

ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยพื้นเส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมีต่อค่าความต้านทานการแตกของ
พื้นรักษาคลองราก

นางสาวสุชาวดี หุตะสิงห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECT OF CHEMICAL SURFACE TREATMENT OF QUARTZ FIBER POST ON
FRACTURE RESISTANCE OF ENDODONTICALLY TREATED TEETH

Miss Suchawadee Hutasingh

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ด้วย

สารเคมีต่อค่าความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองราก

โดย

นางสาวสุชาวดี หุตะสิงห์

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง อิศราวัลย์ บุญศิริ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรภรณ์ ทัศนจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. มรกต เปี่ยมใจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง อิศราวัลย์ บุญศิริ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ทันตแพทย์ ดร. วิวิทย์พล ศรีมณีพงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ทันตแพทย์ ดร. วรณธนะ สัตตบรรณสุข)

สุชาวดี หุตะสิงห์ : ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมีต่อค่าความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองราก. (EFFECT OF CHEMICAL SURFACE TREATMENT OF QUARTZ FIBER POST ON FRACTURE RESISTANCE OF ENDODONTICALLY TREATED TEETH) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ทญ.อิศราวัลย์ บุญศิริ, 61 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองรากเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน

ใช้ฟันกรามน้อยล่างซี่ที่สองจำนวน 60 ซี่ ตัดส่วนตัวฟันที่ตำแหน่งเหนือรอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน 2 มิลลิเมตร นำฟันมารักษาคลองรากฟัน และเตรียมช่องว่างสำหรับใส่เดือยฟัน แบ่งฟันออกเป็น 6 กลุ่ม (กลุ่มละ 10 ซี่) โดยการสุ่ม กลุ่มที่ 1 บูรณะด้วยเดือยฟันที่ไม่ปรับสภาพพื้นผิว กลุ่มที่ 2 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วย 24% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นาน 10 นาที กลุ่มที่ 3 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วย 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นาน 5 นาที กลุ่มที่ 4 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วย 35% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นาน 5 นาที กลุ่มที่ 5 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วย 5% ไฮโดรฟลูออริกนาน 5 วินาทีและกลุ่มที่ 6 ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วย 10% โซเดียมไฮโปคลอไรต์นาน 10 นาที ยึดเดือยฟันและสร้างแกนฟันด้วย มัลติคอร์โพลีเมอร์ ทำครอบฟันโลหะบนฟันทุกซี่ นำขึ้นตัวอย่างทดสอบแรงกดด้วยเครื่องทดสอบสากลชนิดอินสตรอน วิเคราะห์ค่าแรงเฉลี่ยที่ทำให้เกิดการแตกของชิ้นงานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการวิเคราะห์แบบบอนเฟอโรนี่ พบว่ากลุ่มที่ 2, 3 และ 5 มีความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองรากสูงกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองราก

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2554.....

5276137532 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS: FIBER POST/ SURFACE TREATMENT / FRACTURE RESISTANCE

SUCHAWADEE HUTASINGH: EFFECT OF CHEMICAL SURFACE
TREATMENT OF QUARTZ FIBER POST ON FRACTURE RESISTANCE OF
ENDODONTICALLY TREATED TEETH. ADVISOR : ASSOC. PROF.
ISSARAWAN BOONSIRI, 61 pp.

The objective of this study was to compare the fracture resistance of endodontically treated teeth restored with quartz fiber posts, which their surfaces were treated with different chemical agents.

Sixty mandibular second premolars were removed coronal portions at a level 2 mm. above the CEJ. The remaining root received endodontic therapy and post space preparation. The specimens were randomly assigned to 6 groups (n=10). Group 1 was restored without surface treatment of post. Group 2 was treated with hydrogen peroxide 24% for 10 minutes. Group 3 was treated with hydrogen peroxide 30% for 5 minutes. Group 4 was treated with hydrogen peroxide 35% for 5 minutes. Group 5 was treated with hydrofluoric acid 5% for 5 seconds. And group 6 was treated with sodium hypochlorite 10% for 10 minutes. Posts were cemented and cores were built up with Multicore Flow[®] and then teeth were restored using full metal crown. The specimens were loaded with universal testing machine (Instron[®]). Mean fracture loads of all specimens were analyzed using the one-way ANOVA and Bonferroni test. The fracture loads of group 2, 3 and 5 were significantly greater than group 1. However, difference of chemical surface treatment of fiber post did not affect on fracture resistance of endodontically treated teeth.

Department :PROSTHODONTICS..... Student's Signature.....

Field of Study :PROSTHODONTICS..... Advisor's Signature.....

Academic Year :2011.....

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ครั้งที่ 1 ประจำปีงบประมาณ 2554 จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง อิศราวัลย์ บุญศิริ เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทันตแพทย์หญิง ศิริพร อรุณประดิษฐ์กุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและเสนอแนะข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และทำให้ขั้นตอนการดำเนินงานมีความราบรื่นและมีประสิทธิภาพ ตลอดจนตรวจแก้ไขและช่วยเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับสถิติสำหรับงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ประธานกรรมการและคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอบคุณบริษัทยูนิตี้ เติ้นดัล จำกัด บริษัทแอคติออน (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท เดนท์สพลาย (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัทแอคคอร์ด คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่เอื้อเฟื้อทันตวัสดุบางส่วนและลดราคาทันตวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์และศูนย์ชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวของผู้วิจัย และขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณทั้งหมดที่มีได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	3
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
การออกแบบการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ความต้านทานการแตกของพืชรักษาคลองราก.....	6
เด็ดยพืชมคอมโพสิตเสริมเส้นใย.....	9
การปรับสภาพพื้นผิวเด็ดยพืชมคอมโพสิตเสริมเส้นใย.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	20
วิธีการวิจัย.....	21

การเก็บตัวอย่างซีพีพีในการวิจัย.....	21
การคัดเลือกซีพีพีและแบ่งกลุ่มทดลอง.....	21
การลงปลอกยึดฟัน.....	22
การทำแม่แบบสำหรับทำครอบฟัน.....	23
การทำแม่แบบพลาสติกใสสำหรับสร้างแกนฟัน.....	23
การตัดซีพีพีทดสอบ.....	25
การรักษาคลองรากฟัน.....	25
การบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์และแกนฟัน.....	26
การทำครอบฟันโลหะ.....	28
การจำลองเอ็นยึดปริทันต์.....	28
การทดสอบค่าความต้านทานการแตก.....	29
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	30
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	34
อภิปรายวิสัยคุณูปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	34
อภิปรายผลการทดลอง.....	35
สรุปผลการวิจัย.....	40
ข้อเสนอแนะ.....	40
รายการอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	61

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	แสดงการแบ่งกลุ่มทดลอง..... 22
ตารางที่ 2	แสดงรูปแบบการแตกในแต่ละกลุ่ม..... 32
ตารางที่ 3	ค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกของขึ้นตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม..... 56
ตารางที่ 4	แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล..... 56
ตารางที่ 5	การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of variance) ด้วยการให้การทดสอบแบบลีวิน (Levene's test) ของข้อมูลค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกของขึ้นตัวอย่าง..... 58
ตารางที่ 6	การทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกในขึ้นตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way ANOVA)..... 58
ตารางที่ 7	การทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกในขึ้นตัวอย่างด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบบอนเฟอโรนนี่ (Bonferroni multiple comparison)..... 59

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	แสดงภาพรังสีในแนวด้านแก้มถึงด้านลิ้นและแนวใกล้กลางถึงแนวไกลกลาง....	21
ภาพที่ 2	แสดงการติดฟันกับแท่งวิเคราะห์ความขนานด้วยซี่ฝังเหนียว.....	23
ภาพที่ 3	แสดงเครื่องไอโซพาราเลโลมิเตอร์.....	24
ภาพที่ 4	แสดงการใช้เครื่องไอโซพาราเลโลมิเตอร์.....	24
ภาพที่ 5	แสดงแม่แบบพลาสติกใสสำหรับสร้างแกนฟัน.....	25
ภาพที่ 6	แสดงซี่ฟันที่ตัดส่วนตัวฟันออก.....	25
ภาพที่ 7	แสดงฟันที่รักษาคอลงรากฟันและอุดปิดด้วยวัสดุอุดชั่วคราว.....	26
ภาพที่ 8	แสดงภาพรังสีของฟันที่รักษาคอลงราก.....	26
ภาพที่ 9	แสดงฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน.....	27
ภาพที่ 10	แสดงภาพรังสีของฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน.....	28
ภาพที่ 11	แสดงฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยครอบฟันโลหะ.....	28
ภาพที่ 12	แสดงวัสดุที่ใช้บูรณะฟันรักษาคอลงราก.....	29
ภาพที่ 13	แสดงการยึดขึ้นตัวอย่างกับเครื่องทดสอบอินสตรอน.....	30
ภาพที่ 14	แสดงค่าแรงเฉื่อยที่ทำให้เกิดการแตกและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่ม	31
ภาพที่ 15	แสดงการแตกแบบไม่สามารถบูรณะได้.....	32
ภาพที่ 16	แสดงการแตกแบบสามารถบูรณะได้.....	33

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนิยมใช้เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย บำรุงฟันที่รักษาคลองรากแล้ว เนื่องจากเดือยฟันชนิดนี้มี modulus ของสภาพยืดหยุ่น (Elastic modulus) ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้กระจายแรงเค้นสู่รากฟันอย่างสม่ำเสมอตลอดรากฟัน ลดโอกาสเกิดรากฟันแตก และรื้อออกง่ายกรณีต้องรักษาคลองรากฟันซ้ำ^(1,2) และความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองรากต้องอาศัยความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของฟันและวัสดุบูรณะหรือความเป็นโมโนบล็อก (Monoblock) ของวัสดุที่นำมาบูรณะ โดยวัสดุต้องมี modulus ของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน และสามารถยึดติดกับเนื้อฟันได้ดี⁽³⁾ อย่างไรก็ตามการบูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยมักพบความล้มเหลวเกี่ยวกับการหลุดของเดือยฟันซึ่งเกิดขึ้นรอยต่อระหว่างเดือยฟันกับสารยึดติดหรือรอยต่อระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันคอมโพสิต⁽⁴⁾ เนื่องจากพื้นผิวของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีความเรียบและมีส่วนประกอบหลักเป็นอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) กับเส้นใย (fiber) ซึ่งอีพอกซีเป็นพอลิเมอร์ที่มีอัตราการบ่มตัว (degree of conversion) สูงมากและมีการเชื่อมขวางกันของโครงสร้างต่อกันเป็นร่างแหทำให้ไม่มีกลุ่มทำงาน (functional group) เหลือจึงไม่สามารถเกิดพันธะเคมีกับเรซินซีเมนต์⁽⁵⁾

ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิธีเพิ่มการยึดติดของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์หรือแกนฟันคอมโพสิตโดยการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเพิ่มการยึดติดทางกลและทางเคมีให้แก่เดือยฟันเสริมเส้นใย⁽⁶⁾ พบว่าวิธีที่มีประสิทธิภาพคือการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 20 นาที⁽⁷⁾ แต่เมื่อนำมาปฏิบัติจริงทางคลินิกใช้เวลานาน และเป็นความเข้มข้นที่ไม่มีจำหน่ายต้องเตรียมขึ้นเองด้วยขั้นตอนที่ยุ่งยาก จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้พื้นผิวเดือยฟันเกิดการเปลี่ยนแปลง มีการละลายอีพอกซีเรซินและเผยเส้นใยออกมา อาจมีผลต่อความแข็งแรงของเดือยฟันเมื่อนำมาบูรณะฟันอาจส่งผลกระทบต่อความต้านทานการแตกของฟันได้

นอกจากนี้ในการศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาผลของการนำสารเคมีมาใช้ปรับสภาพพื้นผิวเต็ยพื้นเส้นใยควอตซ์ต่อความต้านทานการแตกของพื้นรักษาคลองราก ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเต็ยพื้นเส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมีต่อความต้านทานการแตกของพื้น

คำถามการวิจัย

การปรับสภาพพื้นผิวเต็ยพื้นเส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันทำให้ความต้านทานการแตกของพื้นทีุ้บรูณะด้วยเต็ยพื้นเส้นใยควอตซ์แตกต่างกันหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเต็ยพื้นเส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกของพื้นทีุ้บรูณะด้วยเต็ยพื้นเส้นใยควอตซ์

สมมติฐานของการวิจัย

การปรับสภาพพื้นผิวเต็ยพื้นเส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมีทำให้พื้นผิวเต็ยพื้นเปลี่ยนแปลง อาจมีผลต่อความต้านทานการแตกของพื้นทีุ้บรูณะด้วยเต็ยพื้นหลังการปรับสภาพพื้นผิว

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถนำผลการทดลองไปอ้างอิงเพื่อทำนายแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในคลินิก โดยทำการเปรียบเทียบแรงต้านทานการแตกของพื้นรักษาคลองรากที่ได้รับการบรูณะด้วยเต็ยพื้นเสริมเส้นใยควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีต่างชนิดกัน โดยพื้นที่ใช้เป็นพื้นกรามน้ยล่างซี่ที่สองของมนุษย์ โดยมีความยาว รูปร่าง ขนาดและความหนาของปริมาณเนื้อพื้นที่ใกล้เคียงกันทั้งในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น และในแนวใกล้กลาง-ใกล้กลางมีความแตกต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร เต็ยพื้นสำเร็จรูปที่ใช้คือ เต็ยพื้นคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ดีทีไลท์โพสท์ เบอ์ 1 เรซินคอมโพสิตที่ใช้คือ ฉีดเรซินคอมโพสิต

เลวชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมียี่ห้อมัลติคอร์โพลีร์ สารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิว เดือยฟันคือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กรดไฮโดรฟลูออริกและโซเดียมไฮโปคลอไรต์

ข้อตกลงเบื้องต้น

การทดลองนี้ทำในห้องปฏิบัติการ ซึ่งใช้อ้างอิงถึงการทดลองในสิ่งมีชีวิต กระบวนการทดลองดำเนินการโดยผู้ทำการทดลองคนเดียวและใช้อุปกรณ์เดียวกันตลอดการทดลองที่ห้องทันตวัสดุศาสตร์ อาคารสมเด็จย่า ชั้น 9 คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อุณหภูมิประมาณ 22-28 องศาเซลเซียส

ข้อจำกัดของการวิจัย

ปริมาณกลุ่มตัวอย่างไม่สามารถทำได้ตรงกับสัดส่วนของจำนวนซี่ฟันต่อประชากรจริง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและการเก็บซี่ฟันที่ใช้ทดลอง การเลือกซี่ฟันตัวอย่างเพื่อใช้แทนประชากรของฟันที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปนั้นไม่สามารถทำได้ครอบคลุมฟันทุกซี่และเดือยฟันสำเร็จรูปทุกชนิดเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและบุคลากรในการวิจัย จึงเลือกเฉพาะฟันกรามน้อยล่างรากเดียวซึ่งถูกถอนเพื่อการจัดฟันและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยนี้ใช้คำว่า

“Endodontically treated teeth”

ฟันรักษาคคลองราก

“Quartz fiber post”

เดือยฟันเส้นใยควอตซ์

“Fracture resistance”

ความต้านทานการแตก

“Surface treatment”

การปรับสภาพพื้นผิว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อศึกษาความต้านทานการแตกของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ

2. เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการหาวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยพ่นเส้นใยควอตซ์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มความต้านทานการแตกของพ่นรักษาคลองรากฟันที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางคลินิก

การออกแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันแล้วจำเป็นต้องได้รับการบูรณะที่ดีและเหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้งานได้ยาวอย่างมีประสิทธิภาพและมีความสวยงาม ฟันเหล่านี้มักมีการสูญเสียเนื้อฟันไปมาก เนื่องจากฟันผุ ฟันได้รับอุบัติเหตุ ฟันเคยได้รับการบูรณะมาก่อน ร่วมกับการเปิดช่องทางเข้าสู่คลองรากฟันและจากขบวนการรักษาคลองรากฟัน⁽⁸⁾ เดิมเชื่อว่าฟันเหล่านี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากเนื้อฟันปกติที่มีชีวิต เนื่องจากฟันที่ตายแล้วไม่มีเส้นเลือดและเส้นประสาทมาเลี้ยงจึงมีความเปราะมากขึ้นจากการสูญเสียน้ำ⁽⁹⁾ และการสูญเสียการยึดอยู่ของเส้นใยคอลลาเจนในเนื้อฟัน⁽¹⁰⁾ ทำให้อัตราการล้มเหลวของการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากแล้วสูงกว่าฟันธรรมชาติที่มีชีวิตอยู่⁽¹¹⁾ แต่ในปัจจุบันพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากแล้วไม่ได้มีคุณสมบัติทั้งกายภาพและทางกลลดลง⁽¹²⁾ จากการศึกษาของ Reeh และคณะในปี ค.ศ. 1989⁽¹³⁾ พบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากแล้วไม่ได้อ่อนแอลงในฟันที่สันริมฟัน (marginal ridge) ยังคงมีอยู่ ขบวนการรักษาคลองรากฟันทำให้ความแข็งของฟันลดลงเพียง 5% แต่การฟันที่รักษาคลองรากที่สูญเสียสันริมฟัน เช่น การเตรียมโพรงฟันแบบ MOD ทำให้ความแข็งของฟันลดลงถึง 63% ดังนั้นจึงบูรณะฟันรักษาคลองรากที่สูญเสียเนื้อฟันไปมากด้วย การบูรณะด้วยเดือยฟัน (post and core) ร่วมกับการทำครอบฟัน^(14,15)

