



การเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม
ชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวระหว่างระบบเรซีพรอบบลู เวฟวันโกลด์ และเอจวันไฟร์
ในคลองรากฟันค้ำ

COMPARATIVE STUDY ON THE SHAPING ABILITY OF RECIPROC BLUE, WAVEONE
GOLD AND EDGEONE FIRE RECIPROCATING NICKEL-TITANIUM SINGLE FILE

พนัสนันท์ สงวนวงศ์ทอง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2562

การเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม
ชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวระหว่างระบบเรซีพรอกบลู เวฟวันโกลด์ และเอดจ์
วันไฟร์
ในคลองรากฟันโค้ง



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

COMPARATIVE STUDY ON THE SHAPING ABILITY OF RECIPROC
BLUE, WAVEONE GOLD AND EDGEONE FIRE RECIPROCATING NICKEL-
TITANIUM SINGLE FILE SYSTEMS IN CURVED ROOT CANALS



PHANTHANAN SANGUANWONGTHONG

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF SCIENCE (Clinical Dentistry)
Faculty of Dentistry Srinakharinwirot University

2019

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม
ชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวระหว่างระบบเรซีพรอบบลู เวฟวันโกลด์ และเอดจ์วันไฟร์
ในคลองรากฟันโค้ง

ของ

พันธนันท์ สงวนวงศ์ทอง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.จารุมา ศักดิ์ดี)

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพ.วรรณธนะ
สัตตบรรณสุข)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทพญ.ชินาลย์ ปิยะชน)

ชื่อเรื่อง	การเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม ชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวระหว่างระบบเรซีพรอกบลู เวฟวันโกลด์และเอดจันไฟร์ ในคลองรากฟันโค้ง
ผู้วิจัย	พันธันท์ สงวนวงศ์ทอง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. จารุมา ศักดิ์ดี

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมรูปร่างคลองรากฟันโค้งด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว ระหว่างระบบเรซีพรอกบลู เวฟวันโกลด์ และเอดจันไฟร์ ทำการศึกษาในฟันมนุษย์ที่ถูกถอน คลองรากฟันมีความมุมความโค้ง 20-40 องศา มีความโค้ง 4-9 มิลลิเมตร จำนวน 45 คลองรากฟัน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คลองรากฟัน หลังขยายคลองรากฟันด้วยไฟล์ 3 ระบบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขยายคลองรากฟันศึกษาปัจจัยดังนี้ ระยะการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมของแต่ละระบบโดยใช้ภาพรังสีไมโคร-คอมพิวเตอร์ โทโมกราฟี (ไมโคร-ซีที) ร้อยละมุมความโค้งที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการเตรียมคลองรากฟันโดยภาพรังสีดิจิตอล และเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟัน วิเคราะห์ข้อมูลระยะการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมและร้อยละมุมความโค้งที่เปลี่ยนแปลงด้วยการทดสอบครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) และเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลศึกษาพบว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวทั้ง 3 ระบบ มีระยะการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมและระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยไฟล์ระบบเอดจันไฟร์มีร้อยละมุมความโค้งที่เปลี่ยนไปภายหลังการเตรียมคลองรากฟันมากกว่าระบบเวฟวันโกลด์อย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาสรุปได้ว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวทั้ง 3 ระบบมีประสิทธิภาพในการเตรียมคลองรากฟันโค้งได้ดีไม่แตกต่างกัน ใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันเฉลี่ย 72.1-74.4 วินาทีต่อคลองรากฟัน มีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมความโค้งของคลองรากฟันเล็กน้อย โดยระบบเอดจันไฟร์มีค่ามุมความโค้งลดลงมากกว่าระบบเวฟวันโกลด์

คำสำคัญ : การเตรียมคลองรากฟัน, เครื่องมือทันตกรรม, โลหะนิกเกิลไทเทเนียม

Title	COMPARATIVE STUDY ON THE SHAPING ABILITY OF RECIPROC BLUE, WAVEONE GOLD AND EDGEONE FIRE RECIPROCATING NICKEL-TITANIUM SINGLE FILE SYSTEMS IN CURVED ROOT CANALS
Author	PHANTHANAN SANGUANWONGTHONG
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Dr. Jaruma Sakdee

The purpose of this study was to compare the shaping ability of RECIPROC[®] *blue*, WaveOne[®] Gold and EdgeOne Fire[™] reciprocating nickel-titanium single file systems in curved root canals. A total of 45 root canals in extracted human teeth with angles of curvatures ranging from 20-40 degrees and radii ranging between 4-9 mm were divided into 3 groups (n = 15). The degree of canal transportation distances were evaluated using micro-computed tomography (micro-CT). The percentage of change of degree of canal curvature after root canal preparation was also evaluated using digital radiography. The overall preparation times were recorded. The degree of canal transportation distances and percentage of change of degree of canal curvature after canal preparation were analyzed statistically using the Kruskal–Wallis test. The preparation times were analyzed using One-Way ANOVA with a 95% confidence level. The results showed no statistically significant differences in the degree of canal transportation distances and preparation times between 3 groups. The EdgeOne Fire[™] system recorded a more statistically significant percentage of change in canal curvature than the WaveOne[®] Gold system. In conclusion, the 3 groups of reciprocating nickel-titanium single file systems showed favorable results in terms of the shaping ability of curved root canals. The mean preparation time was 72.1-74.4 seconds per canal. All groups produced only minor changes in canal curvature, while the EdgeOne Fire[™] system showed more of a decrease in the angle of canal curvature than the WaveOne[®] Gold system.

Keyword : Root canal preparation, Dental instruments, Nickel-titanium alloys

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสะดวกจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.ทพญ.จารุมา ศักดิ์ดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทพญ.ชินาลย์ ปิยะชน ที่กรุณาดูแล ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่างๆที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย รวมทั้งความเอาใจใส่ของอาจารย์ทำให้ผู้วิจัยสามารถแก้ไขปัญหา และอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการวิจัยให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำรวมทั้งสอบถามถึงปัญหาต่างๆในการทำงาน และผู้ช่วยคลินิกชั้น 10 ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพ.วรรณธนะ สัตตบรรณสุข ผู้กรุณาสละเวลามาเป็นประธานในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจทั้งในการเรียน การทำงานมาโดยเสมอ จนทำให้การทำวิจัยนี้สำเร็จสมความตั้งใจ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

พณันท์ สงวนวงศ์ทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
คำถามการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย	2
จุดมุ่งหมายของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดวิจัย.....	5
สมมติฐานการวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
ปัญหาของการขยายคลองรากฟัน.....	7
การวัดความโค้งของคลองรากฟัน	7
ระบบของเครื่องมือขยายคลองรากฟัน.....	10
การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง	11
การพัฒนาลักษณะโลหะของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง.....	14

ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอกบลู	18
ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเวฟวันโกลด์	19
ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเอดจ์วันไฟร์	19
วิธีการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดคลองรากฟัน	20
วิธีการศึกษาความสามารถในการเตรียมคลองรากฟัน	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	24
วัสดุและอุปกรณ์	24
การเลือกฟัน	24
การเตรียมฟัน	25
วิธีการเตรียมคลองรากฟันของไฟล์แต่ละระบบ	25
การประเมินผลความสามารถในการเตรียมคลองรากฟัน	27
การขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม (canal transportation)	27
ค่ามุมความโค้งคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไป (change in canal curvature)	28
ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟัน	28
การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	28
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	31
สรุปผลการวิจัย	31
อภิปรายผลการวิจัย	31
การขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม	33
มุมคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไป	36
ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟัน	39
ข้อเสนอแนะ	40

บรรณานุกรม	42
ประวัติผู้เขียน.....	50



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1	ระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนวเฉลี่ยทุกระดับของคลองรากฟัน.....	29
ตาราง 2	ค่าเฉลี่ยระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนวจำแนกตามระดับของผนังคลองรากฟัน ...	29
ตาราง 3	ร้อยละมุมความโค้งที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการเตรียมคลองรากฟัน	30
ตาราง 4	ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง	30



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย	5
ภาพประกอบ 2 การวัดระดับความโค้งของคลองรากฟันโดยวิธีของ Schneider(14)	8
ภาพประกอบ 3 การวัดมุมความโค้งและรัศมีความโค้งของคลองรากฟัน ด้วยวิธีของ Pruett และคณะ(15)	8
ภาพประกอบ 4 การวัดค่ามุมและรัศมีความโค้งด้วยวิธีของ Estrela และคณะ(16)	9
ภาพประกอบ 5 การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกโพลีนิคเกิลไทเทเนียม (26) ..	15
ภาพประกอบ 6 A หน้าตัดขวางรูปตัวเอสของไฟล์, B รูปไฟล์เรซีพรอบลู (39).....	18
ภาพประกอบ 7 A ไฟล์เวฟวันโกลด์, B หน้าตัดที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน (37)	19
ภาพประกอบ 8 A แสดงร้อยละความผายของไฟล์ที่ระดับต่างๆ, B ไฟล์ระบบเอดจ์วันไฟร์ที่มี ความยาวให้เลือกใช้ 3 ความยาว(38)	20
ภาพประกอบ 9 ภาพรังสีก่อนและหลังทำการขยายคลองรากฟัน a ภาพรังสีที่มีการฉีดเมตาเพกซ์ ลงไปในคลองรากฟันจนเต็ม, b ภาพรังสีแสดงเมตาเพกซ์ที่ยังหลงเหลืออยู่ภายหลังการขยาย คลองรากฟัน (41)	21
ภาพประกอบ 10 A ภาพจำลองจากไมโคร-ซีทีที่แสดงคลองรากฟันที่ยังไม่ถูกขยาย B คลองรากฟัน ที่หลังขยายคลองรากฟันแล้วโดยคำนวณจากสูตรคำนวณของ Gergi และคณะ(51)	27
ภาพประกอบ 11 สูตรคำนวณระยะทางการขยายคลองรากฟันผัดแนว	27
ภาพประกอบ 12 รูปหน้าตัดขวางของคลองรากฟันก่อนทำการขยายคลองรากฟัน (A-C), หลัง ขยายคลองรากฟัน (D-F) และภาพตัดขวางที่ทำการซ้อนทับระหว่างก่อนและหลังการขยายคลอง รากฟัน (G-I) ที่ระดับใกล้คอฟัน (A, D และ G), ระดับกลาง (B, E และ H) และระดับใกล้ปลาย รากฟันตามลำดับ (C, F และ I)	34
ภาพประกอบ 13 A การวัดมุมความโค้งคลองรากฟันก่อนการขยายคลองรากฟัน B หลังการขยาย คลองรากฟันด้วยวิธี Schneider(14)	37

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การเตรียมคลองรากฟันเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้การรักษาคลองรากฟันประสบความสำเร็จ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความสะอาดคลองรากฟัน และตกแต่งรูปร่างคลองรากฟัน ทำให้น้ำยาล้างคลองรากฟันและยาฆ่าเชื้อสามารถเข้าในคลองรากฟันได้อย่างทั่วถึง รูปร่างคลองรากฟันที่เหมาะสมจะทำให้การอุดคลองรากฟันมีประสิทธิภาพ(1) อย่างไรก็ตามการขยายคลองรากฟันที่มีลักษณะโค้งด้วยมือโดยใช้ไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel file) มักพบอุบัติการณ์การเกิดข้อผิดพลาดระหว่างเตรียมคลองรากฟัน Esposito และ Cunningham(2) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิม ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดใช้มือ (nickel–titanium hand file) และชนิดหมุนด้วยเครื่อง (nickel–titanium rotary file) ในการคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟัน ภายหลังการขยายคลองรากฟัน พบว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมทั้งชนิดใช้มือและชนิดหมุนด้วยเครื่องสามารถคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟันได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิมที่ขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 30 นอกจากนี้ Walia และคณะ(3) ทดสอบคุณสมบัติการดัดโค้ง (bending) และความต้านทานการหักจากการบิด (torsional fracture) ที่ระยะ 3 มิลลิเมตรจากปลายไฟล์ เปรียบเทียบระหว่างไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิมและไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดใช้มือนำขนาดเบอร์ 15 ผลการศึกษาพบว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมมีความยืดหยุ่น (flexibility) มากกว่าไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิม 2-3 เท่า รวมทั้งมีความต้านทานการหักจากการบิด ทั้งการบิดในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาที่ดีกว่าไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฟล์ที่ผลิตจากนิกเกิลไทเทเนียมเหมาะสมกับการใช้ในการเตรียมคลองรากฟันโค้ง

ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องมีการหมุนของเครื่องมือ 2 รูปแบบหลัก คือการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว (continuous rotation movement) และทิศทางหมุนไปกลับ (reciprocating motion) โดยในปัจจุบันมีการพัฒนาลักษณะโลหะ (metallurgical characteristics) ของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมโดยใช้เทคโนโลยีต่างๆ ในกระบวนการผลิตซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและสมบัติทางกลของไฟล์ให้ดีขึ้น สามารถคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟันได้ดีขึ้น ลดการดันเศษสกปรกออกนอกปลายรากฟันและใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่า ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องจึงเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ขยายคลองรากฟันโดยเฉพาะในคลองรากฟันที่โค้งซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดในการเตรียมคลองรากฟัน(4)

รูปแบบการหมุนของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องมือมีผลต่อความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบ (cyclic fatigue resistance) การศึกษาของ Pedulla และคณะ(5) พบว่าการหมุนของเครื่องมือในทิศทางหมุนไปกลับ (reciprocating movement) มีความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบสูงกว่าการหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการหมุนไปกลับในระยะทางสั้นๆ ทำให้ลดความเครียดที่เกิดกับเครื่องมือเป็นผลให้ยืดอายุการใช้งานได้(4) หลายการศึกษาพบว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับมีความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันที่ดี ไม่แตกต่างกับไฟล์ที่เคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว(6),(7) Mamede-Neto และคณะ(8) ประเมินจุดศูนย์กลางคลองรากฟันหลังการขยาย (canal centering) การขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม (canal transportation) ของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องทั้งหมด 6 ระบบ คือ ระบบเวฟวัน (WaveOne) ระบบเวฟวันโกลด์ (WaveOne Gold) ระบบเรซิพรอก (Reciproc) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับ และระบบโปรเทเปอร์เน็กซ์ (ProTaper Next) ระบบโปรเทเปอร์โกลด์ (ProTaper Gold) ระบบเอ็มทู (Mtwo) ระบบไบโอเรซ (BioRaCe) ระบบเรซ (RaCe) ซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวโดยใช้เครื่องมือไมโคร-ซีที (micro-CT) พบว่าการคงจุดกึ่งกลางของคลองรากฟันหลังการขยาย และโอกาสการขยายคลองรากฟันที่ผิดแนวระหว่างไฟล์ทั้ง 6 ระบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากคุณสมบัติที่ดีของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม รวมทั้งการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับที่สามารถลดความเสี่ยงในการแตกหักของไฟล์ โดยเฉพาะในคลองรากฟันโค้งที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดในการเตรียมคลองรากฟัน จึงเป็นที่มาของการศึกษาซึ่งสนใจทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมรูปร่างคลองรากฟัน (shaping ability) ของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับในคลองรากฟันที่มีความโค้ง

คำถามการวิจัย

การใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบต่างกันมีความสามารถในการเตรียมรูปร่างคลองรากฟันภายหลังการขยายคลองรากฟันโค้งแตกต่างกันหรือไม่

ความสำคัญของการวิจัย

จากข้อดีของการใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม ทำให้บริษัทผู้ผลิตและนักวิจัยพยายามพัฒนาลักษณะการออกแบบเครื่องมือ รูปแบบการหมุนของไฟล์ และลำดับการใช้เครื่องมือในการเตรียม

คลองรากฟันเป็นหลายระบบมากมายออกจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน แต่จากปัญหาของการใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว (continuous rotation movement) คือ มีความล้าจากการหมุนรอบ (cyclic fatigue) เมื่อหมุนในคลองรากฟันโค้ง โดยเฉพาะกรณีใช้ไฟล์ซ้ำหลายครั้ง ส่งผลให้มีความเสี่ยงที่จะแตกหักในคลองรากฟัน แนวทางพัฒนาเครื่องมือเพื่อแก้ปัญหาจึงพยายามผลิตไฟล์ที่ลักษณะดังต่อไปนี้

1. ระบบไฟล์ตัวเดียวในการขยายคลองรากฟัน (single file system) ทำให้สามารถลดระยะเวลาการทำงาน ใช้งานได้ง่าย และมีความคุ้มค่า (cost-effective) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไฟล์ระบบดั้งเดิมที่ต้องมีการใช้ไฟล์หลายขนาดในการเตรียมคลองรากฟัน นอกจากนี้การลดจำนวนไฟล์ทำให้ลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดที่สามารถเกิดในแต่ละครั้งที่ไฟล์ผ่านส่วนโค้งของคลองรากฟัน (9)

2. การออกแบบเพื่อใช้ครั้งเดียว (single-use) ทำให้ลดโอกาสการปนเปื้อนข้าม (cross contamination) ระหว่างผู้ป่วย ไฟล์มีความคมมีประสิทธิภาพในการตัดเนื้อฟันที่ดี และลดอุบัติเหตุหักของเครื่องมือเนื่องจากความล้าที่เกิดจากการใช้งานซ้ำหลายครั้ง (10)

3. การเคลื่อนที่ของไฟล์แบบหมุนไปกลับ ทำให้เพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือ และมีความต้านทานต่อการล้ามากกว่าเครื่องมือขยายคลองรากฟันแบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว (4)

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของไฟล์ระบบหมุนไปกลับยังอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย จึงยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน การศึกษานี้ทางคณะผู้ทำการวิจัยจึงสนใจทำการศึกษาไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับ ระบบเรซิพรอกบลู (RECIPROC® blue, VDW, Munich, Germany) ระบบเวฟวันโกลด์ (WaveOne® Gold, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) และระบบเอดจ์วันไฟร์ (EdgeOne Fire™, EdgeEndo, Albuquerque, NM, USA) ซึ่งเป็นไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับที่มีขายในประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขยายคลองรากฟัน และลดอัตราความล้มเหลวของการรักษาคคลองรากฟัน

