ความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าร่วมกับขยายคลองรากฟัน ระหว่างการขยายคลองรากฟันทางกลแบบอัตโนมัติเมื่อใช้ระบบไฟล์ที่แตกต่างกัน

ACCURACY OF COMBINATION OF EAL AND ENDODONTIC MOTOR DEVICE DURING AUTOMATED ROOT CANAL INSTRUMENTATION WITH DIFFERENT FILE SYSTEMS

ณัฐธยาน์ ศักดิ์สมบูรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

ความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าร่วมกับขยายคลองรากฟัน ระหว่างการขยายคลองรากฟันทางกลแบบอัตโนมัติเมื่อใช้ระบบไฟล์ที่แตกต่างกัน

ณัฐธยาน์ ศักดิ์สมบูรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ACCURACY OF COMBINATION OF EAL AND ENDODONTIC MOTOR DEVICE DURING AUTOMATED ROOT CANAL INSTRUMENTATION WITH DIFFERENT FILE SYSTEMS

NATTHAYA SAKSOMBOON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Clinical Dentistry)

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าร่วมกับขยายคลองรากฟัน
ระหว่างการขยายคลองรากฟันทางกลแบบอัตโนมัติเมื่อใช้ระบบไฟล์ที่แตกต่างกัน

ของ

ณัฐธยาน์ ศักดิ์สมบูรณ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร.จารุมา ศักดิ์ดี)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณธนะ สัตตบรรณศุข)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงชินาลัย ปิยะชน)

ชื่อเรื่อง	ความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าร่วมกับขยายคลองรากฟันระหว่างการขยายคลองรากฟันทางกลแบบอัตโนมัติเมื่อใช้ระบบไฟล์ที่แตกต่างกัน
ผู้วิจัย	ณัฐธยาน์ ศักดิ์สมบูรณ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. จารุมา ศักดิ์ดี

วัตถุประสงค์ : เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในเครื่องวัดความยาวคลองรากฟันพร้อมเตรียมคลองรากฟันของเครื่องโกลด์เรซิพรอกระหว่างไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนระบบการหมุนต่อเนื่องและระบบการหมุนไปกลับ วัสดุและอุปกรณ์ : ฟันกรามน้อยบนที่ถูกถอนที่มีคลองรากฟันสองรากแยกจากกัน รวมทั้งหมด 40 คลองรากฟัน กรอตัดฟันที่ระดับ CEJ วัดความยาวจริงโดยสอดเคไฟล์ขนาด 15 ให้ปลายไฟล์ถึงขอบบนของรูปลายรากฟันและถ่ายภาพ นำภาพทำการวัดความยาวโดยใช้โปรแกรม imageJ ได้เป็นค่าความยาวจริง แบ่งคลองรากฟันเป็น 2 กลุ่มแบบสุ่ม กลุ่มละ 20 คลองรากฟัน กลุ่มแรกเตรียมเครื่องโกลด์เรซิพรอก ตั้งค่าหยุดขยายไฟล์อัตโนมัติ ขยายโดยใช้ไฟล์โปรเทปเปอร์โกลด์ขนาด F1 เมื่อเครื่องหยุดหมุน ทำการวัดความยาวไฟล์ได้เป็นความยาวขณะขยาย กลุ่มที่สองขยายโดยใช้ไฟล์เวฟวันโกลด์ขนาดไพรมารี และวัดความยาวตามวิธีการเดียวกัน คำนวณค่าผลต่างระหว่างความยาวจริงและความยาวขณะขยายและวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างทั้งสองกลุ่มด้วยการทดสอบค่าทีแบบสองกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความยาวจริงและความยาวขณะขยายภายในกลุ่มด้วยการทดสอบค่าทีแบบสองกลุ่มไม่เป็นอิสระ ผลการศึกษา : ค่าเฉลี่ยความยาวแตกต่างกลุ่มโกลด์เรซิพรอก เท่ากับ 0.14 (±0.25) มม. และในกลุ่มเวฟวันโกลด์เท่ากับ 0.12 (±0.27) มม. จากการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างระหว่างทั้งสองกลุ่ม กลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ไม่พบความแตกต่างระหว่างความยาวจริงและความยาวขณะขยาย แต่กลุ่มเวฟวันโกลด์ค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าร้อยละ 70 ของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มปลายไฟล์เกินออกนอกปลายรากฟันอย่างไรก็ตามร้อยละ 90 ของตัวอย่างทั้งหมดอยู่ในช่วงระยะ ±0.5 มม. จากความยาวจริง สรุป : ความแม่นยำของเครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าโกลด์เรซิพรอกให้ความแม่นยำสูง และระบบการหมุนของไฟล์ที่แตกต่างกัน ทั้งแบบหมุนไปกลับและหมุนต่อเนื่องไม่ส่งผลต่อความแม่นยำของเครื่องโกลด์เรซิพรอก

คำสำคัญ : เครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า, ระบบหมุนต่อเนื่อง, ระบบหมุนไปกลับ, ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม

Title	ACCURACY OF COMBINATION OF EAL AND ENDODONTIC MOTOR DEVICE DURING AUTOMATED ROOT CANAL INSTRUMENTATION WITH DIFFERENT FILE SYSTEMS
Author	NATTHAYA SAKSOMBOON
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Dr. Jaruma Sakdee

Aim: To compare the accuracy of the combination of EAL and endodontic motor devices during preparation by Gold reciproc motor between continuous rotation and a reciprocation NiTi rotary system. Materials and methods: Twenty extracted maxillary premolars with two separated root canals, with a total of 40 root canals, were cut at a CEJ level and inserted a No.15 K-file until the file tip was shown at a major foramen under a dental operating microscope and captured with a digital camera. The length of the file was measured and recorded using the ImageJ program (mm.) as 'Direct length'. All canals were randomly divided into two groups, with 20 canals each. The first group used a Gold Reciproc motor setting with an auto stop function and a Protaper Gold size F1 file until the file tip reached the apex and rotation stop. The final length of file was recorded as 'Preparation length'. The other group used the same procedure with Waveone Gold size Primary file. The difference length between the direct length and preparation length of both groups were calculated and statistically analyzed with independent t-test and analyzed between direct length and preparation length in each group with dependent t-test. Results: The mean difference length was 0.14 (±0.25) mm. in the WaveOne Gold group, and 0.12 (±0.27) in Protaper Gold group. The statistical analysis revealed no differences between the two groups. After root canal preparation, the direct length and preparation length were statistically different in the WaveOne Gold group, but not different in the Protaper group. It was found that 70% of the file tips in group I and II were over the root apices. However, 90% of all samples distributed in range of ±0.50 mm. from direct length. Conclusion: The accuracy of combination EAL and endodontic motor device Gold reciproc was highly accurate and the two different motions did not influence the accuracy of Gold reciproc.

Keyword : NiTi rotary file, Reciprocation, Continuous rotation, Combinations of EAL and endodontic motor device

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเมตตากรุณาช่วยเหลือ และความเอาใจใส่อย่างดียิ่งตลอดจนการให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปรับแก้ไขข้อบกพร่องจากคณะกรรมการผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.ทพญ. จารุมา ศักดิ์ดี และ ผศ. ทพ. สุวิทย์ วิมลจิตต์ ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษาและให้ข้อเสนอแนะ ช่วยปรับปรุงจุดที่บกพร่อง และคอยช่วยเหลือชี้แนวทางในสิ่งที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาและการทำปริญญานิพนธ์นี้ด้วยความใส่ใจเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิทยาเอนโดดอนต์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ ความรู้ต่างๆ แก่ผู้วิจัย และอนุเคราะห์เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณทันอุดหนุนการวิจัย จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยได้ลุล่วง

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ ที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน สำหรับสถานที่และเครื่องมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงความช่วยเหลือและกำลังใจให้กับผู้วิจัยตลอดมา ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆ สาขาวิทยาเอนโดดอนต์ รวมถึงบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจการทำวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณของบิดามารดา ที่ให้ความรักและกำลังใจตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนสามารถทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

ณัฐธยาน์ ศักดิ์สมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ภูมิหลัง 1

ความมุ่งหมายของการวิจัย 3

ความสำคัญของการวิจัย 3

คำถามงานวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 4

นิยามศัพท์เฉพาะ 4

กรอบแนวคิดวิจัย 5

5

สมมติฐานการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

ความสำคัญของการหาความยาวการทำงาน 7

ลักษณะทางกายวิภาคปลายรากฟัน 7

หลักการทำงานของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยกระแสไฟฟ้า 9

ประเภทของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า 11

เครื่องวัดความยาวคลองรากฟันขณะหยุดนิ่ง 11
เครื่องวัดความยาวคลองรากฟันขณะหยุดนิ่งร่วมกับขณะเคลื่อนไฟล์ 13
ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวรากฟันด้วยเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า 15
ระบบของเครื่องมือขยายคลองรากฟัน 18
ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ (ProTaper Gold) 19
ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบเวฟวันโกลด์ (WaveOne Gold) 20
การศึกษาความแม่นยำในการวัดความยาวรากฟัน 21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 24
การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง 24
การเลือกฟัน 24
การวัดความยาวจริงระหว่างส่วนปลายฟันถึงรูปลายรากฟัน 25
การเตรียมฟันลงบล็อก 26
การเตรียมคลองรากฟัน 27
กลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ 28
กลุ่มเวฟวันโกลด์ 30
การวิเคราะห์ข้อมูล 30
บทที่ 4 31
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล 31
การวิเคราะห์ผลต่างความยาวระหว่างสองกลุ่ม 32
การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความยาวจริงและความยาวขณะขยายในแต่ละกลุ่ม 34
บทที่ 5 35
อภิปรายผล สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ 35

อภิปรายผล 35
สรุปผลวิจัย 40
ข้อเสนอแนะ 40
บรรณานุกรม 41
ภาคผนวก 49
ประวัติผู้เขียน 55

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยของผลต่างความยาว (ΔL) ทั้งสองกลุ่ม 32

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยของผลต่างความยาวแบ่งตามตำแหน่งเปรียบเทียบกับรูปลายรากฟัน 34

ตาราง 3 แสดงค่าความยาวจริง (DL) ความยาวไฟล์ขณะขยาย (PL) และผลต่างความยาว (ΔL) ของแต่ละตัวอย่างในแต่ละตัวอย่างในกลุ่มเวฟวันโกลด์ 50

ตาราง 4 แสดงค่าความยาวจริง (DL) ความยาวไฟล์ขณะขยาย (PL) และผลต่างความยาว (ΔL) ของแต่ละตัวอย่างในกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ 51

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย 5

ภาพประกอบ 2 แสดงตำแหน่งบริเวณปลายรากฟัน (A) เนื้อฟัน, (B)รอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบรากฟัน (CDJ), (C) จุดคอดปลายรากฟัน, (D) รูปลายรากฟัน และ (E) เคลือบรากฟัน (2) (19) 8

ภาพประกอบ 3 ประเภทของจุดคอดปลายราก (23) 9

ภาพประกอบ 4 แผนภาพแสดงจำลองเครื่องวัดความยาวรากฟันตามหลักการของ Sunada (25) 9

ภาพประกอบ 5 เครื่อง ไทรออโตซีเอกซ์2 14

ภาพประกอบ 6 เครื่อง โกลด์เรซิพรอก 15

ภาพประกอบ 7 แสดงไฟล์ในระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ 20

ภาพประกอบ 8 **แสดงไฟล์ระบบเวฟวันโกลด์** 21

ภาพประกอบ 9 แสดงการวัดระยะห่างของไฟล์กับจุดคอดปลายรากฟันและรูปลายรากฟัน (50) 22

ภาพประกอบ 10 ภาพฟันหลังการตัดตัวฟัน 25

ภาพประกอบ 11 แสดงภาพบริเวณปลายรากฟัน ลูกศรชี้รูปลายรากฟันส่วนด้านตัวฟันของรูปลายรากฟัน 26

ภาพประกอบ 12 แสดงการวัดความคลองรากฟันจริง (DL) โดยใช้โปรแกรม ImageJ เส้นสีเหลืองลากตั้งแต่ปลายไฟล์ถึงขอบล่างรับเบอร์สตอป 26

ภาพประกอบ 13 ภาพตัวอย่างบล็อกพลาสติก พร้อมลวดโลหะด้านข้าง 27

ภาพประกอบ 14 แสดงการแบ่งกลุ่มการทดลอง แบ่งเป็นกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ (PTG) และกลุ่มเวฟวันโกลด์ (WOG) 28

ภาพประกอบ 15 แสดงภาพจำลองของภาพหน้าจอเปิดโหมดหยุดหมุนปลายรากอัตโนมัติ (52) 29

ภาพประกอบ 16 แสดงภาพจำลองเมื่อไฟล์ถึงบริเวณปลายรากฟัน หน้าจอแสดงตำแหน่งขีดสีเขียวที่ 3 ไฟล์จะหยุดหมุนอัตโนมัติ (52) 29

ภาพประกอบ 17 ตัวอย่างหลังจากขยายคลองรากฟันของกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ และภาพบริเวณปลายรากฟัน (ขวา) 32

ภาพประกอบ 18 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลต่างความยาวของกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ (PG) และกลุ่มเวฟวันโกลด์ (WG) 33

ภาพประกอบ 19 ตัวอย่างหลังจากขยายคลองรากฟันของกลุ่มเวฟวันโกลด์ 52

ภาพประกอบ 20 ภาพถ่ายเพื่อวัดความยาวไฟล์หลังขยาย 53

ภาพประกอบ 21 แสดงขั้นตอนการขยายคลองรากฟันโดยใช้เครื่องโกลด์เรซิพรอก 54

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

ความสำเร็จในการรักษาคลองรากฟันเกิดจากการกำจัดเชื้อโรคภายในคลองรากฟัน ตลอดความยาวคลองรากฟันจะเกิดขึ้นได้เมื่อทราบความยาวที่ถูกต้องของคลองรากฟัน (root canal length) และมีความยาวการทำงานที่เหมาะสม (working length) ภายในคลองรากฟัน ป้องกันการบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน การถ่ายภาพรังสีเป็นวิธีหนึ่งในการหาความยาวคลองรากฟันที่ใช้มานาน แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความแม่นยำในการหาความยาวคลองรากฟัน เนื่องจากไม่สามารถตรวจพบจุดคอดที่ปลายรากฟัน (apical constriction) (1)และอาจพบการซ้อนทับอวัยวะอื่นหรือบิดเบี้ยวของภาพ (2) จึงมีการนำเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า (electronic apex locators) ใช้เสริมในการหาความยาวคลองรากฟัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาความยาวคลองรากฟัน มีความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟันมากกว่าภาพรังสี สามารถตรวจพบตำแหน่งรูปลายรากฟันได้จริง ทำได้ง่ายและรวดเร็ว ลดจำนวนการถ่ายภาพรังสี สามารถหาความยาวได้แม้ในตำแหน่งที่ภาพรังสีไม่สามารถแสดงได้ (3, 4) และมีความแม่นยำสูงถึง 90-100% (5, 6)

ปัจจุบันทันตแพทย์นิยมเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมมีการพัฒนาคุณสมบัติของโลหะสามารถเพิ่มความคงทนต่อการล้าจากการหมุน (cyclic fatigue) ทำให้ไฟล์มีความสามารถในการโค้งงอ (flexibility) และคงลักษณะรูปร่างเดิมของคลองรากฟันได้ดี (7) สามารถแบ่งประเภทของระบบไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมตามลักษณะการหมุนของไฟล์ได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ หมุนต่อเนื่องและหมุนไปกลับ และมีการพัฒนาเครื่องขยายคลองรากฟันพร้อมวัดความยาวรากฟันตัวใหม่ ชื่อว่า โกลด์เรซิพรอก (Gold Reciproc) เป็นเครื่องขยายพร้อมพ่วงเครื่องวัดความยาวรากฟันในเครื่องเดียวกัน รองรับระบบไฟล์แบบหมุนรอบต่อเนื่อง และหมุนไปกลับได้สามารถใช้งานแยกกันได้ระหว่างการวัดความยาวรากฟันและขยายคลองรากฟัน มีการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสามารถวัดความยาวคลองรากฟันขณะขยายคลองรากฟันได้แม่นยำเทียบเท่ารูทซีเอกซ์ (RootZX) (7) (8)

การศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟันด้วยเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าขณะหยุดนิ่ง (static) การมีเศษผง (debris) อุดตันในคลองรากฟันหรือการมีการสะสมของแร่ธาตุ (calcification) ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวรากฟัน เนื่องจากการมีสิ่งอุดตันคลองรากฟันจะไปตัดช่องทางติดต่อระหว่างคลอง

รากฟันกับเนื้อเยื่อเอ็นยึดปริทันต์ (9) มีการศึกษาผลของการเคลื่อนที่ของไฟล์ต่อการเกิดเศษผงอุดตัน Robinson และคณะ(10) พบว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง (Nickel-Titanium Rotary File) ชนิดหมุนแบบไปกลับ (reciprocating movement) จะทำให้เกิดการอุดตันของเศษผงสู่บริเวณจุดคอดรากฟัน (canal isthmus) และบริเวณปลายรากมากกว่าการหมุนต่อเนื่อง (continuous rotation) เนื่องจากการหมุนแบบไปกลับ จะทำให้เกิดแรงผลักเศษผงมากกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ De-deus และคณะ ปี 2010(11) และ Bürklein และคณะ ปี 2014 (12) แต่มีรายงานผลขัดแย้ง (13) พบว่าไฟล์ที่มีการหมุนแบบไปกลับคือระบบเวฟวัน (WaveOne) และเรซิพรอก (Reciproc) และไฟล์ที่มีการหมุนต่อเนื่องคือระบบไบโอเรซ (BioRace) ทำให้เกิดเศษผงอุดตันไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ Tamarut และ คณะ(14)พบว่าความเข้มข้นของไอออน (ion concentration) ภายในคลองรากฟันและนอกคลองรากฟันส่งผลต่อการอ่านค่าความยาวด้วยเครื่อง เมื่อของเหลวภายในคลองรากฟันและของเหลวภายนอกคลองรากฟันที่มีความเข้มข้นของไอออนที่แตกต่างกันสองชนิดมาบรรจบกัน เกิดเป็นรอยต่อระหว่างความเข้มข้นของไอออน เรียกว่ารอยต่อการเปลี่ยนแปลง (transition zone) ซึ่งเครื่องวัดความยาวจะอ่านค่า ณ ตำแหน่งรอยต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาของผลของการเคลื่อนที่ไฟล์ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งรอยต่อการเปลี่ยนแปลงและส่งผลต่อความแม่นยำหรือไม่

เครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าได้รับการพัฒนา และมีการใช้ค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) ในการวัดและคำนวณเป็นตำแหน่งจุดเปิดบริเวณปลายรากฟัน (apical canal terminus) ดังนั้นถ้าค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไปจะส่งผลต่อความแม่นยำในการวัด (15) การศึกษาของ Al-bulushi และคณะ ปี 2008 (16)พบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะลดลงเมื่อปลายไฟล์เข้าใกล้ปลายรากฟัน และจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ตำแหน่งรูเปิดคลองรากฟัน อีกทั้งความหนาเนื้อฟันที่เปลี่ยนแปลงจากกระบวนการขยายคลองรากฟันส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ลดลง และมีผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟัน ดังนั้นกระบวนการขยายคลองรากฟันหากมีการตัดเนื้อฟันที่แตกต่างอาจส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์และความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟันด้วยเครื่อง การศึกษาของ Singh และคณะ ปี 2019 (17) พบว่าไฟล์โปรเทปเปอร์โกลด์ (Protaper Gold) ที่มีการหมุนต่อเนื่องมีเนื้อฟันที่ถูกตัดมากกว่าไฟล์เวฟวันโกลด์ที่มีการหมุนแบบไปกลับ ดังนั้นระบบการหมุนที่ต่างกันหากตัดเนื้อฟันปริมาณต่างกันอาจส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์และทำให้ความแม่นยำในการวัดแตกต่างได้

ระบบการหมุนของไฟล์อาจส่งผลต่อปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟันด้วยเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาที่แสดงว่าระบบการหมุนของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องแตกต่างกัน มีผลต่อความแม่นยำในการวัดความคลองรากฟันขณะเตรียมคลองรากฟันของเครื่องโกลด์เรซิพรอกหรือไม่

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในวัดความยาวคลองรากขณะการเตรียมคลองรากฟันของเครื่องโกลด์เรซิพรอกในไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนระบบการหมุนต่อเนื่องและระบบการหมุนไปกลับในฟันกรามน้อยมนุษย์ โดยใช้ไฟล์ระบบโปรเทปเปอร์โกลด์และระบบเวฟวันโกลด์

ความสำคัญของการวิจัย

การขยายคลองรากฟันนิยมใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมในการขยายคลองรากฟันเนื่องจากดัดงอได้ ทนต่อความล้าการแตกหักเหนือกว่าไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้สามารถลดความผิดพลาดในการเตรียมคลองรากฟันและลดระยะเวลาการทำงานของทันตแพทย์ ปัจจุบันระบบไฟล์มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของไฟล์ได้แก่ หมุนต่อเนื่องและหมุนแบบไปกลับ หากใช้ความยาวการทำงานที่ถูกต้องในกระบวนการขยายคลองรากฟันจะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อ ลดโอกาสเครื่องมือเกินออกนอกปลายรากฟัน และส่งผลต่อความสำเร็จในการรักษารากฟัน

ปัจจุบันมีการจัดจำหน่ายเครื่องเตรียมคลองรากฟันพร้อมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าเครื่องโกลด์เรซิพรอก ซึ่งเป็นเครื่องเตรียมคลองรากฟันด้วยการหมุนทั้งสองรูปแบบ อีกทั้งสามารถวัดความยาวรากฟันพร้อมกับขยายคลองรากฟัน และหยุดเมื่อปลายเครื่องมือเกินออกนอกปลายรากฟัน โดยมุ่งหวังให้สามารถคงความยาวการทำงานได้ตลอดขณะขยายคลองรากฟัน ลดโอกาสขยายเกินปลายรากฟัน แต่ความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขนาดรูปลายรากฟัน ชนิดโลหะของไฟล์ สภาวะภายในคลองรากฟัน ความหนาของเนื้อฟัน อย่างไรก็ตามความแม่นยำในการคงความยาวในการทำงานระหว่างการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องโกลด์เรซิพรอก ยังไม่มีการศึกษาผลของระบบการเคลื่อนที่ของไฟล์ที่แตกต่างกันต่อผลของความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟันขณะใช้ขยายคลองรากฟันในเครื่อง โกลด์เรซิพรอก ทางผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาไฟล์นิกเกิลไทเทียมระหว่าง ระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ (ProTaper Gold, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ที่มีการหมุนรอบต่อเนื่อง และระบบเวฟวันโกลด์ (WaveOne Gold, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ที่มีการหมุนแบบไปกลับ ในคลองรากฟันกรามน้อยมนุษย์

เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือและชนิดไฟล์ในการเตรียมคลองรากฟัน เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการเตรียมคลองรากฟัน เพิ่มความสามารถในการทำความสะอาดและเตรียมคลองรากฟันและลดโอกาสอันตรายต่อเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันระหว่างการทำงาน

คำถามงานวิจัย

การใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่มีระบบการหมุนต่างกัน มีผลต่อการควบคุมความยาวการทำงานขณะขยายคลองรากฟันเมื่อใช้เตรียมคลองรากฟันด้วยเครื่อง โกลด์เรซิพรอก ในฟันกรามน้อยมนุษย์หรือไม่

ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยจำลองสถานการณ์การใช้เครื่อง โกลด์เรซิพรอก ในการวัดความยาวคลองรากฟันด้วยไฟล์ระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ที่มีการหมุนแบบรอบต่อเนื่องและระบบเวฟวันโกลด์ที่มีการหมุนแบบไปกลับในคลองรากฟันด้านใกล้กลางฟันกรามน้อยมนุษย์ที่ถูกถอน

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น

ชนิดการเคลื่อนที่ของระบบของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุน

ตัวแปรตาม

ความสามารถในการวัดความยาวการทำงานขณะเตรียมคลองรากฟัน

นิยามศัพท์เฉพาะ

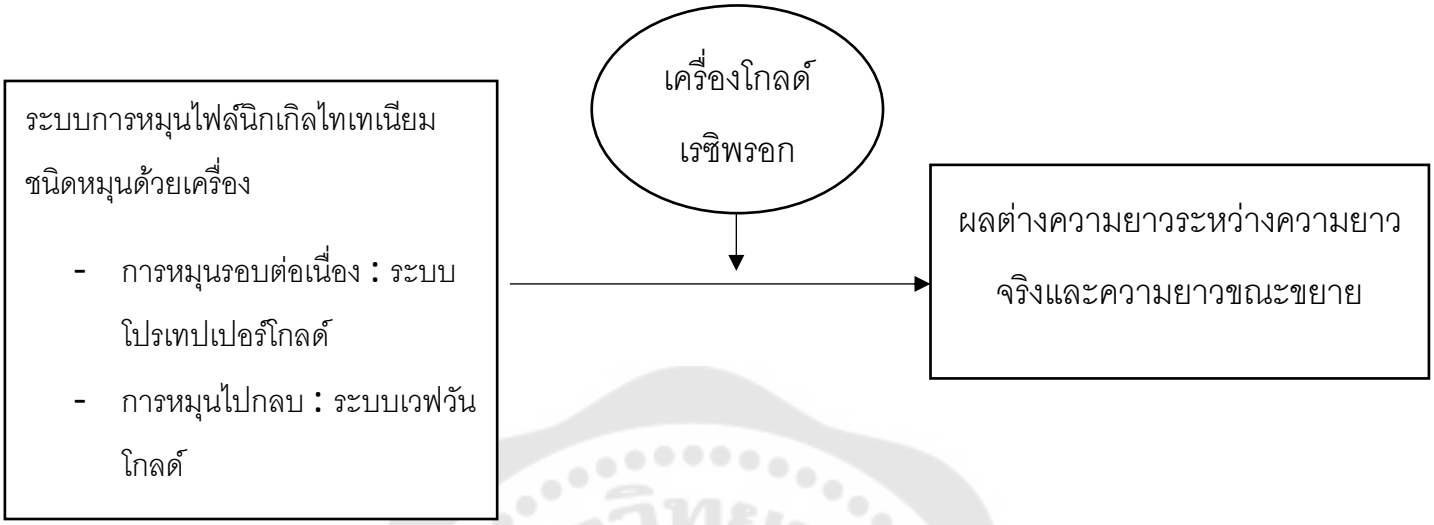
เครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า (Electronic apex locator-integrated endodontic handpiece) หมายถึง เครื่องขยายคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนติดตั้งร่วมกับโปรแกรมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า

ความยาวจริง (Direct length) หมายถึง ความยาวคลองรากฟันจริงที่วัดจากจุดอ้างอิงฟันด้านตัวฟันถึงขอบส่วนตัวฟันของรูปลายรากฟัน (coronal part of apical foramen)

ความยาวขณะขยาย (Preparation length) หมายถึง ความยาวคลองรากฟันที่วัดจากจุดอ้างอิงถึงปลายไฟล์เมื่อเครื่องขยายคลองรากฟันหยุดหมุนอัตโนมัติเมื่อเครื่องตรวจจับว่าไฟล์เกินออกนอกรูปลายรากฟัน

ผลต่างความยาว (different length) หมายถึง ค่าผลต่างระหว่างความยาวจริงและความยาวขณะขยาย

กรอบแนวคิดวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานหลัก

ผลต่างความยาวในการทำงานของเครื่องโกลด์เรซิพรอก ในระหว่างการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบโปรเทปเปอร์โกลด์และระบบเวฟวันโกลด์ไม่มีความแตกต่างกัน

สมมติฐานรอง

ผลต่างความยาวในการทำงานของเครื่องโกลด์เรซิพรอก ในระหว่างการเตรียมคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบโปรเทปเปอร์โกลด์และระบบเวฟวันโกลด์แตกต่างกัน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

ความสำคัญของการหาความยาวการทำงาน

การรักษารากฟันมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันและรักษาการติดเชื้อบริเวณปลายรากฟัน ประกอบด้วยขั้นตอนการหาความยาวการทำงาน การเตรียมคลองรากฟัน การล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟัน และการอุดคลองรากฟัน การหาความยาวการทำงานมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดสิ้นสุดการทำงานในระหว่างขั้นตอนการเตรียมคลองรากฟัน เพื่อให้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้มากที่สุดและลดการทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อล้อมรอบรากฟัน (periapical tissue) ปัจจุบันการใช้เครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า (electronic apex locators) ได้รับความนิยมเนื่องจากใช้งานง่าย ลดการรับรังสีจากการถ่ายภาพรังสี มีความแม่นยำสูง

ลักษณะทางกายวิภาคปลายรากฟัน

การหาความยาวการทำงานมีจุดประสงค์เพื่อจะกำหนดระยะทางที่เครื่องมือเข้าไปทำงาน ระยะทางที่ถูกต้องมีผลต่อความสำเร็จในการรักษาคลองรากฟัน เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการหาความยาวทำงาน ควรมีความรู้ทางด้านตำแหน่งทางกายวิภาคดังนี้

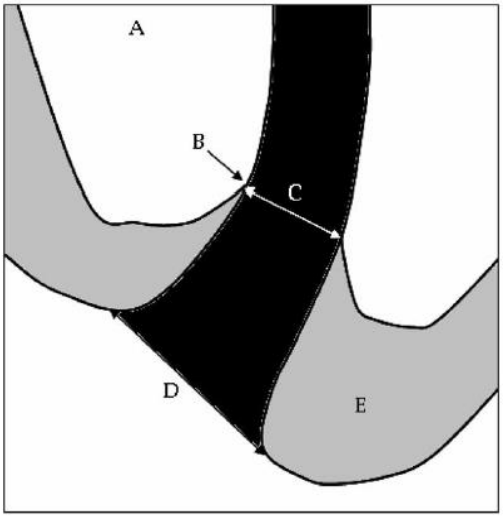
ปลายรากฟันทางกายวิภาค (anatomical apex) คือ ตำแหน่งปลายสุดของรากฟัน

ปลายรากฟันทางภาพรังสี (radiographic apex) คือ ตำแหน่งปลายสุดของรากฟันในภาพรังสี

รูปลายรากฟัน (apical foramen) คือ ตำแหน่งรูปลายรากฟัน โดยอาจไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกับปลายรากฟันทางกายวิภาคหรือทางภาพรังสีก็ได้

จุดคอดปลายรากฟัน (apical constriction) คือ ตำแหน่งบริเวณปลายรากฟันที่คลองรากฟันมีเส้นผ่านศูนย์กลางแคบที่สุด

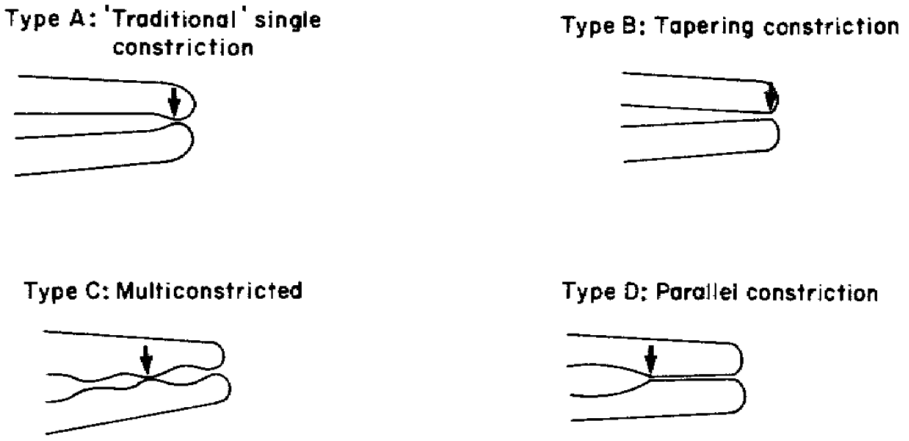
รอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบรากฟัน (cementodentinal junction ; CDJ) คือ ตำแหน่งรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเคลือบรากฟัน สั้นกว่าปลายรากฟันทางกายวิภาคประมาณ 0.5-0.3 มม. เป็นตำแหน่งทางจุลกายวิภาคไม่สามารถหาได้โดยการตรวจทางคลินิกหรือภาพรังสี(18) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2 (19)



ภาพประกอบ 2 แสดงตำแหน่งบริเวณปลายรากฟัน (A) เนื้อฟัน, (B)รอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบราก ฟัน (CDJ), (C) จุดคอดปลายรากฟัน, (D) รูปลายรากฟัน และ (E) เคลือบรากฟัน (2) (19)

มีการศึกษาที่เสนอว่า จุดคอดปลายรากฟันและรอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบรากฟันเป็นตำแหน่งเดียวกัน และเป็นตำแหน่งที่ควรใช้เป็นจุดสิ้นสุดการเตรียมคลองรากฟันและอุดคลองราก ฟัน (3, 20) แต่การศึกษาของ Hassanian และคณะ ปี 2008(21) ศึกษาตำแหน่งของรอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบรากฟัน และจุดคอดปลายรากฟัน กับตำแหน่งรูปลายรากฟัน ในผู้ป่วยอายุ 30-45 ปี พบว่า ตำแหน่งรอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบรากฟันอยู่ 0.3 มม. เหนือต่อรูปลายรากฟัน และตำแหน่งจุดคอดปลายรากฟันอยู่เหนือต่อรอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบรากฟัน

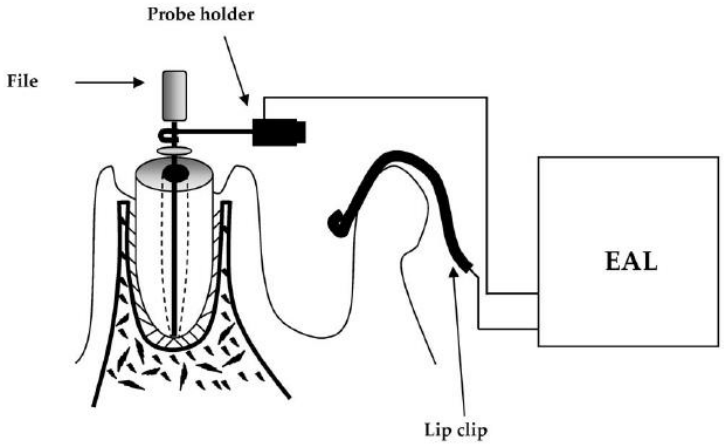
ตำแหน่งรอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบรากฟันมีความสัมพันธ์กับการสะสมเคลือบรากฟัน และการละลายของปลายรากฟัน ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามอายุ การบาดเจ็บ การจัดฟัน พยาธิสภาพรอบปลายรากฟัน และโรคปริทันต์อักเสบ และเชื้อชาติ(22) ในทางคลินิกไม่สามารถบอกตำแหน่งรอยต่อเนื้อฟันกับเคลือบรากฟันได้ ในขณะที่ตำแหน่งจุดคอดปลายรากฟันซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยที่สุดของคลองรากฟันบริเวณปลายรากฟัน เป็นตัวกั้น (barrier) ทางธรรมชาติและสามารถตรวจได้ทางคลินิก เหล่านี้ทำให้ตำแหน่งจุดคอดที่ปลายราก เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมในการเป็นจุดสิ้นสุดการทำงาน แต่อย่างไรก็ตาม Dummer และคณะ(23) พบว่าตำแหน่งจุดคอดปลายรากฟันมีความหลากหลาย สามารถพบลักษณะของจุดคอดปลายราก ฟันได้ถึง 4 ประเภท (ภาพประกอบ 3) ทำให้การระบุตำแหน่งของจุดคอดปลายรากในทางคลินิก อาจทำได้ยาก



ภาพประกอบ 3 ประเภทของจุดคอดปลายราก (23)

หลักการทำงานของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยกระแสไฟฟ้า

Suzuki ปี 1942(24) ได้ทำการทดลองในฟันสุนัข พบว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้า (electronic resistance) ระหว่างเครื่องมือที่ใส่เข้าไปในคลองรากฟันและขั้วไฟฟ้า (electrode) ที่สัมผัสกับเนื้อเยื่อช่องปากมีค่าคงที่ หลักการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการวัดความยาวคลองรากฟันได้ ต่อมา Sunada ปี 1962 (25) ได้นำหลักการนี้มาพัฒนาเครื่องมืออย่างง่ายโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงวัดความยาวคลองรากฟัน (ภาพประกอบ 4) เครื่องมือนี้ใช้หลักการที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเนื้อเยื่อเมือกช่องปากกับอวัยวะปริทันต์มีค่าคงที่ ที่ 6.5 KΩ ที่ 40 μA ในทุกตำแหน่งของอวัยวะปริทันต์ โดยไม่ขึ้นกับอายุของผู้ถูกวัด รูปร่าง และชนิดของฟัน ดังนั้นจึงสามารถคำนวนค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในคลองรากฟันได้ โดยคำนวนจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้ไปและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้กฎของโอห์ม (Ohm's Law)



ภาพประกอบ 4 แผนภาพแสดงจำลองเครื่องวัดความยาวรากฟันตามหลักการของ Sunada (25)