ในปี ค.ศ. 1996 Christensen⁽¹⁶⁾ ได้แบ่งการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันโดยพิจารณาจากปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1. ฟันที่เสียเนื้อฟันเพียงเล็กน้อยจากการเปิดทางเข้าสู่โพรงประสาทฟัน สามารถบูรณะด้วยการอุดโดยไม่จำเป็นต้องใส่เดือยฟันและแกนฟัน
2. ฟันที่สูญเสียเนื้อฟันออกไปประมาณครึ่งหนึ่งโดยปกติแล้วไม่จำเป็นต้องใส่เดือยฟันและแกนฟันยกเว้นฟันซี่นั้นจำเป็นต้องรับแรงมากๆ เช่น ซี่ฟันที่เป็นตัวนำขณะเยื้องออกนอกศูนย์
3. ฟันที่สูญเสียเนื้อฟันมากกว่าครึ่งซึ่งควรบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน
4. ฟันที่สูญเสียเนื้อฟันไปทั้งซี่เหลือแต่ส่วนของราก ต้องบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน และต้องระวังการหมุนของเดือยฟันโดยเฉพาะในฟันหน้าที่มีฟันหน้าที่มีหน้าตัดของคลองรากกลม

ความต้านทานการแตกของพื้นรักษาคลองราก

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการแตกของพื้นรักษาคลองรากมีดังนี้

- ปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่

พื้นรักษาคลองรากแล้วมีเนื้อฟันเหลือมากจะต้านการแตกได้ดีกว่า โดยค่าแรงที่ทำให้แตกหักสัมพันธ์กับปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่อย่างมีนัยสำคัญ และวัสดุที่ใช้ทำแกนฟันที่ต่างกันมีความต้านทานต่อการแตกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณเนื้อฟันส่วนต้นเท่ากัน⁽¹⁷⁾ โดยเมื่อใส่ครอบฟันควรมีขอบของครอบฟันโอบรอบเนื้อฟันส่วนที่แข็งแรง 2 มิลลิเมตรเพื่อช่วยต้านทานการแตกของฟัน^(18,14,15)

- รูปร่างของเดือยฟัน

เดือยฟันโลหะเหวี่ยงรูปทรงสอบที่แนบสนิทกับคลองรากมากจะต้านทานการแตกหักได้ดี แต่เมื่อฟันแตกจะแตกในลักษณะไม่สามารถบูรณะต่อได้ เพราะเดือยฟันรูปทรงสอบทำให้เกิดผลกระทบแบบลิ้ม (wedging effect) ส่งแรงเค้นไปสู่ปลายรากและบริเวณใกล้คอฟันมากทำให้รากแตกตามแนวแกนฟัน⁽¹⁹⁾ ลักษณะของเดือยทรงขนานจะให้การยึดอยู่ที่ดีกว่าเดือยทรงสอบ และให้การกระจายความเค้นได้ทั่วรากฟัน แต่เดือยทรงขนานจะมีความเค้นมากโดยเฉพาะที่ฟันผิวด้านนอกของรากฟันที่ระดับปลายเดือยเพราะการเตรียมคลองรากฟันสำหรับเดือยทรงขนานจะสูญเสียเนื้อฟันบริเวณปลายเดือย จึงทำให้เนื้อฟันบริเวณนั้นบางลง⁽²⁰⁾

- ความแนบสนิทของเดือยฟัน

เดือยฟันที่แนบสนิทกับรากเมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวจะมีการกระจายความเค้นอย่างสม่ำเสมอไปตลอดรากฟันทำให้ฟันต้านทานการแตกได้ดี⁽¹⁹⁾ แต่การใช้เดือยสำเร็จรูปการกรอเตรียมรากฟันเพื่อทำเดือยฟันให้แนบสนิทจะสูญเสียเนื้อฟันที่ผนังคลองรากฟัน Grandini และคณะในปี ค.ศ. 2005⁽²¹⁾ จึงแนะนำให้ใช้คอมโพสิตชนิดเหลวเสริมผนังคลองรากให้แนบสนิทกับเดือยฟันเพราะการเสริมด้วยเรซินคอมโพสิตซึ่งมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันจะทำให้กระจายแรงเค้นและต้านทานต่อการแตกได้ดี⁽²²⁾ เดือยฟันที่ไม่แนบสนิทจะมีชั้นของซีเมนต์หนาจะมีความต้านทานต่อความล้าลดลง เมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวจะทำให้เกิดความเค้นในรากฟันมากขึ้นเนื่องจากมีการกระจายแรงในคลองรากไม่สม่ำเสมอและเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของซีเมนต์เนื่องจากซีเมนต์มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นและความแข็งแรงกดต่ำกว่าเดือยฟันทำให้เดือยฟัน

หลุดหรือรากฟันแตกได้เดือยฟันจึงควรมีความแนบกับผนังคลองรากทำให้มีชั้นซีเมนต์ที่บางและสม่ำเสมอจะต้านทานต่อแรงด้านข้างได้ดีกว่า^(23,19, 24)

- **ความยาวของเดือยฟัน**

ความยาวของเดือยฟันที่มากขึ้นทำให้มีพื้นที่การยึดติดมากขึ้นจึงเกิดการกระจายแรงเค้นได้ดีทำให้มีความต้านทานการแตกสูง^(25,26) และอัตราการอยู่รอด (survival rate) ของฟันที่บูรณะ แต่ทั้งนี้ความยาวของเดือยถูกจำกัดด้วยความโค้ง ความยาว และความหนาของรากฟัน จึงแนะนำว่าเดือยควรมีรูปร่างเหมือนคลองรากฟันคือมีลักษณะสอบเล็กน้อย มีแกนฟันอยู่บนฟันรองรับเพื่อป้องกันการเกิดล้มตอก^(27,28)

เดือยฟันที่สั้นอาจจะทำให้การยึดอยู่ที่เพียงพอกับแกนฟันแต่เมื่อมีแรงกระทำโดยเฉพาะแรงในแนวข้างจะทำให้เดือยฟันหลุดจากรากฟันได้⁽²⁹⁾ และก่อให้เกิดการสะสมความเครียดของแรงที่บริเวณปลายสุดของเดือยเมื่อมีการรับแรง ในขณะที่เดือยที่มีความยาวมากกว่าจะมีการกระจายแรงไปที่ปลายรากฟันได้มากกว่า⁽³⁰⁾ ดังนั้นความยาวของเดือยฟันควรวาวสองในสามของความยาวรากหรืออย่างน้อยควรวาวเท่ากับความยาวทางคลินิกของตัวฟันและควรมีกัตตาเปอร์ซาวด์ปลายรากฟันเหลือประมาณ 3-5 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการรั่วซึมบริเวณปลายรากฟัน⁽³¹⁾

- **ขนาดของเดือยฟัน**

ขนาดของเดือยฟันที่เหมาะสมคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเดือยควรมีขนาดเล็กที่สุดที่ให้ความแข็งแรงเพียงพอโดยขนาดของเดือยฟันไม่ควรใหญ่กว่าหนึ่งในสามของเส้นผ่านศูนย์กลางของรากฟันและควรเหลือผนังรากฟันไม่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร⁽³²⁾ โดยความหนาของเนื้อฟันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต้านทานต่อแรงในแนวด้านข้าง⁽³³⁾ เดือยที่มีขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดความเค้นภายในคลองรากฟัน (internal stress) เป็นเหตุให้เกิดการแตกหักของรากฟันได้มากกว่าเดือยที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากปริมาณเนื้อฟันที่เหลือน้อยทำให้ความต้านทานในการแตกหักลดลง และการเพิ่มขนาดของเดือยไม่ทำให้แรงยึดอยู่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ^(19,22)

- **วัสดุทำแกนฟัน**

ความแข็งแรง (stiffness) ของวัสดุทำแกนมีผลต่อแรงต้านการแตกหักของฟัน พบว่าการใช้วัสดุที่ทำแกนที่มีความแข็งมากนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแรงเค้น (shifting of the stress) จากปลายรากฟันไปสู่บริเวณคอฟัน⁽³⁴⁾ แต่จากการทดลองที่จำลองการใส่ครอบฟันพบว่า

ความแข็งของวัสดุทำแกนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อแรงต้านการแตก เนื่องจากครอบฟันทำให้มีการกระจายแรงจากตัวฟันลงสู่รากฟันแต่แกนฟันเรซิน คอมโพสิต มีรูปแบบการแตกที่สามารถบูรณะต่อได้เมื่อเกิดความล้มเหลว⁽³⁵⁾ มีการศึกษาเปรียบเทียบเรซินคอมโพสิตหลายชนิดทั้งแบบไฮบริดและแบบชนิดของหลายบริษัทพบว่า มัลติคอร์โพลีเมอร์เรซินคอมโพสิต ให้ค่าแรงยึดและแรงต้านการแตกมากที่สุด เพราะมัลติคอร์โพลีเมอร์ ไหลแผ่ได้ ทำให้ลดการเกิดช่องว่างและรูพรุนระหว่างเดือยและผนังคลองรากฟัน⁽³⁶⁾

● การบูรณะส่วนตัวฟัน

ฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากและมีการสูญเสียเนื้อฟันไปมาก มักได้รับการบูรณะด้วยครอบฟัน โดยก่อกันฟันและอาจสร้างเดือยฟันร่วมด้วยหรือไม่ก็ได้ขึ้นกับปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ภายหลังการรักษาคลองรากเป็นสำคัญ⁽³⁷⁾ จากการศึกษาของ Salameh ในปี ค.ศ. 2008⁽¹⁵⁾ พบว่าการครอบฟันทั้งที่ร่วมกับการใส่เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยช่วยให้อายุการใช้งานที่แตกได้สูงขึ้นและยังช่วยให้การคงอยู่ของฟัน (survivability) ที่สูงขึ้นแต่ Mannocci ในปี ค.ศ. 2002⁽³⁸⁾ พบว่าอัตราความล้มเหลวของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยแล้วอุดด้วยเรซินคอมโพสิตกับฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยแล้วครอบฟันทั้งที่เมื่อติดตามผล 3 ปีไม่แตกต่างกัน และอัตราการล้มเหลวของการอุดด้วยอมัลกัมหรือเรซินคอมโพสิตแล้วติดตามผล 5 ปีพบว่าไม่แตกต่างกับการครอบฟันทั้งที่ แต่การอุดด้วยอมัลกัมมีรายงานรากฟันแตกมากกว่าการอุดด้วยเรซินคอมโพสิต⁽³⁹⁾

● ซีเมนต์ที่ใช้ยึดเดือยฟัน

การใช้เรซินซีเมนต์ยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับรากฟันจะช่วยเพิ่มการยึดของเดือยฟันเมื่อใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วิเคราะห์พบว่าการยึดติด (bonding) ที่ดีของเดือยฟันเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยลดแรงเค้นในรากฟันลง และเพิ่มความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองรากมากขึ้น จึงเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยป้องกันการเกิดรากฟันแตก^(40,41,42,43) การเลือกใช้ซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงสูง (high rigidity) ความยืดหยุ่นต่ำ (low elasticity) และค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นสูง (high coefficient of elasticity) ทำให้เกิดความเค้นสะสม (stress concentration) มากที่บริเวณรอยต่อระหว่างเดือยและฟัน (dentin-cement-dowel interface)⁽⁴⁴⁾ Saupe และคณะ ในปี ค.ศ. 1996⁽²²⁾ จึงแนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์เพราะค่ามอดุลัสของสภาพความยืดหยุ่นของเรซิน

ซีเมนต์ใกล้เคียงกับเนื้อฟันเมื่อได้รับแรงจะมีการสะสมความเค้นที่รากฟันน้อยกว่าเรซินซีเมนต์ที่มีค่ามอดุลัสของสภาพความยืดหยุ่นสูงกว่าเนื้อฟันลดโอกาสเกิดรากฟันแตก

● วัสดุที่ใช้ทำเดือยฟัน

เดือยฟันที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงเช่น เดือยฟันโลหะเหวี่ยง(240 กิกะปาสคาล) จะทนต่อแรงบิดเคี้ยวได้มาก โดยไม่บิดงอแต่จะส่งผ่านแรงเค้นไปสู่เนื้อฟันเกิดแรงเค้นสะสมที่รากฟันทำให้รากฟันแตกได้มากกว่าเดือยฟันชนิดเสริมเส้นใยที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันซึ่งมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น 20 กิกะปาสคาล⁽⁴⁵⁾ ถึงแม้ว่าแรงต้านทานการแตกของฟันที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปชนิดโลหะจะสูงกว่าเดือยสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใย แต่ฟันที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปชนิดโลหะมีโอกาสรากฟันแตกได้ 25% แต่ไม่พบรากแตกในฟันที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใย⁽²⁹⁾ ความต้านทานการแตกของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์จะสูงกว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว เดือยฟันเซรามิกและเดือยฟันไททาเนียมตามลำดับและรูปแบบการแตกของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์มีรูปแบบการแตกที่สามารถบูรณะต่อได้⁽¹⁾ ในเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยพบว่าสัดส่วนปริมาตรระหว่างเส้นใยกับเรซินเมทริกซ์และทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยมีความสำคัญต่อความต้านทานการการแตกหัก โดยพบว่าเดือยฟันที่มีเส้นใยหนาแน่นและเรียงตัวขนานกับแรงที่มากจะทำจะต้านทานการแตกหักได้สูงขึ้น^(46,47)

นอกจากนี้การเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเส้นใยกับเรซินเมทริกซ์ ในกรณีที่เส้นใยเป็นชนิดเส้นใยแก้วหรือเส้นใยควอตซ์ ทำได้โดยนำเส้นใยมาทำการเคลือบผิวด้วยสารซิลเลน (silane coupling agent) ก่อน ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมให้เกิดพันธะเคมีขึ้นระหว่างเรซินเมทริกซ์และเส้นใยทำให้เส้นใยมีความเสถียรมากขึ้น⁽⁴⁸⁾

เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย

เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยนิยมนำมาใช้บูรณะฟันที่รักษาคลองรากแล้วเนื่องจากมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นประมาณ 15 กิกะปาสคาล⁽⁴⁹⁾ ซึ่งใกล้เคียงกับเนื้อฟันที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น 20 กิกะปาสคาล ส่วนเดือยฟันมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นสูง เช่น เดือยฟันโลหะเหวี่ยง ซึ่งมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น 240 กิกะปาสคาล จะทนต่อแรงบิดเคี้ยวได้มาก

โดยไม่บิดงอแต่จะส่งผ่านแรงเค้นไปสู่เนื้อฟันเกิดแรงเค้นสะสมที่รากฟันทำให้รากฟันแตกได้มากกว่าเดือยฟันชนิดเสริมเส้นใยที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันซึ่งมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น 20 กิกะปาสคาล⁽⁴⁵⁾ จากการศึกษาของ McLaren ในปี ค.ศ. 2009⁽²⁹⁾ พบว่าความต้านทานการแตกของฟันที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปชนิดโลหะจะสูงกว่าเดือยสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใย แต่ฟันที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปชนิดโลหะมีโอกาสรากฟันแตกได้ 25% แต่ไม่พบรากแตกในฟันที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใย และการศึกษาของ Akkayan ในปี ค.ศ. 2002⁽¹⁾ พบว่าความต้านทานการแตกของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์จะสูงกว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว เดือยฟันเซรามิกและเดือยฟันไททาเนียมตามลำดับและรูปแบบการแตกของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์มีรูปแบบการแตกที่สามารถบูรณะต่อได้

เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยเป็นเดือยฟันที่ทำจากวัสดุเรซินคอมโพสิตที่เสริมความแข็งแรงโดยการใส่เส้นใยลงไปประกอบด้วยสองส่วนคือ เมทริกซ์ (matrix) ทำหน้าที่รับและกระจายแรง⁽⁵⁰⁾ และส่วนที่สองคือเส้นใย (fiber) ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้แก่เดือยฟัน คุณสมบัติทั่วไปที่ดีของเดือยฟันชนิดนี้คือ มีมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับฟัน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นอย่างสม่ำเสมอทั่วรากฟันเมื่อได้รับแรงบดเคี้ยว ลดโอกาสเกิดรากฟันแตกหัก มีความต้านทานต่อแรงกระแทกสูง (impact resistance) ดูดซับแรงกระแทกเพิ่มความต้านทานการล้า (fatigue resistance)⁽⁵¹⁾ และสามารถร้อยเดือยออกเพื่อการบูรณะซ้ำได้ง่ายเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยระยะแรกมีคุณสมบัติโปร่งต่อรังสีเอ็กซ์ ทำให้มองไม่เห็นในภาพถ่ายรังสี ดังนั้นการยึดเดือยฟันชนิดนี้จึงควรใช้ซีเมนต์ยึดที่มีคุณสมบัติทึบต่อรังสีเอ็กซ์ ต่อมาบางบริษัทผู้ผลิตได้มีการพัฒนาเติมส่วนประกอบ เช่น อนุพันธ์ของแบเรียม (Barium derivatives) ในเมทริกซ์ของเดือยฟัน เพื่อทำให้เดือยฟันที่รังสีเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใยสามารถแบ่งตามชนิดของเส้นใยได้ดังนี้

1. เดือยฟันเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber – reinforced post)

เป็นเดือยฟันที่นำเส้นใยคาร์บอนที่เรียงตัวทางเดียวตามแนวยาวมาฝังอยู่ในอีพอกซีเรซิน เดือยฟันชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกลที่ดี มีค่ามอดุลัสของสภาพความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันประมาณ 18-44 กิกะปาสคาล⁽¹⁾ มีการศึกษาพบว่าฟันที่ทำการบูรณะด้วยเดือยชนิดนี้ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์สามารถสร้างให้เกิดเป็นชิ้นเดียวกันทั้งระบบ (Monoblock) ซึ่งเป็นการลดความเค้น

ที่เกิดขึ้น ป้องกันการเกิดความเค้นเฉพาะจุด ลดการแยกตัวของเดือยฟันทำให้กระจายแรงบดเคี้ยวไปสู่เนื้อฟันได้ดี⁽⁵²⁾ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดี (biocompatibility) มีความต้านทานการกัดกร่อน (corrosion resistance)⁽⁵³⁾ ง่ายต่อการรื้อเดือยออกเพื่อการบูรณะซ้ำ ข้อเสียของเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน คือ เดือยฟันชนิดนี้มีสีดำไม่สวยงามไม่ควรใช้กับฟันหน้า เดือยฟันมีความโปร่งรังสีไม่สามารถมองเห็นได้ในภาพรังสี⁽⁵⁴⁾ ไม่สามารถนำแสงได้ มีความยืดหยุ่นขณะได้รับแรงทำให้เกิดการแตกหักระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันคอมโพสิตทำให้เกิดการรั่วบริเวณครอบฟันกับเดือยฟันได้⁽⁵⁵⁾ เดือยฟันเส้นใยคาร์บอนได้แก่ คอมโพสิต-โพสต์ (Composipost[®]) เทคโนโลยี (Tech 2000[®])