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเตรียมรูปร่างคลองรากฟันโค้งด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซิพรอกบลู ระบบเวฟวันโกลด์ และระบบเอดจ์วันไฟร์

ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการโดยจำลองสถานการณ์การใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอบลู ระบบเวฟวันโกลด์ และระบบเอเดจวันไฟร์ ในการขยายคลองรากฟันค้ำ

ตัวแปรที่ศึกษา

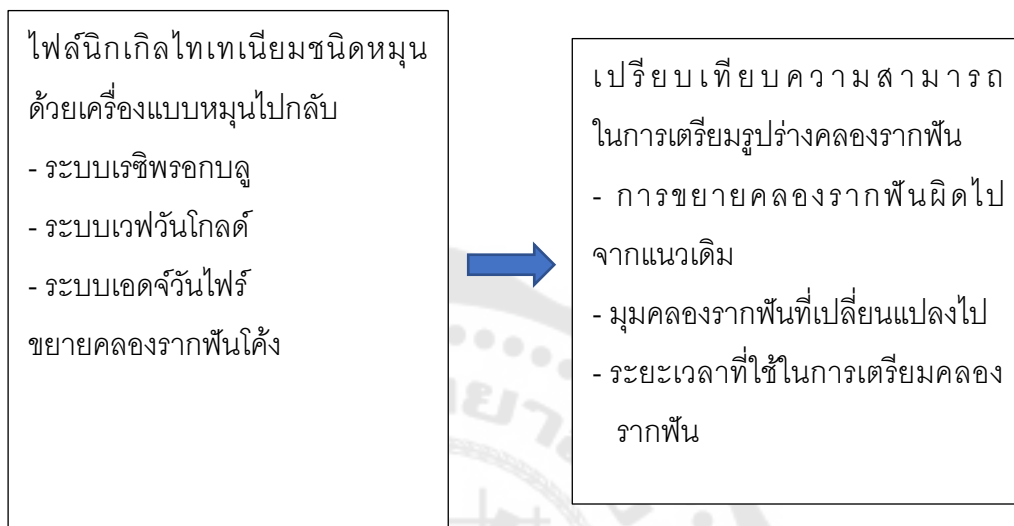
1. ตัวแปรต้น ได้แก่ ระบบของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับ
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ระยะการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม มุมความโค้งของคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไป ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟัน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง (nickel–titanium rotary file) หมายถึงไฟล์ที่ผลิตจากโลหะผสมนิกเกิลและโลหะไทเทเนียม ที่มีการหมุนของเครื่องมือโดยเครื่องกล
2. ไมโคร-คอมพิวเตอร์ โทโมกราฟี หรือ ไมโคร-ซีที (micro-computed tomography, micro-CT) หมายถึง เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร โดยให้ข้อมูลหลังการสแกนชิ้นงานขนาดเล็กออกมาเป็นภาพ 3 มิติ
3. การเคลื่อนที่แบบหมุนไปกลับ (reciprocating motion) หมายถึง การหมุนของไฟล์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาสลับกับทิศทางทวนเข็มนาฬิกา สลับไปกลับอย่างต่อเนื่อง
4. การเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว (continuous rotation movement) หมายถึง การหมุนรอบของไฟล์ทิศทางตามเข็มนาฬิกาในทิศทางเดียว
5. ระบบไฟล์ตัวเดียว (single file system) หมายถึง ระบบไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ใช้เพียงตัวเดียวในการเตรียมคลองรากฟัน
6. การขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม (canal transportation) หมายถึง การเบี่ยงเบนของคลองรากฟันจากแนวเดิมของคลองรากฟัน เกิดขึ้นจากการเตรียมคลองรากฟันที่ไม่มีประสิทธิภาพ
7. ระยะทางการขยายคลองรากฟันผิดแนว (degree of canal transportation)
8. ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการคงแนวศูนย์กลางคลองรากฟัน (mean centering ratio)
9. ค่ามุมความโค้ง (angle of curvature)
10. มุมคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไป (change in canal curvature)
11. ความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบ (cyclic fatigue resistance)

12. ความต้านทานการโค้งงอ (bending resistance)

กรอบแนวคิดวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1.สมมติฐานหลัก : ระยะทางการขยายคลองรากฟันผิดแนวภายหลังการขยายคลองรากฟันด้วยฟิสิกส์กึ่งไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอกบลูเวฟวันโกลด์ และเอดจันไฟร์ ไม่มีความแตกต่างกัน

สมมติฐานรอง : ระยะทางการขยายคลองรากฟันผิดแนวภายหลังการขยายคลองรากฟันด้วยฟิสิกส์กึ่งไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอกบลูเวฟวันโกลด์ และเอดจันไฟร์ มีความแตกต่างกัน

2. สมมติฐานหลัก : มุมความโค้งคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขยายคลองรากฟันด้วยฟิสิกส์กึ่งไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอกบลูเวฟวันโกลด์ และเอดจันไฟร์ ไม่มีความแตกต่างกัน

สมมติฐานรอง : มุมความโค้งคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการขยายคลองรากฟันด้วยฟิสิกส์กึ่งไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอกบลูเวฟวันโกลด์ และเอดจันไฟร์ มีความแตกต่างกัน

3. สมมติฐานหลัก : ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟลีนิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอกบลู เวฟวันโกลด์ และเอดจ์วันไฟร์ ไม่มีความแตกต่างกัน

สมมติฐานรอง : ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟลีนิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอกบลู เวฟวันโกลด์ และเอดจ์วันไฟร์ มีความแตกต่างกัน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาของการขยายคลองรากฟัน

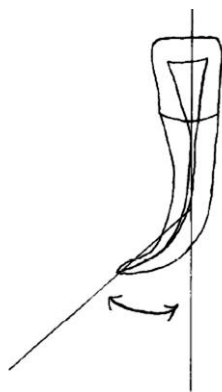
การเตรียมคลองรากฟันเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของการรักษารากฟัน เป็นขั้นตอนที่กำหนดแบคทีเรีย และผลิตภัณฑ์ของแบคทีเรีย โดยมีเป้าหมายสำคัญ คือป้องกันการเกิดรอยโรครอบปลายรากฟัน และส่งเสริมให้เกิดการหายในกรณีที่มีรอยโรคปลายรากฟันอยู่แล้ว ในการเตรียมคลองรากฟันด้วยวิธีทางกล (mechanical preparation) ประกอบไปด้วยการกำจัดเนื้อเยื่อที่มีชีวิตหรือตายแล้วจากคลองรากฟันหลัก เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอให้น้ำยาล้างคลองรากฟัน และยาที่ใส่ในคลองรากฟันสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพ โดยยังคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟัน รมั้ดระวังไม่ให้เกิดความผิดพลาดที่ทำลายโครงสร้างของรากฟัน และรักษาเนื้อฟันส่วนที่ดีของรากที่มีผลต่อการคงอยู่ของฟันในระยะยาว(11)

อย่างไรก็ตามการขยายคลองรากฟันถือเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่ยากที่สุดในการรักษารากฟัน เนื่องจากลักษณะกายวิภาคของคลองรากฟัน เช่น ส่วนคอด (isthmus) ครีบ (fin) ผนังขรุขระของคลองรากฟัน (canal irregularities) ซึ่งเป็นบริเวณที่เครื่องมือไม่สามารถเข้าไปทำงานได้ จึงมีบริเวณพื้นผิวที่ไม่ถูกทำความสะอาดซึ่งอาจมีการสะสมของเศษเนื้อเยื่อแข็ง (hard-tissue debris) (12) ในคลองรากฟันที่มีความโค้ง ระหว่างการเตรียมคลองรากฟันมีแนวโน้มที่เนื้อฟันจะถูกกำจัดออกไม่เท่ากันตลอดคลองรากฟัน เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการขยายคลองรากฟันถูกผลิตขึ้นมาในลักษณะตรง เมื่อใส่เครื่องมือในคลองรากฟันโค้ง มีแนวโน้มที่เครื่องมือจะติดตัวกลับมาอยู่แนวตรงภายในคลองรากฟัน จึงมีความเสี่ยงที่จะตัดผนังคลองรากฟันด้านนอกส่วนโค้งและส่วนใกล้ง่ามรากฟันในฟันหลายรากออกมากเกินไป(1) นอกจากนั้นขณะทำการขยายคลองรากฟันในคลองรากที่มีความโค้งก็เสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดที่เกิดจากทันตแพทย์ (iatrogenic errors) เช่น การเกิดชั้น (ledge) รอยทะลุชิป (zip) รูทะลุ (perforation) และคลองรากฟันเบี่ยงเบน(13)

การวัดความโค้งของคลองรากฟัน

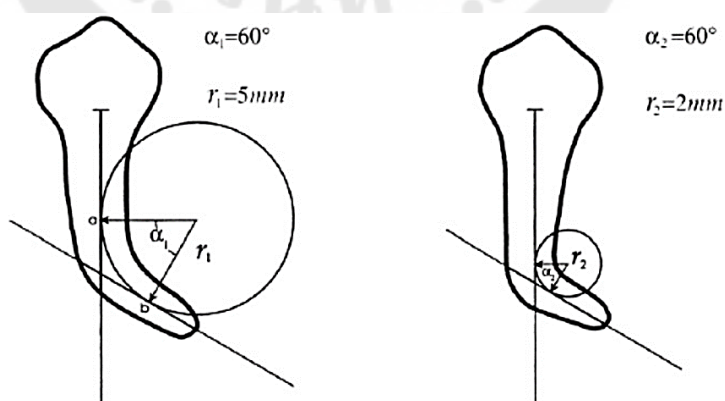
มีหลายเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเพื่อประเมินลักษณะความโค้งของคลองรากฟัน วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ การวัดค่ามุมความโค้งของคลองรากฟันด้วยวิธีของ Schneider (14) ทำโดยการลากเส้นสมมติเส้นที่หนึ่งขนานกับแนวแกนฟัน (long axis) และเส้นที่สองลากจากรูปลายรากฟัน (apical foramen) ผ่านจุดที่คลองรากฟันเริ่มมีการเบี่ยงเบนออกจากเส้นที่หนึ่ง ค่ามุมความโค้ง (angle of curvature) ของคลองรากฟันคือมุมที่เกิดจากเส้นทั้งสองตัดกัน มุมที่ได้จะนำมาจำแนก

ระดับความโค้งของคลองรากฟันออกเป็น คลองรากฟันตรง (โค้ง 5 องศาหรือน้อยกว่า) คลองรากฟันโค้งปานกลาง (โค้ง 10-20 องศา) คลองรากฟันโค้งมาก (25-70 องศา)



ภาพประกอบ 2 การวัดระดับความโค้งของคลองรากฟันโดยวิธีของ Schneider(14)

Pruett และคณะ(15) จำแนกระดับความโค้งของคลองรากฟันโดยประเมินจากค่ามุมความโค้งและรัศมีความโค้ง โดยลากเส้นสมมติขนานคลองรากฟันผ่านแนวแกนคลองรากฟันส่วนใกล้ตัวฟัน (coronal axis) ตัดกับเส้นสมมติที่ลากผ่านแนวแกนคลองรากฟันส่วนใกล้ปลายฟัน (apical axis) จากนั้นวาดวงกลมที่มีจุดสัมผัสกับจุดที่คลองรากฟันแยกออกจากเส้นสมมติทั้งสองเส้น โดยรัศมีความโค้งของคลองรากฟันคือรัศมีของวงกลม และมุมของคลองรากฟันคือมุมที่เกิดจากรัศมีความโค้งทั้งสองเส้น

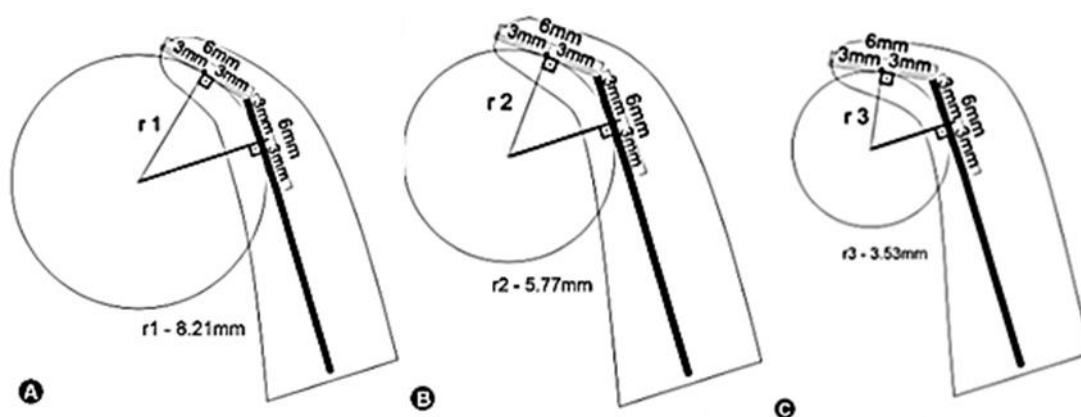


ภาพประกอบ 3 การวัดมุมความโค้งและรัศมีความโค้งของคลองรากฟัน
ด้วยวิธีของ Pruet และคณะ(15)

จุด a และ b คือจุดที่คลองรากฟันแยกออกจากเส้นแนวคลองรากฟันทั้งสองเส้น เมื่อวาดวงกลมผ่านทั้งสองจุดนี้ รัศมีของวงกลมที่ลากผ่านจุด a และ b คือรัศมีความโค้ง (r_1, r_2) และมุม α_1, α_2 คือค่ามุมความโค้งของคลองรากฟัน เมื่อเปรียบเทียบค่ามุม α_1 และ α_2 พบว่ามีค่า 60 องศาเท่ากัน แต่ต่างกันที่รัศมีความโค้ง

โดยคลองรากฟันที่มีรัศมีความโค้งสั้นจะพบว่ามีารโค้งแบบฉับพลัน (abrupt curve) มากกว่าคลองรากฟันที่มีรัศมีความโค้งยาวกว่า ซึ่งเสี่ยงต่อการหักของเครื่องมือในคลองรากฟันมากขึ้น(15)

Estrela และคณะ(16) เสนอวิธีวัดค่ามุมความโค้ง และรัศมีความโค้งคลองรากฟันด้วยเครื่องโคน-บีม คอมพิวเตอร์ โทโมกราฟี หรือ โคน-บีมซีที (cone-beam computed tomography ; cone-beam CT)



ภาพประกอบ 4 การวัดค่ามุมและรัศมีความโค้งด้วยวิธีของ Estrela และคณะ(16)

เส้นแรกเป็นตัวแทนของคลองรากฟันส่วนใกล้ปลายราก (apical third) เส้นที่สองคือตัวแทนของคลองรากฟันส่วนกลางและส่วนใกล้คอฟัน (middle and cervical thirds) ลากแต่ละเส้นให้ได้ความยาว 6 มิลลิเมตร จากนั้นหาจุดกึ่งกลางของแต่ละเส้นและวาดวงกลมผ่านเส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางวงกลมมาตั้งฉากกับจุดกึ่งกลางของเส้นตรงคือรัศมีความโค้งของคลองรากฟัน จำแนกระดับความโค้งโดย คลองรากฟันโค้งมาก (รัศมีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิเมตร) คลองรากฟันโค้งปานกลาง (รัศมีมากกว่า 4 มิลลิเมตร แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 มิลลิเมตร) คลองรากฟันโค้งน้อย (รัศมีมากกว่า 8 มิลลิเมตร)(16)

นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นที่ใช้ประเมินความโค้งของคลองรากฟัน (17, 18) ซึ่งอาจมีตำแหน่งเดียวหรือหลายตำแหน่ง อย่างไรก็ตามความโค้งของคลองรากฟันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเตรียมคลองรากฟันและผลลัพธ์ของการรักษาคคลองรากฟัน

ระบบของเครื่องมือขยายคลองรากฟัน

ในปัจจุบันไพล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องมือการหมุนของเครื่องมือ 2 รูปแบบหลัก คือ การเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว (continuous rotation movement) และในทิศทางหมุนไปกลับ (reciprocating motion) โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในทิศทางหมุนไปกลับประกอบด้วย การเคลื่อนที่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ทิศทางการตัด) และตามเข็มนาฬิกา (คลายเครื่องมือ) ซึ่งมุมของเครื่องมือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะมากกว่าทิศทางตามเข็มนาฬิกาเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ลงไปในคลองรากฟันได้อย่างต่อเนื่อง และการออกแบบมุมของไพล์ในแต่ละระบบจะมีลักษณะเฉพาะตามโปรแกรมของเครื่องขยายคลองรากฟันตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ(19) อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับนี้พัฒนามาจากเทคนิคการขยายคลองรากฟันแบบบาลานซ์ฟอซ (Balanced force technique) ซึ่งเหมาะสมต่อการขยายในคลองรากฟันที่โค้ง(20) ทำให้เพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือขยายคลองรากฟันในทิศทางหมุนไปกลับ และเพิ่มความต้านทานต่อการล้ามากกว่าเครื่องมือขยายคลองรากฟันแบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว (continuous rotation movement) เนื่องจากการหมุนไปกลับในระยะทางสั้นๆทำให้ลดความเครียดที่เกิดกับเครื่องมือเป็นผลทำให้ยืดอายุการใช้งานได้มากขึ้น(4)

ในปี 2008 บริษัทเดนทาสพลาย (DENTSPLY) ได้เริ่มคิดค้นไพล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบไพล์ตัวเดียวในการเตรียมคลองรากฟัน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความเสี่ยงจากการใช้งานหลายครั้ง ปลอดภัย รวมทั้งทิศทางเคลื่อนที่ของไพล์ที่เอกลักษณ์เฉพาะตัวในการหมุนไปกลับเป็นมุมไม่เท่ากัน โดยในปี 2010 บริษัทวีดีดับเบิลยู (VDW) ผลิตไพล์ระบบเรซิพรอกออกมาสู่ท้องตลาด และต่อมาบริษัทเดนทาสพลายผลิตไพล์ระบบเวฟวันในปี 2011 ซึ่งไพล์ทั้ง 2 ระบบมีการใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพ มีความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไพล์มีอรวมทั้งลดระยะเวลาในการทำงานและค่าใช้จ่าย โดยพบว่าไพล์แบบหมุนไปกลับนอกจากจะมีความต้านทานการแตกหักดีกว่าไพล์แบบเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวแล้ว ยังสามารถกำจัดเศษเนื้อฟันและแบคทีเรียได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับไพล์แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวอีกด้วย ที่สำคัญคือการออกแบบให้ใช้ครั้งเดียว ไม่สามารถถอดเข้าเพื่อให้นำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงสามารถลดความเสี่ยงในการแตกหักทั้งเนื่องจากความล้าหรือการหักจากการบิด (torsional failure) รวมทั้ง

