกาบริสุทธิ์ (pure silica) ในรูปแบบคริสตัล เป็นวัสดุเฉื่อย (inert material) ที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนต่ำ

เดือยฟันเส้นใยรีซินประกอบด้วยเส้นใยโพลีเอทิลีน (polyethylene fiber) ที่เรียงตัวแบบสานภายในเรซินเมทริกซ์ ซึ่งทำให้สามารถสร้างเดือยและแกนด้วยเรซินคอมโพสิตได้โดยตรงภายหลังการรีโอสคูดคลองราก การใช้งานเดือยฟันชนิดนี้จะทำได้ดีกรณีแสงสามารถผ่านไปยังส่วนของคลองรากที่ลึกลงไปได้เพียงพอ สำหรับการทดสอบในเรื่องความแข็งแรงและความสามารถในการเสริมความแข็งแรงของรากฟันยังมีการศึกษาน้อยในปัจจุบัน

ในปี ค.ศ.1994-1995 เริ่มมีการใช้เซอร์โคเนียเซรามิกในการทำเดือยฟันสำเร็จรูป และได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีความแข็งแรงมากกว่าเดือยฟันเซรามิกชนิดอื่นๆ^{40, 41} เริ่มแรกมีการนำเดือยฟันสำเร็จรูปเซอร์โคเนียเซรามิกมาใช้ร่วมกับเรซินคอมโพสิตในการก่อเป็นส่วนของแกนเพื่อแก้ปัญหาคความไม่สวยงามของการทำครอบฟันเซรามิกล้วนร่วมกับเดือยฟันโลหะ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโดยสามารถทำส่วนแกนเป็นเซรามิกเพื่อใช้ร่วมกับเดือยฟันสำเร็จรูป เซอร์โคเนียเซรามิก องค์ประกอบของเดือยฟันสำเร็จรูปเซอร์โคเนียเซรามิก คือ เซอร์โคเนียไดออกไซด์ (zirconia dioxide) ร้อยละ 94.9 และอิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide) ร้อยละ 5.1 ทำให้ได้เซอร์โคเนียเซรามิกในรูปอิตเทรียม พาร์เชียริลีส เทปนิไลส เซอร์โคเนียเซรามิก (Yttrium Partially Stabilized Zirconia ceramic: YPSZ)⁴² คุณสมบัติเด่นของเซอร์โคเนียเซรามิก คือ มีการเปลี่ยนวัฏภาค (phase transformation) โดยเมื่อเริ่มเกิดรอยร้าวในเซรามิกจะเกิดการเปลี่ยนสภาวะจากวัฏภาคสี่มุม (tetragonal phase) เป็นวัฏภาคโมนอกลิติก (monoclinic phase) ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น และขัดขวางการเกิดรอยแตกไม่ให้ขยายออกไป⁴³

นอกจากนี้เคียวฟันสำเร็จรูปสามารถจำแนกตามรูปร่างได้เป็นเคียวฟันแบบสอบ (tapered post) เคียวฟันแบบขนาน (parallel-sided post) และเคียวฟันแบบขนานร่วมกับแบบสอบ (parallel-tapered post) หากจำแนกเคียวฟันตามลักษณะพื้นผิวแบ่งได้เป็นเคียวฟันแบบกัมมันต์ (active post)⁴⁴ ยึดกับเนื้อฟัน โดยส่วนเกลียวของเคียวฟันฝังในเนื้อฟัน ซึ่งอาจทำให้รากฟันร้าวและนำไปสู่การเกิดรากฟันแตก และเคียวฟันแบบกษานต์ (passive post)⁴⁴ แบ่งย่อยได้เป็นเคียวฟันชนิดผิวเรียบ (smooth surface) และเคียวฟันแบบฟันเลื่อย (serrated post) ยึดเคียวฟันชนิดนี้กับผนังคลองรากฟันด้วยซีเมนต์

ซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดเคียวฟัน

ในปัจจุบันมีซีเมนต์ที่ใช้ยึดเคียวฟันกับผนังคลองรากฟันหลายชนิด การเลือกใช้จึงควรคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความทนแรงกด (compressive strength)^{45,46} ความทนแรงดึง (tensile strength) การดูดน้ำ⁴⁷⁻⁴⁹ การยึดติด⁵⁰ ความสามารถในการละลาย เวลาทำงานและเวลาแข็งตัว ความหนาและความหนืด เป็นต้น

ซีเมนต์ที่นิยมใช้ได้แก่ ซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต (zinc phosphate cement) ซีเมนต์ซิงก์โพลีคาร์บอกซิเลต (zinc polycarboxylate cement) ซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์ (glass ionomer cement) ซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์เรซินดัดแปลง (resin-modified glass ionomer cement) และซีเมนต์เรซิน (resin cement)

ซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต เป็นซีเมนต์ที่มีประวัติการใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1878⁵¹ ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว โดยส่วนผงประกอบด้วยซิงก์ออกไซด์ร้อยละ 90 และแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 10 ส่วนเหลวประกอบด้วย กรดฟอสฟอริกร้อยละ 45-64 น้ำร้อยละ 30-55 อะลูมิเนียมร้อยละ 2-3 และซิงก์ร้อยละ 0-9⁵² ซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟตมีความทนแรงกดสูง มีการไหลแผ่ที่ดี แต่มีข้อด้อยคือมีการยึดติดกับฟันโดยการยึดทางกล มีความสามารถในการละลายสูง มีความเป็นกรดเนื่องจากมีกรดฟอสฟอริกเป็นส่วนประกอบ ค่าความเป็นกรด-ด่างหลังผสมมีค่า 2 และมีค่าสูงขึ้นเป็น 5.5 ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ซีเมนต์ซิงก์โพลีคาร์บอกซิเลต ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว โดยส่วนผงมีองค์ประกอบคล้ายซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต แต่อาจใช้สแทนนิคออกไซด์แทนแมกนีเซียมออกไซด์ และมีการเพิ่มออกไซด์อื่นๆ เช่น บิสมัทออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ลงไป อาจมีการเพิ่มสแตนนัสฟลูออไรด์ (stannous fluoride) เพื่อต่อต้านฟันผุ ส่วนเหลวประกอบด้วย กรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) หรือพอลิเมอร์ร่วมของกรดอะคริลิก (copolymer of acrylic acid) และกรดคาร์บอกซิลิกอื่น เช่น กรดอิทาโคนิก (itaconic acid) ข้อดีของซีเมนต์ซิงก์โพลีคาร์บอกซิเลตคือ มีการไหลแผ่ดี ความสามารถในการละลายน้อยกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต มีความทนแรงดึงสูงกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต แต่ความทนแรงกดที่ 24 ชั่วโมงมีค่าต่ำกว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าซีเมนต์ซิงก์-

ฟอสเฟต ประกอบกับโมเลกุลของกรดพอลิอะคริลิกใหญ่จึงซึมผ่านท่อเนื้อฟันน้อย จึงระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันน้อย ส่วนข้อด้อยคือ มีการยึดติดน้อยกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟตและซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์ สูญเสียการยึดติดในระยะยาว

ซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์ ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว ส่วนผงประกอบด้วยแก้วแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตที่อยู่ในรูปกรดที่สามารถละลายน้ำได้ (acid-soluble calcium fluoroaluminosilicate glass) มีฟลูออไรด์ร้อยละ 10-16 โดยน้ำหนัก มีการเติมสตรอนเทียม แบเรียม หรือซิงก์ออกไซด์เพื่อให้ที่บร้งสี ส่วนเหลวประกอบด้วยกรดพอลิอะคริลิก-อิตาโคนิกร้อยละ 50 หรือพอลิเมอร์ร่วมของกรดพอลิคาร์บอกซิเลต ที่มีกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) ร้อยละ 5 การใส่กรดทาร์ทาริกลงไปเพื่อช่วยให้ผสมง่ายแต่ทำให้เวลาทำงานสั้นลง ซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์มีความทนแรงอัดประมาณ 122-162 เมกะปาสกาล⁵³ การละลายน้อยกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต ปลดปล่อยฟลูออไรด์มากกว่าซีเมนต์ซิลิเกต มีการไหลแผ่ดี มีข้อด้อยคือ ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างการแข็งตัวต่ำกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต ไวต่อความชื้น ในช่วงการแข็งตัวระยะแรกจึงไม่ควรถูกความชื้น เนื่องจากจะเกิดรอยแตกจากการหดตัวได้

ซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์เรซินคัดแปลง เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ซีเมนต์ไฮบริดไอโอโนเมอร์ (hybrid ionomer cement) เป็นซีเมนต์ที่มีการผสมกันระหว่างแก้วไอโอโนเมอร์กับเรซินคอมโพสิต ซีเมนต์ชนิดนี้มีความแข็งแรงมากกว่าแก้วไอโอโนเมอร์แต่น้อยกว่าเรซินคอมโพสิต มีการละลายต่ำ มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์และมีการยึดติดกับฟันคล้ายแก้วไอโอโนเมอร์ ส่วนผงประกอบด้วยแก้วฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตและสารเริ่มต้นปฏิกิริยาสำหรับการบ่มตัวด้วยแสงหรือสารเคมี ส่วนเหลวประกอบด้วยน้ำและกรดพอลิอะคริลิก หรือกรดพอลิอะคริลิกดัดแปลงด้วยการเติมมอนอเมอร์กลุ่มเมทาคริเลตและไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (hydroxyethyl methacrylate: HEMA)

ซีเมนต์เรซิน ส่วนผงประกอบด้วยผงบอโรซิลิเกต หรือแก้วซิลิกาละเอียด ส่วนเหลวประกอบด้วยส่วนผสมของบิส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) และ/หรือมอนอเมอร์กลุ่มไดเมทาไครเลทและเอมีนคล้ายกับวัสดุอุดฟันเรซินคอมโพสิตแต่เหลวกว่า เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานเป็นสารเชื่อมยึด ซีเมนต์เรซินแบ่งได้เป็น 3 ชนิดได้แก่ ชนิดบ่มเองหรือบ่มทางเคมี บ่มด้วยแสง และบ่มสองส่วน ซีเมนต์เรซินมีข้อดีคือ ไม่ละลายในช่องปาก มีความทนแรงกดสูงประมาณ 100-200 เมกะปาสกาล ความทนแรงดึงประมาณ 15-20 เมกะปาสกาล⁵² ส่วนข้อด้อยคือ มีความหนาสูงมากกว่า 25 ไมครอน เกิดรอยซึมเล็กน้อยเนื่องจากการหดตัว และอาจเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันจากการซึมผ่านของแบคทีเรีย ปฏิกิริยาการแข็งตัวถูกยับยั้งโดยสารประกอบฟีนอล เช่น ยูจินอลที่อยู่ในซีเมนต์ที่ใช้ในการอุดคลองรากฟัน ดังนั้นก่อนใช้ซีเมนต์เรซินยึดเดือยฟันควรทำความสะอาดผิวของคลองรากฟันเพื่อไม่ให้มียูจินอล หรือใช้ซีเมนต์อุดคลองรากฟันที่ไม่มีส่วนผสมของยูจินอล

แกนฟัน คือวัสดุที่ทดแทนส่วนของตัวฟันที่สูญเสียไปโดยยึดกับส่วนของเนื้อฟัน วัสดุที่ใช้ทำแกนฟันอาจเป็น โลหะผสม (alloys) อะมัลกัม แก้วไอโอโนเมอร์ หรือเรซินคอมโพสิต ซึ่งทำหน้าที่เป็นแกนยึดครอบฟัน

อะมัลกัมมีคุณสมบัติความทนแรงกด สูงแต่ความทนแรงดึง ต่ำ สามารถเกิดภาวะกัดกร่อนเมื่ออยู่ร่วมกับโลหะผสมไม่มีตระกูล (base metal alloys) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของฟัน และขอบเหงือกจึงไม่ควรใช้ในการบูรณะในฟันหน้า มีสีเทา ไม่เหมาะกับฟันที่ต้องทำครอบฟัน เซรามิกล้วน (all ceramic crown) อะมัลกัมเป็นวัสดุที่ใช้ทำแกนมาเป็นเวลานานและมีรายงานผลสำเร็จสูง เหมาะสำหรับฟันที่ต้องรับแรงบดเคี้ยวมาก เช่นฟันกรามโดยใช้ร่วมกับเนื้อฟัน สำเร็จรูป ในบางกรณีสามารถใช้ส่วนโพรงในตัวฟัน (pulp chamber) และส่วนของคลองรากฟัน เป็นส่วนที่ให้การยึดอยู่กับแกนฟันอะมัลกัมได้โดยไม่ต้องใส่เนื้อฟัน

สำหรับแก้วไอโอโนเมอร์ ที่ใช้ทำแกนฟันนั้นมีการปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นโดยมีการผสมผงสแตนเลสสตีล หรือเส้นใยของโลหะ เช่น เงิน ดีบุก หรือโดยการเผาโลหะเงินและผง แก้วที่อุณหภูมิสูง การเผาทำให้เพิ่มความเหนียว (ductility) และความต้านทานต่อการแตก ส่วนการผสมโลหะเงินเข้าไปทำให้เพิ่มความทนแรงกดและความแข็งแรงดัดขวาง' เรียกแก้วไอโอโนเมอร์-ชนิดนี้ว่า เซอร์เมต (cermet) มีข้อดีคือ มีความแข็งแรง กรอแต่งได้ทันที มีสีต่างจากตัวฟันทำให้สังเกตได้ง่าย ยึดติดกับฟันด้วยพันธะเคมี มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว เหตุความร้อนใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ส่วนข้อเสียคือ มีความเปราะไม่ควรใช้บูรณะฟันที่ต้องรับแรง หรือมีการสูญเสียเนื้อฟันไปมากๆ เช่น ในฟันหน้าที่เหลือเนื้อฟันน้อย หรือในหลักยึดของฟันเทียม บางส่วนถอดได้หรือติดแน่น ในการเกิดปฏิกิริยาก่อตัวในระยะแรกมีการดูดน้ำหรือสูญเสียน้ำ ทำให้ความแข็งแรงลดลง และมีความไวต่อความชื้น ละลายน้ำได้จึงไม่ควรใช้ในบริเวณที่ควบคุมความชื้นไม่ได้ ดังนั้นจึงมีข้อบ่งชี้ให้ใช้แก้วไอโอโนเมอร์เป็นวัสดุทำแกนในกรณีที่มีความหนาของ วัสดุที่ใช้ทำแกนเพียงพอ มีเนื้อฟันที่ดีเหลืออยู่มาก สามารถควบคุมความชื้นได้ และต้องการควบคุมการเกิดฟันผุ