คอมโพสิต-โพสต์หรือซีโพสต์ (Composipost[®]/C-post[®], RTD, St. Egrevé, France)⁽⁴⁹⁾ เป็นเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนชนิดแรกโดยมีคุณสมบัติทางกลคือ มีความแข็งแรงดัดงอ (flexural strength) 1,500-1,700 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มีมอดุลัสของสภาพดัดงอ (flexural modulus) 120-140 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น 17.8 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และความแข็งแรงดึง (tensile strength) 2,900 เมกะปาสคาล

2. เดือยฟันเส้นใยแก้ว (glass fiber – reinforced post)

พัฒนามาจากเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน มีสมบัติโปร่งแสงเพื่อความสวยงาม⁽⁵⁶⁾ และสามารถนำแสงได้ตามความยาวของเดือยฟัน⁽⁵⁷⁾ จึงนำมาใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสง (light – cured resin cement) หรือชนิดบ่มได้ทั้งปฏิกิริยาเคมีและแสง (dual – cured resin cement) ทำให้เรซินซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันได้อย่างสมบูรณ์ตัวอย่างเดือยฟันเส้นใยแก้วได้แก่ รีไลเอกซ์ (RelyX[®]), เอเวอร์สติ๊ก (everStick[®]), สโนว์โพสต์ (Snow post[®]), เอฟอาร์ซีโพสต์เทค (FRC Postec Plus[®]), ไฟบริคอร์ (Fibrekor[®]), พาราโพสต์ไฟเบอร์ไวท์ (Parapost Fiber White[®])

รีไลเอกซ์ (RelyX[®] Fiber Post, 3M ESPE, St. Paul, USA)⁽⁵⁸⁾ ประกอบด้วยเส้นใยแก้ว 60-70% โดยน้ำหนักฝังตัวอยู่ในอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ ซึ่งมีเซอร์โคเนียฟิลเลอร์ (zirconia filler) ทำให้มีคุณสมบัติความที่รังสี โดยเส้นใยเรียงตัวตามแนวยาวและกระจายเป็นเนื้อเดียวกัน

เอเวอร์สติ๊ก (everStick[®], Stick Tech, Turku, Finland)⁽⁵⁹⁾ เป็นเดือยฟันเส้นใยแก้ว โดยเส้นใยแก้วเคลือบด้วยซิลเลน (silane) และโพลีเมทิลเมทาคริลเลต (polymethylmethacrylate : PMMA)

แทรกอยู่ในเซมิไอพีเอ็น (semi-interpenetration polymer network; semi-IPN) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างตาข่ายร่างแหประสานกัน โดยส่วนที่เป็นโพลิเมทิลเมทาคริเลตและเซมิไอพีเอ็นสามารถถูกละลายบริเวณพื้นผิวของเดือยฟันออกบางส่วนด้วยการทาสารเชื่อมยึดเรซิน (bonding resin) ชนิดบ่มตัวด้วยแสงเป็นเวลา 5 นาทีทำให้เกิดหลุมร่องเล็กๆ ช่วยในการยึดติดกับเรซินซีเมนต์หรือแกนฟันเรซินคอมโพสิตแบบการยึดติดทางกลขนาดเล็ก (micromechanical bond)

3. เดือยฟันเส้นใยควอทซ์ (quartz fiber- reinforced post)

เดือยฟันชนิดนี้เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยที่ทำมาจากซิลิกา มีสมบัติทางกายภาพ (physical property) ใกล้เคียงกับเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน มีค่ามอดุลัสของสภาพความยืดหยุ่น ใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติ⁽¹⁾ มีสีขาวใสให้สวยงามและสามารถนำแสงได้⁽⁵⁷⁾ มักใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสง และชนิดบ่มได้ทั้งปฏิกิริยาเคมีและแสงตัวอย่างเดือยฟันเส้นใยควอทซ์ ได้แก่ ดีทีไลท์โพสต์ (D.T.LIGHT-POST[®]) เอสทีทีพลัส (Aestheti-Plus[®])

ดีทีไลท์โพสต์ (D.T.LIGHT-POST[®], RTD, St. Egreve, France)⁽⁶⁰⁾ มีความสามารถในการส่งผ่านแสงและมีความที่บ่งชี้ซึ่งมองเห็นในภาพถ่ายรังสี สามารถเปลี่ยนสีเมื่อได้รับน้ำหรือลมทำให้ร่อนง่ายโดยมีคุณสมบัติทางกล⁽⁴⁹⁾ คือ มีความแข็งแรงดัดงอ 1600 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มอดุลัสของสภาพดัดงอ 44 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น 15 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และความแข็งแรงดึง 2200 เมกะปาสคาล

เมื่อมีแรงกระทำที่เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย แรงจะถ่ายทอดสู่ชั้นเมทริกซ์ซึ่งจะดูดซับแรงและสะสมแรงคั้นไปตามแนวรอยต่อ (interface area) ระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ เนื่องจากทั้งสองตัวมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นแตกต่างกัน ทำให้เกิดการสะสมแรงไปตามผิวตามความยาวของเส้นใยตลอดความยาวของเดือยฟัน ดังนั้นหากเดือยฟันมีความบกพร่องภายในโครงสร้าง เช่น การเกิดฟองอากาศ (bubbles) การเกิดรอยร้าว (cracks) หรือช่องว่าง (void) เกิดขึ้นแทรกห่างระหว่างชั้นเรซินเมทริกซ์กับเส้นใย ย่อมก่อให้เกิดความอ่อนแอขึ้นภายในโครงสร้างของเดือยฟันได้⁽⁵⁰⁾ ดังนั้นหากต้องการเพิ่มคุณสมบัติความแข็งแรงดึง (stiffness) และต้องการเพิ่มค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย จะต้องเพิ่มสัดส่วนปริมาตรระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์และเพิ่มพื้นที่รอยต่อระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์โดยพบว่าสัดส่วนปริมาตรระหว่างเส้นใยกับเรซินเมทริกซ์และทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยมีความสำคัญต่อความ

ด้านทานการแตกหักของเดือยฟัน โดยพบว่าเดือยฟันที่มีเส้นใยหนาแน่นและเรียงตัวขนานกับแรงที่มากกระทำจะด้านทานการแตกหักได้สูงขึ้น^(46,47)

สอดคล้องกับแนวคิดการทำให้เกิดเป็นโมโนบล็อคของฟันที่รักษาคลองรากฟันแล้วโดยการบูรณะฟันด้วยวัสดุบูรณะที่มีความอดุลยของสภาพความยืดหยุ่นใกล้เคียงกันและสามารถเชื่อมติดกันได้ดี ทำให้เกิดการกระจายแรงไปตามความยาวรากได้อย่างสม่ำเสมอจะช่วยป้องกันการแตกของรากฟันได้⁽⁴⁾ แต่อย่างไรก็ตามส่วนเมทริกซ์ของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยส่วนมากใช้อีพอกซีเรซิน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีอัตราการบวมตัวสูง และมีการเชื่อมขวางกันของโครงสร้างต่อกันเป็นร่างแห ทำให้ไม่มีกลุ่มทำงานเหลืออยู่เพื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารคู่ควบไซเลนได้^(46,50,61,62) จึงมีการศึกษาวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์และแกนฟันคอมโพสิต

การปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย⁽⁶⁾

1 การปรับสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกล คือ การทำให้พื้นผิวเดือยฟันเกิดความขรุขระและมีพื้นที่ผิวขรุขระมากขึ้นและเกิดการยึดติดทางกลขนาดเล็ก (micromechanical retention) กับเรซินซีเมนต์และแกนฟันคอมโพสิต ได้แก่

- 1.1 การเป่าพื้นผิวเดือยฟันด้วยอนุภาคขนาดเล็ก
- 1.2 การใช้สารเคมีกัดพื้นผิวเดือยฟัน

2 การปรับสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมี โดยใช้สารคู่ควบไซเลนเป็นสารที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นหมู่ทำงาน 2 หมู่ (bifunctional group) โดยหมู่ทำงานหนึ่งสามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับพอลิเมอร์ และอีกหมู่จับกับวัสดุที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ทำให้เกิดการยึดติดทางเคมีระหว่างเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยและเรซินซีเมนต์ได้

3 การปรับสภาพพื้นผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกลและทางเคมีโดยเตรียมพื้นผิวของเดือยฟันให้เกิดความขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและทาสารคู่ควบไซเลนเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมี ได้แก่

- 3.1 การเป่าพื้นผิวเดือยฟันด้วยอนุภาคขนาดเล็กและทาไซเลน
- 3.2 การใช้สารเคมีกัดพื้นผิวเดือยฟันและทาไซเลน
- 3.3 การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยพลาสมา

1 การปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกล

1.1 การเป่าพื้นผิวเดือยฟันด้วยอนุภาคขนาดเล็ก การใช้อนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน แรงดัน 2.5 บาร์ เป่าพื้นผิวเดือยฟัน ที่ระยะ 30 มิลลิเมตร นาน 5 วินาที^(2, 63) และแรงดัน 0.4 บาร์ ที่ระยะ 20 มิลลิเมตร นาน 10 วินาที⁽⁵⁾ ช่วยเพิ่มค่าการยึดอยู่และค่ากำลังแรงยึดเฉือน (shear bond strength) ระหว่างเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงดัดของเดือยฟัน แต่การศึกษาของ Soares และคณะในปี ค.ศ. 2008⁽⁵⁾ พบว่าเมื่อปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้วด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน แรงดัน 2 บาร์ที่ระยะ 10 มิลลิเมตรนาน 10 วินาทีทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงขนาดเล็ก (microtensile bond strength) ลดลงและ Sahafi และคณะในปี ค.ศ. 2004⁽⁶⁴⁾ พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยอนุภาคอะลูมินา 50 ไมครอน แรงดัน 4 บาร์ ที่ระยะ 20 มิลลิเมตรนาน 15 วินาทีทำให้รูปร่างของเดือยฟันเปลี่ยนจนขาดความแนบสนิทในคลองรากฟัน ดังนั้นการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยการเป่าด้วยอนุภาคขนาดเล็กจึงต้องควบคุมขนาดของอนุภาค เวลา แรงดันและระยะห่างระหว่างเดือยฟันกับเครื่องเป่าอนุภาค

1.2 การกัดพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมี เป็นวิธีกำจัดอีพอกซีเรซินที่ผิวของเดือยฟันออกด้วยสารเคมี ทำให้พื้นผิวเดือยฟันเกิดความขรุขระและมีพื้นที่ผิวขื่นนูนมากขึ้น เกิดการยึดติดทางกลขนาดเล็กกับเรซินซีเมนต์และแกนฟันเรซินคอมโพสิต โดยสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันได้แก่ กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) โพแทสเซียม (Potassium permanganate) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) โซเดียมเอท็อกไซด์ (Sodium ethoxide) และเมทิลีน คลอไรด์ (Methylene chloride) ในการศึกษาที่ใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันส่วนใหญ่ใช้ควบคู่กับการทาไฮเลนเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมีจึงเป็นวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกลและทางเคมี

2 การปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมี

โดยการทาพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮเลนเพื่อยึดวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกัน ทางทันตกรรมนำมาใช้เชื่อมวัสดุที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบเข้ากับวัสดุพอลิเมอร์ ช่วยเพิ่มการไหลผ่านพื้นผิวของวัสดุ ลดการเกิดฟองอากาศบริเวณผิวสัมผัส⁽⁶⁵⁾ จากการศึกษาพบว่า การทาไฮเลนช่วยให้เดือย

พื้คอมโพสิตเสริมเส้นใยมีค่าแรงยึดติดกับเรซินซีเมนต์และเรซินคอมโพสิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ^(62,66,67)

แต่อย่างไรก็ตามมีบางการศึกษาพบว่าการทำไฮเลนไม่ได้เพิ่มการยึดติดของเดือยพื้ชนิดเสริมเส้นใยกับเรซินคอมโพสิตหรือเรซินซีเมนต์^(6,68,69) เนื่องจากเมทริกซ์ของเดือยพื้เสริมเส้นใยเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ (polymerization) อย่างสมบูรณ์ ไฮเลนสามารถเกิดพันธะเคมีได้เฉพาะเส้นใยไฟเบอร์ที่มีส่วนประกอบของซิลิกาเผยออกมาเท่านั้น ดังนั้นลักษณะพื้ผิวและชนิดของเส้นใยในเดือยพื้จึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อทำด้วยไฮเลน⁽⁷⁰⁾

3 การปรับสภาพพื้ผิวเดือยพื้เพื่อเพิ่มการยึดติดทางกลและทางเคมี

3.1 การเป่าพื้ผิวเดือยพื้ด้วยอนุภาคขนาดเล็กและทำไฮเลน เป็นการปรับสภาพพื้ผิวเดือยพื้โดยทำให้พื้ผิวของเดือยพื้มีความขรุขระเพื่อเพิ่มพื้ที่ผิว และทำไฮเลนเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมีระหว่างเดือยพื้เสริมเส้นใยที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบและเรซินซีเมนต์กลุ่มเมทาคริเลต⁽⁷¹⁾ เช่น ระบบโคเจ็ต (Co-Jet) เป็นการเตรียมพื้ผิวโดยการเป่าพื้ผิวเดือยพื้ด้วยอนุภาคอะลูมินาออกไซด์ที่เคลือบด้วยซิลิกาขนาด 30 ไมครอนด้วยแรงดัน 2.8 บรรยากาศที่ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร นาน 15 วินาที ทำให้พื้ผิวเดือยพื้ถูกเคลือบด้วยชั้นซิลิกา และตามด้วยการทำไฮเลนจะช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยพื้คอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ^(72,73) โดยไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงดัดงอของเดือยพื้⁽⁷⁴⁾

แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Sahafi และคณะในปี ค.ศ. 2004⁽⁶⁴⁾ พบว่าการใช้ระบบโคเจ็ตปรับสภาพพื้ผิวเดือยพื้เส้นใยแก้ว ทำให้เกิดการยึดอยู่กับเรซินซีเมนต์ลดลง อาจเกิดจากรูปร่างของเดือยพื้เปลี่ยนแปลง ทำให้ความแนบของเดือยพื้กับผนังคลองรากพื้ลดลงจึงเกิดชั้นของเรซินซีเมนต์ที่หนาเกินไป

3.2 การใช้สารเคมีกัดพื้ผิวเดือยพื้และทำไฮเลน เป็นการปรับสภาพพื้ผิวเดือยพื้ด้วยสารเคมีเพื่อให้พื้ผิวของเดือยพื้เกิดความขรุขระมีพื้ที่ผิวเพิ่มขึ้นและเผยถึงชั้นเส้นใยที่ประกอบด้วยซิลิกา่อนการทำด้วยไฮเลน โดยสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพื้ผิวเดือยพื้ได้แก่

3.2.1 กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid)

เป็นกรดที่ใช้กัดพื้ผิวเซรามิกให้เกิดความขรุขระ เพิ่มการยึดติดทางกลขนาดเล็กกับเรซินซีเมนต์ ต่อมาได้นำเดือยพื้มาแช่ในกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 60 วินาที

พบว่าเกิดการละลายของอีพอกซีเรซินที่ผิวเดือยฟันออก จนเผยเส้นใยควอตซ์ออกมาซึ่งเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับไซเลนและเกิดการยึดติดทางเคมีกับเรซินซีเมนต์ ทำให้ค่ากำลังการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันคอมโพสิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ^(75,76) และการศึกษาของ Arcangelo และคณะในปี ค.ศ. 2007^(77,78) ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.5 ปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วและควอตซ์นาน 15 วินาทีพบว่าทำให้เส้นใยเผยออกโดยไม่ทำลายเส้นใย และไม่ทำให้ความแข็งแรงดัดงอของเดือยฟันลดลง จากการศึกษาของศิริพรและคณะในปี ค.ศ. 2011 พบว่าเมื่อกัดผิวเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 15 วินาที สามารถกำจัดชั้นอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ออกไปเกือบหมด เผยให้เห็นเส้นใยชัดเจนและมีการทำลายเส้นใยเพียงเล็กน้อยเท่านั้น⁽⁷⁹⁾

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Sahafi และคณะในปี ค.ศ. 2003⁽⁶⁹⁾ พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.6 นาน 2 นาที ไม่เพิ่มการยึดอยู่ของเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว การศึกษาของ Vano และคณะในปี ค.ศ. 2006⁽⁷⁶⁾ พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วด้วยไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 60 วินาที ทำให้เกิดความเสียหายต่อเส้นใยแก้ว เนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรดกัดแก้วค่อนข้างแรง ทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็ก (micro-cracks) หรือรอยแตกตามแนวยาว (longitudinal fractures) ในชั้นเส้นใยแก้วของเดือยฟันการศึกษาของ Monticelli และคณะในปี 2008 แนะนำว่าไม่ควรใช้กรดไฮโดรฟลูออริกในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใย⁽⁸⁰⁾

3.2.2 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassiumpermanganate)

นิยมใช้ปรับสภาพพื้นผิวอีพอกซีเรซินเพื่อทำแผงวงจรไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม⁽⁸¹⁾ การศึกษาของ Monticelli และคณะในปี ค.ศ. 2006⁽⁷⁵⁾ พบว่าปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสามารถกัดอีพอกซีเรซินที่ขึ้นนอกรอกโดยไม่ทำลายเส้นใยควอตซ์และทำให้พื้นผิวมีความชอบน้ำมากขึ้น แล้วจึงทาด้วยไซเลน พบว่าความแข็งแรงการยึดติดไมโครเทนไซล์ ระหว่างเดือยฟันเส้นใยควอตซ์กับแกนฟันเรซินคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่การปรับพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีนี้มีขั้นตอนยุ่งยาก จึงไม่เป็นที่นิยมในทางทันตกรรม⁽⁸²⁾