ลดโอกาสปนเปื้อนข้าม(21) จะเห็นว่าข้อดีต่างๆของระบบไฟล์แบบหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว รวมทั้งในปัจจุบันมีการพัฒนาโลหะของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมมากขึ้น ส่งผลเพิ่มสมบัติทางกลของไฟล์มากขึ้น ไฟล์แบบหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวอาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการเลือกใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษารากฟัน โดยเฉพาะในคลองรากโค้งที่มีความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการรักษา(10)

นอกจากนี้ยังมีการเคลื่อนที่ของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบอะแดปทีฟ (adaptive motion) คือมีการเคลื่อนที่ร่วมกันทั้งแบบหมุนแบบต่อเนื่องทิศทางเดียว และหมุนไปกลับ โดยปัจจุบันมีการเคลื่อนที่แบบอะแดปทีฟนี้ในไฟล์ระบบทีเอฟอะแดปทีฟ (TF™ adaptive ; Twisted File Adaptive system) คือ เมื่อไฟล์มีแรงต้านเพียงเล็กน้อยในคลองรากฟัน จะมีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวตามเข็มนาฬิกา แต่เมื่อไฟล์มีแรงต้านที่มากขึ้น หรือมีส่วนของไฟล์ขั้วเกลียวเข้ากับเนื้อฟันในคลองรากฟัน จะปรับการเคลื่อนที่เป็นแบบทิศทางหมุนไปกลับ โดยหมุนตามเข็มนาฬิกา 370 องศา และทวนเข็มนาฬิกา 50 องศา การเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาจะมีหน้าที่เคลื่อนเข้าไปในคลองรากฟันและตัดเนื้อฟัน ส่วนการเคลื่อนที่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะช่วยลดความเสี่ยงในการหักของไฟล์เนื่องจากความเครียดที่เกิดจากการบิดของเครื่องมือ (torsional stress)(22)

การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง ความต้านทานต่อการล้า

การศึกษาของ Pedulla และคณะ(5) นำไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง 4 ระบบคือ เรซิพรอก อาร์ 25, เวฟวัน ไพรแมรี, เอ็มทู และทวิซท์ไฟล์ (Twisted File) มาทดสอบความต้านทานความล้าต่อการโค้งงอ (flexural fatigue) เมื่อขยายในคลองรากฟันที่โค้ง 60 องศา รัศมีความโค้ง 5 มิลลิเมตร โดยแต่ละระบบจะแบ่งลักษณะการหมุนของเครื่องมือเป็น 3 กลุ่ม คือ แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว, แบบหมุนไปกลับรูปแบบเรซิพรอกออกอล (RECIPROC ALL mode) ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 150 องศา และทิศทางตามเข็มนาฬิกา 30 องศา ที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที และกลุ่มสุดท้ายแบบหมุนไปกลับรูปแบบเวฟวันออกอล (WAVEONE ALL mode) ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 170 องศา และทิศทางตามเข็มนาฬิกา 50 องศา ที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาที ผลที่ได้พบว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องทั้ง 4 ระบบ มีความต้านทานความล้าต่อการโค้งงอสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้การหมุนของเครื่องมือในทิศทางหมุนไปกลับทั้ง 2 รูปแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับ การหมุน

เครื่องมือต่อเนื่องทิศทางเดียว โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างรูปแบบเรขาคณิตของรูปร่างและเวฟฟันออก

Gambarini และคณะ(23) ประเมินความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบทวิซท์ไฟล์ ขนาด 25 ความยาว 0.08 โดยใช้การหมุนของเครื่องมือแบบหมุนไปกลับ ในคลองรากฟันจำลอง (simulated root canal) ที่มีค่ามุมความโค้ง 60 องศา รัศมีความโค้ง 3 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มเครื่องมือหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว กลุ่มเครื่องมือแบบหมุนไปกลับทิศทางตามเข็มนาฬิกา 150 องศา/ทวนเข็มนาฬิกา 30 องศา และกลุ่มเครื่องมือแบบหมุนไปกลับทิศทางตามเข็มนาฬิกา 30 องศา/ทวนเข็มนาฬิกา 150 องศา ผลที่ได้พบว่ากลุ่มเครื่องมือแบบหมุนไปกลับสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือก่อนจะเกิดความล้า (cyclic fatigue life) ได้ยาวนานมากกว่าการหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มเครื่องมือหมุนไปกลับที่องศาการหมุนต่างกัน แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของเครื่องมือมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของทวิซท์ไฟล์ อย่างไรก็ตามลักษณะของเกลียว (flute) ที่ออกแบบมีลักษณะเฉพาะต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ของไฟล์ตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ อาจมีผลต่อบัจจัยอื่น เช่น ความสามารถในการตัด การกำจัดเศษ และแนวโน้มในการเคลื่อนที่เข้าไปในคลองรากฟัน

ประสิทธิภาพในการทำความสะดวกคลองรากฟัน

Robinson และคณะ(24) ศึกษาประสิทธิภาพไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว เปรียบเทียบกับไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวระบบไฟล์หลายตัว ในการกำจัดเศษอนินทรีย์ (inorganic debris) ในรากใกล้กลางของฟันกรามล่างแท้ โดยใช้การประเมินผ่านเครื่องไมโคร-ซีที ผลที่ได้พบว่าระบบไฟล์ตัวเดียวมีการสะสมของเศษบริเวณส่วนคอดคลองรากฟันมากกว่าระบบไฟล์หลายตัวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากทิศทางการเคลื่อนที่ของระบบไฟล์ตัวเดียวมีการหมุนไปกลับ ทุกครั้งที่ไฟล์หมุนกลับอาจทำให้เกิดการกดอัดเศษเข้าไปสู่บริเวณส่วนคอดของคลองรากฟัน ขณะที่ระบบไฟล์หลายตัวมีทิศทางการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องไปข้างหน้า เศษที่เกิดระหว่างการเตรียมคลองรากฟันจึงถูกผลักออกด้านบนเกลียวของไฟล์ได้อย่างต่อเนื่อง ผู้ทำการศึกษาจึงแนะนำว่าหากมีการเตรียมคลองรากฟันในคลองรากที่มีส่วนคอด และผนังคลองรากฟันที่ขรุขระ (canal irregularities) อาจแนะนำให้ใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวระบบไฟล์หลายตัว เนื่องจากสามารถทำความสะอาดได้ดี และพบการสะสมของเศษน้อยกว่า

ในทางกลับกัน Burklein และคณะ(19) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเตรียมรูปร่างคลองรากฟัน และการทำความสะอาดในคลองรากฟันที่มีระดับความโค้งมากด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบทิศทางหมุนไปกลับ ได้แก่ ระบบเรซิพรอก และระบบเวฟวัน และแบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว ได้แก่ ระบบเอ็มทู และระบบโปรเทเปอร์ (Protaper) ในคลองรากฟันที่มีระดับความโค้งในช่วง 25-39 องศา หลังจากการขยายคลองรากฟันพบว่าทุกกลุ่มตัวอย่างไม่มีการหักของไฟล์ และสามารถคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยระบบเอ็มทูและระบบเรซิพรอกสามารถกำจัดเศษ (debris) ในส่วนปลาย 1/3 ของคลองรากฟันได้ดีกว่าระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อปริมาณเศษที่เหลืออยู่ทั้งคลองรากฟันพบว่าระบบโปรเทเปอร์ ที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนทิศทางเดียวพบปริมาณเศษที่เหลืออยู่หลังการเตรียมคลองรากฟันมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น

ในปัจจุบันยังมีการถกเถียงและไม่มีข้อสรุปชัดเจนถึงผลการศึกษเกี่ยวกับความสามารถในการทำความสะอาดคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมในแต่ละระบบเนื่องจากในแต่ละการศึกษามีระเบียบและวิธีการทดลองที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณ เทคนิค และระยะเวลาที่ใช้ในการล้างคลองรากฟัน รวมทั้งกายวิภาคของคลองรากฟันที่มีความหลากหลาย ทำให้ยากที่จะนำผลของแต่ละการศึกษามาเปรียบเทียบกันและสรุปผลได้อย่างชัดเจนว่าไฟล์ระบบใดมีปริมาณเศษสะสมหลังเตรียมคลองรากฟัน และสามารถทำความสะอาดคลองรากฟันได้ดีกว่า

ความสามารถในการเตรียมคลองรากฟัน

Hoppe และคณะ(6) พบว่าไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว ใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันน้อยกว่า แต่เมื่อประเมินประสิทธิภาพการขยายคลองรากฟัน ในแง่การคงจุดกึ่งกลางของคลองรากฟันหลังการขยาย และการขยายคลองรากฟันที่ผิดแนว ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มตัวอย่างคือ กลุ่มที่ 1 การเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว (ระบบโปรเทเปอร์ ยูนิเวอร์ซอล) กลุ่มที่ 2 การเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว (ระบบเวฟวัน) และกลุ่มที่ 3 คือไฮบริดเทคนิค (hybrid technique) ประกอบด้วยการขยายคลองรากฟันส่วนต้นด้วย เอสเอ็กซ์ ไฟล์ (SX file) ของระบบโปรเทเปอร์ ยูนิเวอร์ซอล จากนั้นทำการขยายคลองรากฟันต่อด้วยไฟล์ระบบเวฟวัน ผลที่ได้พบว่าไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว ใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว และไฮบริดเทคนิค อย่างไรก็ตาม

ตามไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของประสิทธิภาพการขยายคลองรากฟันและความสามารถในการทำความสะอาดคลองรากฟัน

สอดคล้องกับการศึกษาของ You และคณะ(7) เมื่อประเมินความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันโค้ง 20-45 องศา ผ่านเครื่องมือโคร-ซีที โดยใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบโปรเทเปอร์เปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวและหมุนไปกลับ ผลการศึกษาพบว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาตรของคลองรากฟัน พื้นที่ผิว ความโค้งของคลองรากฟัน และการขยายคลองรากฟันที่ผิดไปจากแนวเดิม ระหว่างก่อนและหลังการเตรียมคลองรากฟัน

แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวและทิศทางหมุนไปกลับอาจมีความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับมีความต้านทานความล้าต่อการโค้งงอสูงกว่า(5) และสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือก่อนจะเกิดความล้าได้ยาวนานมากกว่าการหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวอย่างมีนัยสำคัญ(23) ดังนั้นการเลือกใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องมือที่มีทิศทางเคลื่อนที่ที่หมุนไปกลับอาจเป็นทางเลือกที่ดีที่อาจช่วยลดความเสี่ยงในการแตกหักของไฟล์ รวมทั้งสามารถป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดในระหว่างการเตรียมคลองรากฟันได้ โดยเฉพาะในคลองรากฟันโค้ง

การพัฒนาลักษณะโลหะของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง

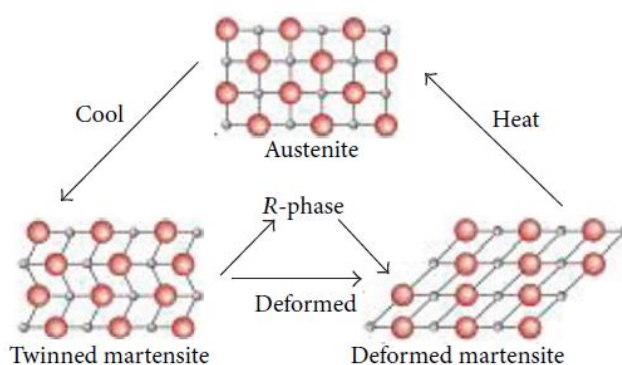
โลหะนิกเกิลไทเทเนียมมีคุณสมบัติในการจดจำรูป (shape memory) เมื่อเปลี่ยนแปลงรูปร่างสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมเมื่อได้รับความร้อน และคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวด (superelasticity) คือความสามารถในการทนแรงปริมาณมากที่ทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและวัสดุยังคงรูปร่างเดิมได้ โดยไม่ทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ซึ่งเกิดจากความสามารถในการผันไปกลับระหว่างโครงสร้างผลึกออสเทนไนต์ (austenite) และมาร์เทนไซต์ (martensite) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ขณะใช้งานทางคลินิก เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนรูป (transformation temperature range ; TTR) ต่ำกว่าอุณหภูมิในปาก โดยอุณหภูมิเปลี่ยนรูปของโลหะนิกเกิลไทเทเนียมมีอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น ส่วนประกอบทางเคมี วิธีการผลิต และการอบชุบความร้อน (heat treatment)(25)

ในปัจจุบันมีการนำกระบวนการความร้อน (thermal treatment) เพื่อปรับปรุงสมบัติของโลหะนิกเกิลไทเทเนียมหวังผลให้มีประสิทธิภาพการใช้งานของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมที่ดีขึ้น ซึ่งค่อนข้างประสบความสำเร็จ เนื่องจากสามารถเพิ่มสมบัติทางกล เช่น ความต้านทานต่อการล้า

ความยืดหยุ่น ประสิทธิภาพในการตัด และความสามารถของไฟล์ในการคงอยู่กึ่งกลางคลองรากฟัน โดยมีบริษัทผู้ผลิตนำเสนอไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการความร้อนในการเพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ อาร์-เฟส (R-phase) เอ็มไวร์ (M wire) และซีเอ็มไวร์ (CM Wire) ทำให้โครงสร้างระดับจุลภาค (microstructure) และพฤติกรรมของโลหะนิกเกิลไทเทเนียมมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลที่ดียิ่งขึ้น(4)

อาร์-เฟส

การผันไปกลับระหว่างโครงสร้างผลึกระหว่างออสเทนไนต์กับมาร์เทนไซต์ เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะใช้งานของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม โดยระหว่างโครงสร้างผลึก twinned martensite และ detwinned martensite จะเกิดโครงสร้างตรงกลางที่เรียกว่าอาร์-เฟส ซึ่งค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของอาร์-เฟสจะต่ำกว่ามาร์เทนไซต์ ทำให้เครื่องมือที่มีโครงสร้างผลึกอาร์-เฟส มีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นมากกว่า (25)



ภาพประกอบ 5 การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม (26)

ตัวอย่างของไฟล์ที่พัฒนาด้วยเทคนิคอาร์-เฟส ได้แก่ ทวิตซ์ไฟล์ (TwistFile, SybronEndo, Orange, CA) ผลิตจากการนำโลหะนิกเกิลไทเทเนียมที่อยู่ในโครงสร้างผลึกออสเทนไนต์ เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในโครงสร้างผลึกอาร์-เฟส ซึ่งโลหะนิกเกิลไทเทเนียมจะสามารถบิดเกลียวเป็นรูปร่างที่ต้องการได้ โดยผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวลง หลังจากเครื่องมืออยู่ในรูปร่างที่ต้องการแล้วจึงให้ความร้อนแก่เครื่องมืออีกครั้งเพื่อให้มีการจัดเรียงโครงสร้างผลึกกลับสู่โครงสร้างออสเทนไนต์ซึ่งมีคุณสมบัติในการจดจำรูป ดังนั้นโครงสร้างผลึกที่ได้จากเทคนิคอาร์-เฟสจึงมีความยืดหยุ่นสูงและเพิ่มความต้านทานต่อความล้าได้มากขึ้น(27)

เอ็มไวร์

บริษัทเดนทิสพลายแนะนำเทคนิคเอ็มไวร์ในปี ค.ศ. 2007(28) โดยการใช้ความร้อนมาปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะนิกเกิลไทเทเนียม ทำให้เพิ่มความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบได้ดีมากขึ้นและมีความยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิม เนื่องจากกระบวนการความร้อนเข้าไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระดับจุลภาค (microstructure) ของโลหะนิกเกิลไทเทเนียม(29) ไฟล์ที่ผลิตโดยเทคนิคเอ็มไวร์ เช่น เอ็มทู โปรไฟล์ จีทีซีรีส์ (GT series) โปรไฟล์วอร์เท็กซ์ (ProFile Vortex) วอร์เท็กซ์บลู (Vortex Blue) เรซิพรอก และเวฟวัน(30)

Al-Hadlaq และคณะ(31) พบว่าไฟล์ที่ผ่านการพัฒนาโลหะด้วยเทคนิคเอ็มไวร์มีความต้านทานความล้าต่อการโค้งงอดีกว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิมที่มีขนาดและการออกแบบรูปร่างไฟล์ใกล้เคียงกัน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบจีทีซีรีส์เอกซ์ (GT series X : Dentsply Tulsa Dental Specialties) ซึ่งเป็นไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมเอ็มไวร์ กับจีที (GT) และโปรไฟล์ ซึ่งเป็นไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิม ผลที่ได้พบว่าจีที ซีรีส์เอกซ์ ขนาด 30 ความยาว 0.04 มีความต้านทานความล้าต่อการโค้งงอสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับจีที และโปรไฟล์ ที่ขนาดเท่ากัน

ซีเอ็มไวร์

ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิมจะมีโครงสร้างอสเทโนไนต์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิในช่องปาก แต่การพัฒนาของซีเอ็มไวร์ ทำให้มีโครงสร้างผสมผสานระหว่างทั้งมาร์เทนไซต์และอสเทโนไนต์ที่อุณหภูมิห้อง โดยจะมีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์มากกว่า ทำให้ไฟล์สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโค้งงอได้ แต่จะไม่มีคุณสมบัติเมื่อเปลี่ยนแปลงรูปร่างแล้วสามารถกลับสู่รูปร่างเดิมเมื่อได้รับความร้อน (shape memory) เหมือนโลหะนิกเกิลไทเทเนียมอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อให้ความร้อนที่ 134 องศาเซลเซียส ไฟล์จะสามารถกลับคืนรูปร่างเดิมได้อย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างไฟล์ที่ผลิตผ่านเทคนิคซีเอ็มไวร์ ได้แก่ ไฮเฟลกซ์ซีเอ็ม (Hyflex CM : Coltene-Whaledent, Allstetten, Switzerland)(32) ซึ่งสามารถทำงานได้ดีในคลองรากที่มีความโค้ง ลดความเสี่ยงในการขยายผิดทาง หรือการเกิดรูทะลุ(33)

Caper และคณะ(34) เปรียบเทียบความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง 4 ระบบ คือ โปรเทเปอร์เน็กซ์ (เอ็มไวร์) ไฮเฟลกซ์ซีเอ็ม (ซีเอ็มไวร์) และไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิมระบบวันเซป และ รีโว-เอส เซปป์ ยูนิเวอร์ซอล (Revo-S Shaping Universal) ทดสอบในคลองรากฟันโค้ง 60 องศา รัศมี 3 มิลลิเมตร

ผลที่ได้พบว่าระบบไฮเฟลกซีซีเอ็ม ซึ่งผลิตโดยเทคนิคซีเอ็มไวร์มีความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

บลูเทอร์มอลทรีทเมนต์ (Blue thermal treatment)

ไฟลระบบเรซีพรอกบลูมีการพัฒนาโลหะผ่านกระบวนการความร้อนที่เรียกว่าบลู-เทอร์มอลทรีทเมนต์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลภายในโลหะร่วมกับทำให้สีของไฟลมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นชั้นของไทเทเนียมออกไซด์ (titanium oxide) ส่งผลให้ไฟลมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นและความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบเพิ่มมากขึ้น(35) Topcuoglu และคณะ(36) ประเมินความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบของไฟลระบบเรซีพรอกขนาดอาร์ 25 และอาร์ 40 เปรียบเทียบกับระบบเรซีพรอกขนาดอาร์ 25 และ อาร์ 40 ในคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส (S-shaped canal) ผลพบว่าไฟลระบบเรซีพรอกบลูทั้งขนาดอาร์ 25 และอาร์ 40 มีความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบมากกว่าระบบเรซีพรอกในคลองรากฟันรูปตัวเอส

De-deus และคณะ(4) ศึกษาอิทธิพลของการพัฒนาประสิทธิภาพของไฟลนิกเกิลไทเทเนียมระบบเรซีพรอกบลู ต่อความต้านทานการโค้งงอ (bending resistance) และความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบ เปรียบเทียบกับไฟลระบบเรซีพรอก ผลที่ได้พบว่าไฟลระบบเรซีพรอกบลู มีอายุการใช้งานของเครื่องมือก่อนจะเกิดความล้าได้ยาวนานมากกว่าร่วมกับมีความต้านทานการโค้งงอต่ำกว่าไฟลระบบเรซีพรอกอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามในปี 2018 Belladonna และคณะ(29) ทำการศึกษาในคลองรากฟันด้านใกล้กลางของฟันกรามล่างพบว่าไฟลระบบเรซีพรอก และระบบเรซีพรอกบลูมีความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันคล้ายคลึงกัน โดยร้อยละของเนื้อฟันที่ถูกกำจัดออก พื้นผิวคลองรากฟันที่ไม่ถูกทำความสะอาดและการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมของไฟลทั้งสองระบบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

โกลด์ไวร์เทคโนโลยี (Gold-wire technology)

เป็นการพัฒนาโลหะผ่านกระบวนการความร้อนของบริษัทเดนทัลสพลายที่ทำให้โลหะนิกเกิลไทเทเนียมมีสีทอง โดยมีการให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้โลหะนิกเกิลไทเทเนียมมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปลี่ยนรูป ส่งผลเพิ่มคุณสมบัติความยืดหยุ่น (flexibility) และความแข็งแรง (strength) โดยไฟลที่มีการพัฒนาโลหะด้วยโกลด์ไวร์เทคโนโลยี ได้แก่ เวฟวันโกลด์ โปรเทเปอร์โกลด์ โดยบริษัทผู้ผลิตรายงานว่า ไฟลนิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเวฟวันโกลด์ไฟรแมรี มีความต้านทานต่อการแตกหักมากกว่าร้อยละ 50

และมีความยืดหยุ่นมากกว่าร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับไฟล์ระบบเวฟวันไฟร์แมรี่ซึ่งมีการพัฒนาโลหะแบบเอ็มไวร์(37)

ไฟร์ไวร์ (Fire-Wire)

เป็นการพัฒนาโลหะผ่านกระบวนการความร้อนของบริษัทเอดจ์เอนโด (EDGEENDO) ที่ทำให้ไฟล์ที่ผ่านกระบวนการนี้สามารถโค้งงอได้ถึง 90 องศา และไม่มีการคืนตัวกลับของไฟล์ขณะทำการขยายคลองรากฟัน จึงทำให้สามารถคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟันได้ดี โดยไฟล์ที่ผ่านการพัฒนาโลหะไฟร์ไวร์ได้แก่ เอดจ์วันไฟร์(38) อย่างไรก็ตามเนื่องจากเอดจ์วันไฟร์เพียงผลิตออกสู่ท้องตลาด ทำให้ยังขาดการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆของไฟล์ เช่น ความสามารถในการเตรียมคลองรากฟัน ความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบ การกำจัดเศษสะสมในคลองรากฟัน เป็นต้น

ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเรซีพรอกบลู

เครื่องมือมีหน้าตัดขวางเป็นรูปตัวเอส (S-shaped) ปลายไฟล์ไม่มีความคม (non-cutting tip) และความฝายลดลงตามความยาวของเครื่องมือเรียกว่า ความฝายแบบถดถอย (regressive taper) จากระยะ 3 มิลลิเมตรจากจุดปลายสุด โดยเรซีพรอกบลูมีความยาว 21, 25 และ 31 มิลลิเมตร ไฟล์มี 3 ขนาด ดังต่อไปนี้

อาร์-25 (R25) จุดปลายสุดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความฝายร้อยละ 8

อาร์-40 (R40) จุดปลายสุดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40 มิลลิเมตร ความฝายร้อยละ 6

อาร์-50 (R50) จุดปลายสุดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 มิลลิเมตร ความฝายร้อยละ 5



ภาพประกอบ 6 A หน้าตัดขวางรูปตัวเอสของไฟล์, B รูปไฟล์เรซีพรอกบลู (39)

ระบบเรซีพรอกบลูมีการใช้เทคโนโลยีบลูเทอมอลทรีทเมนต์ ทำให้ความต้านทานต่อการล้า และมีความยืดหยุ่นมากกว่าเมื่อเทียบกับระบบเรซีพรอกแบบดั้งเดิมซึ่งมีการพัฒนาโลหะแบบเอ็มไวร์(39)

ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเวฟวันโกลด์

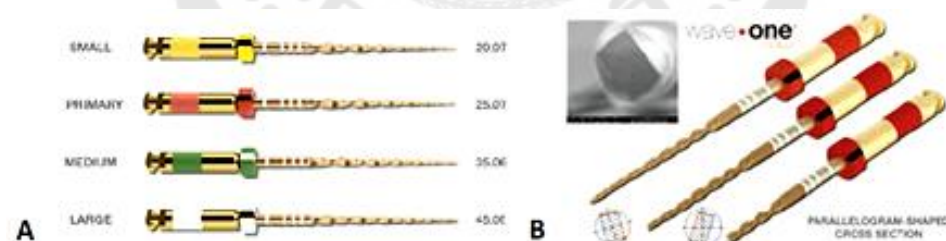
หน้าตัดขวางของไฟล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน โดยมี 2 มุมที่ทำมุม 85 องศากับผนังคลองรากฟัน ซึ่งขณะทำงานจะสัมผัสผนังคลองรากฟันเพียง 1 หรือ 2 มุมเท่านั้น ทำให้ลดอุบัติการณ์ที่ไฟล์ติดแน่นกับผนังคลองรากฟัน (taper lock) ร่วมกับการมีมุมเกลียว (helical angle) 24 องศาตลอดความยาวของไฟล์บริเวณที่มีความสามารถในการตัดทำให้ลดแรงดึงของไฟล์ลงไปคลองรากฟันได้ (screw in effect) นอกจากนั้นพื้นที่รอบๆ ที่เหลืออยู่ระหว่างไฟล์และผนังคลองรากฟัน ทำให้เศษที่เกิดขึ้นสามารถถูกกำจัดออกจากคลองรากฟันได้ดียิ่งขึ้น (37) ไฟล์ระบบนี้ผลิตความยาวให้เลือกใช้ 3 ความยาว คือ 21, 25 และ 31 มิลลิเมตร และมีไฟล์ทั้งหมด 4 ขนาด ดังต่อไปนี้

ไฟล์เวฟวันโกลด์ขนาดเล็ก (small) จุดปลายสุดไฟล์ขนาด ISO 20 ความยาว
ร้อยละ 7

ไฟล์เวฟวันโกลด์ไพรแมรี (primary) จุดปลายสุดไฟล์ขนาด ISO 25 ความยาว
ร้อยละ 7

ไฟล์เวฟวันโกลด์ขนาดปานกลาง (medium) จุดปลายสุดไฟล์ขนาด ISO 35
ความยาวร้อยละ 6

ไฟล์เวฟวันโกลด์ขนาดใหญ่ (large) จุดปลายสุดไฟล์ขนาด ISO 45 ความยาว
ร้อยละ 5



ภาพประกอบ 7 A ไฟล์เวฟวันโกลด์, B หน้าตัดที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

(37)

ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแบบหมุนไปกลับระบบเอดจันไพร์

เอดจันไพร์ผ่านการพัฒนาโลหะที่เรียกว่าไพร์ไวร์ มีการเคลื่อนที่ของไฟล์คล้ายกับระบบเวฟวันโกลด์ โดยสามารถตั้งค่านอเตอร์และใช้ด้ามจับหัวกรอ (hand piece) ชนิดเดียวกับเวฟวันโกลด์ได้ มีความยาวให้เลือกใช้ทั้งหมด 3 ความยาว คือ 21, 25 และ 31 มิลลิเมตร และออกแบบ

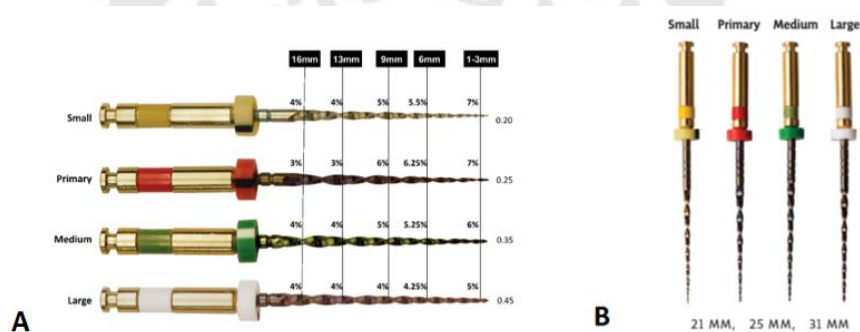
ไฟล์ให้มีความยาวที่ไม่คงที่ในเครื่องมือตัวเดียวกัน (variable taper) โดยระบบนี้มีไฟล์ทั้งหมด 4 ขนาด ดังนี้

ไฟล์เอ็ดจันไฟร์ขนาดเล็ก (small) จุดปลายสุดไฟล์ขนาด ISO 20 ความยาว ร้อยละ 7

ไฟล์เอ็ดจันไฟร์ไพรแมรี (primary) จุดปลายสุดไฟล์ขนาด ISO 25 รวมกับความยาวร้อยละ 7

ไฟล์เอ็ดจันไฟร์ขนาดปานกลาง (medium) จุดปลายสุดไฟล์ขนาด ISO 35 รวมกับความยาวร้อยละ 6

ไฟล์เอ็ดจันไฟร์ขนาดใหญ่ (large) จุดปลายสุดไฟล์ขนาด ISO 45 รวมกับความยาวร้อยละ 5 (38)



ภาพประกอบ 8 A แสดงร้อยละความยาวของไฟล์ที่ระดับต่างๆ, B ไฟล์ระบบเอ็ดจันไฟร์ที่มีความยาวให้เลือกใช้ 3 ความยาว(38)

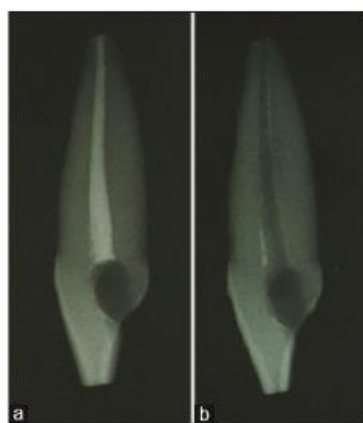
วิธีการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดคลองรากฟัน

การฉีดสารทึบรังสี (radiopaque contrast medium)

Ruckman และคณะ(40) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของไฟล์ในการทำทำความสะอาดคลองรากฟัน โดยแบ่งฟันออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มเซล์ฟแอดจัสติงไฟล์ (self-adjusting file) โปรไฟล์โรตารี และไฟล์มือ นำไวตาเพกซ์ (Vitapex) ใส่ในคลองรากฟัน จากนั้นทำการขยายคลองรากฟัน แล้วตามด้วยการล้างคลองรากฟันด้วยน้ำเกลือปริมาณ 20 มิลลิลิตร วิเคราะห์ผลจากการถ่ายภาพรังสีก่อนและหลังการเตรียมคลองรากฟัน ประเมินเปอร์เซ็นต์ของการกำจัดสารทึบรังสีที่ระดับ 0-5 มิลลิเมตร และมากกว่า 5-10 มิลลิเมตรจากปลายรากฟัน ผลที่ได้พบว่าไฟล์ทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างสามารถกำจัดไวตาเพกซ์ได้ดีที่ระดับ 0-5 มิลลิเมตรจากปลายรากฟัน โดย เซลล์

แอตจัสติงไฟล์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารที่บ่งสีที่ระดับมากกว่า 5-10 มิลลิเมตรจากคลองรากฟันดีกว่าไฟล์มือออกอย่างมีนัยสำคัญ

Topcu และคณะ (41) นำเมตาเพกซ์ (Metapex; Meta Biomed Co. Ltd., Chungcheongbuk-do, Korea) ซึ่งเป็นสารที่บ่งสีมาใช้ในการประเมินความสามารถในการทำ ความสะอาดคลองรากฟันของเซลฟ์แอตจัสติงไฟล์ เวฟวัน เรซิพรอกซ์ โปรเทเปอร์ และเคไฟล์ โดย ทำการฉีดเมตาเพกซ์ลงไปในคลองรากฟันทำการถ่ายภาพรังสีก่อนและหลังขยายคลองรากฟัน และบันทึกผลจากเปอร์เซ็นต์ของสารที่บ่งสีที่ถูกกำจัดออกไปคลองรากฟันหลังจากทำการขยาย คลองราก ผลที่ได้พบว่า เวฟวันสามารถกำจัดสารที่บ่งสีภายหลังการขยายคลองรากได้มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีไฟล์ระบบใดสามารถกำจัดสารที่บ่งสีออกได้อย่างสมบูรณ์



ภาพประกอบ 9 ภาพรังสีก่อนและหลังทำการขยายคลองรากฟัน a ภาพรังสีที่มีการฉีดเมตาเพกซ์ ลงไปในคลองรากฟันจนเต็ม, b ภาพรังสีแสดงเมตาเพกซ์ที่ยังหลงเหลืออยู่ภายหลังการขยาย คลองรากฟัน (41)

การใช้สารที่บ่งสีในการประเมินประสิทธิภาพของไฟล์ในการทำ ความสะอาดคลองรากฟันมีข้อดีคือ ใช้งานง่าย และเห็นผลชัดเจนในภาพรังสีเนื่องจากคุณสมบัติการที่บ่งสี อย่างไรก็ตามวิธีการฉีดสารที่บ่งสีสามารถประเมินคลองรากฟันได้เพียงแค่ 2 มิติ ซึ่งไม่แม่นยำเท่ากับ ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือโคร-ซีที ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการประเมิน 3 มิติ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

การศึกษาของ Gambarini และ Laszkiewicz(42) ทำการประเมินเศษและชั้นสเมียร์ ที่หลงเหลือหลังจากการขยายคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบจีที ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดหลังการขยายคลองรากฟัน ล้างคลองรากฟันด้วย สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ อีดีทีเอร่วมกับเซตริไมด์ (certrimide) และล้างครั้งสุดท้ายด้วย

น้ำเกลือ จากนั้นนำฟันไปตัดที่ระดับรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน และแบ่งฟันตามแนวยาว เพื่อนำมาประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ประเมินเศษและชั้นสเมียร์ที่หลงเหลืออยู่ตามวิธีของ Hulsmann(43) โดยแบ่งตามคะแนน 5 ระดับ ผลที่ได้พบว่าไฟลินิกเกลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบจีทีสามารถกำจัดเศษบริเวณระดับส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลายคลองรากฟันได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในส่วนของชั้นสเมียร์พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างส่วนต้นและส่วนปลายของคลองราก โดยส่วนปลายของคลองรากฟันปกคลุมด้วยชั้นสเมียร์มากกว่า

การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดในงานวิจัยทางทันตกรรมค่อนข้างได้รับความนิยม เนื่องจากกำลังขยายที่สูง และเหมาะสมอย่างยิ่งในการศึกษาลักษณะของพื้นผิวที่ไม่เป็นระเบียบ เนื่องจากเห็นความแตกต่างของแต่ละส่วนชัดเจนยิ่งขึ้น แม้มีหลากหลายเทคนิคที่สามารถประเมินเศษที่หลงเหลือภายหลังการขยายคลองรากฟันบนพื้นผิวของเนื้อฟัน แต่การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดเท่านั้นที่สามารถประเมินการเปิด-ปิดของท่อเนื้อฟันได้(44) อย่างไรก็ตามภาพที่แสดงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดมีลักษณะเป็นพื้นผิวสีเทาคล้ายคลึงกัน ซึ่งอาจเกิดข้อผิดพลาดในการอ่านข้อมูลได้ รวมทั้งไม่สามารถไม่สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดเปรียบเทียบก่อนและหลังได้ เนื่องจากตัวอย่างจะถูกทำลาย

วิธีการศึกษาความสามารถในการเตรียมคลองรากฟัน

การซ้อนทับของภาพรังสี

การศึกษาของ Saber และคณะ(45) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเตรียมรูปร่างคลองรากฟันของไฟลินิกเกลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเวฟวัน ระบบเรซิพรอก และระบบวันเชป (Oneshape) ในคลองรากฟันกรามมนุษย์ที่มีระดับความโค้ง 25-39 องศา และรัศมีความโค้งอยู่ในช่วง 4-9 มิลลิเมตร โดยทำการประเมินด้วยการซ้อนทับของภาพรังสีก่อนและหลังขยายคลองรากฟัน ผลที่ได้พบว่าระบบวันเชปเกิดการขยายคลองรากฟันผิดแนวมากกว่าระบบเวฟวันและระบบเรซิพรอกอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระบบเวฟวันและระบบเรซิพรอก และระหว่างทำการเตรียมคลองรากฟันไม่มีไฟล์ใดหัก แต่ไฟล์ระบบวันเชปมีการเสียรูปไปหลังจากทำการขยายไปประมาณ 4 คลองรากฟัน(22) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความเร็วในการทำงานพบว่าระบบวันเชปใช้เวลาในการขยายคลองรากน้อยกว่าระบบเวฟวัน และระบบเรซิพรอกอย่างมีนัยสำคัญ

วิธีการประเมินความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันโดยการซ้อนทับกันของภาพรังสีจะทำได้ง่าย ไม่ใช้เครื่องมือซับซ้อน แต่สามารถประเมินได้เพียง 2 มิติเท่านั้น (45)

ไมโคร-คอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (ไมโคร-ซีที)

ไมโคร-ซีทีคือ เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร ถูกนำมาใช้ทางการแพทย์ในช่วงต้นปี 1970 เพื่อทดแทนข้อจำกัดของการเอกซเรย์แบบดั้งเดิมที่เห็นภาพแค่ 2 มิติเท่านั้น โดยข้อมูลที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องไมโคร-ซีทีเกิดจากการรวบรวมภาพจากหลากหลายมุม และสร้างขึ้นมาเป็นภาพ 3 มิติ โดยไม่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย ในปัจจุบันเริ่มมีการนำไมโคร-ซีทีมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในทางทันตกรรม และในงานวิจัย มีการศึกษามากมายนำไมโคร-ซีทีมาใช้ในการประเมินการเตรียมคลองรากฟัน(46) Yuan และ Yang (13) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเตรียมรูปร่างคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเวฟวัน และระบบโปรเทเปอร์เน็กซ์ ในการขยายคลองรากฟันที่มีระดับความโค้งอยู่ในช่วง 20-35 องศา โดยใช้เครื่องไมโคร-ซีทีในการประเมินความแตกต่างของพื้นที่ผนังคลองรากฟัน ปริมาตร ความหนาของเนื้อฟัน ระดับความโค้งของคลองรากฟัน อัตราส่วนของบริเวณพื้นผิวที่ไม่ถูกทำความสะอาด และการขยายคลองรากฟันผิดแนว เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังทำการขยายคลองรากฟัน ผลที่ได้พบว่าหลังการขยายคลองรากฟันทั้ง 2 ระบบสามารถคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟัน โดยระบบโปรเทเปอร์เน็กซ์มีการขยายคลองรากฟันผิดแนวน้อยกว่าและไฟล์สามารถคงอยู่กลางคลองรากฟันในส่วนปลายรากได้ดีกว่า นอกจากนั้นยังมีบริเวณผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกทำความสะอาดประมาณ 29-34% โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง 2 ระบบ

ปัจจุบันการนำไมโคร-ซีทีมาใช้ในการประเมินผลของการเตรียมคลองรากฟันเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (non-destructive) ซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคลองรากฟัน และพื้นผิวที่แตกต่างเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการขยายคลองรากฟัน ข้อดีของการวัดผลด้วยไมโคร-ซีทีคือ สามารถหลีกเลี่ยงรายละเอียดของคลองรากฟันแบบ 3 มิติ และสามารถทำซ้ำได้ สามารถประเมินขนาดของพื้นผิวของผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกทำความสะอาดและบริเวณที่เกิดการขยายคลองรากฟันผิดแนวได้เป็น 3 มิติอีกด้วย(11) อย่างไรก็ตามการใช้ไมโคร-ซีทีเป็นวิธีที่มีต้นทุนสูง ทั้งตัวเครื่องรวมไปถึงโปรแกรมซอฟต์แวร์ก็มีราคาสูงเช่นกัน นอกจากนั้นจำนวนเครื่องมือที่มีพร้อมให้ใช้งานยังมีอยู่อย่างจำกัด ไม่ได้สามารถใช้งานได้โดยทั่วไป รวมทั้งเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ทำความเข้าใจ ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญจึงจะสามารถนำข้อมูลออกมาใช้ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ(47)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

1.สารเคมี ได้แก่

- 1.1 สารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1
- 1.2 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5

2.อุปกรณ์

- 2.1 ไฟล์ชนิดเคขนาด 10 และ 15
- 2.2 ไฟล้นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเรซีพรอกซ์บลู อาร์ 25
- 2.3 ไฟล้นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเวฟวันโกลด์ ไพร์แมรี
- 2.4 ไฟล้นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเอดจันไฟร์ ไพร์แมรี
- 2.5 กระบอกใส่น้ำยาล้างคลองรากฟัน
- 2.6 เข็มล้างคลองรากฟันเกจ 27
- 2.7 กระดาษซับรูปกรวยแหลม (paper point)
- 2.8 มอเตอร์ขยายคลองรากฟันวีดีดับเบิลยู ซิลเวอร์ เรซีพรอก (VDW.SILVER[®]

RECIPROC[®])

การเลือกฟัน

ฟันกรามหรือฟันกรามน้อยของมนุษย์ไม่จำกัดเพศและช่วงอายุที่ถูกถอนจำนวน 45 ซี่ (กลุ่มละ 15 ซี่) แขนงในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิห้อง ใส่ไฟล์ชนิดเคเบอร์ 10 ในคลองรากฟันเพื่อทำการประเมินความโค้งของคลองรากฟันในช่วงความยาวราก 15 มิลลิเมตรจากปลายราก ถ่ายภาพรังสีดิจิตอลในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น และใกล้กลาง-ไกลกลาง แล้ววัดความโค้งผ่านโปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ) จะต้องมีย่าน้อย 1 คลองรากฟันที่มีระดับความโค้ง 20-40 องศาตามวิธีของ Schneider (14) ร่วมกับรัศมีความโค้งอยู่ในช่วง 4-9 มิลลิเมตรตามวิธีของ Pruett และคณะ (15) จากนั้นตัดตัวฟันให้ได้ความยาวรากฟัน 15 มิลลิเมตร

การเตรียมฟัน

กำจัดเนื้อเยื่ออ่อนและเศษหินปูนบริเวณผิวฟัน ทำทางเปิดเข้าสู่คลองรากฟัน ใช้ไฟล์ชนิดเคเบอร์ 10 ในการสร้างทางในคลองรากฟัน (glide path) และกำหนดความยาวทำงาน (working length) 14 มิลลิเมตร (สั้นกว่าบริเวณปลายรากฟัน 1 มิลลิเมตร) จากนั้นค่อยๆ ใช้ไฟล์ชนิดเคเบอร์ 10 ขยายคลองรากฟันจนหลวม ระหว่างการขยายคลองรากฟันล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาณทั้งหมด 1 มิลลิลิตร

การประเมินด้วยไมโคร-ซีทีก่อนการเตรียมคลองรากฟัน

นำฟันทั้งหมดไปสแกนด้วยไมโคร-ซีที (Skyscan 1173; Bruker micro-CT, Kontich, Belgium) ที่พลังงาน 80 กิโลโวลท์ และ 100 มิลลิแอมป์ ขนาดรูปภาพ (image pixel size) 14 ไมโครเมตร โดยสแกนตั้งแต่ปลายรากจนถึงส่วนตัวฟัน ลักษณะโครงสร้าง 3 มิติของคลองรากฟันจะนำมาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมอิมเมจเจ

วิธีการเตรียมคลองรากฟันของไฟล์แต่ละระบบ

ทุกระบบจะทำการขยายคลองรากฟันโดยใช้ไฟล์ 1 ตัวต่อ 1 คลองรากฟัน ระหว่างการขยายคลองรากฟันล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาณทั้งหมด 2 มิลลิลิตรร่วมกับ RC-Prep® (Premier Dental Products, Norristown, PA) เพื่อเป็นสารหล่อลื่นขณะเตรียมคลองรากฟัน

กลุ่มไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเรซีพรอบบลู

ทำการสร้างทางในคลองรากฟันด้วยไฟล์ชนิดเคเบอร์ 15 จนไฟล์สามารถลงไปถึงความยาวทำงานโดยไม่จำเป็นต้องทำการดัดโค้งก่อน (pre-curved) จากนั้นไฟล์เรซีพรอบบลูอาร์ 25 ใช้ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตคือ เคลื่อนเครื่องมือเข้าและออกซ้ำๆ ออกแรงกดที่ไฟล์เล็กน้อยแล้วดึงขึ้น (pecking motion) โดยไม่เกินระยะ 3 มิลลิเมตรต่อครั้ง เมื่อทำครบ 3 ครั้งให้นำไฟล์ออกจากคลองรากฟัน ทำการล้างคลองรากฟันด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ร่วมกับการทำรีแคปитуเลชัน (recapitulation) ด้วยไฟล์ชนิดเคเบอร์ 10 ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนถึงความยาวทำงาน(48)

กลุ่มไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเวฟวันโกลด์

สร้างทางในคลองรากฟันคลองรากฟันจนบริเวณปลายรากฟันที่ตำแหน่งความยาวทำงานมีขนาดประมาณ 0.15 มิลลิเมตร ตรวจสอบโดยใช้ไฟล์ชนิดเคเบอร์ 15 จากนั้นใช้ไฟล์เวฟวันโกลด์ ไพรเมอร์ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต คือ ใส่ในคลองรากฟันและดันไฟล์เบาๆ เพื่อให้ไฟล์เข้าถึงภายในคลองรากฟันได้เองโดยปราศจากแรงกด ทุกระยะ 2-3 มิลลิเมตร นำไฟล์ขึ้นมา

ทำความสะอาดเศษ ล้างคลองรากฟันด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ร่วมกับการทำรีแคปปิทูเลชัน ด้วยไฟล์ชนิดเคเบอร์ 10 ทำการขยายผนังคลองรากฟันพื้นที่ยังขาดขวางการเข้าทำงานด้วยการเคลื่อนที่ของไฟล์คล้ายการทาสี (brushing motion) ในทิศทางดึงออกจากคลองรากฟัน จากนั้นดันไฟล์เบาๆเพื่อให้ไฟล์เข้าถึงภายในคลองรากฟันได้เองโดยปราศจากแรงกดอีกครั้ง ทำซ้ำจนถึงความยาวทำงาน(49)

กลุ่มไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเอดจ์วันไฟร์

สร้างทางในคลองรากฟันคลองรากฟันจนบริเวณปลายรากฟันที่ตำแหน่งความยาวทำงานมีขนาดประมาณ 0.15 มิลลิเมตร ตรวจสอบโดยใช้ไฟล์ชนิดเคเบอร์ 15 ใช้เอดจ์วันไฟร์ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตคือ คือ ใส่ในคลองรากฟันและดันไฟล์เบาๆเพื่อให้ไฟล์เข้าถึงภายในคลองรากฟันได้เองโดยปราศจากแรงกด หลังจากขยายทู่ระยะ 2-3 มิลลิเมตร ทำการล้างคลองรากฟันด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ร่วมกับการทำรีแคปปิทูเลชันด้วยไฟล์ชนิดเคเบอร์ 10 และล้างซ้ำอีกครั้ง ทำการขยายผนังคลองรากฟันพื้นที่ยังขาดขวางการเข้าทำงานด้วยการเคลื่อนที่ของไฟล์คล้ายการทาสี (brushing motion) ในทิศทางดึงออกจากคลองรากฟัน จากนั้นดันไฟล์เบาๆเพื่อให้ไฟล์เข้าถึงภายในคลองรากฟันได้เองโดยปราศจากแรงกดอีกครั้งจนถึงความยาวทำงาน(50)

หลังจากการขยายคลองรากฟันเสร็จให้ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 2.5% ทั้งหมด 5 มิลลิลิตร โดยใส่เข็มล้างคลองรากให้ลึกที่สุดโดยที่ไม่ติดแน่นภายในคลองรากฟัน ตรวจสอบความสะอาดของคลองรากฟันจนถึงรูปลายรากฟัน (apical patency) ด้วยไฟล์ชนิดเคเบอร์ 10 และใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันด้วยกระดาศรูปกรวยแหลม

บันทึกเวลาในการเตรียมคลองรากฟันตั้งแต่เริ่มขยายจนขยายเสร็จ (preparation time) และระหว่างการทำทดลองจะเก็บฟันในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิห้อง

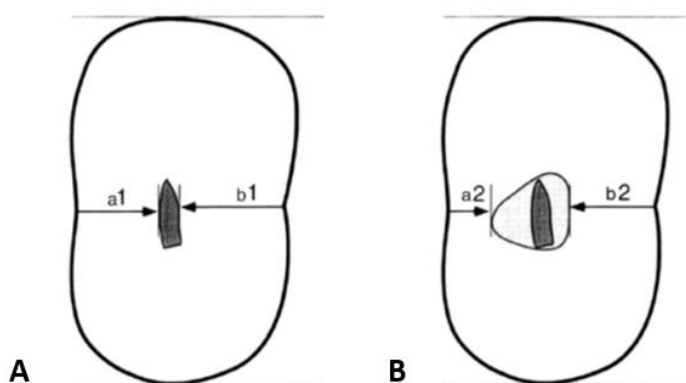
การประเมินด้วยไมโคร-ซีทีหลังการเตรียมคลองรากฟัน

นำฟันไปสแกนด้วยระบบไมโคร-ซีที (Skyscan 1173; Bruker micro-CT, Kontich, Belgium) ที่พลังงาน 80 กิโลโวลต์ และ 100 มิลลิแอมป์ ขนาดรูปภาพ 14 ไมโครเมตร โดยสแกนตั้งแต่ปลายรากจนถึงส่วนตัวฟัน ลักษณะโครงสร้าง 3 มิติของคลองรากฟันจะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบก่อนและหลังทำการขยายคลองรากฟันของไฟล์ทั้ง 3 ระบบผ่านโปรแกรมอิมเมจเจดิงนี้

การประเมินผลความสามารถในการเตรียมคลองรากฟัน

การขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม (canal transportation)

โดยวัดจากรูปร่างหน้าตัดตามขวางของคลองรากฟันใน 3 ระดับ ได้แก่ ส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลายคำนวณจากการระยะทางที่สั้นที่สุดจากผิวรอบนอกของรากฟัน (ด้านใกล้กลางและไกลกลาง) จนถึงผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกทำการขยาย เปรียบเทียบกับระยะทางจากผิวรอบนอกจนถึงผนังคลองรากฟันที่ทำการขยายแล้ว



ภาพประกอบ 10 A ภาพจำลองจากไมโคร-ซีทีที่แสดงคลองรากฟันที่ยังไม่ถูกขยาย B คลองรากฟันที่หลังขยายคลองรากฟันแล้วโดยคำนวณจากสูตรคำนวณของ Gergi และคณะ(51)

$$\text{ระยะทางการขยายคลองรากฟันผิดแนว} = |(a1 - a2) - (b1 - b2)|$$

(degree of canal transportation)

ภาพประกอบ 11 สูตรคำนวณระยะทางการขยายคลองรากฟันผิดแนว

a1 คือ ระยะทางที่สั้นที่สุดจากด้านใกล้กลางของผิวรากฟันด้านนอกถึงผนังคลองรากฟันด้านใกล้กลางที่ยังไม่ทำการขยาย

a2 คือ ระยะทางที่สั้นที่สุดจากด้านใกล้กลางของผิวรากฟันด้านนอกถึงผนังคลองรากฟันด้านใกล้กลางที่ทำการขยายแล้ว

b1 คือ ระยะทางที่สั้นที่สุดจากด้านไกลกลางของผิวรากฟันด้านนอกถึงผนังคลองรากฟันด้านไกลกลางที่ยังไม่ทำการขยาย

b2 คือ ระยะทางที่สั้นที่สุดจากด้านไกลกลางของผิวรากฟันด้านนอกถึงผนังคลองรากฟันด้านไกลกลางที่ทำการขยายแล้ว

หากผลการคำนวณที่ได้มีค่าที่ไม่เท่ากับ 0 แสดงว่ามีการขยายที่ผิดไปจากแนวเดิม เกิดขึ้นภายหลังการเตรียมคลองรากฟัน(51) โดยหากค่า ($a_1 - a_2$) มากกว่า แสดงว่ามีการขยายคลองรากฟันเบี่ยงเบนไปทางด้านใกล้กลางมากกว่า ในขณะที่เดียวกันหากค่า ($b_1 - b_2$) มากกว่า แสดงว่าการขยายคลองรากฟันเบี่ยงเบนคลองรากฟันไปทางด้านไกลกลางมากกว่า(7)

ค่ามุมความโค้งคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไป (change in canal curvature)

ใส่ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ใช้ในการขยายคลองรากฟันจนถึงความยาวทำงาน ในคลองรากฟันที่ทำการขยายแล้ว เพื่อประเมินค่ามุมความโค้งของคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการขยายคลองรากฟัน ถ่ายภาพรังสีดิจิทัลแล้ววัดค่ามุมความโค้งตามวิธีของ Schneider (14) ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยค่ามุมความโค้งเปรียบเทียบกับค่ามุมที่วัดก่อนการขยายคลองรากฟัน และคำนวณร้อยละของค่ามุมความโค้งที่เปลี่ยนแปลงไป

ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟัน

โดยรวมระยะเวลาทั้งหมดในการเตรียมคลองรากฟัน ตั้งแต่ใส่ไฟล์ในคลองรากฟันล่างคลองรากฟัน จนทำการเตรียมคลองรากฟันเสร็จสมบูรณ์

การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติในงานวิจัยนี้ทำโดยใช้โปรแกรม SPSS ทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยการทดสอบชาapiro-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) วิเคราะห์ข้อมูลการขยายคลองรากฟันผิดแนวและร้อยละมุมความโค้งที่เปลี่ยนแปลงด้วยการทดสอบครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ตาราง 1 ระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนวเฉลี่ยทุกระดับของคลองรากฟัน

Overall mean degree of canal transportation distances between groups

Systems	Mean distances $\pm$ SD (mm)
Reciproc blue	0.04 $\pm$ 0.04
Waveone gold	0.04 $\pm$ 0.04
Edgeone fire	0.03 $\pm$ 0.03

จากการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนว โดยคำนวณเฉลี่ยทุกระดับของคลองรากฟัน ภายหลังจากเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบเรซิงพรอกบลู เวฟวันโกลด์ และเอดจ์วันไฟร์ (ตารางที่ 1) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนวจำแนกตามระดับของผนังคลองรากฟัน

Mean degree of canal transportation distances in different levels of root canal walls

Levels	Mean distances $\pm$ SD (mm)		
	Reciproc blue	Waveone gold	Edgeone fire
Coronal	0.05 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.04
Middle	0.04 $\pm$ 0.03	0.04 $\pm$ 0.04	0.02 $\pm$ 0.02
Apical	0.03 $\pm$ 0.03	0.04 $\pm$ 0.03	0.03 $\pm$ 0.02

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนวระหว่างไฟล์ทั้ง 3 ระบบในแต่ละระดับของคลองรากฟัน โดยแบ่งเป็น 3 ระดับคือ ระดับใกล้คอฟัน (coronal third) ระดับกลาง (middle third) และระดับใกล้ปลายรากฟัน (apical third) พบว่าไฟล์ทั้ง 3 ระบบ

มีค่าเฉลี่ยระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนวยู่ในช่วง 0.02-0.05 มิลลิเมตร โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างไฟล์ทั้ง 3 ระบบในทุกระดับ ($P>0.05$)

ตาราง 3 ร้อยละมุมความโค้งที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการเตรียมคลองรากฟัน

Mean percent change of degree of canal curvature after canal preparation

Systems	Mean percent change $\pm$ SD
Reciproc blue	7.88 $\pm$ 4.23
Waveone gold	5.82 $\pm$ 3.42*
Edgeone fire	10.22 $\pm$ 5.22*

* indicates statistically significant differences between groups

ภายหลังการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์ระบบเอดจ์วันไฟร์มีผลทำให้ร้อยละมุมความโค้งของคลองรากฟันลดลงมากกว่าไฟล์ระบบเวฟวันโกลด์อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางที่ 3) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์ระบบเรซิพรอบบลู ($P>0.05$) และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบเวฟวันโกลด์และระบบเรซิพรอบบลู

ตาราง 4 ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง

Preparation time of Ni-Ti rotary file systems

Systems	Preparation time (s.) $\pm$ SD
Reciproc blue	74.40 $\pm$ 8.02
Waveone gold	72.13 $\pm$ 5.99
Edgeone fire	73.27 $\pm$ 9.51

ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์ระบบเรซิพรอบบลู เวฟวันโกลด์ และเอดจ์วันไฟร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

โพลีนิคเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว 3 ระบบได้แก่ ระบบเรซีพรอบบลู เวฟวันโกลด์และเอดจ์วันไฟร์ มีประสิทธิภาพในการเตรียมคลองรากฟันได้ดีไม่แตกต่างกัน โดยสามารถคงตำแหน่งภาพตัดขวางของคลองรากฟันได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งคลองรากฟันเดิม ใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันเฉลี่ย 72.1-74.4 วินาทีต่อคลองรากฟัน ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแต่ละระบบ มีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมความโค้งของคลองรากฟันเล็กน้อย โดยระบบเอดจ์วันไฟร์มีค่ามุมความโค้งลดลงมากกว่าระบบเวฟวันโกลด์

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันในปัจจุบันมีการศึกษาทั้งในคลองรากฟันจำลอง และในฟันมนุษย์ที่ถูกถอน ในการศึกษาี้เลือกใช้ฟันมนุษย์ที่ถูกถอนซึ่งมีข้อดีคือสามารถจำลองสถานการณ์ทางคลินิกได้ เนื่องจากความต้านทานของผนังคลองรากฟันต่อเครื่องมือขยายคลองรากฟันที่เป็นเนื้อฟันจริง แตกต่างจากคลองรากฟันจำลอง ทำให้สามารถนำผลการศึกษาไปเปรียบเทียบกับการใช้งานทางคลินิก แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถกำหนดลักษณะรูปร่างของคลองรากฟันและความแข็งของเนื้อฟันให้เป็นมาตรฐานเท่ากันทุกซี่ได้ (52) อย่างไรก็ตามการศึกษานี้จึงพยายามกำหนดค่าเฉลี่ยมุมความโค้งและรัศมีความโค้งของกลุ่มตัวอย่างให้ใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มไฟล์ระบบเรซีพรอบบลูมีค่าเฉลี่ยมุมความโค้ง รัศมีความโค้ง และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมความโค้ง 24.63 องศา 7.33 มิลลิเมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.87 ตามลำดับ ระบบเวฟวันโกลด์ 24.51 องศา 6.99 มิลลิเมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.19 ระบบเอดจ์วันไฟร์ 24.41 องศาและ 7.13 มิลลิเมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.88 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบครัสคัล-วาลิส พบว่ากลุ่มตัวอย่างทั้งสามมีค่าเฉลี่ยมุมความโค้ง และรัศมีความโค้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สามารถกล่าวได้ว่ากลุ่มตัวอย่างที่คัดเลือกมาจากประชากรกลุ่มเดียวกัน

ความโค้งของคลองรากฟันเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อการเบี่ยงเบนของคลองรากฟันภายหลังการขยายคลองรากฟัน การวัดมุมความโค้งของคลองรากฟันรวมกับการวัดรัศมีความโค้งสามารถบอกลักษณะความโค้งคลองรากฟันได้ดี รวมทั้งสามารถประเมินความยากง่ายของการรักษา(53) ซึ่งคลองรากฟันที่มีรัศมีความโค้งสั้นจะมีการโค้งแบบซับซ้อนมากกว่าคลองรากฟัน

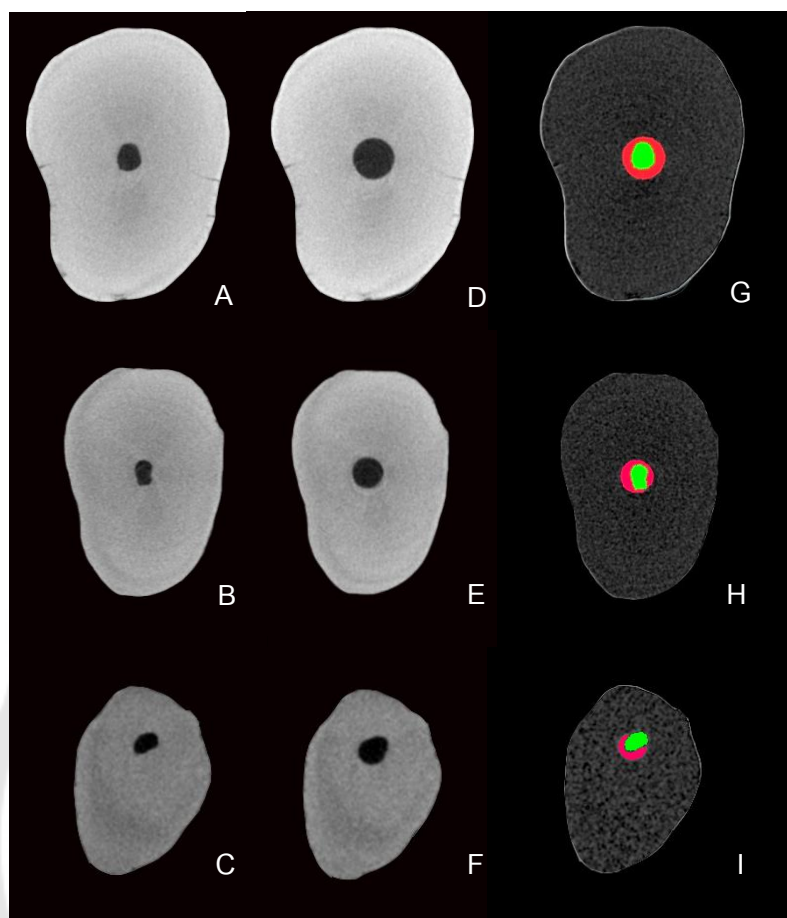
ที่มีรัศมีมีความโค้งยาวกว่า การโค้งของคลองรากฟันแบบฉบับพลันเสี่ยงต่อการหักของเครื่องมือในคลองรากฟันรวมทั้งมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดภายหลังการขยายคลองรากฟันมากขึ้น(15) โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลองรากฟันที่มีมุมความโค้งมากร่วมกับรัศมีมีความโค้งสั้นพบว่าเป็นการยากที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดการเบี่ยงเบนในคลองรากฟัน ไม่ว่าจะทำการขยายคลองรากฟันด้วยไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิมหรือไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องก็ตาม (54) ในการศึกษาี้เลือกใช้คลองรากฟันที่มีความโค้ง 20-40 องศาตามวิธีของ Schneider (14) ซึ่งเป็นคลองรากฟันที่อยู่ในช่วงโค้งปานกลางถึงโค้งมาก ร่วมกับรัศมีมีความโค้งอยู่ในช่วง 4-9 มิลลิเมตรตามวิธีของ Pruett และคณะ (15) เพื่อจำลองการใช้งานของไฟล์ในฟันธรรมชาติที่คลองรากฟันโค้ง ซึ่งมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดจากการขยายคลองรากฟันได้

ในปัจจุบันมีหลายเทคนิคที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟัน เช่น การใช้ภาพรังสี ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ใช้เครื่องมือซับซ้อน แต่สามารถประเมินได้เพียง 2 มิติเท่านั้น ไม่สามารถประเมินรูปร่างของคลองรากฟันในลักษณะภาพตัดขวางได้ (45) จากข้อจำกัดต่างๆของการใช้ภาพรังสีแบบดั้งเดิม จึงได้มีการนำไมโคร-ซีทีมาใช้ในการวิจัยทางทันตกรรมมากขึ้น เช่น การประเมินความหนาของชั้นเคลือบฟัน กายวิภาคของคลองรากฟัน การเจริญเติบโตของกระดูกศีรษะและใบหน้า (Craniofacial skeletal) ชีวกลศาสตร์ (biomechanics) ซึ่งช่วยทำให้การสร้างแบบจำลองของฟันและกระดูกด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element) มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น (55) รวมทั้งในการศึกษาที่นำมาใช้ประเมินผลของการเตรียมคลองรากฟัน โดยนำข้อมูลภาพตัดขวางที่ได้จากไมโคร-ซีทีเพื่อประเมินการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม ข้อดีของเทคนิคนี้คือเป็นวิธีการประเมินผลที่ไม่ต้องทำลายชิ้นตัวอย่าง สามารถศึกษาลักษณะกายวิภาคของคลองรากฟันได้ในทุกมิติ ทำซ้ำได้ และประเมินบริเวณที่เกิดการขยายคลองรากฟันผิดแนวได้เป็น 3 มิติ (11) อย่างไรก็ตามข้อด้อยของการใช้ไมโคร-ซีทีคือเป็นวิธีที่มีต้นทุนสูง จำนวนเครื่องมือที่มีพร้อมให้ใช้งานยังมีอยู่น้อย รวมทั้งเป็นวิธีที่ต้องอาศัยบุคคลที่มีความเชี่ยวชาญ จึงจะสามารถนำข้อมูลออกมาใช้ได้ถูกต้องแม่นยำ (47) และขนาดของเครื่องมือที่จำกัด ไมโคร-ซีทีจึงสามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะตัวอย่างที่มีขนาดเล็กและใช้เวลาในการวิเคราะห์ชิ้นงานนานเพื่อให้ได้ภาพที่มีความละเอียดสูง ในการศึกษาี้เป็นการเปรียบเทียบก่อนและหลังการเตรียมคลองรากฟัน การกำหนดชิ้นตัวอย่างให้มีจุดอ้างอิงที่ชัดเจนเพื่อให้สามารถนำมาสแกนในตำแหน่งเดิมได้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลการศึกษา

การขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม

ในระหว่างการเตรียมคลองรากฟันที่โค้ง เครื่องมือที่นำมาใช้ในการขยายคลองรากฟันเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการรักษา การพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้สามารถวัดผลได้จากการเกิดการขยายคลองรากฟันผิดแนวในคลองรากฟันและระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน การขยายคลองรากฟันผิดแนวทำให้ทำความสะอาดคลองรากฟันได้ไม่เพียงพอ มีการกำจัดเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟันน้อยหรือมากเกินไป ทำลายลักษณะโครงสร้างเดิมของคลองรากฟัน ในขณะที่ระยะเวลาทำงานเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของเครื่องมือในทางคลินิก (56)

ระยะการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิม หมายถึงระยะทางที่เบี่ยงเบนออกจากแนวของผนังคลองรากฟันเดิมภายหลังทำการขยายคลองรากฟัน โดยวัดเป็นหน่วยมิลลิเมตร (8) ในการศึกษาเปรียบเทียบการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมโดยนำภาพก่อนและหลังการเตรียมคลองรากฟันที่ได้จากการสแกนด้วยไมโคร-ซีทีมาซ้อนทับกันในแต่ละระดับของคลองรากฟัน ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนวหลังการขยายด้วยไฟล์ทั้ง 3 ระบบไม่มีความแตกต่างกันทั้งค่าเฉลี่ยตลอดความยาวของคลองรากฟันและค่าเฉลี่ยแยกแต่ละระดับของคลองรากฟันซึ่งยอมรับสมมติฐานการวิจัย สอดคล้องกับการศึกษาของ Kataia และคณะ (56) ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมระหว่างไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบเรซิพรอบบลูและเวฟวันโกลด์ โดยไฟล์ทั้ง 3 ระบบที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ มีการพัฒนาโลหะผ่านกระบวนการความร้อนเพื่อพัฒนาสมบัติทางกลต่างๆ เช่น สมบัติความยืดหยุ่น ความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบ และความต้านทานการหักจากความล้าจากการบิด (torsional fatigue resistance) โดยปกติแล้วในขั้นตอนพัฒนาโลหะของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมจะผ่านกระบวนการความร้อนที่อุณหภูมิ 450 ถึง 550 องศาเซลเซียส ทำให้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวด และคุณสมบัติการจดจำรูป ซึ่งกระบวนการความร้อนจะเข้าไปเปลี่ยนอุณหภูมิเปลี่ยนรูปของโลหะนิกเกิลไทเทเนียม ให้โลหะอยู่ในช่วงโครงสร้างผลึกมาร์เทนไซต์และ/หรืออาร์เฟส ทำให้โลหะเหล่านี้มีความอ่อนนุ่มและดัดได้ จึงง่ายต่อการเปลี่ยนรูปเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิร่างกาย (57) จึงมีผลให้มีประสิทธิภาพการขยายคลองรากฟันของไฟล์ทั้ง 3 ระบบนี้ไม่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 12 รูปหน้าตัดขวางของคลองรากพื้ก่อนทำการขยายคลองรากพื้ (A-C), หลังขยายคลองรากพื้ (D-F) และภาพตัดขวางที่ทำการซ้อนทับระหว่างก่อนและหลังการขยายคลองรากพื้ (G-I) ที่ระดับใกล้คอพื้ (A, D และ G), ระดับกลาง (B, E และ H) และระดับใกล้ปลายรากพื้ตามลำดับ (C, F และ I)

ไฟล์ระบบเรซีพรอบคอบมีการพัฒนาโลหะผ่านกระบวนการความร้อนที่เรียกว่า บลูเทอร์มอลทรีทเมนต์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลภายในโลหะร่วมกับทำให้สีของไฟล์มีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นชั้นของไทเทเนียมออกไซด์ ส่งผลให้ไฟล์มีคุณสมบัติความยืดหยุ่นยิ่งยวดและมีความต้านทานการหักจากความล้าจากการหมุนรอบเพิ่มมากขึ้น (35) ไฟล์ระบบเวฟวันโกลด์เป็นการพัฒนาโลหะผ่านกระบวนการความร้อนของบริษัทผู้ผลิตที่ทำให้โลหะ निकิลไทเทเนียมมีสีทอง โดยมีการให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้โลหะ निकิลไทเทเนียมมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปลี่ยนรูป ส่งผลเพิ่มสมบัตินี้ความยืดหยุ่นและความแข็งแรง (37), (58) ในขณะที่ไฟล์ระบบเอดจ์วันไฟร์ เป็นการพัฒนาโลหะผ่าน

กระบวนการความร้อนที่เรียกว่าไฟร์ไวร์ ที่ทำให้ไฟลมีคุณสมบัติยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งการผ่านกระบวนการความร้อนเหล่านี้ล้วนทำให้ไฟลระบบต่างๆมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้นเมื่อนำมาใช้ในคลองรากฟันโค้งจึงลดการเกิดข้อผิดพลาดขณะทำการเตรียมคลองรากฟัน

อย่างไรก็ตาม Keskin และคณะ (35) พบว่าไฟลระบบเรซิพรอกบลูเกิดการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมมากกว่าไฟลระบบเวฟวันโกลด์ การประเมินผลกำหนดจุดอ้างอิงที่คลองรากฟัน 5 ระดับคือ รูเปิดคลองรากฟัน (canal orifice) จุดกึ่งกลางระหว่างรูเปิดคลองรากฟัน และจุดเริ่มต้นส่วนโค้ง จุดเริ่มต้นส่วนโค้ง จุดปลายส่วนโค้ง จุดปลายสุดของคลองรากฟัน ผลการศึกษาของ Keskin และคณะพบว่าไฟลระบบเรซิพรอกบลูเกิดการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมที่ระดับจุดกึ่งกลางระหว่างรูเปิดคลองรากฟันและจุดเริ่มต้นส่วนโค้ง จุดปลายส่วนโค้ง และจุดปลายสุดของคลองรากฟัน มากกว่าไฟลระบบเวฟวันโกลด์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากความผายและเส้นผ่านศูนย์กลางของไฟลระบบเวฟวันโกลด์มีขนาดเล็กกว่าไฟลระบบเรซิพรอกบลู ซึ่งการศึกษานี้เป็นการศึกษาในคลองรากฟันจำลองที่กำหนดขนาดของคลองรากฟันเท่ากันทุกซี่ ดังนั้นขนาดและความผายของไฟลจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจมีผลต่อการเกิดการเบี่ยงเบนในคลองรากฟัน รวมทั้งความแข็งแรงพื้นผิวของเรซินของคลองรากฟันจำลองที่ค่อนข้างน้อย ขณะทำการขยายคลองรากฟันจึงอาจเกิดการเสียดสีทำให้เรซินอ่อนนุ่มลง เมื่อเปรียบเทียบกับคลองรากฟันมนุษย์ที่มีลักษณะกายวิภาคหลากหลาย และความแข็งแรงพื้นผิวของเนื้อฟันมนุษย์ที่มากกว่าเรซิน จึงมีผลทำให้ผลการศึกษาในคลองรากฟันจำลองแตกต่างจากการทดลองในฟันมนุษย์ที่ถูกถอน

การประเมินทิศทางที่เกิดการเบี่ยงเบนหลังการขยายคลองรากฟัน Al-Omari และคณะ (59) รายงานว่าการเบี่ยงเบนเพียงเล็กน้อยไปในทิศทางด้านนอกส่วนโค้งคลองรากฟันอาจเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากใช้การขยายคลองรากฟันโดยวิธีแอนไทเคิร์ฟเวเจอร์ (anticurvature filing technique) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเตรียมคลองรากฟันโค้ง การเกิดการเบี่ยงเบนไปในทิศทางด้านในส่วนโค้งอาจเกิดขึ้นมากกว่า เนื่องจากการควบคุมทิศทางและการเคลื่อนไหวของไฟลในคลองรากฟันทำได้ยาก เมื่อใส่ไฟลลงในคลองรากฟันโค้ง ไฟลจะพยายามกลับไปตรงเหมือนเดิม ทำให้หลังการเตรียมคลองรากฟันมักเกิดการเบี่ยงเบนไปในทิศทางด้านใน ส่วนโค้งที่ระดับกลางของคลองรากฟัน และทิศทางด้านนอกส่วนโค้งที่ระดับปลายรากฟัน(60) จากการศึกษาเมื่อประเมินทิศทางของการเบี่ยงเบนในคลองรากฟันโดยรวมทุกระดับพบว่า ไฟลระบบเรซิพรอกบลู เวฟวันโกลด์ และเอดจ์วันไฟร์ มีตำแหน่งทิศทางของการเบี่ยงเบนไปทั้งด้านนอกและด้านใน ส่วนโค้งคลองรากฟันใกล้เคียงกัน โดย Wu และคณะ (61) กล่าวว่าหากเกิดการเบี่ยงเบนที่ระดับใกล้ปลายรากฟันที่ระยะมากกว่า 300 ไมโครเมตร หรือคิดเป็น 0.3 มิลลิเมตร อาจเกิดผลเสียต่อ

ความแนบสนิทหลังจากอุดคลองรากฟัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้พบว่าที่ระดับใกล้ปลายรากฟัน ไฟล์ทั้ง 3 ระบบมีระยะการเกิดการเบี่ยงเบนในคลองรากฟันอยู่ในช่วง 0.03-0.04 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฟล์ทั้ง 3 ระบบในการศึกษานี้ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนในคลองรากฟันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ไม่มีผลต่อความแนบสนิทของวัสดุอุดคลองรากฟัน ซึ่งมีผลสำคัญต่ออัตราความสำเร็จในการรักษารากฟัน Shukri และคณะ(60) อภิปรายว่าการขยายคลองรากฟันผิดไปจากแนวเดิมที่เกิดขึ้นมีผลจากหลายปัจจัย เช่น สมบัติยืดหยุ่นของเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟัน ลักษณะการเคลื่อนที่ของไฟล์ในคลองรากฟัน และระยะเวลาที่ไฟล์สัมผัสกับคลองรากฟันขณะทำงาน

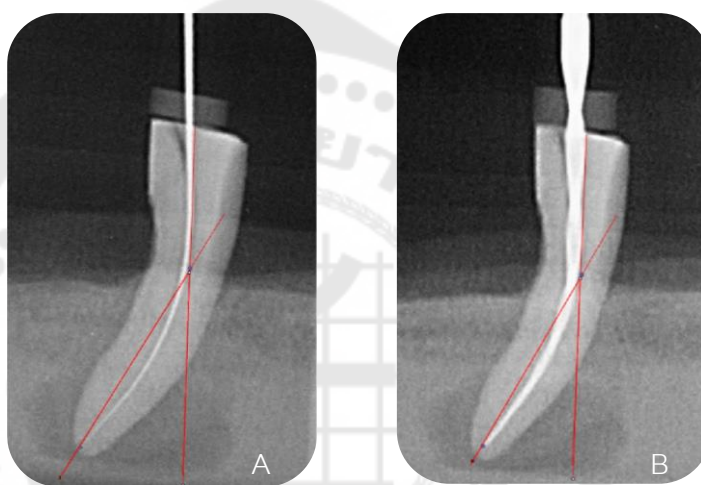
นอกจากการพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องมือขยายคลองรากฟันด้วยการวัดระยะการขยายคลองรากฟันผิดแนวแล้ว ยังสามารถประเมินได้จากสัดส่วนการคงแนวศูนย์กลางคลองรากฟัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเครื่องมือในการคงอยู่ศูนย์กลางคลองรากฟัน ซึ่งคำนวณจากการนำภาพตัดขวางคลองรากฟันก่อนและหลังทำการขยายคลองรากฟันมาซ้อนทับกัน จากนั้นนำค่าความแตกต่างของความหนาของผนังคลองรากฟันก่อนและหลังการขยายคลองรากฟันทั้ง 2 ข้างของคลองรากฟันมาแทนค่าเป็นสัดส่วนกัน โดยให้นำค่าที่น้อยกว่าไปแทนค่าในตัวเลข หากสัดส่วนการคงแนวศูนย์กลางคลองรากฟันเท่ากับ 1 แสดงถึงเครื่องมือมีการคงอยู่ศูนย์กลางคลองรากฟันที่ดี แต่หากค่าที่ได้ยิ่งใกล้ 0 แสดงว่าการคงอยู่ศูนย์กลางคลองรากฟันของเครื่องมือไม่ดี (8) อย่างไรก็ตามข้อด้อยของวิธีนี้คือหากค่าความแตกต่างความหนาของผนังคลองรากฟันก่อนและหลังการขยายด้านใดด้านหนึ่งมีค่าเท่ากับ 0 สัดส่วนที่ออกมาจะมีค่าเท่ากับศูนย์ทันที ไม่ว่าการขยายคลองรากฟันอีกด้านจะมีค่าการเปลี่ยนความหนาของผนังคลองรากฟันไป อย่างไรก็ตาม ทำให้ผลที่ออกมาไม่สามารถบ่งบอกประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการขยายคลองรากฟันได้อย่างแท้จริง

มุมคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไป

ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการขยายคลองรากฟันด้วยไฟล์ระบบเอเดจวันไฟร์มีร้อยละความโค้งที่ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือไฟล์ระบบเรซิพรอบบลู และเวฟวันโกลด์ ซึ่งพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบไฟล์ระบบเอเดจวันไฟร์กับระบบเวฟวันโกลด์ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับระบบเรซิพรอบบลู จากผลการศึกษาแสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานการวิจัย

การเตรียมคลองรากฟันที่ดีควรทำให้ลักษณะคลองรากฟันหลังการขยายมีความผาย เป็นรูปทรงกรวยตั้งแต่ส่วนปลายจนถึงส่วนต้นของคลองรากฟัน เมื่อนำภาพคลองรากฟันที่ทำการ

เตรียมคลองรากฟันเสร็จเรียบร้อยแล้วมาซ้อนทับกับภาพคลองรากฟันเดิม จะพบว่าคลองรากฟันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น โดยที่รูปลายรากฟันยังคงตำแหน่งเดิม รวมทั้งคงไว้ซึ่งรูปร่างและลักษณะของความโค้งเดิมของคลองรากฟัน อย่างไรก็ตามในการเตรียมคลองรากฟันโค้ง เครื่องมือที่ตรงมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการเปื่อยเบนจากแนวเดิมของคลองรากฟัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเครื่องมือที่มีความยืดหยุ่นต่ำ (62) จากการศึกษาในมุมคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไป หมายถึงการลดลงของค่ามุมความโค้งของคลองรากฟันภายหลังการขยายคลองรากฟัน เมื่อเปรียบเทียบกับมุมคลองรากฟันเดิม



ภาพประกอบ 13 A การวัดมุมความโค้งคลองรากฟันก่อนการขยายคลองรากฟัน
B ภายหลังการขยายคลองรากฟันด้วยวิธี Schneider(14)

ผลการศึกษาไฟลระบบเวฟวันโกลด์และเรซิพรอกบลูมีค่ามุมความโค้งที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยคืออยู่ในช่วงเฉลี่ยร้อยละ 5.82 และ 7.88 ตามลำดับ โดยพบว่าไฟลระบบเวฟวันโกลด์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับไฟลระบบเอดจ์วันไฟร์ ซึ่งค่ามุมความโค้งเปลี่ยนไปเฉลี่ยร้อยละ 10.22 ซึ่งหากอ้างอิงตามการจัดจำแนกระดับความโค้งของคลองรากฟันของ Schneider (14) คลองรากฟันตรงมีค่ามุมความโค้ง 5 องศาหรือน้อยกว่า คลองรากฟันโค้งปานกลาง 10-20 องศา และคลองรากฟันโค้งมาก 25-70 องศา แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมความโค้งเพียงร้อยละ 5 จะเปลี่ยนรูปร่างหรือระดับความโค้งของคลองรากฟันไม่มาก ไม่สามารถทำให้คลองรากฟันที่โค้งมากก่อนการขยายกลายเป็นคลองรากฟันคลองรากฟันโค้งปานกลางหรือโค้งน้อยหลังการขยายคลองรากฟันได้ หากการลดลงของค่ามุมความโค้งของ

คลองรากฟันเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย มีผลดีต่อการเข้าทำความสะอาดบริเวณปลายรากฟัน เพิ่มความสะดวกในการอุดคลองรากฟันให้แนบสนิทโดยตลอดจนถึงปลายรากฟัน แต่หากร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมความโค้งเกิดขึ้นมากแสดงถึงการเบี่ยงเบนของรูปร่างคลองรากฟันไปจากแนวคลองรากฟันดั้งเดิม

ในปัจจุบันยังขาดการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการเตรียมคลองรากฟันของไฟลระบบเอดจ์วันไฟร์ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตกล่าวว่าไฟลระบบเอดจ์วันไฟร์และระบบเวฟวันโกลด์มีลักษณะรูปร่าง ลักษณะการออกแบบที่คล้ายคลึงกัน และสามารถใช้งานในโปรแกรมการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับองศาเดียวกัน (63) สิ่งที่แตกต่างกันคือกระบวนการความร้อนของแต่ละบริษัทผู้ผลิต โดยโกลด์ไวร์เทคโนโลยีของไฟลระบบเวฟวันโกลด์ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของไฟลมากขึ้น โดยพบว่าไฟลระบบเวฟวันโกลด์มีความยืดหยุ่นมากขึ้นถึงร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับไฟลระบบเวฟวัน (37) Prados-Privado และคณะ (64) ศึกษาสมบัติการดัดโค้งและการบิดของไฟลระบบเรซิพรอก เวฟวัน เรซิพรอกบลู และเวฟวันโกลด์ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) เมื่อทดสอบความต้านทานการดัดโค้งระยะ 3 มิลลิเมตรจากปลายไฟล ที่อุณหภูมิ 700 องศา พบว่าไฟลระบบเวฟวันโกลด์มีสมบัติความยืดหยุ่นมากกว่าระบบเวฟวันคิดเป็นร้อยละ 86 และไฟลระบบเรซิพรอกบลูมีสมบัติความยืดหยุ่นมากกว่าระบบเรซิพรอกคิดเป็นร้อยละ 42.31 การทดสอบสมบัติความต้านทานการบิดพบว่าความเครียดสูงสุดที่เกิดบนพื้นผิวของไฟลระบบเวฟวันโกลด์น้อยกว่าไฟลระบบเวฟวันคิดเป็นร้อยละ 51 ในขณะที่ความเครียดของไฟลระบบเรซิพรอกและเรซิพรอกบลูมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาโลหะนิเกิลไทเทเนียมด้วยกระบวนการความร้อนอาจช่วยเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่น โดยพบว่าไฟลระบบเวฟวันโกลด์มีคุณสมบัติที่ดีกว่าในทางคลินิกเมื่อเปรียบเทียบกับไฟลระบบอื่น สอดคล้องกับการศึกษาของ Fangli และคณะ (58) พบว่าไฟลระบบเวฟวันโกลด์มีสมบัติความยืดหยุ่นมากกว่าไฟลระบบเวฟวันและเรซิพรอก เนื่องจากกระบวนการความร้อนของไฟลระบบเวฟวันโกลด์เข้าไปปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเปลี่ยนรูป ทำให้ไฟลเข้าสู่โครงสร้างอาร์เฟสซึ่งส่งผลให้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวด ดังนั้นกระบวนการความร้อนโกลด์ไวร์เทคโนโลยีอาจทำให้ไฟลระบบเวฟวันโกลด์มีสมบัติความยืดหยุ่นที่ดี เมื่อเตรียมคลองรากฟันโค้งส่งผลให้เปลี่ยนแปลงร้อยละความโค้งของคลองรากฟันน้อยกว่าระบบเอดจ์วันไฟร์จากการศึกษา

นอกจากนั้นจากผลการศึกษาพบว่า ไฟลระบบเวฟวันโกลด์ มีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมความโค้งคลองรากฟันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับไฟลระบบเรซิพรอกบลู สอดคล้องกับการศึกษาของ Burklein และคณะ (65) ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับ

มุมความโค้งของคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างเรซีพรอกบลูและเวฟวันโกลด์ โดย Burklein และคณะอภิปรายว่าการเลือกตัวอย่างอาจซับซ้อนไม่เพียงพอที่จะแยกความแตกต่างของประสิทธิภาพของกระบวนการความร้อนแบบโกลด์ไวร์ของไฟล์ระบบเวฟวันโกลด์ และบลูเทอร์มอลทรีทเมนต์ของไฟล์ระบบเรซีพรอกบลู ดังนั้นจึงคาดว่าหากเลือกฟันตัวอย่างที่ระบบคลองรากฟันมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น คลองรากฟันที่มีรัศมีความโค้งน้อยๆคือเป็นความโค้งฉับพลัน หรือคลองรากฟันรูปตัวเอส (S-shaped) อาจทำให้เห็นประสิทธิภาพการขยายคลองรากฟันว่าแตกต่างหรือไม่ชัดเจนขึ้น

ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมคลองรากฟัน

จากผลการศึกษาไฟล์ทั้ง 3 ระบบใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันเท่ากันคือเฉลี่ยอยู่ในช่วง 72.13- 74.40 วินาที โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแต่ละระบบที่ยอมรับสมมติฐานการวิจัย แสดงว่าแม้การออกแบบรูปร่างของเครื่องมือและกระบวนการผลิตไฟล์มีความแตกต่างกัน ก็ไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการตัดผนังคลองรากฟันเปลี่ยนแปลงไป เวลาที่ใช้ประมาณ 1 นาที 12-14 วินาที จัดว่าเป็นเวลาที่สั้นมากสำหรับการขยายคลองรากฟัน 1 คลองรากฟัน หากเป็นฟันกรามที่มี 4 คลองรากฟัน จะใช้เวลารวมโดยประมาณ 5 นาทีเท่านั้น ทำให้เกิดข้อดีต่อการรักษามาก คือ ลดความเมื่อยล้าของผู้ป่วยและทันตแพทย์ ทั้งหากเป็นการรักษาคลองรากฟันแบบครั้งเดียวเสร็จ (one-visit root canal treatment) จะยิ่งทำให้รักษาได้มีประสิทธิภาพดีขึ้นอีก ผลการศึกษาดังกล่าวนี้อาจสอดคล้องกับการศึกษาของ Burklein และคณะ (65) ซึ่งเปรียบเทียบไฟล์ระบบเรซีพรอก เรซีพรอกบลู เวฟวัน และเวฟวันโกลด์ พบว่าทุกระบบใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แม้จะมีการศึกษาของ Kataia และคณะ (56) ซึ่งสรุปว่าไฟล์ระบบเวฟวันโกลด์ใช้ระยะเวลาในการทำงานน้อยกว่าไฟล์ระบบเรซีพรอกบลู อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการออกแบบมุมเกลียว (helical angle) และรูปร่างปลายไฟล์ที่แตกต่างกัน แต่จากผลการศึกษาไม่พบความแตกต่างของระยะเวลาการขยายคลองรากฟันดังที่กล่าวไปข้างต้น อาจเนื่องจากผู้ทำการศึกษาได้ฝึกหัดใช้ไฟล์ทั้ง 3 ระบบ จนมีความคุ้นเคยกับไฟล์ทั้ง 3 ระบบเป็นอย่างดี จึงไม่ประสบปัญหาเกี่ยวกับแรงดึงของไฟล์ลงสู่คลองรากฟัน (screw-in effect) ดังที่กล่าวในการศึกษาของ Kataia และคณะ

มีการเปรียบเทียบระยะเวลาในการเตรียมคลองรากฟันระหว่างไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว และไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว ซึ่งพบว่าไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว ใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (6) การศึกษาของ Schafer และคณะ(66) รายงานระยะเวลาที่