ส่วนแกนฟันชนิดเรซินคอมโพสิต พบว่าการให้แรงแบบคงที่ เรซินคอมโพสิตจะมีค่าความเหนียว (fracture toughness) และความแข็งแรงต่อแรงกดปานกลาง แต่ในสภาวะที่มีแรงแบบพลวัต (dynamic loading) เรซินคอมโพสิตจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (plastic deformation) ทำให้เกิดความล้าเหลวของแกนฟัน เนื่องจากการหดตัวจากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) และการหดตัวจะดำเนินอย่างต่อเนื่อง เรซินคอมโพสิตสามารถดูดน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมิติ แกนชนิดเรซินคอมโพสิตมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนมากกว่าเนื้อฟัน 3 เท่า ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงมิติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงเกิดช่องว่างระหว่างแกนกับครอบฟันทำให้ซีเมนต์เกิดการละลายตัว แกนชนิดเรซินคอมโพสิตมีคามอดุลลัส

ความยืดหยุ่นต่ำกว่าเนื้อฟัน เรซินคอมโพสิตสามารถยึดติดกับฟันด้วยพันธะเคมี เหมาะกับฟันที่เหลือเนื้อฟันมากกว่าร้อยละ 50 แต่ไม่เหมาะกับฟันที่ต้องรับแรงบดเคี้ยวมากและมีเนื้อฟันเหลือน้อย เนื่องจากเรซินคอมโพสิตมีสีเหมือนฟันจึงควรเลือกใช้ร่วมกับครอบฟันเซรามิก

วัสดุที่ใช้ทำแกนฟันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการกระจายความเค้น (stress distribution) ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำแกนกลางที่มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงจะทำให้มีความเค้นเพิ่มบริเวณคอฟันและลดความเค้นบริเวณปลายรากฟัน

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้เดือยฟันในแง่การต้านต่อการแตกหักของฟัน มีหลายประการ ได้แก่ 1) ความยาวของเดือยฟัน (post length)²⁵ เดือยฟันยาวให้การยึดติดและกระจายแรงดีกว่าเดือยฟันสั้น จากการศึกษาพบว่าเดือยฟันควรมีความยาวประมาณ 3 ใน 4 ของความยาวรากฟัน⁵⁴ หรือมีความยาวของเดือยฟันต่อความยาวตัวฟันอย่างน้อยเท่ากับหนึ่งต่อหนึ่ง⁵⁴ 2) ความกว้างของเดือยฟัน (post width) ขนาดของเดือยฟันขึ้นกับขนาดและรูปร่างของรากฟัน เดือยฟันไม่ควรกว้างเกิน 1 ใน 3 ของความกว้างของรากฟันในทุกตำแหน่งและปลายสุดของเดือยฟันควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร เดือยฟันที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดการแตกหักของรากฟันได้มากกว่าเนื่องจากผนังคลองรากฟันที่เหลือบาง 3) รูปร่างคลองรากฟันและความแนบสนิทของเดือยฟัน ถ้าใช้เดือยฟันที่แนบสนิทกับคลองรากฟันหรือมีรูปร่างตามคลองรากฟันจะเป็นการสงวนเนื้อฟันได้มาก ทำให้เพิ่มการต้านต่อการแตกหักของฟันและการยึดอยู่ของเดือยฟัน แต่ในกรณีที่คลองรากฟันมีรูปร่างเป็นปากแตร (funnel-shaped) อาจใช้เดือยฟันแบบขนาน โดยหวังผลให้ซีเมนต์อุดบริเวณช่องว่างหลังจากใส่เดือยฟัน หรืออาจใช้เดือยฟันแบบสอบซึ่งจะแนบสนิทกับคลองรากฟัน³ 4) เนื้อฟันส่วนที่เหลือ (coronal structure) ปริมาณเนื้อฟันควรมีความสูงเหนือขอบของครอบฟัน (margin) อย่างน้อย 1.5-2.0 มิลลิเมตร⁶ เพื่อสร้างความต้านทานต่อการแตกหัก (resistance form) จากการศึกษาพบว่าฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีความแข็งแรง (strength) ต่ำกว่าเดือยฟันโลหะ³¹ การใช้เดือยฟันเส้นใยคาร์บอนควรทำเมื่อเหลือเนื้อฟันเพียงพอ 5) ความเค้น (stress) แรงที่เกิดกับฟันมีหลายชนิด ได้แก่ แรงกด (compression) แรงดึง (tensile) และแรงเฉือน (shear) พบว่าแรงเฉือนเป็นแรงอันตรายที่สุด จากการศึกษาของ Holmes และคณะ⁵⁶ พบว่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเดือยฟันในมิติต่างๆ มีอิทธิพลต่อแรงเฉือน การเพิ่มความยาวเดือยฟันแต่พยายามลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้เล็กที่สุดจะช่วยลดแรงเฉือนและรักษาเนื้อฟันไว้ ดังนั้นการแตกหักของฟันจะลดลง 6) การออกแบบเดือยฟัน (post design) เดือยฟันแบบเกลียว (threaded post) และเดือยฟันแบบขนาน ให้การยึดอยู่และทำให้เกิดความเค้นกับผนังคลองรากฟันมากกว่าเดือยฟันแบบผิวเรียบ และเดือยฟันแบบสอบ ลักษณะการยึดของเดือยฟันแบบเกลียวกับเนื้อฟันเป็นลักษณะของแรงต้าน (friction pattern) โดยให้การยึดอยู่สูงแต่ทำให้เกิดความเค้นกับผนังคลองรากฟันมากในขณะที่ใส่เดือยฟันและในขณะที่บดเคี้ยว (function) ทำให้รากฟันมีโอกาสแตกสูง เดือยฟันแบบสอบทำให้เกิด

การกระจายความเค้นสูงบริเวณขอบฟันแต่เกิดความเค้นต่ำบริเวณปลายรากฟันและทำให้เกิดแรงตอกแบบลิ้ม (wedging effect) เคียวฟันแบบขนาน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นสม่ำเสมอ (uniform stress distribution) ยกเว้นบริเวณปลายรากฟันเนื่องจากปลายเคียวฟันมีลักษณะเป็นมุม (sharp angle) เคียวฟันแบบขนานและมีรูปร่างฟันเลื่อย (parallel-serrated post) ให้การยึดอยู่สูงเมื่อยึดด้วยซีเมนต์ แต่ไม่เหมาะกับฟันหน้าและฟันกรามน้อยเนื่องจากรูปร่างของรากฟันมีลักษณะสอบ เคียวฟันแบบฟันเลื่อยให้การยึดอยู่มากกว่าเคียวฟันแบบเรียบทั้งเคียวฟันที่ทำมาจากโลหะและอโลหะ เคียวฟันแบบขนานที่มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย ทำให้เกิดความเค้นน้อยที่สุดและมีโอกาสเกิดรากฟันแตกน้อยที่สุดจึงควรเป็นตัวเลือกอันดับแรกถ้าลักษณะคลองรากฟันเหมาะสม และ 7) วัสดุที่ใช้ทำเคียวฟัน (post material) จากการติดตามผลการบูรณะฟันหน้าที่ได้รับการรักษาคคลองรากฟันโดยใช้เคียวฟันโลหะเป็นระยะเวลา 10 ปีพบว่าม้อตราล้มเหลวร้อยละ 18 ซึ่งฟันหน้ามีความล้มเหลวสูงกว่าฟันหลังเนื่องจากทิศทางของแรงที่ลงระหว่างการใช้งานในฟันหน้าไม่เป็นไปตามแนวแกนฟัน¹⁹

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากมีลักษณะทางกายภาพและชีวกลศาสตร์ไม่ต่างจากฟันปกติ^{13,15} แต่พบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากมีอุบัติการณ์การแตกของรากฟันมากกว่าฟันปกติมาก สาเหตุสำคัญ อาจได้แก่ การทนความเค้นต่อการแตกหัก (fracture toughness) ลดลง เนื่องจากการสูญเสียเนื้อฟัน โดยเฉพาะการสูญเสียสันริมฟัน (marginal ridge) จะทำให้เกิดการแยกของปุ่มฟัน (cuspal deflection) ขณะรับแรง⁵⁷ และการสูญเสียการรับรู้เกี่ยวกับการสัมผัส (loss of tactile sensation)

ชีวกลศาสตร์ (biomechanic) ของฟันแต่ละซี่ขณะรับแรงจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของการสบฟัน ความสัมพันธ์ของการสบฟัน ตำแหน่งของฟันในช่องปาก และปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ ฟันหน้ามักได้รับแรงบิดเกี่ยวในแนวเฉียงและเมื่อได้รับแรงจะเกิดการกระจายความเครียดที่สม่ำเสมอ ลักษณะของแรงเป็นแรงกดและแรงดึง โดยมีแรงเค้นมากบริเวณคอฟัน ส่วนฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากจะมีอุบัติการณ์การแตกบริเวณคอฟันในแนวขวาง (horizontal fracture) ในกรณีที่ฟันซี่นั้นได้รับการบูรณะด้วยครอบฟันเพียงอย่างเดียวแรงที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเค้นมากที่สุดบริเวณคอฟันและมีโอกาสเกิดการแตกหักตามแนวขวางที่บริเวณขอบครอบฟันเนื่องจากการสูญเสียเนื้อฟันจากการกรอแต่งฟันเพื่อทำครอบฟัน ในกรณีฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากได้รับการบูรณะด้วยเคียวฟันและครอบฟัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงเฉือนกระจายตามแนวของเคียวฟัน โดยเกิดความเค้นมากบริเวณปลายของเคียวฟัน ส่วนในฟันหลังได้รับแรงบิดเกี่ยวในแนวตั้งและเมื่อได้รับแรงจะมีการกระจายความเค้นสม่ำเสมอ ลักษณะของแรงเป็นแรงกดตามแนวแกนฟัน ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นเหมือนกันทั้งในฟันปกติ ฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากและทำครอบฟัน และในฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากและบูรณะด้วยเคียวฟันแล้วทำครอบฟัน

สำหรับชีวกลศาสตร์ของเดือยฟันพิจารณาจากรูปร่างของเดือยฟัน ความยาวของเดือยฟันและเฟอร์รูล พบว่าเดือยฟันแบบขนานทำให้เกิดการกระจายความเค้นที่สม่ำเสมอกว่าเดือยฟันแบบสอบ ส่วนเดือยฟันแบบสอบทำให้เกิดแรงแบบการตอกลิ้ม เมื่อพิจารณาความยาวของเดือยฟันพบว่าแรงเฉือนที่กระทำต่อเดือยฟันสั้นจะกระจายตามแนวของเดือยฟัน โดยมีความเค้นมากที่สุดที่ส่วนปลายของเดือยฟัน ส่วนเดือยฟันยาวมีขนาดของแรงน้อยกว่าเดือยฟันสั้น สำหรับปัจจัยของเฟอร์รูลพบว่าการทำครอบฟันโดยออกแบบให้มีเฟอร์รูลช่วยลดการเกิดรากฟันแตกได้โดยเฟอร์รูลจะต้านแรงงัด (lever force) ที่เกิดจากแรงบิดเคี้ยว ด้านผลของแรงตอกแบบลิ้มของเดือยฟันแบบสอบและแรงด้านข้าง (lateral forces) ในระหว่างใส่เดือยฟัน¹ และทำให้แรงบิดเคี้ยวสามารถถ่ายทอดไปสู่เดือยฟันและผนังคลองรากฟัน

Rosen⁵⁸ ให้นิยามของเฟอร์รูลว่าเป็นแถบลักษณะคล้ายปลอกคอของทองที่อยู่ใต้เหงือกโดยขยายให้มีความกว้างมากที่สุดที่สามารถทำได้จากตำแหน่งขอบเหงือกซึ่งเป็นตำแหน่งที่วางแกนฟัน แต่แถบลักษณะนี้จะต้องล้อมรอบส่วนของคอฟันโดยรอบ ส่วน Sorensen และ Engelman³ นิยามผลของเฟอร์รูล (ferrule effect) ว่าเป็นแถบโลหะของครอบฟันโดยรอบ (360 องศา) ที่อยู่ล้อมรอบผนังของเนื้อฟันที่มีลักษณะขนานที่อยู่เหนือต่อรอยต่อเส้นสิ้นสุดเนื้อฟันและครอบฟันแบบโชลเดอร์ (shoulder) ทำให้เกิดความต้านทานต่อความเค้น เช่น แรงบิดเคี้ยวในลักษณะของแรงงัด และ Gegauff¹ นิยามความหมายของเฟอร์รูลว่าเป็นแถบของเนื้อฟันโดยรอบที่เหลื่ออยู่เหนือขอบครอบฟันสำหรับฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันและต้องใส่เดือยฟัน¹ โดยขอบครอบฟันอยู่บนเนื้อฟันส่วนที่ต่ำกว่ารอยต่อของเนื้อฟันและแกนฟันประมาณ 1.5-2.0 มิลลิเมตร⁶

การศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลส่วนมากเป็นการศึกษาทางห้องปฏิบัติการเนื่องจากการศึกษาในช่องปากทำได้ยาก สามารถแบ่งการศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลได้ 2 กรณี คือ กรณีไม่ใส่ครอบฟันและกรณีใส่ครอบฟัน⁵⁹

การศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลกรณีไม่ใส่ครอบฟัน Rosen⁵⁸ พบว่าการออกแบบให้มีเฟอร์รูลส่งผลให้เกิดการรัคของครอบฟันต่อตัวฟัน (hugging action) จึงป้องกันการแตกหักของรากฟัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Rosen และ Partida-Rivera⁴ ที่พบว่าเฟอร์รูลลดการแตกหักของรากฟัน Tjan และ Whang⁶⁰ ศึกษาผลของความหนาของเนื้อฟันด้านแก้มต่อช่องว่างสำหรับใส่เดือยฟันต่อความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน โดยไม่ใส่ครอบฟัน โดยใช้ฟันตัดหน้าบนจำนวน 40 ซี่ที่ถูกถอนจากนั้นแบ่งฟันออกเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มควบคุม เตรียมฟันให้มีความกว้างของเนื้อฟันรอบช่องว่างเดือยฟัน 1 มิลลิเมตร ส่วนกลุ่มทดลอง กลุ่มที่หนึ่งเตรียมฟันให้มีความกว้างของเนื้อฟันรอบช่องว่างของเดือยฟัน 1 มิลลิเมตรและตัดเฉียงเนื้อฟันเป็นมุม 60 องศา ส่วนกลุ่มอื่นๆเตรียมฟันให้มีความกว้างของเนื้อฟันรอบช่องว่างเดือยฟัน 2 และ 3 มิลลิเมตรตามลำดับแต่ไม่ตัดเฉียงเนื้อฟัน

วัตถุประสงค์ของการตัดเย็บเนื้อฟันเพื่อสร้างเป็นแถบโลหะของแกนฟัน จากนั้นยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟัน ให้แรงแบบกด (compressive loading) จนกระทั่งเกิดการแตกหัก พบว่าแถบโลหะและความหนาของเนื้อฟันไม่ได้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน ซึ่งทุกกลุ่มการศึกษามีการแตกของรากฟันมากกว่าการแตกของซีเมนต์