3.2.3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

สารนี้นำมาใช้ปรับสภาพพื้นผิวของอีพอกซีเรซินยึดเนื้อเยื่อเยื่อก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope: TEM) จึงมีผู้นำมาประยุกต์ใช้ทางทันตกรรม เมื่อนำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยพบว่าทำให้ผิวของเดือยฟันมีความขรุขระและเส้นใยเผยออกสามารถจับกับไซเลนได้ทำให้เกิดการยึดติดทางกลขนาดเล็กระหว่างเดือยฟันและเรซินซีเมนต์หรือเรซินคอมโพสิตที่มีเมทาคริลิตเป็นส่วนประกอบพื้นฐาน⁽⁸¹⁾ โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีและความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 20 นาทีทำให้เกิดการละลายของเรซินเมทริกซ์ได้ลึก 50 ไมครอนทำลายพันธะอีพอกซีเรซินผ่านขบวนการออกซิเดชัน⁽⁷⁾ ทำให้พื้นผิวเดือยฟันขรุขระมากขึ้นและเผยเส้นใยควอตซ์โดยไม่ทำให้เส้นใยควอตซ์เกิดความเสียหายหรือแตกหัก และเพิ่มค่ากำลังการยึดติดระหว่างพื้นผิว (interfacial bond strength) เดือยฟันเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต^(7,76) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที และความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาทีตามด้วยทาไซเลนพบว่าเพิ่มค่าความแข็งแรงการยึดติดไมโครเทนไซล์ระหว่างเดือยฟันเส้นใยแก้วและเรซินซีเมนต์ได้อย่างมีนัยสำคัญ⁽⁸³⁾

3.2.4 โซเดียมเอท็อกไซด์ (Sodium ethoxide)

นิยมใช้สารนี้ไปละลายพื้นผิวของอีพอกซีเรซินใช้ยึดเนื้อเยื่อเยื่อก่อนการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเช่นเดียวกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อมา Monticelli และคณะในปี ค.ศ. 2006⁽⁷⁵⁾ นำเดือยฟันเสริมเส้นใยแซในโซเดียมเอท็อกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 21 นาน 20 นาที ล้างด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ 5 นาที และล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (deionised water) 5 นาที และทาด้วยไซเลนก่อนนำมายึดกับเรซินคอมโพสิตพบว่า ทำให้ค่าความแข็งแรงพันธะระหว่างเดือยฟันกับเรซินคอมโพสิตสูงกว่ากลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไซเลนเพียงอย่างเดียว แต่การปรับพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีนี้มีขั้นตอนยุ่งยาก จึงไม่เป็นที่นิยมในทางทันตกรรม

3.2.5 เมทิลีน คลอไรด์ (Methylene chloride)

เป็นสารที่นำมาใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างฐานฟันปลอมอะคริลิกเรซิน และวัสดุอะคริลิกเรซินที่นำมาใช้ในการซ่อม โดยทำให้เกิดรูพรุนที่พื้นผิวของฐานฟันปลอมช่วยให้เกิดการยึดติดทางกลระหว่างฐานฟันปลอมเดิมกับอะคริลิกเรซินที่นำมาซ่อม^(84,85)

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Yenisey และ Kulunk ในปี ค.ศ. 2008⁽⁸²⁾ เมื่อนำเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วและควอทซ์ปรับสภาพพื้นผิวด้วยเมทิลีนคลอไรด์นาน 5 วินาที ก่อนทาไซเลน แล้วนำไปยึดกับเรซินคอมโพสิตพบว่าความแข็งแรงแบบเฉือน ไม่ต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน

3.3 การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยพลาสติก พลาสติกคือ ตัวกลางที่สามารถนำไฟฟ้าได้เป็นแก๊สที่มีประจุ ในทางทันตกรรมได้นำพลาสติกมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติดของพอลิเมอร์ โดยพบว่าเมื่อปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยด้วยพลาสติกที่ผลิตจากแก๊สผสมระหว่าง ฮีเลียม 20 เปอร์เซ็นต์ กับ ไนโตรเจน 80 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 10 นาทีก่อนยึดกับเรซินคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวสามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดติดได้โดยไม่ต้องใช้สารยึดติดใดๆ⁽⁸⁶⁾ เนื่องจากสามารถทำความสะอาดและกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนผิวพอลิเมอร์ สามารถปรับเปลี่ยนส่วนประกอบพื้นผิวโดยการแตกแรงยึด (bond breaking) ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ แล้วทำปฏิกิริยากับอนุภาคในพลาสติก เป็นการเปลี่ยนโครงสร้างพื้นผิวของเดือยฟันทำให้คุณสมบัติการเปียกน้ำบนพื้นผิว (surface wettability) ดีขึ้น^(87,88) ด้วยการเคลือบผิว รวมทั้งสามารถทำให้เกิดชั้นตาข่าย (cross-link interface sublayer) ได้ต่อชั้นผิวพอลิเมอร์⁽⁸⁷⁾ โดยการปรับสภาพผิวด้วยพลาสติกจะเกิดเฉพาะผิวบนสุดของพอลิเมอร์โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านในของพอลิเมอร์⁽⁸⁹⁾ การใช้พลาสติกของแก๊สผสมระหว่าง ฮีเลียมกับ ไนโตรเจน ปรับสภาพผิวเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานของเมทริกซ์เป็น เมทาคริลेट พบว่าต้องใช้ความดันแก๊ส 22.66×10^{-6} เมกะปาสคาล และกำลังคลื่นวิทยุ 75 วัตต์นาน 10 นาที ส่วนเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานของเมทริกซ์เป็น อีพอกซีเรซิน พบว่าใช้ความดันแก๊สเท่ากัน แต่ใช้กำลังคลื่นวิทยุ 50 วัตต์นาน 15 นาที จึงจะทำให้ค่าแรงดึงเฉือนระหว่างเดือยฟันกับเรซินคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลวมีค่าสูงสุด⁽⁹⁰⁾

ในการวิจัยนี้ทดลองนำโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite; NaOCl) มาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเนื่องจากเป็นสารเคมีที่หาง่ายมีใช้ทั่วไปในคลินิกทันตกรรม ใช้เป็นน้ำยาล้าง

คลองรากตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 มีคุณสมบัติเป็นต่างสามารถฆ่าแบคทีเรียและทำลายโปรตีน⁽⁹¹⁾ แต่มีข้อเสียคือมีความเป็นพิษทำลายเนื้อเยื่อ กัดกร่อนโลหะและมีรสที่ไม่ดี⁽⁹²⁾ โดยโซเดียมไฮโปคลอไรต์แตกตัวได้โซเดียมคลอไรต์และออกซิเจนเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรง⁽⁹³⁾ เมื่อนำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันและศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) พบว่าทำให้ผิวเดือยฟันเกิดการเปลี่ยนแปลง มีการละลายอีพอกซีและเผยเส้นใยออกมาจึงทดลองนำมาศึกษาในการวิจัย

ในการวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีชนิดต่างๆเป็นการศึกษาในแง่ของชนิดของสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการปรับสภาพพื้นผิว ลักษณะของพื้นผิวเดือยฟันที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว ผลของการยึดติดของเดือยฟันที่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวกับเรซินซีเมนต์ ความแข็งแรงของเดือยฟันที่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิว เป็นต้น

แต่ยังไม่มีการศึกษาใดที่ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานการแตกของฟันที่รักษาคลองรากและได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงต้องการศึกษาผลของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมีที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองรากเพื่อเป็นประโยชน์และแนวทางให้ทันตแพทย์ทราบและเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันต่อไปในอนาคต

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. สารโซเลน (Monobond S, IvoclarVivadent, Liechtenstein, U.S.A.)
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35% (คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
3. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 10% (คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
4. กรดไฮโดรฟลูออริก 5% (IPS Ceramic refill, IvoclarVivadent, Liechtenstein, U.S.A.)
5. เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ (D.T. light-post RTD st.Egreve,Grenoble, France)
6. กรดฟอสฟอริก 37% (Total etch refill, IvoclarVivadent, Liechtenstein, U.S.A.)
7. สารยึดเนื้อฟัน (Excite[®] DSC, IvoclarVivadent, Liechtenstein, U.S.A.)
8. เรซินคอมโพสิตเหลว (Multicore flow[®] IvoclarVivadent, Liechtenstein, U.S.A.)
9. โลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม (classic vision[™] Pisces, william, Texas, USA.)
10. อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวได้เอง (Formatray, Kerr, U.S.A.)
11. ซีเมนต์อุดคลองรากฟัน (AH-Plus eugenol-free sealer, Dentsply, Baillagues, Germany)
12. ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Hy-bond[®] zinc phosphate cement, Shofu,U.S.A.)
13. วัสดุอุดฟันชั่วคราว (Cavit[™]3M ESPE U.S.A.)
14. ซิลิโคนพิมพ์ปาก (Silagum[®]-Light, DMG, Hamburg, Germany)
15. เครื่องฉายแสงชนิดแสงฮาโลเจน (Elipar[®] Trilight, 3M ESPE, Germany.)
16. เครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอล ชนิดความละเอียด 0.01 มม. (Mitutoyo, Japan)
17. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า (ultrasonic cleaner รุ่น 5210 Branson, Germany)
18. เครื่องไอโซพาราเลลมิเตอร์ (Isoparallelometer, Silfradent, Switzerland)
19. เครื่องอัลตราแวค (UltraVac[™] vacuum former, UltradentProducts, U.S.A.)
20. เครื่องตัดความเร็วต่ำรุ่นไอโซเมต 1000 (Isomet[®] 1000, Low speed, Buehler Co., U.S.A.)
21. เครื่องทดสอบสากลระบบไฮดรอลิก (Instron รุ่น 8872, Fareham, UK.)
22. เครื่องคูโรมิเตอร์ (Durometer รุ่น 471, Pacific Transduction Corp, U.S.A.)
23. เครื่องกรอความเร็วสูง 330,000 รอบ/นาที (high speed airtor, 798 W&H, Australia)
24. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 22 มิลลิเมตร

วิธีการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างซี่ฟันในการวิจัย

ใช้ฟันกรามน้อยล่างซี่ที่สองของมนุษย์ที่ถอนเพื่อการจัดฟันเก็บในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ระยะเวลาไม่เกิน 6 เดือนที่อุณหภูมิตั้งที่ 37 องศาเซลเซียส^(41,19,14) ทำความสะอาดฟันด้วยเครื่องอัลตราโซนิคส์ชุดหินน้ำลาย กำจัดเศษเนื้อเยื่อและคราบสกปรก

2. การคัดเลือกซี่ฟันและแบ่งกลุ่มทดลอง

คัดเลือกซี่ฟันที่ไม่มีการแตกหัก ผุ หรือมีวัสดุบูรณะใดๆ โดยตรวจหารอยร้าวด้วยเส้นใยนำแสง⁽⁴⁵⁾ และถ่ายภาพรังสี (70 Kv 0.08 วินาที)^(41, 14) ทั้งในแนวด้านแก้มถึงด้านลิ้น และแนวใกล้กลางถึงแนวไกลกลาง เพื่อตรวจสอบรากฟันต้องมีลักษณะคลองรากเดี่ยวตรง ปลายรากปิด



ภาพที่ 1 แสดงภาพรังสีในแนวด้านแก้มถึงด้านลิ้นและแนวใกล้กลางถึงแนวไกลกลาง

เลือกฟันที่มีความยาวรากฟัน 15 มิลลิเมตร โดยวัดจากจุดต่ำสุดของรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (cementoenamel junction) ทางด้านแก้มจนถึงปลายรากโดยฟันมีความยาว รูปร่าง ขนาดและความหนาของเนื้อฟันใกล้เคียงกันโดยมีความกว้างในแนวด้านแก้มถึงด้านลิ้น และแนวใกล้กลางถึงแนวไกลกลางแตกต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร จำนวน 60 ซี่นำมาแบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ดังตารางที่ 1 ด้วยวิธีสุ่มแบบเป็นระบบ (systematic sampling) เพื่อลดอิทธิพลจากขนาดและรูปร่างของฟันโดยวัดขนาดฟันด้วยเครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอลในแนวด้านแก้มถึงด้านลิ้น จากนั้นเรียงฟันทั้ง 60 ซี่ตามขนาดในแนวด้านแก้มถึงด้านลิ้นนำฟันทุกๆ 6 ซี่มาสุ่มลงกลุ่มทดลองทั้งหมด เพื่อให้ทุกกลุ่มมีการกระจายตัวตามขนาดของฟันให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

ตารางที่ 1 แสดงการแบ่งกลุ่มทดลอง

กลุ่ม	สารเคมี ความเข้มข้น และเวลาที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิว
1	ไม่ปรับสภาพพื้นผิว
2	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 24% นาน 10 นาที
3	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% นาน 5 นาที
4	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35% นาน 5 นาที
5	กรดไฮโดรฟลูออริก 5% นาน 5 วินาที
6	โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 10 % นาน 10 นาที

ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีดังตารางที่ 1 จากนั้นล้างด้วยฟีนในน้ำกลั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิก นาน 2 นาที⁽⁷⁸⁾ เป่าให้แห้ง 1 นาที ทาด้วยสารเคลือบไฮเลน นาน 60 วินาที เป่าลมนาน 5 วินาที

3. การลงบล็อกยึดฟัน

ทำเครื่องหมายบนรากฟัน ที่ตำแหน่ง 2 มิลลิเมตรจากจุดต่ำสุดของรอยต่อของเคลือบฟัน และเคลือบรากฟันด้านแก้ม นำฟันมาติดแท่งวิเคราะห์ความขนาน (analyzing rod) ของเครื่องสำรวจความขนาน (survey) ด้วยขี้ผึ้งเหนียว (sticky wax) ให้แนวแกนฟันตั้งฉากกับแนวระนาบฟัน ฟันลงในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร ที่มีอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวได้เอง (Formatray) เพื่อจำลองระดับของกระดูกเบ้าฟัน โดยให้ขอบของอะคริลิกเรซินอยู่ต่ำกว่าจุดต่ำสุดรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันด้านแก้ม 2 มิลลิเมตร⁽⁹⁴⁾ เป็นการจำลองระยะความกว้างทางชีวภาพ (biologic width) จากนั้นตั้งฟันขึ้นเมื่ออะคริลิกเรซินเริ่มมีการแข็งตัว (initial set)⁽⁴⁵⁾



ภาพที่ 2 แสดงการติดฟันกับแท่งวิเคราะห์ความขนานด้วยซี่ผึ้งเหนียว

4. การทำแม่แบบสำหรับทำครอบฟัน

เมื่ออะคริลิกเรซินแข็งตัวแล้วนำฟันมา 1 ซี่ใช้เป็นตัวแทนในการสร้างแม่แบบทำครอบฟัน โดยใช้หัวกรอกากเพชรทรงกลม (round diamond airoter bur) ขนาด 020 กรอฟันให้มีจุดรับแรง ด้านแก้มเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร ลึกครึ่งหัวกรอ อยู่ต่ำกว่ายอดฟันด้านแก้ม 2 มิลลิเมตร⁽⁹⁴⁾ เพื่อจำลองจุดรับแรงในแนวข้าง (lateral force) ขณะมีการเอียงขากรรไกรออกนอก ศูนย์สับ (eccentric jaw movement) ของฟันกรามน้อยล่าง เนื่องจากแรงในแนวข้าง ทำให้เกิดความเสียหายแก่ฟันมากกว่าแรงในแนวตั้ง ใช้แบบหล่อซิลิโคนมาพิมพ์ซี่ฟันเพื่อลอกเลียนลายละเอียด ไว้เป็นแบบทำครอบฟัน

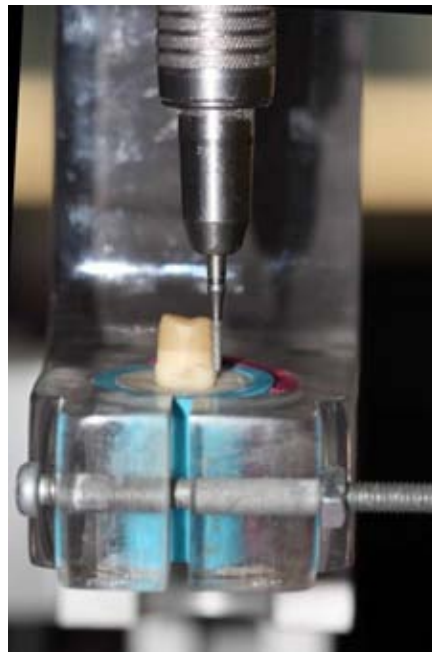
5. การทำแม่แบบพลาสติกใสสำหรับสร้างแกนฟัน

นำฟันมากรอแต่งเพื่อทำครอบฟันด้วยหัวกรอกากเพชรทรงสอบปลายมนขนาด 016 (round end taper diamond) ต่อกับเครื่องกรอความเร็วสูง 330,000 รอบ/นาที (high speed airoter) กรอแต่งฟันให้เส้นลึ้นสุด (finishing line) อยู่ที่รอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันมี ลักษณะเป็นรอยตัดเฉียงโค้ง (chamfer margin) กว้าง 0.5 มิลลิเมตร แกนฟันมีความสูง 6 มิลลิเมตรจากรอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันด้านแก้ม นำฟันมาเข้าเครื่อง

ไอโซพาราเลโลมิเตอร์ (Isoparallelometer) เพื่อควบคุมการกรอให้มีความสอดคล้องสม่ำเสมอ นำไปทำแม่แบบสำหรับแกนฟันโดยใช้แผ่นพลาสติกใสกับเครื่องอัลตราแวค (UltraVac™ vacuum former)



ภาพที่ 3 แสดงเครื่องไอโซพาราเลโลมิเตอร์



ภาพที่ 4 แสดงการใช้เครื่องไอโซพาราเลโลมิเตอร์



ภาพที่ 5 แสดงแม่แบบพลาสติกใสสำหรับสร้างแกนฟัน

6. การตัดซี่ฟันทดสอบ

นำฟันมาตัดด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำรุ่นไอโซเมต 1000 (Isomet® 1000) ให้ได้ผิวเรียบเสมอในแนวราบและตั้งฉากกับแนวแกนฟันเหนือจากจุดต่ำสุดที่รอยต่อของเคลือบฟันและเคลือบรากฟันด้านแก้ม 2 มิลลิเมตร



ภาพที่ 6 แสดงซี่ฟันที่ตัดส่วนตัวฟันออก

7. การรักษาคล่องรากฟัน

ระหว่างรักษาคล่องรากฟันใช้ผ้าก๊อชชุบน้ำหมาดๆ หุ้มรอบรากฟันเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ใช้ เค-ไฟล์ (K-file) เบอร์ 15 ผ่านจากรูเปิดคล่องรากฟันถึงระยะที่สั้นกว่าปลายรากฟัน 1 มิลลิเมตร ขยายคล่องรากฟันจนถึงเค-ไฟล์เบอร์ 40 แล้วทำการสเตปแบคขึ้นมา 5 ขนาด⁽⁹⁵⁾ ล้างด้วยน้ำยาไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 5.25 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร⁽¹⁴⁾ ทุกครั้งที่เปลี่ยนเครื่องมือและล้างคล่องรากฟันครั้งสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ชั้บคล่องรากด้วยแท่ง

กระดาษซับ (paper point) 4 แห่ง อุดรากฟันด้วยวิธีบีบอัดด้านข้าง (lateral condensation) ด้วยกัตตาเปอร์ร่วมกับซีเมนต์อุดคลองรากฟัน (AH-Plus eugenol-free sealer) ตัดกัตตาเปอร์ชา ด้านบนออกอย่างน้อย 3 มิลลิเมตรด้วยอุปกรณ์ลนไฟ ปิดด้วยวัสดุอุดฟันชั่วคราว (Cavit™) ถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบการอุดรากฟัน นำฟันไปเก็บในความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 อุณหภูมิ 37 องศา เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมงเพื่อให้ซีเมนต์อุดคลองรากแข็งตัวเพียงพอ⁽⁹⁶⁾ นำฟันที่รักษาคลองรากแล้วมาถอดแต่งให้มีลักษณะและขนาดของเส้นลึ้นสุดเหมือนแกนฟันแม่แบบ



ภาพที่ 7 แสดงฟันที่รักษาคลองรากฟันและอุดปิดด้วยวัสดุอุดชั่วคราว



ภาพที่ 8 แสดงภาพรังสีของฟันที่รักษาคลองราก

8. การบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์และแกนฟัน

เตรียมช่องว่างสำหรับเดือยฟันเส้นใยควอตซ์เบอร์ 1 (DT light post) ใช้หัวเจาะสำหรับเดือยฟันต่อกับหัวกรอช้า (low speed contra angle) ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที⁽²⁵⁾ ให้มีความ

ลึก 12 มิลลิเมตรจากขอบพื้น ล้างคลองรากด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิเมตร ซับให้แห้งด้วย แท่งกระดาษซับ 4 แท่ง ถ่ายภาพรังสีเพื่อประเมินช่องว่างสำหรับเดือยฟันต้องไม่มีกัตตาเปอร์ซาทกค้ำงที่ผนังคลองรากฟัน และมีผนังคลองรากฟันหนาไม่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร เตรียมพื้นผิวเดือยฟันโดยแช่ในสารเคมีที่ใช้ทดสอบตามชนิดและระยะเวลาที่กำหนดตามกลุ่มทดสอบต่างๆ ล้างเดือยฟันด้วยเครื่องอัลตราโซนิคส์ นาน 2 นาที⁽⁷⁸⁾ เป่าให้แห้ง 1 นาที ทาด้วยสารคู่ควบไซเลน (Monobond-S) 60 วินาที เป่าลม 5 วินาที ตัดเดือยฟันทุกอันให้มีความยาว 16 มิลลิเมตรด้วยหัวกรอกากเพชร ทำเครื่องหมายบนเดือยฟันที่ระยะ 12 มิลลิเมตรซึ่งพอดีกับขอบพื้น แล้วลองเดือยฟันเบอร์ 1 ให้แนบสนิทพอดีกับผนังคลองราก เตรียมพื้นผิวคลองรากด้วยกรดฟอสฟอริก (Total etch refill) ความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 15 วินาที ล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดกรดออกนาน 30 วินาที ซับให้แห้งด้วยแท่งกระดาษซับ 4 แท่ง ทาสารยึดเนื้อฟัน (Excite[®] DSC) 10 วินาที ซับด้วยแท่งกระดาษซับ 4 แท่ง จากนั้นฉีดเรซินคอมโพสิตเหลวชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมียี่ห้อมัลติคอร์โฟลว์ (Multicore flow[®]) จนเต็มคลองราก ใส่เดือยฟันให้เข้าที่ใช้นิ้วกดเดือยฟันไว้ 10 วินาที ปาดซีเมนต์ส่วนเกินให้เป็นชั้นบางๆ คลุมด้านบนของฟันไว้⁽²⁵⁾ แล้วฉายแสง (Elipar[®] Trilight) ผ่านเดือยฟัน นาน 60 วินาที สร้างแกนฟันด้วยมัลติคอร์โฟลว์โดยใช้พลาสติกใสแม่แบบสำหรับสร้างแกนฟัน เพื่อให้ได้แกนฟันที่มีรูปร่างและขนาดเดียวกัน ฉายแสงด้านละ 40 วินาที ถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบจะต้องไม่พบฟองอากาศที่ชั้นของเรซินคอมโพสิต เก็บฟันไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อให้มัลติคอร์โฟลว์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์ กรอแต่งเรซินคอมโพสิตส่วนเกินจนได้รูปร่างแกนฟันตามที่กำหนด ด้วยเครื่องไอโซพาราเลโลมิเตอร์โดยใช้หัวกรอกากเพชรทรงสอบปลายมน



ภาพที่ 9 แสดงฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน



ภาพที่ 10 แสดงภาพรังสีของฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน

9. การทำครอบฟันโลหะ

นำฟันไปแต่งซี่ฝังเพื่อทำครอบฟันโดยใช้แม่แบบซิลิโคนที่เตรียมไว้สำหรับทำครอบฟัน เปลี่ยนซี่ฝังเป็นครอบฟันโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม (classic vision™) และยึดครอบด้วย ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Hy-bond® zinc phosphate cement) กดครอบฟันด้วยนิ้วมีอนาน 5 นาที กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออกและนำไปเก็บไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ 100 % นาน 24 ชั่วโมง⁽⁹⁴⁾ เพื่อรอซีเมนต์แข็งตัวเต็มที่

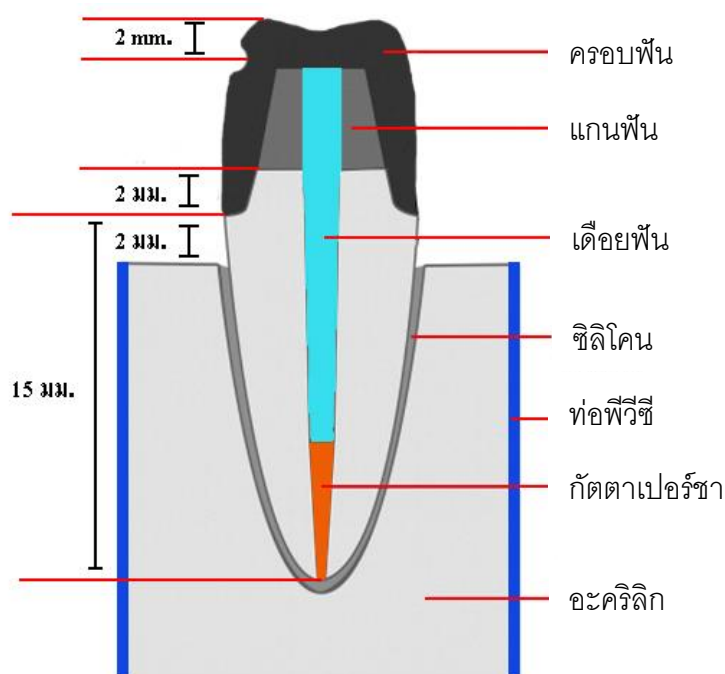


ภาพที่ 11 แสดงฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยครอบฟันโลหะ

10. การจำลองเอ็นยึดปริทันต์

ใช้ซิลิโคนแม่แบบทำครอบฟัน เป็นตัวควบคุมการใส่ฟันกลับสู่ตำแหน่งเดิมขณะจำลองเอ็นยึดปริทันต์ เนื่องจากอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวได้เอง มีการหลุดตัวจากปฏิกิริยาการเกิด

พอลิเมอรัจึงเกิดช่องว่างสำหรับจำลองเอ็นยึดปริทัศน์ประมาณ 0.3 มิลลิเมตรโดยควบคุมอัตราส่วนผงกับส่วนเหลว และระยะเวลาผสม ระยะเวลาตั้งพินขึ้นจากอะคริลิกเรซิน จำลองเอ็นยึดปริทัศน์โดยใช้ซิลิโคนพิมพ์ปาก (Silagum[®]-Light) บีบความยาว 1 เซนติเมตรผสมและใส่ลงไปในปีล็อกอะคริลิกนำซี่ฟันใส่ในซิลิโคนแม่แบบให้แนบสนิทพอดี แล้วจึงนำพินพร้อมแม่แบบซิลิโคนใส่กลับในปีล็อกอะคริลิก กดแม่แบบด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer) 3 กิโลกรัม นาน 24 ชั่วโมง⁽⁹⁷⁾ เพื่อให้ซิลิโคนที่จำลองเอ็นยึดปริทัศน์แข็งตัว แล้วกำจัดซิลิโคนส่วนเกินออก นำพินไปเก็บไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

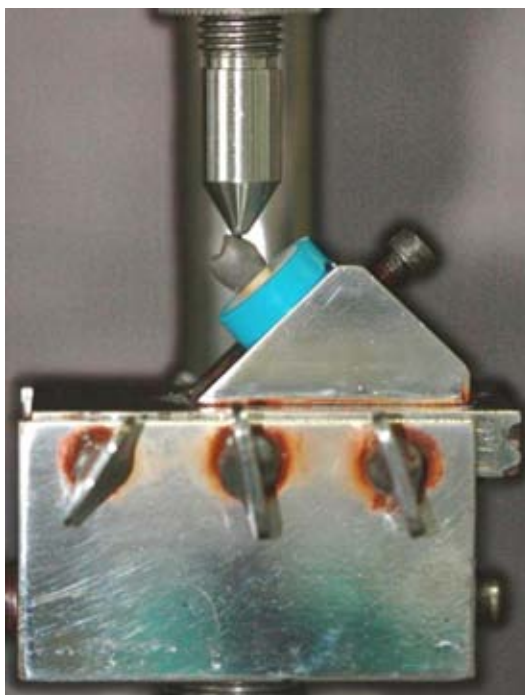


ภาพที่ 12 แสดงวัสดุที่ใช้บูรณะฟันรักษาคงราก

11. การทดสอบค่าความต้านทานการแตก

นำขึ้นตัวอย่างไปทดสอบความต้านทานการแตกด้วยเครื่องทดสอบอินสตรอน (Instron testing machine รุ่น 8872) โดยยึดบล็อกพินกับแท่นยึดเพื่อให้แรงทำมุม 45 องศากับแนวแกนพิน⁽⁹⁴⁾ ใช้หัวกดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร วางอยู่ที่จุดรับแรงด้านแก้มใช้ความเร็วหัวกด (cross head speed) 1 มิลลิเมตรต่อนาที⁽⁹⁸⁾

กระทั่งพื้นหรือเดือยพื้นหรือแกนพื้นแตกซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของแรงทันที บันทึกค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตก (fracture load) ของพื้นหรือแกนพื้นหรือเดือยพื้นเป็นนิวตัน (newton) และสังเกตรูปแบบการแตก (fracture mode) ด้วยตาเปล่า



รูปที่ 13 แสดงการยึดชิ้นตัวอย่างกับเครื่องทดสอบอินสตรอน

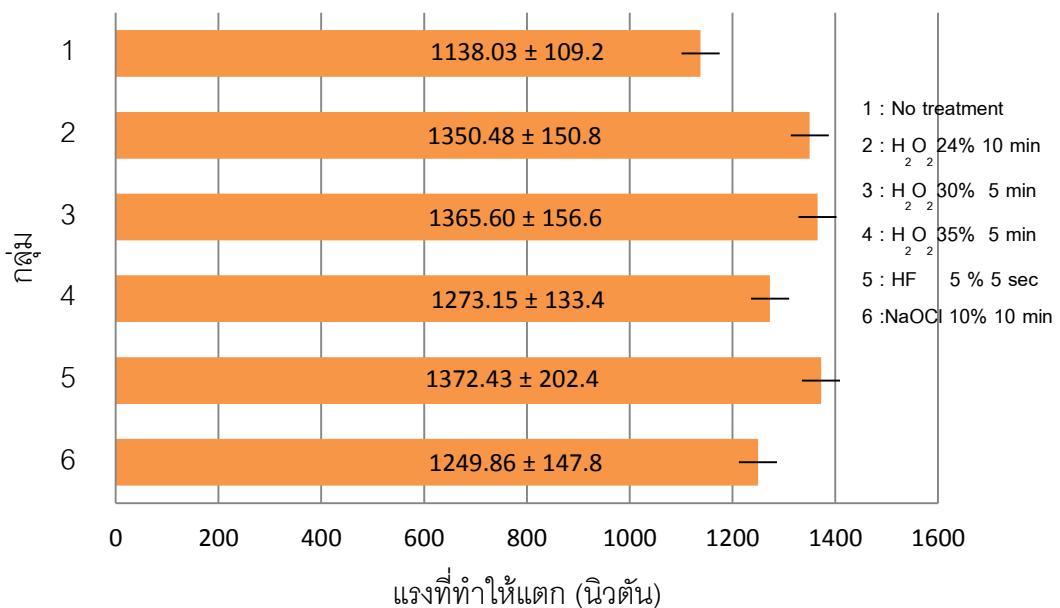
การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกมาเปรียบเทียบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบบอนเฟร์โรนนี่ (Bonferroni multiple comparison)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อนำชิ้นตัวอย่างทั้งหมด 60 ชิ้น จาก 6 กลุ่มการทดลอง (กลุ่มละ 10 ชิ้น) ซึ่งแยกกลุ่มทดลองโดยชนิด เวลา และความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากระบบไฮดรอลิกเพื่อหาค่าแรงที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างแตก แล้วนำค่าดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มได้ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงค่าแรงเฉลี่ยที่ทำให้เกิดการแตกและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่ม

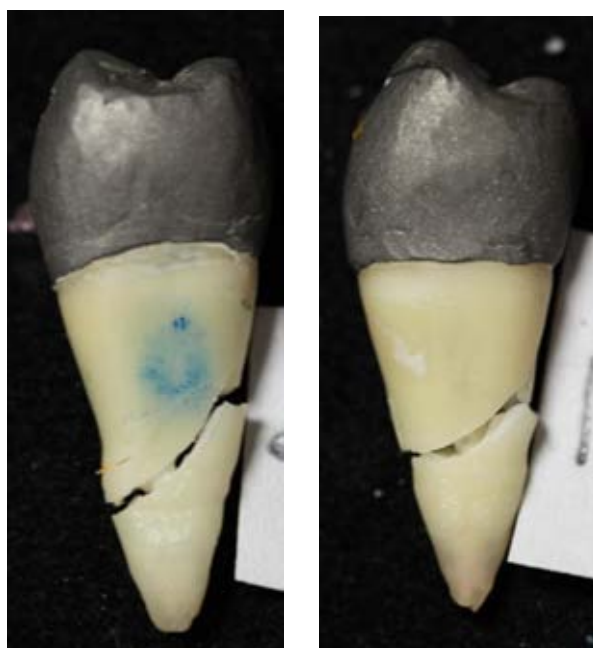
จากภาพที่ 14 พบว่าค่าแรงเฉลี่ยที่ทำให้เกิดการแตกของฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว กลุ่มที่ 5 เป็นฟันรักษารากที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก 5% นาน 5 วินาทีในกลุ่มที่ 5 มีค่าแรงเฉลี่ยที่ทำให้เกิดการแตกมากกว่ากลุ่มที่ 3 ซึ่งปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% นาน 5 นาที มากกว่ากลุ่มที่ 2 ซึ่งปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 24% นาน 10 นาที มากกว่ากลุ่มที่ 4 ซึ่งปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35% นาน 5 นาที มากกว่ากลุ่มที่ 6 ซึ่งปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วย

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ 10% นาน 10 นาทีและมากกว่ากลุ่มที่ 1 ซึ่งไม่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยฟันตามลำดับ

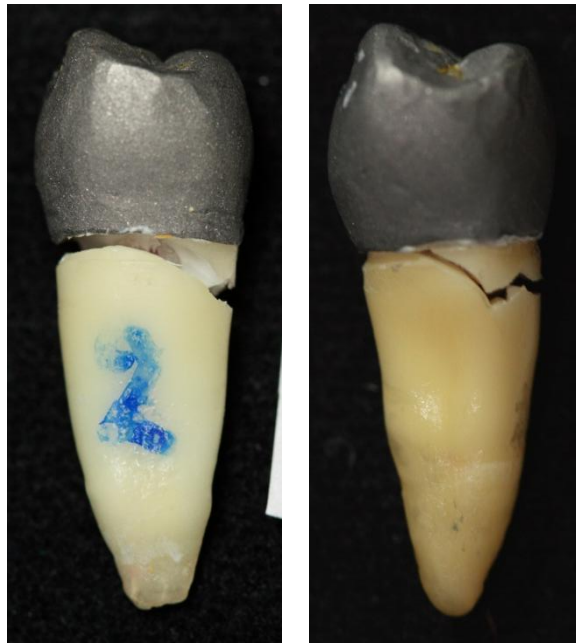
จากการสังเกตรูปแบบการแตกของแต่ละกลุ่มพบว่าฟันทุกกลุ่มมีการแตกส่วนมากเป็นแบบไม่สามารถบูรณะได้คือมีการแตกที่รากฟัน ส่วนกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 มีชิ้นตัวอย่างกลุ่มละ 1 ชิ้นที่แตกแบบบูรณะได้โดยแตกที่บริเวณรากฟันส่วนต้นใกล้ขอบของครอบฟัน

ตารางที่ 2 แสดงรูปแบบการแตกในแต่ละกลุ่ม

	No Treatment (Control)	H ₂ O ₂			HF 5% 5 sec	NaOCl 10% 10 min
		24% 10 min	30% 5 min	35% 5 min		
Restorable fracture	0	1	1	0	0	0
Unrestorable fracture	10	9	9	10	10	10



ภาพที่ 15 แสดงการแตกแบบไม่สามารถบูรณะได้



ภาพที่ 16 แสดงการแตกแบบสามารถบูรณะได้

เมื่อนำค่าแรงทั้งหมดในแต่ละกลุ่มไปทดสอบการกระจายตัวพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ และเมื่อทดสอบความแปรปรวนด้วยการทดสอบแบบลิวีน (Levene's test) พบว่าข้อมูลทั้ง 6 กลุ่ม มีค่าความแปรปรวนเท่ากัน (ภาคผนวก) เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกของฟันรักษาคลองรากด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์การแปรปรวนทางเดียวพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างน้อย 1 กลุ่มและเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบบอนเฟอร์โรนีพบว่าค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกของกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 5 มากกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่เมื่อเปรียบเทียบสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันพบว่าสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันที่แตกต่างกันดังกลุ่มที่ 2-6 ไม่มีผลต่อค่าความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองราก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

อภิปรายวัตถุประสงค์อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบแรงต้านทานการแตกของพื้นรักษาคลองรากและได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองครั้งนี้ทำในฟันกรามน้อยล่างซี่ที่สองของมนุษย์ที่ถอนเพื่อการจัดฟันโดยการเก็บฟันนั้นไม่สามารถทำการรักษาสภาพฟันให้เหมือนกับในช่องปากได้ แต่ทุกขั้นตอนในการทดลองนั้นได้พยายามป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้น เนื่องจากการสูญเสียความชื้นจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเนื้อฟัน ก่อให้เกิดความเค้นและรอยร้าวในเนื้อฟันส่งผลให้เนื้อฟันอ่อนแอลง⁽⁹⁹⁾ ดังนั้นในการศึกษานี้ได้ทำการห่อฟันด้วยผ้าก๊อชชุบน้ำเกลือและเก็บฟันไว้ในกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและเก็บในตู้อบอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของร่างกายคนปกติ

ในการแบ่งกลุ่มทดลองได้คัดเลือกฟันที่มีขนาดใกล้เคียงกันมีความกว้างในแนวด้านแก้มถึงด้านหลัง และแนวใกล้กลางถึงแนวไกลกลางแตกต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร โดยวิธีสุ่มแบบเป็นระบบ (systematic sampling) จะทำให้ฟันในแต่ละกลุ่มทดลองมีการกระจายอย่างคล้ายคลึงกันเพื่อลดอิทธิพลจากขนาดและรูปร่างของฟัน และเลือกฟันที่มีหน้าตัดคลองรากรูปร่างกลม ตรงเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปแล้วจะมีความหนาของซีเมนต์ในคลองรากอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดการกระจายแรงเค้นอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวรากฟัน⁽¹⁹⁾

ในการศึกษานี้ใช้เรซินคอมโพสิตเหลวชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับปฏิกิริยาเคมียึดเดือยฟันและทำแกนฟัน เพราะเรซินคอมโพสิตเหลวมีความหนืดต่ำ (low viscosity) สามารถแทรกซึมไปบนผิวเดือยฟันที่ขรุขระจากการปรับสภาพพื้นผิว⁽⁷⁶⁾ สอดคล้องกับการศึกษาของ Porciani และคณะในปี ค.ศ.2008⁽¹⁰⁰⁾ ที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าการใช้เรซินคอมโพสิตเหลวยึดเดือยฟันให้ความแนบสนิทกับพื้นผิวเดือยฟันได้ดีเพราะวัสดุมีการไหลแผ่ที่ดี Magni และคณะในปี ค.ศ. 2007⁽¹⁰¹⁾ แนะนำการใช้เรซินคอมโพสิตเป็นทั้งซีเมนต์ยึดเดือยฟันและทำแกนฟันจะช่วยลดรอยต่อระหว่างวัสดุเพราะรอยต่อของวัสดุต่างชนิดกันจะเป็นจุดสำคัญที่ทำให้มีการแตกเกิดขึ้นในการทดลองนี้ใช้เรซินคอมโพสิตเหลวยี่ห้อมัลติคอร์โพล์ ซึ่งมีการผสมแบบ

อัตราโนมิติช่วยลดการเกิดฟองขณะผสม และควบคุมอัตราส่วนผสมของวัสดุ หลังจากยึดเดือยฟัน และทำแกนฟันได้ถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบดูขึ้นตัวอย่างต้องไม่พบฟองอากาศในชั้นของซีเมนต์ ยึดเดือยฟันและในแกนฟัน เพราะฟองอากาศหรือช่องว่างที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดความอ่อนแอขึ้นใน ชิ้นงาน

ในการทดลองออกแบบให้มีจุดรับแรงด้านแก้มเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตรอยู่ต่ำกว่ายอดฟันด้านแก้ม 2 มิลลิเมตร โดยให้แรงทำมุม 45 องศากับแนวแกนฟันเพื่อจำลองการรับแรง ในแนวข้าง (lateral force) ขณะมีการเอียงขากรรไกรออกนอกศูนย์กลาง (eccentric jaw movement) ของฟันกรามน้อยล่างเนื่องจากแรงในแนวข้างทำให้เกิดความเสียหายแก่ฟันมากกว่า แรงในแนวตั้ง⁽⁹⁴⁾ ความเร็วของหัวกดที่ใช้ในการศึกษานี้คือ 1 มิลลิเมตรต่อนาที^(14,96,102) เนื่องจาก หากใช้หัวกดที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดแรงคล้ายแรงกระแทก ส่วนความเร็วหัวกดที่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตรต่อนาที ให้แรงในลักษณะบดขยี้จะมีผลทำให้วัสดุบูรณะเซรามิกเกิดการแตกที่ ผิดปรกติ⁽⁹⁸⁾ แต่อย่างไรก็ตามหากทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วหัวกดให้ช้าลงค่าแรงต้านทานการ แตกในแต่ละกลุ่มอาจเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเนื้อฟันประกอบด้วยสารอินทรีย์เช่น คอลลาเจนไฟเบอร์เป็นส่วนใหญ่ จึงมีคุณสมบัติยืดหยุ่นเมื่อได้รับแรงจะดูดซับแรงไว้บางส่วนและ มีการคืนกลับสู่สภาพเดิมส่งผลให้แรงต้านทานการแตกจะมากขึ้นหากใช้หัวกดที่มีความเร็วช้าลง⁽¹⁰³⁾

อภิปรายผลการทดลอง

เมื่อปรับสภาพฟันผิวเดือยฟันด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 5 วินาที ให้ค่าแรงต้านทานการแตกสูงที่สุดซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vano และคณะในปี ค.ศ. 2006⁽⁷⁶⁾ ที่พบว่าเดือยฟันที่ปรับสภาพฟันผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 60 วินาที ทำให้เกิดการละลายของอีพอกซีเรซินที่ผิวเดือยฟันออกจนเผยเส้นใยควอตซ์ออกมา และทำให้ค่ากำลังการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันคอมโพสิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเมื่อ เดือยฟันมีการยึดติดกับคลองรากฟันได้ดีเป็นการรวมโครงสร้างของฟันเป็นโมโนบล็อกจึงอาจ ส่งผลทำให้ฟันมีความต้านทานต่อการแตกมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Sahafi และ คณะในปี ค.ศ. 2003⁽⁶⁹⁾ พบว่าการปรับสภาพฟันผิวเดือยฟันด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกร้อยละ 9.6 นาน 2 นาที ไม่สามารถเพิ่มการยึดอยู่ของเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วเนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรด

กัดแก้วค่อนข้างแรง ทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็ก (micro-cracks) หรือรอยแตกตามแนวยาว (longitudinal fractures) ในชั้นเส้นใยแก้วของเดือยฟันโดยระดับการกัดพื้นผิวจะรุนแรงขึ้นสัมพันธ์กับเวลาในการแช่เดือยฟันที่นานขึ้น^(76,80)

สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพพื้นผิวของอีพอกซีเรซินเมื่อนำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันพบว่าการละลายอีพอกซีเรซินออกทำให้ผิวของเดือยฟันมีความขรุขระและเผยชั้นของเส้นใยโดยชั้นของเส้นใยที่ประกอบด้วยซิลิกาสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับไฮโดรเจนได⁽⁸¹⁾ การทดลองนี้บูรณะฟันรักษาคลองรากด้วยเดือยฟันที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีให้ค่าแรงต้านทานการแตกสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ทำเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาของ Monticelli และคณะในปี ค.ศ. 2006⁽⁷⁾ และ Vano และคณะในปี ค.ศ. 2006⁽⁷⁶⁾ ซึ่งพบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 20 นาที สามารถละลายอีพอกซีได้ลึก 50 ไมครอนทำให้ผิวของเดือยฟันขรุขระเกิดการยึดติดทางกลขนาดเล็กสามารถเพิ่มค่ากำลังการยึดติดระหว่างพื้นผิวเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้อย่างไรก็ตามการแช่เดือยฟันในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 เป็นเวลา 10 นาทีในทางปฏิบัติใช้เวลานานเกินไปจึงได้ทดลองปรับความเข้มข้นและเวลาที่แช่ทดลองพบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาทีให้ค่าแรงการแตกสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญสอดคล้องกับการศึกษาของสราลีและคณะปี 2011⁽¹⁰⁴⁾ ซึ่งพบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเส้นใยแก้วและควอตซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาทีให้ค่าความแข็งแรงยึดระหว่างพื้นผิวเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญแต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นร้อยละ 35 และใช้เวลา 5 นาทีกลับให้ค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมโดยระดับการกัดพื้นผิวของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อาจจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่ใช้แช่เดือยฟัน โดยการปรับสภาพพื้นผิวจะรุนแรงขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นที่มากขึ้น

เช่นเดียวกับการแช่เดือยในไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 10 นาทีพบว่าให้ค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมทั้งนี้อาจเป็นผลจากสารละลาย

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นสารละลายที่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์สูงจึงละลายอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ออกไปมากทำให้เส้นใยเผยออกมามากซึ่งอาจมีเส้นใยบางส่วนที่อยู่บริเวณผิวเดือยพันหลุดออก แต่ส่วนของเรซินชนิดเหลวไม่สามารถแทรกเข้าไปเติมส่วนที่อีพอกซีถูกละลายออกไปเกิดเป็นช่องว่างส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงยึดลดลง^(104,105) ซึ่งอาจจะส่งผลให้ค่าแรงต้านทานการแตกของพื้นที่รักษาคลองรากลดลงในกลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยฟันที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 5 นาทีหรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 10 นาที จากการศึกษาของ Vano และคณะในปี ค.ศ. 2006⁽⁷⁶⁾ แนะนำว่าควรเลือกใช้แกนฟันคอมโพสิตเหลวที่มีความหนืดต่ำ เพื่อให้มีการไหลแผ่ที่ดีมีความแนบสนิทกับผิวเดือยฟันที่มีความขรุขระจากการปรับสภาพพื้นผิว การที่แกนฟันคอมโพสิตเหลวไม่สามารถแทรกซึมไปตามผิวเดือยฟันได้สมบูรณ์เกิดเป็นช่องว่างซึ่งเมื่อมีแรงกระทำจะเป็นจุดเริ่มต้นรอยร้าวและนำไปสู่การแตกของชิ้นตัวอย่าง

กลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มที่ไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันมีเพียงการทำไฮเลนก่อนยึดเดือยเท่านั้นพบว่าให้ค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกต่ำที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริพรและคณะในปี ค.ศ. 2011⁽⁷⁹⁾ ซึ่งพบว่าเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวจะมีชั้นของอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ปกคลุมเส้นใยควอตซ์ที่อยู่ภายในแตกต่างจากกลุ่มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ที่พบการละลายของอีพอกซีเรซินเมทริกซ์และเผยเส้นใยควอตซ์โดยเส้นใยไม่ถูกทำลายดังนั้นกลุ่มควบคุมซึ่งบูรณะด้วยเดือยฟันที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวจะมีอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ปกคลุม ไฮเลนไม่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอีพอกซีเรซินได้จึงไม่ได้เพิ่มการยึดติดของเดือยฟันกับเรซินคอมโพสิตหรือเรซินซีเมนต์^(6,68,69) จึงอาจส่งผลให้ค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกต่ำที่สุด

การใช้สารเคมีที่ต่างกันมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันดังกลุ่มที่ 2 ถึง 6 พบว่าไม่มีผลกับค่าแรงต้านทานการแตกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาของ Gelfand และคณะในปี ค.ศ. 1984⁽¹⁰⁶⁾ พบว่าค่าความแข็งแรงกดของพื้นที่รักษาคลองรากจะแตกต่างกันมากในกรณีที่ทำ การบูรณะด้วยเดือยและแกนฟันต่างระบบกันโดยไม่ได้ทำครอบฟันแต่ค่าแรงดังกล่าวจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทำครอบฟันและสอดคล้องกับผลการทดลองของหลาย การศึกษา^(107,108) ที่พบว่ารูปร่างของเดือยฟันไม่มีผลกับแรงต้านทานการแตกอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติเมื่อใส่ครอบฟันโดยให้เหตุผลว่าการใส่ครอบฟันนั้นจะทำให้มีค่าแรงต้านทานการแตกมากขึ้น และเปลี่ยนแปลงรูปแบบการกระจายแรงโดยมีแรงสะสมอยู่ที่ขอบของครอบฟัน ซึ่งในการศึกษานี้ ออกแบบให้ขึ้นตัวอย่างมีเฟอร์รัสสูง 2 มิลลิเมตรและคัดเลือกฟันให้มีความหนาของเนื้อฟันใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงต้านทานการแตกจึงไม่แตกต่างกัน

ค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกที่มีค่าน้อยที่สุดจากการวิจัยนี้คือค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกของกลุ่มควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 1138.03 นิวตัน แม้จะมีค่ามากกว่าค่าแรงกีดเฉลี่ยของฟันกรามน้อยในผู้ป่วยที่ไม่มีนิสัยการบดเคี้ยวที่ผิดปกติซึ่งมีค่าระหว่าง 350-500 นิวตัน⁽¹⁰⁹⁾ แต่การปรับสภาพฟันผิวเดือยฟันก่อนการบูรณะฟันรักษาคดองรากเป็นสิ่งจำเป็นเพราะทำให้ค่าแรงต้านทานการแตกมากขึ้นกว่าการไม่ปรับสภาพฟันผิวเดือยฟันอย่างมีนัยสำคัญ เพราะในทางคลินิกแรงบดเคี้ยวในช่องปากเป็นแรงกระทำที่เกิดซ้ำๆเป็นวงจร (cyclic load) และมีได้หลายทิศทาง แต่ในการศึกษานี้เป็นการทดสอบด้วยแรงคงที่ (static load) ที่มีเพียงทิศทางเดียวและในช่องปากยังมีผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาเกี่ยวข้อง ทำให้เนื้อฟันเกิดความล้าเกิดเป็นรอยร้าวขนาดเล็ก (microcrack) จนเป็นสาเหตุให้เกิดฟันแตกด้วยแรงที่ต่ำกว่าความทนแรงคราก (yield strength)⁽⁴¹⁾ หรือแม้แต่ค่าแรงกีดเฉลี่ย

เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแตกพบว่า การแตกเกือบทั้งหมดเป็นแบบไม่สามารถบูรณะได้ในขณะที่หลายการศึกษาพบว่า การบูรณะฟันที่รักษาคดองรากฟันแล้วด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยมักเกิดการแตกแบบบูรณะได้^(22,45) ทั้งนี้ขึ้นกับการออกแบบการทดลอง โดยการทดลองนี้พยายามควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองและจำลองสภาวะทางคลินิก แต่ยังมีปัจจัยที่ไม่สามารถคุมได้ เช่น องค์ประกอบทางโครงสร้างที่แตกต่างกันของเนื้อฟันทั้งในส่วนตัวฟันและรากฟัน ลักษณะความหนาแน่น ทิศทาง ขนาดของท่อภายในเนื้อฟัน อายุ การใช้งาน สภาวะเก็บฟันก่อนนำมาทดสอบและสภาวะขณะถอนฟันที่แตกต่างกันของฟันในฟันแต่ละซี่⁽¹¹⁰⁾ ดังนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นที่ทำการทดสอบกับฟันต่างซี่กัน หรือวิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน อาจส่งผลให้ผลการทดลองแตกต่างกัน โดยการแตกของรากฟันมักพบมากในฟันที่รักษาคดองรากและบูรณะด้วยเดือยฟันชนิดโลหะเหนียว เนื่องจากเดือยฟันโลหะเหนียวมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงกว่าเนื้อฟันที่รากและตัวฟัน เดือยฟันโลหะเหนียวทนต่อแรงบดเคี้ยวได้มากกว่าแรงกีดเฉลี่ย โดยส่งผ่านแรงเค้นทั้งหมดไปสู่เนื้อฟันจึงเกิดแรงเค้นสะสมที่รากฟันทำให้รากฟันแตกได้