คลองรากฟันถูกล้อมรอบด้วยเนื้อฟันและเคลือบรากฟันซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า (insulator) แต่ที่ตำแหน่งรูปลายรากฟันบริเวณรูมีการเชื่อมกับเนื้อเยื่อเอ็นยึดปริทันต์ (periodontal ligament) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า (conductor) ค่าความต้านทานไฟฟ้า (resistance) ของส่วนประกอบภายในคลองรากฟัน ได้แก่ เนื้อฟัน เนื้อเยื่อภายในคลองรากฟันมีคุณสมบัติต้านทานไฟฟ้า จะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไฟฟ้า (resistor) ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นนี้จะเปลี่ยนแปลงตามค่าระยะทาง,เส้นผ่าศูนย์กลาง, และค่าความต้านของวัสดุ เมื่อปลายไฟล์เข้าสู่คลองรากฟันไปทางรูปลายรากฟัน จะทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าระหว่างปลายไฟล์และบริเวณปลายรากฟันลดลง เนื่องจากระยะทางระหว่างตัวต้านไฟฟ้าภายในคลองรากฟันลดลง และจะมีค่าเท่ากับ 6.5 KΩ ที่ตำแหน่งติดต่อกับอวัยวะปริทันต์ เมื่อคำนวนค่าความต้านทานที่บริเวณรูปลายรากฟันได้ จึงสามารถบอกตำแหน่งของรูปลายรากฟันได้ แต่อย่างไรก็ตามนอกจากภายในคลองรากฟันจะมีคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าแล้ว ยังมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าอีกด้วย (capacitive characteristics) ซึ่งหลักการของเครื่องของ Sunada ไม่ได้นำมาใช้คำนวณ

เนื่องจากเครื่องที่ใช้หลักการของ Sunada ใช้เพียงค่าความต้านทานไฟฟ้าในการคำนวณความยาวคลองรากฟัน แต่ภายในระบบคลองรากฟันยังมีค่าความจุไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อวงจรไฟฟ้า ทำให้เมื่อคลองรากฟันเปียกซึ่งเป็นสภาวะที่ค่าความจุไฟฟ้าเด่น ทำให้การวัดความยาวคลองรากฟันมีความแม่นยำที่ต่ำลง ดังนั้นการนำเพียงค่าความต้านทานไฟฟ้ามาคำนวณเพียงค่าเดียวจึงไม่เพียงพอต่อความแม่นยำ เครื่องในยุคต่อมาได้พัฒนาเครื่องวัดความยาวรากฟันใช้หลักการอิมพีแดนซ์ความถี่เดียว (single frequency impedance) ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับค่าความถี่เพียงค่าเดียวในการวัดค่าอิมพีแดนซ์แทนค่าความต้านทานไฟฟ้าในการวัดตำแหน่งภายในคลองรากฟัน เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าสลับจะเกิดค่าที่มีผลต้านทานการไหลของไฟฟ้า 2 ค่า คือค่าต้านทานไฟฟ้าและค่าประจุไฟฟ้า (capacitance) ค่าอิมพีแดนซ์เป็นค่าที่ใช้แทนค่าความต้านทานการไหลของไฟฟ้าวงจรกระแสสลับซึ่งประกอบด้วย ค่าความต้านทานไฟฟ้า และค่าความจุไฟฟ้า ทำให้การวัดความยาวด้วยค่าอิมพีแดนซ์มีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่าความต้านทานไฟฟ้า แต่ค่าความต้านทานไฟฟ้าไม่ได้มีค่าเท่ากันในทุกคลองรากฟัน จะแตกต่างตามลักษณะรูปร่างของคลองรากฟันและค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ของของเหลวภายในคลองรากฟัน ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) ของวัสดุแต่ละชนิด คือค่าคงที่ซึ่งบ่งบอกถึงความมีขั้วของวัสดุที่อุณหภูมิใดๆ ดังนั้นชนิดของสารภายในคลองรากฟันที่แตกต่างจะมีค่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่างกัน(26) เครื่องจะวัดผิดพลาดเมื่อคลองรากฟันมีวัสดุประเภทนำไฟฟ้า

(electro-conductive materials) หรือมีสารอิเลคโทรไลท์ และในคลองรากฟันที่แห้งก็ส่งผลให้วัดค่าได้ไม่ถูกต้องเช่นกัน และต้องมีการปรับเทียบ (calibrate) ก่อนการใช้งาน

ปัจจุบันมีพัฒนาและจัดจำหน่ายเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าหลายบริษัท เช่น รูทซีเอกซ์ (Root ZX, J.Morita, Tokyo, Japan), อีเลเมนท์ไดแอกโนซิส ยูนิต แอนด์ เอเพกซ์ โลเคเตอร์ (Elements Diagnostic Unit and Apex Locator, Sybron Endo, Anaheim, California, USA), เรย์เพกซ์ (Raypex, VDM, Munich, Germany) เป็นต้น

ประเภทของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า

ปัจจุบันเครื่องมือวัดความยาวคลองรากฟันด้วยไฟฟ้าสามารถแบ่งตามการใช้งานได้ 2 แบบ คือ

1.) เครื่องวัดความยาวคลองรากฟันขณะหยุดนิ่ง (static measurement) ได้แก่ รูทซีเอกซ์, เรย์เพกซ์

2.) เครื่องวัดความยาวคลองรากฟันขณะหยุดนิ่งร่วมกับขณะเคลื่อนไฟล์ (dynamic measurement) ได้แก่ ไทรออโตซีเอกซ์ (TriAuto ZX, J. Morita, Tokyo, Japan), โกลด์เรซิพรอก (Gold Reciproc, VDW GmbH, Munich, Germany)

เครื่องวัดความยาวคลองรากฟันขณะหยุดนิ่ง

1. **รูทซีเอกซ์**

Kobayashi และ Suda ปี 1994 (27) ได้เสนอแนวคิดในการใช้ การวัดค่าสัดส่วน (the ratio method/division method) โดยการใช้กระแสไฟฟ้าสลับซึ่งมี 2 ค่าความถี่ จะวัดค่าอิมพีแดนซ์จากแต่ละค่าความถี่ และบอกตำแหน่งของไฟล์โดยคำนวนจากสัดส่วนของค่าอิมพีแดนซ์จากความถี่ทั้งสอง เมื่อ Z(fH)คือค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่สูง และ Z(fL) คือ ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่ำ

$$\text{Ratio} = \frac{Z(f_H)}{Z(f_L)}$$

Kobayashi และ Suda (27) ได้พิสูจน์แล้วว่าค่าสัดส่วน (ratio) มีค่าเฉพาะตามค่าความถี่ที่ใช้ โดยค่าอิมพีแดนซ์ความถี่สูงจะลดลงอย่างมากที่ตำแหน่งจุดคอดปลายรากฟัน ทำให้ค่าสัดส่วนที่ได้มีค่าน้อย ค่าสัดส่วนสามารถบอกตำแหน่งของปลายไฟล์ภายในคลองรากฟันได้ อีกทั้งอิเลคโทรไลต์ไม่ส่งผลต่อค่าสัดส่วนที่ได้ เนื่องจากอิเลคโทรไลต์แต่ละชนิดจะมีค่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ค่าหนึ่ง ซึ่งมีค่าเท่ากันในส่วนตัวหารและตัวถูกหารภายในสมการ

ทำให้ค่าสัดส่วนที่ได้ยังคงมีค่าเท่าเดิม จากหลักการข้างต้นจึงได้พัฒนาเป็นเครื่อง รูทซีเอกซ์ (J. Morita Co., Kyoto, Japan)

เครื่อง รูทซีเอกซ์ ได้รับความนิยมเนื่องจากมีข้อดีคือ ไม่ต้องปรับเทียบก่อนการใช้งาน และสามารถใช้ได้แม้ว่าคลองรากฟันจะมีอิเลคโทรไลต์ แห้งหรือชื้นก็วัดได้ การศึกษาเรื่องความแม่นยำของเครื่อง รูทซีเอกซ์ มีหลายการศึกษา Pagavino ปี 1998 (5) ได้ศึกษาความแม่นยำของเครื่อง รูทซีเอกซ์ ในมนุษย์ โดยวัดภายในช่องปาก จากนั้นถอนฟันและตรวจสอบตำแหน่งไฟล์ด้วยการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า เครื่อง รูทซีเอกซ์ ให้ความแม่นยำ 100% ภายในระยะ +/- 1 มม. จากรูปลายรากฟัน และ 82.75% ภายในระยะ +/- 0.5 มม. จากรูปลายรากฟัน การศึกษาของ Welk และคณะ ปี 2003 (6) ศึกษาความแม่นยำของเครื่อง รูทซีเอกซ์ แบบ in vivo เช่นกัน โดยวัดความยาวด้วยเครื่อง รูทซีเอกซ์ ภายในช่องปาก จากนั้นถอนฟันและกรอผ่าบริเวณ 4 มม. จากปลายรากเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างปลายไฟล์กับจุดคอดปลายรากฟัน พบว่าเครื่อง รูทซีเอกซ์ ให้ความแม่นยำที่ 90.7% ภายในระยะ +/- 0.5 มม. จากจุดคอดปลายรากฟัน

ปัจจุบันมีการรวมเครื่องรูทซีเอกซ์กับเครื่องขยายแบบหมุน (rotary handpiece) ทำให้สามารถวัดความยาวรากฟันและสามารถใช้ขยายคลองรากฟันได้ จัดจำหน่ายในชื่อ ไทรออโตซีเอกซ์ และเดนตาพอร์ตซีเอกซ์ (Dentaport ZX, J. Morita, Tokyo, Japan) (29)

2. เรย์เพกซ์

เรย์เพกซ์ (Raypex, VDW, Munich, Germany) เป็นหนึ่งในเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าที่ได้รับความนิยม เรย์เพกซ์5 ใช้ค่าความถี่ในการวัดความยาวสองค่า คือ 400 Hz และ 8KHz แตกต่างกับเครื่องวัดความยาวคลองรากฟันด้วยไฟฟ้าชนิดรูทซีเอกซ์ คือเรย์เพกซ์จะใช้ค่าความถี่ทีละค่าในแต่ละครั้ง ในขณะที่รูทซีเอกซ์จะใช้ทั้งสองค่าความถี่พร้อมกัน ทางบริษัทอ้างว่าการใช้ความถี่ทีละค่าจะให้ความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากการใช้ความถี่ค่าเดียวจะลดการเกิดสัญญาณรบกวนไฟฟ้า (electronic noise) มีการศึกษาของ Stober และคณะ ปี 2011 (28) ศึกษาความแม่นยำเมื่อใช้ในทางคลินิกของ เรย์เพกซ์ 5 (Raypex5) พบว่ามีความแม่นยำที่ 75% เมื่อวัดภายในระยะ +/- 0.5 มม. จากรูเปิดรากฟันหลัก และ 100% เมื่อวันภายในระยะ +/- 1 มม. มีการศึกษาของ Moscoso และคณะ (29) ได้ทดลองในคนและพบว่า เรย์เพกซ์ 6 สามารถตรวจพบรูปลายรากฟันภายในระยะ +/- 0.5 มม. ได้ 88.22% จากตัวอย่างทั้งหมด และ 100% ภายในระยะ +/- 1 มม. ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเดนทาพอร์ทซีเอกซ์ (Dentaport ZX) สอดคล้องกับ Aydin และคณะ ปี 2015 (30) ได้ศึกษาความแม่นยำของ เรย์เพกซ์ 6 (Raypex6) และ รูทซีเอกซ์ ในคลองรากที่มีขนาดรูเปิดปลายรากต่างกัน พบว่า เรย์เพกซ์ 6 มีความแม่นยำ 85% ในระยะ +/-

0.5 มม.จากรูปลายรากฟัน และ95% ในระยะ +/- 1 มม.จากรูปลายรากฟันในตัวอย่างที่ปลายรากสร้างเสร็จสมบูรณ์ และพบว่าในตัวอย่างที่มีขนาดรูปลายรากฟันกว้าง ความแม่นยำของ เรย์เพกซ์ 6 ไม่แตกต่างกับ รูทซีเอกซ์

เครื่องวัดความยาวคลองรากฟันขณะหยุดนิ่งร่วมกับขณะเคลื่อนไฟล์

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องขยายคลองรากฟันพร้อมกับวัดความยาวคลองรากฟันขณะขยายด้วยไฟล์ระบบหมุน (rotary files) ได้แก่

1. **ไทรออโตซีเอกซ์**

เครื่อง ไทรออโตซีเอกซ์ เป็นการรวมเครื่องรูทซีเอกซ์ กับเครื่องขยายคลองรากฟันแบบหมุน ทำให้สามารถวัดความยาวรากฟันและสามารถใช้ขยายคลองรากฟันได้พร้อมกันและยังสามารถใช้งานแยกส่วนได้ (27) ปัจจุบันมีการพัฒนาจำหน่ายเป็นรุ่นใหม่ คือ ไทรออโตซีเอกซ์2 (ภาพประกอบ 5) เครื่อง ไทรออโตซีเอกซ์ 2 สามารถวัดความยาวรากฟันเพียงอย่างเดียวหรือวัดความยาวพร้อมกับการเตรียมคลองรากฟันด้วยการหมุนต่อเนื่อง (continuous rotation) นอกจากนี้มีโหมดโอเอเอส (OAS (Optimum Apical Stop)) ซึ่งจะปรับการหมุนเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกาอัตโนมัติ ½ - 1 รอบ และหยุดเมื่อปลายไฟล์ตรวจพบว่าอยู่ตำแหน่งใกล้ปลายรากฟัน เพื่อป้องกันปลายไฟล์เกินปลายรากฟัน มีการศึกษาพบว่าความแม่นยำของเครื่อง ไทรออโตซีเอกซ์ เมื่อใช้โหมดวัดความยาวรากฟัน (EMR) จะมีความแม่นยำในระยะ +/- 0.5 มม. จากจุดคอดปลายรากฟันที่ 92.86 % ใกล้เคียง รูทซีเอกซ์ (31) Erdemir และคณะ (32) ศึกษาความแม่นยำในการวัดความยาวรากฟันของ ไทรออโตซีเอกซ์ ด้วยการใช้ระบบหมุนกลับอัตโนมัติ (auto-reverse function) พบว่ามีความแม่นยำ 85% ภายในระยะ 0.5 มม. จากจุดคอดปลายรากฟัน

อย่างไรก็ตามมีการศึกษา(33) ที่พบว่า ไทรออโตซีเอกซ์ จะแม่นยำน้อยลงเมื่อใช้เตรียมคลองรากฟัน พบว่าความยาวการทำงานเมื่อเตรียมคลองรากฟันแตกต่างกับความยาวรากฟันจริงและความยาวรากฟันเมื่อใช้โหมดการวัดความยาวรากฟันเพียงอย่างเดียว โดยพบว่า 90 % ของตัวอย่างเมื่อใช้โหมดวัดความยาวรากฟัน จะได้ค่าในระยะ +/- 0.5 มม. จากความยาวรากจริง ในขณะที่เมื่อใช้โหมดหมุนกลับอัตโนมัติจะมีเพียง 80% เท่านั้น

ภาพประกอบ 5 เครื่อง ไทรออโตซีเอกซ์2

2. โกลด์เรซิพรอก

โกลด์เรซิพรอก (VDW GmbH, Munich, Germany) จัดจำหน่ายโดยบริษัท VDW (ภาพประกอบ 6) เป็นเครื่องขยายที่ใช้แป้นเหยียบในการบังคับ สามารถปรับค่าแรงบิด (torque) และความเร็ว (speed) ได้พร้อมพ่วงเครื่องวัดความยาวรากฟันในเครื่องเดียวกัน รองรับระบบไฟล์แบบหมุนรอบต่อเนื่องและหมุนไปกลับ ในโหมดหมุนแบบต่อเนื่องจะมีระบบความปลอดภัยอัตโนมัติ ได้แก่ โหมดหยุดและหมุนกลับอัตโนมัติ (Auto-Stop-Reverse) ซึ่งจะหยุดการหมุนและเปลี่ยนเป็นหมุนไปกลับอัตโนมัติเมื่อเครื่องพบว่าเกิดค่าแรงบิดเกินกำหนด เพื่อช่วยลดการเกิดไฟล์หัก สามารถใช้งานแยกกันได้ระหว่างการวัดความยาวรากฟันและขยายคลองรากฟัน ใช้โปรแกรมการวัดความยาวคลองรากฟันจากเครื่องเรย์เพกซ6 มีโหมดหยุดที่ปลายรากอัตโนมัติ (Apical Auto Stop) เครื่องจะหยุดหมุนอัตโนมัติเมื่อปลายไฟล์อยู่บริเวณปลายรากฟัน ซึ่งจะช่วยลดโอกาสการขยายออกนอกคลองรากฟัน เครื่องประกอบด้วยหน้าจอแอลอีดี (LED) แสดงระดับสี ซึ่งจะบอกตำแหน่งบริเวณปลายราก ประกอบด้วยขีดสีฟ้าสามขีดซึ่งแสดงตำแหน่งส่วนต้นของปลายรากฟัน สีเขียวสามขีดและสีส้มหนึ่งขีดแสดงจุดคอดปลายรากฟันและรูปลายรากฟันตามลำดับ และขีดสีแดงสุดท้ายเมื่อไฟล์ถึงตำแหน่งนี้จะมีเสียงเตือนแสดงถึงตำแหน่งเกินออกนอกรูปลายรากฟัน มีการศึกษาของ Wigler และคณะ (7) ทำการศึกษาความแม่นยำของเครื่องโกลด์เรซิพรอกในฟันรากเดี่ยว และขยายคลองรากฟันด้วยไฟล์ระบบเรซิพรอกซึ่งหมุนแบบไปกลับ พบว่าเครื่องโกลด์เรซิพรอกสามารถวัดความยาวคลองรากฟันขณะขยายคลองรากฟันได้แม่นยำเทียบเท่าเครื่องวัดความยาวคลองรากฟันชนิดรูทซีเอกซ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Christofzik และคณะ (8) ทำการศึกษาความแม่นยำในการวัดตำแหน่งจุดคอดปลายรากฟันขณะทำการเตรียมคลองรากฟันของเครื่องโกลด์เรซิพรอก โดยดูระยะห่างระหว่างปลายไฟล์และจุดคอดปลายรากฟัน พบว่ามี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับสั้นกว่าจุดคอดปลายรากฟันเพียง 22.70 ไมโครเมตร และไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้เครื่องวัดความยาวด้วยไฟฟ้าชนิดเรย์เพกซ์6 หรือเอนโดไพลอท (EndoPilot)

ภาพประกอบ 6 เครื่อง โกลด์เรซิพรอก

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวรากฟันด้วยเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า

Huang ปี 1987 (34) พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพส่งผลต่อการวัดความยาวรากฟันจากการทดลองเพื่อทดสอบการวัดความยาวรากฟันด้วยเครื่องวัดความยาวรากฟันไฟฟ้าในสภาวะต่างๆ พบว่าความแม่นยำของเครื่องจะขึ้นกับสองปัจจัย คือส่วนประกอบภายในคลองรากฟัน (root canal content) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูปลายรากฟัน

การมีส่วนประกอบภายในคลองรากฟัน ได้แก่ การมีเนื้อเยื่อในที่มีชีวิต (vital pulp tissue) การมีของเหลวข้นจากการอักเสบ (inflammatory exudate) และเลือดซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้เป็นผลให้เกิดการอ่านค่าผิดพลาดได้ จึงควรทำการลดปริมาณสิ่งเหล่านี้ก่อนเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ นอกจากนี้ยังรวมถึงวัสดุอุดประเภทโลหะ ฟันผุ น้ำลายก็ส่งผลให้เกิดการครบวงจรไฟฟ้ามีผลให้อ่านค่าผิดพลาดเช่นกัน (35)

