

UNTOUCHED CANAL WALL AREAS AFTER ROOT CANAL PREPARATION WITH MINIMAL INVASIVE NITI ROTARY INSTRUMENTS

Kanyarat ANTACHAI¹, Pinpana THAWESIT¹, Kanet CHOTVORRARAK² and Angsana JAINAEN¹

1 Restorative Dentistry Department, Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Thailand;
angjai@kku.ac.th (Corresponding Author)

2 Restorative Dentistry and Endodontics Department, Faculty of Dentistry, Mahidol University,
Thailand

ABSTRACT

This study aimed to compare the percentage of untouched root canal wall areas after root canal preparation using conservative nickel-titanium rotary instruments, namely TruNatomy and ProTaper Ultimate, with the conventional ProTaper Gold system. Sixty mesial roots of mandibular molars with Vertucci type II canal configuration were selected and randomly divided into three groups according to the instrumentation system used. Root canals were prepared using the assigned rotary systems and subsequently scanned using micro-computed tomography to evaluate changes in the canal wall surfaces. The results showed that the percentages of untouched canal wall areas in the TruNatomy, ProTaper Ultimate, and ProTaper Gold groups were 79.01%, 71.51%, and 66.43%, respectively. One-way analysis of variance demonstrated that different nickel-titanium rotary systems significantly affected the percentage of untouched canal wall areas ($p < 0.05$). Bonferroni post hoc analysis revealed that the TruNatomy group exhibited significantly greater untouched canal wall areas than both the ProTaper Ultimate and ProTaper Gold groups ($p = 0.009$ and 0.001 , respectively). In conclusion, the type of nickel-titanium rotary instrumentation system significantly influences the percentage of untouched root canal wall areas following canal preparation, with TruNatomy showing the highest proportion of untouched surfaces among the tested systems.

Keywords: NiTi Rotary, Trunatomy, Protaper Ultimate, Protaper Gold, Untouched Root Canal Area, Micro-Computed Tomography

CITATION INFORMATION: Antachai, K., Thaweesit, P., Chotvorarak, K., & Jainaen, A. (2026). Untouched Canal Wall Areas After Root Canal Preparation with Minimal Invasive NiTi Rotary Instruments. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 72

การเปรียบเทียบพื้นที่ของผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสภายหลังการเตรียมคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีแบบบูรณาน้อย

กัลยรัตน์ อันทะชัย¹, ปิ่นพนา ทวีสิทธิ์¹, คณศ โซติวรวัชร² และ อังสนา ใจแน่น¹

1 สาขาวิชาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; angjai@kku.ac.th (ผู้ประพันธ์
บรรณกิจ)

2 สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการและวิทยาเอ็นโดดอนต์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบพื้นที่ของผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสภายหลังขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีชนิดนุรักษ์ ได้แก่ ทรูนาโทมี โปรเทปเปอร์อัลทิเมท และชนิดดั้งเดิมคือโปรเทปเปอร์โกลด์ โดยใช้รากฟันโกล์กลางของฟันกรามล่างจำนวน 60 ซี่ ซึ่งมีลักษณะของคลองรากเป็นแบบ Vertucci ประเภทที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม เพื่อขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือต่างกัน 3 ระบบ แล้วนำไปถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีระดับไมโครเมตร เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของผนังคลองรากฟัน พบว่าคลองรากฟันกลุ่มที่ขยายด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมี ระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมท และระบบโปรเทปเปอร์โกลด์มีพื้นที่คลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสร้อยละ 79.01, 71.51 และ 66.43 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบว่าการใช้เครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีต่างระบบมีผลต่อพื้นที่ของคลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจากการทดสอบด้วยบอนเฟอร์โรนี พบว่ากลุ่มที่ขยายคลองรากฟันด้วยระบบทรูนาโทมีมีพื้นที่ที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสมากกว่าระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมทและระบบโปรเทปเปอร์โกลด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.009$ และ 0.001 ตามลำดับ)

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่าชนิดของเครื่องมือมีผลต่อพื้นที่คลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าระบบทรูนาโทมีมีพื้นที่ผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสมากกว่าเครื่องมือระบบอื่นที่นำมาทดสอบในการศึกษานี้

คำสำคัญ: เครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารี, ทรูนาโทมี, โปรเทปเปอร์อัลทิเมท, โปรเทปเปอร์โกลด์, พื้นที่คลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัส, เครื่องคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีระดับไมโครเมตร

ข้อมูลการอ้างอิง: กัลยรัตน์ อันทะชัย, ปิ่นพนา ทวีสิทธิ์, คณศ โซติวรวัชร และ อังสนา ใจแน่น. (2569). การเปรียบเทียบพื้นที่ของผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสภายหลังการเตรียมคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีแบบบูรณาน้อย. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 72

บทนำ

การเตรียมคลองรากฟันเชิงกลเคมี (chemomechanical preparation) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการรักษาคลองรากฟัน เนื่องจากช่วยกำจัดเนื้อเยื่อตายและเชื้อแบคทีเรียออกจากคลองรากฟัน เพื่อส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการซ่อมแซมของเนื้อเยื่อรอบปลายราก และยังเป็น การเตรียมรูปร่างคลองรากฟันให้เหมาะสมต่อการอุดคลองรากฟันต่อไป (Siqueira Junior et al., 2018) ซึ่งการทำความสะอาดคลองรากฟันที่เพียงพอและการอุดคลองรากฟันได้เต็มทั้งสามมิติมีผลต่อความสำเร็จของการรักษาคลองรากฟัน (Al-Fouzan et al., 2013) แม้ว่าการขยายให้คลองรากฟันมีขนาดใหญ่จะมีประโยชน์ต่อการกำจัดเชื้อแบคทีเรียและการกำจัดเดบรีส (debris) (C. Chen et al., 2022; McGurkin-Smith et al., 2005) แต่ในขณะเดียวกันการขยายคลองรากฟันมากเกินไปย่อมนำไปสู่การสูญเสียเนื้อฟันที่ดี การรักษาคลองรากฟันแบบรุกรานน้อย (minimal invasive endodontic) จึงเป็นแนวทางที่มุ่งเน้นการเก็บรักษาโครงสร้างฟันไว้ให้มากที่สุดในการรักษาคลองรากฟัน (Clark & Khademi, 2009) ช่วยต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่ได้รับ การรักษาคลองรากฟันแล้ว (Zhang et al., 2019)