ใช้ในการเตรียมคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียวระบบเอ็มทู เคทรี (K3) และเรซ ในฟันมนุษย์ที่ถูกถอนที่มีความโค้งในช่วง 25-35 องศา พบว่าระบบเอ็มทูใช้ระยะเวลาเฉลี่ยต่อหนึ่งคลองรากฟัน 3.84 นาที (230.4 วินาที) ระบบเคทรี 5.47 นาที (328.2 วินาที) และระบบเรซ 5.48 นาที (328.8 นาที) ซึ่งมากกว่าระยะเวลาที่ใช้จากการศึกษาในที่เฉลี่ยอยู่ในช่วง 72.13-74.40 วินาที สอดคล้องกับการศึกษาของ Burklein และคณะ (19) ที่พบว่าไฟล์ระบบเวฟวันและระบบเรซิพรอกที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียว ใช้ระยะเวลาในการขยายคลองรากฟัน 82.3 และ 73.1 วินาที ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับไฟล์ระบบเอ็มทู 181.7 วินาทีและโปรเทเปอร์ 188.7 วินาที ที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว

นอกจากระยะเวลาในการเตรียมคลองรากฟันโดยไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวจะใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันน้อยกว่า ยังพบว่าไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับเกิดการเบี่ยงเบนในคลองรากฟันน้อยกว่าไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว จากการศึกษาของ Haimed และคณะ (67) พบว่าไฟล์ระบบเรซิพรอกและเวฟวัน ซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบหมุนไปกลับ ใช้เวลาในการเตรียมคลองรากฟันน้อยกว่า รวมทั้งเกิดการเบี่ยงเบนในคลองรากฟันน้อยกว่าไฟล์ระบบโปรเทเปอร์ ยูนิเวอร์ซอล (Protaper Universal) และเอ็มทู ซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่องทิศทางเดียว อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ใช้ในการขยายคลองรากฟันขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ จำนวนของเครื่องมือ ประสิทธิภาพของทันตแพทย์ และการออกแบบวิธีการทดลองของแต่ละการศึกษา (11) นอกจากนั้น Burklein และคณะ (19) แนะนำว่าหากไฟล์ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนไปกลับระบบไฟล์ตัวเดียวใช้เวลาน้อยลงในการเตรียมคลองรากฟัน การใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันปริมาณมากขึ้น ร่วมกับการเพิ่มเครื่องมือที่ใช้กระตุ้นประสิทธิภาพของน้ำยาล้างคลองรากฟัน สามารถช่วยเพิ่มความสามารรถในละลายและกำจัดเศษเชื้อจุลินทรีย์ และเนื้อฟันที่ติดเชื้อที่หลงเหลืออยู่ในระบบคลองรากฟันได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการศึกษานี้ใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีความโค้งปานกลางถึงมาก อาจทำให้ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการเตรียมคลองรากฟันไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจน ดังนั้นการศึกษาต่อไปอาจเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีความโค้งมาก ร่วมกับมีรัศมีความโค้งแบบฉับพลัน เพื่อสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของไฟล์ในการเตรียมคลองรากฟันโค้งมากได้ดียิ่งขึ้น

2. การศึกษานี้มีการสร้างทางในคลองรากฟันด้วยเคไฟล์เบอร์ 15 ในทุกกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตมีการแนะนำให้ใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง เช่น โปรไกลเดอร์ (ProGlider, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), พาทไฟล์ (PathFile, Dentsply Maillefer) เป็นต้น เป็นไฟล์ที่ใช้ในการสร้างทางก่อนการเตรียมคลองรากฟัน ซึ่งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพรวมทั้งลดความเสี่ยงในการเกิดข้อผิดพลาดขณะเตรียมคลองรากฟันในการศึกษาต่อไป

3. จากการศึกษาพบว่าภาพตัดขวางที่ได้จากไมโคร-ซีทีที่มีความละเอียดมากพอที่จะประเมินความสามารถของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องในการเตรียมคลองรากฟันได้อย่างดี ดังนั้นการศึกษาต่อไปอาจนำไมโคร-ซีทีมาใช้ประเมินในคลองรากฟันที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น คลองรากฟันรูปตัวซี คลองรากฟันตีบ หรือการกำจัดกัตตาเปอร์ชาในคลองรากฟันโค้งด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องสำหรับการรักษาคลองรากฟันซ้ำ

4. การศึกษาในอนาคตอาจศึกษาสมบัติทางกลในไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ผ่านการพัฒนาโลหะด้วยกระบวนการความร้อน เช่น สมบัติความยืดหยุ่น สมบัติการดัดโค้ง และความต้านทานการหักจากการบิด รวมทั้งประเมินบริเวณพื้นผิวคลองรากฟันที่ไม่ถูกทำความสะอาด และปริมาตรคลองรากฟันที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการขยายคลองรากฟัน เพื่อสามารถประเมินผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้นว่าการผ่านกระบวนการความร้อนช่วยพัฒนาสมบัติทางกลได้ดีขึ้นเมื่อทำการเตรียมคลองรากฟันโค้ง

5. จากการศึกษาทำการเตรียมคลองรากฟันโดยใช้ 1 ไฟล์ต่อ 1 คลองรากฟันตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ดังนั้นการทำงานในทางคลินิกในฟันกรามที่มี 3-4 คลองรากฟัน การใช้ไฟล์ตัวเดียวเตรียมคลองรากฟัน 3-4 ครั้งตามจำนวนคลองรากฟัน อาจจำเป็นต้องประเมินปัจจัยอื่นร่วมด้วยเพื่อให้เหมาะสมต่อจำนวนครั้งในการใช้งานของไฟล์ 1 ตัว เช่น ค่ามุมความโค้งและรัศมีความโค้งของคลองรากฟัน หากคลองรากฟันโค้งมากหรือขนาดของคลองรากฟันก่อนขยายตีบแคบมาก อาจต้องจำกัดจำนวนครั้งการใช้งานของไฟล์ให้น้อยครั้งกว่าคลองรากฟันที่โค้งน้อยหรือคลองรากฟันขนาดใหญ่

บรรณานุกรม

1. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal of endodontics*. 2004;30(8):559-567.
2. Esposito PT, Cunningham CJ. A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *Journal of endodontics*. 1995;21(4):173-176.
3. Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *Journal of endodontics*. 1988;14(7):346-351.
4. De-Deus G, Silva EJNL, Vieira VTL, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G, et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the Reciproc files. *Journal of endodontics*. 2017;43(3):462-466.
5. Pedullà E, Grande NM, Plotino G, Gambarini G, Rapisarda E. Influence of continuous or reciprocating motion on cyclic fatigue resistance of 4 different nickel-titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*. 2013;39(2):258-261.
6. Hoppe CB, Böttcher DE, Justo AM, Só MVR, Grecca FS. Comparison of curved root canals preparation using reciprocating, continuous and an association of motions. *Scanning*. 2016;38(5):462-468.
7. You S-Y, Kim H-C, Bae K-S, Baek S-H, Kum K-Y, Lee W. Shaping ability of reciprocating motion in curved root canals: a comparative study with micro-computed tomography. *Journal of endodontics*. 2011;37(9):1296-1300.
8. Mamede-Neto I, Borges AH, Guedes OA, de Oliveira D, Pedro FLM, Estrela C. Root canal transportation and centering ability of nickel-titanium rotary instruments in mandibular premolars assessed using cone-beam computed tomography. *The open dentistry journal*. 2017;11:71.
9. De-Deus G, Brandão MC, Barino B, Di Giorgi K, Fidel RAS, Luna AS. Assessment of apically extruded debris produced by the single-file ProTaper F2 technique under reciprocating movement. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*. 2010;110(3):390-394.

10. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *International endodontic journal*. 2008;41(4):339-344.
11. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic topics*. 2005;10(1):30-76.
12. Lopes RMV, Marins FC, Belladonna FG, Souza EM, De-Deus G, Lopes RT, et al. Untouched canal areas and debris accumulation after root canal preparation with rotary and adaptive systems. *Australian Endodontic Journal*. 2017.
13. Yuan G, Yang G. Comparative evaluation of the shaping ability of single-file system versus multi-file system in severely curved root canals. *Journal of Dental Sciences*. 2018.
14. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. 1971;32(2):271-275.
15. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of endodontics*. 1997;23(2):77-85.
16. Estrela C, Bueno MR, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Method for determination of root curvature radius using cone-beam computed tomography images. *Brazilian Dental Journal*. 2008;19(2):114-118.
17. Nagy CD, Szabó J, Szabó J. A mathematically based classification of root canal curvatures on natural human teeth. *Journal of endodontics*. 1995;21(11):557-560.
18. Mayo CV, Montgomery S, del Rio C. A computerized method for evaluating root canal morphology. *Journal of endodontics*. 1986;12(1):2-7.
19. Burklein S, Hinschitza K, Dammaschke T, Schäfer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *International endodontic journal*. 2012;45(5):449-461.
20. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *Journal of endodontics*. 1985;11(5):203-211.
21. Webber J, Machtou P, Pertot W, Kuttler S, Ruddle C, West J. The WaveOne single-file reciprocating system. *Roots*. 2011;1(1):28-33.

22. Pedullà E, Plotino G, Grande N, Avarotti G, Gambarini G, Rapisarda E, et al. Shaping ability of two nickel–titanium instruments activated by continuous rotation or adaptive motion: a micro-computed tomography study. *Clinical oral investigations*. 2016;20(8):2227-2233.
23. Gambarini G, Gergi R, Naaman A, Osta N, Al Sudani D. Cyclic fatigue analysis of twisted file rotary NiTi instruments used in reciprocating motion. *International endodontic journal*. 2012;45(9):802-806.
24. Robinson JP, Lumley PJ, Cooper PR, Grover LM, Walmsley AD. Reciprocating root canal technique induces greater debris accumulation than a continuous rotary technique as assessed by 3 - dimensional micro-computed tomography. *Journal of endodontics*. 2013;39(8):1067-1070.
25. Kuhn G, Jordan L. Fatigue and mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*. 2002;28(10):716-720.
26. Badami V, Ahuja B. Biosmart materials: breaking new ground in dentistry. *The Scientific World Journal*. 2014;2014.
27. Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, et al. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *Journal of endodontics*. 2008;34(8):1003-1005.
28. Shen Y, Zhou H-m, Zheng Y-f, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *Journal of endodontics*. 2013;39(2):163-172.
29. Belladonna FG, Carvalho MS, Cavalcante DM, Fernandes JT, de Carvalho Maciel AC, Oliveira HE, et al. Micro-computed Tomography Shaping Ability Assessment of the New Blue Thermal Treated Reciproc Instrument. *Journal of endodontics*. 2018.
30. Ye J, Gao Y. Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *Journal of endodontics*. 2012;38(1):105-107.
31. Al-Hadlaq SM, AlJarbou FA, AlThumairy RI. Evaluation of cyclic flexural fatigue of M-wire nickel-titanium rotary instruments. *Journal of endodontics*. 2010;36(2):305-7.

32. Elnaghy A. Cyclic fatigue resistance of ProTaper Next nickel-titanium rotary files. *International endodontic journal*. 2014;47(11):1034-1039.
33. Bürklein S, Börjes L, Schäfer E. Comparison of preparation of curved root canals with Hyflex CM and Revo-S rotary nickel-titanium instruments. *International endodontic journal*. 2014;47(5):470-476.
34. Capar ID, Ertas H, Arslan H. Comparison of cyclic fatigue resistance of novel nickel-titanium rotary instruments. *Australian Endodontic Journal*. 2015;41(1):24-28.
35. Keskin C, Demiral M, Sarıyılmaz E. Comparison of the shaping ability of novel thermally treated reciprocating instruments. *Restorative dentistry & endodontics*. 2018;43(2).
36. Topcuoglu HS, Topcuoglu G. Cyclic fatigue resistance of Reciproc Blue and Reciproc files in an s-shaped canal. *Journal of endodontics*. 2017;43(10):1679-82.
37. Webber J. Shaping canals with confidence: WaveOne GOLD single-file reciprocating system. *Roots*. 2015;1:34-40.
38. EdgeOne Fire [Available from: <https://web.edgeendo.com/edgeonefire/>].
39. Yared G. Reciproc blue: the new generation of reciprocation. *Giornale Italiano di Endodonzia*. 2017;31(2):96-101.
40. Ruckman JE, Whitten B, Sedgley CM, Svec T. Comparison of the Self-Adjusting File with Rotary and Hand Instrumentation in Long-oval-shaped Root Canals. *Journal of endodontics*. 2013;39(1):92-95.
41. Topcu KM, Karatas E, Ozsu D, Ersoy I. Efficiency of the Self Adjusting File, WaveOne, Reciproc, ProTaper and hand files in root canal debridement. *European journal of dentistry*. 2014;8(3):326.
42. Gambarini G, Laszkiewicz J. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments. *International Endodontic Journal*. 2002;35(5):422-427.
43. Hülsmann M, Rummelin C, Schäfers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *Journal of Endodontics*. 1997;23(5):301-306.

44. Simsek N, Keles A, Ahmetoglu F, Ocak MS, Yologlu S. Comparison of different retreatment techniques and root canal sealers: a scanning electron microscopic study. *Brazilian oral research*. 2014;28(1):1-7.
45. Saber S, Nagy M, Schäfer E. Comparative evaluation of the shaping ability of WaveOne, Reciproc and OneShape single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. *International endodontic journal*. 2015;48(1):109-114.
46. Swain MV, Xue J. State of the art of micro-CT applications in dental research. *International journal of oral science*. 2009;1(4):177.
47. De-Deus G, Marins J, de Almeida Neves A, Reis C, Fidel S, Versiani MA, et al. Assessing accumulated hard-tissue debris using micro-computed tomography and free software for image processing and analysis. *Journal of endodontics*. 2014;40(2):271-276.
48. Reciproc blue user guide [Internet]. 2016. Available from: <https://www.vdw-dental.com/fileadmin/Dokumente/Sortiment/Aufbereitung/Reziproke-Aufbereitung/RECIPROC-blue/VDW-Dental-Reciprocblue-brochure-EN.pdf>.
49. DIRECTIONS FOR USE WaveOne Gold system 2017 [updated 2017. Available from: https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Endodontics/Glide_Path__Shaping/Rotary__Reciprocating_Files/Shaping/WaveOne_Gold_Reciprocating_Files/WaveOne%20Gold%202017_DFU_EN.pdf.
50. EdgeOne Fire DIRECTIONS FOR USE [Available from: <https://www.edgeendo.com/wp-content/uploads/2015/08/EdgeOne-Fire-DFU.pdf>.
51. Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *Journal of Endodontics*. 2010;36(5):904-907.
52. Ferrara G, Taschieri S, Corbella S, Ceci C, Del Fabbro M, Machtou P. Comparative evaluation of the shaping ability of two different nickel–titanium rotary files in curved root canals of extracted human molar teeth. *Journal of investigative and clinical dentistry*. 2017;8(1):e12187.

53. Hartmann R, Fensterseifer M, Peters OA, de Figueiredo J, Gomes M, Rossi-Fedele G. Methods for measurement of root canal curvature: a systematic and critical review. *International endodontic journal*. 2019;52(2):169-180.
54. Schäfer E, Dammaschke T. Development and sequelae of canal transportation. *Endodontic topics*. 2006;15(1):75-90.
55. Swain MV, Xue J. State of the art of micro-CT applications in dental research. *International journal of oral science*. 2009;1(4):177-188.
56. Kataia MM, Roshdy NN, Nagy MM. Comparative analysis of canal transportation using reciproc blue and wavo one gold in simulated root canals using different kinematics. *Future Dental Journal*. 2018;4(2):156-159.
57. Maki K, EBIHARA A, KIMURA S, NISHIJO M, TOKITA D, MIYARA K, et al. Enhanced root canal-centering ability and reduced screw-in force generation of reciprocating nickel-titanium instruments with a post-machining thermal treatment. *Dental materials journal*. 2020:2018-428.
58. Fangli T, Maki K, Kimura S, Nishijo M, Tokita D, Ebihara A, et al. Assessment of mechanical properties of WaveOne Gold Primary reciprocating instruments. *Dental materials journal*. 2019;38(3):490-495.
59. Al-Omari M, Dummer P, Newcombe R, Doller R, Hartles F. Comparison of six files to prepare simulated root canals. Part 2. *International Endodontic Journal*. 1992;25(2):67-81.
60. Shukri BM. A Comparative Study to Evaluate Canal Transportation and Centering ability of Simulated Curved Canals Prepared by XP-Shaper, WaveOne Gold and ProTaper NEXT Files. *MUSTANSIRIA DENTAL JOURNAL*. 2018;15(1):18-24.
61. Wu M-K, Fan B, Wesselink PR. Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: effects of apical transportation on seal of root fillings. *Journal of Endodontics*. 2000;26(4):210-216.
62. Yammine S, Jabbour E, Diemer F, Majzoub Z. Canal straightening following overinstrumentation with three nickel-titanium rotary instruments. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*. 2018;8(3):245.

63. Gambarini G, Galli M, Di Nardo D, Seracchiani M, Donfrancesco O, Testarelli L. Differences in cyclic fatigue lifespan between two different heat treated NiTi endodontic rotary instruments: WaveOne Gold vs EdgeOne Fire. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2019;11(7):e609.
64. Prados-Privado M, Rojo R, Ivorra C, Prados-Frutos JC. Finite element analysis comparing WaveOne, WaveOne Gold, Reciproc and Reciproc Blue responses with bending and torsion tests. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2019;90:165-172.
65. Bürklein S, Flüch S, Schäfer E. Shaping ability of reciprocating single-file systems in severely curved canals: WaveOne and Reciproc versus WaveOne Gold and Reciproc blue. *Odontology*. 2019;107(1):96-102.
66. Schafer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *International Endodontic Journal*. 2006;39(3):203-212.
67. Haimed ASA, Abuhaimed TS, Dummer PE, Bryant ST. The root canal shaping ability of WaveOne and Reciproc versus ProTaper Universal and Mtwo rotary NiTi systems. *Saudi Endodontic Journal*. 2017;7(1):8.

ภาคผนวก



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

พนัธนันท์ สงวนวงศ์ทอง

วัน เดือน ปี เกิด

22 มิถุนายน 2533

สถานที่เกิด

กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ปัจจุบัน

69/55 หมู่บ้านพระปิ่น3 หมู่16 ต.บางแม่นาง อ. บางใหญ่ จ.นนทบุรี
11140