Huang (34) พบว่าขนาดของรูปลายรากฟันที่ใหญ่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า ความแม่นยำลดลงในฟันที่รูปลายรากที่มีขนาดมากกว่า 0.2 มม. และวัดได้สั้นกว่าความยาวจริง อีกทั้งในฟันที่ปลายรากฟันเปิด หรือปลายรากแบบปากแตรจะทำให้ความแม่นยำลดลงและวัดได้สั้นกว่าความเป็นจริงเช่นกัน (36) อาจมีสาเหตุจากเครื่องมือที่ใช้วัดไม่ได้สัมผัสผนังคลองรากฟันส่วนปลายราก สอดคล้องกับการศึกษาของ Wu และคณะ ปี 1992 (37) ได้

ทำการทดลองในฟันรากเดี่ยวแล้วทำการขยายปลายรากให้กว้างตั้งแต่ 0.26-2.33 มม. แล้วนำมาวัดด้วยเครื่องโซโนเอกซ์พลอเรอร์ไทป์วายทรี (Sono-Explorer type Y-III) พบว่า ขนาดของรูปลายรากฟันมีผลต่อค่าความยาวที่วัดได้จากเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า โดยยิ่งขนาดกว้างจะทำให้เครื่องอ่านค่าความยาวสั้นกว่าความเป็นจริงมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนภายในคลองรากฟันและภายนอกคลองรากฟัน เช่น สภาวะการอักเสบของเนื้อเยื่อในและเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันส่งผลต่อการวัดความยาวคลองรากฟันเช่นกัน Tamarut และคณะ(14)พบว่าเมื่อคลองรากฟันมีความเข้มข้นของไอออนแตกต่างกันภายในและภายนอกคลองรากฟันจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ รอยต่อการเปลี่ยนแปลง คือ บริเวณรอยต่อระหว่างสารละลายความเข้มข้นสองชนิดที่มาบรรจบกัน เกิดจากภาวะสมดุลจากการแพร่ระหว่างสารละลายภายในคลองรากฟันและภายนอกคลองรากฟัน ซึ่งรอยต่อการเปลี่ยนแปลงจะเป็นตำแหน่งที่มีความต้านทานสูงที่สุด เครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าที่ใช้หลักการความต้านทานไฟฟ้าในการวัดจะอ่านค่าความต้านทานนี้เป็นตำแหน่งรูปลายรากฟัน(38) เมื่อเครื่องมือวัดผ่านที่จุดนี้จะทำให้เกิดการอ่านค่าผิดพลาดได้ และพบว่าในคลองรากฟันรูปลายรากฟันกว้างจะทำให้ รอยต่อการเปลี่ยนแปลงอยู่ไม่ตรงกับตำแหน่งรูปลายรากฟันได้ เนื่องจากรูปลายรากกว้างจะทำให้ไอออนแพร่ได้เร็วและแรงขึ้นเนื่องจากรูปลายรากฟันกว้างทำให้ความต้านทานลดลงและทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างความเข้มข้นสองความเข้มข้นกว้างขึ้น Kovacevic และคณะในปี 2006 (38) ได้ทำการทดลองวัดความยาวคลองรากฟันด้วยเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าในฟันสุนัขที่ทดลองให้เกิดการอักเสบเนื้อเยื่อในและเนื้อเยื่อปลายรากฟัน พบว่าในสภาวะเนื้อเยื่อในปกติ การวัดความยาวจะแม่นยำน้อยที่สุดเนื่องจากไม่เกิด รอยต่อการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ฟันที่เนื้อเยื่อในอักเสบ (pulpitis) ไอออนประจุลบ (cation) จะลดลง ทำให้นำไฟฟ้าได้ดีกว่าภาวะเนื้อเยื่อในปกติ ทำให้เครื่องอ่านค่าสั้นกว่าความเป็นจริง ในขณะที่ฟันในภาวะเนื้อเยื่อในตาย (necrotic pulp) จะอ่านค่าได้แม่นยำที่สุด เนื่องจากรอยต่อการเปลี่ยนแปลงจะอยู่ตำแหน่งบริเวณปลายรากฟัน

สิ่งอุดตันในคลองรากฟันทั้งจากการมีเศษผงที่เกิดจากกระบวนการรักษารากฟันหรือการมีการสะสมของแร่ธาตุภายในคลองรากฟัน ซึ่งส่งผลให้ขาดช่องทางติดต่อระหว่างคลองรากฟันกับเนื้อเยื่อปริทันต์ ทำให้ความแม่นยำในการวัดความยาวของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าลดลง จากการศึกษาของ Rivera และ Serajit (13) พบว่าคลองรากฟันที่ไม่ได้ทำรีแคปพิทูเลชัน (recapitulation) คือการใช้ไฟล์ขนาดเล็กกำจัดเศษผงที่ปลายรากออกจะทำให้เครื่องวัดความยาวรากฟันอ่านค่าสั้นกว่าความยาวจริงมากกว่าคลองรากฟันที่ทำการรีแคปพิทูเลชัน เนื่องจากการมี

สิ่งอุดตันคลองรากฟันจะไปตัดช่องทางติดต่อระหว่างคลองรากฟันกับเนื้อเยื่อเอ็นยึดปริทันต์ แนะนำให้มีการล้างคลองรากฟันและทำรีแคปพิทูเลชันอย่างสม่ำเสมอระหว่างเตรียมคลองรากฟัน เพื่อให้ได้ค่าความยาวรากฟันที่แม่นยำ

ดังนั้นกระบวนการที่ทำให้เกิดเศษผงมากขึ้น ก็อาจส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดของคลองรากฟันได้ ในขั้นตอนการขยายคลองรากฟันก่อให้เกิดเศษผงจากเนื้อฟันที่ตัด การขยายด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมแบบหมุนที่แตกต่างกันอาจส่งผลให้เกิดเศษผงจากการใช้ต่างกัน Robinson และคณะ(10) พบว่าเมื่อทดสอบระหว่างไฟล์ระบบโปรเทปเปอร์ซึ่งหมุนต่อเนื่องและระบบเวฟวันซึ่งหมุนไปกลับ และดูผลการเกิดเศษผงอุดตันด้วยการถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro-computed tomography ,micro-CT) พบว่าการหมุนแบบไปกลับมีเศษผงอุดตันบริเวณปลายรากฟันและบริเวณส่วนคอดรากฟันมากกว่าการหมุนต่อเนื่องแบบมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาของ De-deus และคณะ ปี 2010(11) และ Bürklein และคณะ (12) แต่การศึกษาของ De-deus และคณะ ปี 2015 (13) พบว่าการหมุนทั้งสองแบบไม่ทำให้เกิดเศษผงอุดตันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจุบันมีการศึกษาที่ขัดแย้งกันระหว่างการหมุนของไฟล์ต่อการเกิดเศษผงอุดตัน ซึ่งการมีเศษผงอุดตันบริเวณปลายรากฟันอาจส่งผลต่อการความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดความยาวคลองรากฟันด้วยไฟฟ้าได้

มีการศึกษาความแม่นยำของการวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าต่อชนิดของไฟล์ที่ใช้ในการวัด การศึกษาของ Siu และคณะ (39) พบว่า เมื่อวัดความยาวรากฟันด้วยไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิมมีความแม่นยำมากกว่าใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องเมื่อใช้เครื่อง รูทซีเอกซ์ ,เอเพกซ์เอนอาร์จีเอกซ์เอฟอาร์ (Apex NRG XFR), และมินิเอเพกซ์โลเคเตอร์ (Mini Apex Locator) วัดขณะทำการขยายคลองรากฟัน การศึกษาของ Gehlot (40) ศึกษาความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าเมื่อใช้ไฟล์มือเหล็กกล้าไร้สนิมและไฟล์มือนิกเกิลไทเทเนียม พบว่าเมื่อใช้เครื่อง รูทซีเอกซ์ ความแม่นยำของการวัดด้วยไฟล์มือนิกเกิลไทเทเนียมจะเท่ากับ 70% และ 93.3% เมื่อใช้ไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิม ในขณะที่เมื่อใช้เครื่องเอเลเมนท์ไดแอกโนสทิกยูนิตแอนด์เอเพกซ์โลเคเตอร์ (Elements diagnostic unit and apex locator) และเครื่องโปรเพกซ์พิซิ (Propex pixi) ความแม่นยำเมื่อใช้ไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิมและไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม เท่ากับ 90%/91.7% และ 83.3%/83.3% ตามลำดับและชนิดของไฟล์ไม่มีผลต่อความแม่นยำของเครื่องทั้งสอง Sadeghi (41) ทำการศึกษาในเครื่อง เรย์เพกซ์5 พบว่าความแม่นยำในการวัดความยาวเมื่อใช้ไฟล์เหล็กกล้าไร้สนิมและไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมเท่ากับ 70% และ 75% ตามลำดับเมื่อวัดภายในระยะ +/- 0.5 มม. และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความหนาของเนื้อฟันส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟัน การศึกษาของ Al-bulushi และคณะ (16) ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้น พบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าค่อยๆลดลงเมื่อปลายไฟล์เข้าใกล้รูเปิดปลายรากฟัน และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อถึงจุดรูเปิดปลายรากฟัน ซึ่งเป็นหลักการในการใช้พัฒนาเครื่องวัดความยาวคลองรากฟันด้วยไฟฟ้าในท้องตลาด จากการทดลองพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ลดลงหลังเตรียมคลองรากฟัน ซึ่งอาจมาจากเนื้อฟันรากฟันที่ถูกตัดออกไปผ่านการขยายคลองรากฟัน ทำให้ความหนาของเนื้อฟันลดลงค่าอิมพีแดนซ์จึงลดลง และค่าอิมพีแดนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังการรื้อวัสดุอุดคลองรากฟันซึ่งวัสดุอุดคลองรากที่หลงเหลือเป็นการเพิ่มความหนาของเนื้อฟันทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการตัดเนื้อฟันที่แตกต่างกันของระบบการหมุนของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนที่แตกต่าง อาจส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์แตกต่างกันและทำให้ความแม่นยำในการวัดความยาวรากฟันแตกต่างกันเช่นกัน

ระบบของเครื่องมือขยายคลองรากฟัน

ระบบไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องมีการเคลื่อนที่ของไฟล์ 2 ประเภท คือ ชนิดการเคลื่อนที่แบบหมุนต่อเนื่อง (continuous rotation movement) หรือการเคลื่อนที่แบบหมุนไปกลับ (reciprocation movement) โดยการหมุนต่อเนื่องคือไฟล์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา 360 องศาต่อเนื่อง ในขณะที่การหมุนไปกลับ ได้รับการพัฒนามาจากเทคนิกบาลานซ์ฟอซ (Balance force technique) ซึ่งจะหมุนแบบตามเข็ม เพื่อทำการตัดเนื้อฟันและทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้หลุดจากคลองราก และลดแรงเค้นต่อเครื่องมือ ทำให้สามารถพัฒนาไฟล์ให้สามารถใช้เพียงไฟล์ตัวเดียวในการขยายคลองรากฟันทั้งคลองรากได้ De-Deus และคณะ ปี 2010 (42) ได้ทำการประเมินความสามารถในการทนต่อการล้าในการแตกหักของระบบไฟล์ที่ออกแบบมาเพื่อการหมุนต่อเนื่อง โดยทดสอบกับระบบโปรเทปเปอร์ (ProTaper) ขนาดเอฟทู (F2) เมื่อใช้ในการเคลื่อนที่แบบหมุนไปกลับ พบว่าเมื่อใช้หมุนแบบไปกลับช่วยเพิ่มระยะเวลาก่อนการหักของเครื่องมือขณะหมุนได้เมื่อเทียบกับการใช้การหมุนต่อเนื่อง ซึ่งแสดงว่าการหมุนแบบไปกลับช่วยเพิ่มความทนทานต่อการแตกหักจากการหมุนของไฟล์ได้ สอดคล้องกับ Kim และคณะ ปี 2012 (43)ได้เปรียบเทียบไฟล์ระบบโปรเทปเปอร์เทียบกับระบบที่หมุนแบบไปกลับคือเรซิพรอกและเวฟวัน พบว่าจำนวนรอบก่อนการแตกหักของเรซิพรอกสูงที่สุด และไฟล์ระบบหมุนไปกลับมีความต้านทานการหักขณะหมุนมากกว่าโปรเทปเปอร์

มีการศึกษาผลของระบบการหมุนของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมต่อความยาวการทำงานที่เปลี่ยนไปหลังการเตรียมคลองรากฟัน Yoo และ Cho ปี 2012(44) ได้ทำการทดลองระหว่างไฟล์

เรซิพรอก เวฟวัน โปรเทปเปอร์ และเคเฟลกซ์โอไฟล์ (K-flexo file) ในคลองรากฟันเรซินบลอกจำลองที่มีความโค้ง 40 องศา พบว่า ไม่พบความแตกต่างระหว่างระบบของไฟล์ในการเปลี่ยนแปลงความยาวการทำงานภายหลังการเตรียมคลองรากฟัน ในขณะที่การศึกษาของ Berutti และคณะ ปี 2011(45) พบว่าเมื่อใช้ไฟล์ระบบเวฟวันพบว่าความยาวการทำงานภายหลังการเตรียมคลองรากฟันมีการเปลี่ยนแปลงไปจากความยาวการทำงานแรกก่อนเตรียมคลองราก โดยพบว่ามีความยาวการทำงานหลังการเตรียมลดลงกว่าตอนก่อนเตรียมคลองราก และพบว่า 75% ของตัวอย่างเกิดการขยายเครื่องมือเกินนอกปลายราก ผู้ทดลองแนะนำให้เตรียมคลองรากบริเวณเหนือต่อส่วนปลายรากก่อน แล้วจึงวัดความยาวการทำงานใหม่เพื่อให้ได้ความยาวการทำงานที่ถูกต้องเพื่อลดโอกาสการขยายคลองรากฟันเกินปลายราก

นอกจากนี้มีการศึกษาผลของระบบการเคลื่อนของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมต่อผลของการเกิดปรากฏการณ์ดูดเครื่องมือ (screw-in effect) คือการเกิดแรงที่ทำให้ไฟล์ถูกดูดลงไปในคลองรากฟันขณะใช้งาน ส่งผลให้เกิดการทำงานเกินปลายรากฟัน ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อปลายรากฟัน การเคลื่อนไหวไฟล์แบบไปกลับอาจลดการเกิดปรากฏการณ์ดูดเครื่องมือ เนื่องจากลักษณะการหมุนของไฟล์ขณะที่หมุนแบบตามเข็มนาฬิกาแล้วเปลี่ยนเป็นหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะช่วยลดแรงเค้นจากการที่เครื่องมือติดที่คลองรากฟันได้ อย่างไรก็ตาม Ha และคณะปี 2016 (46)ได้ศึกษาการเกิดปรากฏการณ์รดูดเครื่องมือระหว่างไฟล์ 4 ระบบ คือเอมทู (Mtwo) เรซิพรอก โปรเทปเปอร์ยูนิเวอร์แซล (Protaper Univeral) และโปรเทปเปอร์เนกซ์ (ProTaper Next) พบว่าระบบการหมุนไม่มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์ screw-in โดยพบว่าทั้งเรซิพรอกและโปรเทปเปอร์ยูนิเวอร์แซลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่โปรเทปเปอร์เนกซ์มีการเกิดปรากฏการณ์ดูดเครื่องมือน้อยที่สุด ดังนั้นการเกิดปรากฏการณ์ดูดเครื่องมือน่าจะมาจากลักษณะการออกแบบรูปร่างของไฟล์

ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ (ProTaper Gold)

โปรเทปเปอร์โกลด์เป็นไฟล์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนด้วยเทคโนโลยี Goldwire มีรูปร่างและขนาดเหมือนกับโปรเทปเปอร์ยูนิเวอร์แซล หน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมนูน (convex triangular shape) เคลื่อนที่ด้วยการหมุนรอบ มีขนาดดังนี้

เชปเปอร์ (shapers) 3 ขนาด ได้แก่

เอสเอกซ์ (SX) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.19 มิลลิเมตร ความผาย 4%

เอสวัน (S1) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.18 มิลลิเมตร ความผาย 2%

เอสทู (S2) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 มิลลิเมตร ความผาย 4%

ฟินิชเชอร์ (finishers) 3 **ขนาด ได้แก่**

เอฟวัน (F1) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 มิลลิเมตร ความผาย 7%

เอฟทู (F2) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความผาย 8%

เอฟทรี (F3) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 มิลลิเมตร ความผาย 9%

เอฟโฟ (F4) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40 มิลลิเมตร ความผาย 6%

เอฟไฟฟ์ (F5) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 มิลลิเมตร ความผาย 5%

ภาพประกอบ 7 แสดงไฟล์ในระบบโปรเทปเปอร์โกลด์

ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบเวฟวันโกลด์ (WaveOne Gold)

ไฟล์ระบบเวฟวันโกลด์ เป็นไฟล์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนด้วยเทคโนโลยี Gold wire ออกแบบมาเพื่อใช้กับการหมุนแบบไปกลับ และใช้ไฟล์ตัวเดียวในการเตรียมคลองรากฟัน หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ออกนอกแนวศูนย์กลาง (off-center) ซึ่งการออกแบบลักษณะนี้จะทำให้ไฟล์สัมผัสกับคลองรากฟันแค่ 1-2 จุดเท่านั้น ช่วยลดการติดขัดที่คลองรากฟัน และลดปรากฏการณ์ screw-in ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดคลองรากและมีพื้นที่เก็บเศษเนื้อฟันที่เกิดขณะขยายคลองรากฟัน(47) ประกอบด้วยไฟล์ 4 ขนาดดังนี้

สมอล (Small) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 มิลลิเมตร ความผาย 7%

ไพรมารี่ (primary) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความผาย 7%

มีเดียม (medium) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ความผาย 6%

ลาจ (large) จุดปลายเครื่องมือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 มิลลิเมตร ความผาย 5%

ภาพประกอบ 8 แสดงไฟล์ระบบเวฟวันโกลด์

การศึกษาความแม่นยำในการวัดความยาวรากฟัน

วิธีการศึกษาความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟันมีหลายวิธีดังนี้

1. **เปรียบเทียบความยาวรากฟันที่วัดด้วยเครื่องวัดคลองรากฟันด้วยไฟฟ้ากับความยาวรากฟันจริง**

วิธีการนี้ทำได้ง่ายและรวดเร็วไม่ทำลายตัวอย่างทดลอง (7, 48) (49) วิธีการศึกษาทำดังนี้