จากแนวทางนี้ไปสู่การพัฒนาเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบใหม่ๆ ให้มีความฝายของเครื่องมือลดลงจากเดิม เพื่อให้เครื่องมือมีขนาดเล็กลง โดยเฉพาะบริเวณใกล้รูเปิดคลองรากฟัน (canal orifice) เครื่องมือในกลุ่มนี้ได้แก่ระบบทรูนาโทมี (Trunatomy, Dentsply Sirona Endodontics PA, USA) ระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมท (Protapper Ultimate, Dentsply Sirona Endodontics PA, USA) เป็นต้น ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือส่วนต้นเท่ากับ 0.8-1 มิลลิเมตร จึงมีขนาดเล็กกว่าเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบดั้งเดิมอย่างระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือส่วนต้นเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร (Berutti et al., 2022)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเครื่องมือขยายคลองรากฟันไม่สามารถสัมผัสผนังคลองรากฟันได้ทุกส่วน ในคลองรากฟันที่มีรูปร่างหน้าตัดของคลองรากฟันเป็นวงรี เมื่อถูกขยายด้วยเครื่องมือที่มีรูปร่างหน้าตัดเป็นวงกลม ทำให้ยังพบว่ามีพื้นที่ของผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสได้ถึงร้อยละ 52-79 (Lopes et al., 2018) มีการศึกษาพื้นที่ที่ไม่ถูกสัมผัสของคลองรากฟันภายหลังขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ในรากฟันใกล้กลางของฟันกรามล่างที่มีลักษณะของคลองรากฟันแบบ Vertucci ประเภทที่ 4 คือใน 1 รากมี 2 คลองรากฟันที่แยกกันตลอดความยาวรากฟัน พบว่ายังมีพื้นที่ที่ไม่ถูกสัมผัสร้อยละ 44 (Falakaloglu et al., 2022) ซึ่งคลองรากฟันลักษณะนี้สามารถพบได้บ่อยที่สุดในรากฟันใกล้กลางของฟันกราม ในขณะที่คลองรากฟันประเภทที่พบได้บ่อยรองลงมาเป็นแบบ Vertucci ประเภทที่ 2 คือใน 1 รากฟันพบ 2 คลองรากฟันที่แยกกันบริเวณรูเปิดเข้าคลองรากฟัน แล้วเชื่อมเป็นคลองรากเดียวกัน (G. Chen et al., 2009) คลองรากฟันลักษณะนี้จึงมีหน้าตัดขวางเป็นรูปวงรีบริเวณที่คลองรากฟันทั้งสองเชื่อมกัน (Keles & Keskin, 2017) นอกจากนี้ในรากฟันที่มีมากกว่า 1 คลองรากฟันมักพบทางเชื่อม (isthmus) ซึ่งเป็นทางแคบๆ รูปร่างคล้ายริบิ้น ทำให้บริเวณนี้เป็นบริเวณที่ยากต่อการนำเครื่องมือเข้าไปทำความสะอาด (Alves et al., 2013) แม้การรักษาตามแนวทางการอนุรักษ์เนื้อฟันจะช่วยคงสภาพโครงสร้างฟัน แต่การลดขนาดและความฝายของเครื่องมืออาจส่งผลให้การสัมผัสผนังคลองรากฟันลดลง และนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ที่ไม่ถูกสัมผัส ซึ่งอาจเป็นแหล่งสะสมของเชื้อแบคทีเรียและส่งผลต่อความสำเร็จของการรักษา

การศึกษานี้จึงต้องการศึกษาพื้นที่ที่ไม่ถูกสัมผัสของคลองรากฟันใกล้กลางของฟันกรามล่างที่มีลักษณะคลองรากฟันแบบ Vertucci ประเภทที่ 2 ภายหลังขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีแบบอนุรักษ์ได้แก่ระบบทรูนาโทมีและระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมท โดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีแบบดั้งเดิมอย่างระบบโปรเทปเปอร์โกลด์

การทบทวนวรรณกรรม

การรักษาคลองรากฟันแบบอนุรักษ์เนื้อฟัน (minimally invasive endodontics) มีเป้าหมายเพื่อลดการกรอดัดเนื้อฟันที่มากเกินไปในระหว่างการรักษา ปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่มีผลต่อความสำเร็จในการรักษาในระยะยาว โดยฟันที่มี

