

## SHAPING ABILITY OF FOUR HEAT-TREATED NICKEL-TITANIUM ROTARY INSTRUMENTS IN SIMULATED S-SHAPED CANALS

Bordin WORAKAMON<sup>1</sup>, Uthaiwan ARAYATRAKOOLLIKIT<sup>1</sup>, Thalermsak SAMAKSAMARN<sup>1</sup> and Pipop SUTTHIPRAPAPORN<sup>1</sup>

1 Faculty of Dentistry, Khon Kaen University; bordin.wor@kkumail.com (B. W.)

### ARTICLE HISTORY

**Received:** 6 February 2026

**Revised:** 27 February 2026

**Published:** 13 March 2026

### ABSTRACT

The objective of this research was to study the shaping ability four types of heat-treated nickel-titanium rotary files in simulated S-shaped root canals. 48 S-shaped simulated root canals were randomly assigned into four groups (n = 12): ProTaper Gold (PTG), ProTaper Ultimate (PTU), Zenflex (ZF), and EdgeFile X7 (X7). Each system was prepared up to the size 25. Pre- and post canal shaping images using CBCT were superimposed at 0, 2, 4, 6, and 8 millimeters from the apex to measure the canal transportation. Data were analyzed using one-way ANOVA and Bonferroni multiple comparison tests. Results: In mesio-distal direction, PTG caused significantly greater transportation at 2 and 8 millimeters compared to the other three groups. At 2 millimeters, X7 transported significantly less than PTG and PTU. At 4 millimeters, PTG showed significantly greater transportation than ZF. In the bucco-lingual direction at 6 millimeters, PTG caused significantly greater transportation than PTU ( $p < 0.05$ ). Conclusion: PTG caused greater root canal transportation than PTU, ZF, and X7, while X7 transported less than PTG and PTU at 2 millimeters in mesio-distal direction.

**Keywords:** Canal Transportation, Nickel-titanium Rotary Files, Simulated S-shaped Canal

**CITATION INFORMATION:** Worakamon, B., Arayatrakoollikit, U., Samaksamarn, T., & Sutthiprapaporn, P. (2026). Shaping Ability of Four Heat-Treated Nickel-Titanium Rotary Instruments in Simulated S-Shaped Canals. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 33

# ความสามารถในการตกแต่งคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยความร้อน 4 ชนิด ในคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส

บดินทร์ วรกมล<sup>1</sup>, อุทัยวรรณ อารยะตระกูลลิขิต<sup>1</sup>, เถลิงศักดิ์ สมัครสมาน<sup>1</sup> และ ภิกพ สุทธิประภาภรณ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; bordin.wor@kkumail.com (บดินทร์)

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาความสามารถในการตกแต่งคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน 4 ชนิด ในคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส วัสดุอุปกรณ์และวิธีวิจัย: คลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส 48 ชิ้น ตกแต่งคลองรากด้วยไฟล์โพรเทปโกลด์ (PTG) โพรเทปเปอร์อัลติเมท (PTU) เซ็นเฟล็กซ์ (ZF) และเอจไฟล์เอ็กซ์ 7 (X7) ถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์อาศัยคอมพิวเตอร์สร้างสีรูปกรวยก่อนและหลังการตกแต่งคลองรากฟัน ที่ระดับ 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิเมตรจากปลายรากฟัน นำภาพมาซ้อนทับกัน วัดระยะเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน วิเคราะห์ผลด้วยสถิติ one-way ANOVA และทดสอบ Bonferroni multiple comparison ผลการวิจัย: ในแนวใกล้กลางไกลกลางไฟล์กลุ่ม PTG ทำให้เกิดเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันที่ระดับ 2 และ 8 มิลลิเมตร มากกว่าไฟล์อีกสามกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 2 มิลลิเมตร กลุ่ม X7 น้อยกว่ากลุ่ม PTG และ PTU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 4 มิลลิเมตร PTG มากกว่ากลุ่ม ZF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในแนวใกล้แกมใกล้ลึนที่ระดับ 6 มิลลิเมตร กลุ่ม PTG มากกว่ากลุ่ม PTU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กำหนดนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) บทสรุป: ไฟล์กลุ่ม PTG ทำให้เกิดเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันมากกว่ากลุ่ม PTU ZF และ X7 และไฟล์กลุ่ม X7 น้อยกว่ากลุ่ม PTG และ PTU ที่ระดับ 2 มิลลิเมตรจากปลายรากฟันในแนวใกล้กลางไกลกลาง

คำสำคัญ: การเบี่ยงเบนของคลองรากฟัน, ตะไบหมุนนิกเกิล-ไทเทเนียม, คลองรากฟันรูปตัว S จำลอง

ข้อมูลอ้างอิง: บดินทร์ วรกมล, อุทัยวรรณ อารยะตระกูลลิขิต, เถลิงศักดิ์ สมัครสมาน และ ภิกพ สุทธิประภาภรณ์. (2569). ความสามารถในการตกแต่งคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยความร้อน 4 ชนิด ในคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(3), 33

## บทนำ

จุดประสงค์ของการรักษาคลองรากฟันคือเพื่อป้องกันและรักษาภาวะปริทันต์ปลายรากอักเสบ (apical periodontitis) (Ørstavik, 2020) การล้างและตกแต่งคลองรากฟันเป็นขั้นตอนสำคัญในการรักษาคลองรากฟัน หลักการในการพิจารณาการตกแต่งคลองรากฟันให้ได้รูปร่างที่เหมาะสม ได้แก่ การระบุ, เปิดทางเข้าและตกแต่ง คลองรากฟันโดยไม่เกิดข้อผิดพลาด, การสามารถกำหนดและคงความยาวทำงานได้ตลอดขั้นตอนการตกแต่ง คลองรากฟัน และการขยายคลองรากฟันให้ได้ขนาดและรูปร่างที่เพียงพอต่อการกำจัดเชื้อโรคและเหมาะสมต่อการอุดคลองรากฟัน (Peters, 2004) โดยคลองรากฟันโค้งและมีความซับซ้อนตามการจำแนกของ Nagy et al. (1995) คลองรากฟันที่มีหลายความโค้งหรือรูปแบบเอส พบมากได้ถึง 30 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ ในคลองรากฟันด้านแกมใกล้กลางของฟันกรามบนและล่างซี่ที่ 1 และกว่า 60% ในฟันกรามล่างซี่ที่ 2 (Schafer et al., 2002) ซึ่งเป็นความท้าทายของทันตแพทย์ในการตกแต่งคลองรากฟัน เสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาด และเกิด การเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน (transportation) (Bürklein & Schäfer, 2013) ซึ่งส่งผลให้ลดประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรคและลดความสามารถในการปิดผนึกของวัสดุอุดคลองรากฟัน (Wu et al., 2000) จากหลายการศึกษาพบว่า การใช้ไฟล์ชนิดโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) พบอุบัติการณ์การเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันได้มาก (Merchant et al., 2018) ต่อมา มีการผลิตไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องกล (nickel-titanium rotary file) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีในการใช้งานทางคลินิก ใช้งานง่าย ลดการเกิดความผิดพลาดในการตกแต่งคลองรากฟัน ทำให้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมเป็นที่นิยมมากขึ้น และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดอุบัติการณ์การหัก ทำให้เกิด ความปลอดภัยในการใช้งาน (Agarwal et al., 2018) โดยการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (heat treatment) เพิ่มความยืดหยุ่น ลดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน คงความโค้งของรูปร่างคลองรากฟันได้ดีกว่าไฟล์โลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิม (conventional NiTi file) (Sharma et al., 2017; Srivastava, 2018)

โปรแทปเปอร์อัลทิเมท (ProTaper Ultimate, Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) เป็นไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบใหม่ล่าสุดในกลุ่มโปรแทปเปอร์ พัฒนามาจากโปรแทปเปอร์โกลด์ (ProTaper Gold) มีลักษณะหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมด้านขนานแบบออฟเซนเตอร์ (off-centered parallelogram) (Dentsply Sirona, 2023) ผลิตจากลวดโลหะขนาด 1 มม. ลดลงจาก 1.2 มม. ในโปรแทปเปอร์โกลด์ และปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน โดยผลิตจากโลหะ 3 ชนิด: เอ็มไวร์ (M-wire), โกลด์ไวร์ (Gold-wire) และ บลูไวร์ (Blue heat-treated) เซ็นเฟล็กซ์ (ZenFlex, Kerr Corporation, Pomona, CA, USA) เป็นไฟล์หน้าตัดรูปสามเหลี่ยม ผลิตจากลวดโลหะขนาด 1 มม. มีมุมและระยะห่างระหว่างเกลียวที่หลากหลาย (variable pitch) ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน และสามารถคงรูปร่างหลังจากตัดโค้ง ทำให้ใส่เข้าไปในคลองรากฟันได้โดยง่าย (Kerr, n.d.) เอดจ์ไฟล์เอ็กซ์ 7 (EdgeFile X7, EdgeEndo, Albuquerque, NM, USA) เป็นไฟล์หน้าตัดเป็นแบบพาราโบล่าและมุมเกลียวไม่คงที่ พัฒนาโลหะผ่านกระบวนการความร้อนชื่อว่า ไฟร์ไวร์ (FireWire) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดที่ 1 มม. ทำให้ไฟล์สามารถโค้งงอได้ถึง 90 องศา และไม่มีการคืนตัวกลับของไฟล์ขณะทำการตกแต่งคลองรากฟัน จึงทำให้สามารถคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟันได้ดี (Gambarini et al., 2019)

จึงเป็นที่มาของงานวิจัย ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการตกแต่งคลองรากฟันของไฟล์ระบบโปรแทปเปอร์โกลด์ ซึ่งมีการใช้งานและศึกษาอย่างแพร่หลาย กับระบบโปรแทปเปอร์อัลทิเมท, เอดจ์ไฟล์เอ็กซ์ 7 และ เซ็นเฟล็กซ์ ในคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส ที่มีสองแนวโค้งในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดข้อผิดพลาด ในการตกแต่งคลองรากฟัน โดยศึกษาการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน

## การทบทวนวรรณกรรม

ปัจจุบันไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมโรตารีเป็นที่นิยมใช้ในงานรักษาคลองรากฟัน โดยเฉพาะคลองรากฟันที่มีความซับซ้อนหรือมีความโค้งมาก ในช่วงแรกไฟล์ที่ใช้ในการตกแต่งคลองรากฟันผลิตมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งมีความแข็ง ทำให้พบปัญหาเมื่อใช้ตกแต่งคลองรากฟันที่มีคลองรากโค้ง เครื่องมือจะคืนรูปร่างเดิม ส่งผลให้เกิดการเบี่ยงเบนแนวโค้ง คลอง

รากฟันต่อมาได้มีการผลิต ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม โดยโลหะผสมนิกเกิลและไทเทเนียม มีชื่อว่า ไนทินอล (nitinol) ถูกผลิตขึ้นในปี 1963 นำมาผลิตเป็นลวดจัดฟัน ต่อมาในปี 1988 มีการผลิตไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม เพื่อใช้ในงานรักษาคลองรากฟัน (Walid, 2017) ประกอบด้วย นิกเกิล (nickel) ร้อยละ 56 โดยมวล และ ไทเทเนียม (titanium) ร้อยละ 44 โดยมวล (Kuhn & Jordan, 2002) มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นมากกว่าไฟล์ที่ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม 2-3 เท่า (Sharma et al., 2017) และต้านทานต่อการหักมากกว่าไฟล์ที่ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Haapasalo & Shen, 2013)

ในทางโลหวิทยาคุณสมบัติของโลหะผสมนิกเกิลไทเทเนียมมีลักษณะของผลึกโลหะหลักอยู่ 2 วัฏภาค (phase) ได้แก่ ออสเทนไนท์ (austenite) ซึ่งมีลักษณะแข็ง ผลึกเสถียรที่อุณหภูมิสูง มีความยืดหยุ่นยิ่งยวด สามารถคืนตัวหลังจากได้รับความเค้นต่ำ ทำให้โลหะไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร และมาร์เทนไซต์ (martensite) ซึ่งมีลักษณะยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม และตัดได้ ผลึกเสถียรที่อุณหภูมิต่ำ และอาร์เฟส (R-phase) วัฏภาคที่เป็นช่วงเปลี่ยนผ่านระหว่างออสเทนไนท์และมาร์เทนไซต์ (Srivastava, 2018; Tabassum, 2019) การพัฒนาคุณสมบัติไฟล์ด้วยวิธีการใช้ความร้อนปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะ (thermomechanical treatment) เป็นการวิธีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคของโลหะโดยใช้ความร้อน ทำให้โลหะเกิดความเสถียรที่วัฏภาคมาร์เทนไซต์ จึงมีคุณสมบัติยืดหยุ่นและต้านทานความล้าของโลหะจากการหมุน (cyclic fatigue) ได้มากขึ้น ใช้ตกแต่งคลองรากฟันโค้งได้ดีขึ้น ซึ่งปัจจุบันได้มีการใช้ความร้อนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะหลายวิธีการ ได้แก่ 1) เอ็มไวร์ ผลิตขึ้นในปี 2007 มีคุณสมบัติความยืดหยุ่น และต้านทานต่อการล้ามากกว่าโลหะผสมแบบดั้งเดิม ไฟล์ชนิดนี้ โพรเทปเปอร์เน็กซ์ (ProTaper Next) โพรเทปเปอร์อัลติเมท (Ruddle, 2022) 2) โกลด์ไวร์ โลหะนิกเกิลไทเทเนียมมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเป็นสีทอง ส่งผลเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นและความแข็งแรง ไฟล์ชนิดนี้ ได้แก่ เวฟวันโกลด์ (WaveOne Gold), โพรเทปเปอร์โกลด์ (Alcalde et al., 2020) 3) อาร์เฟส ผลิตขึ้นในปี 2008 เป็นโครงสร้างผลึกโอห์มฮีดรอล (rhombohedral) ซึ่งอยู่ระหว่างวัฏภาคออสเทนไนท์ และ วัฏภาคมาร์เทนไซต์ มีคุณสมบัติเพิ่มความต้านทานต่อความล้าของโลหะจากการหมุนและมีความยืดหยุ่นมากกว่าไฟล์ที่ผลิตจากโลหะนิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิม ไฟล์ชนิดนี้ ได้แก่ ทวิสดีไฟล์ (twisted file; TF), เคทรีเอ็กซ์เอฟ และเซ็นเฟล็กซ์ (Chan et al., 2023) 4) ไฟร์ไวร์ เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะโดยใช้วิธีการอบอ่อน ทำให้เพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มความต้านทานการล้าของไฟล์ รวมถึงลดการคืนตัวของโลหะ ส่งผลให้คงศูนย์กลางคลองรากฟันได้ดี และลดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันเมื่อเปรียบเทียบกับไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิม (Drukteinis et al., 2020) ไฟล์ที่ผลิตจากกระบวนการไฟร์ไวร์ ได้แก่ เอจเทปเปอร์แพลทินัม และเอจไฟล์เอ็กซ์ 7

การตกแต่งคลองรากฟันที่เหมาะสม คือ มีความผายอย่างต่อเนื่องตั้งแต่คลองรากฟันส่วนบนจนถึงส่วนปลายราก คลองรากฟันหลังขยายต้องคงรูปร่างเดิม รูเปิดปลายรากอยู่ตำแหน่งเดิมและต้องมีขนาดเล็กที่สามารถกำจัดเชื้อโรคและอุดคลองรากฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Peters, 2004) ไม่มีการผลึกเศษเนื้อฟันออกนอกปลายราก คลองรากฟันมีขนาดเพียงพอต่อการใส่ยาและการอุดคลองรากฟัน ความยากในการตกแต่งคลองรากฟัน เกิดได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ ภาวะวิภาคของคลองรากฟัน ซึ่งมีความซับซ้อน เช่น คลองรากโค้ง ความหลากหลายของจำนวนคลองรากฟัน คลองรากย่อย (accessory canal) ทางเชื่อมระหว่างคลองรากฟัน เป็นต้น ในคลองรากฟันโค้งจะทำการตกแต่งคลองรากฟันได้ยากกว่าคลองรากฟันตรง ทำให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาดและเกิดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันภายหลังการตกแต่งคลองรากฟัน

การประเมินรูปร่างคลองรากฟันภายหลังตกแต่งคลองรากฟัน โดยบันทึกเป็นค่าการเบี่ยงเบนของคลองรากฟัน ความผิดพลาดขณะตกแต่งคลองราก เช่น การเกิดชั้น รุทะลุ เป็นต้น หลายการศึกษาใช้การประเมินรูปร่างคลองรากฟันในคลองรากจำลองเรซินใส (simulated resin root canal) ซึ่งมีข้อดี คือ มีความยาว ความกว้าง ความโค้งคลองรากฟันขนาดคลองรากฟันเท่ากัน เป็นมาตรฐานทุกคลองรากจำลอง สามารถทดลองได้ในคลองรากที่มีความซับซ้อน เช่น คลองรากฟันที่มีความโค้งมาก หรือ 2 ความโค้ง การศึกษาการตกแต่งคลองรากฟัน สามารถวัดจากความเบี่ยงเบนจากการตกแต่งคลองรากฟันแบ่งโดยเป็นตำแหน่งต่างๆจากปลายรากฟัน โดยนำภาพภาพดิจิทัลหรือถ่ายภาพรังสีมาซ้อนทับกันเพื่อเปรียบเทียบภาพคลองรากฟันก่อนและหลังการตกแต่งคลองรากฟัน (Hulsman et al., 2005)

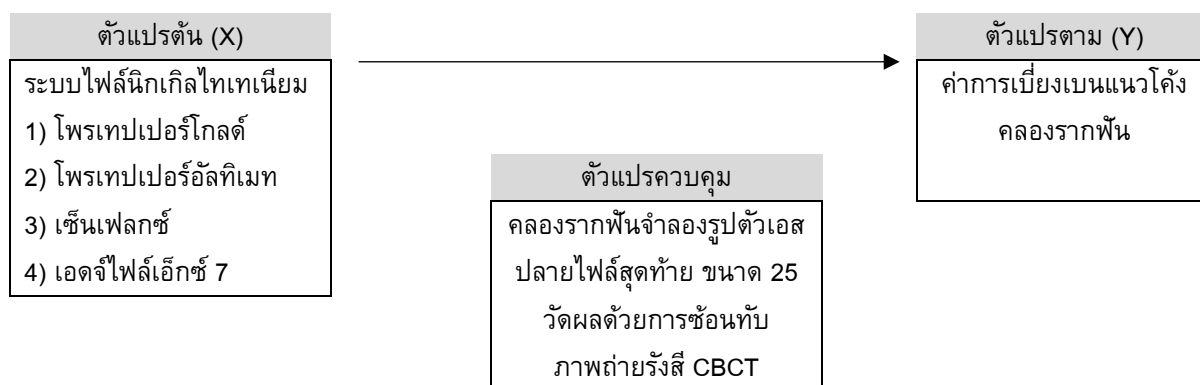
นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้ภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ลำรังสีรูปกรวย (cone beam computed tomography, CBCT) หรือ เครื่องไมโครซีที (microcomputed tomography) ซึ่งสามารถประเมินคลองรากฟันได้โดยละเอียด สามารถจำลองภาพ 3 มิติ และวัดการเบี่ยงเบนของคลองรากฟัน ข้อมูลมีความแม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือ เป็นมาตรฐานในการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Mamede-Neto et al., 2017)

### สมมติฐานการวิจัย

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบโพรเทปเปอร์โกลด์, โพรเทปเปอร์อัลทิเมท, เซ็นเฟลกซ์, และเอตจีไฟล์เอ็กซ์ 7 ในคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส ไม่มีความแตกต่างกัน

$H_A$ : ค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบโพรเทปเปอร์โกลด์, โพรเทปเปอร์อัลทิเมท, เซ็นเฟลกซ์, และเอตจีไฟล์เอ็กซ์ 7 ในคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส มีความแตกต่างกัน

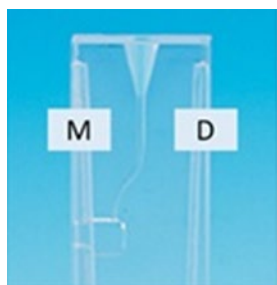
### กรอบแนวคิดการวิจัย



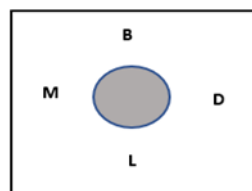
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Experimental Research) เพื่อศึกษาความสามารถในการตกแต่งคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมระบบโพรเทปเปอร์โกลด์, โพรเทปเปอร์อัลทิเมท, เซ็นเฟลกซ์, และเอตจีไฟล์เอ็กซ์ 7 ในคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ คลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส ทั้งหมด 48 ชิ้น แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ชิ้น ด้วยวิธีจับฉลากแบบสุ่ม คลองรากฟันจำลองมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิดปลายรากฟัน 0.25 มิลลิเมตร ความยาวคลองราก 16.5 มิลลิเมตร ความผาย 0.02 มีความโค้งคลองรากฟันในส่วนต้น 42 องศาและรัศมีความโค้ง 1.5 มิลลิเมตร และส่วนปลายราก 42 องศาและรัศมีความโค้ง 1 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2 แสดงภาพคลองรากฟันจำลองด้านข้าง



ภาพที่ 3 แสดงภาพคลองรากฟันจำลองด้านบน

จากภาพที่ 2 และ ภาพที่ 3 กำหนดให้

ด้าน M คือ ด้านใกล้กลาง, ด้าน D คือ ด้านไกลกลาง, ด้าน L คือ ด้านใกล้ลิ้น, ด้าน B คือ ด้านใกล้แก้ม

### การถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ลำรังสีรูปกรวยก่อนขยายคลองรากฟัน

ถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์ส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ลำรังสีรูปกรวย แพลนเมกา ตรวจสอบความขนาน และตำแหน่งคลองรากฟันจำลองก่อนถ่ายภาพรังสีทุกครั้ง ตั้งค่าพารามิเตอร์ พื้นที่ในมองภาพ (field of view) 50 x 50 ตารางมิลลิเมตร จุดภาพสามมิติขนาด (voxel size) 0.075 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ระยะเวลาในการฉายรังสี (exposure time) 6 วินาที ภาพถ่ายรังสีถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแพลนเมกา โรมิซิส วิวเวอร์ (Planmeca Romexis Viewer)

### การตกแต่งคลองรากฟัน

การตกแต่งคลองรากฟันทำโดยผู้วิจัยเพียง 1 คน โดยใช้ไฟล์แต่ละระบบขยายคลองรากฟันตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ผูกปฏิบัติขยายคลองรากฟันจำลองรูปตัวเอส ก่อนทำการทดลองกลุ่มละ 5 ชั้น การตกแต่งคลองรากฟันทำในแท่นยึดคลองรากฟันใส่วัสดุพิมพ์ชนิดพัตตี้ ไม่สามารถมองเห็นคลองรากฟันขณะขยายจำลองลักษณะทางคลินิก แชนแท่นยึดคลองรากฟันจำลองในน้ำกลั่น บรรจุในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ตั้งค่าที่  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ก่อนทดลองทุกครั้ง ขณะทดลองสร้างแนวหน้าทางโดยใช้เคไฟล์เบอร์ 10 ขยายคลองรากฟัน การขยายคลองรากฟันทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต โดยใช้ร่วมกับสารหล่อลื่นไกลด์ไฟล์แปรปและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ปริมาตร 2 มิลลิตร หากไม่ถึงความยาวทำงาน นำเครื่องมือออกมาเช็ดให้สะอาด ล้างคลองรากฟันด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ปริมาตร 1 มิลลิตร ด้วยกระบอกฉีดยาพลาสติก และเขี่ยขนาด 30 ร่วมกับใช้ เคไฟล์เบอร์ 8 และ 10 ใส่ลงไปเพื่อยืนยันความยาวของการทำงาน ทำซ้ำจนไฟล์ถึงความยาวของการทำงาน 16.5 มิลลิเมตร (irrigation, recapitulation and re-irrigation) ใช้เครื่องมือ 1 ชั้นต่อ 1 คลองรากฟัน

กลุ่มโพเทปเปอร์โกลด์ ขยายคลองรากฟันทำโดยใช้เครื่องมือรอบด้วยไฟฟ้า VDW Silver Reciproc ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตโดย ตั้งค่ารอบ 300 รอบต่อนาที และแรงบิดสำหรับ S1 ที่ 5.0 นิวตันเซนติเมตร (Ncm) , S2 และ F1 ที่ 1.5 นิวตันเซนติเมตร และ F2 ที่ 3.0 นิวตันเซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือความยาว 21 มิลลิเมตร เครื่องมือ S1 และ S2 ใส่เข้าคลองรากโดยใช้ใช้แรงกดไปทางปลายรากฟันเล็กน้อยและบิดขึ้นเบาๆ (brushing), เครื่องมือ F1 และ F2 ค่อยๆใส่เครื่องมืออย่างคงที่และนำเครื่องมือออกเมื่อถึงความยาวทำงาน ขั้นตอนในการขยายคลองรากฟัน ดังนี้

- 1) เคไฟล์เบอร์ 15 ขยายถึงความยาวทำงาน 16.5 มิลลิเมตร เพื่อสร้างแนวหน้าทาง
- 2) เครื่องมือ S1 ขนาด 18 ความผาย 0.02v ขยายถึงความยาวทำงาน 16.5 มิลลิเมตร
- 3) เครื่องมือ S2 ขนาด 20 ความผาย 0.04v ขยายถึงความยาวทำงาน 16.5 มิลลิเมตร
- 4) เครื่องมือ F1 ขนาด 20 ความผาย 0.07v ขยายถึงความยาวการทำงาน 16.5 มิลลิเมตร
- 5) เครื่องมือ F2 ขนาด 25 ความผาย 0.08v ขยายถึงความยาวการทำงาน 16.5 มิลลิเมตร

กลุ่มโพเทปเปอร์อัลทิเมท ขยายคลองรากฟันทำโดยใช้เครื่องมือรอบด้วยไฟฟ้า VDW Silver Reciproc ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตโดย ตั้งค่ารอบ 400 รอบต่อนาที แรงบิด 5.2 นิวตันเซนติเมตร โดยใช้เครื่องมือความยาว 21 มิลลิเมตร โดยใช้ใส่เข้าคลองรากโดยใช้แรงกดเล็กน้อยแล้วถอยขึ้น (light pecking motion) ขั้นตอนในการขยายคลองรากฟัน ดังนี้

- 1) เครื่องมือสไลด์เตอร์ขนาด 16 ความผาย 0.02v ขยายถึงความยาวทำงาน 16.5 มิลลิเมตร
- 2) เครื่องมือเซปเปอร์ขนาด 20 ความผาย 0.04v ขยายถึงความยาวทำงาน 16.5 มิลลิเมตร
- 3) เครื่องมือ F1 ขนาด 20 ความผาย 0.07v ขยายถึงความยาวการทำงาน 16.5 มิลลิเมตร
- 4) เครื่องมือ F2 ขนาด 25 ความผาย 0.08v ขยายถึงความยาวการทำงาน 16.5 มิลลิเมตร

กลุ่มเซ็นเฟลกซ์ ขยายคลองรากฟันทำโดยใช้เครื่องมือรอบด้วยไฟฟ้า VDW Silver Reciproc ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตโดย ตั้งค่ารอบ 500 รอบต่อนาที ขนาด 13/06 ตั้งค่าแรงบิดที่ 1.5 นิวตันเซนติเมตรขนาด 20/04 ตั้งค่าแรงบิดที่ 1.0 นิวตันเซนติเมตร และ ขนาด 20/06 และ 25/06 ตั้งค่าแรงบิดที่ 2.0 นิวตันเซนติเมตรใช้เครื่องมือความยาว 21 มิลลิเมตรโดยค่อยๆใส่เครื่องมืออย่างคงที่และนำเครื่องมือออกเมื่อถึงความยาวทำงาน ขั้นตอนในการขยายคลองรากฟันโดยดัดแปลงจากข้อเสนอแนะของ Sleiman (113) ดังนี้

- 1) เครื่องมือขนาด 13 ความผาย 0.06 ขยายถึงความยาว 16.5 มิลลิเมตร
- 2) เครื่องมือขนาด 20 ความผาย 0.04 ขยายถึงความยาว 16.5 มิลลิเมตร
- 3) เครื่องมือขนาด 20 ความผาย 0.06 ขยายถึงความยาว 16.5 มิลลิเมตร
- 4) เครื่องมือขนาด 25 ความผาย 0.06 ขยายถึงความยาว 16.5 มิลลิเมตร

กลุ่มเอตจไฟล์เอ็กซ์ 7 ขยายคลองรากฟันทำโดยใช้เครื่องมือรอบด้วยไฟฟ้า VDW Silver Reciproc ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต โดยตั้งค่ารอบ 500 รอบต่อนาที แรงบิด 4.0 นิวตันเซนติเมตร ใช้เครื่องมือความยาว 21 มิลลิเมตร โดยใช้แรงกดไปทางปลายรากฟันเล็กน้อยและบัดขึ้นเบาๆ (brushing) ขั้นตอนในการขยายคลองรากฟันโดยดัดแปลงจากข้อแนะนำของ Gambarini (114) ดังนี้

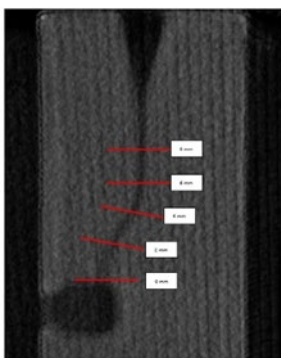
- 1) เคไฟล์เบอร์ 15 ขยายถึงความยาวทำงาน 16.5 มิลลิเมตร เพื่อสร้างแนวนำทาง
- 2) เครื่องมือขนาด 17 ความผาย 0.04 ขยายถึงความยาว 16.5 มิลลิเมตร
- 3) เครื่องมือขนาด 20 ความผาย 0.04 ขยายถึงความยาว 16.5 มิลลิเมตร
- 4) เครื่องมือขนาด 25 ความผาย 0.04 ขยายถึงความยาว 16.5 มิลลิเมตร
- 5) เครื่องมือขนาด 25 ความผาย 0.06 ขยายถึงความยาว 16.5 มิลลิเมตร

#### การถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ลำรังสีรูปกรวยภายหลังขยายคลองรากฟัน

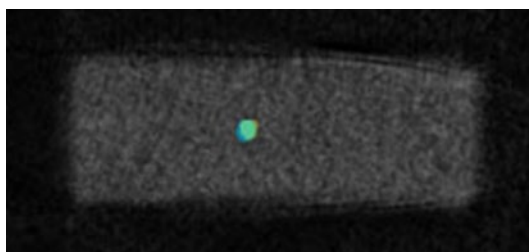
หลังขยายคลองรากฟันเสร็จ ถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์ส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ลำรังสีรูปกรวย ถ่ายภาพรังสีในตำแหน่งเดิมและตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องถ่ายภาพรังสี ค่าเกี่ยวกับการถ่ายภาพก่อนการขยายคลองรากฟัน ภาพถ่ายรังสีถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม แพลนเมก้า โรมีซิส วิวเวอร์

#### การวัดผลค่าความเบี่ยงเบนแนวโค้งของแนวคลองรากฟัน

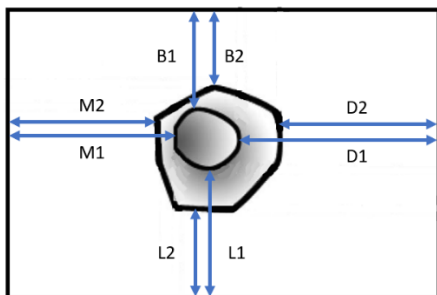
วัดระยะการเบี่ยงเบนแนวโค้งของคลองรากฟัน โดยใช้วิธีของ Gambill (Gambill et al., 1996) นำภาพภาพตัดขวาง (Cross section) ของคลองรากฟันจำลอง ที่ตำแหน่ง 0 มิลลิเมตรคือรูเปิดปลายรากฟัน และระยะ 2 4 6 และ 8 มิลลิเมตรจากปลายรากฟัน ก่อนและหลังขยายคลองรากฟันมาซ้อนทับกันโดยใช้โปรแกรมอะโดบีโฟโตชอปสองพันยี่สิบสี่ (Adobe Photoshop 2024) ใช้ขอบของภาพตัดขวางทั้ง 4 ด้านเป็นจุดอ้างอิง ปรับภาพให้ซ้อนทับกันพอดี วัดระยะค่าเบี่ยงเบนของแนวโค้งคลองรากฟันมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ใช้โปรแกรม อะโดบี อิลลัสเตรเตอร์ สองพันยี่สิบสี่ (Adobe Illustrator 2024) เลือกเครื่องมือวัด (measure tool) ระยะวัดมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร การวัดทุกค่าจะวัดตำแหน่งละ 3 ครั้ง โดยวัดซ้ำหลังจากเว้นระยะเวลา 2 สัปดาห์ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 4 แกนตัดขวางและที่ตำแหน่งวัด



ภาพที่ 5 การซ้อนทับภาพตัดขวางก่อนและหลังการขยายคลองรากฟัน



ภาพที่ 6 การวัดระยะก่อนและหลังการขยายคลองรากฟัน

การวัดระยะการเบี่ยงเบนแนวโค้งของคลองรากฟัน ในแนวใกล้กลางไกลกลาง คำนวณจาก  $X = |(M1-M2) - (D1-D2)|$

M1 คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างขอบเรซินด้านใกล้กลางถึงขอบคลองรากฟันด้านใกล้กลางก่อนการขยายคลองราก

M2 คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างขอบเรซินด้านใกล้กลางถึงขอบคลองรากฟันด้านใกล้กลางภายหลังการขยายคลองราก

D1 คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างขอบเรซินด้านไกลกลางถึงขอบคลองรากฟันด้านไกลกลางก่อนการขยายคลองราก

D2 คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างขอบเรซินด้านไกลกลางถึงขอบคลองรากฟันด้านไกลกลางภายหลังการขยายคลองราก

การวัดระยะการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น คำนวณจาก  $Y = |(B1-B2) - (L1-L2)|$

B1 คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างขอบผนังเรซินด้านแก้มถึงขอบคลองรากฟันจำลองด้านแก้มก่อนการขยายคลองรากฟัน

B2 คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างขอบผนังเรซินด้านแก้มถึงขอบคลองรากฟันจำลองด้านแก้มหลังการขยายคลองรากฟัน

L1 คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างขอบผนังเรซินด้านลิ้นถึงขอบคลองรากฟันจำลองด้านลิ้นก่อนการขยายคลองรากฟัน

L2 คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างขอบผนังเรซินด้านลิ้นถึงขอบคลองรากฟันจำลองด้านลิ้นภายหลังการขยายคลองรากฟัน

#### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for window version 21 ทำการวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาน ทดสอบการแจกแจงข้อมูลโดยใช้การทดสอบ Shapiro-Wilk ใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ทดสอบสมมติฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni) และ เกม ไฮเวลล์ (Games-Howell) โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ทำการวัดความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมิน (Intra-rater Reliability) โดยวัดระยะการเบี่ยงเบนแนวโค้งของคลองรากฟัน จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 48 ชิ้น โดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว แบ่งการวัด เป็น 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 14 วัน สถิติที่ใช้วัดการสอดคล้องคือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient: ICC)

#### ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระยะการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน ในแนวใกล้กลางไกลกลาง ที่ระดับ 2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่โค้งมากที่สุดของส่วนโค้งปลายรากฟัน ไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่ามากกว่าไฟล์อีกสามกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันของไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ไฟล์โพรเทปเปอร์อัลทิเมท ไฟล์เซินเฟลทซ์และไฟล์เอตจีไฟล์เอ็กซ์ 7 มีค่าน้อยที่สุด ตามลำดับ ที่ระดับ 4 มิลลิเมตร ไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันมากกว่าไฟล์เซินเฟลทซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 8 มิลลิเมตร ไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันมากที่สุด แตกต่างจากไฟล์อีกสามระบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันในแนวใกล้กลางไกลกลาง

ระดับจาก ปลายรากฟัน	โพรเทปเปอร์ โกลด์	โพรเทปเปอร์ อัลทิเมท	เซ็นเฟลกซ์	เอตจีไฟล์ เอ็กซ์ 7	P-value
0 mm	0.12±0.07	0.11±0.06	0.12±0.08	0.12±0.07	0.871
2 mm	0.32±0.16 <sup>a</sup>	0.21±0.09 <sup>b</sup>	0.19±0.10 <sup>b, c</sup>	0.14±0.06 <sup>c</sup>	<0.001
4 mm	0.14±0.09 <sup>a</sup>	0.10±0.06 <sup>a, b</sup>	0.09±0.06 <sup>b</sup>	0.12±0.07 <sup>a, b</sup>	0.029
6 mm	0.11±0.05	0.11±0.06	0.16±0.09	0.11±0.07	0.071
8 mm	0.15±0.07 <sup>a</sup>	0.10±0.05 <sup>b</sup>	0.11±0.04 <sup>b</sup>	0.11±0.04 <sup>b</sup>	0.011

a, b ตัวอักษรแตกต่างกันในระดับเดียวกัน แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และตัวอักษรเหมือนกันในระดับเดียวกัน แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ค่าเฉลี่ยระยะการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน ในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น ซึ่งคลองรากฟันมีลักษณะตรงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นที่ระดับ 6 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นส่วนบริเวณคอฟัน ไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันมากกว่าไฟล์โพรเทปเปอร์อัลทิเมท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น

ระดับจาก ปลายรากฟัน	โพรเทปเปอร์ โกลด์	โพรเทปเปอร์ อัลทิเมท	เซ็นเฟลกซ์	เอตจีไฟล์ เอ็กซ์ 7	P-value
0 mm	0.14±0.03	0.12±0.08	0.12±0.06	0.13±0.08	0.168
2 mm	0.14±0.09	0.12±0.07	0.09±0.06	0.12±0.07	0.072
4 mm	0.08±0.04	0.10±0.04	0.10±0.05	0.11±0.07	0.090
6 mm	0.13±0.08 <sup>a</sup>	0.08±0.05 <sup>b</sup>	0.10±0.05 <sup>a, b</sup>	0.11±0.05 <sup>a, b</sup>	0.023
8 mm	0.10±0.06	0.12±0.07	0.13±0.08	0.13±0.08	0.270

a, b ตัวอักษรแตกต่างกันในระดับเดียวกัน แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และตัวอักษรเหมือนกันในระดับเดียวกัน แสดงความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ผลการเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมินในการวัดระยะการเบี่ยงเบนแนวโค้งของคลองรากฟัน ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในเท่ากับ 0.799 มีความสอดคล้องกันระดับดี (Shrout, 1998)

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

แม้ว่าปัจจุบันได้มีการพัฒนาไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมอย่างต่อเนื่อง ยังคงพบอุบัติการณ์ไฟล์หักในคลองรากฟัน อ้างอิงจากการศึกษาทบทวนอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์อภิมาน ไฟล์นิกเกิลไททาเนียมแบบหมุนด้วยเครื่องกลมีอุบัติการณ์ไฟล์หัก โดยรวมอยู่ที่ 2.27 เปอร์เซ็นต์ โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 23 เปอร์เซ็นต์ (Cheung et al., 2005) และยังคงเป็นเรื่องยากในการตกแต่งคลองรากฟันที่มีความโค้งมาก โดยเฉพาะคลองรากรูปตัวเอสอาจเกิดข้อผิดพลาดในคลองรากฟัน เช่น ความเสียหายต่อรูเปิดปลายราก การเกิดชั้นหรือรูทะลุคลองรากฟัน และมักสัมพันธ์กับการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน (Bürklein & Schäfer, 2013) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการขยายคลองรากฟันของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยความร้อน 4 ชนิด ได้แก่ โพรเทปเปอร์โกลด์, โพรเทปเปอร์อัลทิเมท, เซ็นเฟลกซ์, และเอตจีไฟล์เอ็กซ์ 7 ในคลองรากฟันที่มีความโค้งมากหรือคลองรากฟันที่ซับซ้อนมากกว่าอย่างเช่นคลองรากรูปตัวเอส ควรใช้ไฟล์ที่เป็นมาร์เทนซิติก (martensitic) ขนาดเล็ก ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง โดย

การขยายคลองรากฟันส่วนปลายรากถึงความยาวทำงานด้วยควอร์ฟลิ้นิกเกิลไทเทเนียมขนาดไม่เกิน 30 (Elkholly & Ha, 2021) การศึกษานี้ใช้คลองรากฟันจำลองเรซิน เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างมีความยาวราก ระดับและตำแหน่งความโค้งคลองรากฟันเท่ากันทุกชิ้น เป็นมาตรฐานเดียวกัน แต่เนื่องจากความแข็งผิวของเรซิน มีความแข็งผิวที่ 20-22 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร น้อยกว่าเนื้อฟันมนุษย์ซึ่งมีแข็งผิวที่ 35-40 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร โดยจากการศึกษาที่ผ่านมากล่องรากฟันจำลองทำให้เกิดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันมากกว่า (Hulsmann et al., 2005) การให้ความร้อนส่งผลให้เครื่องมือนิเกิลไทเทเนียมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปสู่วัฏภาคออสเทนไนต์ ซึ่งทำให้โลหะมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องมือที่อยู่ในวัฏภาคมาร์เทนไซต์เป็นส่วนใหญ่ ที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น ส่งผลให้ลดความต้านทานความล้าจากการหมุนของไฟล์เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิห้อง ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดอุณหภูมิแวดล้อมในขณะที่ขยายคลองรากฟันจำลองเรซินใส ที่ 37 องศาเซลเซียส เพื่อจำลองสภาวะทางคลินิก เพื่อให้ผลที่สอดคล้องกันมากกว่า (de Vasconcelos et al., 2016)

ในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้นซึ่งคลองรากฟันมีลักษณะตรง ค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันของไฟล์ทั้งสี่กลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นที่ระดับ 6 มิลลิเมตร ไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันมากกว่าไฟล์โพรเทปเปอร์อัลทิเมท ในแนวใกล้กลางไกลกลาง 8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งส่วนคอฟฟันของคลองรากฟันที่ยังคงลักษณะตรง ค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันของไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่ามากกว่าไฟล์อีกสามกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากไฟล์โพรเทปเปอร์อัลทิเมท ไฟล์เซ็นเฟลกซ์ และเอดจ์ไฟล์เอ็กซ์ 7 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางร่องไฟล์สูงสุด (maximum flute diameter) เล็กลงเป็น 1.0 มิลลิเมตร จาก 1.2 มิลลิเมตรในไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์ ทำให้สามารถรักษาเนื้อฟันในส่วนคอฟฟันและยังช่วยให้ไฟล์มีความยืดหยุ่นมากขึ้นที่ระดับ 4 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งปลายของส่วนโค้งคอฟฟันค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันของไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่ามากกว่าไฟล์เซ็นเฟลกซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากไฟล์เซ็นเฟลกซ์มีความผาย 0.06 เล็กกว่าไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์ซึ่งมีความผาย 0.08 ที่ตำแหน่ง 1 ถึง 3 มิลลิเมตร จากปลายไฟล์ซึ่งทำให้ส่วนปลายไฟล์มีความแข็งและมีส่วนทำให้เกิดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันมากขึ้น สอดคล้องกับศึกษาวิเคราะห์เชิงปริมาณว่าด้วยความผายของไฟล์เป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน (Gundappa et al., 2014)

ในแนวใกล้กลางไกลกลางที่ระดับ 2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งกลางโค้งของส่วนโค้งปลายรากฟัน การขยายคลองรากฟันส่วนปลายจะทำได้ยาก และเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาด จากการศึกษานี้เป็นตำแหน่งที่พบค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันมากที่สุด โดยไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์มีค่ามากกว่าไฟล์อีกสามกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์และโพรเทปเปอร์อัลทิเมทมีค่ามากกว่าไฟล์เอดจ์ไฟล์เอ็กซ์ 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยโพรเทปเปอร์โกลด์มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ไฟล์โพรเทปเปอร์อัลทิเมท ไฟล์เซ็นเฟลกซ์ และไฟล์เอดจ์ไฟล์เอ็กซ์ 7 มีค่าน้อยที่สุด ตามลำดับ แม้ว่าไฟล์โพรเทปเปอร์อัลทิเมทจะมีความผาย 0.08 การมีหน้าตัดไฟล์เป็นสี่เหลี่ยมด้านขนานแบบออฟเซตเตอร์ ทำให้มีจุดสัมผัสผนังคลองรากฟันเพียง 1 จุดสลับกับ 2 ทำให้มีช่องนำเศษเนื้อฟันออกจากคลองรากฟันเพิ่มประสิทธิภาพการตัด ช่วยลดการดึงเครื่องมือ(screw-effect) และการติดแน่น (taper-lock) ในคลองราก (Ruddle, 2016) ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันน้อยกว่าไฟล์โพรเทปเปอร์โกลด์ สำหรับไฟล์เซ็นเฟลกซ์เนื่องจากความผายน้อยและเสริมคุณสมบัติของโลหะ ในอุณหภูมิห้องอยู่ในวัฏภาคอาร์เฟสเป็นหลัก แต่อุณหภูมิทางคลินิกอยู่ในวัฏภาคออสเทนไนต์ (Zanza et al., 2022) ในขณะที่ไฟล์เอดจ์ไฟล์เอ็กซ์ 7 ซึ่งเป็นเครื่องมือโลหะไฟร์ไวร์ มีผลึกมาร์เทนไซต์ไม่เสถียรหรืออาร์เฟสปริมาณมาก ซึ่งมีความต้านทานความล้าจากการหมุนเพิ่มมากขึ้นและสามารถตัดรูปร่างได้เมื่อให้แรง ทำให้จำเป็นต้องใช้พลังงานสะสมมากขึ้นกว่าจนจะแตกหัก (Martins et al., 2021) ทำให้ไฟล์เอดจ์ไฟล์เอ็กซ์ 7 มีการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันน้อยที่สุด

### ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าในคลองรากฟันรูปตัวเอสที่มี 2 ความโค้ง ไฟล์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางร่องไฟล์สูงสุด 1.0 มิลลิเมตร เช่น โพรเทปเปอร์อัลทิเมท ไฟล์เซินเฟลทซ์ และเอจไฟล์เอ็กซ์ 7 เกิดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันน้อยกว่าไฟล์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางร่องไฟล์สูงสุด 1.2 มิลลิเมตร เช่น โพรเทปเปอร์ดโกลด์ และ ไฟล์ความผายน้อย ร่วมกับการปรับปรุงโลหะให้มีสมบัติเป็นผลึกมาร์เทนไซต์ไม่เสถียรหรืออาร์เฟสปริมาณมากมีส่งผลให้เกิดการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟัน อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ ทดลองในคลองรากฟันจำลองเนื่องจากเป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีมาตรฐาน มีการผลิตจากแหล่งเดียวกัน ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงกลและทางความร้อนแตกต่างจากคลองรากฟันมนุษย์ และใช้ไฟล์ 1 ชิ้น ต่อ 1 คลองรากฟัน เพื่อลดปัจจัยการล้าของเครื่องมือจากการใช้งานซ้ำ ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จึงควรนำไปพิจารณาใช้ทางคลินิกอย่างรอบคอบ

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ควรศึกษาคลองรากฟันจำลองจากวัสดุอื่นๆ เช่น คลองรากฟันจำลองจากกระดูกวัว ซึ่งคุณสมบัติใกล้เคียงคลองรากฟันมนุษย์มากขึ้น
- 2) การวัดระยะการเบี่ยงเบนแนวโค้งคลองรากฟันด้วยการใช้เครื่องถ่ายภาพรังสีส่วนตัดคอมพิวเตอร์ชนิดไมโคร (Micro computed tomography) มีความละเอียดมากกว่าเครื่องเอกซเรย์ส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ลำรังสีรูปกรวย (CBCT)
- 3) ควรศึกษาเปรียบเทียบวิธีตกแต่งคลองรากฟันร่วมกับวิธีกระตุ้นน้ำยาล้างคลองรากฟัน ซึ่งมีประสิทธิภาพนำน้ำยาล้างคลองรากฟันไปถึงตลอดความยาวคลองรากฟันได้ดีขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- Agarwal, S., Nagpal, R., & Singh, U. P. (2018). NiTi Endodontics: Contemporary Views Reviewed. *Austin J Dent*, 5(4).
- Alcalde, M., Duarte, M. A. H., Amoroso Silva, P. A., Souza Calefi, P. H., Silva, E., Duque, J., & Vivan, R. (2020). Mechanical Properties of ProTaper Gold, EdgeTaper Platinum, Flex Gold and Pro-T Rotary Systems. *European Endodontic Journal*, 5(3), 205-211.
- Bürklein, S., & Schäfer, E. (2013). Critical evaluation of root canal transportation by instrumentation. *Endodontic Topics*, 29(1), 110-124.
- Chan, W.-S., Gulati, K., & Peters, O. A. (2023). Advancing Nitinol: From heat treatment to surface functionalization for nickel-titanium (NiTi) instruments in endodontics. *Bioactive Materials*, 22, 91-111.
- Cheung, G. S. P., Peng, B., Bian, Z., Shen, Y., & Darvell, B. W. (2005). Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. *International Endodontic Journal*, 38(11), 802-809.
- Ruddle, C. J. (2022, May 10). *The Ultimate Shaping System: An Opening for 3D Cleaning and Filling Root Canals*. Oral Health.
- Ørstavik, D. (2020). Apical Periodontitis: Microbial Infection and Host Responses. In Dag Ørstavik (Ed.), *Essential Endodontology: Prevention and Treatment of Apical Periodontitis* (Third Edition, pp. 1-10). Wiley-Blackwell.
- de Vasconcelos, R. A., Murphy, S., Carvalho, C. A. T., Govindjee, R. G., Govindjee, S., & Peters, O. A. (2016). Evidence for Reduced Fatigue Resistance of Contemporary Rotary Instruments Exposed to Body Temperature. *Journal of Endodontics*, 42(5), 782-787.
- Dentsply Sirona. (2023). *ProTaper Ultimate Endodontic Files*. Retrieved from <https://www.dentsplysirona.com/en-gb/categories/endodontics/protaper-ultimate-files.html>.

- Drukteinis, S., Peciuliene, V., Bendinskaite, R., Brukiene, V., Maneliene, R., & Rutkunas, V. (2020). Shaping and Centering Ability, Cyclic Fatigue Resistance and Fractographic Analysis of Three Thermally Treated NiTi Endodontic Instrument Systems. *Materials*, 13(24), 5823.
- Elkholy, M. M. A., & Ha, W. N. (2021). An Arithmetic Crown-down Dynamic Tactile Instrumentation Technique: A Case Report of an S-shaped Root Canal. *Journal of Endodontics*, 47(5), 836-843.
- Gambarini, G., Galli, M., Seracchiani, M., Di Nardo, D., Versiani, M. A., Piasecki, L., & Testarelli, L. (2019). In Vivo Evaluation of Operative Torque Generated by Two Nickel-Titanium Rotary Instruments during Root Canal Preparation. *European Journal of Dentistry*, 13(04), 556-562.
- Gambill, J. M., Alder, M., & del Rio, C. E. (1996). Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *Journal of Endodontics*, 22(7), 369-375.
- Gundappa, M., Khorriya, S., Mohan, R., & Bansal, R. (2014). Root canal centering ability of rotary cutting nickel titanium instruments: A meta-analysis. *Journal of Conservative Dentistry*, 17(6), 504.
- Haapasalo, M., & Shen, Y. (2013). Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. *Endodontic Topics*, 29(1), 3-17.
- Hulsmann, M., Peters, O. A., & Dummer, P. M. H. (2005). Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics*, 10(1), 30-76.
- Kerr. (n.d.). *Brochure of ZenFlex*. Retrieved from <https://go.kerrdental.com/ZenFlex>.
- Kuhn, G., & Jordan, L. (2002). Fatigue and Mechanical Properties of Nickel-Titanium Endodontic Instruments. *Journal of Endodontics*, 28(10), 716-720.
- Mamede-Neto, I., Borges, A. H., Guedes, O. A., de Oliveira, D., Pedro, F. L. M., & Estrela, C. (2017). Root Canal Transportation and Centering Ability of Nickel-Titanium Rotary Instruments in Mandibular Premolars Assessed Using Cone-Beam Computed Tomography. *The Open Dentistry Journal*, 11(1), 71-78.
- Martins, J. N. R., Silva, E. J. N. L., Marques, D., Pereira, M. R., Arantes-Oliveira, S., Martins, R. F., Braz Fernandes, F. M., & Versiani, M. A. (2021). Evaluation of Design, Metallurgy, Microhardness, and Mechanical Properties of Glide Path Instruments: A Multimethod Approach. *Journal of Endodontics*, 47(12), 1917-1923.
- Merchant, H. A., Devadiga, D., & Hegde, M. N. (2018). CBCT evaluation of canal transportation using newer rotary Ni-Ti file systems-An In vitro study. *IJAMSR*, 1(2), 15-19.
- Nagy, C. D., Szabó, J., & Szabó, J. (1995). A mathematically based classification of root canal curvatures on natural human teeth. *Journal of Endodontics*, 21(11), 557-560.
- Peters, O. A. (2004). Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review. *Journal of Endodontics*, 30(8), 559-567.
- Ruddle, C. J. (2016). Single-File Shaping Technique: Achieving a Gold Medal Result. *Dentistry Today*, 35(1), 98, 100, 102-103.
- Schafer, E., Diez, C., Hoppe, W., & Tepel, J. (2002). Roentgenographic Investigation of Frequency and Degree of Canal Curvatures in Human Permanent Teeth. *Journal of Endodontics*, 28(3), 211-216.

- Sharma, P., Goel, M., Verma, S., Sachdeva, G. S., Sharma, N., & Kumar, V. (2017). Entering a new era in endodontics with revolutionary single file systems: A comprehensive review. *EC Dent Sci*, 5(3), 1100-22.
- Shrout, P. E. (1998). Measurement reliability and agreement in psychiatry. *Statistical Methods in Medical Research*, 7(3), 301-317.
- Srivastava, S. (2018). Current Strategies in Metallurgical Advances of Rotary NiTi Instruments: A Review. *Journal of Dental Health, Oral Disorders & Therapy*, 9(1).
- Tabassum, S. (2019). *NiTi Rotary Systems: What's New*. European Endodontic Journal.
- Walid, N. (2017). Review and classification of heat treatment procedures of Niti instruments and its implication on files fatigue. *J Dental Sci*, 2(2), 1-19.
- Wu, M., Fan, B., & Wesselink, P. (2000). Leakage Along Apical Root Fillings in Curved Root Canals. Part I: Effects of Apical Transportation on Seal of Root Fillings. *Journal of Endodontics*, 26(4), 210-216.
- Zanza, A., Russo, P., Reda, R., Di Matteo, P., Donfrancesco, O., Ausiello, P., & Testarelli, L. (2022). Mechanical and Metallurgical Evaluation of 3 Different Nickel-Titanium Rotary Instruments: An In Vitro and In Laboratory Study. *Bioengineering*, 9(5), 221.

**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).