1. ใส่ไฟล์ลงไปในตัวอย่างฟันจนถึงบริเวณปลายรากฟัน ส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อให้เห็นบริเวณรูปลายรากฟันชัดเจน ใส่ไฟล์ลงไปจนกระทั่งเห็นปลายไฟล์โผล่พ้นรูปลายรากฟัน 1 มม. จากนั้นขยับไฟล์ขึ้นจนปลายไฟล์อยู่สุดบริเวณ coronal ของรูปลายรากฟัน ทำการยึดตัวยางยึด (rubber stop) ด้วยเรซินคอมโพสิต นำไฟล์ออกจากคลองรากฟันแล้วทำการวัดความยาวไฟล์ ความยาวที่ได้คือความยาวจริงของตัวอย่างฟัน

2. ทำการใส่ไฟล์และวัดความยาวรากฟันด้วยเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าที่ทดสอบ เมื่อถึงตำแหน่งที่วัดได้ ทำการยึดตัวยางยึดด้วยเรซินคอมโพสิต จากนั้นนำไฟล์ออกแล้ววัดความยาวไฟล์ ความยาวที่ได้คือความยาวที่วัดได้จากเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าที่ทดสอบ

3. ทำการเปรียบเทียบความยาวจริงและความยาวที่วัดได้

การวัดความยาวสามารถวัดได้หลากหลาย เช่น การใช้ไม้บรรทัด(7), คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล (digital caliper)(48, 49) ,การถ่ายภาพแล้วนำรูปถ่ายวัดด้วยโปรแกรม (ImageJ, AutoCAD Software)

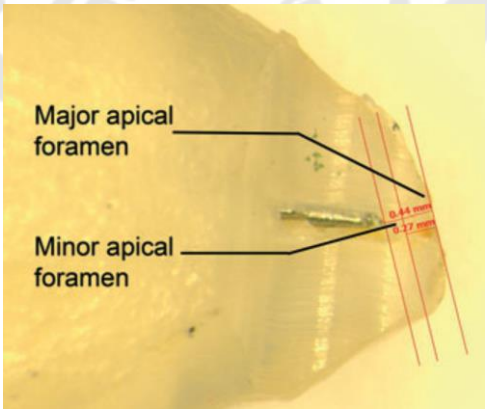
2. **วัดระยะห่างของปลายไฟล์กับจุดคอดปลายรากฟันหรือรูปลายรากฟันโดยการแบ่งครึ่งฟัน**

วิธีการนี้ทำการเปรียบเทียบกับตำแหน่งทางกายวิภาคของคลองรากฟัน ทำให้มีจุดอ้างอิงที่สามารถเห็นชัดเจนกว่าวิธีการแรก และสามารถตีความทางคลินิกได้มากกว่าวิธีการแรก ข้อเสียคือยุ่งยากกว่าวิธีแรก ชิ้นส่วนของฟันถูกทำลาย และขั้นตอนการตัดอาจไม่อยู่ในระนาบที่ต้องการ วิธีการทำดังนี้

1. ทำการใส่ไฟล์และวัดความยาวคลองรากฟันด้วยเครื่องวัดคลองรากฟันด้วยไฟฟ้า เมื่อถึงตำแหน่งที่เครื่องเตือนทำการยึดไฟล์กับตัวฟัน

2. ทำการผ่าครึ่งฟันบริเวณปลายรากฟัน ให้เห็นบริเวณปลายไฟล์และบริเวณปลายรากฟัน ทำการส่องด้วยกล้องขยายและถ่ายภาพ

3. นำภาพเข้าโปรแกรม และทำการวัดปลายไฟล์กับตำแหน่งจุดคอดปลายรากฟันหรือรูปลายรากฟัน ห่างระยะน้อยแสดงว่าเครื่องวัดมีความแม่นยำสูง (32)



ภาพประกอบ 9 แสดงการวัดระยะห่างของไฟล์กับจุดคอดปลายรากฟันและรูปลายรากฟัน (50)

3. **วัดระยะห่างของปลายไฟล์กับจุดคอดปลายรากฟันหรือรูปลายรากฟันโดยใช้ภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร** (micro-computed tomography)

จากการศึกษาของ Connert และคณะ ปี 2018(51) ทำการถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตรในฟันที่ถูกถอนก่อนเริ่มทดลอง เพื่อหาตำแหน่งของจุดคอดปลายรากฟัน และรูปลายรากฟัน จากนั้นถ่ายภาพรังสีหลังการทดลองพร้อมไฟล์ในคลองรากฟันและวัดระยะห่างปลายไฟล์จากรูปลายรากฟันหลัก (major foramen)

ข้อดีของวิธีการนี้คือ ตัวอย่างไม่เกิดความเสียหายขณะถ่ายภาพรังสี สามารถระบุตำแหน่งจุดคอดปลายรากฟันได้แม่นยำ คือหาจุดแคบที่สุดได้ตลอดคลองรากฟัน แต่ข้อเสียคือเกิดการกระเจิงของแสงในภาพรังสีเมื่อมีโลหะ ส่งผลให้ภาพไม่ชัดเจน ต้องใช้ความละเอียดของกล้องสูง และในกรณีทดลองในมนุษย์อาจมีข้อจำกัดเนื่องจากใช้ปริมาณรังสีมาก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับการคำนวณกลุ่มตัวอย่างในครั้งนี้ผู้วิจัย คำนวณโดยใช้โปรแกรม G power version เวอร์ชัน 3.1.9.2 (Universität Düsseldorf, Germany) ขนาดของอิทธิพล (effect size) ได้เท่ากับ 0.80 นำมาคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (α error = 0.05, Power = 0.80) ได้กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง

การเลือกฟัน

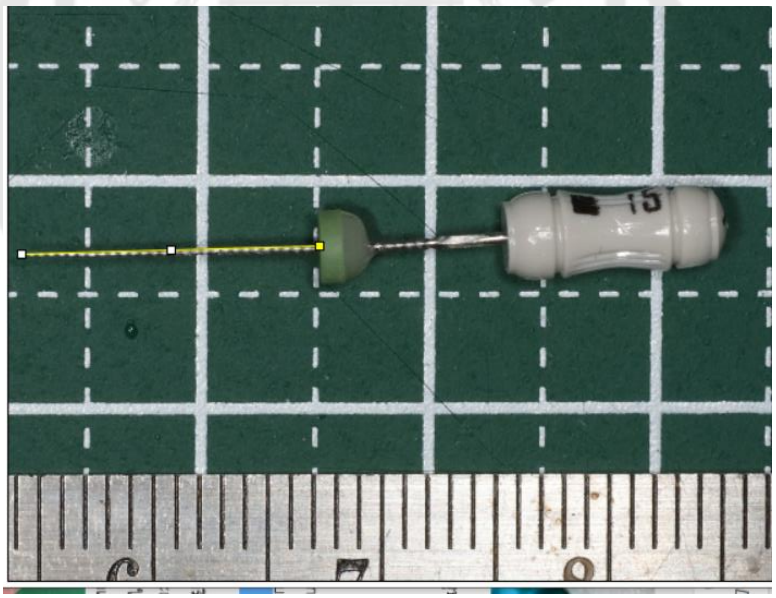
ฟันกรามน้อยบนของมนุษย์ไม่จำกัดเพศและช่วงอายุที่ถูกถอนที่ จำนวน 20 ซี่ ซึ่งผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (SWUEC-G-280/2564)แล้ว โดยฟันที่นำมาศึกษาต้องเป็นฟันที่รากฟันสร้างเสร็จสมบูรณ์ ไม่พบการละลายของรากฟัน ขนาดคลองรากฟันเริ่มต้นมีขนาดเคไฟล์ เบอร์ 15 ฟันที่ถูกคัดออก คือ ฟันที่มีรอยผุใต้ต่อรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (cemento-enamel junction) ฟันที่เคยรักษาคลองรากฟัน ฟันที่มีคลองรากฟันตีบ ฟันร้าว นำฟันแช่เก็บในสารละลายไทมอลความเข้มข้น 0.1% ที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งเริ่มการทดลอง กรอตัดตัวฟันเหนือตำแหน่งของรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน 2 มม. ตัดบริเวณตัวฟันให้เป็นพื้นเรียบด้วยหัวกรอคาร์โบรันดัมดิสก์ (Carborundum disc) (ภาพประกอบ 10) ล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 2.5% นำไปถ่ายภาพรังสีในแนวด้านแก้ม-ด้านลิ้น ต้องเป็นคลองรากฟันแบบเวอทูดชี่ ประเภท 4 (Vertucci type IV) คือมีสองคลองรากฟันแยกกัน (46) ความโค้งรากฟันไม่เกิน 7 องศา (47) รวมทั้งหมด 40 คลองรากฟัน เขียนหมายเลขที่แต่ละคลองรากฟันด้วยปากกาเคมีที่ผิวรากฟัน นำฟันไปเก็บไว้ในกล่องพลาสติกที่มีหมายเลขติดอยู่เรียงตามลำดับ 1-40 แช่ในสารละลายน้ำเกลือ

ภาพประกอบ 10 ภาพฟันหลังการตัดตัวฟัน

การวัดความยาวจริงระหว่างส่วนปลายฟันถึงรูปลายรากฟัน

ใส่เคไฟล์เบอร์ 15 ในคลองรากฟันทีละคลองราก หากไฟล์ไม่สามารถลงได้ถึงปลายราก หรือปลายรากมีขนาดใหญ่กว่าเคไฟล์เบอร์ 15 จะตัดตัวอย่างออกจากการทดลอง เมื่อไฟล์ลงได้ถึงบริเวณปลายรากฟัน ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ปฏิบัติการทันตกรรมกำลังขยาย 12.5 เท่า จนกระทั่งเริ่มเห็นปลายไฟล์ที่ด้านส่วนตัวฟันของรูปลายรากฟันหลัก (coronal of apical foramen) หรือตำแหน่งลูกศรชี้ในภาพประกอบที่ 11 (26) เมื่อถึงตำแหน่งนี้ปรับรับเบอร์สตอป (rubber stop) ให้อยู่ตำแหน่งปลายฟัน หยอดฟิลเทค ซี350 โฟลเอเบิล (Filtek Z350 flowable, 3M ESPE, USA) บริเวณรับเบอร์สตอป และฉายแสงเพื่อก่อตัว เพื่อยึดรับเบอร์สตอปกับตัวไฟล์ จากนั้นดึงไฟล์ออกมาวางบนแผ่นกระดานตีเส้นกริด ขนาดเส้นกริดเท่ากับ 10 มม. ถ่ายภาพไฟล์ด้วยกล้องถ่ายรูปที่ถูกยึดด้วยขาตั้งกล้อง เลนส์กล้องถ่ายรูปตั้งฉากกับแผ่นกระดานและไฟล์ ทำการคงตำแหน่งเดิมตลอดการทดลอง ถ่ายภาพและวัดความยาวด้วยโปรแกรม ImageJ ลากเส้นวัดตั้งแต่ปลายไฟล์ถึงขอบล่างของรับเบอร์สตอปได้เป็น ความยาวจริง (direct length; DL) (ภาพประกอบ 12) ทำการวัดสองครั้งหากทั้งสองครั้งได้ความยาวเท่ากันจะบันทึกเป็นค่าความยาวนั้น หากไม่เท่ากันจะวัดครั้งที่สามและนำความยาวที่วัดทั้งสามครั้งมาหาค่าเฉลี่ยและบันทึกค่าเฉลี่ยนั้น

ภาพประกอบ 11 แสดงภาพบริเวณปลายรากฟัน ลูกศรชี้รูปลายรากฟันส่วนด้านตัวฟันของรูปลายรากฟัน

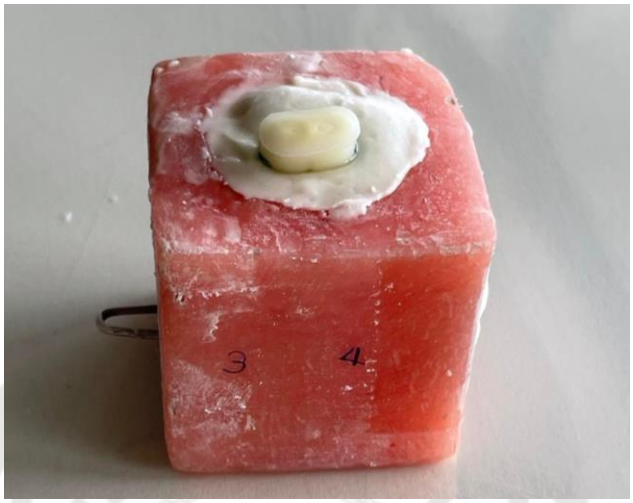


ภาพประกอบ 12 แสดงการวัดความคลองรากฟันจริง (DL) โดยใช้โปรแกรม ImageJ เส้นสีเหลืองลากตั้งแต่ปลายไฟล์ถึงขอบล่างรับเบอร์สตอป

การเตรียมฟันลงบล็อก

ผสมผงอัลจิเนตกับน้ำตามอัตราส่วนและวิธีที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ เทใส่บล็อกพลาสติกขนาด 3x3x3 ซมที่มีรูกลวงตรงกลางและมีห่วงลวดโลหะต่อที่ด้านข้างของบล็อก (ภาพประกอบ

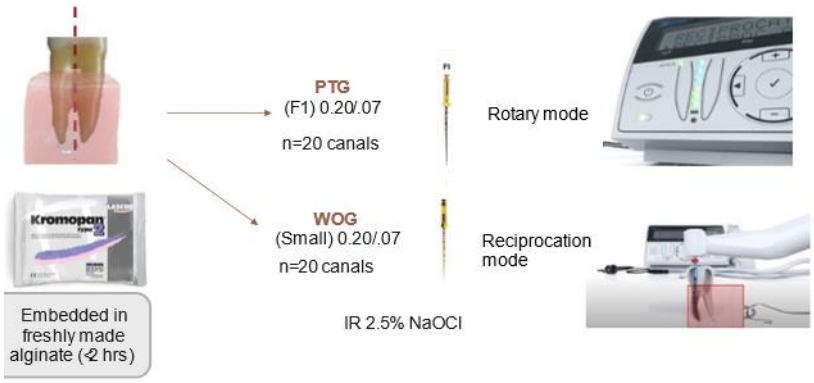
13) นำรากฟันแต่ละซี่ใส่ในตรงกลางของบล็อกพลาสติกให้พ้นอัลจิเนตบริเวณรอยต่อเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน ระยะเวลาตั้งแต่ผสมอัลจิเนตจนทดลองเสร็จใช้เวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 13 ภาพตัวอย่างบล็อกพลาสติก พร้อมลวดโลหะด้านข้าง

การเตรียมคลองรากฟัน

ฟันที่เข้าร่วมการทดลอง 20 ซี่ รวมทั้งหมด 40 คลองรากฟัน กำหนดหมายเลขคลองรากฟันโดยการเริ่มนับจากคลองรากฟันด้านใกล้แก้มของฟันซี่ที่หนึ่งเป็นตัวอย่างที่ 1 และคลองรากฟันด้านใกล้เพดานของฟันซี่ที่หนึ่งเป็นตัวอย่างที่ 2 และคลองรากฟันด้านใกล้แก้มของฟันซี่ที่สองเป็นตัวอย่างที่สาม ไล่ลำดับไปถึงตัวอย่างที่ 40 จากนั้นทำการแบ่งคลองรากฟันโดยการสุ่มด้วยการจับฉลากแบบไม่ใส่กลับคืน เพื่อแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามระบบไฟล์ที่ทดลอง คือ กลุ่มขยายโปรเทปเปอร์โกลด์ (PTG) และกลุ่มขยายด้วยเวฟวันโกลด์ (WOG) กลุ่มละ 20 คลองรากฟัน (n=20)



ภาพประกอบ 14 แสดงการแบ่งกลุ่มการทดลอง แบ่งเป็นกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ (PTG) และกลุ่มเวฟวันโกลด์ (WOG)

กลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์

ปรับเครื่องโกลด์เรซิพรอกเป็นโหมดโรทารี่ (rotary mode) และเลือกเปิดโหมดหยุดหมุนปลายรากอัตโนมัติ (ภาพประกอบ 15) ซึ่งเครื่องจะหยุดหมุนไฟล์เมื่อปลายเครื่องมือเกินรูปลายรากหรือตำแหน่งขีดสีเขียวที่ 3 และจะหมุนได้อีกครั้งเมื่อเหยียบแป้นเหยียบอีกครั้ง ต่อตัวจับไฟล์กับไฟล์โปรเทปเปอร์โกลด์ ขนาดเอฟวัน (F1) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 มม. ความผาย 0.07 ต่อลิปคลิปกับลวดที่บล็อกพลาสติกและทำการเดินเครื่อง ระหว่างขยายทำการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 2.5% ปริมาณ 2 มิลลิลิตรร่วมกับใช้อาร์ซี-เพรปเป็นตัวหล่อลื่นภายในคลองรากฟัน ขยายคลองรากฟันไฟล์ขนาดเอฟวันลงไปตามคลองรากฟันไปทางปลายราก หากมีแรงต้านให้นำเครื่องมือออกแล้วล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ จนกระทั่งสามารถลงได้ถึงบริเวณปลายรากฟันหรือเมื่อหน้าจอเครื่องแสดงตำแหน่งขีดสีเขียวที่ 3 ตำแหน่งนี้จะเป็นจุดหยุดหมุนของเครื่อง (ภาพประกอบ 16) ปรับตัวรับเบอร์สตอปที่ตำแหน่งปลายฟัน ทำการยึดไฟล์ด้วยฟิลเทค ซี350 โฟลเอเบิล และฉายแสง จากนั้นนำไฟล์ออกมาจากฟันทำการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปในตำแหน่งเดิมที่ทำการวัดความยาวจริง นำภาพที่ได้มาวัดความยาวไฟล์ด้วยโปรแกรม ImageJ ได้เป็นความยาวขณะขยายคลองรากฟันที่วัดด้วยเครื่องโกลด์เรซิพรอก *(Preparation length; PL)* ไฟล์ใช้เพียงครั้งเดียวและเปลี่ยนไฟล์ใหม่ในตัวอย่างต่อไป

ภาพประกอบ 15 แสดงภาพจำลองของภาพหน้าจอเปิดโหมดหยุดหมุนปลายรากอัตโนมัติ (52)

ภาพประกอบ 16 แสดงภาพจำลองเมื่อไฟล์ถึงบริเวณปลายรากฟัน หน้าจอแสดงตำแหน่งขีดสีเขียวที่ 3 ไฟล์จะหยุดหมุนอัตโนมัติ (52)