เนื้อฟันเหลืออยู่มากมีความต้านทานการแตกหักได้ดีกว่าฟันที่มีปริมาณเนื้อฟันเหลือน้อย (Fernandes & Dessai, 2001) Clark และ Khademi ได้นำเสนอหลักการไม่กรอหลังคาของโพรงเนื้อเยื่อใน (pulpal roof) ออกทั้งหมด และอนุรักษ์เนื้อฟันบริเวณรอบคอฟันที่อยู่เหนือต่อสันกระดูกเบ้าฟัน (crestal bone) 4 มิลลิเมตร และใต้ต่อสันกระดูกเบ้าฟัน 6 มิลลิเมตร (Clark & Khademi, 2010) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีบทบาทสำคัญช่วยต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่ได้รับการรักษารากฟันแล้ว (Zhang et al., 2019) ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดถึงความสัมพันธ์ของปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่กับการแตกหักในฟันที่ได้รับการรักษารากฟันแล้ว จากการศึกษาของ Ossareh และคณะ (Ossareh et al., 2018) พบว่าเมื่อขยายคลองรากฟันส่วนต้นของฟันกรามน้อยล่างด้วยหัวกรอกเททกลิตเดนเบอร์ 4 ร่วมกับขยายคลองรากฟันส่วนปลายถึงเคฟล์เบอร์ 50 จะทำให้มีการสูญเสียปริมาณเนื้อฟันไปร้อยละ 7 ซึ่งพบว่าสามารถรับแรงที่ก่อให้เกิดการแตกหัก (fracture load) ได้น้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการกรอฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การเตรียมคลองรากฟันด้วยหัวกรอกเททกลิตเดนเบอร์ 1 และ 2 ร่วมกับการขยายคลองรากฟันส่วนปลายด้วยเคฟล์เบอร์ 35 ทำให้มีการสูญเสียเนื้อฟันอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 1.05-12.36 ดังนั้นการผลิตเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีภายใต้แนวคิดการอนุรักษ์เนื้อฟันจึงออกแบบเครื่องมือให้มีความผายลดลง และลดขนาดหน้าตัดของเครื่องมือ (Gündogar et al., 2020) ตัวอย่างของเครื่องมือได้แก่ ทรูนาโทมิ โปรเทปเปอร์อัลทิเมท เป็นต้น เครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมิ เป็นเครื่องมือที่ได้รับการปรับพื้นผิวด้วยความร้อน เพื่อให้เครื่องมือมีคุณสมบัติเพิ่มความยืดหยุ่น และลดความสามารถในการจดจำรูปร่างของโลหะ รูปร่างหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานนอกศูนย์กลาง (off-centered parallelogram cross-section) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือส่วนต้น 0.8 มิลลิเมตร (Dentsply Sirona., 2022) โปรเทปเปอร์อัลทิเมทผลิตจากโลหะที่เตรียมพื้นผิวด้วยความร้อนให้เป็นสีทอง มีรูปร่างหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานนอกศูนย์กลาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือ 1 มิลลิเมตร (Dentsply Sirona., 2021) จึงช่วยอนุรักษ์เนื้อฟันโดยเฉพาะบริเวณรอบคอฟัน (Vyver & Vorster, 2021) ในขณะที่เครื่องมือรุ่นดั้งเดิม เช่น ระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือส่วนต้น 1.1-1.2 มิลลิเมตร มีหน้าตัดรูปสามเหลี่ยมโค้งนูน ความผายของเครื่องมือเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้ส่วนคอฟัน ซึ่งมีความผายไม่คงที่ ปลายเครื่องมือไม่คม (non-cutting tip) (Arslan et al., 2017) ลักษณะการหมุนของเครื่องมือเป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกาแบบต่อเนื่อง มีการปรับสภาพพื้นผิวของโลหะด้วยความร้อนให้เป็นสีทอง ทำให้เครื่องมือสามารถต้านทานการหักและโค้งงอได้มากขึ้น ซึ่งฟันกรามล่างเป็นฟันที่มีความถี่ในการได้รับการรักษารากฟันมากที่สุด (Aljawhar et al., 2025) ในฟันกรามล่างสามารถพบคลองรากฟันได้ 3-4 คลองรากฟัน และรากใกล้กลางของฟันกรามล่างมีความซับซ้อน เช่น มีทางเชื่อม ครีบริกแขนง รากแยกหรือการรวมกันของคลองรากฟัน ซึ่งรูปร่างที่ซับซ้อนทำให้เพิ่มความยากต่อการรักษาและมีอัตราความสำเร็จต่ำกว่าฟันที่มีระบบคลองรากฟันที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า (Rodrigues dos Santos et al., 2026) พื้นผิวคลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสสามารถพบได้ร้อยละ 52-79 ทำให้พื้นผิวที่ไม่ถูกทำความสะอาดนี้พบเนื้อเยื่อในที่ตายหรือเชื้อแบคทีเรียได้ (Lopes et al., 2018) จึงเป็นความท้าทายของการเตรียมคลองรากฟัน จากข้อจำกัดนี้ไปสู่การพัฒนาเครื่องมือ ทั้งการปรับคุณสมบัติของโลหะให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดคุณสมบัติการจดจำของเครื่องมือ (self memory) เพื่อให้เครื่องมือเข้าไปทำความสะอาดตามความโค้งของคลองรากฟันได้ ไม่เกิดการเบี่ยงเบนออกนอกคลองรากฟันหรือทะลุ (Zevallos-Quiroz et al., 2019) แกนของเครื่องมือบางระบบสามารถขยายออกด้านข้างหรือหดตัวได้ (De-Deus et al., 2019) การออกแบบหน้าตัดของเครื่องมือให้ออกนอกศูนย์กลางเพื่อช่วยให้เครื่องมือสัมผัสผนังคลองรากฟันได้มากขึ้นแม้เครื่องมือมีความผายน้อย (Falakaloglu et al., 2023)

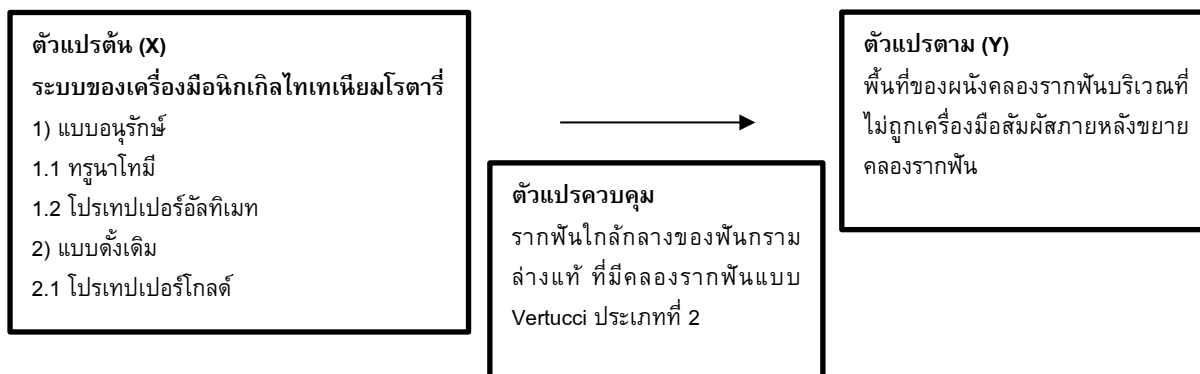
ลักษณะของคลองรากฟันของรากฟันใกล้กลางของฟันกรามล่างซึ่งที่หนึ่งพบได้บ่อยคือคลองรากฟัน Vertucci ประเภทที่สี่ซึ่งพบได้ร้อยละ 55.7 รองลงมาคือคลองรากฟัน Vertucci ประเภทที่สองพบได้ร้อยละ 32.6 (Wang et al., 2010) ส่วนรากฟันใกล้กลางของฟันกรามล่างที่สองที่พบคลองรากฟันประเภทที่สองได้บ่อยที่สุด ร้อยละ 28.9 รองลงมาคือคลองรากฟันประเภทที่สี่ร้อยละ 24.4 (Yang et al., 2022) เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์โทโมกราฟีระดับไมโครเมตร (Micro-CT) ถูกนำมาใช้ในการประเมินการเตรียมคลองรากฟันเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 2000 ข้อดีของเครื่องมือนี้คือไม่

ทำลายชิ้นงานที่ใช้ศึกษา สามารถวัดผลซ้ำได้ ทำให้เห็นภาพของวัตถุได้ทั้ง 3 มิติ จึงถูกนำมาใช้เพื่อศึกษารูปร่างของคลองรากฟัน (Aljawhar et al., 2025)

สมมติฐานการวิจัย

พื้นที่ของผนังคลองรากฟันบริเวณที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสภายหลังขยายด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีแบบอนุรักษ์อย่างระบบทรูนาโทมีและโปรเทปเปอร์อัลทิเมท เทียบกับระบบดั้งเดิมอย่างระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ไม่แตกต่างกัน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการ (Experimental Study) และได้ขอจริยธรรมเพื่อรับรองการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ HE672089 เพื่อเปรียบเทียบร้อยละของพื้นที่ผนังคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสภายหลังขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีแบบอนุรักษ์อย่างระบบทรูนาโทมีและโปรเทปเปอร์อัลทิเมท เทียบกับระบบดั้งเดิมอย่างระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ โดยใช้เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์โทโมกราฟีระดับไมโครเมตรศึกษารูปร่างของคลองรากฟันที่เปลี่ยนไป

การเตรียมฟัน

นำฟันกรามล่างแท้ซี่ที่หนึ่งและสองที่ถูกถอนเนื่องจากโรคฟันผุหรือโรคปริทันต์ เกณฑ์คัดเข้าเป็นรากฟันด้านใกล้กลางยาวจากปลายรากฟัน 10 มิลลิเมตร ใส่เคไฟล์เบอร์ 8, 10 และ 15 ตามลำดับลงไปบนคลองรากฟันให้ถึงความยาวทำงาน (working length) 9 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้ไฟล์ขนาดแรกที่ถึงปลายราก (Initial Apical File; IAF) เท่ากับเบอร์ 15 นำไปถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากฟัน (periapical film) ในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น (bucco-lingual) เพื่อคัดเฉพาะรากฟันที่ตรงหรือโค้งน้อยกว่า 20 องศาตามเกณฑ์การวัดของ Schneider (Schneider, 1971) และถ่ายภาพรังสีในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (mesio-distal) เพื่อคัดเฉพาะรากฟันที่มีลักษณะของคลองรากฟันเป็น Vertucci (Vertucci, 1984) ประเภทที่สอง คือมี 2 คลองรากฟันที่มีรูเปิดปลายรากฟัน 1 รู โดยรากฟันต้องไม่มีรอยผุ แตก ร้าว คลองรากฟันไม่มีการละลาย ไม่ตีบตัน และไม่เคยรักษารากฟันมาก่อน จำนวน 60 ราก แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย กลุ่มละ 20 ซี่ อุดปิดรูเปิดปลายรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตเพื่อจำลองระบบปิด แล้วขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมร่วมกับเครื่องขยายคลองรากฟันอิเล็กทรอนิกส์สมาร์ทพลัสเอ็นโดมอเตอร์ (X-Smart™ plus endo motor, Dentsply sirona, USA) โดยใช้เทคนิคคราวน์ดาวน์ (crown-down technique) ขยับเครื่องมือขึ้นลงตามแนวคลองรากฟันเป็นระยะสั้นๆ ประมาณ 2 ถึง 3 มิลลิเมตร (pecking motion) ให้ถึงความยาวทำงาน 9 มิลลิเมตร ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ขยายคลองรากฟันด้วยระบบทรูนาโทมี ด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ใช้แรงบิด 1.5 นิวตันเซนติเมตร เริ่มขยายคลองรากฟันด้วยขนาดเล็ก (small ขนาด 20/.04) ตามด้วยขนาดไพรม์ (prime ขนาด 26/.04) ขยายคลองรากฟัน

ให้ถึงความยาวทำงาน ล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทุกครั้งที่เปลี่ยนเครื่องมือ รวมเป็น 6 มิลลิลิตรต่อคลองรากฟัน

กลุ่มที่ 2 ขยายคลองรากฟันด้วยระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมท ด้วยความเร็ว 400 รอบต่อนาที ใช้แรงบิด 4 นิวตัน เซนติเมตร ใช้เซปเปอร์ (ขนาด 20/.04) เอฟวัน (ขนาด 20/.07) และเอฟทู (ขนาด 25/.08) ขยายคลองรากฟันตามลำดับ ล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทุกครั้งที่เปลี่ยนเครื่องมือ รวมเป็น 6 มิลลิลิตรต่อคลองรากฟัน

กลุ่มที่ 3 ขยายคลองรากฟันด้วยระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ ด้วยความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ใช้แรงบิด 3 นิวตัน เซนติเมตร ใช้เอสวัน (ขนาด 18/.02) เอสทู (ขนาด 20/.04) เอฟวัน (ขนาด 20/.07) เอฟทู (ขนาด 25/.08) ขยายคลองรากฟันตามลำดับ ล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ทุกครั้งที่เปลี่ยนเครื่องมือ รวมเป็น 6 มิลลิลิตรต่อคลองรากฟัน

ทุกครั้งที่ล้างคลองรากฟันใช้เข็มล้างเบอร์ 30 ใส่ลงไปในคลองรากฟันให้สั้นกว่าความยาวทำงาน 1 มิลลิเมตร ร่วมกับการทำรีแคปитуเลชัน (recapitulation) ด้วยเคฟล์เบอร์ 10 โดยทุกกลุ่มตัวอย่างถูกควบคุมให้มีปริมาณน้ำยาล้างคลองรากฟันเท่ากัน โดยใช้ 6 มิลลิลิตรต่อคลองรากฟัน ดังนั้นแต่ละรากฟันจึงใช้น้ำยาล้างคลองรากฟัน 12 มิลลิลิตร

การถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์โทโมกราฟีระดับไมโครเมตร

รากฟันที่ถูกคัดเลือกถูกนำไปถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์โทโมกราฟีระดับไมโครเมตร 2 ครั้ง ทั้งก่อนการเตรียมคลองรากฟันเพื่อบันทึกข้อมูลเริ่มต้น (ครั้งที่ 1) และภายหลังขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารี (ครั้งที่ 2) โดยก่อนนำฟันเข้าเครื่องเอกซเรย์ วางรากฟันแต่ละรากคว่ำลงบนกระดาษให้ส่วนปลายรากฟันอยู่ทางด้านบน วาดเส้นรอบแนวตัดขวางของฟัน ชีตเส้นอ้างอิงที่รากฟันและกระดาษให้ตรงกัน 3 ด้าน แล้วยึดชิ้นงานกับแท่นของเครื่องเอกซเรย์ด้วยเทปใส เพื่อให้สามารถถ่ายภาพรังสีมุมเดิมทุกครั้ง แล้วจึงนำเข้าเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์โทโมกราฟีระดับไมโครเมตรโดยตั้งค่าที่ 70 kVp และ 114 μ A ความละเอียดภาพอยู่ที่ 10 ไมโครเมตร ได้ภาพตัดขวาง 240 ภาพต่อ 1 ราก แล้วประมวลเพื่อหาพื้นที่ของคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสด้วยโปรแกรม CT Analyser เวอร์ชัน 1.18.9.0+

การหาร้อยละของพื้นที่ที่ไม่ถูกสัมผัส

เมื่อได้ภาพถ่ายรังสีทั้ง 2 ครั้ง นำภาพแนวตัดขวางของคลองรากฟันวางซ้อนทับกัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างคลองรากฟันโดยพิจารณาในแนวตัดขวางของคลองรากฟัน หาร้อยละของพื้นที่คลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสจากสูตร ดังนี้

$$\text{ร้อยละพื้นที่ที่ไม่ถูกสัมผัส} = \frac{\text{พื้นที่คลองรากฟันที่ไม่เปลี่ยนแปลงหลังขยาย}}{\text{พื้นที่คลองรากฟันทั้งหมดก่อนขยาย}} \times 100$$

นำข้อมูลที่ได้อิงสถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) โดยทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลด้วยการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov) ทดสอบความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (test of homogeneity of variances) ด้วยการทดสอบเลวีเน (Levene's test) หากข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงปกติและความแปรปรวนระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกัน ใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way Anova) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนซันนิบอนเฟอโรนี (Bonferroni) โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัย

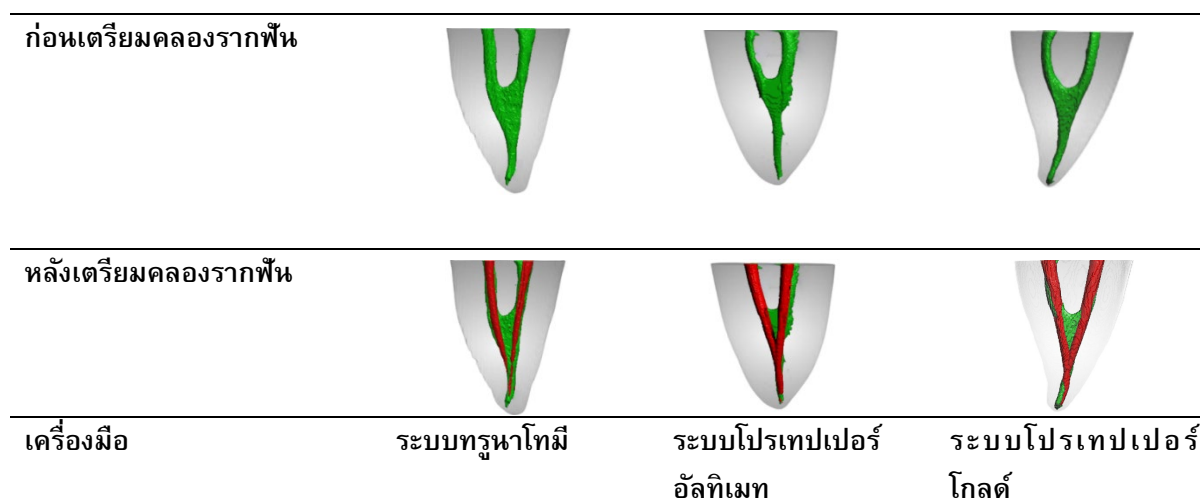
ผลการทดลองพบว่าพื้นที่ของคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสเมื่อขยายด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบทูนาโทมี ระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมท และระบบโปรเทปเปอร์โกลด์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 79.01, 71.51 และ 66.43 ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลของทุกกลุ่มพบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงปกติ ($p > 0.05$) เมื่อตรวจสอบความแปรปรวนระหว่างกลุ่มพบว่ามีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงใช้การทดสอบ

ความแปรปรวนแบบทางเดียวในการวิเคราะห์ผล ซึ่งพบว่าระบบของเครื่องมือ निकелไทเทเนียมโรตารีมีผลต่อพื้นที่ของคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดบนเฟอร์โรไนพบว่าพื้นที่ของคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสเมื่อขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकелไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมีมีค่ามากกว่าการขยายคลองรากฟันด้วยระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.043$) และมากกว่าระบบโปรเทปเปอร์โกลด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และพื้นที่ที่ไม่ถูกสัมผัสของคลองรากฟันเมื่อขยายด้วยระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมทไม่แตกต่างกับระบบโปรเทปเปอร์โกลด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.275$)

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของร้อยละของพื้นที่คลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสหลังขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकелไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมี โปรเทปเปอร์อัลทิเมท และโปรเทปเปอร์โกลด์ ($\mu = 20$)

เครื่องมือ निकелไทเทเนียมโรตารี		ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ) $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด (ร้อยละ)	ค่าสูงสุด (ร้อยละ)
เครื่องมือแบบอนุรักษณ์เนื้อฟัน	ทรูนาโทมี	79.01 ± 7.48^A	69.03	91.59
	โปรเทปเปอร์อัลทิเมท	71.51 ± 8.20^B	50.41	82.96
เครื่องมือแบบดั้งเดิม	โปรเทปเปอร์โกลด์	66.43 ± 11.86^B	45.24	84.02

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษ A, B แสดงถึงกลุ่มที่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างคลองรากฟันในแต่ละกลุ่ม ก่อน-หลังขยายคลองรากฟัน สีเขียวคือพื้นที่คลองรากฟันก่อนเตรียมคลองรากฟัน สีแดงคือพื้นที่คลองรากฟันที่ถูกเครื่องมือสัมผัส

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพื้นที่ของคลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสภายหลังขยายคลองรากฟันใกล้กลางของฟันกรามล่างซี่ที่หนึ่งและสองที่มีรูปร่างของคลองรากฟัน Vertucci ประเภทที่สองระหว่างเครื่องมือ निकелไทเทเนียมโรตารีแบบอนุรักษณ์เนื้อฟัน ได้แก่ เครื่องมือ निकелไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมีและระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมท และแบบดั้งเดิมคือเครื่องมือ निकелไทเทเนียมโรตารีระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ พบว่าคลองรากฟันที่ถูกเตรียมด้วยเครื่องมือ निकелไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมีมีพื้นที่ที่ไม่ถูกสัมผัสของเครื่องมือมากกว่าเมื่อขยายด้วยเครื่องมือ निकелไทเทเนียมโร

ดาร์ระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมทและระบบโปรเทปเปอร์โกลด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.043$ และ $p < 0.001$ ตามลำดับ) เนื่องจากเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมิเป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบมาเพื่ออนุรักษ์เนื้อฟัน โดยมีความผายของเครื่องมือร้อยละ 4 มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือส่วนต้น 0.8 มิลลิเมตร เครื่องมือจึงมีความเรียวเล็กกว่าเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ขนาดเอฟทู ที่มีความผายร้อยละ 8 และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือส่วนต้น 1.2 มิลลิเมตร จึงทำให้เครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมิสัมผัสกับผนังคลองรากฟันน้อยกว่าเครื่องมือขยายคลองรากฟันชนิดดั้งเดิม ในขณะที่พื้นที่ที่ไม่สัมผัสของคลองรากฟันในกลุ่มที่เตรียมคลองรากฟันด้วยเครื่องมือระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมทและโปรเทปเปอร์โกลด์ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องจากขนาดของเครื่องมือที่ไม่แตกต่างกัน โดยเครื่องมือตัวสุดท้ายที่ใช้ของทั้ง 2 กลุ่มนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายเครื่องมือ 0.25 มิลลิเมตร ความผายร้อยละ 8 แม้เครื่องมือระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมทถูกปรับให้เครื่องมือส่วนต้นมีความกว้างของเครื่องมือ 1 มิลลิเมตร

จากการศึกษาอย่างเป็นระบบพบว่าเครื่องมือขยายคลองรากฟันไม่สามารถสัมผัสคลองรากฟันได้ทั้งหมด สำหรับคลองรากฟันที่เป็นวงรีหรือเป็นรูปตัวซีมีบริเวณที่เครื่องมือไม่สัมผัสคลองรากฟันร้อยละ 10-80 (Siqueira Junior et al., 2018) สอดคล้องกับการศึกษานี้ที่พบว่าพื้นที่คลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสด้วยเครื่องมือขยายคลองรากฟันร้อยละ 66.43-79.01 มีการศึกษาก่อนหน้าเปรียบเทียบพื้นที่ของคลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสเมื่อขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบโปรเทปเปอร์ทรูนาโทมิและระบบโปรเทปเปอร์โกลด์เช่นกัน และพบว่าการสัมผัสผนังคลองรากฟันของเครื่องมือทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (Silva et al., 2022) ซึ่งต่างจากการศึกษานี้ โดยความแตกต่างระหว่าง 2 การศึกษานี้คือลักษณะของคลองรากฟันของกลุ่มตัวอย่างที่เลือกใช้ การศึกษาก่อนหน้าเลือกใช้รากฟันโกล์กลางของฟันกรามล่างที่มีลักษณะของคลองรากฟันประเภทที่สี่ ส่วนการศึกษานี้เลือกใช้รากฟันโกล์กลางของฟันกรามล่างที่มีลักษณะของคลองรากฟันประเภทที่สองซึ่งเป็นประเภทของคลองรากฟันที่พบได้บ่อยเป็นอันดับสอง บริเวณที่คลองรากฟันทั้งสองมาเชื่อมรวมกันมีรูปร่างเป็นวงรี เส้นผ่านศูนย์กลางด้านที่กว้างที่สุดเฉลี่ย 1.6 มิลลิเมตร ที่ระยะ 3 มิลลิเมตรจากปลายรากฟัน (Keles & Keskin, 2017) ในขณะที่หน้าตัดของเครื่องมือเป็นวงกลม นอกจากนี้ยังสามารถพบทางเชื่อม ซึ่งพบได้บ่อยในรากฟันที่มีมากกว่า 1 คลองรากฟัน ในรากฟันโกล์กลางของฟันกรามล่างสามารถพบได้ร้อยละ 54.8 (De Pablo et al., 2010) ทำให้เครื่องมือไม่สามารถสัมผัสผนังคลองรากฟันบริเวณนี้ได้ (De-Deus et al., 2010)

เครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมิถูกออกแบบให้มีหน้าตัดของเครื่องมือเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานนอกศูนย์กลาง ทำให้มีการเคลื่อนที่ของเครื่องมือมีลักษณะคล้ายงู (snakelike motion) ส่งผลให้เครื่องมือสามารถสัมผัสผนังคลองรากฟันได้มากขึ้น แม้ว่าจะมีขนาดและความเรียวน้อยกว่าเครื่องมือชนิดอื่น (Silva et al., 2022) แต่จากผลการศึกษาพบว่าเครื่องมือระบบนี้ยังพบพื้นที่ผิวคลองรากฟันที่ยังไม่ถูกสัมผัสมากกว่าเครื่องมือระบบอื่น ปัจจุบันการพัฒนาคุณสมบัติทางโลหะวิทยาและการออกแบบของเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีเป็นไปอย่างต่อเนื่อง แต่ยังไม่มียุทธวิธีที่สามารถเตรียมและสัมผัสผนังคลองรากฟันได้อย่างสมบูรณ์ทุกพื้นผิว เนื่องจากความซับซ้อนทางกายวิภาคของคลองรากฟัน (Falakaloglu et al., 2023) สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ว่าความแตกต่างของลักษณะทางกายวิภาคของคลองรากฟันก่อนการเตรียมคลองรากฟันมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเตรียมคลองรากฟันมากกว่าความแตกต่างของเทคนิคหรือระบบเครื่องมือที่ใช้ในการขยายคลองรากฟัน (Peters et al., 2001)

เครื่องมือที่มีขนาดใหญ่เมื่อนำไปขยายคลองรากฟันทำให้ตัดเนื้อฟันออกไปมากนำไปสู่ความเสี่ยงต่อการแตกหักของรากฟันได้ (Pawar et al., 2018) โดยเฉพาะการสูญเสียเนื้อฟันบริเวณคอฟัน (Zelic et al., 2015) ซึ่งการเตรียมคลองรากฟันด้วยเครื่องมือระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ทำให้สูญเสียผนังเนื้อฟัน (dentine wall) มีการศึกษาความทนทานต่อการแตกหักของรากฟันกรามน้อยเมื่อขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีต่างระบบกันพบว่ารากฟันกลุ่มที่ใช้เครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมิทนต่อการแตกหักได้มากกว่ากลุ่มที่ใช้เครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ (Nassar et al., 2022)

อย่างไรก็ตามความสำเร็จของการรักษาลงรากฟันสัมพันธ์กับการกำจัดเชื้อภายในคลองรากฟัน (Nair et al., 2005) มีการศึกษาพบว่าการเตรียมคลองรากฟันด้วยเครื่องมือระบบทรูนาโทมีสามารถลดเชื้อแบคทีเรียไม่แตกต่างจากเครื่องมือระบบโปรเทปเปอร์โกลด์ (Nur et al., 2023) เนื่องจากไม่ว่าเครื่องมือจะมีความผายมากขึ้นหรือมีขนาดใหญ่ แต่ยังไม่สามารถเข้าไปทำความสะอาดผนังคลองรากฟันส่วนที่เป็นเป็นครีบริบหรือทางเชื่อมแคบๆ ได้ ทำให้พื้นผิวผนังคลองรากฟันส่วนนั้นยังสามารถพบเชื้อแบคทีเรียได้ (Versiani et al., 2016) นำไปสู่ความล้มเหลวของการรักษาลงรากฟัน ดังนั้นการกำจัดเชื้อในคลองรากฟันโดยการเตรียมทางกลด้วยการขยายคลองรากฟันด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ ไม่เพียงพอต่อการกำจัดเชื้อ แต่จำเป็นต้องอาศัยการเตรียมทางเคมีด้วยการล้างและการใส่ยาในคลองรากฟันเพื่อช่วยลดเชื้อแบคทีเรียไปด้วย

เครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบทรูนาโทมีมีความผายของเครื่องมือน้อยที่สุดในกลุ่มที่ทำการศึกษา จึงมีลักษณะเรียวเล็กกว่าเครื่องมือระบบอื่น เนื่องจากการออกแบบตามแนวคิดการอนุรักษ์เนื้อฟัน โดยเฉพาะบริเวณใกล้คอฟัน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อความแข็งแรงของรากฟันภายหลังการรักษาคลองรากฟัน การลดขนาดและความผายของเครื่องมือส่งต่อประสิทธิภาพในการเตรียมคลองรากฟันทางกล เนื่องจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าระบบทรูนาโทมีมีพื้นที่คลองรากฟันที่ไม่ถูกสัมผัสด้วยเครื่องมือมากกว่าระบบโปรเทปเปอร์อัลทิเมทและโปรเทปเปอร์โกลด์ ซึ่งบริเวณที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสดังกล่าวอาจยังคงมีเชื้อแบคทีเรีย เศษเนื้อเยื่อตายหลงเหลืออยู่ได้ ดังนั้นแม้เครื่องมือแบบอนุรักษ์เนื้อฟันจะมีข้อดีในการคงเหลือโครงสร้างเนื้อฟัน แต่การใช้งานในทางคลินิกควรให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการล้างคลองรากฟันร่วมด้วย โดยเฉพาะการใช้เทคนิคกระตุ้นน้ำยาล้างคลองรากฟัน เช่น การกระตุ้นด้วยโซนิคหรืออัลตราโซนิค ซึ่งสามารถเพิ่มการไหลเวียนของน้ำยาล้างคลองรากฟันเข้าสู่บริเวณทางเชื่อม ครีบริบ และส่วนของคลองรากฟันที่เครื่องมือไม่สามารถเข้าถึงได้ (Conde et al., 2017) ช่วยลดเชื้อซ้ำจากการเตรียมคลองรากฟันด้วยเครื่องมือแบบอนุรักษ์เนื้อฟัน และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำสะอาดระบบคลองรากฟัน

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากการศึกษานี้พบว่าคลองรากฟันที่ขยายด้วยเครื่องมือ निकเกลไทเทเนียมโรตารีระบบอนุรักษ์เนื้อฟันที่มีพื้นที่ที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสมากกว่าเครื่องมือระบบดั้งเดิม ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือระบบนี้ควรเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันร่วมกัน รวมไปถึงการใช้เทคนิคเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้น้ำยาล้างคลองรากฟันสามารถเข้าไปทำความสะอาดให้ทั่วทุกบริเวณของคลองรากฟัน โดยเฉพาะบริเวณที่เครื่องมือเข้าไปทำความสะอาดไม่ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย และเพิ่มความสำเร็จของการรักษาลงรากฟัน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ บัณฑิตของพื้นที่คลองรากฟันที่ไม่ถูกเครื่องมือสัมผัสเพียงอย่างเดียวอาจไม่ได้แสดงถึงความล้มเหลวของการรักษาลงรากฟัน เนื่องจากการกำจัดเชื้อแบคทีเรียในคลองรากฟันต้องใช้ทั้งน้ำยาล้างคลองรากฟันและการใส่ยาในคลองรากฟันร่วมด้วย จึงควรมีการศึกษาวิจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความสำเร็จของการรักษาลงรากฟันร่วมด้วย และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในทางคลินิกเพื่อดูความสำเร็จของการรักษาลงรากฟัน

เอกสารอ้างอิง

- Al-Fouzan, K. S., Ounis, H. F., Merdad, K., & Al-Hezaimi, K. (2013). Incidence of canal systems in the mesio-buccal roots of maxillary first and second molars in Saudi Arabian population. *Australian Endodontic Journal*, 39(3), 98-101.
- Aljawhar, A. M., Ibrahim, N., Abdul Aziz, A., Ahmed, H. M. A., & Azami, N. H. (2025). Micro-computed tomographic evaluation of root and canal anatomy of maxillary first premolars in Iraqi sub-population. *Scientific Reports*, 15(1), 1-17.

- Alves, R. F., Versiani, M. A., & Isabela, N. R. (2013). *Correlative Bacteriologic and Micro - Computed Tomographic Analysis of Mandibular Molar Mesial Canals Prepared by Self-Adjusting File , Reciproc , and Twisted File Systems*. 39(8).
- Arslan, H., Yildiz, E. D., Gunduz, H. A., Sumbullu, M., Bayrakdar, I. S., Karatas, E., & Sumbullu, M. A. (2017). Comparative study of ProTaper gold, reciproc, and ProTaper universal for root canal preparation in severely curved root canals. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, 20(4), 222-224.
- Berutti, E., Moccia, E., Lavino, S., Multari, S., Carpegna, G., Scotti, N., Pasqualini, D., & Alovise, M. (2022). Micro-Computed Tomography Evaluation of Minimally Invasive Shaping Systems in Mandibular First Molars. *Journal of Clinical Medicine*, 11(15).
- Chen, C., Zhang, W., & Liang, Y. (2022). Evaluation of apical root defects during canal instrumentation with two different nickel-titanium (NiTi) systems by optical coherence tomography (OCT) scan. *Journal of Dental Sciences*, 17(2), 763-770.
- Chen, G., Yao, H., & Tong, C. (2009). Investigation of the root canal configuration of mandibular first molars in a Taiwan Chinese population. *International Endodontic Journal*, 42(11), 1044-1049.
- Clark, D., & Khademi, J. (2009). Modern endodontic access and dentin conservation, Part I. *Dentistry Today*, 28(10), 86, 88, 90 passim.
- Clark, D., & Khademi, J. (2010). Modern molar endodontic access and directed dentin conservation. *Dental Clinics of North America*, 54(2), 249-273.
- Conde, A. J., Estevez, R., Loroño, G., Valencia de Pablo, Ó., Rossi-Fedele, G., & Cisneros, R. (2017). Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *International Endodontic Journal*, 50(10), 976-982.
- De-Deus, G., Barino, B., Zamolyi, R. Q., Souza, E., Fonseca, A., Fidel, S., & Sergio Fidel, R. A. (2010). Suboptimal Debridement Quality Produced by the Single-file F2 Protaper Technique in Oval-shaped Canals. *Journal of Endodontics*, 36(11), 1897-1900.
- De-Deus, G., Belladonna, F. G., Zuolo, A. de S., Cavalcante, D. M., Simões Carvalho, M., Marinho, A., Souza, E. M., Lopes, R. T., & Silva, E. J. N. L. (2019). 3-dimensional Ability Assessment in Removing Root Filling Material from Pair-matched Oval-shaped Canals Using Thermal-treated Instruments. *Journal of Endodontics*, 45(9), 1135-1141.
- Dentsply Sirona. (2021). ProTaper Ultimate™ endodontic files. Dentsply Sirona. สืบค้นจาก <https://www.dentsplysirona.com/en-us/discover/discover-by-brand/protaper-ultimate-solution/protaper-ultimate-endodontic-files.html>
- Dentsply Sirona. (2022). TruNatomy® scientific manual. Dentsply Sirona. สืบค้นจาก <https://www.dentsplysirona.com/trunatomy>
- De Pablo, Ó. V., Estevez, R., Péix Sánchez, M., Heilborn, C., & Cohenca, N. (2010). Root anatomy and canal configuration of the permanent mandibular first molar: A systematic review. *Journal of Endodontics*, 36(12), 1919-1931.
- Falakolğlu, S., Silva, E. J. N. L., Yeniçeri Özata, M., & Gündoğar, M. (2023). Shaping ability of different NiTi rotary systems during the preparation of printed mandibular molars. *Australian Endodontic Journal*, 49(2), 256-261.

- Fernandes, A. S., & Dessai, G. S. (2001). Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review. *The International Journal of Prosthodontics*, 14(4), 355-363.
- Gündoğar, M., Uslu, G., Özyürek, T., & Plotino, G. (2020). Comparison of the cyclic fatigue resistance of VDW.ROTATE, TruNatomy, 2Shape, and HyFlex CM nickel-titanium rotary files at body temperature. *Restorative Dentistry and Endodontics*, 45(3), e37-0.
- Keleş, A., & Keskin, C. (2017). Apical Root Canal Morphology of Mesial Roots of Mandibular First Molar Teeth with Vertucci Type II Configuration by Means of Micro-Computed Tomography. *Journal of Endodontics*, 43(3), 481-485.
- Lopes, R. M. V., Marins, F. C., Belladonna, F. G., Souza, E. M., De-Deus, G., Lopes, R. T., & Silva, E. J. N. L. (2018). Untouched canal areas and debris accumulation after root canal preparation with rotary and adaptive systems. *Australian Endodontic Journal*, 44(3), 260-266.
- McGurkin-Smith, R., Trope, M., Caplan, D., & Sigurdsson, A. (2005). Reduction of intracanal bacteria using GT rotary instrumentation, 5.25% NaOCl, EDTA, and Ca(OH)₂. *Journal of Endodontics*, 31(5), 359-363.
- Nair, P. N. R., Henry, S., Cano, V., & Vera, J. (2005). Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 99(2), 231-252.
- Nassar, S., Shetty, H. K., Nair, P. M. S., Gowri, S., & Jayaprakash, K. (2022). Comparative Evaluation of Fracture Resistance of Endodontically Treated Bicuspids Instrumented With Hand Files, TruNatomy, ProTaper Next, ProTaper Gold, and WaveOne - An In vitro Study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 14(Suppl 1), S600-S604.
- Nur, S., Carmen, U., Linares, M. R., Baca, P., María, C., Luque, F., Cabeo, M., Teresa, M., & Moliz, A. (2023). Effectiveness of conservative instrumentation in root canal disinfection. *Clinical Oral Investigations*, 27(6), 3181-3188.
- Ossareh, A., Rosentritt, M., & Kishen, A. (2018). Biomechanical studies on the effect of iatrogenic dentin removal on vertical root fractures. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, 21(3), 290-296.
- Pawar, A. M., Pawar, M. G., Thakur, B., Banga, K. S., & Luke, A. M. (2018). Resistance to fracture of teeth instrumented using novel EndoStar E5 rotary versus ProTaper NEXT and WaveOne file systems. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, 21(1), 52-56.
- Peters, O. A., Laib, A., Göhring, T. N., & Barbakow, F. (2001). Changes in Root Canal Geometry after Preparation Assessed by High-Resolution Computed Tomography. *Journal of Endodontics*, 27(1), 1-6.
- Rodrigues dos Santos, N., Martins, J. N. R., Rito Pereira, M., & Ginjeira, A. (2026). Characterisation of the Mesial Root and Middle Mesial Canal Morphology in Mandibular First Molars: An Ex Vivo Micro-CT Study. *Australian Endodontic Journal*, 1-17.
- Schneider, S. W. (1971). A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology*, 32(2), 271-275.
- Silva, E. J. N. L., Lima, C. O. de, Barbosa, A. F. A., Lopes, R. T., Sassone, L. M., & Versiani, M. A. (2022). The Impact of TruNatomy and ProTaper Gold Instruments on the Preservation of the Periradicular Dentin and on the Enlargement of the Apical Canal of Mandibular Molars. *Journal of Endodontics*, 48(5), 650-658.

- Siqueira Junior, J. F., Rôças, I. das N., Marceliano-Alves, M. F., Pérez, A. R., & Ricucci, D. (2018). Unprepared root canal surface areas: Causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Brazilian Oral Research*, 32, 1-19.
- Versiani, M. A., Alves, F. R. F., Andrade-Junior, C. V., Marceliano-Alves, M. F., Provenzano, J. C., Rôças, I. N., Sousa-Neto, M. D., & Siqueira, J. F. (2016). Micro-CT evaluation of the efficacy of hard-tissue removal from the root canal and isthmus area by positive and negative pressure irrigation systems. *International Endodontic Journal*, 49(11), 1079-1087. <https://doi.org/10.1111/iej.12559>
- Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology*, 58(5), 589-599.
- Vyver, P. J. Van Der, & Vorster, M. (2021). Minimally invasive , conventional and large root canal system endodontics using a new Rotary File System - Part 1. *International Dentistry - African Edition*, 11(6), 32-46.
- Wang, Y., Zheng, Q. H., Zhou, X. D., Tang, L., Wang, Q., Zheng, G. N., & Huang, D. M. (2010). Evaluation of the root and canal morphology of mandibular first permanent molars in a western chinese population by cone-beam computed tomography. *Journal of Endodontics*, 36(11), 1786-1789.
- Yang, L., Han, J., Wang, Q., Wang, Z., Yu, X., & Du, Y. (2022). *Variations of root and canal morphology of mandibular second molars in Chinese individuals : a cone - beam computed tomography study*. 1-12.
- Zelic, K., Vukicevic, A., Jovicic, G., Aleksandrovic, S., Filipovic, N., & Djuric, M. (2015). Mechanical weakening of devitalized teeth: Three-dimensional finite element analysis and prediction of tooth fracture. *International Endodontic Journal*, 48(9), 850-863.
- Zevallos-Quiroz, C. A., Perez, I. E., & Garcia-Rupaya, C. R. (2019). Efficacy of controlled memory and shape memory nickel titanium instruments in removing filling material from severely curved root canals: An ex vivo study. *Iranian Endodontic Journal*, 14(2), 115-121.
- Zhang, Y., Liu, Y., She, Y., Liang, Y., Xu, F., & Fang, C. (2019). The Effect of Endodontic Access Cavities on Fracture Resistance of First Maxillary Molar Using the Extended Finite Element Method. *Journal of Endodontics*, 45(3), 316-321.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).