Barkhordar Radke และ Abbasi⁵ ได้ทดสอบผลของเฟอร์รูลซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Tjan และ Whang⁶⁰ แต่มีการดัดแปลงส่วนของเฟอร์รูล โดยใช้ฟันตัดกลางบนจำนวน 20 ซี่ที่ถูกถอน แบ่งฟันออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีเฟอร์รูลและกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล ฟันทั้ง 2 กลุ่มมีความหนาของเนื้อฟันด้านแก้ม 1 มิลลิเมตร แต่ในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลทำการกรอฟันบริเวณคอฟันสูง 2 มิลลิเมตร และมีความสอบของผนังคลองรากฟัน 3 องศาทำให้มีองศารวม (total convergence) 6 องศา ทำการยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟันแต่ไม่ได้ใส่ครอบฟัน จากนั้นให้แรงแบบกดจนกระทั่งรากฟันแตก Barkhordar Radke และ Abbasi⁵ พบว่าเฟอร์รูลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันและพบความแตกต่างของรูปแบบการแตกของรากฟัน โดยกลุ่มที่มีเฟอร์รูลมีรูปแบบการแตกของรากฟันแนวระนาบ ส่วนกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลมีรูปแบบการแตกของรากฟันแนวโค้ง

นอกจากนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับความสูงของเฟอร์รูลในฟันที่สร้างจากเรซิน โดย Loney Kotowicz และ McDowell⁶¹ ทำการวิเคราะห์ความเค้นจากโฟโตอีลาสติก (photoelastic stress analysis) บนฟันที่สร้างจากเรซินซึ่งมีลักษณะคล้ายฟันเขี้ยวจำนวน 8 ซี่ กลุ่มแรกจำนวน 4 ซี่เป็นกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล กลุ่มที่สองมีเฟอร์รูล 1.5 มิลลิเมตร จากนั้นยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟันโดยไม่ได้ใส่ครอบฟัน ให้แรง 400 กรัมในทิศทามุม 152 องศากับแนวแกนฟัน จากนั้นรื้อเดือยฟันออกและกรอแบ่งฟันเพื่อตรวจสอบความเค้นในรากฟันจำนวน 5 จุด จากการศึกษาพบว่ากลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลให้ค่าความเค้นแรงเฉือนต่ำกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูล (จากการตรวจสอบความเค้น 3 ใน 5 จุด) Loney Kotowicz และ McDowell⁶¹ จึงสรุปว่าการมีเฟอร์รูลไม่ได้ลดการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟัน

Saupe Gluskin และ Radke⁶² ทำการศึกษาถึงผลของเฟอร์รูลต่อฟันที่เหลือเนื้อฟันน้อยที่มีการเสริมและไม่ได้เสริมความแข็งแรงของฟันด้วยเรซิน โดยใช้ฟันตัดบน (upper incisor) จำนวน 40 ซี่ จากนั้นแบ่งฟันออกเป็นกลุ่มย่อยที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรและไม่มีเฟอร์รูล การออกแบบเฟอร์รูลคล้ายกับการศึกษาของ Barkhordar Radke และ Abbasi⁵ ทำการยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ จากนั้นให้แรงกับฟันจนกระทั่งมีการแตกหัก ผลการศึกษาพบว่าการเสริมความแข็งแรงของฟันในกลุ่มที่เหลือเนื้อฟันน้อยและไม่มีเฟอร์รูลด้วยการใช้เรซินมีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน ส่วนการใช้เรซินในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลพบว่าไม่ได้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหัก นอกจากผลของเฟอร์รูลต่อความต้านทานต่อการแตกหัก Hemmings King และ Setchell⁹ พบว่าการมีเฟอร์รูลช่วยเพิ่มความต้านทานของเดือยฟันต่อแรงบิด

(torsional forces) กล่าวโดยสรุปเกี่ยวกับผลการศึกษาเฟอร์รูลกรณิไม้ไผ่ครอบฟันให้ผลทั้งการเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันและไม่มีผลเพิ่มความต้านทาน ซึ่งการนำผลสรุปที่ได้ไปใช้ควรมีการวิเคราะห์ด้วยความระมัดระวังเพราะการศึกษาเหล่านี้ไม่ได้ไผ่ครอบฟันจึงไม่เหมือนกับลักษณะทางคลินิก

การศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลกรณิไม้ไผ่ครอบฟัน โดย Sorensen และ Engelman³ พบว่าการออกแบบให้มีเฟอร์รูลมีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน โดยมีฟัน 2 กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักสูงกว่า 4 กลุ่มที่เหลือ ได้แก่ กลุ่มที่มีเฟอร์รูล 1 มิลลิเมตร มีเส้นลึ้นสุดรอยต่อแบบโซลเดอร์ร่วมกับมีมุมตัดเฉียงเนื้อฟัน 60 องศา และกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตร มีเส้นลึ้นสุดรอยต่อแบบโซลเดอร์ร่วมกับมีมุมตัดเฉียงเนื้อฟัน 60 องศาและมีการเพิ่มการตัดเฉียงบริเวณรอยต่อของฟันกับแกนฟันเป็นมุม 60 องศาข้าง 1 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อสร้างให้เกิดเฟอร์รูล 2 ตำแหน่งระหว่างครอบฟันกับเส้นลึ้นสุดรอยต่อของฟันและระหว่างแกนฟันกับตัวฟัน แต่ไม่พบความแตกต่างของฟันทั้ง 2 กลุ่มในค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของฟัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มการตัดเฉียงเนื้อฟันบริเวณรอยต่อของฟันกับแกนฟันไม่ได้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน

การศึกษาต่อมาเกี่ยวกับชนิดของเดือยฟันต่อความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน โดย Milot และ Stein⁶³ ทำการศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันโดยใช้เดือยฟัน 3 ชนิด ได้แก่ เดือยฟันแบบเหวี่ยง และเดือยฟันสำเร็จรูป 2 ระบบร่วมกับแกนฟันชนิดแก้วไอโอโนเมอร์ จากนั้นในแต่ละกลุ่มแบ่งย่อยเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีเส้นลึ้นสุดรอยต่อแบบแชมเฟอร์ (chamfer) และกลุ่มที่มีเส้นลึ้นสุดรอยต่อแบบแชมเฟอร์ร่วมกับการตัดเฉียงเนื้อฟัน 1 มิลลิเมตร จากนั้นยึดครอบฟันและให้แรงกับฟันจนกระทั่งมีการแตกหัก ผลการศึกษาพบว่ากรณีที่เหลือเนื้อฟันเพียงพอไม่พบความแตกต่างในเรื่องความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันระหว่างเดือยฟันทั้ง 3 ชนิด เมื่อพิจารณาปัจจัยการตัดเฉียงเนื้อฟันพบว่ากลุ่มที่มีการตัดเฉียงเนื้อฟันมีค่าแรงด้านการแตกหักสูงกว่า ส่วนกลุ่มที่ไม่มีการตัดเฉียงเนื้อฟันมีโอกาสเกิดการแตกของรากฟันแนวตั้ง

ต่อมา Libman และ Nicholls⁶ ทำการศึกษาถึงความสูงของเฟอร์รูลต่อการแตกหักขั้นต้น (preliminary failure) ซึ่งหมายถึงการมีการขยายตัวของรอยร้าวเข้าไปในหรืออยู่รอบๆ ซีเมนต์ที่ยึดครอบฟัน ใช้ฟันตัดกลางบนจำนวน 25 ซี่ แบ่งฟันออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่มีความสูงของเฟอร์รูล 0.5 1 1.5 และ 2 มิลลิเมตร จากนั้นยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟันด้วยซีเมนต์และใส่ครอบฟัน ให้แรงแบบเป็นช่วงเวลา (cyclic loading) จนกระทั่งมีการแตกหักขั้นต้น โดยใช้เครื่องมือวัดความเครียด (strain gauge) จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าเมื่อจะบูรณะฟันตัดหน้าบนด้วยเดือยฟันและครอบฟันควรมีความสูงของเฟอร์รูลอย่างน้อย 1.5 มิลลิเมตร

Isidor Brondum และ Ravnholt⁷ ศึกษาผลของความยาวเดือยฟันและความสูงของ

เฟอร์รูลต่อความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน โดยใช้เดือยฟันสำเร็จรูปไทเทเนียมและแกนฟันชนิดเรซินคอมโพสิตรวมทั้งใส่ครอบฟัน จากนั้นให้แรงแบบเป็นช่วงเวลาจนกระทั่งมีการหลุดของครอบฟันหรือเดือยฟันหรือมีการแตกหักของเดือยฟันหรือรากฟัน จากการศึกษาพบว่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของเฟอร์รูลเพิ่มขึ้นแต่พบว่าการเพิ่มความยาวเดือยฟันไม่มีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน

นอกจากนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของเดือยฟันต่อความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน ซึ่งการศึกษาส่วนมากใช้เดือยฟันแบบเหวียง ส่วน Al-Hazaimeh และ Gutteridge⁶⁴ ศึกษาผลของเฟอร์รูลในฟันตัดหน้าบนจำนวน 20 ซี่ โดยใช้เดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต ยึดเดือยฟันกับผนังคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ แบ่งฟันออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรกับกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล จากนั้นให้แรงกดจนกระทั่งมีการแตกหัก จากการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างฟันทั้ง 2 กลุ่มต่อความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน แต่มีความแตกต่างในรูปแบบการแตกหักของฟัน โดยในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลมีการแตกหักแนวเฉียงส่วนกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลมีการแตกหักแนวตั้ง Al-Hazaimeh และ Gutteridge⁶⁴ จึงสรุปผลการศึกษาว่าเรซินซีเมนต์เพิ่มความแข็งแรงให้กับฟันมากกว่าปัจจัยของเฟอร์รูล

กล่าวโดยสรุปเกี่ยวกับผลการศึกษาเฟอร์รูลกรณีใส่ครอบฟัน พบว่าส่วนสูงของเนื้อฟันเหนือรอยต่อครอบฟันเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันแบบเหวียง โดยจะเกิดผลของเฟอร์รูลเช่นนี้เมื่อมีความสูงของเนื้อฟันอย่างน้อย 1.5 มิลลิเมตร แต่พบว่าเฟอร์รูลไม่ได้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักสำหรับการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต จากผลการศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลกรณีไม่ใส่ครอบฟันและใส่ครอบฟันพบว่าเฟอร์รูลเพิ่มการต้านทานต่อการแตกหักของฟัน แต่ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากส่วนมากสูญเสียเนื้อฟันจากสาเหตุต่างๆทำให้เหลือเนื้อฟันไม่ครบทุกด้าน จึงอาจมีผลต่อความต้านทานต่อการแตกของรากฟันเนื่องจากไม่สอดคล้องกับนิยามของเฟอร์รูล^{65,66} การศึกษาของ Ng และคณะ⁶⁵ เกี่ยวกับความต้านทานต่อการแตกหักของฟันตัดกลางบนที่รักษาคลองรากที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรเพียงครั้งหนึ่ง (180 องศา) ด้านเพดาน (palatal) ด้านริมฝีปาก (labial) และด้านข้าง (proximal) เปรียบเทียบกับฟันที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบและฟันที่ไม่มีเฟอร์รูล โดยใช้เดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟันโลหะผสมแพลเลเดียม (high-palladium alloys) พบว่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันในกลุ่มที่เหลือเฟอร์รูลด้านเพดานไม่ต่างจากกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบ แต่กลุ่มที่เหลือเฟอร์รูลด้านเพดานมีความแตกต่างจากกลุ่มที่เหลือเฟอร์รูลด้านริมฝีปากด้านข้าง และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล ส่วนรูปแบบการแตกของฟัน 4 กลุ่มยกเว้นกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลพบลักษณะการแตกแนวเฉียงจากด้านเพดานไปด้านริมฝีปาก สำหรับกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลเริ่มมีการแตกหักจากการแตกของซีเมนต์ที่ยึดเดือยฟันและเมื่อให้แรงต่อไปพบการแตกหักของรากฟัน

แนวคิด จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของเฟอร์รูลมีผลต่อความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคลองราก สอดคล้องกับการศึกษาของ Naumann Preuss และ Rosentritt⁶⁶ ที่ศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของฟันตัดกลางบนที่รักษาคลองรากระหว่างกลุ่มควบคุมที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตร โดยรอบกับกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านเพดาน กลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านริมฝีปาก และกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านริมฝีปากและด้านเพดาน โดยใช้เดือยฟันเส้นใยแก้วร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟันเซรามิกล้วน จากการศึกษาพบว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างในความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน 2 กลุ่มคือกลุ่มที่มีเฟอร์รูล โดยรอบกับกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากและด้านเพดานและกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานกับกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากและด้านเพดาน ส่วนรูปแบบการแตกของรากฟันส่วนมากเป็นแนวเฉียงจากด้านเพดานระดับคอฟันไปยังด้านริมฝีปาก ยกเว้นในกลุ่มที่มีเฟอร์รูล โดยรอบ 4 ใน 8 ซึ่งมีการแตกของรากฟันแนวระนาบใกล้เคียงกับตำแหน่งส่วนปลายของเดือยฟัน

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ากรอแต่งฟันให้มีเฟอร์รูล โดยรอบตัวฟันสำหรับการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากด้วยเดือยฟันและครอบฟันนั้น มีผลด้านการแตกหักของฟัน ทั้งนี้มีผลกรณียึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ แต่ยังมีผลขัดแย้งกรณียึดเดือยฟันสำเร็จรูปด้วยเรซินซีเมนต์ เนื่องจาก Al-Hazaimeh และ Gutteridge⁶⁴ พบว่าเฟอร์รูลไม่มีผลด้านการแตกหักของฟันเมื่อยึดเดือยฟันสำเร็จรูปด้วยเรซินซีเมนต์ สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานต่อการแตกหักของฟันกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟันยังมีการศึกษาน้อย Ng และคณะ⁶⁵ และ Naumann Preuss และ Rosentritt⁶⁶ ทำการศึกษาในฟันหน้าแต่ผลการศึกษาพบว่ามีข้อขัดแย้งกันในเรื่องความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน โดยการศึกษาของ Ng และคณะ⁶⁵ พบว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันไม่ต่างจากกลุ่มที่มีเฟอร์รูล โดยรอบ ส่วนการศึกษาของ Naumann Preuss และ Rosentritt⁶⁶ พบว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ และทั้งสองการศึกษาไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหายไปของเฟอร์รูลด้านข้างเพียงด้านใดด้านหนึ่ง (ด้านใกล้กลาง: mesial หรือด้านไกลกลาง: distal) ทำให้ขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับความต้านทานต่อการแตกหักของฟันหน้าบนที่ได้รับการรักษาคลองรากกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบแรงต้านการแตกหักและรูปแบบการแตกของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตกรณีมีเฟอร์รูลไม้สมบูรณืในตำแหน่งต่างกัน

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. เรซินคอมโพสิต (Light-Core; Bisco Inc, Schaumburg, Ill, USA)
2. กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 32 (32% Phosphoric acid, Uni-Etch; Bisco Inc)
3. สารยึดติด (All-Bond 2; Bisco Inc)
4. สารยึดติดกับผนังคลองรากฟัน (Dual-polymerized resin luting agent, Duo-link; Bisco Inc)
5. เต็มฟันดีทีไลท์เบอร์ 3 (No.3 D.T. Light-Post; Bisco Inc)
6. เข็มกรอกากเพชรรูปทรงกระบอก (Cylinder bur, ISO#011, 411; Shofu, Tokyo, Japan)
7. เข็มกรอกากเพชรรูปทรงสอบปลายตัด (Flat-ended taper fissure diamond, ISO#016, 201R; Shofu)
8. เคไฟล์ เบอร์ 20, 35 และ 40 (No.20, 35 and 40; K-file; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)
9. โพรแทปเปอร์ (ProTaper; Dentsply Maillefer)
10. อาร์ซีพีรีป (RC Prep; Medical Products Laboratories Inc, Phila, Pa ,USA)
11. น้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite) ความเข้มข้นร้อยละ 2.5
12. น้ำยาอีดีทีเอ (Ethylenediaminetetraacetic acid: EDTA) ความเข้มข้นร้อยละ 17
13. กัดตาเปอร์ซ่า (Hygenic GP points; Coltène/Whaledent Inc, Coyahoga Falls, OH, USA) เบอร์ 40 (ISO No.40)
14. เอเอสพลัส (AH Plus; Dentsply Maillefer)
15. วัสดุอุดชั่วคราว (Cavit; 3M ESPE, St. Paul, Minn,USA)
16. ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Hy-Bond zincphosphate cement; Shofu)
17. ซิลิโคนชนิดหนืด (Siliagum putty; DMG, Hamburg, Germany)
18. น้ำยางชนิดหล่อแบบ (compound latex)

19. เรซินอะคริลิกชนิดบ่มเอง (Unifast Trad; GC America, Alsip, Ill, USA)
20. โลหะผสมนิกเกิลโครเมียม (Ni-Cr casting alloys; Dentsply-Sankin KK, Tokyo, Japan)

อุปกรณ์

1. กล้องสเตอริโอไมโครสโคป (Nikon SMZ model 1500; Nikon Instech Co Ltd, Tokyo, Japan) กำลังขยาย 20 เท่า
2. เครื่องกำเนิดความร้อนซีสเต็มปี (System B heat system; Sybron Endo, Orange, Calif, USA)
3. เครื่องฉายแสง (Coltolux 75; Colténe/Whaledent Inc, Mahwah, NJ, USA)
4. เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine, Lloyd LRX; Lloyd Instruments, Fraeham, UK)
5. เครื่องสำรวจความขนาน (Surveryor Parallometer System PC; Dentsply Ceramco, York, Pa, USA)
6. เครื่องเอ็กซ์-สมาร์ทอิเล็กทริกมอเตอร์ (X-Smart electric motor; Dentsply Maillefer) และด้ามกรอ (Handpiece) ทดรอบ 1:16
7. ด้ามกรอแบบความเร็วสูง (High-speed contra-angle handpiece, Sirius, Micro-Mega, Besancon, France)

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมฟัน

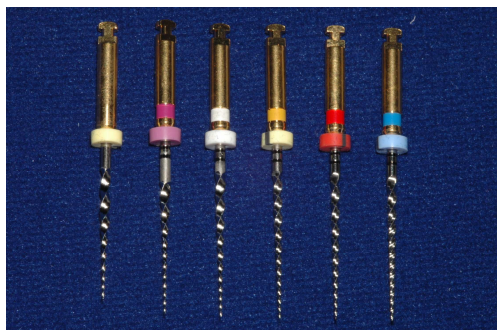
เตรียมฟันตัดหน้าบนที่มี 1 คลองราก จำนวน 50 ซี่ โดยเก็บรวบรวมจากคลินิกทันตแพทย์เอกชน และคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ชุดเนื้อเยื่อที่ติดฟันออกด้วยเครื่องมือขูด (curette) และขัดด้วยผงขัด (pumice) เพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ แล้วเก็บฟันในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยฟันที่ศึกษาจะต้องไม่มีรอยผุ ไม่มีรอยร้าวซึ่งตรวจสอบด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป กำลังขยาย 20 เท่า มีการสร้างรากฟันสมบูรณ์และปลายรากไม่หัก มีความยาวของฟันใกล้เคียงกัน และมีความกว้างของฟันบริเวณคอฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางและแนวด้านแก้ม-ด้านเพดานใกล้เคียงกัน ในกรณีฟันมีความยาวหรือขนาดของฟัน

ที่แตกต่างจากกลุ่มจะถูกตัดออกจากการศึกษา ถ่ายภาพรังสีในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง และแนว
 ด้านแก้ม-ด้านเพดาน เพื่อเลือกฟันที่มีคลองรากค่อนข้างตรง มีหนึ่งคลองราก และมีความกว้าง
 คลองรากใกล้เคียงกัน จากนั้นกรอตัดส่วนตัวฟันเหนือรอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟันวัดจาก
 ด้านข้างของฟัน (proximal surface) ประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยใช้เข็มกรอกากเพชรรูปทรงกระบอก
 ร่วมกับค้ำกรอเร็ว กรอเพื่อให้ได้ผิวเรียบเสมอกันในแนวราบและตั้งฉากกับแนวแกนฟัน

การเตรียมคลองรากฟัน

กำหนดความยาวการทำงาน (working length) โดยใช้เคไฟล์เบอร์ 20 ในคลองราก
 ให้ปลายไฟล์โผล่ที่รูเปิดปลายราก (apical foramen) นำไฟล์ออกมาวัดความยาวแล้วลบออก 1
 มิลลิเมตรเป็นความยาวการทำงาน ขยายคลองรากฟันด้วยวิธีคราวน์-ดาวน์ (crown-down technique)
 โดยใช้โปรแทปเปอร์ ร่วมกับเครื่องเอ็กซ์-สมาร์ทอิเล็กทรอนิกส์ที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เริ่ม
 จากขยายคลองรากระดับคอฟันส่วนต้นด้วยเอสเอ็กซ์ (Sx) เอสวัน (S1) และเอสทู (S2) ตามลำดับ
 ขยายคลองรากส่วนปลายด้วยเอฟวัน (F1) เอฟทู (F2) และเอฟทีรี (F3) ตามลำดับ โดยให้ความยาว
 ของเครื่องมือเท่ากับความยาวการทำงาน ในขณะที่ขยายคลองรากใช้อาร์ซีเพอร์ปเป็นสารหล่อลื่น
 เครื่องมือ จากนั้นขยายคลองรากฟันส่วนปลายจนถึงเคไฟล์เบอร์ 40 ล้างคลองรากทุกครั้งที่มีการ
 เปลี่ยนเครื่องมือด้วยน้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร โดยใช้
 เข็มขนาด 27 สอดเข็มในคลองรากให้ลึกที่สุดเท่าที่ทำได้แต่ต้องไม่สัมผัสกับผนังคลองราก หลัง
 สิ้นสุดการขยายคลองรากล้างคลองรากด้วยยอดิทีทีเอ ความเข้มข้นร้อยละ 17 ปริมาณ 5 มิลลิลิตรและ
 น้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ระหว่างเตรียมคลองรากฟัน
 ใช้ผ้าก๊อชชุบน้ำหมาด ๆ หุ้มรอบรากฟันเพื่อให้ความชื้นกับรากฟันป้องกันการเกิดการสูญเสียน้ำ
 ของรากฟัน ชับคลองรากให้แห้งด้วยกระดาษซับคลองรากชนิดแห้ง (paper point) แล้วอุดคลองราก
 ฟันด้วยกัตตาเปอร์ซาร์ร่วมกับเอเอสพลัสด้วยวิธีเลทเทอรัลคอนเดนเซชัน (lateral condensation)

จากนั้นเตรียมคลองรากฟันสำหรับใส่เดือยฟันโดยใช้เครื่องกำเนิดความร้อนซีส-
 เต็มบี ตัดกัตตาเปอร์ซาให้เหลือกัตตาเปอร์ซาประมาณ 4 มิลลิเมตรจากปลายราก แล้วอุดปิดทางเปิด
 เข้าสู่คลองรากฟันด้วยสำลีและวัสดุอุดชั่วคราว หนาประมาณ 4 มิลลิเมตร เก็บฟันในกล่องที่มีฝาปิด
 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ณ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์เพื่อให้ซีเมนต์
 แข็งตัวสมบูรณ์



รูปที่ 1 ชุด ไพรทอปเปอร์ที่ใช้เตรียมคลองรากฟัน รูปที่ 2 เครื่องเอ็กซ์-สมาร์ตอิเล็กทรอนิกส์และค้ำกรอ

การเตรียมเดือยฟันและแกนฟัน (post and core)

แบ่งฟันอย่างสุ่มออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 10 ซี่ ใช้เข็มกรอจากเพชรรูปทรงกระบอก ร่วมกับค้ำกรอเร็ว กรอเพื่อให้เกิดตำแหน่งของเฟอร์รูล โดยวัดจากรอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟันทางด้านข้างของฟัน (รูปที่ 3-7 และแผนภูมิที่ 1) ดังนี้

กลุ่ม 2FR มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบตัวฟัน

กลุ่ม 0FR ไม่มีเฟอร์รูล โดยตัดฟันให้เสมอกับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันทางด้านข้างของฟัน

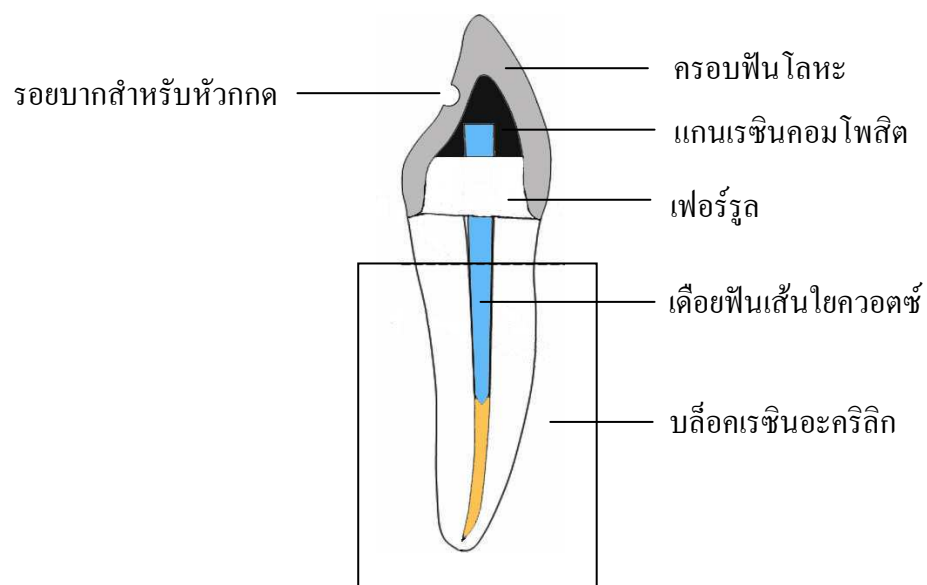
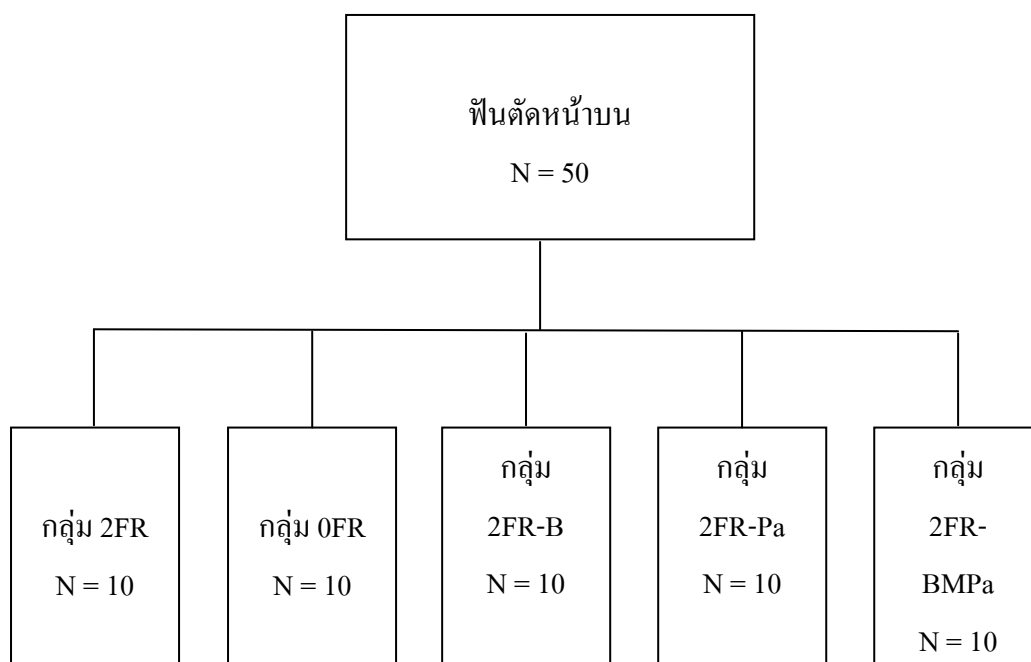
กลุ่ม 2FR-B มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านริมฝีปาก โดยกรอตัดฟันด้านใกล้กลาง ด้านเพดานและด้านไกลกลางระดับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันทางด้านข้าง และขอบเขตด้านริมฝีปาก-ด้านเพดานไม่เกินแนวบรรจบ

กลุ่ม 2FR-Pa มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรเฉพาะด้านเพดาน โดยกรอตัดด้านใกล้กลาง ด้านริมฝีปากและไกลกลางระดับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน และขอบเขตด้านริมฝีปาก-ด้านเพดานไม่เกินแนวบรรจบ

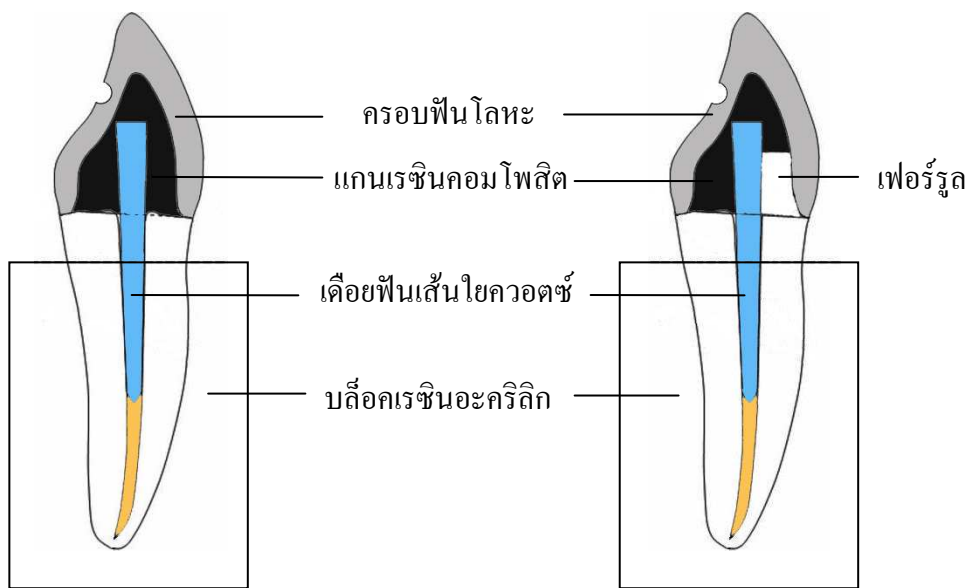
กลุ่ม 2FR-BMPa มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านริมฝีปาก ด้านใกล้กลาง และด้านเพดาน โดยกรอตัดด้านใกล้กลางระดับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน และขอบเขตด้านริมฝีปาก-ด้านเพดานไม่เกินแนวบรรจบ

แผนภูมิที่ 1

การแบ่งกลุ่มทดลอง

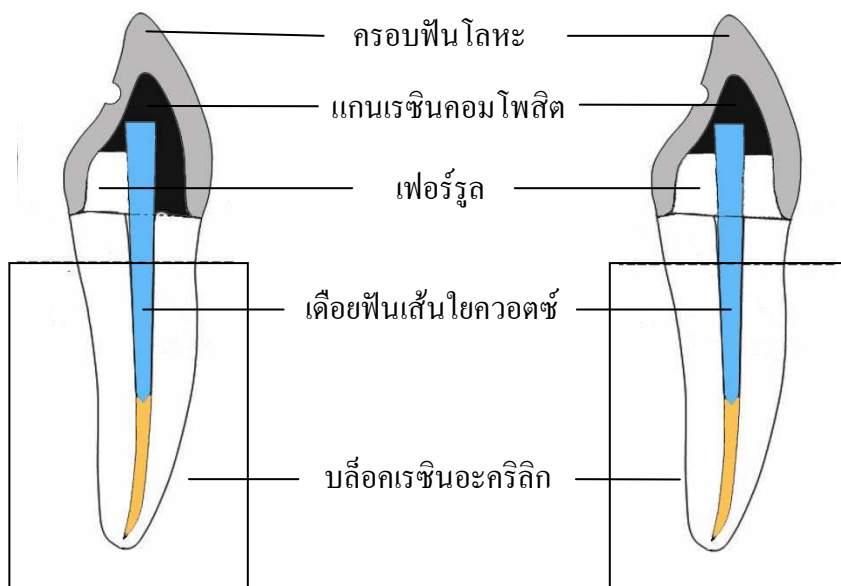


รูปที่ 3 กลุ่ม 2FR



รูปที่ 4 กลุ่ม 0FR

รูปที่ 5 กลุ่ม 2FR-B

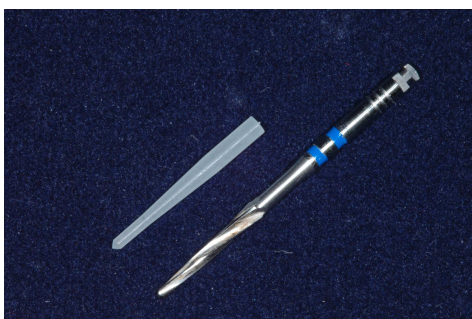


รูปที่ 6 กลุ่ม 2FR-Pa

รูปที่ 7 กลุ่ม 2FR-BMPa

ใช้เข็มกรอกากเพชรรูปทรงสอบปลายตัดร่วมกับด้ามกรอเร็วซึ่งยึดติดกับเครื่องสำรวจความขนานกรอตัดฟันบริเวณรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันเพื่อสร้างแนวเส้นสุดรอยต่อของฟัน (finish line) แบบโซลเดอร์ กว้าง 1 มิลลิเมตร โดยรอบ จากนั้นทำการบูรณะในแต่ละกลุ่มด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยควอตซ์ (quartz fiber post) (เดือยฟันดีทีไลท์ เบอร์ 3)

เตรียมคลองรากฟันโดยใช้เข็มกรอเดือยฟันดีทีไลท์เบอร์ 3 กรอในคลองรากลึกประมาณ 14 มิลลิเมตร โดยวัดจากหน้าตัดของฟัน ยึดเดือยฟันดีทีไลท์เบอร์ 3 โดยใช้กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 32 ทาในคลองรากเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นล้างน้ำ เป่าแห้ง 1-2 วินาที ชับน้ำส่วนเกินในคลองรากด้วยกระดาษซับคลองรากชนิดแห้ง หยดไพรเมอร์เอและบี (PRIMERS A&B; Bisco Inc) อย่างละ 1 หยด ผสมให้เข้ากัน จากนั้นทาในคลองราก 2 ครั้ง เป่าแห้ง 5-6 วินาที ชับน้ำส่วนเกินในคลองรากด้วยกระดาษซับคลองรากชนิดแห้ง ทาพรีบอน เรซิน (PRE-BOND RESIN; Bisco Inc) ในคลองรากด้วยกระดาษซับคลองรากชนิดแห้งเพื่อให้พรีบอน เรซินเป็นชั้นบางๆ จากนั้นทาสารยึดติดกับผนังคลองรากฟัน (dual-polymerized resin luting agent, Duo-Link; Bisco Inc) ใส่เดือยฟันในคลองรากด้วยการออกแรงกดซ้ำ ๆ เพื่อลดแรงดันไฮดรอลิก (hydraulic pressure) กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออก แล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงใกล้กับเดือยฟันด้านละ 40 วินาทีเพื่อให้ซีเมนต์ก่อตัวอย่างสมบูรณ์ จากนั้นสร้างส่วนแกนด้วยเรซินคอมโพสิต โดยทาสารยึดติด (All-Bond 2; Bisco Inc) รอบเดือยฟันและเนื้อฟัน ใส่วัสดุทำแกนฟันเรซินคอมโพสิต (Light-Core; Bisco Inc) จนเต็มแม่แบบสำเร็จรูป จากนั้นนำแม่แบบครอบบนตัวฟัน ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงใกล้กับเดือยฟัน ด้านละ 40 วินาที จากนั้นขัดแต่งแกนฟันด้วยเข็มกรอขัดคอมโพสิต (White Stone FG ISO #025; Shofu) สูงประมาณ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 8 เดือยฟันดีทีไลท์เบอร์ 3 และเข็มกรอสำหรับเตรียมคลองรากฟัน



รูปที่ 9 กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 32 สารยึดติด สารยึดติดกับผนังคลองรากฟัน และ เรซินคอมโพสิต

ตารางที่ 1 เดือยฟันที่ใช้ในการศึกษา

เดือยฟัน	บริษัทผู้ผลิต	ชนิดและการออกแบบ เดือยฟัน	องค์ประกอบ
D.T. Light-post	Bisco Inc, Schaumburg, Ill, USA	Translucent Double flared Apical diameter, 1.2 mm Apical taper, 0.02 Coronal diameter, 2.2 mm Coronal taper, 0.10	Unidirectional presented quartz fibers: 60% volume Epoxy resin: 40% volume Fiber density: 32/mm ²

ตารางที่ 2 ระบบสารยึดติดที่ใช้ในการศึกษา

ระบบ สาร ยึดติด	บริษัทผู้ผลิต	องค์ประกอบ ของกรด สำหรับปรับ สภาพฟัน	องค์ประกอบ ของไพรเมอร์	องค์ประกอบ ของเรซิน คอมโพสิต	การเกิด กระบวนการ การพอลิ- เมอร์	วิธีการ ปรับ สภาพ พื้นผิว
All- Bond 2	Bisco Inc, Schaumburg, Ill, USA	<i>UNI-ETCH:</i> 32% phosphoric acid, benzalkonium chloride and xanthum gum thickener	<i>Primer A:</i> NTG-GMA (2.1%), acetone, ethanol and water <i>Primer B:</i> BPDM (24%), acetone, ethanol and photoinitiator	<i>D/E resin</i> (Dentin/Enam el resin): Bis- GMA, HEMA, photoinitiator (CQ) and amine activator <i>Pre-Bond</i> <i>resin:</i> Bis- GMA, HEMA and benzoyl peroxide	Dual	3-step etch and rinse

ตารางที่ 3 เรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษา

เรซินคอมโพสิต	บริษัทผู้ผลิต	องค์ประกอบ
Light-Core	Bisco Inc, Schaumburg, Ill, USA	Bis-GMA, ethoxylated bisphenol A dimethacrylate and glass filler

ตารางที่ 4 สารยึดติดกับผนังคลองรากฟันที่ใช้ในการศึกษา

สารยึดติดกับผนังคลองรากฟัน	บริษัทผู้ผลิต	องค์ประกอบ
Duolink	Bisco Inc, Schaumburg, Ill, USA	Bis-GMA, TEGDMA, UDMA and glass filler

การทำครอบฟัน

ตกแต่งขี้ผึ้ง (Bego crown wax, medium hard; BEGO Bremer Goldschlägerei Wilh, Herbst GmbH & Co, Bremen, Germany) บนฟันที่ใช้ทดสอบให้มีรูปร่างของฟันตัดหน้าบน และมีขนาดตัวฟันเท่ากัน สร้างรอยบากด้านเพดานห่างจากปลายฟันประมาณ 3 มิลลิเมตรเพื่อให้เครื่องมือทดสอบการแตกหักของฟันที่มีลักษณะลิ่มอยู่ในตำแหน่งคงที่ในทุกกลุ่มทดลอง จากนั้นนำแม่แบบครอบขี้ผึ้งผ่านกระบวนการลอสท์แวกซ์เพื่อเปลี่ยนเป็นครอบฟันโลหะผสมนิกเกิลโครเมียม นำครอบฟันที่ได้มายึดกับแกนฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ ในอัตราส่วน ส่วนผง 1 ซ้อนต่อส่วนเหลว 1 หยด ผสมบนแท่งแก้วเป็นเวลาประมาณ 20 วินาทีให้ได้ลักษณะครีม (creamy consistency)

จากนั้นเก็บฟันที่บูรณะด้วยครอบฟันแล้วทุกกลุ่มในกล่องที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบ

การสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลองและการฝังฟันในเรซินอะคริลิก

สร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลองรอบรากฟัน โดยนำฟันที่เตรียมไว้ยึดติดกับแท่งวิเคราะห์ (analysing rod) ของเครื่องสำรวจความขนานด้วยขี้ผึ้งเหนียว (sticky wax) โดยให้แนวแกนฟันตั้งฉากกับพื้นราบ จากนั้นจุ่มรากฟันลงในน้ำยางชนิดหล่อแบบ (compound latex) 1 ครั้ง ซึ่งจะได้ความหนาของน้ำยางชนิดหล่อแบบประมาณ 0.25 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับความหนาของเอ็นยึดปริทันต์ โดยให้น้ำยางชนิดหล่อแบบอยู่ต่ำกว่ารอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟันทางด้านข้างของฟันประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นฝังฟันในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเอง โดยใช้แม่แบบซิลิโคนรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร โดยให้ขอบบนของน้ำยางชนิดหล่อแบบที่หุ้มรากฟันอยู่ระดับเดียวกับขอบบนของเรซินอะคริลิก เมื่อเรซินอะคริ-

ลิกเริ่มก่อตัวจึงนำเรซินอะคริลิกแช่ในน้ำเพื่อไม่ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ทำลายคุณสมบัติของเนื้อฟัน



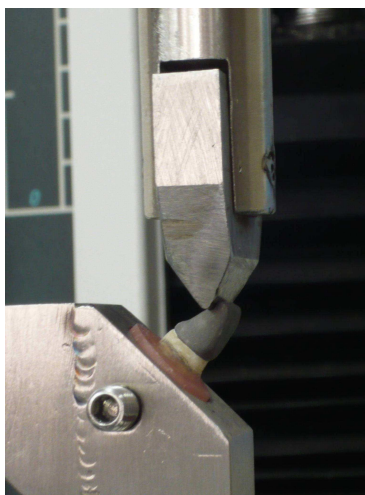
รูปที่ 10 การเคลือบน้ำยา
หล่อแบบที่รากฟัน



รูปที่ 11 รากฟันที่ได้รับการ
เคลือบน้ำยาหล่อแบบ

การทดสอบการแตกหักของฟัน

ทดสอบความต้านทานต่อการแตกหักของฟันด้วยเครื่องทดสอบสากล โดยยึดขึ้นทดสอบเข้ากับแป้นรองขึ้นทดสอบซึ่งทำมุมกับพื้นราบ 135 องศาเหมือนแรงจากการบดเคี้ยวในฟันหน้าที่มีการสบฟันแบบที่ 1 (class I occlusion) ให้หัวกดอยู่ที่ตำแหน่งรอยบากบนครอบฟัน อัตราเร็วหัวกด (cross head speed) 1 มิลลิเมตร/นาที บันทึกค่าแรง (หน่วยเป็นนิวตัน) ที่ทำให้รากฟัน เดียวฟันหรือแกนฟันแตก จากนั้นตรวจสอบการแตกหักด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคปกำลังขยาย 20 เท่า เพื่อจำแนกลักษณะการแตก



รูปที่ 12 ตำแหน่งหัวกดที่กดลงบนรอยบากบนกรอบฟัน
และแรงกดที่ทำมุม 135 องศา กับแนวแกนฟัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักโดยใช้สถิติการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ($\alpha=0.05$) วิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทูกีย์ (Tukey HSD) และวิเคราะห์ลักษณะการแตกที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่ม

บทที่ 3

ผลการวิจัย

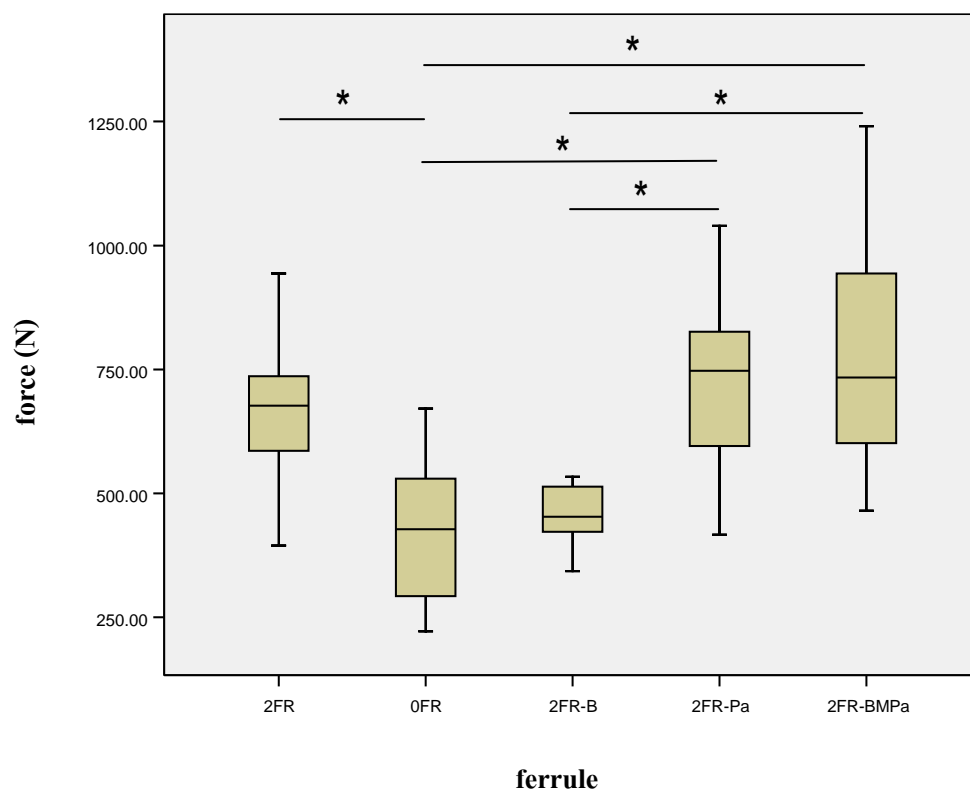
การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแรงด้านการแตกหักของฟัน กรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5 และรูปที่ 13

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยขนาดรากฟัน ความยาวรากฟัน แรงด้านการแตกหักของฟันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่ม

ตำแหน่งเฟอร์รูล	ขนาดรากฟันเฉลี่ย (มิลลิเมตร)		ความยาวรากฟันเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	แรงด้านการแตกหักเฉลี่ย (นิวตัน) ± ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	แนวแก้ม- เพดาน	แนวใกล้กลาง - ไกลกลาง		
2FR	6.05±0.66	6.49±0.60	18.00 ± 0.47	668.92 ± 170.49 ^{b,c}
0FR	6.12±0.97	6.97±0.92	17.60 ± 0.51	425.42 ± 141.07 ^a
2FR-B	6.55±0.55	6.56±0.65	17.70 ± 0.48	454.74 ± 57.89 ^{a,b}
2FR-Pa	6.47±0.53	6.47±0.67	17.70 ± 0.48	735.98 ± 191.14 ^c
2FR-BMPa	6.44±0.73	6.77±1.07	17.40 ± 0.51	778.14 ± 224.81 ^c

^{a,b,c} ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูคีย์

จากตารางที่ 5 สามารถเขียน boxplot แสดงค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟันที่ได้รับการรักษาลงรากกรณีมีเฟอร์รูลในตำแหน่งต่างกัน ได้ดังรูปที่



- * สัญลักษณ์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูลีย์

รูปที่ 13 boxplot แสดงค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากกรณีมีเฟอร์รูลในตำแหน่งต่างกัน

จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักของฟันสูงสุดในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) รองลงมาคือกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) ตามลำดับ

เมื่อทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov Test พบว่าทุกกลุ่มมีการแจกแจงปกติ ดังนั้นจึงทดสอบข้อมูลทุกกลุ่มด้วยการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบแรงด้านการแตกหักเฉลี่ยของฟันระหว่างกลุ่มที่มีเฟอร์รูลในตำแหน่งต่างกัน ค่าสถิติทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6

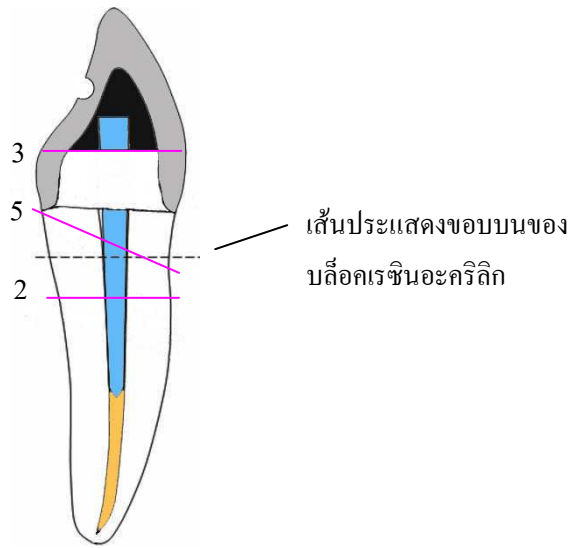
ตารางที่ 6 การทดสอบข้อมูลด้วยการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA)

ANOVA					
force					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1057594	4	264398.439	8.885	.000
Within Groups	1339064	45	29756.979		
Total	2396658	49			

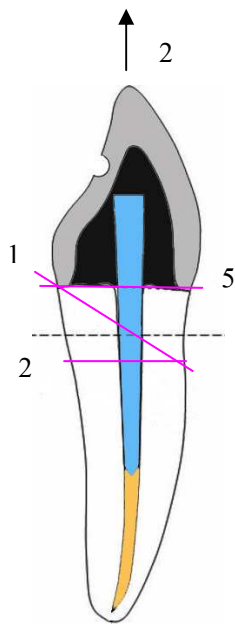
จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 อย่างน้อย 1 คู่

จากการทดสอบการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกีย์ พบว่าได้ผลดังภาคผนวก ก. ซึ่งแสดงกลุ่มทดลองที่มีค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ใกล้เคียงกลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) มีค่าสูงสุดและมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูล โคยรอบ (2FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

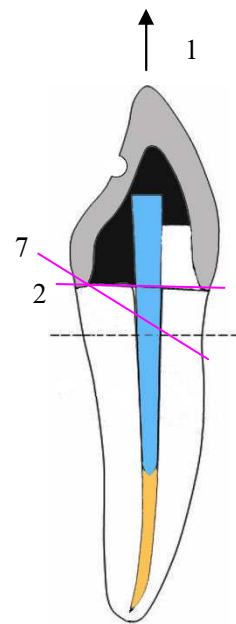
รูปแบบการแตก



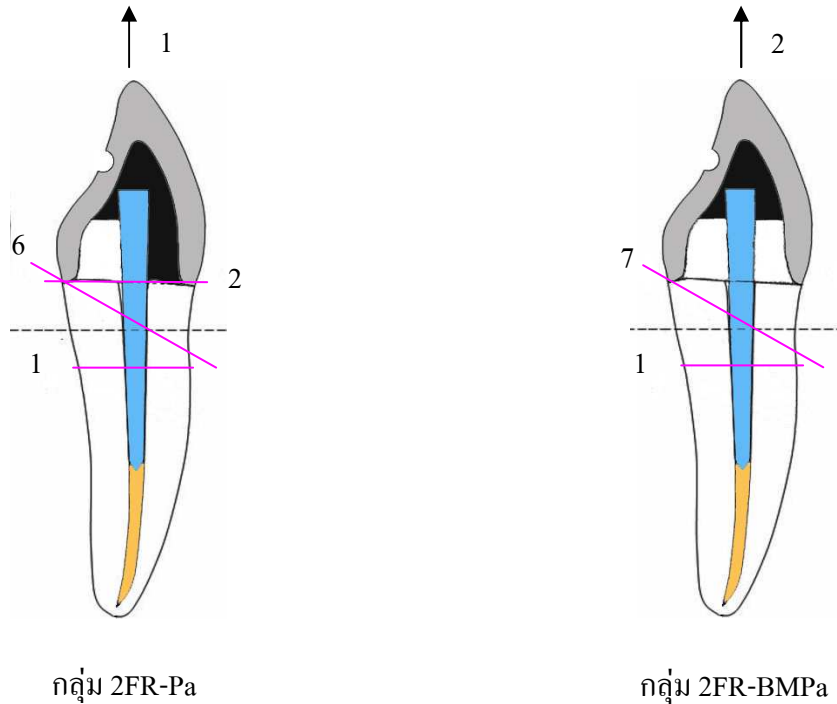
กลุ่ม 2FR



กลุ่ม 0FR



กลุ่ม 2FR-B



รูปที่ 14 รูปแบบและความถี่ของการแตกในกลุ่มที่มีเฟอรัลในตำแหน่งต่างกัน ลูกศรชี้ขึ้นแสดง ความถี่ของการหลุดของเดือยฟัน แกนฟันและครอบฟันแบบสมบูรณ์ ตัวเลขคือจำนวนซี่ ฟัน

รูปแบบการแตกของฟันแสดงดังรูปที่ 14 รูปแบบการแตกในกลุ่มที่มีเฟอรัล โดยรอบ (2FR) กลุ่มที่เฟอรัลด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) กลุ่มที่มีเฟอรัล ด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่มีเฟอรัลด้านเพดาน (2FR-Pa) ส่วนมากเป็นการแตกในแนวเฉียง (oblique fracture) จากด้านเพดานบริเวณคอฟันไปยังรากฟันด้านแก้มในระดับต่ำกว่าขอบบนของ บล็อกเรซินอะคริลิก ส่วนในกลุ่มที่ไม่มีเฟอรัล (OFR) ส่วนมากเป็นการแตกแนวระนาบ (horizontal fracture) ระดับรอยต่อของแกนฟันกับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน และพบ การแตกแนวระนาบระดับต่ำกว่าขอบบนของบล็อกเรซินอะคริลิก นอกจากนี้พบการหลุดของเดือย ฟัน แกนฟันและครอบฟันแบบสมบูรณ์ในกลุ่มที่มีเฟอรัลด้านแก้ม (2FR-B) 1 ซี่ กลุ่มที่มีเฟอรัล ด้านเพดาน (2FR-Pa) 1 ซี่ กลุ่มที่เฟอรัลด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) 2 ซี่ และ กลุ่มที่ไม่มีเฟอรัล (OFR) 2 ซี่

บทที่ 4

บทวิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบแรงด้านการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิตกรณีมีเฟอร์รูตไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน ฟันที่ใช้ศึกษาเป็นฟันถอนซี่ตัดหน้าบนของมนุษย์ เพราะมีความหลากหลายของรูปแบบคลองรากฟันน้อย คลองรากฟันมักตรงและมีขนาดใหญ่ เนื่องจากรูปร่างและขนาดของฟันมีผลต่อการกระจายแรงในการทำให้เกิดรากฟันแตก ดังนั้นจึงเลือกฟันที่มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามยังคงมีความแตกต่างของรูปร่างและขนาดของฟันที่ใช้ศึกษาอยู่บ้าง Heydecke และคณะ⁴¹ รายงานข้อดีของการใช้ฟันธรรมชาติ คือมีขนาดและตัวชี้วัดเชิงกล (mechanical parameters) หลากหลาย อาจทำให้ค่าความแปรปรวนกว้าง สำหรับการศึกษานี้เลือกใช้ฟันถอนของมนุษย์ทั้งนี้เพื่อเลียนแบบลักษณะทางคลินิก

ในขั้นตอนการเก็บฟันและในระหว่างการศึกษานี้ไม่สามารถเลียนแบบให้เหมือนกับสภาวะในช่องปากได้ แต่ทุกขั้นตอนได้พยายามป้องกันไม่ให้ฟันเกิดการสูญเสียความชื้นโดยห่อฟันด้วยผ้าก๊อชชุบน้ำและเก็บฟันในกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เพื่อป้องกันการสูญเสีย

เดือยฟันที่ใช้ในการศึกษานี้ คือเดือยฟันดีทีไลท์ซึ่งเป็นเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยควอตซ์ (quartz fiber post) เหตุผลที่เลือกเดือยฟันชนิดนี้เนื่องจากมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน (18-47 จิกะปาสคาล)⁶⁷ มีรูปร่างความสอบ 2 ระดับเป็นการเลียนแบบลักษณะคลองรากที่ถูกขยายจากขั้นตอนการเตรียมคลองรากทำให้ลดการสูญเสียเนื้อฟัน และจากการศึกษาของ Akkayan และ Gülmez³⁹ พบว่าเดือยฟันดีทีไลท์มีคุณสมบัตินำแสง (light-transmitting property) จึงอาจทำให้กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของสารยึดติดและสารยึดติดกับผนังคลองรากฟันผ่านเดือยฟันเกิดเป็นลักษณะของโมโนบล็อก (mono-block) ระหว่างเนื้อฟัน เดือยฟัน และแกนฟัน ทำให้ช่วยกระจายแรงไปยังรากฟัน⁶⁸ ดังนั้นถ้ามีแรงกระทำกับฟันมากเกินไปเดือยฟันจะดูดซับความเค้น (stress) ที่เกิดขึ้นจึงช่วยลดการเกิดรากฟันแตกได้ เมื่อพิจารณารูปแบบการแตกของฟันในการศึกษานี้พบว่ารูปแบบการแตกของรากฟันส่วนใหญ่เกิดในระดับคอฟันต่ำกว่าขอบบนของเรซินอะคริลิกเพียงเล็กน้อย โดยไม่พบรากฟันแตกในระดับกลางรากหรือระดับปลายรากฟัน

ในการบูรณะฟันนั้นได้ทำครอบฟันก่อนทดสอบแรงที่ทำให้เกิดฟันแตกเพื่อเลียนแบบลักษณะทางคลินิก ถึงแม้บางการศึกษายังมีข้อขัดแย้งในการทำครอบฟันก่อนทดสอบ เช่น Assif และคณะ⁶⁹ พบว่าถ้าทำการบูรณะด้วยเดือยฟันร่วมกับครอบฟันในฟันที่มีเพอร์รูต 2 มิลลิเมตรจะทำให้การกระจายแรงไปบนรากฟัน เดือยฟันและแกนฟันเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนี้การใส่ครอบฟันอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองจากขั้นตอนการทำครอบฟันและยึดครอบฟันด้วยซีเมนต์ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ผลในกรณีที่ไม่ได้ใส่ครอบฟันควรทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากไม่เหมือนสภาวะจริงในช่องปาก

ในการศึกษานี้ก่อนฝังฟันในเรซินอะคริลิกมีการสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลองเพื่อเลียนแบบลักษณะทางคลินิก Sirimai Riis และ Morgano⁷⁰ พบว่าการใช้วัสดุที่มีความแข็งเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับฝังฟันที่ถูกถอน เช่น เรซินอะคริลิก อาจส่งผลต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกของฟันและอาจมีผลต่อรูปแบบการแตกของฟัน ดังนั้นควรสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลองล้อมรอบรากฟันก่อนที่จะฝังฟันในบล็อกเรซินอะคริลิก ส่วนการให้แรงในการทดสอบความต้านทานต่อการแตกหักของฟันทำโดยยึดชิ้นทดสอบกับแป้นรองขึ้นทดสอบซึ่งทำมุมกับพื้นราบ 135 องศาเพื่อเลียนแบบการสบฟันแบบที่ 1^{65,66}

เนื่องจากฟันตัดหน้าบนเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจนเป็นเหตุให้เกิดการแตกหักของฟัน จึงอาจมีความจำเป็นในการบูรณะฟันด้วยการทำครอบฟันในกรณีสูญเสียเนื้อฟันไปมาก ซึ่งการสูญเสียเนื้อฟันในรูปแบบต่าง ๆ นั้นมีผลต่อการออกแบบเพอร์รูต Naumann Preuss และ Rosentritt⁶⁶ พบว่าการสูญเสียเนื้อฟันมักมีรูปแบบและตำแหน่งแตกต่างกัน เช่น การมีแรงบดเคี้ยวที่มากกว่าปกติ (occlusal overload) อาจทำให้ฟันแตกจากด้านเพดานไปสู่ด้านแก้มของฟันและมักพบว่าเกิดการแตกได้เหนือขอบริเวณด้านแก้มของฟัน ส่วนการเกิดอุบัติเหตุทำให้เกิดแรงที่มากกระทำในแนวตั้งฉากกับฟันทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อฟันด้านเพดานต่ำกว่าขอบเหงือก ส่วนฟันผุด้านประชิดอาจทำให้เหลือเนื้อฟันเฉพาะด้านแก้มและด้านเพดาน จากการสูญเสียเนื้อฟันในกรณีดังกล่าวจึงไม่สามารถกรอฟันให้มีเพอร์รูตได้ 2 มิลลิเมตร โดยรอบ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลในการศึกษาครั้งนี้เพื่อดูผลของการหายไปของเพอร์รูตด้านใดด้านหนึ่งในการต้านต่อแรงที่มากกระทำต่อฟัน จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงถึงความสำคัญของเพอร์รูตในฟันที่รักษาลงราก^{3,6,7,23,63} พบว่าฟันที่รักษาลงรากและมีเนื้อฟันเหลือเพียงพอในการสร้างให้เกิดเพอร์รูตโดยรอบจะมีแรงต้านต่อการแตกหักของฟันสูงกว่าฟันที่รักษาลงรากแต่มีเนื้อฟันเหลือไม่เพียงพอในการสร้างให้เกิดเพอร์รูต^{6,23} เนื่องจากเพอร์รูตจะช่วยกระจายแรงที่มากกระทำกับฟันและทำให้เกิดการยึดอยู่ที่มั่นคงของเดือยและแกนฟันทำให้เกิดการต้านต่อแรงที่จะทำให้เดือยและแกนฟันหมุน²³

จากการศึกษาครั้งนี้เมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานพบว่ากลุ่มที่มีเพอร์รูตด้านแก้ม ไกล่กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) มีค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันสูงสุด ส่วนกลุ่มที่ไม่มี

เฟอร์รูล (OFR) มีค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักของฟันน้อยที่สุด จากผลดังกล่าวแสดงว่าการมีเฟอร์รูล โดยรอบไม่ได้เป็นตัวบ่งชี้ว่าจะสามารถกระจายแรงที่มากระทำกับฟันได้ดีกว่าหรือมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูงกว่า Ng และคณะ⁶⁵ พบว่าปัจจัยสำคัญที่ฟันซี่นั้นจะมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูง ขึ้นกับการเหลือเนื้อฟันในด้านเดียวกับจุดที่มีแรงมากระทำกับฟัน⁶⁵ จากการศึกษาเมื่อให้แรงกระทำกับฟันด้านเพดานพบว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเพดาน ได้แก่ กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) มีค่าแรงด้านการแตกหักของฟันสูงกว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านแก้ม (2FR-B) นอกจากนี้พบว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเพดานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าแรงด้านการแตกหักของฟันไม่ต่างจากกลุ่มที่มีเนื้อฟัน โดยรอบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ng และคณะ⁶⁵ ที่ให้แรงกับฟันด้านเพดานและพบว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเพดานให้ค่าแรงด้านการแตกหักของฟันสูงกว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านแก้ม Ng และคณะ⁶⁵ จึงให้ข้อเสนอแนะว่าค่าแรงด้านการแตกหักของฟันที่ได้รับ การรักษาลดลงขึ้นกับความแข็งแรงของรากฟัน เนื้อฟันส่วนที่เหลือ ความแข็งแรงของเดือยฟัน และแกนฟัน และความแข็งแรงของพันธะ (bond strength) ระหว่างแต่ละส่วน เมื่อเนื้อฟันส่วนที่เหลืออยู่ด้านเดียวกับจุดที่ให้แรงกระทำกับฟัน จุดหมุนของการหลุด (arc of displacement) ของครอบฟันจะอยู่ที่รากฟันและเนื้อฟันส่วนที่เหลืออยู่ภายใต้แรงดึง (tension) โดยมีจุดด้านการหลุดอยู่ที่เดือยฟันและแกนฟัน เช่น กรณีเหลือเนื้อฟันด้านเพดานและให้แรงกระทำกับฟันด้านเพดาน พบว่าค่าแรงด้านการแตกหักขึ้นกับเนื้อฟันที่เหลือด้านเพดาน ส่วนในกรณีที่เหลือเนื้อฟันด้านตรงข้ามกับจุดที่ให้แรงกระทำกับฟัน เช่น กรณีเหลือเนื้อฟันด้านแก้มแต่ให้แรงกระทำกับฟันด้านเพดาน พบว่าจุดหมุนของครอบฟันขึ้นกับพันธะระหว่างเดือยฟันและแกนฟันกับรากฟันเป็นหลักมากกว่าความแข็งแรงของเนื้อฟันส่วนที่เหลือ ทำให้แรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของฟันในกลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านตรงข้ามกับจุดที่ให้แรงกระทำมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเดียวกับจุดที่ให้แรงกระทำ ส่วนในกลุ่มที่ไม่เหลือเนื้อฟันพบว่าความต้านทานต่อการหมุนขึ้นกับพันธะระหว่างเดือยฟันและแกนฟันกับรากฟันเป็นหลักทำให้ค่าแรงด้านการแตกหักของฟันในกลุ่มนี้มีค่าต่ำสุด

แต่ผลการศึกษาครั้งนี้มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Naumann Preuss และ Rosentritt⁶⁶ ที่พบว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานค่าแรงด้านการแตกหักของฟันที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานและกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการออกแบบการศึกษาที่ต่างกันในเรื่องของระเบียบวิธีวิจัยและวัสดุอุปกรณ์ โดยการศึกษาของ Naumann Preuss และ Rosentritt⁶⁶ มีการทำเทอร์โมไซคลิ่งและการให้แรงกับฟันแบบพลวัต (thermal cycling and mechanical loading) ก่อนการทดสอบแรงด้านการแตกหักของฟัน จำนวนรอบที่ทำเทอร์โมไซคลิ่ง 6000 รอบ ที่อุณหภูมิระหว่าง 5 องศาเซลเซียสและ 55 องศาเซลเซียส (5°C/55°C) ระยะเวลาในแต่ละรอบเท่ากับ 2 นาที ส่วนจำนวนรอบในการเลียนแบบการเคี้ยวเท่ากับ

1.2 x 10⁶ รอบ ซึ่งเลียนแบบลักษณะการเคี้ยวที่มีการเคี้ยวเป็นรอบ (cyclic loading) และฟันอยู่ในสถานะเปื่อยที่ต้องสัมผัสกับสารเคมีและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดเวลา การทำเทอร์โมไซคลิกทำให้มีผลต่อแกนเรซินคอมโพสิตและซีเมนต์เรซินในแง่การเปลี่ยนแปลงมิติจากการดูดน้ำของเรซินคอมโพสิตส่งผลให้มีช่องว่างระหว่างแกนฟันกับครอบฟันและเดือยฟันกับผนังคลองรากฟัน ส่วนการให้แรงกับฟันแบบพลวัตพบว่าเรซินคอมโพสิตจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทำให้เกิดการล้มเหลวของแกนฟัน เนื่องจากการหดตัวจากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์และการหดตัวจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง สำหรับการศึกษานี้ไม่ได้ทำเทอร์โมไซคลิกและให้แรงกับฟันแบบคงที่จนกระทั่งมีการแตกหักของฟันโดยไม่ได้เลียนแบบสถานะจริงในช่องปาก ส่วนในเรื่องของวัสดุพบว่ามีการใช้วัสดุที่ต่างกัน ได้แก่ ชนิดของเดือยฟันและ สารยึดติดกับผนังคลองรากฟัน โดยการศึกษาของ Naumann Preuss และ Rosentritt⁶⁶ ใช้เดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยแก้วและสารยึดติดกับผนังคลองรากฟันเป็นชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ (self-adhesive resin cement) ส่วนในการวิจัยนี้ใช้เดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดเส้นใยควอตซ์ (เดือยฟันดีทีไลท์) ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาของ Teixeira และคณะ⁷¹ พบว่าเดือยฟันดีทีไลท์ซึ่งเป็นเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดเส้นใยควอตซ์มีค่าความแข็ง (stiffness) สูงกว่าเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยแก้ว เหตุเดือยฟันชนิดนี้มีควอตซ์ในรูปแบบคริสตัลเป็นองค์ประกอบซึ่งมีความแข็งมากกว่าเส้นใยแก้ว นอกจากนี้เดือยฟันดีทีไลท์มีคุณสมบัติสีน้ำตาล จึงอาจทำให้กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของสารยึดติดและสารยึดติดกับผนังคลองรากฟันผ่านเดือยฟัน ส่วนสารยึดติดกับผนังคลองรากฟันในการวิจัยนี้เลือกใช้ชนิดบ่มสองส่วน (dual-cured resin cement) เนื่องจากแข็งตัวทันทีเมื่อฉายแสง และในบริเวณที่แสงฉายไม่ถึงก็สามารถแข็งตัวได้จากปฏิกิริยาเคมี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารยึดติดกับผนังคลองรากฟันชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟพบว่าการแข็งตัวใช้ปฏิกิริยาทางเคมีเพียงอย่างเดียวซึ่งอาจเกิดกระบวนการพอลิเมอร์ของเรซินแบบไม่สมบูรณ์ได้ ทั้งนี้อาจสัมพันธ์กับรูปแบบการแตกของรากฟัน ที่พบใกล้เคียงกับส่วนปลายของเดือยฟันในกลุ่มที่มีเพอร์รูต 2 มิลลิเมตร โดยรอบ

เมื่อพิจารณารูปแบบการแตกของรากฟัน พบว่าส่วนใหญ่เริ่มจากด้านเพดานก่อน เนื่องจากการศึกษานี้ให้แรงกับฟันด้านเพดาน ซึ่ง Ichim Kuzmanovic และ Love⁷² พบว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานจะเกิดความเค้นแรงอัด (compressive stress) ด้านแก้ม ส่วนด้านเพดานจะเกิดความเค้นแรงดึง (tensile stress) ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะถ่ายทอดไปตามผนังของรากฟันด้านเพดานและเกิดการสะสมของความเค้นที่รอยต่อของเนื้อฟันด้านเพดานกับครอบฟันซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกของรากฟันและรอยแตกจะขยายไปยังรากฟันและขยายไปในแนวเฉียงจากรากฟันด้านเพดานไปยังรากฟันด้านแก้ม โดยจะเกิดรอยแตกจากภายในรากฟันออกไปสู่ภายนอก

รูปแบบการแตกในทุกกลุ่มการศึกษา ยกเว้นกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ ส่วนใหญ่เกิดการแตกในแนวระนาบและในแนวเฉียงจากบริเวณคอพินไปยังรากพินด้านแก้มในระดับต่ำกว่าขอบบนของบล็อครีซินอะคริลิกซึ่งไม่สามารถให้การบูรณะซ้ำได้ ส่วนในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบพบว่าเกิดการแตกในแนวระนาบระดับรอยต่อของเฟอร์รูลกับแกนพิน จำนวน 3 ซี่ ซึ่งสามารถให้การบูรณะซ้ำได้ ดังนั้นในทางคลินิกหากเป็นไปได้ควรกรอพินให้มีเฟอร์รูลโดยรอบ เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักสูงและเมื่อเกิดการแตกของพินสามารถให้การบูรณะซ้ำได้

สำหรับข้อสังเกตจากการศึกษานี้พบว่าถึงแม้กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ไกล่กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) มีค่าแรงด้านการแตกหักของพินสูงกว่ากลุ่มมีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) แต่รูปแบบการแตกของพินทั้งสามกลุ่มมีลักษณะคล้ายกันคือรูปแบบการแตกส่วนใหญ่ไม่สามารถให้การบูรณะซ้ำได้ แต่ทั้งนี้ในทางคลินิกทันตแพทย์ต้องการค่าแรงด้านการแตกหักสูงเพื่อป้องกันการแตกหักของรากพิน ดังนั้นในกรณีที่ไม่สามารถกรอแต่งพินให้มีเฟอร์รูลได้โดยรอบ แนวโน้มการพยากรณ์ของพินที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ไกล่กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) และพินที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) จะดีกว่าพินที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) เนื่องจากให้ค่าแรงด้านการแตกหักของพินสูงจึงน่าจะป้องกันการแตกของรากพินได้สูงกว่า

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้ สรุปผลการศึกษาได้ว่า

1. การบูรณะฟันตัดหน้าบนที่ได้รับการรักษาคลองรากด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตกรณีไม่สามารถสร้างเฟอรรูตโดยรอบ พบว่าตำแหน่งของเฟอรรูตมีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักของฟัน

2. เมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานพบว่าค่าเฉลี่ยแรงด้านการแตกหักของฟัน ในกลุ่มที่มีเฟอรรูตด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) มีค่าสูงสุดและมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอรรูตด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอรรูต (0FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีเฟอรรูตด้านเพดาน (2FR-Pa) และกลุ่มที่มีเฟอรรูตโดยรอบ (2FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. รูปแบบการแตกของฟันในกลุ่มที่มีเฟอรรูตโดยรอบ (2FR) กลุ่มที่มีเฟอรรูตด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) กลุ่มที่มีเฟอรรูตด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่มีเฟอรรูตด้านเพดาน (2FR-Pa) ส่วนมากเป็นการแตกในแนวเฉียง (oblique fracture) จากด้านเพดานบริเวณคอฟันไปยังรากฟันด้านแก้ม ส่วนในกลุ่มที่ไม่มีเฟอรรูต (0FR) ส่วนมากเป็นการแตกแนวระนาบ (horizontal fracture) ระดับรอยต่อของแกนฟันกับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน

คำแนะนำสำหรับการศึกษาต่อไป

จากลักษณะทางคลินิกพบว่าแรงบดเคี้ยวที่เกิดขึ้นจริงมีหลายแนวและเป็นแรงที่เกิดซ้ำเป็นวงจร ดังนั้นเพื่อให้เลียนแบบสภาวะจริงในช่องปากควรเพิ่มการทดสอบที่มีการให้แรงกับฟันซ้ำกันเป็นวงจร และควรมีการเปรียบเทียบผลระหว่างการให้แรงกับฟันแบบสถิตย์ ที่มีเพียงทิศทางการเคี้ยวกับการให้แรงกับฟันแบบซ้ำกันเป็นวงจรเพื่อดูความสัมพันธ์ของผลที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ควรมีการเปรียบเทียบผลความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเดือยฟันแบบเหวี่ยง

เอกสารอ้างอิง

1. Gegauff AG. Effect of crown lengthening and ferrule placement on static load failure of cemented cast post-cores and crowns. *J Prosthet Dent* 2000; 84(2): 169-79.
2. Ricketts DN, Tait CM, Higgins AJ. Tooth preparation for post-retained restorations. *Br Dent J* 2005; 198(8): 463-71.
3. Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1990; 63(5): 529-36.
4. Rosen H, partida-Rivera M. Iatrogenic fracture of roots reinforced with a cervical collar. *Oper Dent* 1986; 11: 46-50.
5. Barkhordar RA, Radke R, Abbasi J. Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. *J Prosthet Dent* 1989; 61(6): 676-8.
6. Libman WJ, Nicholls JI. Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. *Int J Prosthodont* 1995; 8(2): 155-61.
7. Isidor F, Brondum K, Ravnholt G. The influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts. *Int J Prosthodont* 1999;12(1):78-82.
8. Torbjorner A, Karlsson S, Odman PA. Survival rate and failure characteristics for two post designs. *J Prosthet Dent* 1995; 73(5): 439-44.
9. Hemmings KW, King PA, Setchell DJ. Resistance to torsional forces of various post and core designs. *J Prosthet Dent* 1991; 66(3): 325-9.
10. Nicholls JI. The dental ferrule and the endodontically compromised tooth. *Quintessence Int* 2001; 32(2): 171-3.
11. Rivera EM, Yamauchi M. Site comparisons of dentine collagen cross-links from extracted human teeth. *Arch Oral Biol* 1993; 38(7): 541-6.
12. Helfer AR, Melnick S, Schilder H. Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972; 34(4): 661-70.
13. Huang TJ, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *J Endod* 1992; 18(5): 209-15.

14. Papa J, Cain C, Messer HH. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* 1994; 10(2): 91-3.
15. Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod* 1992; 18(7): 332-5.
16. Tait CM, Ricketts DN, Higgins AJ. Restoration of the root-filled tooth: pre-operative assessment. *Br Dent J* 2005; 198(7): 395-404.
17. Robbins JW. Restoration of the endodontically treated tooth. *Dent Clin North Am* 2002; 46(2): 367-84.
18. Schwartz RS, Robbins JW. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J Endod* 2004; 30(5): 289-301.
19. Mentink AG, Meeuwissen R, Kayser AF, Mulder J. Survival rate and failure characteristics of the all metal post and core restoration. *J Oral Rehabil* 1993; 20(5): 455-61.
20. McDonald AV, King PA, Setchell DJ. In vitro study to compare impact fracture resistance of intact root-treated teeth. *Int Endod J* 1990; 23(6): 304-12.
21. Sorensen JA, Martinoff JT. Endodontically treated teeth as abutments. *J Prosthet Dent* 1985; 53(5): 631-6.
22. Panitvisai P, Messer HH. Cuspal deflection in molars in relation to endodontic and restorative procedures. *J Endod* 1995; 21(2): 57-61.
23. Tan PL, Aquilino SA, Gratton DG, Stanford CM, Tan SC, Johnson WT, et al. In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configurations. *J Prosthet Dent* 2005; 93(4): 331-6.
24. Al-Omiri MK, Al-Wahadni AM. An ex vivo study of the effects of retained coronal dentine on the strength of teeth restored with composite core and different post and core systems. *Int Endod J* 2006; 39(11): 890-9.
25. Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronal reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1984; 51(6): 780-4.
26. Trope M, Maltz DO, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* 1985; 1(3): 108-11.
27. Cheung W. A review of the management of endodontically treated teeth. Post, core and

- the final restoration. *J Am Dent Assoc* 2005; 136(5): 611-9.
28. Oden A, Tullberg M. Cracks in gold crowns cemented on amalgam restorations. *Acta Odontol Scand* 1985; 43(1): 15-7.
 29. Rud J, Omnell KA. Root fractures due to corrosion. Diagnostic aspects. *Scand J Dent Res* 1970; 78(5): 397-403.
 30. Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent* 2000; 13: 15-8.
 31. Viguie G, Malquarti G, Vincent B, Bourgeois D. Epoxy/carbon composite resins in dentistry: mechanical properties related to fiber reinforcements. *J Prosthet Dent* 1994; 72(3): 245-9.
 32. 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): 476-82.
 33. Bateman G, Ricketts DN, Saunders WP. Fibre-based post systems: a review. *Br Dent J* 2003; 195(1): 43-8.
 34. Cormier CJ, Burns DR, Moon P. In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic and conventional post systems at various stages of restoration. *J Prosthodont* 2001; 10(1): 26-36.
 35. Maccari PC, Conceicao EN, Nunes MF. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with three different prefabricated esthetic posts. *J Esthet Restor Dent* 2003; 15(1): 25-30.
 36. Lassila LV, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater* 2004; 20(1): 29-36.
 37. Smith CT, Schuman NJ, Wasson W. Biomechanical criteria for evaluating prefabricated post-and-core systems: a guide for the restorative dentist. *Quintessence Int* 1998; 29(5): 305-12.
 38. Morgano SM, Rodrigues AH, Sabrosa CE. Restoration of endodontically treated teeth. *Dent Clin North Am* 2004; 48(2): 397-416.
 39. Akkayan B, Gulmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent* 2002; 87(4): 431-7.

40. Butz F, Lennon AM, Heydecke G, Strub JR. Survival rate and fracture strength of endodontically treated maxillary incisors with moderate defects restored with different post-and-core systems: an in vitro study. *Int J Prosthodont* 2001; 14(1): 58-64.
41. Heydecke G, Butz F, Hussein A, Strub JR. Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-and-core systems. *J Prosthet Dent* 2002; 87(4): 438-45.
42. Lopes GC, Baratieri LN, Caldeira de Andrada MA, Maia HP. All-ceramic post core, and crown: technique and case report. *J Esthet Restor Dent* 2001; 13(5): 285-95.
43. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Mater* 2004; 20(5): 449-56.
44. Ricketts DN, Tait CM, Higgins AJ. Post and core systems, refinements to tooth preparation and cementation. *Br Dent J* 2005; 198(9): 533-41.
45. White SN, Yu Z. Compressive and diametral tensile strengths of current adhesive luting agents. *J Prosthet Dent* 1993; 69(6): 568-72.
46. White SN, Yu Z. Physical properties of fixed prosthodontic, resin composite luting agents. *Int J Prosthodont* 1993; 6(4): 384-9.
47. Braem MJ, Lambrechts P, Gladys S, Vanherle G. In vitro fatigue behavior of restorative composites and glass ionomers. *Dent Mater* 1995; 11(2): 137-41.
48. Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, Tyas MJ, Harcourt JK. Fracture toughness of water-aged resin composite restorative materials. *Dent Mater* 1995; 11(3): 201-7.
49. Feilzer AJ, Kakaboura AI, de Gee AJ, Davidson CL. The influence of water sorption on the development of setting shrinkage stress in traditional and resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater* 1995; 11(3): 186-90.
50. Gorodovsky S, Zidan O. Retentive strength, disintegration, and marginal quality of luting cements. *J Prosthet Dent* 1992; 68(2): 269-74.
51. Shillingburg, Jr, HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. *Fundamental of fixed prosthodontics*. 3rd ed. Carol stream (IL): Quintessence. 1997. p. 385-418.
52. O'Brien WJ. *Dental Materials and their Selection*. 3rd ed. Chicago (IL): Quintessence. 2002. p. 132-55.

53. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent* 1998; 80(3): 280-301.
54. Goodacre CJ, Spolnik KJ. The prosthodontic management of endodontically treated teeth: a literature review. Part III. Tooth preparation considerations. *J Prosthodont* 1995; 4(2): 122-8.
55. Sidoli GE, King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of a carbon fiber-based post and core system. *J Prosthet Dent* 1997; 78(1): 5-9.
56. Holmes DC, Diaz-Arnold AM, Leary JM. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 1996; 75(2): 140-7.
57. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod* 1989; 15(11): 512-6.
58. Rosen H. Operative procedures on mutilated endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1961; 11: 973-86.
59. Stankiewicz NR, Wilson PR. The ferrule effect: a literature review. *Int Endod J* 2002; 35(7): 575-81.
60. 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.
61. Loney RW, Kotowicz WE, McDowell GC. Three-dimensional photoelastic stress analysis of the ferrule effect in cast post and cores. *J Prosthet Dent* 1990; 63(5): 506-12.
62. Saupe WA, Gluskin AH, Radke RA, Jr. A comparative study of fracture resistance between morphologic dowel and cores and a resin-reinforced dowel system in the intraradicular restoration of structurally compromised roots. *Quintessence Int* 1996; 27(7): 483-91.
63. Milot P, Stein RS. Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. *J Prosthet Dent* 1992; 68(3): 428-35.
64. Al-Hazaimeh N, Gutteridge DL. An in vitro study into the effect of the ferrule preparation on the fracture resistance of crowned teeth incorporating prefabricated post and composite core restorations. *Int Endod J* 2001; 34(1): 40-6.
65. Ng CC, Dumbrigue HB, Al-Bayat MI, Griggs JA, Wakefield CW. Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance of restored endodontically

- treated anterior teeth. *J Prosthet Dent* 2006; 95(4): 290-6.
66. Naumann M, Preuss A, Rosentritt M. Effect of incomplete crown ferrules on load capacity of endodontically treated maxillary incisors restored with fiber posts, composite build-ups, and all-ceramic crowns: an in vitro evaluation after chewing simulation. *Acta Odontol Scand* 2006; 64(1): 31-6.
67. Akkayan B. An in vitro study evaluating the effect of ferrule length on fracture resistance of endodontically treated teeth restored with fiber-reinforced and zirconia dowel systems. *J Prosthet Dent* 2004; 92(2): 155-62.
68. Newman MP, Yaman P, Dennison J, Rafter M, Billy E. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J Prosthet Dent* 2003; 89(4): 360-7.
69. Assif D, Bitenski A, Pilo R, Oren E. Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns. *J Prosthet Dent* 1993; 69(1): 36-40.
70. Sirimai S, Riis DN, Morgano SM. An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-core systems. *J Prosthet Dent* 1999; 81(3): 262-9.
71. Teixeira EC, Teixeira FB, Piasick JR, Thompson JY. An in vitro assessment of prefabricated fiber post systems. *J Am Dent Assoc* 2006; 137(7): 1006-12.
72. Ichim I, Kuzmanovic DV, Love RM. A finite element analysis of ferrule design on restoration resistance and distribution of stress within a root. *Int Endod J* 2006; 39(6): 443-52.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตาราง ก. ค่าแรงต้านการแตกหักของพินกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน

	2FR	0FR	2FR-B	2FR-Pa	2FR-BMPa
1	689.38	221.82	422.92	825.90	601.69
2	664.64	529.90	399.23	595.80	465.13
3	736.31	283.59	449.85	511.41	915.28
4	689.38	487.37	513.79	952.09	723.26
5	653.71	293.12	449.85	697.23	1008.40
6	586.29	361.72	516.05	1039.60	744.35
7	395.12	529.90	533.80	416.91	943.89
8	887.54	368.24	343.17	754.80	652.33
9	443.24	670.95	455.58	825.90	1240.30
10	943.61	507.55	463.13	740.24	513.79
ค่าเฉลี่ย	668.92	425.42	454.74	735.98	778.14
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	170.49	141.07	57.89	191.14	244.81

ตาราง ข. การกระจายตัวของข้อมูล

ตำแหน่งเฟอร์รูล	Kolmogorov-Smirnov Test		
	Statistic	df	Sig.
2FR	.164	10	.200
0FR	.170	10	.200
2FR-B	.166	10	.200
2FR-Pa	.120	10	.200
2FR-BMPa	.155	10	.200

ตาราง ค. คำนัยสำคัญทางสถิติของการเปรียบเทียบแรงด้านการแตกหักของพินกรณีมีเฟอร์รูลไม่
สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและ
เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบที

ANOVA

force

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1057594	4	264398.439	8.885	.000
Within Groups	1339064	45	29756.979		
Total	2396658	49			

Multiple comparisons

Ferrule (I)	Ferrule (J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Upper Bound	Lower Bound
2FR	0FR	243.5050*	77.1453	0.023	24.2984	462.7116
	2FR-B	214.1840	77.1453	0.058	-5.0226	433.3906
	2FR-Pa	-67.0670	77.1453	0.907	-286.2736	152.1396
	2FR-BMPa	-109.2210	77.1453	0.621	-328.4276	109.9856
0FR	0FR	-243.5050*	77.1453	0.023	-462.7116	-24.2984
	2FR-B	-29.3210	77.1453	0.995	-248.5276	189.8856
	2FR-Pa	-310.5720*	77.1453	0.002	-529.7786	-91.3654
	2FR-BMPa	-352.7260*	77.1453	0.000	-571.9326	-133.5194
2FR-B	2FR	-214.1840	77.1453	0.058	-433.3906	5.0226
	0FR	29.3210	77.1453	0.995	-189.8856	248.5276
	2FR-Pa	-281.2510*	77.1453	0.006	-500.4576	-62.0444
	2FR-BMPa	-323.4050*	77.1453	0.001	-542.6116	-104.1984

Multiple comparisons

Ferrule (I)	Ferrule (J)	Mean		Sig.	95%Confidence Interval	
		Difference (I-J)	Std. Error		Upper Bound	Lower Bound
2FR-Pa	2FR	67.0670	77.1453	0.907	-152.1396	286.2736
	0FR	310.5720*	77.1453	0.002	91.3654	529.7786
	2FR-B	281.2510*	77.1453	0.006	62.0444	500.4576
	2FR-BMPa	-42.1540	77.1453	0.982	-261.3606	177.0526
2FR-BMPa	2FR	109.2210	77.1453	0.621	-109.9856	328.4276
	0FR	352.7260*	77.1453	0.000	133.5194	571.9326
	2FR-B	323.4050*	77.1453	0.001	104.1984	542.6116
	2FR-Pa	42.1540	77.1453	0.982	-177.0526	261.3606

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวพะนอจิต เมืองอำพัน	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910820004	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2546

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ สำนักงานสาธารณสุข
จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปีการศึกษา 2549-2552

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ทันตแพทย์ 5 กลุ่มงานทันตกรรม โรงพยาบาลท่าโรงช้าง จ.สุราษฎร์ธานี