มากกว่าเตื่อยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน⁽⁴⁵⁾ แต่ การศึกษานี้บรูณะด้วยเตื่อยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกลับพบการแตกที่รากฟันคล้ายกับการ บรูณะด้วยเตื่อยฟันโลหะเหวี่ยงอาจเกิดจากการทดลองออกแบบให้มีเนื้อฟันเหลือน้อยและใส่ ครอบฟัน เนื่องจากการใส่ครอบฟันจะเกิดเปลี่ยนแปลงรูปแบบการกระจายแรงจากตัวฟันลงสู่ราก ฟันมากกว่าการไม่ใส่ครอบฟันโดยแรงที่เกิดขึ้นมีการสะสมอยู่ที่ขอบของครอบฟัน⁽³³⁾ ทำให้เกิดการ แตกที่บริเวณรากฟันได้ขอบครอบฟันมากขึ้นซึ่งเป็นการแตกแบบไม่สามารถบรูณะได้ แตกต่างกับ หลายการศึกษาซึ่งทดสอบค่าความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองรากที่บรูณะด้วยเตื่อยฟัน คอมโพสิตเสริมเส้นใยแต่ไม่ได้ทำครอบฟันพบว่าเกิดการแตกแบบบรูณะได้^(14,29,41) การศึกษาของ Scotti และคณะในปี ค.ศ. 2011⁽¹¹¹⁾ แนะนำว่าฟันที่รักษาคลองรากแล้วสูญเสียเนื้อฟันเฉพาะส่วน ผังด้านประชิดทั้งด้านใกล้กลาง ไกลกลาง และด้านบดเคี้ยว (MOD) เมื่อบรูณะด้วยเตื่อยฟัน คอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีความยาว 3 มิลลิเมตร ร่วมกับการอุดเรซินคอมโพสิตคลุมปุ่มฟันเป็นอีก ทางเลือกหนึ่งในการบรูณะฟันรักษาคลองรากเนื่องจากซีเมนต์ยึดเตื่อยฟันมีการพัฒนาให้มีการยึด ติดกับคลองรากฟันได้ดีจึงใส่เตื่อยลงไปเพียง 3 มิลลิเมตรซึ่งช่วยลดการสูญเสียเนื้อฟันในขั้นตอน การบรูณะ เมื่อเกิดการแตกมีรูปแบบการแตกที่สามารถบรูณะได้และมีค่าความต้านทานการแตก สูงกว่ากลุ่มที่บรูณะด้วยการอุดเพียงอย่างเดียวโดยไม่ใส่เตื่อยฟัน ทั้งนี้การเตรียมคลองรากฟันเพื่อ ใส่เตื่อยฟันจะทำให้สูญเสียเนื้อฟันในคลองรากทำให้รากฟันอ่อนแอลง⁽¹¹²⁾ โดยเตื่อยฟันมีหน้าที่ กระจายแรงเค้นสู่รากฟัน^(1,2) เมื่อมีกระทำต่อฟันในแนวข้างจะเกิดการสะสมความเค้นที่บริเวณ ปลายเตื่อยเมื่อฟันแตกจึงเกิดการแตกที่รากฟัน⁽¹¹³⁾ นอกจากนี้ปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ยังมีผลต่อ รูปแบบการแตกของฟันรักษาคลองรากหากเนื้อฟันเหลือมากจะมีการแตกแบบสามารถบรูณะได้ มากกว่าฟันที่รักษาคลองรากแล้วมีเนื้อฟันเหลือน้อย^(15,41) โดยฟันรักษาคลองรากที่มีเนื้อฟันเหลือ เพียงด้านเดียวและบรูณะด้วยใส่เตื่อยฟันและครอบฟันพบว่าเกิดการแตกแบบไม่สามารถบรูณะ ได้ทั้งหมด⁽¹⁵⁾ โดยในการทดลองนี้จำลองการใส่ครอบฟันในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากแล้วและมี เนื้อฟันเหลือน้อยโดยมีเฟอร์รูลเพียง 2 มิลลิเมตร ดังนั้นหากออกแบบการศึกษาให้มีปริมาณเนื้อ ฟันเหลือมาก รูปแบบการแตกอาจแตกต่างไปจากเดิม ดังนั้นควรทำการศึกษาต่อไปเพื่อหาวิธีการ บรูณะที่เหมาะสมกับฟันที่รักษาคลองราก โดยอาจจะเปรียบเทียบ ชนิดของเตื่อยฟันทั้งเตื่อยฟัน โลหะเหวี่ยง และเตื่อยฟันสำเร็จรูปทั้งโลหะและอโลหะ ความยาวและขนาดของเตื่อยฟัน ปริมาณ

เนื้อฟันที่เหลืออยู่ วิธีการบูรณะในส่วนตัวฟัน เช่น ใส่ครอบ หรือบูรณะด้วยวัสดุอุด และการติดตามผลการรักษาผู้ป่วยในระยะยาว เพื่อเป็นแนวทางในการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากที่เหมาะสมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ภายใต้ข้อจำกัดของการวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า

1. ความต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองรากที่บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมีที่ต่างกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. สารเคมีที่เหมาะสมนำมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเส้นใยควอตซ์คือกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 นาน 5 วินาที สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาทีและร้อยละ 24 นาน 10 นาทีเพราะช่วยเพิ่มค่าแรงต้านทานการแตกของฟันรักษาคลองรากได้สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน
3. เมื่อคำนึงถึงการปฏิบัติงานจริงในคลินิก อาจเลือกปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 5 นาน 5 วินาทีเนื่องจากใช้เวลาในการปรับสภาพพื้นผิวน้อยที่สุด โดยให้ค่าแรงต้านทานการแตกไม่ต่างกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีอื่น

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาในครั้งต่อไปเพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริง ควรทำการศึกษาโดยทำการควบคุมสภาวะต่างๆให้เหมือนกับสภาวะในช่องปาก เช่น จำลองแรงเป็นแบบหลายทิศทางและเป็นแรงที่กระทำซ้ำๆ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และควรทำการศึกษาร่วมกับการติดตามผลการรักษาในผู้ป่วยระยะยาวเพื่อเป็นแนวทางในการหาวิธีการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากแล้วที่เหมาะสมที่สุดต่อไป
2. ควรมีการศึกษาและพัฒนาเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยให้มีประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และแกนฟันเรซินคอมโพสิตเพื่อส่งเสริมให้มีความแข็งแรงในการยึดอยู่ที่ดีนำไปสู่ความสำเร็จในการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันแล้วได้

รายการอ้างอิง

- (1) Akkayan, B., and Gülmez, T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. J Prosthet Dent. 87(4) (April 2002): 431-7.
- (2) Balbosh, A., and Kern, M. Effect of surface treatment on retention of glass-fiber endodontic posts. J Prosthet Dent. 95(3) (March 2006): 218-23.
- (3) Tay, F.R., and Pashley, D.H. Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal. J Endod. 33(4) (April 2007): 391-8.
- (4) Choi, Y., Pae, A., Park, E.J., and Wright, R.F. The effect of surface treatment of fiber-reinforced posts on adhesion of a resin-based luting agent. J Prosthet Dent. 103(6) (June 2010): 362-8.
- (5) Cheleux, N., Sharrock, P., and Degrange, M. Surface treatments on quartz fiber post: influence on adhesion and flexural properties. Am J Dent. 20(6) (December 2007): 375-9.
- (6) Soares, C.J., Santana, F.R., Pereira, J.C., Araujo, T.S., and Menezes, M.S. Influence of airborne-particle abrasion on mechanical properties and bond strength of carbon/epoxy and glass/bis-GMA fiber-reinforced resin posts. J Prosthet Dent. 99(6) (June 2008): 444-54.
- (7) Monticelli, F., Toledano, M., Tay, F.R., Sadek, F.T., Goracci, C., and Ferrari, M. A simple etching technique for improving the retention of fiber posts to resin composites. J Endod. 32(1) (January 2006): 44-7.
- (8) Schwartz, R.S., and Robbins, J.W. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. J Endod. 30(5) (May 2004): 289-301.
- (9) Helfer, A.R., Melnick, S., and Schilder, H. Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 34(4) (October 1972): 661-70.

- (10) Rivera, E.M., and Yamauchi, M. Site comparison of dentin collagen cross-linking from extracted human teeth. Arch Oral Biol. 38(7) (July 1993): 541-6.
- (11) Roberts, D.H. The failure of retainers in bridge prostheses. An analysis of 2,000 retainers. Br Dent J. 128(3) (February 1970): 117-24.
- (12) Huang, T.J., Schilder, H., and Nathanson, D. Effect of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. J Endod. 18(5) (May 1992): 209-15.
- (13) Reeh, E.S., Messer, H.H. and Douglas W.H. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. J Endod. 15(11) (November 1989): 512-6.
- (14) Salameh, Z., and others. Fracture resistance and failure patterns of endodontically treated mandibular molars restored using resin composite with or without translucent glass fiber posts. J Endod. 32(8) (August 2006): 752-5.
- (15) Salameh, Z., Ounsi, H.F., Aboushelib, M.N., Sadig, W., and Ferrari, M. Fracture resistance and failure patterns of endodontically treated mandibular molar with or without glass fiber post in combination with a zirconia-ceramic crown. J Dent. 36(7) (July 2008): 513-9.
- (16) Christensen, G.J. Post: Necessary or unnecessary? J Am Dent Assoc. 127(10) (October 1996): 1522-1526.
- (17) Marchi, G.M., Paulillo, M.S., Pimenta, L.A., and De Lima, F.A. Effect of different filling material in combination intraradicular posts on the resistance to fracture of weakened roots. J Oral Rehabil. 30(6) (June 2003): 623-9.
- (18) Ng, C.C., Dumbrigue, H.B., Al-Bayat, M.I., Griggs, J.A., and Wakefield, C.W. Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture

- resistance of restored endodontically treated anterior teeth. J Prosthet Dent. 95(4) (April 2006): 290-306.
- (19) Sorensen, J.A., and Engelman, M.J. Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent. 64(4) (October 1990): 419-24.
- (20) Trope, M., Maltz, D.O., and Tronstad, L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol. 1(3) (June 1985): 108-11.
- (21) Grandini, S., Goracci, C., Monticelli, F., Borracchini, A., and Ferrari, M. SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. J Adhes Dent. 7(3) (Autumm 2005): 235-40.
- (22) Saupe, W.A., Gluskin, A.H., and Radke, R.A. Jr. A comparative study of fracture resistance between morphologic dowel and core and a resin-reinforced dowel system in the intraradicular restoration of structurally compromised root. Quintessence Int. 27(7) (July 1996): 483-91.
- (23) Scherrer, S.S., and de Rijk, W.G. The fracture resistance of all-ceramic crowns on supporting structures with different elastic moduli. Int J Prosthodont. 6(5) (September-October 1993): 462-7.
- (24) Wiskott, H., Belser, U.C., and Scherrer, S.S. The effect of film thickness and surface texture on the resistance of cemented extracoronal restoration to lateral fatigue a loading. Int J Prosthodont. 12(3) (May-June1999): 255-62.
- (25) Büttel, L., Krastl, G., Lorch, H., Naumann, M., Zitzmann, N.U., and Weiger, R. Influence of post fit and post length on fracture resistance. Int Endod J. 42(1) (January 2009): 47-53.

- (26) Nakamura, T., and others. Stress analysis of endodontically treated anterior teeth restored with different types of post material. Dent Mater J. 25(1) (March 2006): 145-50.
- (27) Isidor, F., Brondum, K., and 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. 12(1) (January-February 1999): 78-82.
- (28) Hew, Y.S., Purton, D.G., and Love, R.M. Evaluation of pre-fabricated root canal posts. J Oral Rehabil. 28(3) (March 2001): 207-11.
- (29) McLaren, J.D., McLaren, C.I., Yaman, P., Bin-Shuwaish, M.S., Dennison, J.D., and McDonald, N.J. The effect of post type and length on the fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent. 101(3) (March 2009): 174-182.
- (30) Holmes, D.C., Diaz-Arnold, A.M., and Leary, J.M. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. J Prosthet Dent. 75(2) (February 1996): 140-7.
- (31) Giovani, A.R., Vansan, L.P., Sousa Neto, M.D., and Paulino, S.M. In vitro fracture resistance of glass-fiber and cast metal posts with different lengths. J Prosthet Dent. 101(3) (March 2009): 183-8.
- (32) Smith, C.T., Schuman, N.J., and Wasson, W. Biochemical criteria for evaluating prefabricated post and core system: A guide for restorative dentist. Quintessence Int. 29(5) (May 1998): 305-12.
- (33) Assif, D., Oren, E., Marshak, B.L., and Aviv, I. Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques. J Prosthet Dent. 61(5) (May 1989): 535-43.

- (34) Yoldas, O., Akova, T., and Uysal, H. An experimental analysis of stress in stimulate flare root canals subjected to various post-core applications. J Oral Rehabil. 32(6) (June 2005): 427-32.
- (35) Pilo, R., Cardash, H.S., Levin, E., and Assif, D. Effect of core stiffness on the in vitro fracture of crown, endodontically treated teeth. J Prosthet Dent. 88(3) (September 2002): 302-6.
- (36) Salameh, Z., Papacchini, F., Ounsi, H.F., Goracci, C., Tashkandi, E., and Ferrari M. Adhesion between prefabricated fiber reinforced post and different composite resin cores : A microtensile bond strength evaluation. J Adhes Dent. 8(2) (April 2006): 113-7.
- (37) Morgano, S.M., and Brackett, S.E. Foundation restorations in fixed prosthodontics: Current knowledge and future needs. J Prosthet Dent. 82(6) (December 1999): 643-57.
- (38) Mannocci, F., Bertelli, E., Sherriff, M., Watson, T.F., and Ford, TR. Three-year clinical comparison of survival rate of endodontically treated teeth restored with either full cast coverage or with direct composite restoration. J Prosthet Dent. 88(3) (September 2002): 297-301.
- (39) Mannocci, F., Qualtrough, A.J., Worthington, H.V., Watson, T.F., and Ford, T.R. Randomized clinical comparison of endodontically treated teeth restored with amalgam or with fiber posts and resin composite: Five year results. Oper Dent. 30(1) (January-February 2005): 9-15.
- (40) Cohen, B.I., Pagnillo, M.K., Newman, I., Musikant, B.L., and Deutsch, A.S. Retention of three endodontic posts cemented with five dental cements. J Prosthet Dent. 79(5) (May 1998): 520-5.

- (41) Sorrentino, R., and others. Effect of post-retained composite restorations and amount of coronal residual structure on the fracture resistance of endodontically-treated teeth. Am J Dent. 20(4) (August 2007): 269-74.
- (42) Mendoza, D.B., Eakle, W.S., Kahl, E.A., and Ho, R. Root reinforcement with a resin-bonded preformed post. J Prosthet Dent. 78(1) (July 1997): 10-4.
- (43) Asmussen, E., Peutzfeldt, A., and Sahafi, A. Finite element analysis of stress in endodontically treated, dowel-restored teeth. J Prosthet Dent. 94(4) (October 2005): 321-9.
- (44) Li, L.L., and others. Three-dimensional finite element analysis of weakened roots restored with different cements in combination with titanium alloy posts. Chin Med J (Engl). 119(4) (February 2006): 305-11.
- (45) Sirimai, S., Riis, D.N., and Morgano, S.M. 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. 81(3) (March 1999): 262-9.
- (46) Seefeld, F., Wenz, H.J., Ludwig, K., and Kern, M. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. Dent Mater. 23(3) (March 2007): 265-71.
- (47) Dyer, S.R., Lassila, L.V., Jokinen, M., and Vallittu, P.K. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. Dent Mater. 20(10) (December 2004): 947-55.
- (48) Monticelli, F, A study into the application of fiber posts and composite core materials for restoring endodontically treated teeth, Doctoral dissertation, University of Siena and University of Granada, 2005.

- (49) Recherches Techniques Dentaires (RTD). composipost[Online].2011 Available from: http://www.rtd.fr/site2000/Products/01_composipost/prod12.htm [2001, July 11]
- (50) Grandini, S., Goracci, C., Monticelli, F., Tay, F.R., and Ferrari, M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. Dent Mater. 21(2) (February 2005): 75-82.
- (51) Boschian Pest, L., Cavalli, G., Bertani, P., and Gagliani, M. Adhesive post – endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. Dent Mater. 18(8) (December 2002): 596-602
- (52) Dietschi, D., Romelli, M., and Goretti, A. Adaptation of adhesive posts and cores to dentin after fatigue testing. Int J Prosthodont.10(6) (November-December 1997);:498-507.
- (53) Torbjörner, A., Karlsson, S., Syverud, M., and Hensten-Pettersen, A. Carbon fiber reinforced root canal posts. Mechanical and cytotoxic properties. Eur J Oral Sci. 104(5-6) (October-December 1996): 605-11.
- (54) Finger, W.J., Ahlstrand, W.M., and Fritz, U.B. Radiopacity of fiber-reinforced resin posts. Am J Dent. 15(2) (April 2002): 81-4.
- (55) Raygot, C.G., Chai, J., and Jameson, D.L. Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber-reinforced resin post system in vitro. Int J Prosthodont. 14(2) (March-April2001): 141-5.
- (56) Fredriksson, M., Astbäck, J., Pamenius, M., and Arvidson, K. A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts. J Prosthet Dent. 80(2) (August 1998): 151-7.
- (57) Goracci, C., Corciolani, G., Vichi, A., and Ferrari, M. Light-transmitting ability of marketed fiber posts. J Dent Res. 87(12) (December 2008): 1122-6.

- (58) 3M ESPE. Rely x fiber post [Online]. 2011. Available from:
http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/3M-ESPE-NA/dental-professionals/products/category/cement/relyx-fiber-post/FAQs [2011, July 11]
- (59) Mannocci, F., Sherriff, M., Watson, T.F., and Vallittu, P.K. Penetration of bonding resin into fiber-reinforced composite post : a confocal microscopic study. Int Endod J. 38(1) (January 2005): 46-51.
- (60) BISCO. DT light post [Online]. 2011. Available from:
http://www.bisco.com/catalog/ple_bisco_catItemf.asp?iBrand_Id=63&iCat_Id=8 [2011, July 11]
- (61) Lassila, L.V., Tanner, J., Le Bell, A.M., Narva, K., and Vallittu, P.K. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. Dent Mater. 20(1) (January 2004): 29-36.
- (62) Goracci, C., Raffaelli, O., Monticelli, F., Balleri, B., Bertelli, E., and Ferrari, M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. Dent Mater. 21(5) (May 2005): 437-44.
- (63) Albashaireh, Z.S., Ghazal, M., and Kern, M. Effects of endodontic post surface treatment, dentin conditioning, and artificial aging on the retention of glass fiber-reinforced composite resin posts. J Prosthet Dent. 103(1) (January 2010): 31-9.
- (64) Sahafi, A., Peutzfeldt, A., Asmussen, E., and Gotfredsen, K. Retention and failure morphology of prefabricated posts. Int J Prosthodont. 17(3) (May-June 2004): 307-12.

- (65) Matinlinna, J.P., Lassila, L.V., Ozcan, M., Yli-Urpo, A., and Vallittu, P.K. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. Int J Prosthodont. 17(2) (March-April 2004): 155-64.
- (66) Aksornmuang, J., Foxton, R.M., Nakajima, M., and Tagami, J. Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. J Dent. 32(6) (August 2004): 443-50.
- (67) Aksornmuang, J., Nakajima, M., Foxton, R.M., and Tagami, J. Regional bond strengths of a dual-cure resin core material to translucent quartz fiber post. Am J Dent. 19(1) (February 2006): 51-5.
- (68) Bitter, K., Meyer-Lückel, H., Priehn, K., Martus, P., and Kielbassa, A.M. Bond strengths of resin cements to fiber-reinforced composite posts. Am J Dent. 19(3) (June 2006): 138-42.
- (69) Sahafi, A., Peutzfeldt, A., Asmussen, E., and Gotfredsen, K. Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated posts of titanium alloy, glass fiber, and zirconia. J Adhes Dent. 5(2) (Summer 2003):153-62.
- (70) Bitter, K., and Kielbassa, A.M. Post-endodontic restorations with adhesively luted fiber-reinforced composite post systems: a review. Am J Dent. 20(6) (December 2007): 353-60.
- (71) Sahafi, A., Peutzfeld, A., Asmussen, E., and Gotfredsen, K. Effect of surface treatment of prefabricated posts on bonding of resin cement. Oper Dent. 29(1) (January-February 2004): 60-8.
- (72) Cobb, D.S., Vargas, M.A., Fridrich, T.A., and Bouschlicher, M.R. Metal surface treatment: characterization and effect on composite-to-metal bond strength. Oper Dent. 25(5) (September-October 2000): 427-33.

- (73) Frankenberger, R., Krämer, N., and Sindel, J. Repair strength of etched vs silica-coated metal-ceramic and all-ceramic restorations. Oper Dent. 25(3) (May-June 2000): 209-15.
- (74) Valandro, L.F., and others. Effect of silica coating on flexural strength of fiber posts. Int J Prosthodont. 19(1) (January-February 2006): 74-6.
- (75) Monticelli, F., Toledano, M., Tay, FR., Cury, A.H., Goracci, C., and Ferrari, M. Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. Dent Mater. 22(7) (July 2006): 602-9.
- (76) Vano, M., and others. The adhesion between fibre posts and composite resin cores: the evaluation of microtensile bond strength following various surface chemical treatments to posts. Int Endod J. 39(1) (January 2006): 31-9.
- (77) D'Arcangelo, C., D'Amario, M., Prosperi, G.D., Cinelli, M., Giannoni, M., and Caputi, S. Effect of surface treatments on tensile bond strength and on morphology of quartz-fiber posts. J Endod. 33(3) (March 2007): 264-7.
- (78) D'Arcangelo, C., D'Amario, M., Vadini, M., De Angelis, F., and Caputi, S. Influence of surface treatments on the flexural properties of fiber posts. J Endod. 33(7) (July 2007): 864-7.
- (79) ศิริพร อรุณประดิษฐ์กุล, อิศราวัลย์ บุญศิริ, กัลยา ยิ่งยืน, กิจศิริภรณ์ บุญอำนาจและ ชุตติมณฑน์ ทีฆวานิช. ผลของการปรับสภาพพื้นผิวต่ออัลักษณะพื้นผิวของเดือยฟัน เส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมี. วารสารทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34(1) (มกราคม-เมษายน 2554): 1-8.
- (80) Monticelli, F., Ferrari, M., and Toledano, M. Cement system and surface treatment selection for fiber post luting. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 13(3) (March 2008): E214-21.

- (81) Roizard, X., Wery, M., and Kirmann, J. Effects of alkaline etching on the surface roughness of a fibre-reinforced epoxy composite. Composite Structures. 56(3) (May-June 2002): 223–8.
- (82) Yenisey, M., and Kulunk, S. Effects of chemical surface treatments of quartz and glass fiber posts on the retention of a composite resin. J Prosthet Dent. 99(1) (January 2008): 38-45.
- (83) Zhang, Y., Zhong, B., Tan, J., Zhou, J., and Chen, L. [H₂O₂ treatment improves the bond strength between glass fiber posts and resin cement]. Beijing Da Xue Xue Bao. 43(1) (February 2011): 85-8.
- (84) Nagai, E., Otani, K., Satoh, Y., and Suzuki, S. Repair of denture base resin using woven metal and glass fiber: effect of methylene chloride pretreatment. J Prosthet Dent. 85(5) (May 2001): 496-500.
- (85) Vallittu, P.K., Lassila, V.P., and Lappalainen, R. Wetting the repair surface with methyl methacrylate affects the transverse strength of repaired heat-polymerized resin. J Prosthet Dent. 72(6) (December 1994): 639-43.
- (86) Yavirach, P., and others. Effect of plasma treatment on the shear bond strength between fiber-reinforced composite posts and resin composite for core build-up. Dent Mater. 28(6) (November 2009): 686-92.
- (87) Grace, J.M., and Genser, L.J. Plasma treatment of polymers. J Dispersion Sci Technol. 24(3-4) (May-August 2003): 305-41.
- (88) Liston, E.M., Martinu, L., and Wertheimer, M.R. Plasma treatment surface modification of polymers for improve adhesion: a critical review. J Adhesion Sci Technol. 7(10) (October 1993):1091-1127.
- (89) Inagaki, N. Plasma surface modification and polymer chain ends. J Vac Soc Jpn. 50(10) (October 2007): 625-8.

- (90) พิริยะ ยาวีราช, พิสมัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์, เกษรา บัทมพันธ์, ธีรวรรณ บุญญวรรณ,
Takahashi, H. และแมนสรวง อักษรนุกิจ. ผลของเวลาที่ใช้ปรับสภาพด้วยผลาสมา
ต่อแรงดึงเคียนระหว่างเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับคอมโพสิตแกนฟันชนิดเหลว
และการเป็ยกบนพื้นผิวพอลิเมอร์. เชียงใหม่ทันตสาร 31(1) (มกราคม 2553): 67-76.
- (91) Harrison, J.W., and Hand, R.E. The effect of dilution and organic matter on the
anti-bacterial property of 5.25% sodium hypochlorite. J Endod. 7(3) (March
1981): 128-32.
- (92) Clarkson, R.M., and Moule, A.J. Sodium hypochlorite and its use as an
endodontic irrigant. Aust Dent J. 43(4) (August 1998): 250-6.
- (93) Wikipedia. Sodium hypochlorite [Online]. 2011. Available from:
http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_hypochlorite [2011, July 11]
- (94) Arunpraditkul, S., Saengsanon, S., and Pakviwat, W. Fracture resistance of
endodontically treated teeth: three walls versus four walls of remaining
coronal tooth structure. J Prosthodont. 18(1) (January 2009):49-53.
- (95) วงจันทร์ อิศสระพานิชกิจ, อมรา ม่วงมิ่งสุข. ความต้านทานต่อการแตกในแนวตั้งของราก
พื้นที่ได้รับการรักษารากเมื่อยึดด้วยเรซินซีเมนต์สองชนิด. วารสารทันตแพทยศาสตร์
52(1) (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2545): 2-9.
- (96) Goncalves, L.A., Vansan, L.P., Paulino, S.M., and Sousa Neto, M.D. Fracture
resistance of weakened roots restored with a transilluminating post and
adhesive restorative materials. J Prosthet Dent. 96(5) (November 2006):
339-44.
- (97) ลัดดาวัลย์ สัมพันธ์ศิริกุล, ผลของการเสริมผนังคลองรากฟันด้วยเรซินและการใช้เดือยชนิด
ต่างๆ ต่อความต้านทานการแตก ในการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคคลองรากฟันและมี
ผนังคลองรากส่วนต้นบาง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาทันตกรรม
ประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

- (98) Naumann, M., and others. Influence of test parameters on in vitro fracture resistance of post-endodontic restorations: a structured review. J Oral Rehabil. 36(4) (April 2009): 299-312.
- (99) Sorensen, J.A., and Martinoff, J.T. Clinical significant factors in dowel design. J Prosthet Dent. 52(1) (July 1984): 28-34.
- (100) Porciani, P.F., and others. Fracture resistance of fiber posts: combinations of several small posts vs. standardized single post. Am J Dent. 21(1) (December 2008): 373-6.
- (101) Magni, E., and others. Adhesion between fiber posts and resin luting agents: a microtensile bond strength test and an SEM investigation following different treatments of the post surface. J Adhes Dent. 9(2) (April 2007): 195-202.
- (102) Nam, S.H., Chang, H.S., Min, K.S., Lee, Y., Cho, H.W., and Bae, J.M. Effect of the number of residual walls on fracture resistances, failure patterns, and photoelasticity of simulated premolars restored with or without fiber-reinforced composite posts. J Endod. 36(2) (February 2010): 297-301.
- (103) Dilmener, F.T., Sipahi, C., and Dalkiz, M. Resistance of three new esthetic post-and-core systems to compressive loading. J Prosthet Dent. 95(2) (February 2006): 130-136.
- (104) สราลี อรรถชยะพิศุทธิ และ อิศราวัลย์ บุญศิริ. ความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมพอสิตหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมี. ใน รายงานการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 12, หน้า 949-57. ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554.
- (105) พิศเพลิน ชนาเทพากร, ดาราพร แซ่ลี่, ฉัตรวรินทร์ สวัสดิ์พาณิชย์ และ เอกพันธ์ กวียานนท์. การศึกษาเปรียบเทียบผลของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในอากาศต่อลักษณะพื้นผิวของหลักฟันไฟเบอร์. วิทยาศาสตร์ทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 13(1) (มกราคม-มิถุนายน 2553): 37-47.

- (106) Gelfand, M., Goldman, M., and Sunderman, E.J. Effect of complete veneer crowns on the compressive strength of endodontically treated posterior teeth. J Prosthet Dent. 52(5) (November 1984): 635-8.
- (107) Assif, D., Bitenski, A., Pilo, R., and Oren E. Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns. J Prosthet Dent. 69(1) (January 1993): 36-40.
- (108) Wiskott, H.W., Meyer, M., Perriard, J., and Scherrer, S.S. Rotational fatigue resistance of seven post types anchored on natural teeth. Dent Mater. 23(11) (November 2007): 1412-19.
- (109) Koriath, T.W. and Versluis, A. Modeling the mechanical behavior of the jaws and their related structures by finite element (FE) analysis. Crit Rev Oral BiolMed. 8(1) (January 1997): 90-104.
- (110) Kahn, F.H., Rosenberg, P.A., Schulman, A. and Pines, M. Comparison of fatigue for three prefabricated threaded post systems. J Prosthet Dent. 75(2) (February 1996): 148-53.
- (111) Scotti, N. and others. The effect of the post length and cusp coverage on the cycling and static load of endodontically treated maxillary premolars. Clin Oral Invest. 15(6) (December 2011): 923-9.
- (112) Linn, J., Messer, H.H. Effect of restorative procedures on the strength of endodontically treated molars. J Endod. 20(10) (October 1994): 479-85.
- (113) Asmussen, E., Peutzfeldt, A., and Sahafi, A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated teeth, Dowel-restored teeth. J Prosthet dent. 94(4) (October 2005): 321-9.

ภาคผนวก

ตารางที่ 3 ค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกของชิ้นตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม

	No Treatment (Control)	H ₂ O ₂			HF	NaOCl
		24% 10 min	30% 5 min	35% 5 min	5% 5 sec	10% 10 min
1	1221.03	1498.15	1256.54	1224.61	1365.22	1211.72
2	975.46	1188.98	1182.13	1193.86	1130.53	1078.97
3	1140.51	1505.85	1125.37	1153.04	1722.64	1348.59
4	1214.85	1222.75	1275.41	1362.11	1223.57	1205.03
5	1155.14	1424.00	1363.00	1194.77	1104.52	1053.82
6	1212.12	1103.04	1572.19	1491.35	1614.64	1220.62
7	1029.50	1307.77	1424.62	1277.36	1428.75	1475.75
8	1207.69	1279.01	1390.43	1164.98	1374.52	1150.98
9	963.19	1538.50	1589.97	1502.10	1505.78	1481.34
10	1260.82	1436.75	1476.43	1167.31	1254.20	1271.86

ตารางที่ 4 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

surface			load
control	N		10
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1138.0310
		Std. Deviation	109.18142
	Most Extreme Differences	Absolute	.238
		Positive	.140
		Negative	-.238
	Kolmogorov-Smirnov Z		.753
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.621
24 H2O2 10	N		10
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1350.4800
		Std. Deviation	150.81311
	Most Extreme Differences	Absolute	.187

		Positive	.111
		Negative	-.187
		Kolmogorov-Smirnov Z	.591
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.875
30 H2O2 5	N		10
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1365.6090
		Std. Deviation	156.63520
	Most Extreme Differences	Absolute	.118
		Positive	.118
		Negative	-.106
		Kolmogorov-Smirnov Z	.372
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.999
35 H2O2 5	N		10
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1273.1490
		Std. Deviation	133.36528
	Most Extreme Differences	Absolute	.242
		Positive	.242
		Negative	-.184
		Kolmogorov-Smirnov Z	.765
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.601
5 HF 5	N		10
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1372.4370
		Std. Deviation	202.41658
	Most Extreme Differences	Absolute	.120
		Positive	.120
		Negative	-.093
		Kolmogorov-Smirnov Z	.381
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.999
10 NaOCl 10	N		10
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	1249.8680
		Std. Deviation	147.78836
	Most Extreme Differences	Absolute	.178
		Positive	.178

	Negative	-137
Kolmogorov-Smirnov Z		.564
Asymp. Sig. (2-tailed)		.908

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of variance) ด้วยการ
ใช้การทดสอบแบบลีวี (Levene's test) ของข้อมูลค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกของชิ้น
ตัวอย่าง

Test of Homogeneity of Variances

load

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.786	5	54	.564

ตารางที่ 6 การทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกในชิ้นตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์
ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way ANOVA)

ANOVA

load

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	411442.439	5	82288.488	3.532	.008
Within Groups	1258199.380	54	23299.989		
Total	1669641.819	59			

ตารางที่ 7 การทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกในชั้นตัวอย่างด้วยการ
เปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni multiple comparison)

Multiple Comparisons

load

Bonferroni

(I) surface	(J) surface	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
control	24 H2O2 10	-212.44900 [*]	68.26418	.045	-422.1157	-2.7823
	30 H2O2 5	-227.57800 [*]	68.26418	.023	-437.2447	-17.9113
	35 H2O2 5	-135.11800	68.26418	.793	-344.7847	74.5487
	5 HF 5	-234.40600 [*]	68.26418	.017	-444.0727	-24.7393
	10 NaOCl 10	-111.83700	68.26418	1.000	-321.5037	97.8297
24 H2O2 10	control	212.44900 [*]	68.26418	.045	2.7823	422.1157
	30 H2O2 5	-15.12900	68.26418	1.000	-224.7957	194.5377
	35 H2O2 5	77.33100	68.26418	1.000	-132.3357	286.9977
	5 HF 5	-21.95700	68.26418	1.000	-231.6237	187.7097
	10 NaOCl 10	100.61200	68.26418	1.000	-109.0547	310.2787
30 H2O2 5	control	227.57800 [*]	68.26418	.023	17.9113	437.2447
	24 H2O2 10	15.12900	68.26418	1.000	-194.5377	224.7957
	35 H2O2 5	92.46000	68.26418	1.000	-117.2067	302.1267
	5 HF 5	-6.82800	68.26418	1.000	-216.4947	202.8387
	10 NaOCl 10	115.74100	68.26418	1.000	-93.9257	325.4077
35 H2O2 5	control	135.11800	68.26418	.793	-74.5487	344.7847
	24 H2O2 10	-77.33100	68.26418	1.000	-286.9977	132.3357
	30 H2O2 5	-92.46000	68.26418	1.000	-302.1267	117.2067
	5 HF 5	-99.28800	68.26418	1.000	-308.9547	110.3787
	10 NaOCl 10	23.28100	68.26418	1.000	-186.3857	232.9477
5 HF 5	control	234.40600 [*]	68.26418	.017	24.7393	444.0727
	24 H2O2 10	21.95700	68.26418	1.000	-187.7097	231.6237
	30 H2O2 5	6.82800	68.26418	1.000	-202.8387	216.4947
	35 H2O2 5	99.28800	68.26418	1.000	-110.3787	308.9547

	10 NaOCl 10	122.56900	68.26418	1.000	-87.0977	332.2357
10 NaOCl 10	control	111.83700	68.26418	1.000	-97.8297	321.5037
	24 H2O2 10	-100.61200	68.26418	1.000	-310.2787	109.0547
	30 H2O2 5	-115.74100	68.26418	1.000	-325.4077	93.9257
	35 H2O2 5	-23.28100	68.26418	1.000	-232.9477	186.3857
	5 HF 5	-122.56900	68.26418	1.000	-332.2357	87.0977

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุชาวดี หุตะสิงห์ เกิดที่กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปี พ.ศ. 2550 และเข้ารับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ประจำโรงพยาบาลชุมพวง อำเภอชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา สังกัดกระทรวงสาธารณสุข ระหว่าง พ.ศ. 2550-2552 และในปี 2552 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย