รายงานการวิจัย

ความต้านทานต่อการแตกหักของฟันซึ่งได้รับการรักษาคลองรากที่มีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันที่แตกต่างกัน

Fracture resistance of the endodontically treated tooth with incomplete crown ferrule restored with different post and core systems

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญรัตน์ สัตพัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกวลิน ธรรมสิทธิ์บูรณ์

รองศาสตราจารย์บุญเลิศ กู้เกียรติตระกูล

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก

ทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประเภททั่วไป ประจำปี 2550

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของฟันและรูปแบบการแตกของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากเมื่อ (1) บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟัน (2) บูรณะด้วยเดือยเหวี่ยงและครอบฟัน กรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน โดยแบ่งฟันตัดหน้าบนที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันแล้วเป็นกลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟัน กับกลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยเหวี่ยงและครอบฟัน แต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 6 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 10 ซี่ ได้แก่ กลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบตัวฟัน (2FR) กลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) กลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านแก้ม (2FR-B) กลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านเพดาน (2FR-Pa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านแก้มและเพดาน (2FR-BPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านแก้ม ด้านใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) ทดสอบความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน โดยวางหัวกดบนรอยบากด้านเพดานของครอบฟัน ทำมุม 135 องศากับแนวแกนฟัน ให้แรงกับฟันแบบคงที่ อัตราเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตร/นาที บันทึกค่าแรงที่ทำให้รากฟัน เดือยฟันหรือแกนฟันแตก วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว และทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูคีย์ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ผลการศึกษาพบว่า กรณีบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันสูงสุดในกลุ่ม 2FR-BMPa รองลงมาคือกลุ่ม 2FR-Pa 2FR 2FR-BPa 2FR-B และ 0FR ตามลำดับ กรณีบูรณะด้วยเดือยเหวี่ยง ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันสูงสุดในกลุ่ม 2FR รองลงมาคือกลุ่ม 2FR-BPa 2FR-BMPa 2FR-Pa 2FR-B และ 0FR ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักในกลุ่มที่ยังคงมีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR 2FR-BPa 2FR-BMPa และ 2FR-Pa) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักมากกว่ากลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-B และ 0FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในการบูรณะด้วยเดือยฟันทั้ง 2 แบบในทุกกลุ่มพบว่า รูปแบบการแตกของฟันส่วนมากเป็นการแตกในแนวเฉียงจากด้านเพดานบริเวณคอฟันไปยังรากฟันด้านแก้มต่ำกว่าขอบบนของบล็อคเรซินอะคริลิก ยกเว้นกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะแตกในแนวระนาบบริเวณคอฟัน และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลรอบตัวฟันและบูรณะด้วยเดือยเหวี่ยงมีการแตกแนวระนาบระดับต่ำกว่าขอบบนของบล็อคเรซินอะคริลิก ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้สรุปได้ว่า เมื่อให้แรงด้านเพดาน ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (ด้านเดียวกับแรงที่ทำกับฟัน) มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มหรือไม่มีเฟอร์รูล และรูปแบบการแตกหักส่วนใหญ่เป็นการแตกในแนวเฉียงจากคอฟันด้านเพดานไปยังด้านแก้ม ยกเว้นกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลและบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูป และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลรอบตัวฟันและบูรณะด้วยเดือยเหวี่ยงส่วนใหญ่จะแตกในแนวระนาบบริเวณคอฟัน

ABSTRACT

The objectives of this study were to investigate the effect of incomplete crown ferrules on the fracture resistance and mode of failure of endodontically treated teeth restored with 2 different types of restoration. One hundred and twenty maxillary incisors were endodontically treated and divided into 2 groups: (1) quartz fiber posts and resin cores, and (2) cast post and cores. Each group was divided into 6 subgroups (n=10) according to availability of ferrules: group 2FR = 2-mm circumferential ferrule; group 0FR = no ferrule; group 2FR-B = 2-mm ferrule on buccal; group 2FR-Pa = 2 mm ferrule on palatal; group 2FR-BPa = 2 mm ferrule on buccal and palatal, and group 2FR-BMPa = 2 mm ferrule in the buccomesiopalatal aspect of the tooth. After restoration with post and cores with metal coping, 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 Tukey Honesty Significant Difference test ($\alpha = .05$). The mode of failure was determined by a stereomicroscope for all specimens. The results showed that when the teeth were restored with quartz fiber posts, resin cores and crowns, group 2FR-BMPa showed the highest mean fracture load, followed by group 2FR-Pa, 2FR, 2FR-BPa, 2FR-B, and 0FR, respectively. In the teeth restored with cast posts and cores with crowns, group 2FR showed the highest mean fracture load followed by 2FR-BPa, 2FR-BMPa, 2FR-Pa, 2FR-B, and 0FR, respectively. In the presence of palatal ferrules (2FR, 2FR-BPa, 2FR-BMPa, and 2FR-Pa) a statistically significant higher fracture resistance was found in comparison to other groups. However, no significant difference among these latter groups was found. Most of the teeth in all groups showed oblique fracture from the palatal at cervical to buccal below the acrylic resin block, except group 0FR restored with a prefabricated post and group 2FR restored with cast posts showed horizontal fractures. Within the limitations of this study, it could be concluded that when a compressive load was applied to the palatal surface, the presence of palatal ferrule provided the highest fracture resistance irrespective of post type. Mostly, mode of fracture were oblique fractures extending from the palatal to buccal, except group 0FR restored with prefabricated posts and group 2FR restored with cast posts and cores were horizontal fractures.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภททั่วไป ประจำปี 2550

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

บทนำ

การบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากมีบทบาททางทันตกรรมอย่างมาก เพื่อให้ฟันมีลักษณะทางกายวิภาคที่เหมาะสมและทำหน้าที่ในช่องปากได้ปกติ เนื่องจากฟันที่รักษาคลองรากมาแล้วมักสูญเสียเนื้อฟันจากรอยโรคเดิมและจากการกรอเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟัน ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้ส่งผลต่อการเพิ่มโอกาสของการแตกหักของฟันในระหว่างการใช้งานในช่องปาก ดังนั้นการวางแผนการบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในกรณีที่เนื้อฟันเหลืออยู่น้อย มีการแนะนำให้ดึงฟันด้วยเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน (orthodontic extrusion)[1, 2] หรือทำศัลยกรรมเพิ่มความสูงตัวฟัน (periodontal crown lengthening)[1, 2] ส่วนกรณีที่พิจารณาแล้วพบว่าไม่สามารถบูรณะฟันซี่นั้นได้แนะนำให้ถอนฟันซี่นั้นออก[2] แต่ถ้าพิจารณาแล้วพบว่าสามารถบูรณะฟันซี่นั้นได้มักแนะนำให้บูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟัน[2] ซึ่งมีทั้งเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิตและเดือยเหวี่ยง การบูรณะด้วยเดือยเหวี่ยงเป็นที่นิยมมานาน ส่วนการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูป แกนเรซินคอมโพสิต และครอบฟันให้ความสวยงามและใช้ระยะเวลาในการทำในคลินิกน้อย

การออกแบบเดือยฟัน แกนฟัน และครอบฟันมีความสำคัญต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวในการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองราก ปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน คือการสร้างให้เกิดเฟอร์รูล จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการออกแบบให้มีเฟอร์รูลช่วยลดการเกิดรากฟันแตกได้[3-10] เฟอร์รูลหมายถึงการมีเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างแนวสิ้นสุดรอยต่อของฟันที่กรอแต่งแล้วกับรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและแกนฟันโดยรอบ Barkhordar และคณะ[5] พบว่าการออกแบบให้มีเฟอร์รูลลดอุบัติการณ์การเกิดรากฟันแตกได้ นอกจากนี้ยังพบรูปแบบการแตกในแนวราบมากกว่าการแตกในแนวดิ่งซึ่งพบในกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล และรูปแบบการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลสามารถให้การบูรณะซ้ำได้ สำหรับความสูงของเฟอร์รูลที่ตำแหน่งต่างๆรอบตัวฟันก็มีความสำคัญเช่นกัน โดยพบว่ามีความสัมพันธ์กับแรงที่กระทำบนฟัน (functional occlusal loading) จากการศึกษาของ Nicholls[10] พบว่าฟันตัดหน้าบนที่มีความสูงของเฟอร์รูลด้านเพดานมากกว่าตำแหน่งอื่นๆจะต้านต่อการแตกหักของฟันได้ดี ส่วนฟันตัดหน้าล่างพบว่าการมีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆจะให้ผลต้านต่อการแตกหักได้ดีกว่า ดังนั้น Nicholls[10] จึงแนะนำว่าควรให้มีความสูงของเฟอร์รูลด้านริมฝีปากและด้านเพดาน 1.5 มิลลิเมตร ส่วนความสูงของเฟอร์รูลด้านใกล้กลางและไกลกลาง 1 มิลลิเมตรก็เพียงพอ เนื่องจากความสูงดังกล่าวช่วยลดความเค้นเมื่อมีแรงมากระทำบนฟัน

ในทางคลินิกมักพบว่าฟันที่รักษาคลองรากสูญเสียเนื้อฟันไปมาก ทำให้ไม่สามารถกรอแต่งเนื้อฟันให้มีเฟอร์รูลได้โดยรอบ จึงอาจส่งผลต่อการพยากรณ์ของฟันซี่นั้นได้ และจากการศึกษาที่ผ่านมายังมีความขัดแย้งในเรื่องความต้านทานต่อการแตกหักของฟันในฟันหน้าบนกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างๆ เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเหวี่ยงและเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต และครอบฟันว่าการมีเฟอร์รูลตำแหน่งใดที่ช่วยต้านต่อแรงที่มากระทำได้ดีกว่า ทำให้ขาดข้อมูลพื้นฐานใน

การทำนายความสำเร็จหรือความล้มเหลวภายหลังการบูรณะฟันในกรณีดังกล่าว การศึกษานี้จึงได้ทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันที่มีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์เมื่อบูรณะด้วยเดือยเหวี่ยงและเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต

โครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเกิดโรคของเนื้อเยื่อในโพรงฟันและเนื้อเยื่อรอบรากฟัน มีสาเหตุจากฟันผุ (caries) การทำหัตถการต่าง ๆ (operative procedures) หรือการได้รับอุบัติเหตุ (traumatic injury) ซึ่งสิ่งกระตุ้นเหล่านี้หากไม่รุนแรงอาจก่อให้เกิดการตอบสนองของเนื้อเยื่อในโพรงฟันเป็นการอักเสบแบบผันกลับ (reversible pulpitis) เมื่อกำจัดสาเหตุออก เช่น การกำจัดเนื้อฟันที่ผุและอุดฟัน แต่หากปัจจัยเหล่านี้เกิดร่วมกับมีช่องทางให้แบคทีเรียหรือสารพิษของแบคทีเรียเข้าสู่เนื้อเยื่อในโพรงฟันจะทำให้การอักเสบรุนแรงขึ้นจนเนื้อเยื่อในโพรงฟันอักเสบและไม่สามารถผันกลับสู่สภาพปกติ (irreversible pulpitis) และหากไม่ได้รับการรักษาที่ถูกต้องโรคจะลุกลามต่อไปจนกระทั่งทำให้เนื้อเยื่อในโพรงฟันตาย (pulpal necrosis) และเกิดโรคของเนื้อเยื่อรอบรากฟัน (periradicular disease) ตามมา การรักษาในกรณีที่เนื้อเยื่อในโพรงฟันไม่สามารถผันกลับสู่สภาพปกติได้ ฟันตายหรือเกิดโรคของเนื้อเยื่อรอบรากฟันคือ การรักษาคลองรากฟัน (root canal treatment)

ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากมักเป็นฟันที่มีการสูญเสียเนื้อฟันไปมาก (extensive tooth destruction) จากการผุกว้างและลึกถึงโพรงในตัวฟันหรือการได้รับอุบัติเหตุจนทำให้ฟันแตกหัก สูญเสียเนื้อฟันบางส่วนไป รวมทั้งการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันและการเตรียมคลองรากฟันซึ่งทำให้สูญเสียเนื้อฟันเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โครงสร้างเนื้อฟันที่เหลือภายหลังการรักษาคลองรากฟันอาจแตกต่างจากปกติ Rivera และ Yamauchi[11] พบว่าการเรียงตัวของเส้นใยคอลลาเจนในเนื้อฟันของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากต่างจากฟันปกติ เนื่องจากมีการเชื่อมต่อพันธะเคมีของเส้นใยคอลลาเจนที่ไม่สมบูรณ์ (immature crosslink) เป็นจำนวนมาก ทำให้ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากมีความทนแรงดึง (tensile strength) ลดลงและมีความเปราะของฟันเพิ่มขึ้น Helfer Melnick และ Schilder[12] พบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากมีความชื้นเพียงร้อยละ 9 เมื่อเทียบกับฟันปกติซึ่งมีความชื้นร้อยละ 15.5 แต่การศึกษาของ Huang Schilder และ Nathanson[13] และ Papa Cain และ Messer[14] พบว่าความชื้นของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากไม่แตกต่างจากฟันปกติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Sedgley และ Messer[15] ที่พบว่าคุณสมบัติทางชีวกลศาสตร์ ได้แก่ ความทนแรงเฉือนแบบกด (punch shear strength) การทนความเค้น (toughness) ความแข็ง (hardness) และแรงที่ใช้การทดสอบการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากและฟันปกติไม่แตกต่างกัน ดังนั้นฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากจึงไม่น่าเปราะกว่าฟันปกติ การที่ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากแตกหักง่ายกว่าฟันปกติน่าจะเนื่องมาจากการสูญเสียเนื้อฟันไปมาก

ดังนั้น หลังจากรักษาคลองรากฟันเสร็จแล้วควรบูรณะฟันให้เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกหักของตัวฟันหรือรากฟัน (crown or root fracture) ภายหลัง ซึ่งการบูรณะฟันเหล่านี้ทำได้หลายวิธี เช่น การอุดฟัน การทำอุดฝัง (onlay) ทำครอบฟัน หรือทำเดือยฟันร่วมกับครอบฟัน วิธีการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากมาแล้ว ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ปริมาณเนื้อฟันบริเวณตัวฟัน (coronal tooth structure) ที่เหลือ[16] ตำแหน่งฟัน (position of the tooth)[16,17] และแรงที่กระทำบนฟัน[16]

ปริมาณเนื้อฟันที่เหลือมีผลต่อการพิจารณาวิธีการบูรณะฟัน หากสูญเสียเนื้อฟันน้อยจากการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันเท่านั้น ควรบูรณะด้วยวัสดุบูรณะฟัน เช่น แก้วไอโอโนเมอร์ (glass ionomer) เรซินคอมโพสิต (resin composite) หรืออะมัลกัม (amalgam) ในกรณีที่เนื้อฟันเหลือมากกว่าครึ่งหนึ่งของตัวฟัน อาจทำครอบฟันโดยไม่จำเป็นต้องใช้เดือยฟัน ยกเว้นมีการสบฟันรุนแรงหรือต้องใช้ฟันซี่นั้นเป็นหลักยึดของฟันเทียม ส่วนในกรณีที่เนื้อฟันเหลือน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของตัวฟัน ต้องใช้เดือยฟันเพื่อเชื่อมแกนฟันเข้ากับรากฟันแต่ไม่จำเป็นต้องกรอฟันเพื่อต้านต่อการหมุนของเดือยฟัน (anti-rotation) เพราะเนื้อฟันที่เหลืออยู่สามารถต้านต่อการหมุนของเดือยฟันได้ ในกรณีเนื้อฟันหายไปโดยรอบ ต้องใช้เดือยฟันร่วมกับครอบฟัน และควรกรอฟันเพื่อต้านต่อการหมุนของเดือย[18]

ตำแหน่งฟันมีส่วนสำคัญในการรับแรงบดเคี้ยว Mentink และคณะ[19] พบว่าฟันหน้ามีความเสี่ยงต่อการแตกสูง เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับแรงมากระทำหลายแนว ดังนั้นถ้าเหลือเนื้อฟันมากควรบูรณะด้วยวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต[20] แต่ถ้าเหลือเนื้อฟันน้อยกว่าร้อยละ 50 จำเป็นต้องบูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟัน ส่วนฟันกรามน้อย ต้องพิจารณาในแง่การใช้งาน ปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ และแรงที่มากระทำ เช่น กรณีฟันกรามน้อยมีความเค้นจากการทำงาน (functional stress) หากมีการสูญเสียอวัยวะปริทันต์ (periodontium) และต้องใช้เป็นหลักยึดของฟันเทียม ในกรณีนี้มีความจำเป็นต้องใช้เดือยฟันร่วมกับครอบฟัน[21] ส่วนฟันหลังซึ่งปกติรับแรงในแนวดิ่งมากกว่าแรงเฉือน และฟันหลังมีด้านสบฟัน (occlusal) แบ่งเป็นปุ่ม (cusp) จึงมีโอกาสที่ฟันจะแตกถ้ามีแรงบดเคี้ยวมาก Panitvisai และ Messer[22] พบว่าเมื่อฟันหลังได้รับการรักษาคลองรากฟัน ฟันจะอ่อนแอมากขึ้นเนื่องจากการกรอแต่งฟันเพื่อบูรณะด้วยวัสดุอุดฟันที่มีขนาดใหญ่ (extensive cavity preparation) และจากการกรอเปิดทางเข้าสู่โพรงในตัวฟัน[22] จำเป็นต้องบูรณะครอบคลุมตัวฟันและปุ่มฟัน (cuspal coverage restoration) เช่น การทำอุดฝัง หรือทำครอบฟันเพื่อป้องกันการแตกของตัวฟันและรากฟัน[22] กรณีสูญเสียเนื้อฟันไปมากควรพิจารณาทำเดือยร่วมกับครอบฟัน

กรณีที่พบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากมีการสึกของฟัน (tooth wear) เนื่องจากการสึกเหตุบดเคี้ยว (attrition) การกัดถูฟันโดยไม่รู้ตัว (bruxism) หรือมีแรงบดเคี้ยวมากโดยเฉพาะตำแหน่งด้านข้าง (lateral direction) ควรบูรณะฟันด้วยเดือยฟันและครอบฟัน[16] ส่วนกรณีที่ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากเป็นหลักยึดของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ซึ่งจะได้รับแรงมาก โดยเฉพาะฟันที่เป็นหลักยึดของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ขยายฐานเนื่องจากทำหน้าที่เป็นจุดหมุนและรับแรงบิด (torque) ขณะเคี้ยวอาหาร จึงมีโอกาสทำให้รากฟันแตกได้ จากการศึกษาพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากและเป็นหลักยึดของฟันเทียมมีความล้มเหลวมากกว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากแต่ไม่ได้เป็นหลักยึดของฟันเทียม 2 เท่า[21]

จากรายงานการศึกษาพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากส่วนใหญ่มักต้องใช้เดือยฟันร่วมกับครอบฟัน ดังนั้นการเลือกใช้เดือยฟันจึงเป็นสิ่งสำคัญเพราะมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งาน[3,7,23-26]

เดือยฟัน คือวัสดุส่วนที่อยู่ในคลองรากฟันซึ่งได้รับการเตรียมไว้เพื่อให้การยึดอยู่ (retention) กับแกนฟัน (core)[27] เมื่อเชื่อมต่อกับแกนฟันที่มีรูปร่างของตัวฟัน (coronal tooth structure) ที่เหมาะสมจะทำ

ให้มีการยึดอยู่และการต้านต่อการหลุด (retention and resistant form) ของครอบฟัน

ชนิดของเดือยฟัน เมื่อแบ่งตามวิธีการผลิต สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท[27] ได้แก่

เดือยฟันแบบเหวี่ยง (custom cast post and core) คือเดือยฟันโลหะ (metal post and core) ผลิตด้วยกระบวนการลอสท์แวกซ์ (lost-wax technique) ทำให้เดือยและแกนฟันเชื่อมต่อเป็นชิ้นเดียวกัน เดือยฟันชนิดนี้มีข้อดี คือมีความแนบกับผนังคลองรากฟันดีเนื่องจากสร้างตามลักษณะคลองรากฟัน เหมาะกับฟันที่มีคลองรากรีหรือฟันที่มีการสูญเสียเนื้อฟันไปค่อนข้างมาก มีความแข็งแรงสูง แต่มีข้อเสีย คือ ถ้าต้องรื้อจะทำได้ยาก แม้ว่าเดือยฟันชนิดนี้มีความต้านทานต่อการแตกหักสูงกว่าเดือยฟันสำเร็จรูป แต่อาจทำให้รากฟันแตกได้[28,29] เนื่องจากเดือยฟันชนิดนี้มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นต่างจากเนื้อฟันทำให้เมื่อมีแรงมากระทำต่อฟันแรงที่เกิดขึ้นจึงถ่ายทอดไปสู่รากฟัน[30]

เดือยฟันสำเร็จรูป (prefabricated post) เป็นเดือยฟันที่ผลิตขึ้นจากบริษัทผู้ผลิต โดยออกแบบให้มีความแตกต่างกันในวัสดุ (materials) รูปร่าง (shapes) และพื้นผิว (surface configurations) มีข้อดีคือโอกาสทำให้เกิดรากฟันแตกน้อยกว่าการใช้เดือยฟันแบบเหวี่ยง[30] เนื่องจากเดือยฟันชนิดนี้มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงเนื้อฟัน[31] ส่วนข้อเสีย คือไม่สามารถทำให้เกิดความแนบสนิทตลอดคลองรากฟันได้

เดือยฟันสำเร็จรูป แบ่งตามวัสดุ ได้เป็น

เดือยฟันโลหะ (metallic post) ทำจากโลหะผสม ได้แก่ โคบอล-โครเมียม (cobalt-chromium) นิกเกิล-โครเมียม (nickel-chromium) แพลทินัม-ทอง-แพลเลเดียม (platinum-gold-palladium) และโลหะผสมไทเทเนียม (titanium alloys) เดือยฟันโลหะมีมอดูลัสความยืดหยุ่นและความแข็งสูงกว่าเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย (fiber-reinforced composite post) ทำให้พบรูปแบบการแตกของรากฟันมากกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย [32]

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 แต่มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน[37] จึงมีคุณสมบัติดัดงอตัว (flexibility) ใกล้เคียงกับเนื้อฟันมากกว่าเดือยฟันโลหะ ส่วนการยึดอยู่ได้จากการยึดกับผนังคลองรากฟันด้วยซีเมนต์เรซิน (resin cement) และใช้วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตเป็นแกนฟัน เดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีความเข้ากับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) ได้ดี มีความต้านทานต่อการกัดกร่อน (corrosion resistance) ดี แต่มองไม่เห็นจากภาพรังสีและมีสีดำ การใช้งานเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนกรณีเหลือเนื้อฟันมากและมีเฟอร์รูลเหมาะสมจะมีอัตราความสำเร็จสูง กรณีเหลือเนื้อฟันน้อยและมีเฟอร์รูลไม่เพียงพอ เมื่อมีแรงบดเคี้ยวอาจทำให้เดือยฟันงอและเกิดการเคลื่อนที่ของแกนฟันในระยะทางสั้นๆ (micromovement) ทำให้เกิดการแตกของซีเมนต์และมีการรั่วบริเวณขอบครอบฟัน[38] จากการศึกษาทางคลินิกพบว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนลดโอกาสเกิดรากฟันแตกหัก เนื่องจากคุณสมบัติดัดงอตัวได้ เมื่อได้รับแรงเดือยฟันชนิดนี้จะดูดซับแรงเอาไว้จึงลดการกระจายแรงเครียดไปยังรากฟัน[39] เนื่องจากเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีสีดำจึงมีการดัดแปลงเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนด้วยการเคลือบด้วยเส้นใยแก้ว (glass fiber) และเส้นใยควอตซ์ (quartz fiber) เพื่อให้มีสีขาว[38]

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

เดือยฟันเส้นใยริบบิ้นประกอบด้วยเส้นใยโพลิเอทิลีน (polyethylene fiber) ที่เรียงตัวแบบสานภายในเรซินเมทริกซ์ ซึ่งทำให้สามารถสร้างเดือยและแกนด้วยเรซินคอมโพสิตได้โดยตรงภายหลังการรื้อวัสดุอุดคลองราก การใช้งานเดือยฟันชนิดนี้จะทำได้ดีกรณีแสงสามารถผ่านไปยังส่วนของคลองรากที่ลึกลงไปได้เพียงพอ สำหรับการทดสอบในเรื่องความแข็งแรงและความสามารถในการเสริมความแข็งแรงของรากฟันยังมีการศึกษาน้อยในปัจจุบัน

ในปี ค.ศ.1994-1995 เริ่มมีการใช้เซอร์โคเนียร์เซรามิกในการทำเดือยฟันสำเร็จรูปและได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีความแข็งแรงมากกว่าเดือยฟันเซรามิกชนิดอื่นๆ[40, 41] เริ่มแรกมีการนำเดือยฟันสำเร็จรูปเซอร์โคเนียร์เซรามิกมาใช้ร่วมกับเรซินคอมโพสิตในการก่อเป็นส่วนของแกนเพื่อแก้ปัญหาความไม่สวยงามของการทำครอบฟันเซรามิกล้วนร่วมกับเดือยฟันโลหะ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโดยสามารถทำส่วนแกนเป็นเซรามิกเพื่อใช้ร่วมกับเดือยฟันสำเร็จรูปเซอร์โคเนียร์เซรามิก องค์ประกอบของเดือยฟันสำเร็จรูปเซอร์โคเนียเซรามิก คือ เซอร์โคเนียไดออกไซด์ (zirconia dioxide)

ร้อยละ 94.9 และอิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide) ร้อยละ 5.1 ทำให้ได้เซอร์โคเนียร์เซรามิกในรูป อิตเทรียม พาร์เชียรลี สเทบิไลส เซอร์โคเนียร์เซรามิก (Yttrium Patially Stabilized Zirconia ceramic: YPSZ)[42] คุณสมบัติเด่นของเซอร์โคเนียร์เซรามิก คือ มีการเปลี่ยนวัฏภาค (phase transformation) โดยเมื่อเริ่มเกิดรอยร้าวในเซรามิกจะเกิดการเปลี่ยนสภาวะจากวัฏภาคสี่มุม (tetragonal phase) เป็นวัฏภาคโมโนคลินิก (monoclinic phase) ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นและขัดขวางการเกิดรอยแตกไม่ให้ขยายออกไป[43] นอกจากนี้เดือยฟันสำเร็จรูปสามารถจำแนกตามรูปร่างได้เป็นเดือยฟันแบบสอบ (tapered post) เดือยฟันแบบขนาน (parallel-sided post) และเดือยฟันแบบขนานร่วมกับแบบสอบ (parallel-tapered post) หากจำแนกเดือยฟันตามลักษณะพื้นผิวแบ่งได้เป็นเดือยฟันแบบกัมมันต์ (active post)[44] ยึดกับเนื้อฟันโดยส่วนเกลียวของเดือยฟันฝังในเนื้อฟัน ซึ่งอาจทำให้รากฟันร้าวและนำไปสู่การเกิดรากฟันแตก และเดือยฟันแบบกสานติ์ (passive post)[44] แบ่งย่อยได้เป็นเดือยฟันชนิดผิวเรียบ (smooth surface) และเดือยฟันแบบฟันเลื่อย (serrated post) ยึดเดือยฟันชนิดนี้กับผนังคลองรากฟันด้วยซีเมนต์

ซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดเดือยฟัน

ในปัจจุบันมีซีเมนต์ที่ใช้ยึดเดือยฟันกับผนังคลองรากฟันหลายชนิด การเลือกใช้จึงควรคำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความทนแรงกด (compressive strength)[45,46] ความทนแรงดึง (tensile strength) การดูดน้ำ[47-49] การยึดติด[50] ความสามารถในการละลาย เวลาทำงานและเวลาแข็งตัว ความหนาและความหนืด เป็นต้น

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

ซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต เป็นซีเมนต์ที่มีประวัติการใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1878[51] ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว โดยส่วนผงประกอบด้วยซิงก์ออกไซด์ร้อยละ90 และแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ10 ส่วนเหลวประกอบด้วย กรดฟอสฟอริกร้อยละ 45-64 น้ำร้อยละ 30-55 อะลูมิเนียมร้อยละ 2-3 และซิงก์ร้อยละ 0-9[52] ซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟตมีความทนแรงกดสูง มีการไหลแผ่ที่ดี แต่มีข้อด้อยคือมีการยึดติดกับฟันโดยการยึดทางกล มีความสามารถในการละลายสูง มีความเป็นกรดเนื่องจากมีกรดฟอสฟอริกเป็นส่วนประกอบ ค่าความเป็นกรด-ด่างหลังผสมมีค่า 2 และมีค่าสูงขึ้นเป็น 5.5 ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ซีเมนต์ซิงก์โพลีคาร์บอกซิเลต ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว โดยส่วนผงมีองค์ประกอบคล้ายซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต แต่อาจใช้แทนนิกออกไซด์แทนแมกนีเซียมออกไซด์ และมีการเพิ่มออกไซด์อื่นๆ เช่น บิสมัธออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ลงไป อาจมีการเพิ่มสแตนนัสฟลูออไรด์ (stannous fluoride) เพื่อต่อต้านฟันผุ ส่วนเหลวประกอบด้วย กรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid) หรือพอลิเมอร์ร่วมของกรดอะคริลิก (copolymer of acrylic acid) และกรดคาร์บอกซิลิกอื่น เช่น กรดอิทาคอนิก (itaconic acid) ข้อดีของซีเมนต์ซิงก์โพลีคาร์บอกซิเลตคือ มีการไหลแผ่ดี ความสามารถในการละลายน้อยกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต มีความทนแรงดึงสูงกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต แต่ความทนแรงกดที่ 24

ชั่วโมงมีค่าต่ำกว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต ประกอบกับโมเลกุลของกรด พอลิอะคริลิกใหญ่จึงซึมผ่านท่อเนื้อฟันน้อย จึงระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันน้อย ส่วนข้อด้อยคือ มีการยึดติดน้อยกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟตและซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์ สูญเสียการยึดติดในระยะยาว

ซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์ ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว ส่วนผงประกอบด้วยแก้วแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกตที่อยู่ในรูปกรดที่สามารถละลายน้ำได้ (acid-soluble calcium fluoroaluminosilicate glass) มีฟลูออไรด์ร้อยละ 10-16 โดยน้ำหนัก มีการเติมสตรอนเทียม แบเรียม หรือซิงก์ออกไซด์เพื่อทำให้ทึบรังสี ส่วนเหลวประกอบด้วยกรดพอลิอะคริลิก-อิทาคอนิกร้อยละ 50 หรือพอลิเมอร์ร่วมของกรดพอลิคาร์บอกซิเลต ที่มีกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) ร้อยละ 5 การใส่กรดทาร์ทาริกลงไปเพื่อช่วยให้ผสมง่ายแต่ทำให้เวลาทำงานสั้นลง ซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์มีความทนแรงอัดประมาณ 122-162 เมกะปาสคาล[53] การละลายน้อยกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต ปลดปล่อยฟลูออไรด์มากกว่าซีเมนต์ซิลิเกต มีการไหลแผ่ดี มีข้อด้อยคือ ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างการแข็งตัวต่ำกว่าซีเมนต์ซิงก์ฟอสเฟต ไวต่อความชื้น ในช่วงการแข็งตัวระยะแรกจึงไม่ควรถูกความชื้น เนื่องจากจะเกิดรอยแตกจากการหดตัวได้

ซีเมนต์แก้วไอโอโนเมอร์เรซินดัดแปลง เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ซีเมนต์ไฮบริดไอโอโนเมอร์ (hybrid ionomer cement) เป็นซีเมนต์ที่มีการผสมกันระหว่างแก้วไอโอโนเมอร์กับเรซินคอมโพสิต ซีเมนต์ชนิดนี้มีความแข็งแรงมากกว่าแก้วไอโอโนเมอร์แต่น้อยกว่าเรซินคอมโพสิต มีการละลายต่ำ มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์และมีการยึดติดกับฟันคล้ายแก้วไอโอโนเมอร์ ส่วนผงประกอบด้วยแก้วฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกตและสารเริ่มต้นปฏิกิริยาสำหรับการบ่มตัวด้วยแสงหรือสารเคมี ส่วนเหลวประกอบด้วยน้ำและกรดพอลิอะคริลิก หรือกรดพอลิอะคริลิกดัดแปลงด้วยการเติมมอนอเมอร์กลุ่มเมทาคริเลตและไฮดรอกซิเอทิลเมทาคริเลต (hydroxyethyl methacrylate: HEMA)

ซีเมนต์เรซิน ส่วนผงประกอบด้วยผงบอรอซิลิเกต หรือแก้วซิลิกาละเอียด ส่วนเหลวระกอบด้วยส่วนผสมของบิส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) และ/หรือมอนอเมอร์กลุ่มไดเมธาไครเลทและเอมีนคล้ายกับวัสดุอุดฟันเรซินคอมโพสิตแต่เหลวกว่า เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานเป็นสารเชื่อมยึด ซีเมนต์เรซินแบ่งได้เป็น 3 ชนิดได้แก่ ชนิดบ่มเองหรือบ่มทางเคมี บ่มด้วยแสง และบ่มสองส่วน ซีเมนต์เรซินมีข้อดีคือ ไม่ละลายในช่องปาก มีความทนแรงกดสูงประมาณ 100-200 เมกะปาสคาล ความทนแรงดึงประมาณ 15-20 เมกะปาสคาล[52] ส่วนข้อด้อยคือ มีความหนาสูงมากกว่า 25 ไมครอน เกิดรอยซึมเล็กเนื่องจากการหดตัวและอาจเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันจากการซึมผ่านของแบคทีเรีย ปฏิกิริยาการแข็งตัวถูกยับยั้งโดยสารประกอบฟีนอล เช่น ยูจีนอลที่อยู่ในซีเมนต์ที่ใช้ในการอุดคลองรากฟัน ดังนั้นก่อนใช้ซีเมนต์เรซินยึดเดือยฟันควรทำความสะอาดผิวของคลองรากฟันเพื่อไม่ให้มียูจีนอล หรือใช้ซีเมนต์อุดคลองรากฟันที่ไม่มีส่วนผสมของยูจีนอล

แกนฟัน คือวัสดุที่ทดแทนส่วนของตัวฟันที่สูญเสียไปโดยยึดกับส่วนของเดือยฟัน วัสดุที่ใช้ทำแกนฟันอาจเป็นโลหะผสม (alloys) อะมัลกัม แก้วไอโอโนเมอร์ หรือเรซินคอมโพสิต ซึ่งทำหน้าที่เป็นแกนยึดครอบฟัน

อะมัลกัมมีคุณสมบัติความทนแรงกด สูงแต่ความทนแรงดึง ต่ำ สามารถเกิดภาวะกัดกร่อนเมื่ออยู่ร่วมกับโลหะผสมไม่มีตระกูล (base metal alloys) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของฟันและขอบเหงือกจึงไม่ควรใช้ในการบูรณะในฟันหน้า มีสีเทา ไม่เหมาะกับฟันที่ต้องทำครอบฟันเซรามิกล้วน (all ceramic crown) อะมัลกัมเป็นวัสดุที่ใช้ทำแกนมาเป็นเวลานานและมีรายงานผลสำเร็จสูง เหมาะสำหรับฟันที่ต้องรับแรงบดเคี้ยวมาก เช่นฟันกรามโดยใช้ร่วมกับเดือยฟันสำเร็จรูป ในบางกรณีสามารถใช้ส่วนโพรงในตัวฟัน (pulp chamber) และส่วนของคลองรากฟันเป็นส่วนที่ให้การยึดอยู่กับแกนฟันอะมัลกัมได้โดยไม่ต้องใส่เดือยฟัน

สำหรับแก้วไอโอโนเมอร์ ที่ใช้ทำแกนฟันนั้นมีการปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นโดยมีการผสมผงสเตนเลสสตีล หรือเส้นใยของโลหะ เช่น เงิน ดีบุก หรือโดยการเผาโลหะเงินและผงแก้วที่อุณหภูมิสูง การเผาทำให้เพิ่มความเหนียว (ductility) และความต้านทานต่อการแตก ส่วนการผสมโลหะเงินเข้าไปทำให้เพิ่มความทนแรงกดและความแข็งแรงดัดขวาง[7] เรียกแก้วไอโอโนเมอร์ชนิดนี้ว่า เซอร์เมต (cermet) มีข้อดีคือ มีความแข็งแรง กรอแต่งได้ทันที มีสีต่างจากตัวฟันทำให้สังเกตได้ง่าย ยึดติดกับฟันด้วยพันธะเคมี มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ส่วนข้อเสียคือ มีความเปราะไม่ควรใช้บูรณะฟันที่ต้องรับแรง หรือมีการสูญเสียเนื้อฟันไปมากๆ เช่น ในฟันหน้าที่เหลือเนื้อฟันน้อย หรือในหลักยึดของฟันเทียมบางส่วนถอดได้หรือติดแน่น ในการเกิดปฏิกิริยาก่อตัวในระยะแรกมีการดูดน้ำหรือสูญเสียน้ำ ทำให้ความแข็งแรงลดลง และมีความไวต่อความชื้น ละลายน้ำได้จึงไม่ควรใช้ในบริเวณที่ควบคุมความชื้นไม่ได้ ดังนั้นจึงมีข้อบ่งชี้ให้ใช้แก้วไอโอโนเมอร์เป็นวัสดุทำแกนในกรณีที่มีความหนาของวัสดุที่ใช้ทำแกนเพียงพอ มีเนื้อฟันที่ดีเหลืออยู่มาก สามารถควบคุมความชื้นได้และต้องการควบคุมการเกิดฟันผุ

ส่วนแกนฟันชนิดเรซินคอมโพสิต พบว่าการให้แรงแบบคงที่ เรซินคอมโพสิตจะมีค่าความเหนียว (fracture toughness) และความแข็งแรงต่อแรงกดปานกลาง แต่ในสภาวะที่มีแรงแบบพลวัต (dynamic loading) เรซินคอมโพสิตจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (plastic deformation) ทำให้เกิดความล้มเหลวของแกนฟัน เนื่องจากการหดตัวจากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) และการหดตัวจะดำเนินอย่างต่อเนื่อง เรซินคอมโพสิตสามารถดูดน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมิติ แกนชนิดเรซินคอมโพสิตมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเหตุความร้อนมากกว่าเนื้อฟัน 3 เท่าทำให้เปลี่ยนแปลงมิติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงเกิดช่องว่างระหว่างแกนกับครอบฟันทำให้ซีเมนต์เกิดการละลายตัว แกนชนิดเรซินคอมโพสิตมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นต่ำกว่าเนื้อฟัน เรซินคอมโพสิตสามารถยึดติดกับฟันด้วยพันธะเคมี เหมาะกับฟันที่เหลือเนื้อฟันมากกว่าร้อยละ 50 แต่ไม่เหมาะกับฟันที่ต้องรับแรงบดเคี้ยวมากและมีเนื้อฟันเหลือน้อย เนื่องจากเรซินคอมโพสิตมีสีเหมือนฟันจึงควรเลือกใช้ร่วมกับครอบฟันเซรามิก

วัสดุที่ใช้ทำแกนฟันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการกระจายความเค้น (stress distribution) ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำแกนกลางที่มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงจะทำให้มีความเค้นเพิ่มบริเวณคอฟันและลดความเค้นบริเวณปลายรากฟัน

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้เดือยฟันในแง่การต้านต่อการแตกหักของฟัน มีหลายประการได้แก่ 1) ความยาวของเดือยฟัน (post length)[25] เดือยฟันยาวให้การยึดติดและกระจายแรงดีกว่าเดือยฟันสั้น จากการศึกษาพบว่าเดือยฟันควรมีความยาวประมาณ 3 ใน 4 ของความยาวรากฟัน[54]หรือมีความยาวของเดือยฟันต่อความยาวตัวฟันอย่างน้อยเท่ากับหนึ่งต่อหนึ่ง[54] 2) ความกว้างของเดือยฟัน (post width) ขนาดของเดือยฟันขึ้นกับขนาดและรูปร่างของรากฟัน เดือยฟันไม่ควรกว้างเกิน 1 ใน 3 ของความกว้างของรากฟันในทุกตำแหน่งและปลายสุดของเดือยฟันควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 มิลลิเมตร เดือยฟันที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดการแตกหักของรากฟันได้มากกว่าเนื่องจากผนังคลองรากฟันที่เหลือบาง 3) รูปร่างคลองรากฟันและความแนบสนิทของเดือยฟัน ถ้าใช้เดือยฟันที่แนบสนิทกับคลองรากฟันหรือมีรูปร่างตามคลองรากฟันจะเป็นการสงวนเนื้อฟันได้มาก ทำให้เพิ่มการต้านต่อการแตกหักของฟันและการยึดอยู่ของเดือยฟัน แต่ในกรณีที่คลองรากฟันมีรูปร่างเป็นปากแตร (funnel-shaped) อาจใช้เดือยฟันแบบขนาน โดยหวังผลให้ซีเมนต์อุดบริเวณช่องว่างหลังจากใส่เดือยฟัน หรืออาจใช้เดือยฟันแบบสอบซึ่งจะแนบสนิทกับคลองรากฟัน[3] 4) เนื้อฟันส่วนที่เหลือ (coronal structure) ปริมาณเนื้อฟันควรมีความสูงเหนือขอบของครอบฟัน (margin) อย่างน้อย 1.5-2.0 มิลลิเมตร[6] เพื่อสร้างความต้านทานต่อการแตกหัก (resistance form) จากการศึกษาพบว่าฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีความแข็งแรง (strength) ต่ำกว่าเดือยฟันโลหะ[31] การใช้เดือยฟันเส้นใยคาร์บอนควรทำเมื่อเหลือเนื้อฟันเพียงพอ 5) ความเค้น (stress) แรงที่เกิดกับฟันมีหลายชนิดได้แก่ แรงกด (compression) แรงดึง (tensile) และแรงเฉือน (shear) พบว่าแรงเฉือนเป็นแรงอันตรายที่สุด จากการศึกษาของ Holmes และคณะ[56]พบว่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเดือยฟันในมิติต่างๆ มีอิทธิพลต่อแรงเฉือน การเพิ่มความยาวเดือยฟันแต่พยายามลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้เล็กที่สุดจะช่วยลดแรงเฉือนและรักษาเนื้อฟันไว้ ดังนั้นการแตกหักของฟันจะลดลง 6) การออกแบบเดือยฟัน (post design) เดือยฟันแบบเกลียว (threaded post) และเดือยฟันแบบขนาน ให้การยึดอยู่และทำให้เกิดความเค้นกับผนังคลองรากฟันมากกว่าเดือยฟันแบบผิวเรียบและเดือยฟันแบบสอบ ลักษณะการยึดของเดือยฟันแบบเกลียวกับเนื้อฟันเป็นลักษณะของแรงต้าน (friction pattern) โดยให้การยึดอยู่สูงแต่ทำให้เกิดความเค้นกับผนังคลองรากฟันมากในขณะใส่เดือยฟันและในขณะบดเคี้ยว (function) ทำให้รากฟันมีโอกาสแตกสูง เดือยฟันแบบสอบทำให้เกิดการกระจายความเค้นสูงบริเวณขอบฟันแต่เกิดความเค้นต่ำบริเวณปลายรากฟันและทำให้เกิดแรงตอกแบบลิ่ม (wedging effect) เดือยฟันแบบขนาน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นสม่ำเสมอ (uniform stress distribution) ยกเว้นบริเวณปลายรากฟันเนื่องจากปลายเดือยฟันมีลักษณะเป็นมุม (sharp angle) เดือยฟันแบบขนานและมีรูปร่างฟันเลื่อย (parallel-serrated post) ให้การยึดอยู่สูงเมื่อยึดด้วยซีเมนต์ แต่ไม่เหมาะกับฟันหน้าและฟันกรามน้อยเนื่องจากรูปร่างของรากฟันมีลักษณะสอบ เดือยฟันแบบฟันเลื่อยให้การยึดอยู่มากกว่าเดือยฟันแบบเรียบ

ทั้งเดือยฟันที่ทำมาจากโลหะและอโลหะ เดือยฟันแบบขนานที่มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย ทำให้เกิดความเค้นน้อยที่สุดและมีโอกาสเกิดรากฟันแตกน้อยที่สุดจึงควรเป็นตัวเลือกอันดับแรกถ้าลักษณะคลองรากฟันเหมาะสม และ 7) วัสดุที่ใช้ทำเดือยฟัน (post material) จากการติดตามผลการบูรณะฟันหน้าที่ ได้รับการรักษาคลองรากฟันโดยใช้เดือยฟันโลหะเป็นระยะเวลา 10 ปีพบว่ามีอัตราล้มเหลวร้อยละ 18 ซึ่งฟันหน้ามีความล้มเหลวสูงกว่าฟันหลังเนื่องจากทิศทางของแรงที่ลงระหว่างการใช้งานในฟันหน้าไม่เป็นไปตามแนวแกนฟัน[19]

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากมีลักษณะทางกายภาพและชีวกลศาสตร์ไม่ต่างจากฟันปกติ[13,15] แต่พบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากมีอุบัติการณ์การแตกของรากฟันมากกว่าฟันปกติมาก สาเหตุสำคัญ อาจได้แก่ การทนความเค้นต่อการแตกหัก (fracture toughness) ลดลงเนื่องจากการสูญเสียเนื้อฟัน โดยเฉพาะการสูญเสียสันริมฟัน (marginal ridge) จะทำให้เกิดการแยกของปุ่มฟัน (cuspal deflection) ขณะรับแรง[57] และการสูญเสียการรับรู้เกี่ยวกับการสัมผัส (loss of tactile sensation)

ชีวกลศาสตร์ (biomechanic) ของฟันแต่ละซี่ขณะรับแรงจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของการสบฟัน ความสัมพันธ์ของการสบฟัน ตำแหน่งของฟันในช่องปาก และปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ ฟันหน้ามักได้รับแรงบดเคี้ยวในแนวเฉียงและเมื่อได้รับแรงจะเกิดการกระจายความเครียดที่สม่ำเสมอลักษณะของแรงเป็นแรงกดและแรงดึง โดยมีแรงเค้นมากบริเวณคอฟัน ส่วนฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากจะมีอุบัติการณ์การแตกบริเวณคอฟันในแนวขวาง (horizontal fracture) ในกรณีที่ฟันซี่นั้นได้รับการบูรณะด้วยครอบฟันเพียงอย่างเดียวแรงที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเค้นมากที่สุดบริเวณคอฟันและมีโอกาสเกิดการแตกหักตามแนวขวางที่บริเวณขอบครอบฟันเนื่องจากมีการสูญเสียเนื้อฟันจากการกรอแต่งฟันเพื่อทำครอบฟัน ในกรณีฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงเฉือนกระจายตามแนวของเดือยฟันโดยเกิดความเค้นมากบริเวณปลายของเดือยฟัน ส่วนในฟันหลังได้รับแรงบดเคี้ยวในแนวดิ่งและเมื่อได้รับแรงจะมีการกระจายความเค้นสม่ำเสมอ ลักษณะของแรงเป็นแรงกดตามแนวแกนฟัน ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นเหมือนกันทั้งในฟันปกติ ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากและทำครอบฟัน และในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากและบูรณะด้วยเดือยฟันแล้วทำครอบฟัน สำหรับชีวกลศาสตร์ของเดือยฟันพิจารณาจากรูปร่างของเดือยฟัน ความยาวของเดือยฟันและเฟอร์รูล พบว่าเดือยฟันแบบขนานทำให้เกิดการกระจายความเค้นที่สม่ำเสมอกว่าเดือยฟันแบบสอบ ส่วนเดือยฟันแบบสอบทำให้เกิดแรงแบบการตอกลิ่ม เมื่อพิจารณาความยาวของเดือยฟันพบว่าแรงเฉือนที่กระทำต่อเดือยฟันสั้นจะกระจายตามแนวของเดือยฟัน โดยมีความเค้นมากที่ส่วนปลายของเดือยฟัน ส่วนเดือยฟันยาวมีขนาดของแรงน้อยกว่าเดือยฟันสั้น สำหรับปัจจัยของเฟอร์รูลพบว่าการทำครอบฟันโดยออกแบบให้มีเฟอร์รูลช่วยลดการเกิดรากฟันแตกได้โดยเฟอร์รูลจะต้านแรงงัด (lever force) ที่เกิดจากแรงบดเคี้ยว ต้านผลของแรงตอกแบบลิ่มของเดือยฟันแบบสอบและแรงด้านข้าง (lateral forces) ในระหว่างใส่เดือยฟัน[3]และทำให้แรงบดเคี้ยวสามารถถ่ายทอดไปสู่เดือยฟันและผนังคลองรากฟัน

Rosen[58] ให้นิยามของเฟอร์รูลว่าเป็นแถบลักษณะคล้ายปลอกคอของทองที่อยู่ใต้เหงือกโดยขยายให้มีความกว้างมากที่สุดที่สามารถทำได้จากตำแหน่งขอบเหงือกซึ่งเป็นตำแหน่งที่วางแกนฟัน แต่แถบลักษณะนี้จะต้องล้อมรอบส่วนของคอฟันโดยรอบ ส่วน Sorensen และ Engelman[3] นิยามผลของเฟอร์รูล (ferrule effect) ว่าเป็นแถบโลหะของครอบฟันโดยรอบ (360 องศา) ที่อยู่ล้อมรอบผนังของเนื้อฟันที่มีลักษณะขนานที่อยู่เหนือต่อรอยต่อเส้นสิ้นสุดเนื้อฟันและครอบฟันแบบโชลเดอร์ (shoulder) ทำให้เกิดความต้านทานต่อความเค้น เช่น แรงบดเคี้ยวในลักษณะของแรงงัด และ Gegauff[1] นิยามความหมายของเฟอร์รูลว่าเป็นแถบของเนื้อฟันโดยรอบที่เหลืออยู่เหนือขอบครอบฟันสำหรับฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันและต้องใส่เดือยฟัน[1] โดยขอบครอบฟันอยู่บนเนื้อฟันส่วนที่ต่ำกว่ารอยต่อของเนื้อฟันและแกนฟันประมาณ 1.5-2.0 มิลลิเมตร[6]

การศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลส่วนมากเป็นการศึกษาทางห้องปฏิบัติการเนื่องจากการศึกษาในช่องปากทำได้ยาก สามารถแบ่งการศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลได้ 2 กรณี คือ กรณีไม่ใส่ครอบฟันและกรณีใส่ครอบฟัน[59]

การศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลกรณีไม่ใส่ครอบฟัน Rosen[58]พบว่าการออกแบบให้มีเฟอร์รูลส่งผลให้เกิดการรัดของครอบฟันต่อตัวฟัน (hugging action) จึงป้องกันการแตกหักของรากฟัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Rosen และ Partida-Rivera[4] ที่พบว่าเฟอร์รูลลดการแตกหักของรากฟัน Tjan และ Whang[60] ศึกษาผลของความหนาของเนื้อฟันด้านแก้มต่อช่องว่างสำหรับใส่เดือยฟันต่อความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันโดยไม่ใส่ครอบฟัน โดยใช้ฟันตัดหน้าบนจำนวน 40 ซี่ที่ถูกถอนจากนั้นแบ่งฟันออกเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มควบคุม เตรียมฟันให้มีความกว้างของเนื้อฟันรอบช่องว่างเดือยฟัน 1มิลลิเมตร ส่วนกลุ่มทดลอง กลุ่มที่หนึ่งเตรียมฟันให้มีความกว้างของเนื้อฟันรอบช่องว่างของเดือยฟัน 1 มิลลิเมตร และตัดเฉียงเนื้อฟันเป็นมุม 60 องศา ส่วนกลุ่มอื่นๆเตรียมฟันให้มีความกว้างของเนื้อฟันรอบช่องว่างเดือยฟัน 2 และ 3 มิลลิเมตรตามลำดับแต่ไม่ตัดเฉียงเนื้อฟันวัตถุประสงค์ของการตัดเฉียงเนื้อฟันเพื่อสร้างเป็นแถบโลหะของแกนฟัน จากนั้นยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟัน ให้แรงแบบกด (compressive loading) จนกระทั่งเกิดการแตกหัก พบว่าแถบโลหะและความหนาของเนื้อฟันไม่ได้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน ซึ่งทุกกลุ่มการศึกษามีการแตกของรากฟันมากกว่าการแตกของซีเมนต์

Barkhordar Radke และ Abbasi[5] ได้ทดสอบผลของเฟอร์รูลซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Tjan และ Whang[60] แต่มีการดัดแปลงส่วนของเฟอร์รูล โดยใช้ฟันตัดกลางบนจำนวน 20 ซี่ที่ถูกถอน แบ่งฟันออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีเฟอร์รูลและกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล ฟันทั้ง 2 กลุ่มมีความหนาของเนื้อฟันด้านแก้ม 1 มิลลิเมตร แต่ในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลทำการกรอฟันบริเวณคอฟันสูง 2 มิลลิเมตรและมีความสอบของผนังคลองรากฟัน 3 องศาทำให้มีองศารวม (total convergence) 6 องศา ทำการยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับ

ผนังคลองรากฟันแต่ไม่ได้ใส่ครอบฟัน จากนั้นให้แรงแบบกดจนกระทั่งรากฟันแตก Barkhordar Radke และ Abbasi[5] พบว่าเฟอร์รูลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันและพบความแตกต่างของรูปแบบการแตกของรากฟัน โดยกลุ่มที่มีเฟอร์รูลมีรูปแบบการแตกของรากฟันแนวระนาบ ส่วนกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลมีรูปแบบการแตกของรากฟันแนวดิ่ง

นอกจากนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับความสูงของเฟอร์รูลในฟันที่สร้างจากเรซิน โดย Loney Kotowicz และ McDowell[61] ทำการวิเคราะห์ความเค้นจากโฟโตอิลาสติก (photoelastic stress analysis) บนฟันที่สร้างจากเรซินซึ่งมีลักษณะคล้ายฟันเขี้ยวจำนวน 8 ซี่ กลุ่มแรกจำนวน 4 ซี่เป็นกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล กลุ่มที่สองมีเฟอร์รูล 1.5 มิลลิเมตร จากนั้นยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟันโดยไม่ได้ใส่ครอบฟัน ให้แรง 400 กรัมในทิศทำมุม 152 องศากับแนวแกนฟัน จากนั้นรื้อเดือยฟันออกและกรอแบ่งฟันเพื่อตรวจสอบความเค้นในรากฟันจำนวน 5 จุด จากการศึกษาพบว่ากลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลให้ค่าความเค้นแรงเฉือนต่ำกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูล (จากการตรวจสอบความเค้น 3 ใน 5 จุด) Loney Kotowicz และ McDowell[61] จึงสรุปว่าการมีเฟอร์รูลไม่ได้ลดการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟัน

Saupe Gluskin และ Radke[62] ทำการศึกษาถึงผลของเฟอร์รูลต่อฟันที่เหลือเนื้อฟันน้อยที่มีการเสริมและไม่ได้เสริมความแข็งแรงของฟันด้วยเรซิน โดยใช้ฟันตัดบน (upper incisor) จำนวน 40 ซี่ จากนั้นแบ่งฟันออกเป็นกลุ่มย่อยที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรและไม่มีเฟอร์รูล การออกแบบเฟอร์รูลคล้ายกับการศึกษาของ Barkhordar Radke และ Abbasi[5] ทำการยึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ จากนั้นให้แรงกับฟันจนกระทั่งมีการแตกหัก ผลการศึกษาพบว่าการเสริมความแข็งแรงของฟันในกลุ่มที่เหลือเนื้อฟันน้อยและไม่มีเฟอร์รูลด้วยการใช้เรซินมีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน ส่วนการใช้เรซินในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลพบว่าไม่ได้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหัก นอกจากผลของเฟอร์รูลต่อความต้านทานต่อการแตกหัก Hemmings King และ Setchell[9] พบว่าการมีเฟอร์รูลช่วยเพิ่มความต้านทานของเดือยฟันต่อแรงบิด(torsional forces) กล่าวโดยสรุปเกี่ยวกับผลการศึกษาเฟอร์รูลกรณีไม่ใส่ครอบฟันให้ผลทั้งการเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันและไม่มีผลเพิ่มความต้านทาน ซึ่งการนำผลสรุปที่ได้ไปใช้ควรมีการวิเคราะห์ด้วยความระมัดระวังเพราะการศึกษาเหล่านี้ไม่ได้ใส่ครอบฟันจึงไม่เหมือนกับลักษณะทางคลินิก

การศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลกรณีใส่ครอบฟัน โดย Sorensen และ Engelman[3] พบว่าการออกแบบให้มีเฟอร์รูลมีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน โดยมีฟัน 2 กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักสูงกว่า 4 กลุ่มที่เหลือ ได้แก่ กลุ่มที่มีเฟอร์รูล 1 มิลลิเมตร มีเส้นสิ้นสุดรอยต่อแบบโชลเดอร์ร่วมกับมีมุมตัดเฉียงเนื้อฟัน 60 องศา และกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตร มีเส้นสิ้นสุดรอยต่อแบบโชลเดอร์ร่วมกับมีมุมตัดเฉียงเนื้อฟัน 60 องศาและมีการเพิ่มการตัดเฉียงบริเวณรอยต่อของฟันกับแกนฟันเป็นมุม 60 องศากว้าง 1 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อสร้างให้เกิดเฟอร์รูล 2 ตำแหน่งระหว่างครอบฟันกับเส้นสิ้นสุดรอยต่อของฟันและระหว่างแกนฟันกับตัวฟัน แต่ไม่พบความแตกต่างของฟันทั้ง 2 กลุ่มในค่าเฉลี่ยของ

แรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของฟัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มการตัดเฉียงเนื้อฟันบริเวณรอยต่อของฟันกับแกนฟันไม่ได้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน

การศึกษาต่อมาเกี่ยวกับชนิดของเดือยฟันต่อความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน โดย Milot และ Stein[63] ทำการศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันโดยใช้เดือยฟัน 3 ชนิด ได้แก่ เดือยฟันแบบเหวี่ยง และเดือยฟันสำเร็จรูป 2 ระบบร่วมกับแกนฟันชนิดแก้วไอโอโนเมอร์ จากนั้นในแต่ละกลุ่มแบ่งย่อยเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มที่มีเส้นสิ้นสุดรอยต่อแบบแชมเฟอร์ (chamfer) และกลุ่มที่มีเส้นสิ้นสุดรอยต่อแบบแชมเฟอร์ร่วมกับการตัดเฉียงเนื้อฟัน 1 มิลลิเมตร จากนั้นยึดครอบฟันและให้แรงกับฟันจนกระทั่งมีการแตกหัก ผลการศึกษาพบว่ากรณีที่เหลือเนื้อฟันเพียงพอไม่พบความแตกต่างในเรื่องความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟันระหว่างเดือยฟันทั้ง 3 ชนิด เมื่อพิจารณาปัจจัยการตัดเฉียงเนื้อฟันพบว่ากลุ่มที่มีการตัดเฉียงเนื้อฟันมีค่าแรงต้านการแตกหักสูงกว่า ส่วนกลุ่มที่ไม่มีการตัดเฉียงเนื้อฟันมีโอกาสเกิดการแตกของรากฟันแนวดิ่ง ต่อมา Libman และ Nicholls[6] 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) จนกระทั่งมีการแตกหักขั้นต้นโดยใช้เครื่องมือวัดความเครียด (strain gauge) จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าเมื่อจะบูรณะฟันตัดหน้าบนด้วยเดือยฟันและครอบฟันควรมีความสูงของเฟอร์รูลอย่างน้อย 1.5 มิลลิเมตร

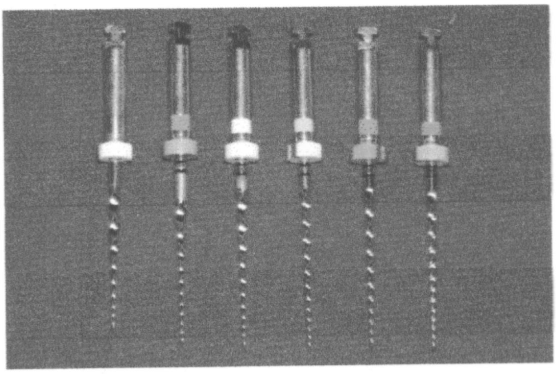
Isidor Brondum และ Ravnholt[7] ศึกษาผลของความยาวเดือยฟันและความสูงของเฟอร์รูลต่อความต้านทานต่อการแตกหักของรากฟัน โดยใช้เดือยฟันสำเร็จรูปไทเทเนียมและแกนฟันชนิดเรซินคอมโพสิตรวมทั้งใส่ครอบฟัน จากนั้นให้แรงแบบเป็นช่วงเวลาจนกระทั่งมีการหลุดของครอบฟันหรือเดือยฟันหรือมีการแตกหักของเดือยฟันหรือรากฟัน จากการศึกษาพบว่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของเฟอร์รูลเพิ่มขึ้นแต่พบว่าการเพิ่มความยาวเดือยฟันไม่มีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน

นอกจากนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของเดือยฟันต่อความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน ซึ่งการศึกษาส่วนมากใช้เดือยฟันแบบเหวี่ยง ส่วนAl-Hazaimeh และ Gutteridge[64] ศึกษาผลของเฟอร์รูลในฟันตัดหน้าบนจำนวน 20 ซี่ โดยใช้เดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต ยึดเดือยฟันกับผนังคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ แบ่งฟันออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรกับกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล จากนั้นให้แรงกดจนกระทั่งมีการแตกหัก จากการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างฟันทั้ง 2 กลุ่มต่อความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน แต่มีความแตกต่างในรูปแบบการแตกหักของฟัน โดยในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลมีการแตกหักแนวเฉียงส่วนกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลมีการแตกหักแนวดิ่ง Al-Hazaimeh และ Gutteridge[64] จึงสรุปผลการศึกษาว่าเรซินซีเมนต์เพิ่มความแข็งแรงให้กับฟันมากกว่าปัจจัยของเฟอร์รูล

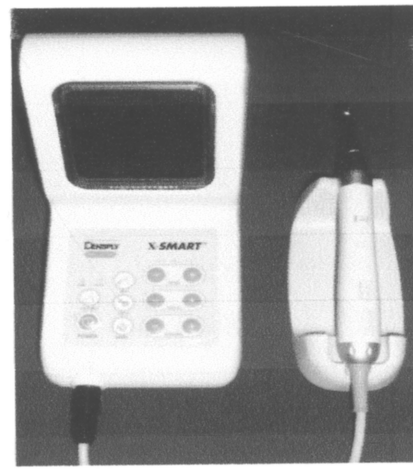
กล่าวโดยสรุปเกี่ยวกับผลการศึกษาเฟอร์รูลกรณีใส่ครอบฟัน พบว่าส่วนสูงของเนื้อฟันเหนือรอยต่อครอบฟันเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันแบบเหวี่ยง โดยจะเกิดผลของเฟอร์รูลเช่นนี้เมื่อมีความสูงของเนื้อฟันอย่างน้อย 1.5 มิลลิเมตร แต่พบว่าเฟอร์รูลไม่ได้เพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักสำหรับการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต จากผลการศึกษาเกี่ยวกับเฟอร์รูลกรณีไม่ใส่ครอบฟันและใส่ครอบฟันพบว่าเฟอร์รูลเพิ่มการต้านต่อการแตกหักของฟัน แต่ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากส่วนมากสูญเสียเนื้อฟันจากสาเหตุต่างๆทำให้เหลือเนื้อฟันไม่ครบทุกด้าน จึงอาจมีผลต่อความต้านทานต่อการแตกของรากฟันเนื่องจากไม่สอดคล้องกับนิยามของเฟอร์รูล[65,66] การศึกษาของ Ng และคณะ[65]เกี่ยวกับความต้านทานต่อการแตกหักของฟันตัดกลางบนที่รักษาคลองรากที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรเพียงครึ่งหนึ่ง (180 องศา) ด้านเพดาน (palatal) ด้านริมฝีปาก (labial) และด้านข้าง (proximal) เปรียบเทียบกับฟันที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบและฟันที่ไม่มีเฟอร์รูล โดยใช้เดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟันโลหะผสมแพลเลเดียม (high-palladium alloys) พบว่าความต้านต่อการแตกหักของฟันในกลุ่มที่เหลือเฟอร์รูลด้านเพดานไม่ต่างจากกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบ แต่กลุ่มที่เหลือเฟอร์รูลด้านเพดานมีความแตกต่างจากกลุ่มที่เหลือเฟอร์รูลด้านริมฝีปาก ด้านข้าง และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล ส่วนรูปแบบการแตกของฟัน 4 กลุ่มยกเว้นกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลพบลักษณะการแตกแนวเฉียงจากด้านเพดานไปด้านริมฝีปาก สำหรับกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลเริ่มมีการแตกหักจากการแตกของซีเมนต์ที่ยึดเดือยฟันและเมื่อให้แรงต่อไปพบการแตกหักของรากฟันแนวดิ่ง จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของเฟอร์รูลมีผลต่อความต้านต่อการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคลองราก สอดคล้องกับการศึกษาของ Naumann Preuss และ Rosentritt[66] ที่ศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานต่อการแตกหักของฟันตัดกลางบนที่รักษาคลองรากระหว่างกลุ่มควบคุมที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบกับกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านเพดาน กลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านริมฝีปาก และกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านริมฝีปากและด้านเพดาน โดยใช้เดือยฟันเส้นใยแก้วร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟันเซรามิกล้วน จากการศึกษาพบว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างในความต้านต่อการแตกหักของฟัน 2 กลุ่มคือกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบกับกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากและด้านเพดานและกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานกับกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากและด้านเพดาน ส่วนรูปแบบการแตกของรากฟันส่วนมากเป็นแนวเฉียงจากด้านเพดานระดับคอฟันไปยังด้านริมฝีปาก ยกเว้นในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ 4 ใน 8 ซี่มีการแตกของรากฟันแนวระนาบใกล้กับตำแหน่งส่วนปลายของเดือยฟัน

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการกรอแต่งฟันให้มีเฟอร์รูลโดยรอบตัวฟันสำหรับการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากด้วยเดือยฟันและครอบฟันนั้นมีผลต้านการแตกหักของฟัน ทั้งนี้มีผลกรณียึดเดือยฟันแบบเหวี่ยงกับผนังคลองรากฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ แต่ยังมีผลขัดแย้งกรณียึดเดือยฟันสำเร็จรูปด้วยเรซินซีเมนต์ เนื่องจาก Al-Hazaimeh และ Gutteridge[64] พบว่าเฟอร์รูลไม่มีผลต้านการแตกหักของฟันเมื่อยึดเดือยฟันสำเร็จรูปด้วยเรซินซีเมนต์ สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานต่อการ

แตกหักของฟันกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบรูณ์เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันและครอบฟันยังมีการศึกษาน้อย Ng และคณะ[65] และ Naumann Preuss และ Rosentritt [66] ทำการศึกษาในฟันหน้าแต่ผลการศึกษาพบว่ามีข้อขัดแย้งกันในเรื่องความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน โดยการศึกษาของ Ng และคณะ[65] พบว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันไม่ต่างจากกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ ส่วนการศึกษาของ Naumann Preuss และ Rosentritt[66] พบว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านริมฝีปากมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ และทั้งสองการศึกษาไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหายไปของเฟอร์รูลด้านข้างเพียงด้านใดด้านหนึ่ง (ด้านใกล้กลางหรือด้านไกลกลาง) ทำให้ขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับความต้านทานต่อการแตกหักของฟันหน้าบนที่ได้รับการรักษาคลองรากกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและเมื่อบูรณะด้วยเดือยและแกนฟันแบบเหวี่ยง การศึกษานี้จึงได้ทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแรงต้านการแตกหักและรูปแบบการแตกของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต และเมื่อบูรณะด้วยเดือยและแกนฟันแบบเหวี่ยง ในกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันที่มีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์



รูปที่ 1 ชุดโปรเทปเปอร์ที่ใช้เตรียมคลองรากฟัน



รูปที่ 2 เครื่องเอ็กซ์-สมาร์ทอิเล็กทริมอเตอร์และด้ามกรอ

โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite) ความเข้มร้อยละ 2.5 ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ระหว่างเตรียมคลองรากฟันใช้ผ้าก๊อซชุบน้ำหมาด ๆ หุ้มรอบรากฟันเพื่อให้ความชื้นกับรากฟันป้องกันการเกิดการสูญเสียน้ำของรากฟัน ซับคลองรากให้แห้งด้วยกระดาษซับคลองรากชนิดแท่ง (paper point) แล้วอุดคลองรากฟันด้วยกัตตาเปอร์ชา (Hygenic GP points; Colténe/Whaledent Inc, Coyahoga Falls, OH, USA) ร่วมกับเอเอชพลัส (AH Plus; Dentsply Maillefer) ด้วยวิธีแลทเทอรัลคอนเดนเซชั่น (lateral condensation)

จากนั้นเตรียมคลองรากฟันสำหรับใส่เดือยฟันโดยใช้เครื่องกำเนิดความร้อนซีส-เต็มบี (System B heat system; Sybron Endo, Orange, CA, USA) ตัดกัตตาเปอร์ชาให้เหลือกัตตาเปอร์ชาประมาณ 4 มิลลิเมตรจากปลายราก แล้วอุดปิดทางเปิดเข้าสู่คลองรากฟันด้วยสำลีและวัสดุอุดชั่วคราว (Cavit; 3M ESPE, St. Paul, Minn, USA) หนาประมาณ 4 มิลลิเมตร เก็บฟันในกล่องที่มีฝาปิดที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ณ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์เพื่อให้ซีเมนต์แข็งตัวสมบูรณ์

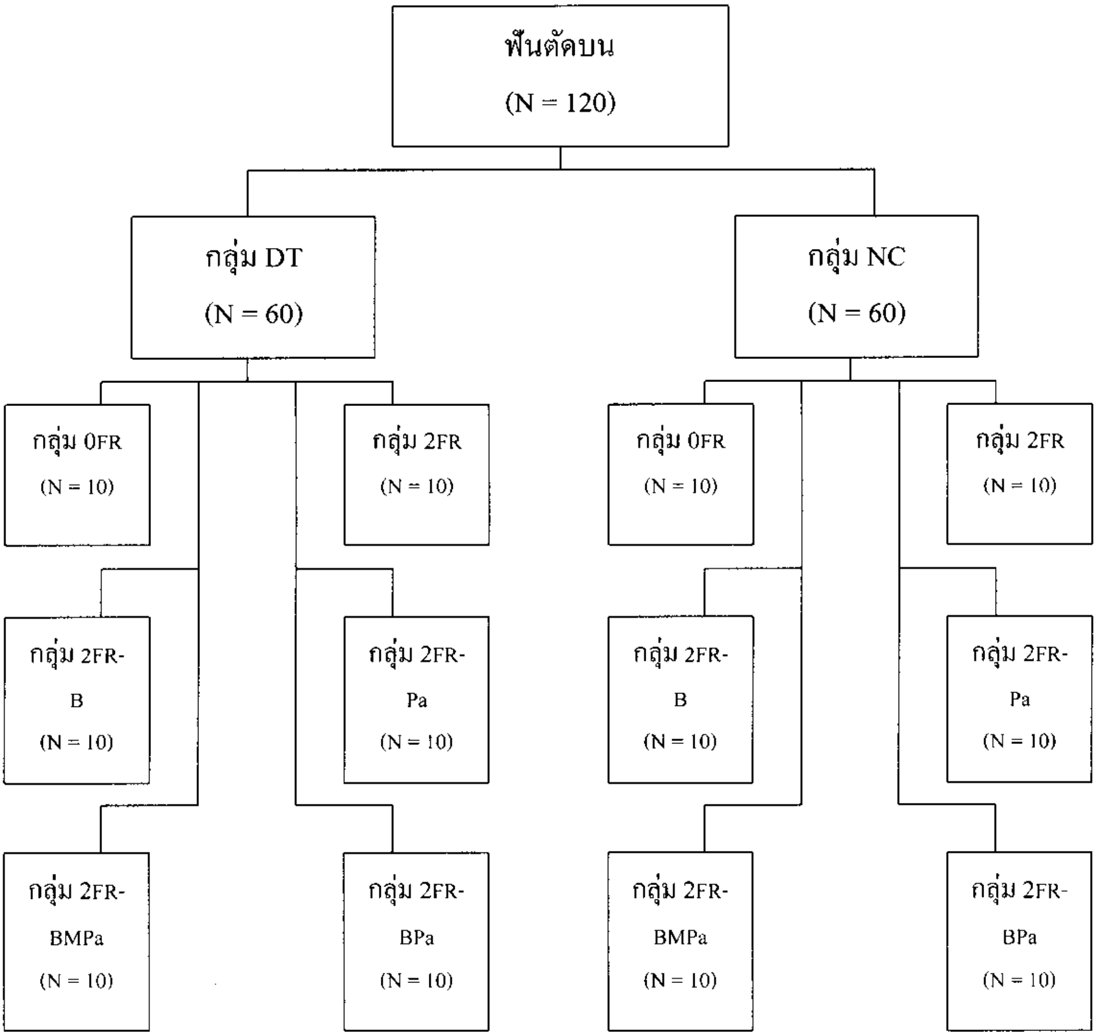
การเตรียมเดือยฟันและแกนฟัน (post and core)

แบ่งฟันออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 20 ซี่ แล้วใช้เข็มกรอกากเพชรรูปทรงกระบอก (Cylinder bur, ISO#011, 411; Shofu, Tokyo, Japan) กรอเพื่อให้เกิดตำแหน่งของเฟอร์รูลโดยวัดจากรอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟันทางด้านข้างของฟัน ดังนี้ (รูปที่ 3)

กลุ่ม 2FR มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบตัวฟัน

กลุ่ม 0FR ไม่มีเฟอร์รูล โดยตัดฟันให้เสมอกับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันทางด้านข้างของฟัน

กลุ่ม 2FR-B มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านแก้ม โดยกรอตัดฟันด้านใกล้กลาง ด้านเพดานและ



รูปที่ 3 แผนภูมิกลุ่มการทดลอง

ด้านไกลกลางระดับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันทางด้านข้าง และขอบเขตด้านแก้ม-ด้านเพดานไม่เกินแนวบรรจบ

กลุ่ม 2FR-Pa มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรเฉพาะด้านเพดาน โดยกรอตัดด้านใกล้กลาง ด้านแก้มและไกลกลางระดับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน และขอบเขตด้านแก้ม-ด้านเพดานไม่เกินแนวบรรจบ

กลุ่ม 2FR-BPa มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรเฉพาะด้านแก้มและด้านเพดาน โดยกรอตัดด้านไกลกลางและใกล้กลางที่รอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน และขอบเขตไม่เกินแนวบรรจบ

กลุ่ม 2FR-BMPa มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรด้านแก้ม ด้านใกล้กลาง และด้านเพดานโดยกรอตัดด้านไกลกลางระดับรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน และขอบเขตด้านแก้ม-ด้านเพดานไม่เกินแนวบรรจบ

ตารางที่ 1 เดือยฟันที่ใช้ในการศึกษา

เดือยฟัน	บริษัทผู้ผลิต	ชนิดและการออกแบบเดือยฟัน	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 สารยึดติดกับผนังคลองรากฟันที่ใช้ในการศึกษา

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

นิเกิลโครเมี่ยม (Ni-Cr casting alloy: Dentsply-Sankin KK) นำเดือยฟันที่ได้มาตรวจสอบความแนบสนิทและสามารถใส่ในคลองรากฟันที่เตรียมไว้ได้โดยการใช้สารป้ายจุดกด (Pressure Spot Indicator: PSI, Coltene/Whaledent AG, Altstatten / Switzerland) โดยหลังจากใส่เดือยฟันในคลองรากฟันจะต้องมีความหนาของสารป้ายจุดกดใกล้เคียงกัน เดือยและแกนฟันไม่หมุน และตรวจสอบความแนบของเดือยฟันกับคลองรากฟันและมีความหนาของซีเมนต์โดยตลอดใกล้เคียงกันโดยใช้ภาพรังสี จากนั้นยึดเดือยฟันกับคลองรากฟันฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Hy-Bond zincphosphate cement; Shofu) ในอัตราส่วน ส่วนผง 1 ช้อนต่อส่วนเหลว 1 หยดผสมบนแท่งแก้วเป็นเวลาประมาณ 20 วินาที โดยให้แรงกดเดือยฟัน 3 กิโลกรัม แล้วรอจนซีเมนต์แข็งตัว

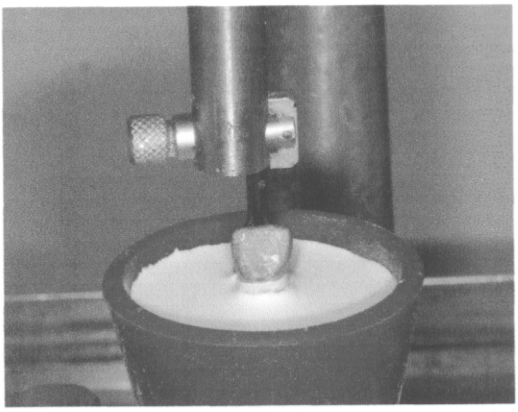
การทำครอบฟัน

ตกแต่งขี้ผึ้ง (Bego crown wax, medium hard; BEGO Bremer Goldschlägerei Wilh, Herbst GmbH & Co, Bremen, Germany) บนฟันที่ใช้ทดสอบให้มีรูปร่างของฟันตัดหน้าบน และมีขนาดตัวฟันเท่ากัน สร้างรอยบากด้านเพดานห่างจากปลายฟันประมาณ 3 มิลลิเมตรเพื่อให้เครื่องมือทดสอบการแตกหักของฟันที่มีลักษณะลิ่มอยู่ในตำแหน่งคงที่ในทุกกลุ่มทดลอง จากนั้นนำแม่แบบครอบขี้ผึ้งผ่านกระบวนการ

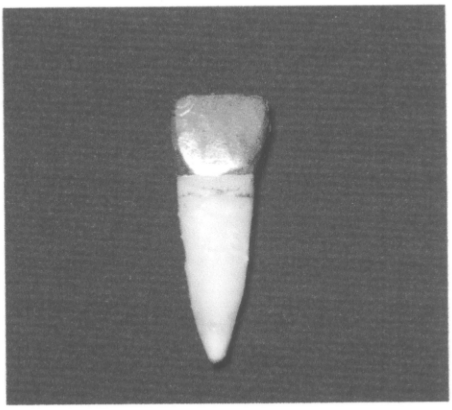
จากนั้นเก็บฟันที่บูรณะด้วยครอบฟันแล้วทุกกลุ่มในกล่องที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบ

การสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลองและการฝังฟันในเรซินอะคริลิก

สร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลองรอบรากฟัน โดยนำฟันที่เตรียมไว้ยึดติดกับแท่งวิเคราะห์ (analysing rod) ของเครื่องสำรวจความขนาน (Surveryor Parallometer System PC; Dentsply Ceramco, York, PA, USA) ด้วยขี้ผึ้งเหนียว (sticky wax) โดยให้แนวแกนฟันตั้งฉากกับพื้นราบ จากนั้นจุ่มรากฟันลงในน้ำยางชนิดหล่อแบบ (compound latex) 1 ครั้ง ซึ่งจะได้ความหนาของน้ำยางชนิดหล่อแบบประมาณ 0.25 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับความหนาของเอ็นยึดปริทันต์ โดยให้น้ำยางชนิดหล่อแบบอยู่ต่ำจากรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟันทางด้านข้างของฟันประมาณ 3 มิลลิเมตร (รูปที่ 4 และ 5) จากนั้นฝังฟันในเรซินอะคริลิกชนิดบ่มเอง (Unifast Trad; GC America, Alsip, Ill, USA) โดยใช้แม่แบบซิลิโคนรูปทรงกระบอก (Siliagum putty; DMG, Hamburg, Germany) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร โดยให้ขอบบนของน้ำยางชนิดหล่อแบบที่หุ้มรากฟันอยู่ระดับเดียวกับขอบบนของเรซินอะคริลิก เมื่อเรซินอะคริลิกเริ่มก่อตัวจึงนำเรซินอะคริลิกแช่ในน้ำเพื่อไม่ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ทำลายคุณสมบัติของเนื้อฟัน



รูปที่ 4 การเคลือบน้ำยางหล่อแบบที่รากฟัน

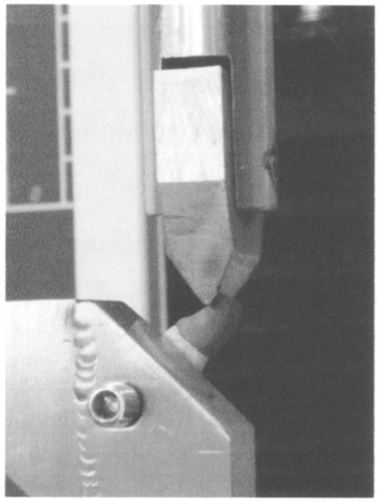


รูปที่ 5 รากฟันที่ได้รับการเคลือบน้ำยางหล่อแบบ

การทดสอบการแตกหักของฟัน

ทดสอบความต้านทานต่อการแตกหักของฟันด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine, Lloyd LRX; Lloyd Instruments, Fraeham, UK) โดยยึดชิ้นทดสอบเข้ากับแป้นรองชิ้นทดสอบซึ่งทำมุมกับพื้นราบ 135 องศา เหมือนแรงจากการบดเคี้ยวในฟันหน้าที่มีการสบฟันแบบที่ 1 (class I occlusion)[23] ให้หัวกดอยู่ที่ตำแหน่งรอยบากบนครอบฟัน อัตราเร็วหัวกด (cross head speed) 1 มิลลิเมตร/

นาที (รูปที่ 6) บันทึกค่าแรง (หน่วยเป็นนิวตัน) ที่ทำให้รากฟัน เดือยฟันหรือแกนฟันแตก จากนั้นตรวจสอบการแตกหักด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป กำลังขยาย 20 เท่า เพื่อจำแนกลักษณะการแตก



รูปที่ 6 ตำแหน่งหัวกดที่กดลงบนรอยบากบนครอบฟันและแรงกดที่ทำมุม 135 องศากับแนวแกนฟัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักโดยใช้สถิติการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 (α=0.05) วิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทูคีย์ (Tukey HSD) และวิเคราะห์ลักษณะการแตกที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่ม

ผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแรงต้านการแตกหักของฟัน กรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปและเดือยเหวี่ยง จึงขอแยกพิจารณาผลดังนี้

การบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูป

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดรากฟัน ความยาวรากฟัน แรงต้านการแตกหักของฟันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่ม จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันสูงสุดในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ด้านใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) รองลงมาคือกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและด้านเพดาน (2FR-BPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยขนาดรากฟัน ความยาวรากฟัน แรงต้านการแตกหักของฟันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูป

ตำแหน่งเฟอร์รูล	ขนาดรากฟันเฉลี่ย (มิลลิเมตร)		ความยาวรากฟันเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	แรงต้านการแตกหักเฉลี่ย (นิวตัน) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	แนวแก้ม-เพดาน	แนวใกล้กลาง-ไกลกลาง		
2FR	6.05±0.66	6.49±0.60	18.00 ± 0.47	668.92 ± 170.49[a]
0FR	6.12±0.97	6.97±0.92	17.60 ± 0.51	425.42 ± 141.07[c]
2FR-B	6.55±0.55	6.56±0.65	17.70 ± 0.48	454.74 ± 57.89[b,c]
2FR-Pa	6.47±0.53	6.47±0.67	17.70 ± 0.48	735.98 ± 191.14[a]
2FR-BPa	6.40 ± 0.19	6.39 ± 0.32	17.67 ± 0.60	545.72 ± 91.58[a,b]
2FR-BMPa	6.44±0.73	6.77±1.07	17.40 ± 0.51	778.14 ± 224.81[a]

[a,b,c] ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูคีย์

เมื่อทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov Test พบว่าทุกกลุ่มมีการแจกแจงปกติ ดังนั้นจึงทดสอบข้อมูลทุกกลุ่มด้วยการทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (one-

ตารางที่ 6 รูปแบบการแตกในกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูป

ตำแหน่งเฟอร์รูล	ลักษณะการแตก			
	การแตกแนวเฉียง	การแตกแนวระนาบระดับรอยต่อของแกนฟันกับเนื้อฟัน	การแตกแนวระนาบระดับต่ำกว่าขอบบนของบล๊อคเรซินอะคริลิก	ครอบและเดือยหลุด
2FR	5	3	2	-
0FR	1	5	2	2
2FR-B	7	2	-	1
2FR-Pa	6	2	1	1
2FR-BPa	8	2	-	-
2FR-BMPa	7	-	1	2

way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบแรงต้านการแตกหักเฉลี่ยของฟันระหว่างกลุ่มที่มีเฟอร์รูลในตำแหน่งต่างกัน จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 อย่างน้อย 1 คู่ และจากการทดสอบการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูคีย์ พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ด้านใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) มีค่าสูงสุดและมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและด้านเพดาน (2FR-BPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

รูปแบบการแตกของฟันแสดงดังตารางที่ 6 รูปแบบการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) กลุ่มที่เฟอร์รูลด้านแก้ม ด้านใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) ส่วนมากเป็นการแตกในแนวเฉียง (oblique fracture) จากด้านเพดานบริเวณคอฟันไปยังรากฟันด้านแก้มในระดับต่ำกว่าขอบบนของบล็อคเรซินอะคริลิก ส่วนในกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) ส่วนมากเป็นการแตกแนวระนาบ (horizontal fracture) ระดับรอยต่อของแกนฟันกับเนื้อฟัน และพบการแตกแนวระนาบระดับต่ำกว่าขอบบนของบล็อคเรซินอะคริลิก นอกจากนี้ พบการ

หลุดของเดือยฟัน แกนฟันและครอบฟันแบบสมบูรณ์ในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) 1 ซี่ กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) 1 ซี่ กลุ่มที่เฟอร์รูลด้านแก้ม ด้านใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) 2 ซี่และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) 2 ซี่

การบูรณะด้วยเดือยเหวี่ยง

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดรากฟัน ความยาวรากฟัน แรงต้านการแตกหักของฟันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่ม จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดาน ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันสูงสุดในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) รองลงมาคือกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและด้านเพดาน (2FR-BPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2-Pa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) ตามลำดับ

จากการทดสอบการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูคีย์พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) มีค่าสูงสุดและมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูล

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยขนาดรากฟัน ความยาวรากฟัน แรงต้านการแตกหักของฟันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่มเดือยฟันเหวี่ยง

ตำแหน่งเฟอร์รูล	ขนาดรากฟันเฉลี่ย (มิลลิเมตร)		ความยาวรากฟันเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	แรงต้านการแตกหักเฉลี่ย (นิวตัน) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	แนวแก้ม-เพดาน	แนวใกล้กลาง-ไกลกลาง		
2FR	6.32 ± 0.22	6.40 ± 0.46	17.58 ± 0.48	534.32 ± 100.29[a]
0FR	6.13 ± 0.15	6.07 ± 0.28	17.18 ± 0.59	275.93 ± 28.35[b]
2FR-B	6.43 ± 0.19	6.17 ± 0.34	17.33 ± 0.58	330.48 ± 54.86[b]
2FR-Pa	6.36 ± 0.26	6.20 ± 0.37	17.42 ± 0.76	462.70 ± 54.92[a]
2FR-BPa	6.25 ± 0.31	6.09 ± 0.39	17.53 ± 0.60	470.50 ± 57.27[a]
2FR-BMPa	6.26 ± 0.31	6.26 ± 0.44	17.63 ± 0.53	467.71 ± 54.53[a]

[a,b] ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูคีย์

บทวิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบแรงต้านการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิตและเดือยเหวี่ยงกรณีมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่างกัน ฟันที่ใช้ศึกษาเป็นฟันถอนซี่ตัดหน้าบนของมนุษย์เพราะรูปแบบคลองรากฟันใกล้เคียงกัน คลองรากฟันมักตรงและมีขนาดใหญ่ เนื่องจากรูปร่างและขนาดของฟันมีผลต่อการกระจายแรงในการทำให้เกิดรากฟันแตก ดังนั้นจึงเลือกฟันที่มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามยังคงมีความแตกต่างของรูปร่างและขนาดของฟันที่ใช้ศึกษาอยู่บ้าง Heydecke และคณะ[41] รายงานข้อด้อยของการใช้ฟันธรรมชาติคือ มีขนาดและตัวชี้วัดเชิงกล (mechanical parameters) หลากหลาย อาจทำให้ค่าความแปรปรวนกว้าง สำหรับการศึกษานี้เลือกใช้ฟันถอนของมนุษย์ทั้งนี้เพื่อเลียนแบบลักษณะทางคลินิก

ในขั้นตอนการเก็บฟันและในระหว่างการศึกษานั้นไม่สามารถเลียนแบบให้เหมือนกับสภาวะในช่องปากได้ แต่ทุกขั้นตอนได้พยายามป้องกันไม่ให้ฟันเกิดการสูญเสียความชื้น โดยห่อฟันด้วยผ้าก๊อซชุบน้ำและเก็บฟันในกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ

เดือยฟันที่ใช้ในการศึกษานี้คือเดือยฟันดีทีไลท์และเดือยฟันเหวี่ยง เดือยฟันดีทีไลท์เป็นเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยควอตซ์ เหตุผลที่เลือกเดือยฟันชนิดนี้เนื่องจากมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน (18-47 จิกะปาสคาล)[67] มีรูปร่างความสอบ 2 ระดับเป็นการเลียนแบบลักษณะคลองรากที่ถูกขยายจากขั้นตอนการเตรียมคลองรากทำให้ลดการสูญเสียเนื้อฟัน และจากการศึกษาของ Akkayan และ Gülmez[39] พบว่าเดือยฟันดีทีไลท์มีคุณสมบัตินำแสง (light-transmitting property) จึงอาจทำให้กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของสารยึดติดและสารยึดติดกับผนังคลองรากฟันผ่านเดือยฟันเกิดเป็นลักษณะของโมโนบล็อค (mono-block) ระหว่างเนื้อฟัน เดือยฟันและแกนฟัน ทำให้ช่วยกระจายแรงไปยังรากฟัน[68] ดังนั้นถ้ามีแรงกระทำกับฟันมากเกินไปเดือยฟันจะดูดซับความเค้น (stress) ที่เกิดขึ้นจึงช่วยลดการเกิดรากฟันแตกได้ เมื่อพิจารณารูปแบบการแตกของฟันในการศึกษานี้พบว่ารูปแบบการแตกของรากฟันส่วนใหญ่เกิดในระดับคอฟันต่ำกว่าขอบบนของเรซินอะคริลิกเพียงเล็กน้อย โดยไม่พบรากฟันแตกในระดับกลางรากหรือระดับปลายรากฟัน

ส่วนเดือยฟันโลหะแบบเหวี่ยงถือเป็นมาตรฐาน (gold standard)ในการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและมีการสูญเสียเนื้อฟันส่วนตัวฟัน[69,70] การศึกษาของ Pereira และคณะ[71] ที่ศึกษา แรงต้านทานการแตกหักของฟันเขี้ยวของมนุษย์ที่ถอนแล้วได้รับการรักษาคลองรากฟันและบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟันแบบต่างๆร่วมกับครอบฟันโลหะ พบว่าเมื่อบูรณะด้วยเดือยและแกนฟันโลหะแบบเหวี่ยงจะมีแรงต้านทานการแตกหักที่สูงกว่าการใช้เดือยฟันเส้นใยแก้ว (glass fiber post) และแกนฟันเรซินคอมโพสิตโดยได้ให้เหตุผลว่าโลหะจะมีค่าความทนแรงดัด (flexural strength) และมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ที่สูงกว่า[72] นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับการศึกษาอื่นที่พบว่าเดือย

ฟันโลหะแบบเหวี่ยงมีความต้านทานการแตกหักสูงกว่าเดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต[73,74] โดยยังให้เหตุผลเพิ่มว่า เดือยฟันโลหะแบบเหวี่ยงมีรูปร่างที่พอดีกับคลองรากฟันทำให้ช่วยในการกระจายความเครียด[75]

ในการบูรณะฟันนั้นได้ทำครอบฟันก่อนทดสอบแรงที่ทำให้เกิดฟันแตกเพื่อเลียนแบบลักษณะทางคลินิก ถึงแม้บางการศึกษายังมีข้อขัดแย้งในการทำครอบฟันก่อนทดสอบ โดย Assif และคณะ[76] พบว่าถ้าทำการบูรณะด้วยเดือยฟันร่วมกับครอบฟันในฟันที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรจะทำให้การกระจายแรงไปบนรากฟัน เดือยฟันและแกนฟันเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนี้การใส่ครอบฟันอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองจากขั้นตอนการทำครอบฟันและยึดครอบฟันด้วยซีเมนต์ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ผลในกรณีที่ไม่ได้ใส่ครอบฟันควรทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากไม่เหมือนสภาวะจริงในช่องปาก

ในการศึกษานี้ก่อนฝังฟันในเรซินอะคริลิกมีการสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลองเพื่อเลียนแบบลักษณะทางคลินิก Sirimai Riis และ Morgano[77] พบว่าการใช้วัสดุที่มีความแข็งเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับฝังฟันที่ถูกถอน เช่น เรซินอะคริลิก อาจส่งผลต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกของฟันและอาจมีผลต่อรูปแบบการแตกของฟัน ดังนั้นควรสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลองล้อมรอบรากฟันก่อนที่จะฝังฟันในบล็อคเรซินอะคริลิก ส่วนการให้แรงในการทดสอบความต้านทานต่อการแตกหักของฟันทำโดยยึดชิ้นทดสอบกับแป้นรองชิ้นทดสอบซึ่งทำมุมกับพื้นราบ 135 องศาเพื่อเลียนแบบการสบฟันแบบที่ 1[65,66]

เนื่องจากฟันตัดหน้าบนเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจนเป็นเหตุให้เกิดการแตกหักของฟัน จึงอาจมีความจำเป็นในการบูรณะฟันด้วยการทำครอบฟันในกรณีสูญเสียเนื้อฟันไปมาก ซึ่งการสูญเสียเนื้อฟันในรูปแบบต่างๆนั้นมีผลต่อการออกแบบเฟอร์รูล Naumann Preuss และRosentritt[66] พบว่าการสูญเสียเนื้อฟันมักมีรูปแบบและตำแหน่งแตกต่างกัน เช่น การมีแรงบดเคี้ยวที่มากกว่าปกติ (occlusal overload) อาจทำให้ฟันแตกจากด้านเพดานไปสู่ด้านแก้มของฟันและมักพบว่าเกิดการแตกใต้เหงือกบริเวณด้านแก้มของฟัน ส่วนการเกิดอุบัติเหตุทำให้เกิดแรงที่มากระทำในแนวตั้งฉากกับฟันทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อฟันด้านเพดานต่ำกว่าขอบเหงือก ส่วนฟันผุด้านประชิดอาจทำให้เหลือเนื้อฟันเฉพาะด้านแก้มและด้านเพดาน จากการสูญเสียเนื้อฟันในกรณีดังกล่าวจึงไม่สามารถกรอฟันให้มีเฟอร์รูลได้ 2 มิลลิเมตรโดยรอบ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลในการศึกษาครั้งนี้เพื่อดูผลของการหายไปของเฟอร์รูลด้านใดด้านหนึ่งในการต้านต่อแรงที่มากระทำต่อฟัน การศึกษาที่ผ่านมาแสดงถึงความสำคัญของเฟอร์รูลในฟันที่รักษาคลองราก[3,6,7,23,63] พบว่าฟันที่รักษาคลองรากและมีเนื้อฟันเหลือเพียงพอในการสร้างให้เกิดเฟอร์รูลโดยรอบจะมีแรงต้านต่อการแตกหักของฟันสูงกว่าฟันที่รักษาคลองรากแต่มีเนื้อฟันเหลือไม่เพียงพอในการสร้างให้เกิดเฟอร์รูล[6,23] เนื่องจากเฟอร์รูลจะช่วยกระจายแรงที่มากระทำกับฟันและทำให้เกิดการยึดอยู่ที่มั่นคงของเดือยและแกนฟันทำให้เกิดการต้านต่อแรงที่จะทำให้เดือยและแกนฟันหมุน[23]

จากผลการศึกษาในส่วนของเดือยฟันสำเร็จรูป เมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานพบว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) มีค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันสูงสุด ส่วนกลุ่ม

ที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) มีค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันน้อยที่สุด จากผลดังกล่าวแสดงว่าการมีเฟอร์รูลโดยรอบไม่ได้เป็นตัวบ่งชี้ว่าจะสามารถกระจายแรงที่มากระทำกับฟันได้ดีกว่าหรือมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูงกว่า Ng และคณะ[65] พบว่าปัจจัยสำคัญที่ฟันซี่นั้นจะมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูง ขึ้นกับการเหลือเนื้อฟันในด้านเดียวกับจุดที่มีแรงมากระทำกับฟัน[65] จากการศึกษานี้เมื่อให้แรงกระทำกับฟันด้านเพดานพบว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเพดาน ได้แก่ กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและเพดาน (2FR-BPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) มีค่าแรงต้านการแตกหักของฟันสูงกว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านแก้ม (2FR-B) นอกจากนี้พบว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเพดานทั้ง 3 กลุ่มมีค่าแรงต้านการแตกหักของฟันไม่ต่างจากกลุ่มที่มีเนื้อฟันโดยรอบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ng และคณะ[65] ที่ให้แรงกับฟันด้านเพดานและพบว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเพดานให้ค่าแรงต้านการแตกหักของฟันสูงกว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านแก้ม Ng และคณะ[65] จึงให้ข้อสังเกตว่าค่าแรงต้านการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากขึ้นกับความแข็งแรงของรากฟัน เนื้อฟันส่วนที่เหลือ ความแข็งแรงของเดือยฟันและแกนฟัน และความแข็งแรงของพันธะ (bond strength) ระหว่างแต่ละส่วน เมื่อเนื้อฟันส่วนที่เหลืออยู่ด้านเดียวกับจุดที่ให้แรงกระทำกับฟัน จุดหมุนของการหลุด (arc of displacement) ของครอบฟันจะอยู่ที่รากฟันและเนื้อฟันส่วนที่เหลืออยู่ภายใต้แรงดึง (tension) โดยมีจุดต้านการหลุดอยู่ที่เดือยฟันและแกนฟัน เช่น กรณีเหลือเนื้อฟันด้านเพดานและให้แรงกระทำกับฟันด้านเพดาน พบว่าค่าแรงต้านการแตกหักขึ้นกับเนื้อฟันที่เหลือด้านเพดาน ส่วนในกรณีที่เหลือเนื้อฟันด้านตรงข้ามกับจุดที่ให้แรงกระทำกับฟัน เช่น กรณีเหลือเนื้อฟันด้านแก้มแต่ให้แรงกระทำกับฟันด้านเพดาน พบว่าจุดหมุนของครอบฟันขึ้นกับพันธะระหว่างเดือยฟันและแกนฟันกับรากฟันเป็นหลักมากกว่าความแข็งแรงของเนื้อฟันส่วนที่เหลือ ทำให้แรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของฟันในกลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านตรงข้ามกับจุดที่ให้แรงกระทำมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเดียวกับจุดที่ให้แรงกระทำ ส่วนในกลุ่มที่ไม่เหลือเนื้อฟันพบว่าความต้านทานต่อการหมุนขึ้นกับพันธะระหว่างเดือยฟันและแกนฟันกับรากฟันเป็นหลักทำให้ค่าแรงต้านการแตกหักของฟันในกลุ่มนี้มีค่าต่ำสุด

แต่ผลการศึกษานี้มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Naumann Preuss และRosentritt[66] ที่พบว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานค่าแรงต้านการแตกหักของฟันที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานและกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการออกแบบการศึกษาที่ต่างกันในเรื่องของระเบียบวิธีวิจัยและวัสดุอุปกรณ์ โดยการศึกษาของ Naumann Preuss และRosentritt[66] มีการทำเทอร์โมไซคลิ่งและการให้แรงกับฟันแบบพลวัต (thermal cycling and mechanical loading) ก่อนการทดสอบแรงต้านการแตกหักของฟัน จำนวนรอบที่ทำเทอร์โมไซคลิ่ง 6000 รอบ ที่อุณหภูมิระหว่าง 5 องศาเซลเซียสและ 55 องศาเซลเซียส ($5^{\circ}C/55^{\circ}C$) ระยะเวลาในแต่ละรอบเท่ากับ 2 นาที ส่วนจำนวนรอบในการเลียนแบบการเคี้ยวเท่ากับ 1.2×10^{6} รอบ ซึ่งเลียนแบบลักษณะการเคี้ยวที่มีการเคี้ยวเป็นรอบ (cyclic loading) และฟันอยู่ในสภาวะเปียกที่ต้องสัมผัสกับสารเคมีและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดเวลา การทำเทอร์โมไซคลิ่งทำให้มีผลต่อแกนเรซินคอมโพสิตและซีเมนต์เรซินในแง่การ

เปลี่ยนแปลงมิติจากการดูดน้ำของเรซินคอมโพสิตส่งผลให้มีช่องว่างระหว่างแกนฟันกับครอบฟันและเดือยฟันกับผนังคลองรากฟัน ส่วนการให้แรงกับฟันแบบพลวัตพบว่าเรซินคอมโพสิตจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทำให้เกิดการล้มเหลวของแกนฟัน เนื่องจากการหดตัวจากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์และการหดตัวจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง สำหรับการศึกษานี้ไม่ได้ทำเทอร์โมไซคลิ่งและให้แรงกับฟันแบบคงที่จนกระทั่งมีการแตกหักของฟันโดยไม่ได้เลียนแบบสภาวะจริงในช่องปาก ส่วนในเรื่องของวัสดุพบว่ามีการใช้วัสดุที่ต่างกัน ได้แก่ ชนิดของเดือยฟันและ สารยึดติดกับผนังคลองรากฟัน โดยการศึกษาของ Naumann Preuss และ Rosentritt[66] ใช้เดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยแก้วและสารยึดติดกับผนังคลองรากฟันเป็นชนิดเซลฟ์แอดฮีซีพ (self-adhesive resin cement) ส่วนในการวิจัยนี้ใช้เดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดเส้นใยควอตซ์ (เดือยฟันดีทีไลท์) ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาของ Teixeira และคณะ[78] พบว่าเดือยฟันดีทีไลท์ซึ่งเป็นเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดเส้นใยควอตซ์มีค่าความแข็ง (stiffness) สูงกว่าเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยแก้ว เหตุเดือยฟันชนิดนี้มีควอตซ์ในรูปแบบคริสตัลเป็นองค์ประกอบซึ่งมีความแข็งมากกว่าเส้นใยแก้ว นอกจากนี้ เดือยฟันดีทีไลท์มีคุณสมบัตินำแสง จึงอาจทำให้กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของสารยึดติดและสารยึดติดกับผนังคลองรากฟันผ่านเดือยฟัน ส่วนสารยึดติดกับผนังคลองรากฟันในการวิจัยนี้เลือกใช้ชนิดบ่มสองส่วน (dual-cured resin cement) เนื่องจากแข็งตัวทันทีเมื่อฉายแสง และในบริเวณที่แสงฉายไม่ถึงก็สามารถแข็งตัวได้จากปฏิกิริยาเคมี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารยึดติดกับผนังคลองรากฟันชนิดเซลฟ์แอดฮีซีพพบว่าการแข็งตัวใช้ปฏิกิริยาทางเคมีเพียงอย่างเดียวซึ่งอาจเกิดกระบวนการพอลิเมอร์ของเรซินแบบไม่สมบูรณ์ได้ ทั้งนี้อาจสัมพันธ์กับรูปแบบการแตกของรากฟัน ที่พบใกล้กับส่วนปลายของเดือยฟันในกลุ่มที่มีเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบ

เมื่อพิจารณารูปแบบการแตกของรากฟัน พบว่าส่วนใหญ่เริ่มจากด้านเพดานก่อนเนื่องจากการศึกษานี้ให้แรงกับฟันด้านเพดาน ซึ่ง Ichim Kuzmanovic และ Love[79] พบว่าเมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานจะเกิดความเค้นแรงอัด (compressive stress) ด้านแก้ม ส่วนด้านเพดานจะเกิดความเค้นแรงดึง (tensile stress) ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะถ่ายทอดไปตามผนังของรากฟันด้านเพดานและเกิดการสะสมของความเค้นที่รอยต่อของเนื้อฟันด้านเพดานกับครอบฟันซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกของรากฟันและรอยแตกจะขยายไปยังรากฟันและขยายไปในแนวเฉียงจากรากฟันด้านเพดานไปยังรากฟันด้านแก้ม โดยจะเกิดรอยแตกจากภายในรากฟันออกไปสู่ภายนอกรากฟันรูปแบบการแตกในทุกกลุ่มการศึกษา ยกเว้นกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ ส่วนใหญ่เกิดการแตกในแนวระนาบและในแนวเฉียงจากบริเวณคอฟันไปยังรากฟันด้านแก้มในระดับต่ำกว่าขอบบนของบล็อคเรซินอะคริลิกซึ่งไม่สามารถให้การบูรณะซ้ำได้ ส่วนในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบพบว่าเกิดการแตกในแนวระนาบระดับรอยต่อของเฟอร์รูลกับแกนฟัน จำนวน 3 ซี่ ซึ่งสามารถให้การบูรณะซ้ำได้ ดังนั้นในทางคลินิกหากเป็นไปได้ควรกรอฟันให้มีเฟอร์รูลโดยรอบ เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักสูงและเมื่อเกิดการแตกของฟันสามารถให้การบูรณะซ้ำได้

สำหรับข้อสังเกตจากผลการศึกษาส่วนเดือยฟันสำเร็จรูปพบว่า ถึงแม้กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มด้านใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและเพดาน (2FR-BPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) มีค่าแรงต้านการแตกหักของฟันสูงกว่ากลุ่มมีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) แต่รูปแบบการแตกของฟันทั้งสามกลุ่มมีลักษณะคล้ายกันคือรูปแบบการแตกส่วนใหญ่ไม่สามารถให้การบูรณะซ้ำได้ แต่ทั้งนี้ในทางคลินิกทันตแพทย์ต้องการค่าแรงต้านการแตกหักสูงเพื่อป้องกันการแตกหักของรากฟัน ดังนั้น ในกรณีที่ไม่สามารถกรอแต่งฟันให้มีเฟอร์รูลได้โดยรอบ แนวโน้มการพยากรณ์ของฟันที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) และฟันที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) จะดีกว่าฟันที่เฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) เนื่องจากให้ค่าแรงต้านการแตกหักของฟันสูงจึงน่าจะป้องกันการแตกของรากฟันได้สูงกว่า

สำหรับเดือยฟันเหวี่ยง การมีเฟอร์รูลไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า ความต้านทานการแตกหักมีค่าจากมากไปหาน้อยตามลำดับดังนี้ กลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) มีค่าความต้านทานการแตกหักมากที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและเพดาน (2FR-BPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มใกล้กลาง และเพดาน (2FR-BMPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) สี่กลุ่มแรกมีความต้านทานการแตกหักมากกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งความต้านทานการแตกหักได้ลดลงตามการหายไปของเฟอร์รูลหรือปริมาณเนื้อฟันสอดคล้องกับ Sorensen และ Engelman[3] ที่รายงานว่าในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันการบูรณะโดยใช้เดือยฟันอาจทำให้เกิดความเครียดและส่งผลต่อการเกิดรากฟันแตกโดยความต้านทานการแตกหักนั้นสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณเนื้อฟันที่เหลือ สำหรับกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานกับกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มที่มีปริมาณเนื้อฟันใกล้เคียงกันคือเหลือเนื้อฟันด้านเดียวแต่ในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดานกลับมีความต้านทานการแตกหักมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ng และคณะ[65] ที่พบว่า ปัจจัยสำคัญที่ฟันซี่นั้นจะมีความต้านทานต่อการแตกหักของฟันสูงขึ้นกับการเหลือเนื้อฟันด้านเดียวกับจุดที่มีแรงมากระทำกับฟัน จากการศึกษาในส่วนเดือยฟันเหวี่ยง เมื่อให้แรงกระทำกับฟันด้านเพดานพบว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเพดานได้แก่ กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและเพดาน (2FR-BPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) มีค่าแรงต้านการแตกหักของฟันสูงกว่ากลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านแก้ม (2FR-B) นอกจากนี้พบว่า กลุ่มที่เหลือเนื้อฟันด้านเพดานทั้ง 3 กลุ่มมีค่าแรงต้านการแตกหักของฟันไม่ต่างจากกลุ่มที่มีเนื้อฟันโดยรอบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ng และคณะ[65] ที่พบว่าแรงต้านการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากขึ้นกับความแข็งแรงของรากฟัน เนื้อฟันส่วนที่เหลือ ความแข็งแรงของเดือยฟันและแกนฟัน และความแข็งแรงของพันธะ (bond strength) ระหว่างแต่ละส่วน

เมื่อเปรียบเทียบการบูรณะด้วยเดือยฟันเหวี่ยงกับการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปพบว่า ให้ผลการศึกษาที่แตกต่างกันโดยการศึกษาของส่วนเดือยฟันสำเร็จรูปพบว่า กลุ่มที่มีความต้านทานการแตกหักที่สูงที่สุดตามลำดับคือ กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ด้านใกล้กลาง และด้านเพดาน รองลงมาคือกลุ่มที่มี

เฟอร์รูลด้านเพดาน กลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ และสุดท้ายคือกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและเพดาน ส่วนกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลมีความต้านทานการแตกหักน้อยที่สุด ส่วนการบูรณะด้วยเดือยฟันเหวี่ยง ความต้านทานการแตกหักลดลงตามปริมาณเนื้อฟันที่สูญเสียไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของความแข็งแรงพันธะ (bond strength) ในการเลือกใช้เดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิต

รูปแบบการแตกหักของส่วนเดือยฟันเหวี่ยงพบว่า ส่วนใหญ่เริ่มจากด้านเพดานก่อน ซึ่ง Ichim Kuzmanovic และ Love[79] พบว่า เมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานจะเกิดความเค้นแรงอัด (compressive stress) ด้านแก้ม ส่วนด้านเพดานจะเกิดความเค้นแรงดึง (tensile stress) ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะถ่ายทอดไปตามผนังคลองรากฟันด้านเพดานและเกิดการสะสมของความเค้นที่รอยต่อของเนื้อฟันด้านเพดานกับครอบฟันซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกหักของรากฟันและรอยแตกจะขยายไปยังรากฟันและขยายไปในแนวเฉียงจากรากฟันด้านเพดานไปยังรากฟันด้านแก้ม โดยจะเกิดรอยแตกจากภายในรากฟันออกสู่ภายนอกรากฟัน เมื่อพิจารณารายกลุ่มที่น่าสังเกตพบว่าในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ ส่วนใหญ่มีลักษณะการแตกหักที่รากฟันในแนวระนาบแต่เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น Pereira และคณะ[71] รายงานว่าในฟันเขี้ยวเมื่อบูรณะด้วยเดือยและแกนฟันโลหะแบบเหวี่ยงไม่ว่าในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบหรือกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูลจะมีการแตกหักที่ราก ร้อยละ 100 แต่การศึกษาของ Pereira และคณะไม่ได้ระบุว่าการแตกหักที่รากนั้นเป็นการแตกหักเฉพาะที่รากฟันในแนวระนาบ หรือเป็นการแตกแบบแนวเฉียงจากตัวฟันไปที่รากฟัน หากเปรียบเทียบกับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนเรซินคอมโพสิตพบว่า การบูรณะด้วยเดือยฟันเหวี่ยง ส่วนใหญ่มีการแตกเป็นแนวเฉียงเริ่มจากด้านเพดานไปด้านใกล้แก้มในระดับต่ำกว่าขอบบนของบล๊อคเรซินอะคริลิก ซึ่งเป็นรูปแบบการแตกหักที่ไม่สามารถให้การบูรณะอีกได้ ส่วนการแตกของรากฟันในแนวระนาบพบได้ในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (7 ซี่) ซึ่งล้วนเป็นการหักระดับต่ำกว่าขอบบนของบล๊อคเรซินอะคริลิกทั้งสิ้น ซึ่งไม่สามารถบูรณะซ้ำได้ แต่โอกาสการเกิดการแตกหักของรากฟันทางคลินิกในกลุ่มนี้จะน้อย เนื่องจากฟันในกลุ่มนี้มีค่าแรงต้านการแตกหักสูงสุด ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการทางคลินิก

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษานี้ สรุปผลการศึกษาได้ว่า

1. การบูรณะฟันตัดหน้าบนที่ได้รับการรักษาคลองรากด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและเดือยฟันเหวี่ยง กรณีไม่สามารถสร้างเฟอร์รูลโดยรอบพบว่า ตำแหน่งของเฟอร์รูลมีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟัน

2. เมื่อให้แรงกับฟันด้านเพดานพบว่า ในกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูป ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มใกล้กลางและด้านเพดาน (2FR-BMPa) มีค่าสูงสุดและมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและเพดาน (2FR-BPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนกลุ่มเดือยฟันเหวี่ยง ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกหักของฟันที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) มีค่าสูงสุดและมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) และกลุ่มที่ไม่มี เฟอร์รูล (0FR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) ไม่ต่างจากกลุ่มที่กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและเพดาน (2FR-BPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) ในขณะเดียวกัน ค่าเฉลี่ยแรงต้านการแตกของกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) มีค่าต่ำสุดแต่ไม่ต่างจากกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. รูปแบบการแตกของฟันในกลุ่มเดือยฟันสำเร็จรูปพบว่า กลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม ใกล้กลาง และด้านเพดาน (2FR-BMPa) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้ม (2FR-B) กลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านแก้มและเพดาน (2FR-BPa) และกลุ่มที่มีเฟอร์รูลด้านเพดาน (2FR-Pa) ส่วนมากเป็นการแตกในแนวเฉียงจากด้านเพดานบริเวณคอฟันไปยังรากฟันด้านแก้มต่ำกว่าขอบบนของบล็อกเรซินอะคริลิก ส่วนในกลุ่มที่ไม่มีเฟอร์รูล (0FR) ส่วนมากเป็นการแตกแนวระนาบระดับรอยต่อของแกนฟันกับเนื้อฟัน ส่วนกลุ่มเดือยฟันเหวี่ยง รูปแบบการแตกส่วนใหญ่เป็นการแตกในแนวเฉียงจากด้านเพดานบริเวณคอฟันไปยังรากฟันด้านแก้มในระดับต่ำกว่าขอบบนของบล็อคเรซิน อะคริลิก ยกเว้นในกลุ่มที่มีเฟอร์รูลโดยรอบ (2FR) ที่ส่วนใหญ่รากฟันแตกในแนวระนาบ

คำแนะนำสำหรับการศึกษาต่อไป

จากลักษณะทางคลินิกพบว่าแรงบดเคี้ยวที่เกิดขึ้นจริงมีหลายแนวและเป็นแรงที่เกิดซ้ำเป็นวงจร ดังนั้นเพื่อให้เลียนแบบสภาวะจริงในช่องปากควรเพิ่มการทดสอบที่มีการให้แรงกับฟันซ้ำกันเป็นวงจร และควรมีการเปรียบเทียบผลระหว่างการให้แรงกับฟันแบบสถิตย์ ที่มีเพียงทิศทางเดียวกับการให้แรงกับฟันแบบซ้ำกันเป็นวงจรเพื่อดูความสัมพันธ์ของผลที่เกิดขึ้น

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 multilated 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, Rosèntritt 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. Torbjorner A, Fransson B. A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth. ***Int J Prosthodont*** 2004; 17(3): 369-76.

70. Stockton LW. Factors affecting retention of post systems: a literature review. ***J Prosthet Dent*** 1999; 81(4): 380-5.

71. Pereira JR, et al. Influence of intraradicular post and crown ferrule on the fracture strength of endodontically treated teeth. ***Braz Dent J*** 2009; 20(4): 297-302.

72. Fraga RC, Mello GS, Siqueira JF Jr. Fracture resistance of endodontically treated roots after restoration. ***J Oral Rehabil*** 1998; 25(11): 809-13.

73. Martinez-Insua A, et al. Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core. ***J Prosthet Dent*** 1998; 80(5): 527-32.

74. Zhi-Yue L, Yu-Xing Z. Effects of post-core design and ferrule on fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors. ***J Prosthet Dent*** 2003; 89(4): 368-73.

75. Sendhilnathan, D. and S. Nayar, *The effect of post-core and ferrule on the fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors.* ***Indian J Dent Res*** 2008; 19(1): 17-21.

76. 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: 36-40.

77. 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.

78. 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.

79. 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

ประวัติผู้วิจัย

1. นางสาวบุญรัตน์ สัตพัน (หัวหน้าโครงการ)

คุณวุฒิ ท.บ., ป. บัณฑิต (วิทยาเอ็นโดดอนท์), MDSc., อ.ท. (วิทยาเอ็นโดดอนท์)

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8

ภาควิชา ทันตกรรมอนุรักษ์ คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

โทรศัพท์ 0-7442-9877

ประสบการณ์ในงานวิจัย

Dynamic properties of nickel-titanium instruments (Master thesis)

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

1. Sattapan B, Palamara JE, Messer HH. Torque during canal instrumentation using rotary nickel-titanium files. ***J Endod*** 2000;26:156-60.
2. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. ***J Endod*** 2000;26:161-5.
3. Sattapan B, Muangmingsuk A. A comparative study of apical leakage between lateral condensation and warm lateral condensation in the narrow and curved root canal. ***J Dent Assoc Thai*** 1994;44:108-15.

2. นางสาวเกวลิน ธรรมสิทธิ์บูรณ์ (ผู้ร่วมโครงการ)

คุณวุฒิ ท.บ., Cert. in Endodontics, DMSc.

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8

ภาควิชา ทันตกรรมอนุรักษ์ คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

โทรศัพท์ 0-7442-9877, 0-7428-7703

ประสบการณ์ในงานวิจัย

Role of macrophages in LPS-induced osteoblast and PDL cell apoptosis. (PhD thesis)

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

1. Kukiattrakoon B, Thammasitboon K. Optimal acidulated phosphate fluoride gel etching time for surface treatment of feldspathic porcelain: On shear bond strength to resin composite. ***Eur J Dent*** 2012;6:60-9.

2. Rakkiettiwong N, Hengtrakool C, Thammasitboon K, Kedjarune-Leggat U. Effect of novel chitosan-fluoroaluminosilicate glass ionomer cement with added transforming growth factor beta-1 on pulp cells. ***J Endod*** 2011;37:367-71.
3. Sukotjo C, Thammasitboon K, Howell H, Karimbux N. Students' perceptions of prosthodontics in a PBL hybrid curriculum. ***J Prosthodont*** 2008;17:495-501.
4. Thammasitboon K, Sukotjo C, Howell H, Karimbux N. Problem-based learning at the Harvard School of Dental Medicine: self-assessment of performance in postdoctoral training. ***J Dent Educ*** 2007;71:1080-9.
5. Thammasitboon K. Problem-based learning at the Havard school of Dental Medicine: Self-assesment on performances in postdoctoral training. ***J Dent Educ*** 2007;71:1080-9.
6. Kukiattrakoon B, Thammasitboon K. Effect of different etching time of acidulated phosphate fluoride gel on shear bond strength of high-leucite ceramics bonded to resin composite. ***J Prosthet Dent*** 2007;98:17-23.
7. Thammasitboon K, Goldring SR, Boch JA. Role of macrophages in LPS-induced osteoblast and PDL cell apoptosis. ***Bone*** 2006;38:845-52.

3. นายบุญเลิศ กู้เกียรติตระกูล (ผู้ร่วมโครงการ)

คุณวุฒิ ท.บ., วท.ม. (ทันตกรรมประดิษฐ์), น.บ.

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ระดับ 9

ภาควิชา ทันตกรรมอนุรักษ์ คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

โทรศัพท์ 0-7442-9877

ประสบการณ์ในงานวิจัย

ความแข็งแรงพันธะเฉือนของพอร์ซเลนที่มีลูไซต์ปริมาณสูง ซึ่งยึดติดกับเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนหรืออะลูมินัสพอร์ซเลนด้วยเรซินซีเมนต์ ภายใต้การปรับสภาพผิวต่างกัน (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต)

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

1. Kukiattrakoon B, Thammasitboon K. Optimal acidulated phosphate fluoride gel etching time for surface treatment of feldspathic porcelain: On shear bond strength to resin composite. ***Eur J Dent*** 2012;6:60-9.

2. Junpoom P, Kukiattrakoon B, Hengtrakool C. Flexural strength of fluorapatite-leucite and fluorapatite porcelains exposed to erosive agents in cyclic immersion. ***J Appl Oral Sci*** 2011;19:95-9.
3. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. Effect of acidic agents on surface roughness of dental ceramics. ***Dent Res J*** 2011;8:6-15.
4. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. Gradual surface degradation of restorative materials by acidic agents. ***Gen Dent*** 2011;59:e50-e62.
5. Hengtrakool C, Kukiattrakoon B, Kedjarune-Leggat U. Effect of naturally acidic agents on microhardness and surface micromorphology of restorative materials. ***Eur J Dent*** 2011;5:89-100.
6. Junpoom P, Kukiattrakoon B, Hengtrakool C. Surface characteristic changes of dental ceramics after cyclic immersion in acidic agents and titratable acidity. ***Eur J Prosthodont Restor Dent*** 2010;18:177-84.
7. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. Elemental release and surface changes of fluorapatite-leucite porcelains upon acidic agent immersions. ***J Dent Sci*** 2010;5:189-200.
8. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. Degradability of fluorapatite-leucite ceramics in naturally acidic agents. ***Dent Mater J*** 2010;29:502-11.
9. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. The effect of acidic agents on surface ion leaching and surface characteristics of dental porcelains. ***J Prosthet Dent*** 2010;103:148-62.
10. Kukiattrakoon B, Samruajbenjakul B. Shear bond strength of ceramic brackets with various base designs bonded to aluminous and fluorapatite ceramics. ***Eur J Orthod*** 2010;32:87-93.
11. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U. Chemical durability and microhardness of dental ceramics immersed in acidic agents. ***Acta Odontol Scand*** 2010;68:1-10.
12. Kukiattrakoon B, Junpoom P, Hengtrakool C. Vicker's microhardness and energy dispersive x-ray analysis of fluorapatite-leucite and fluorapatite ceramics cyclically immersed in acidic agents. ***J Oral Sci*** 2009;51:443-50.

13. Piangprach T, Hengtrakool C, Kukiattrakoon B, Kedjarune-Leggat U. The effect of salivary factors on dental erosion in various age groups and tooth surfaces. ***J Am Dent*** Assoc 2009;140:1137-43.

14. Samruajbenjakul B, Kukiattrakoon B. Shear bond strength of ceramic brackets with different base designs to feldspathic porcelains. ***Angle Orthod*** 2009;79:571-6.

15. Kukiattrakoon B, Thammasitboon K. The effect of different etching times of acidulated phosphate fluoride gel on the shear bond strength of high-leucite ceramics bonded to composite resin. ***J Prosthet Dent*** 2007;98:17-23.

16. Leggat PA, Chowanadisai S, Kedjarune U, Kukiattrakoon B, Yapong B. Health of dentists in southern Thailand. ***Int Dent J*** 2001;51:348-52.

17. Leggat PA, Chowanadisai S, Kukiattrakoon B, Yapong B, Kedjarune U. Occupational hygiene practices of dentist in Southern Thailand. ***Int Dent J*** 2001;51:11-6.

18. Kedjarune U, Kukiattrakoon B, Yapong B, Chowanadisai S, Laggat PA. Bacterial aerosols in the dental clinic: effect of time, position and type of treatment. ***Int Dent J*** 2000;50:103-7.

19. Chowanadisai S, Kukiattrakoon B, Yapong B, Kedjarune U, Leggat PA. Occupational health problems of dentists in southern Thailand. ***Int Dent J*** 2000;50:36-40.