กลุ่มเวฟวันโกลด์

ปรับเครื่องโกลด์เรซิพรอก เป็นโหมดเรซิโพรเคชันและเลือกเปิดโหมดหยุดหมุนปลายรากอัตโนมัติซึ่งจะหยุดหมุนเครื่องมือเมื่อปลายเครื่องมือถึงบริเวณปลายรากหรือตำแหน่งขีดสีเขียวที่ 3 ต่อตัวจับไฟล์กับไฟล์เวฟวันโกลด์ ขนาดสมอล (Small) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 มม. ความผาย 0.07 และต่อลิปคลิปกับลวดที่บลอกพลาสติกและทำการเดินเครื่อง ระหว่างขยายใช้งานร่วมกับอาร์ซี-เพรปเป็นตัวหล่อลื่นภายในคลองรากฟัน ขยายทั้งคลองรากด้วยไฟล์ขนาดสมอลใช้งานตามบริษัทผู้ผลิตโดยเคลื่อนมือแบบจิก (pecking motion) กดเบาๆไปทางปลายราก ไม่เกิน 3 มม.ต่อครั้ง และไม่เกิน 3 ครั้ง จากนั้นนำเครื่องมือออกมาทำความสะอาดและล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 2.5% ปริมาณ 2 มิลลิลิตร จากนั้นขยายคลองรากฟันต่อตามวิธีเดิมจนเครื่องมือสามารถลงไปได้ถึงบริเวณปลายราก เมื่อหน้าจอเครื่องแสดงตำแหน่งสีเขียวขีดที่ 3 ตำแหน่งนี้จะเป็นจุดหยุดหมุนของไฟล์ปรับตัวรับเบอร์สตอปที่จุดอ้างอิง ทำการยึดรับเบอร์สตอปด้วยฟิลเทค ซี350 โฟลเอเบิลและฉายแสง จากนั้นนำไฟล์ออกมาจากฟันทำการถ่ายภาพในตำแหน่งเดิม ทำการวัดความยาวไฟล์ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจได้เป็นความยาวไฟล์ขณะขยายคลองรากฟันที่วัดด้วยเครื่องโกลด์เรซิพรอก ไฟล์ใช้เพียงครั้งเดียวและเปลี่ยนไฟล์ใหม่ในตัวอย่างต่อไป

คำนวณค่าผลต่างความยาว (Different length ; ΔL) โดยนำค่าความยาวขณะขยาย (PL) ลบด้วยค่าความยาวจริง (DL) ของแต่ละตัวอย่าง ค่าเป็นบวกหมายถึงเกินออกนอกรูปลายรากฟัน และค่าเป็นลบหมายถึงระยะสั้นกว่า รูปลายรากฟัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าความยาวโดยใช้โปรแกรมอิมเมจเจของผู้วัดโดยใช้สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient ; ICC) ทดสอบระหว่างค่าการวัดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้การทดสอบชาฟิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) วิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยผลต่างความยาวของกลุ่มเวฟวันโกลด์และกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ภายหลังการใช้เครื่องโกลด์เรซิพรอกวิเคราะห์ด้วยการทดสอบค่าทีแบบสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (independent t-test) ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าความยาวจริงและความยาวขณะขยายภายในกลุ่มเดียวกันด้วยการทดสอบค่าทีแบบสองกลุ่มไม่เป็นอิสระจากกัน (dependent t-test) กำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 21.0 (Statistics 21;IBM, SPSS Inc, Chicago, IL,USA)

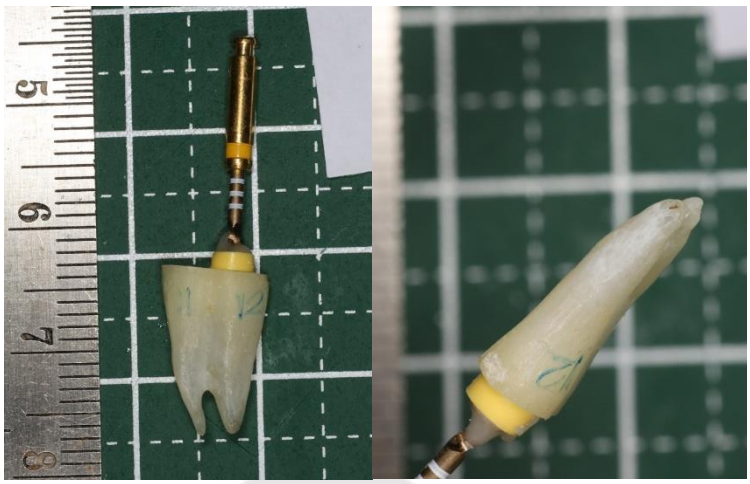
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้คลองรากฟันจากฟันกรามน้อยที่มีสองคลองรากฟันแยกจากกันหรือเวอทูดชี่ ประเภท 4 และเป็นฟันรากตรง โดย 1 คลองรากฟันเท่ากับ 1 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 40 คลองรากฟัน โดยแบ่งเป็นสองกลุ่มกลุ่มละ 20 คลองรากฟัน ทำการวัดความยาวจริงโดยใส่ไฟล์เข้าสู่คลองรากฟันและส่องดูบริเวณปลายรากฟันภายใต้กล้องจุลทรรศน์และทำการยึดตัวรับเบอร์สตอปและดึงออกเพื่อทำการถ่ายภาพไฟล์พบว่า ตลอดการทดลองไม่พบการขยับเลื่อนของตัวรับ-เบอร์สตอปขณะดึงไฟล์ออกมาและตอนถ่ายภาพ และหลังจากขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องโกลด์เรซิพรอกโดยใช้ไฟล์ทั้งสองระบบคือเวฟวันโกลด์ที่หมุนแบบไปกลับและโปรเทปเปอร์โกลด์ที่หมุนรอบต่อเนื่อง ทั้งสองกลุ่มไม่พบการหักของเครื่องมือและไม่พบการแตกหักของรากฟันตลอดการทดลอง

การวัดค่าความยาวจริงและความยาวขณะขยายจะวัดจากภาพถ่ายวัดผ่านโปรแกรมอิมเมจเจ โดยการวัดจะวัดสองครั้งโดยผู้วัดคนเดียวกัน ถ้าสองครั้งได้ผลเท่ากันจะใช้ค่านั้น แต่ถ้าผลไม่เท่ากันจะวัดครั้งที่สามและหาค่าเฉลี่ยของสามค่า พบว่าเมื่อใช้สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นระหว่างการวัดครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สอง ได้เท่ากับ 0.928 แสดงถึงผู้วัดมีความน่าเชื่อถือในการวัดระดับดีมาก และจากการรวบรวมข้อมูลค่าความยาวจริง ค่าความยาวขณะขยาย และผลต่างความยาวพบว่า จากการทดสอบชาฟิโร-วิลค์ทั้งสองกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ

ภายหลังการขยายด้วยเครื่องโกลด์เรซิพรอกมีตัวอย่างรวมทั้งหมด 12 ตัวอย่างที่สั้นกว่าปลายรากฟัน โดยมีค่าความยาวขณะขยายมากกว่าค่าความยาวจริง โดยแบ่งเป็น 6 ตัวอย่างจากกลุ่มโกลด์เรซิพรอกและ 6 ตัวอย่างจากกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ ในขณะที่มีตัวอย่างที่เกินปลายรากฟันทั้งหมด 28 ตัวอย่าง โดยมาจากกลุ่มเวฟวันโกลด์และโปรเทปเปอร์โกลด์กลุ่มละ 14 ตัวอย่างเท่ากันเช่นกัน (ภาพประกอบ 17)



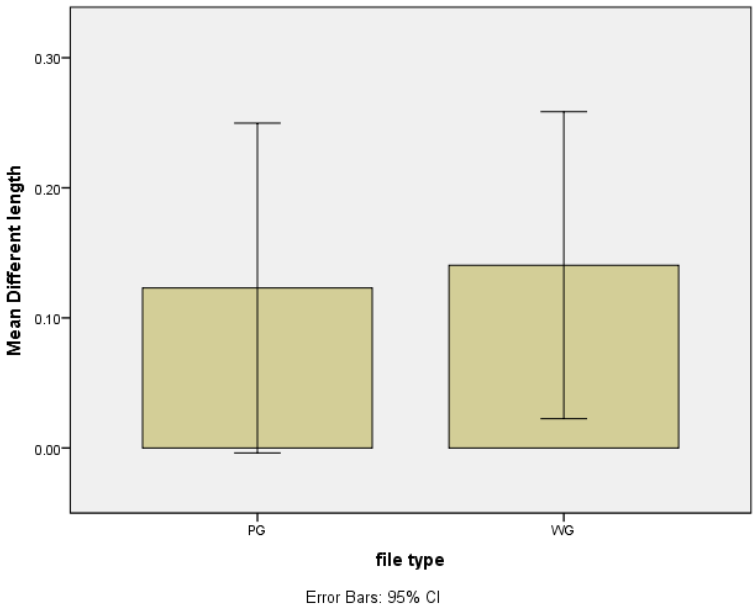
ภาพประกอบ 17 ตัวอย่างหลังจากขยายคลองรากฟันของกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ และภาพบริเวณปลายรากฟัน (ขวา)

การวิเคราะห์ผลต่างความยาวระหว่างสองกลุ่ม

ผลการทดลองพบว่า ในกลุ่มเวฟวันโกลด์มีค่าเฉลี่ยของผลต่างความยาวเท่ากับ 0.14 มม. และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.25 มม. กลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์มีค่าเฉลี่ยของผลต่างความยาวเท่ากับ 0.12 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.27 มม. จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าผลต่างความยาวระหว่างสองกลุ่มโดยการทดสอบค่าทีแบบสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกันผลการวิเคราะห์พบว่าค่าผลต่างความยาวของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตาราง 1 และภาพประกอบ 18

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยของผลต่างความยาว (ΔL) ทั้งสองกลุ่ม

ชนิดไฟล์	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)	P-value
เวฟวันโกลด์	20	0.14 ± 0.25	0.69
โปรเทปเปอร์โกลด์	20	0.12 ± 0.27	



ภาพประกอบ 18 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลต่างความยาวของกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ (PG) และกลุ่มเวฟวันโกลด์ (WG)

นอกจากนี้หากพิจารณาผลต่างความยาวเมื่อเทียบกับตำแหน่งรูปลายรากฟัน พบว่าตัวอย่างสั้นกว่ารูปลายรากฟันในกลุ่มเวฟวันโกลด์และโปรเทปเปอร์โกลด์มีจำนวน 6 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 20 ตัวอย่างเท่ากัน หรือเท่ากับร้อยละ 30 ของตัวอย่าง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.14 มม. และ -0.22 มม. ตามลำดับ ตัวอย่างที่เกินออกนอกรูปลายรากฟันในกลุ่มเวฟวันโกลด์เท่ากับ 14 ตัวอย่างหรือร้อยละ 70 เท่ากับในกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ มีค่าเฉลี่ยกลุ่มเวฟวันโกลด์เท่ากับ 0.26 มม. และ 0.27 มม. สำหรับกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยของผลต่างความยาวแบ่งตามตำแหน่งเปรียบเทียบกับรูปลายรากฟัน

ชนิดไฟล์		จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยและ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)
เวฟวันโกลด์	สั้นกว่ารูปลายรากฟัน	6	-0.14 ± 0.17
	ยาวกว่ารูปลายรากฟัน	14	0.26 ± 0.17
โปรเทปเปอร์โกลด์	สั้นกว่ารูปลายรากฟัน	6	-0.22 ± 0.17
	ยาวกว่ารูปลายรากฟัน	14	0.27 ± 0.14

การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความยาวจริงและความยาวขณะขยายในแต่ละกลุ่ม

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างระหว่างความยาวจริงและความยาวขณะขยายคลองรากฟันของกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ด้วยสถิติการทดสอบค่าทีแบบสองกลุ่มที่ไม่เป็นอิสระจากกัน (dependent t-test) พบว่าภายในกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ ค่าความยาวจริงที่ได้จากการวัดความยาวคลองรากฟันโดยตรงและค่าความยาวขณะขยายซึ่งเป็นค่าความยาวที่เครื่องโกลด์เรซิพรอกวัดขณะขยายคลองรากฟัน พบว่าค่าทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างสองค่าเท่ากับ 0.12 มม.

ในขณะที่กลุ่มเวฟวันโกลด์พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ระหว่างความยาวจริงและความยาวขณะขยายคลองรากฟันและมีค่าเฉลี่ยระหว่างทั้งสองค่าเท่ากับ 0.14 มม.

จากการทดลองจำนวนตัวอย่างที่มีความยาวขณะขยายคลองรากฟันอยู่ในภายในช่วงระยะ 0.5 มม. จากความยาวรากฟันจริงมีจำนวนคิดเป็นร้อยละ 90 (18/20) ในกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ เท่ากับกลุ่มเวฟวันโกลด์ (18/20) หากพิจารณาในช่วงระยะ 1 มม. จากความยาวรากฟันจริงกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์จะมีทั้งหมด 100% เช่นเดียวกับในกลุ่มเวฟวันโกลด์ (100%)

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผล

การทดลองเรื่องเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ จะใช้การจำลองวงจรไฟฟ้าแทนวงจรไฟฟ้าภายในช่องปาก โดยใช้วัสดุที่สามารถนำไฟฟ้ามาล้อมรอบรากฟันที่ถอนและต่อกับเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าทำให้ไฟฟ้าครบวงจร เพื่อจำลองสถานการณ์ทางคลินิก(34) ในการทดลองครั้งนี้ออกแบบตามการทดลองของ Higa และคณะ (53) และใช้วัสดุพิมพ์ปากอัลจิเนตเป็นตัวนำไฟฟ้าในวงจร ตามการทดลองของ Baldi และคณะ(54) พบว่าอัลจิเนตมีการนำไฟฟ้าที่ดี อยู่ล้อมรอบรากฟันได้ตลอดรากฟัน มีความคงตัว แน่นแต่ยังคงลักษณะคล้ายเจล ทำให้ไอออนสามารถหมุนเวียนได้ มีความคล้ายคลึงเอ็นยึดปริทันต์ สามารถหาได้ง่ายและราคาถูก และให้ผลน่าเชื่อถือเมื่อเทียบกับความยาวจริง นอกจากนี้การศึกษาของ AlShwaimi และ Narayanaraopeta ปี 2014(55) พบว่าอัลจิเนตสามารถให้ความแม่นยำในการวัดความยาวด้วยเครื่องรูทซีเอกซ์ได้เมื่อผ่านไป 6 สัปดาห์ การศึกษานี้จึงเลือกใช้อัลจิเนตเป็นสื่อกลางในการทดลอง

การศึกษานี้วัดความแม่นยำของเครื่องโดยใช้วิธีการวัดความยาวคลองรากฟันโดยการใส่ไฟล์ในคลองรากฟันจากนั้นนำออกมาวัดความยาว และเทียบกับความยาวรากฟันจริงเช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้า (7, 48, 50, 53, 54) ในขณะที่บางการศึกษา(8, 56, 57) ใช้การผ่ากลางบริเวณปลายรากฟันและทำการวัดระยะห่างของไฟล์จากรูปลายรากฟัน ซึ่งวิธีการผ่ากลางมีข้อเสียคืออาจทำให้ตัวอย่างเกิดความเสียหาย อาจไม่สามารถแบ่งครึ่งได้จริง กระบวนการตัดอาจไปขยับตำแหน่งไฟล์ หรือทำลายส่วนประกอบทางกายวิภาคของฟันได้ การศึกษาของ Connert และคณะ ปี 2017(51) ศึกษาความแม่นยำโดยใช้เทคนิกการถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร แต่ข้อเสียคือต้องใช้การตัดวอกเซล (voxel) ขนาดเล็ก ใช้โปรแกรมที่มีความละเอียดของภาพสูงจึงจะเห็นความชัดเจน อีกทั้งการมีโลหะเช่นไฟล์จะทำให้เกิดสิ่งแปลกปนจากโลหะในภาพรังสี (metal-induced artifact)(58) ส่งผลต่อการวัดตำแหน่งผิดพลาดได้ การศึกษานี้จึงเลือกใช้การวัดความยาวคลองรากฟันโดยใช้ไฟล์วัดโดยตรง และทำการถ่ายภาพในตำแหน่งเดิมโดยปรับขาตั้งกล้องตำแหน่งเดิมตลอดการทดลอง จากนั้นวัดความยาวไฟล์โดยใช้โปรแกรม

อิมเมจเจ เนื่องจากสามารถวัดความยาวได้ในหน่วยที่ละเอียด ในขั้นตอนการวัดสามารถขยายภาพเพื่อให้เห็นตำแหน่งปลายเครื่องมือได้ชัดเจน

ผลการทดลองพบว่าความยาวทำงานในกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ โดยใช้เครื่องโกลด์เรซิพรอก ไม่แตกต่างจากความยาวจริงสอดคล้องกับการศึกษา Christofzik และคณะ (8) ซึ่งทำการทดลองใช้เครื่องโกลด์เรซิพรอก ร่วมกับไฟล์ระบบเอ็มทู (M two, VDW GmbH, Munich, Germany) ที่มีการหมุนแบบต่อเนื่อง พบว่าไม่พบความแตกต่างของระยะการทำงานของไฟล์และจุดคอดปลายรากฟันกับกลุ่มที่วัดด้วยเครื่องเรย์เพกซ์6 และเอนโดไพลอทที่วัดโดยใช้ไฟล์มือ และสรุปว่าการใช้ระบบหยุดหมุนอัตโนมัติเมื่อใช้ไฟล์หมุนต่อเนื่องมีความแม่นยำสูง ในขณะที่การศึกษาของ Carneiro และคณะ (56) ศึกษาโดยใช้เครื่องไทรออโตซีเอกซ์ โดยใช้โหมดการหมุนย้อนกลับอัตโนมัติร่วมกับไฟล์โปรเทปเปอร์ยูนิเวอร์แซล พบว่ามีระยะห่างเฉลี่ยสั้นจากรูปลายรากฟันเท่ากับ 0.669 มม. การศึกษานี้พบว่าระยะของความยาวฟันจริงเมื่อวัดจากรูปลายรากฟันแตกต่างกับระยะการทำงานไฟล์โปรเทปเปอร์โกลด์ เฉลี่ยเท่ากับ 0.12 มม. ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Carneiro นอกจากนี้การศึกษาของ Altenburger (59) ทดสอบเครื่องไทรออโตซีเอกซ์ โดยใช้ไฟล์โปรเทปเปอร์ยูนิเวอร์แซลพบว่ามีค่าเฉลี่ยระยะปลายไฟล์ถึงระยะรูปลายรากฟันหลักเท่ากับ 0.63 (±0.21) มม. การศึกษานี้ความยาวทำงานที่ได้จากไฟล์โปรเทปเปอร์โกลด์ซึ่งหมุนแบบต่อเนื่อง มีค่าใกล้เคียงกับความยาวรากฟันจริงมากกว่าการศึกษาก่อนหน้า อีกทั้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความยาวฟันจริงเมื่อวัดถึงรูปลายรากฟันหลัก แสดงให้เห็นว่าความแม่นยำของเครื่องโกลด์เรซิพรอกเมื่อใช้ไฟล์ระบบหมุนต่อเนื่องมีความแม่นยำสูง

กลุ่มไฟล์ระบบหมุนไปกลับในการทดลองนี้ พบว่ามีความแตกต่างระหว่างความยาวทำงานและความยาวฟันจริงอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.22) มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันเท่ากับ 0.14 มม. การศึกษาของ Wigler และคณะ (7) ได้ศึกษาความแม่นยำของเครื่องโกลด์เรซิพรอก ทดสอบด้วยไฟล์ระบบเรซิพรอกที่มีการหมุนแบบไปกลับเช่นเดียวกับเวฟวันโกลด์พบว่ามีความแม่นยำสูงและการใช้ตำแหน่งสีเขียวขีดที่สามของเครื่องเป็นจุดหยุดมีความแม่นยำเทียบเท่าเครื่องรูทซีเอกซ์ แต่พบว่าสั้นกว่าความยาวฟันจริงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าไฟล์เวฟวันโกลด์มีการขยายเกินรูปลายรากฟันถึง 70% จากตัวอย่างทั้งหมด

อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างระบบการหมุนสองแบบโดยใช้เครื่องโกลด์เรซิพรอกในครั้งนี้พบว่าทั้งสองระบบไม่มีความแตกต่างกัน โดยการทดลองนี้เลือกระบบโปรเทปเปอร์โกลด์เป็นตัวแทนในระบบหมุนต่อเนื่อง และเวฟวันโกลด์เป็นระบบหมุนไปกลับ ทั้งสองชนิดผลิตจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน และใช้การปรับปรุงโลหะด้วยความร้อน เป็นเทคโนโลยี gold

wire เพื่อควบคุมตัวแปรให้แตกต่างเพียงแค่ระบบการหมุน การศึกษาก่อนหน้า ได้ศึกษาปัจจัยทางเทคนิคที่อาจส่งผลต่อความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า Thomas และคณะ (60) พบว่าขนาดของไฟล์และชนิดของไฟล์ระหว่างชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม (staineless steel) และนิกเกิลไทเทเนียม พบว่ามีความแตกต่าง แต่ทั้งหมดอยู่ในระยะที่ยอมรับได้ในทางคลินิก คืออยู่ในระยะ ±0.11 มม. ในขณะที่การศึกษาของ Nekoofar และคณะ(61) ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม นิกเกิลไทเทเนียม และไฟล์กลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม ในความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า นอกจากนี้ไฟล์ทั้งสองเป็นไฟล์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ดัดงอได้ และเพิ่มความต้านทานต่อการล้าของโลหะ (62, 63) Sariyilmaz และคณะ (64) ได้เปรียบเทียบไฟล์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนต่อความแม่นยำของเครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟัน โกลด์เรซิพรอก พบว่าไฟล์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน (เวฟวันโกลด์และเรซิพรอกบลู) และไฟล์ที่เป็นโลหะดั้งเดิม (เวฟวันและเรซิพรอก) มีความแม่นยำระหว่างขยายไม่แตกต่างกัน แต่ไฟล์ผลิตเลียนแบบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญซึ่งอาจมาจากปริมาณสัดส่วนอัลลอยโลหะที่ใช้ผลิตทำให้มีความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่า แต่จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการปรับปรุงด้วยความร้อนอาจไม่ส่งผลต่อความแม่นยำต่อการวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า

ความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าขึ้นกับตำแหน่งรอยต่อระหว่างความเข้มข้นของไอออนภายในคลองรากฟันและนอกคลองรากฟัน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เครื่องวัดความยาวรากฟันจะแจ้งเตือน (14) ในการศึกษาของ Kovacevic (38)ทดลองในฟันสุนัข พบว่าสภาวะของเนื้อเยื่อในมีผลต่อความแม่นยำ เนื่องจากตำแหน่งของรอยต่อระหว่างความเข้มข้นไอออนภายในและภายนอกคลองรากจะแตกต่างกันในแต่ละสภาวะของเนื้อเยื่อในและเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันจากปริมาณไอออนลบที่เกิดขึ้น แสดงว่าความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวด้วยไฟฟ้าอาจจับตำแหน่งของสมดุลรอยต่อความเข้มข้นของไอออน อย่างไรก็ตามยังไม่เคยมีการศึกษาผลของระบบการเคลื่อนที่ของไฟล์ต่อการรบกวนการเกิดสมดุลรอยต่อของประจุไอออนในคลองรากฟัน จึงได้เริ่มต้นทำการทดลองในครั้งนี้ แต่ผลการศึกษาพบว่าการหมุนแบบต่อเนื่องและไปกลับไม่พบความแตกต่างของความแม่นยำในการวัดด้วยเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า ซึ่งอาจอธิบายได้จากเครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษานี้คือโกลด์เรซิพรอกใช้โปรแกรมพัฒนามาจากเครื่องเรย์เปกซ์ 5 ซึ่งเป็นเครื่องวัดความยาวรากฟันยุคที่สี่ (fourth-generation apexlocator) ใช้ค่าไฟฟ้าสองค่าความถี่และวัดตำแหน่งโดยใช้สัดส่วนอิมพีแดนซ์สองค่าความถี่ ทำให้ผลของอิเลคโทรไลต์ไม่ส่งผลต่อความแม่นยำตามการศึกษาของ

Gomes (65) พบว่าเมื่อใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันที่มีการนำประจุแตกต่างกันไม่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดของเครื่องเรย์เปกซ์ 5 และอาจเป็นเหตุผลที่อธิบายถึงเหตุใดการขยายโดยใช้ไฟล์โปรเทปเปอร์โกลด์และเวฟวันโกลด์ที่มีการศึกษาพบว่าโปรเทปเปอร์โกลด์ทำให้เนื้อฟันบางลงมากกว่าเวฟวันโกลด์จากการศึกษาของ Singh และคณะ (66) จึงไม่ผลต่อความแม่นยำ ทั้งที่การศึกษาของ Al-bulushi และคณะ กล่าวว่าความหนาของเนื้อฟันที่ลดลงหลังการเตรียมคลองรากฟันส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ การใช้เครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าที่ใช้สัดส่วนอิมพีแดนซ์อาจช่วยลดทอนผลของปัจจัยเหล่านี้ในการวัดนี้ได้ (26) อธิบายได้จากการศึกษาของ Krizaj และคณะ (67) ที่พบว่าความนำไฟฟ้าของเนื้อฟันมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ และความแม่นยำในการวัด แต่ถ้าใช้ไฟฟ้าสองความถี่มาเทียบค่าอิมพีแดนซ์สองค่าเป็นสัดส่วนจะทำให้ความแม่นยำในการวัดตำแหน่งรูปลายรากฟันสูงขึ้น ลดความแปรปรวนจากปัจจัยค่าความนำไฟฟ้าของเนื้อฟันได้ ดังนั้นการทดลองนี้ความหนาของเนื้อฟันที่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์แต่เนื่องจากเครื่องโกลด์เรซิพรอกใช้การวัดแบบสัดส่วนอิมพีแดนซ์จึงทำให้ปัจจัยดังกล่าวในทั้งสองกลุ่มทดลองไม่ส่งผลต่อความแม่นยำ

นอกจากนี้ขนาดของรูปลายรากฟันส่งผลต่อความแม่นยำ Herrera และคณะ(68) พบว่ารูปลายรากฟันที่มีขนาดไม่เกิน 0.6 มม, การวัดด้วยไฟล์แต่ละขนาดไม่มีผล แต่ขนาดของไฟล์ที่ไม่เหมาะสมจะมีผลในกลุ่มรูปลายรากขนาด 0.6 และ 0.8 มม. และความแม่นยำจะแย่ลงหากรูปลายรากขนาดกว้างกว่า 0.9 มม. สอดคล้องกับการศึกษาของ Vasconcelos และคณะ(69) ซึ่งแนะนำให้ใช้ไฟล์ที่มีขนาดใกล้เคียงกับจุดคอดปลายรากฟันเพื่อเพิ่มความแม่นยำ โดยในการทดลองนี้ได้เลือกไฟล์ขนาดเอฟวันและไพรมารี ทั้งสองมีขนาดปลายไฟล์เท่ากับ 0.2 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดปลายรากฟันที่คัดเลือกคือเท่ากับเคไฟล์ขนาด 15

ความสำเร็จของการรักษาคลองรากฟันขึ้นกับการทำความสะอาดระบบคลองรากฟันและอุดปิดคลองรากฟัน ซึ่งจะสำเร็จได้เมื่อสามารถหาความยาวการทำงานที่ถูกต้อง ตำแหน่งของจุดคอดปลายรากฟันเป็นตำแหน่งที่แนะนำเป็นจุดสิ้นสุดการทำงาน โดยอาจพบอยู่ในระยะ 0.5-1 มม. จากปลายรากฟันกายวิภาค (anatomical apex) (20, 23, 70) ผลการทดลองในกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ และกลุ่มเวฟวันโกลด์ พบว่าเมื่อพิจารณาในระยะ ±0.5 มม. พบว่ามีจำนวนเท่ากับ 90% ในทั้งสองกลุ่ม และหากพิจารณาในระยะ ±1 มม. พบว่ามีความถี่เท่ากับ 100% ในทั้งสองกลุ่ม ซึ่งเป็นระยะใช้ในทางคลินิกแล้วให้ผลสำเร็จสูง สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า (8, 71)ที่แนะนำว่าเครื่องโกลด์เรซิพรอกมีความน่าเชื่อถือเมื่อใช้ระบบขยายคลองรากฟันร่วมกับการวัดความยาว สามารถช่วยคงความยาวการทำงาน ป้องกันการขยายออกนอกปลายรากฟันซึ่งอาจทำ

อันตรายต่อเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันได้ ผลการศึกษาครั้งนี้จึงร่วมสนับสนุนความแม่นยำของเครื่องขยายคลองรากฟันร่วมกับวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าชนิดโกลด์เรซิพรอกโดยทั้งระบบการหมุนไปกลับและหมุนแบบต่อเนื่องไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การทดลองครั้งนี้ใช้จุดอ้างอิงความยาวการทำงานคือจุดรูปลายรากฟัน แต่ในทางปฏิบัติรูปลายรากฟันมักมีลักษณะเป็นกรวย ทำให้การอุดบริเวณปลายรากฟันทำได้ยาก ยกเว้นแต่จะมีซีเมนต์เกินออกไปปิด(20) จึงมีคำแนะนำให้ใช้จุดคอดปลายรากฟันเป็นจุดหยุดในการทำงาน เนื่องจากเป็นส่วนที่แคบที่สุด ทำให้อุดแน่นเต็มได้ง่าย และลดการรบกวนเนื้อเยื่อปริทันต์ซึ่งอาจทำให้เกิดการอักเสบ หรือเกิดความเจ็บปวดหลังรักษาได้ (72) ในการทดลองนี้พบว่าค่าเฉลี่ยระยะการทำงานของทั้งสองระบบมีค่าเกินจุดรูปลายรากฟัน อาจต้องพึงระวังระยะการทำงานให้ดี และอาจยังจำเป็นต้องมีการถ่ายภาพรังสีตรวจสอบระยะการทำงานก่อนการขยายเพื่อป้องกันการขยายเกินคลองรากฟัน อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองเกินนอกปลายรากเฉลี่ยเพียง 0.27 มม. เท่านั้นในกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์ และ 0.26 มม. ในกลุ่มเวฟวันโกลด์ เป็นระยะที่ยอมรับได้ทางคลินิก

เครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้า ในการทดลองนี้คือโกลด์เรซิพรอกแสดงถึงความแม่นยำในการวัดขณะขยายสามารถหยุดเมื่อใกล้บริเวณรูปลายรากฟัน สามารถช่วยในการทำงานของทันตแพทย์ช่วยป้องกันการขยายออกนอกรูปลายรากฟันก่อให้เกิดการบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อเอ็นยึดปริทันต์ การขยายและอุดคลองรากฟันเกินออกนอกรูปลายรากฟันมีผลให้อัตราการอยู่รอดของฟันที่รักษาคลองรากฟันลดลง (73) ฟันที่สูญเสียเนื้อฟันมากและมีจุดอ้างอิง (reference point) ไม่ชัดเจน การคงความยาวการทำงานที่ถูกต้องขณะขยายคลองรากฟันด้วยวิธีการปกติอาจทำได้ยากและมีโอกาสเกินออกนอกปลายราก การใช้เครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าสามารถช่วยลดข้อผิดพลาดในการวัดที่ตำแหน่งอ้างอิงได้ เนื่องจากเครื่องจะหยุดหมุนอัตโนมัติเมื่อถึงรูปลายรากฟัน อีกทั้งในฟันที่รากฟันโค้งเมื่อขยายด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องอาจทำให้ความยาวการทำงานก่อนและหลังขยายเปลี่ยนแปลงไปทำให้เมื่อคงตำแหน่งความยาวการทำงานแรกเริ่มขณะขยายจะทำให้ขยายเกินนอกปลายราก(45) เครื่องขยายคลองรากฟันที่สามารถช่วยหยุดการขยายเมื่อเกินนอกปลายรากฟันจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยลดข้อผิดพลาดและเสริมความมั่นใจให้แก่ทันตแพทย์ได้

สรุปผลวิจัย

ความแม่นยำของเครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าโกลด์เรซิพรอกให้ความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟันขณะขยายไม่แตกต่างเมื่อใช้ไฟล์ระบบการหมุนของไฟล์ระหว่างการหมุนแบบต่อเนื่องและการหมุนไปกลับ และให้ความแม่นยำสูง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ อาจมีข้อแตกต่างทางด้านปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อการทำงานในทางคลินิก การศึกษาของ Tamarut และคณะ พบว่าสภาวะภายในเนื้อเยื่อในอาจส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความยาวคลองรากฟันด้วยเครื่องวัดความยาวคลองรากฟันด้วยไฟฟ้า เนื่องจากสภาวะของเนื้อเยื่อในและเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันส่งผลต่อการเกิดชั้นเปลี่ยนแปลง (transition zone) มีผลต่อการอ่านค่าของเครื่อง นอกจากนี้สภาวะอื่น ได้แก่ ฟันปลายรากเปิด ฟันที่สูญเสียจุดคอดปลายรากฟัน ส่งผลต่อความแม่นยำของเครื่องวัดความยาวรากฟันด้วยไฟฟ้าเช่นกัน (34, 68) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้จำลองสภาวะเหล่านั้น ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีการทดลองเพิ่มเติมทางคลินิกเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น

การทดลองครั้งนี้เลือกใช้ไฟล์ขนาดเอฟวันและไพรมารีซึ่งมีขนาดปลายเครื่องมือเล็กเนื่องจากต้องการศึกษาผลของการหมุนของไฟล์ต่อการวัดความยาวของเครื่องเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงการเตรียมคลองรากฟันจะใช้ขนาดเครื่องมือที่ใหญ่กว่า และมีการตัดบริเวณส่วนปลายรากฟันมากกว่าการทดลองครั้งนี้ ซึ่งผลของขนาดไฟล์ที่ใหญ่ขึ้นอาจมีผลต่อระบบการหยุดอัตโนมัติของเครื่องขยายพร้อมวัดความยาวรากฟัน อีกทั้งในการทดลองครั้งนี้เลือกฟันที่มีปลายรากค่อนข้างตรง ในกรณีรากฟันที่มีความโค้งหรือมีความซับซ้อนมากขึ้น อาจส่งผลต่อการคงความยาวเครื่องมือขณะขยาย อาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ใกล้เคียงกับการทำงานทางคลินิก

บรรณานุกรม

1. Olson AK, Goering AC, Cavataio RE, Luciano J. The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen. International Endodontic Journal. 1991;24(1):28-35.

2. Tamse A, Kaffe I, Fishel D. Zygomatic arch interference with correct radiographic diagnosis in maxillary molar endodontics. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology. 1980;50(6):563-6.

3. Pratten DH, McDonald NJ. Comparison of radiographic and electronic working lengths. Journal of Endodontics. 1996;22(4):173-6.

4. Salem W. Accuracy of three methods of working length determination in reference to visual test of anatomical apex. Cairo Dental Journal. 2014;75:1254-8.

5. Pagavino G, Pace R, Baccetti T. A SEM study of in vivo accuracy of the Root ZX electronic apex locator. Journal of Endodontics. 1998;24(6):438-41.

6. Welk AR, Baumgartner JC, Marshall JG. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. Journal of Endodontics. 2003;29(8):497-500.

7. Wigler R, Huber R, Lin S, Kaufman AY. Accuracy and reliability of working length determination by Gold Reciproc Motor in reciprocating movement. Journal of Endodontics. 2014;40(5):694-7.

8. Christofzik DW, Bartols A, Khaled M, Größner-Schreiber B, Dörfer CE. The accuracy of the auto-stop function of different endodontic devices in detecting the apical constriction. BMC Oral Health. 2017;17(1):141.

9. Rivera EM, Seraji MK. Effect of recapitulation on accuracy of electronically determined canal length. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, and Oral Radiology. 1993;76(2):225-30.

10. 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):1067-70.

11. De-Deus G, Barino B, Zamolyi RQ, Souza E, Júnior AF, Fidel S, et al. Suboptimal debridement quality produced by the single-file F2 ProTaper technique in oval-shaped canals. Journal of Endodontics. 2010;36(11):1897-900.

12. Bürklein S, Benten S, Schäfer E. Quantitative evaluation of apically extruded debris with different single-file systems: R eciproc, F 360 and O ne S hape versus M two. International Endodontic Journal. 2014;47(5):405-9.

13. De-Deus G, Marins J, Silva EJ, Souza E, Belladonna FG, Reis C, et al. Accumulated hard tissue debris produced during reciprocating and rotary nickel-titanium canal preparation. Journal of Endodontics. 2015;41(5):676-81.

14. Tamarut T, Kovačević M, Uhač I. Detection of a transitional ion concentration zone during electronic measurement of root canal length: a study in vitro. International Endodontic Journal. 2000;33(4):374-80.

15. Meredith N, Gulabivala K. Electrical impedance measurements of root canal length. Dental Traumatology. 1997;13(3):126-31.

16. Al-Bulushi A, Levinkind M, Flanagan M, Ng YL, Gulabivala K. Effect of canal preparation and residual root filling material on root impedance. International endodontic journal. 2008;41(10):892-904.

17. Singh S, Abdul MSM, Sharma U, Sainudeen S, Jain C, Kalliath JT. An in vitro comparative evaluation of volume of removed dentin, canal transportation, and centering ratio of 2Shape, WaveOne Gold, and ProTaper Gold files using cone-beam computed tomography. Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry. 2019;9(5):481.

18. Peters OA, Peters CI. Chapter 9 - Cleaning and Shaping of the Root Canal System. In: Hargreaves KM, Cohen S, editors. Cohen's Pathways of the Pulp (Tenth Edition). St. Louis: Mosby; 2011. p. 283-348.

19. Gordon MP, Chandler NP. Electronic apex locators. International Endodontic Journal. 2004;37(7):425-37.

20. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apexes. The Journal of the American Dental Association. 1955;50(5):544-52.

21. Hassanien EE, Hashem A, Chalfin H. Histomorphometric study of the root apex of mandibular premolar teeth: an attempt to correlate working length measured with electronic and radiograph methods to various anatomic positions in the apical portion of the canal. Journal of Endodontics. 2008;34(4):408-12.

22. Saad AY, Al-Yahya AS. The location of the cementodentinal junction in single-rooted mandibular first premolars from Egyptian and Saudi patients: a histological study. International Endodontic Journal. 2003;36(8):541-4.

23. Dummer PM, McGinn JH, Rees DG. The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. International Endodontic Journal 1984;17(4):192-8.

24. Suzuki K. Experimental study on iontophoresis. Journal of The Japanese Stomatological Society. 1942;16:411-29.

25. Sunada I. New method for measuring the length of the root canal. Journal of Dental Research. 1962;41(2):375-87.

26. Nekoofar M, Ghandi M, Hayes S, Dummer P. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. International Endodontic Journal. 2006;39:595-609.

27. Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. Journal of endodontics. 1994;20(3):111-4.

28. Stober EK, de Ribot J, Mercade M, Vera J, Bueno R, Roig M, et al. Evaluation of the Raypex 5 and the Mini Apex Locator: an in vivo study. Journal of Endodontics. 2011;37(10):1349-52.

29. Moscoso S, Pineda K, Basilio J, Alvarado C, Roig M, Duran-Sindreu F. Evaluation of Dentaport ZX and Raypex 6 electronic apex locators: an in vivo study. Medicina Oral Patologia Oral y Cirugia Bucal. 2014;19(2):e202-e5.

30. Aydin U, Karatasliogl E, Aksoy F, Yildirim C. In vitro evaluation of Root ZX and Raypex 6 in teeth with different apical diameters. Journal of Conservative Dentistry. 2015;18(1):66-9.

31. Duh B-R. In vitro evaluation of the accuracy of Root ZX series electronic apex

locators. Journal of Dental Sciences. 2009;4(2):75-80.

32. Erdemir A, Eldeniz A, Ari H, Belli S, Esener T. The influence of irrigating solutions on the accuracy of the electric apex locator facility in the Tri Auto ZX handpiece. International endodontic journal. 2007;40:391-7.

33. Uzun O, Topuz O, Tinaz AC, Alaçam T. Apical accuracy of two apex-locating handpieces in root canal retreatments of root-end resected teeth. Journal of Endodontics. 2007;33(12):1444-6.

34. Huang L. An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. Journal of Endodontics. 1987;13(2):60-4.

35. Trope M, Rabie G, Tronstad L. Accuracy of an electronic apex locator under controlled clinical conditions. Endodontics & Dental Traumatology. 1985;1(4):142-5.

36. Berman LH, Fleischman SB. Evaluation of the accuracy of the Neosono-D electronic apex locator. Journal of Endodontics. 1984;10(4):164-7.

37. Wu YN, Shi JN, Huang LZ, Xu YY. Variables affecting electronic root canal measurement. International Endodontic Journal. 1992;25(2):88-92.

38. Kovacevic M, Tamarut T, GlaviČiĆ S, Jonjic N, ZoriČiĆ-Cvek S, Bobinac D. Electronic root canal length measurement before and after experimentally induced pulpitis and apical periodontitis in dogs. Medical and Biological Engineering and Computing. 2006;44(8):695.

39. Siu C, Marshall JG, Baumgartner JC. An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. Journal of Endodontics. 2009;35(7):962-5.

40. Gehlot PM, Manjunath V, Manjunath MK. An in vitro evaluation of the accuracy of four electronic apex locators using stainless-steel and nickel-titanium hand files. Restorative Dentistry & Endodontics. 2016;41(1):6-11.

41. Sadeghi S, Abolghasemi M. The accuracy of the Raypex5 electronic apex locator using stainless-steel hand K-file versus nickel-titanium rotary Mtwo file. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2010;15(5):e788-90.

42. De-Deus G, Moreira EJL, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2

ProTaper instruments used in reciprocating movement. International Endodontic Journal. 2010;43(12):1063-8.

43. Kim H-C, Kwak S-W, Cheung GS-P, Ko D-H, Chung S-M, Lee W. Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Two New Nickel-Titanium Instruments Used in Reciprocation Motion: Reciproc Versus WaveOne. Journal of Endodontics. 2012;38(4):541-4.

44. Yoo Y-S, Cho Y-B. A comparison of the shaping ability of reciprocating NiTi instruments in simulated curved canals. Restorative dentistry & endodontics. 2012;37(4):220-7.

45. Berutti E, Chiandussi G, Paolino DS, Scotti N, Cantatore G, Castellucci A, et al. Effect of canal length and curvature on working length alteration with WaveOne reciprocating files. Journal of endodontics. 2011;37(12):1687-90.

46. Ha JH, Kwak SW, Kim SK, Kim HC. Screw-in forces during instrumentation by various file systems. Restorative Dentistry & Endodontics. 2016;41(4):304-9.

47. Ruddle CJ. Single-File Shaping Technique: Achieving a Gold Medal Result. Dentistry Today. 2016;35(1):98, 100, 2-3.

48. Cruz ATG, Wichnieski C, Carneiro E, da Silva Neto UX, Gambarini G, Piasecki L. Accuracy of 2 Endodontic Rotary Motors with Integrated Apex Locator. Journal of Endodontics. 2017;43(10):1716-9.

49. Ustun Y, Uzun O, Er O, Maden M, Yalpı F, Canakci BC. Effects of dissolving solutions on the accuracy of an electronic apex locator-integrated endodontic handpiece. ScientificWorldJournal. 2013;2013:475178.

50. Altenburger MJ, Cenik Y, Schirrmeister JF, Wrbas KT, Hellwig E. Combination of apex locator and endodontic motor for continuous length control during root canal treatment. International Endodontic Journal. 2009;42(4):368-74.

51. Connert T, Judenhofer M, Hülber-J M, Schell S, Mannheim J, Pichler B, et al. Evaluation of the accuracy of nine electronic apex locators by using Micro-CT. International endodontic journal. 2018;51(2):223-32.

52. GmbH V. [Available from: https://www.vdw-dental.com/en/education/videos/preparation/endo-motors/.

53. Higa R, Adorno C, Ebrahim A, Suda H. Distance from file tip to the major apical foramen in relation to the numeric meter reading on the display of three different electronic apex locators. International endodontic journal. 2009;42(12):1065-70.

54. Baldi JV, Victorino FR, Bernardes RA, de Moraes IG, Bramante CM, Garcia RB, et al. Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locators. Journal of endodontics. 2007;33(4):476-9.

55. AlShwaimi EO, Narayanaraopeta UB. Effect of time on electronic working length determination with a novel endodontic module in preclinical endodontic training. Saudi Journal of Medicine and Medical Sciences. 2014;2(1):37.

56. Carneiro E, Bramante CM, Picoli F, Letra A, da Silva Neto UX, Menezes R. Accuracy of root length determination using Tri Auto ZX and ProTaper instruments: an in vitro study. Journal of endodontics. 2006;32(2):142-4.

57. Jakobson SJM, Westphalen VPD, da Silva Neto UX, Fariniuk LF, Picoli F, Carneiro E. The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX II and ProTaper instruments: an in vivo study. Journal of Endodontics. 2008;34(11):1342-5.

58. Schulze R, Heil U, Groβ D, Bruellmann D, Dranischnikow E, Schwanecke U, et al. Artefacts in CBCT: a review. Dentomaxillofacial Radiology. 2011;40(5):265-73.

59. Altenburger M, Cenik Y, Schirrmeister J, Wrbas KT, Hellwig E. Combination of apex locator and endodontic motor for continuous length control during root canal treatment. International endodontic journal. 2009;42(4):368-74.

60. Thomas AS, Hartwell GR, Moon PC. The accuracy of the Root ZX electronic apex locator using stainless-steel and nickel-titanium files. Journal of endodontics. 2003;29(10):662-3.

61. Nekoofar M, Sadeghi K, Namazikhah M. The accuracy of the Neosono Ultima EZ apex locator using files of different alloys: an in vitro study. Journal of the California Dental Association. 2002;30(9):681-4.

62. Plotino G, Grande NM, Bellido MM, Testarelli L, Gambarini G. Influence of temperature on cyclic fatigue resistance of ProTaper Gold and ProTaper Universal rotary

files. Journal of endodontics. 2017;43(2):200-2.

63. Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, Wang Z-j, Shen Y. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. Journal of Endodontics. 2015;41(7):1134-8.

64. SARIYILMAZ Ö, SARIYILMAZ E, Keskin C. Influence of reciprocating NiTi instruments on the accuracy of apex locator integrated endomotors during simultaneous working length determination. Middle Black Sea Journal of Health Science.6(1):70-5.

65. Gomes S, Oliver R, Macouzet C, Mercadé M, Roig M, Duran-Sindreu F. In vivo evaluation of the Raypex 5 by using different irrigants. Journal of Endodontics. 2012;38(8):1075-7.

66. Singh S, Abdul MSM, Sharma U, Sainudeen S, Jain C, Kalliath JT. An in vitro Comparative Evaluation of Volume of Removed Dentin, Canal Transportation, and Centering Ratio of 2Shape, WaveOne Gold, and ProTaper Gold Files Using Cone-Beam Computed Tomography. Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry. 2019;9(5):481-5.

67. Krizaj D, Jan J, Valencic V. Modeling AC current conduction through a human tooth. Bioelectromagnetics. 2004;25(3):185-95.

68. Herrera M, Ábalos C, Lucena C, Jimenez-Planas A, Llamas R. Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study. Journal of endodontics. 2011;37(9):1306-9.

69. Vasconcelos BCd, Matos LdA, Pinheiro-Júnior EC, Menezes ASTd, Vivacqua-Gomes N. Ex vivo accuracy of three electronic apex locators using different apical file sizes. Brazilian dental journal. 2012;23(3):199-204.

70. Green D. A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology. 1956;9(11):1224-32.

71. Wigler R, Huber R, Lin S, Kaufman AY. Accuracy and reliability of working length determination by Gold Reciproc Motor in reciprocating movement. Journal of Endodontics. 2014;40(5):694-7.

72. Nehammer C. Treatment of the emergency patient. British Dental Journal. 1985;158(7):245-54.

73. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. Int Endod J. 1998;31(6):394-409.

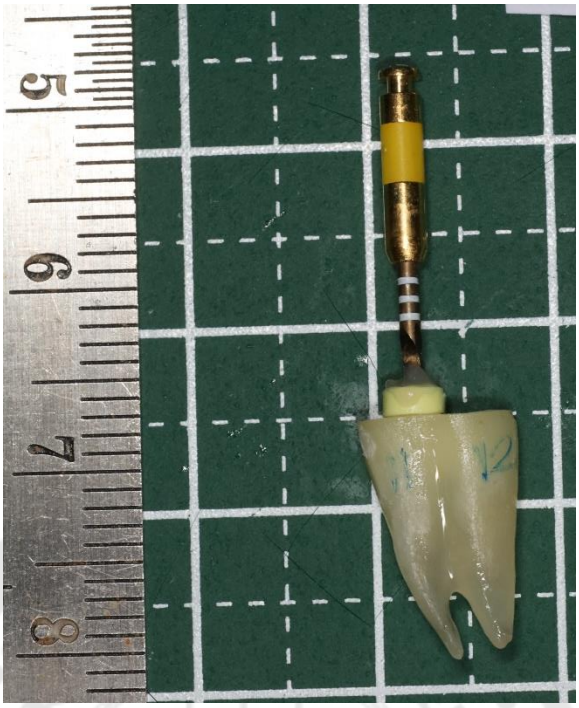
ภาคผนวก

ตาราง 3 แสดงค่าความยาวจริง (DL) ความยาวไฟล์ขณะขยาย (PL) และผลต่างความยาว (ΔL) ของแต่ละตัวอย่างในแต่ละตัวอย่างในกลุ่มเวฟวันโกลด์

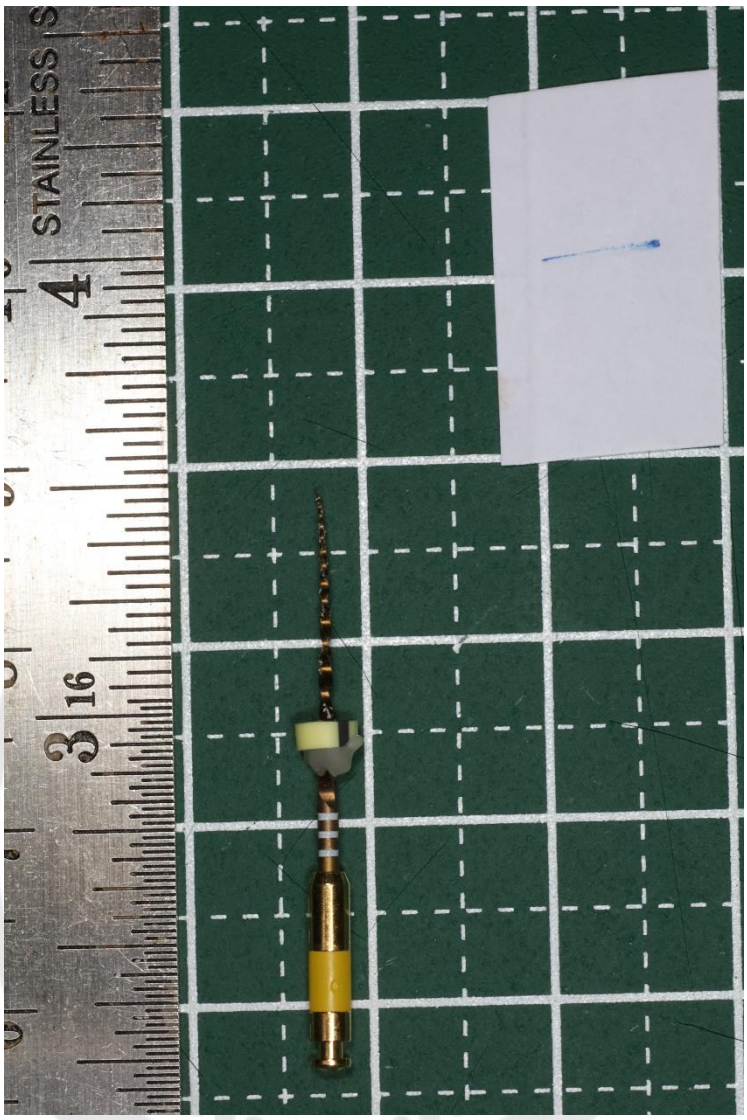
ตัวอย่าง	ความยาวรากฟันจริง (DL)	ความยาวไฟล์ขณะขยาย (PL)	ผลต่างความยาว (PL-DL;ΔL)
1	12.54	12.03	-0.50
2	12.79	12.54	-0.25
3	11.88	11.64	-0.24
4	13.99	13.77	-0.22
5	13.12	13.06	-0.06
6	13.39	13.37	-0.02
7	13.32	13.39	0.06
8	14.86	14.94	0.09
9	10.87	10.96	0.09
10	13.98	14.10	0.12
11	13.53	13.73	0.20
12	12.52	12.75	0.23
13	15.51	15.75	0.25
14	13.01	13.28	0.27
15	11.94	12.29	0.35
16	14.30	14.67	0.36
17	13.80	14.17	0.37
18	13.25	13.65	0.40
19	13.70	14.14	0.45
20	15.18	15.69	0.51

ตาราง 4 แสดงค่าความยาวจริง (DL) ความยาวไฟล์ขณะขยาย (PL) และผลต่างความยาว (ΔL) ของแต่ละตัวอย่างในกลุ่มโปรเทปเปอร์โกลด์

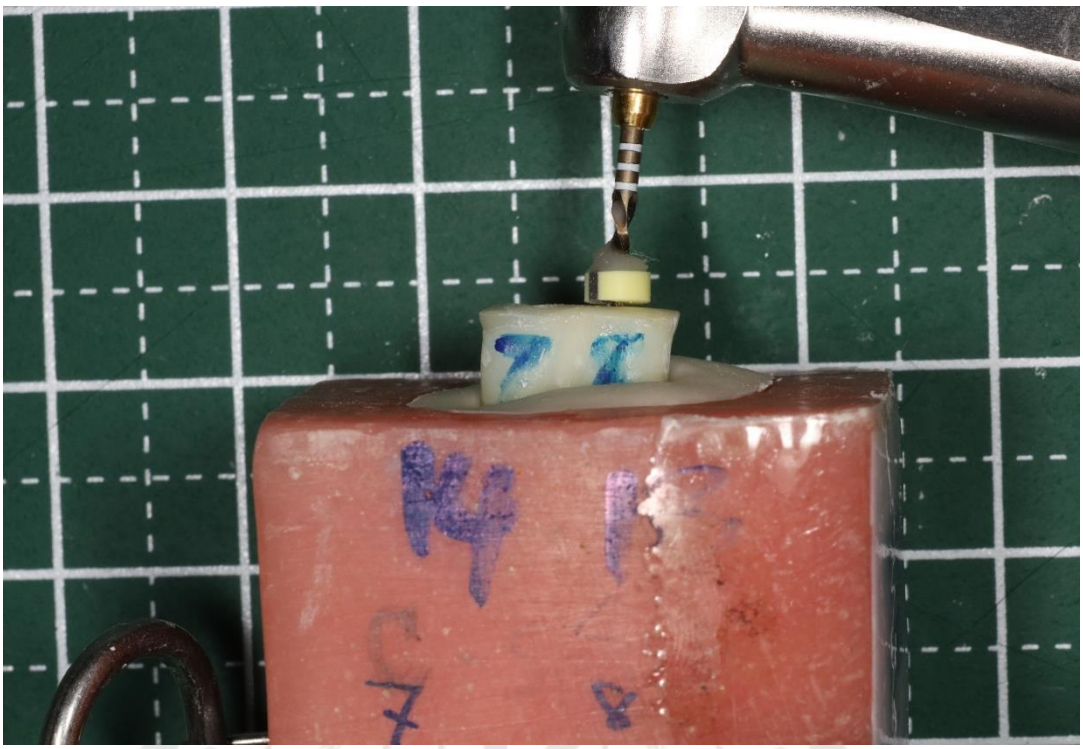
ตัวอย่าง	ความยาวรากฟันจริง (DL)	ความยาวไฟล์ขณะขยาย (PL)	ผลต่างความยาว (PL-DL;ΔL)
1	12.79	12.54	-0.25
2	13.32	13.39	0.06
3	13.53	13.73	0.20
4	13.99	13.77	-0.22
5	13.12	13.06	-0.06
6	13.80	14.17	0.37
7	13.98	14.10	0.12
8	12.52	12.75	0.23
9	11.88	11.64	-0.24
10	15.51	15.75	0.25
11	11.94	12.29	0.35
12	15.18	15.69	0.51
13	12.54	12.03	-0.50
14	13.70	14.14	0.45
15	13.01	13.28	0.27
16	13.25	13.65	0.40
17	13.39	13.37	-0.02
18	14.30	14.67	0.36
19	14.86	14.94	0.09
20	10.87	10.96	0.09



ภาพประกอบ 19 ตัวอย่างหลังจากขยายคลองรากฟันของกลุ่มเวฟวันโกลด์



ภาพประกอบ 20 ภาพถ่ายเพื่อวัดความยาวไฟล์หลังขยาย



ภาพประกอบ 21 แสดงขั้นตอนการขยายคลองรากฟันโดยใช้เครื่องโกลด์เรซิพรอก

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐธยาน์ ศักดิ์สมบูรณ์
วัน เดือน ปี เกิด	23 พฤษภาคม 2536
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2560 ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต จากมหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย