Apical Debris Extrusion in Endodontics: Unraveling Influential Factors

ทวีศักดิ์ กาวกาย
จักรภัทร ชีรนรวนิชย์
ธนิดา ศรีสุวรรณ
ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

เดบริสประกอบไปด้วยเศษเนื้อฟัน เศษเนื้อเยื่อใน เชื้อโรค และน้ำยาล้างคลองรากฟัน ในระหว่างกระบวนการทำความสะอาดคลองรากฟันด้วยวิธีเชิงกลร่วมกับสารเคมี (chemical-mechanical root canal preparation) มักมีการผลักเดบริสออกไปสู่บริเวณนอกปลายรากฟัน ส่งผลให้เกิดการอาการปวดหรือบวมหลังหัตถการซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย และบางกรณีอาจทำให้เกิดการติดเชื้อภายนอกคลองรากฟันตามมาได้ การทบทวนวรรณกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนการศึกษาและเพื่อรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการผลักเดบริสออกไปนอกปลายรากฟัน โดยมุ่งเน้นไปที่ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดเดบริสที่ถูกผลักออก เพื่อให้ทันตแพทย์นำไปประยุกต์ใช้ในการรักษาผู้ป่วยทางคลินิก โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าปัจจัยทางกายวิภาค ได้แก่ ความโค้งของคลองรากฟัน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดการผลักเดบริสออกไปนอกปลายรากฟัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มาจากขั้นตอนการรักษาคลองรากฟัน ได้แก่ การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟัน การกำหนดความยาวทำงาน การขยายคลองรากฟัน และการล้างคลองรากฟัน ล้วนมีผลต่อการผลักเดบริสออกนอกปลายรากฟัน

คำสำคัญ: เดบริสที่ถูกผลักออก, การทำความสะอาดคลองรากด้วยวิธีเชิงกลและสารเคมี, การรักษาคลองรากฟัน

Abstract

Debris generated primarily during chemical-mechanical root canal preparation is composed of dentine fragments, residual dental pulp remnants, microorganisms, and irrigants. The unintended extrusion of this debris toward the periapical region gives rise to postoperative pain or flare up, which can significantly impact the patient's quality of life. Furthermore, in certain scenarios, the apical extrusion of debris can promote the development of extraradicular infections. In this review, we provide a comprehensive overview of apical debris extrusion, with a specific focus on the determinants influencing this phenomenon. Notably, the curvature of the root canal, an inherent property of the tooth itself, is a pivotal factor that exerts a discernible influence on the apical debris extrusion. Additionally, other procedural elements during root canal treatment, such as the access cavity preparation, the working length determination, the mechanical instrumentation process, and the root canal irrigation method, play crucial roles in modulating the amount of apical debris extrusion.

Keywords: apical debris extrusion, chemical-mechanical preparation, root canal treatment

Correspondence: รศ.ทพญ.ดร. ธนิดา ศรีสุวรรณ
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ถนนสุเทพ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์: (053) 944457
Email: tanida.srisuwan@cmu.ac.th
Received: 9 October 2023 Revised: 8 December 2023 Accepted: 12 December 2023

บทนำ

การผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน (apical debris extrusion) เป็นเหตุการณ์ที่พบได้ระหว่างกระบวนการรักษาคลองรากฟัน โดยเดบรีสที่ถูกผลักออก (apical debris extrusion) นั้นอาจจะประกอบไปด้วยเศษเนื้อฟัน เศษเนื้อเยื่อใน เชื้อโรค และน้ำยาล้างคลองรากฟัน เป็นต้น (1) เมื่อสิ่งเหล่านี้ถูกผลักเกินออกไปนอกปลายราก จะส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน ทำให้มีการกระตุ้นกระบวนการอักเสบโดยการหลั่งสารส่งเสริมอักเสบ ส่งผลให้เกิดความเจ็บปวดหลังหัตถการได้ (postoperative pain) (2) ซึ่งกระบวนการทำความสะอาดคลองรากฟันด้วยวิธีเชิงกลร่วมกับสารเคมี (chemical-mechanical preparation) เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการผลักออกของเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน จึงมีแนวคิดและวิธีการศึกษาหลากหลายที่มุ่งเน้นเพื่อลดการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน การทบทวนวรรณกรรมนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับเดบรีสที่ถูกผลักออก โดยมีหัวข้อหลักได้แก่ ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการผลักเดบรีส ออกนอกปลายรากฟันระหว่างขั้นตอนการรักษาคลองรากฟัน ตั้งแต่การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันไปจนถึงการล้างคลองรากฟัน ผลที่ตามมารวมถึงการป้องกันและลดการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไปในบททบทวนวรรณกรรมนี้

ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน

1. ปัจจัยทางกายวิภาคของฟัน

คลองรากฟันที่มีความโค้งมากจะมีความเสี่ยงในการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากในระหว่างการขยายคลองรากฟันมากกว่าคลองรากฟันที่ตรง โดย Karatasliogu และคณะในปี 2018 (3) ได้ศึกษาปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกหลังการรักษาคลองรากฟันในฟันที่มีความโค้งเทียบกับคลองรากฟันที่ตรง พบว่าการรักษาคลองรากฟันที่มีความโค้งมีปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกมากกว่าคลองรากฟันที่ตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Serefoglu และคณะในปี 2021 (4) ที่ทำการศึกษาในกรณีการรักษาคลองรากฟันซ้ำ เนื่องจากการขยายคลองรากฟันที่โค้งทำได้ยาก จึงต้องใช้จำนวนครั้งและเวลาในการขยายมากขึ้น (5) นอกจากนี้ตะไบและน้ำยาล้างคลองรากฟันเข้าไปถึงบริเวณคลองรากฟันส่วนปลายได้ยาก (6) และระหว่างการขยายคลองรากฟันที่โค้งจะมีแรงดันไปทางปลายรากฟันมากกว่าคลองรากฟันที่ตรง (7) ส่งผลให้มีปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกเพิ่มขึ้นได้

2. ปัจจัยที่มาจากขั้นตอนการรักษาคลองรากฟัน

2.1 การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟัน (access cavity preparation)

ปัจจุบันมีแนวคิดการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการสูญเสียเนื้อฟันมากเกินไป ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่าขนาดของการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันที่เล็กนั้นจะมีผลต่อการกักเก็บของเศษเนื้อฟันในระหว่างการเตรียมคลองรากฟันและทำให้เกิดการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟันมากขึ้นหรือไม่ การศึกษาของ Tufenkci และคณะในปี 2020 (8) ศึกษาเปรียบเทียบเดบรีสที่ถูกผลักออกระหว่างการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันขนาดเล็ก (contracted endodontic cavity) เทียบกับการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันแบบดั้งเดิม (traditional endodontic cavity; TEC) พบว่าปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกของทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาของ Memis และ Karatas ในปี 2022 (9) ที่เปรียบการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟัน 4 วิธี ได้แก่ การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันแบบดั้งเดิม การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันแบบอนุรักษ์ (conservative endodontic cavity; CEC) การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันแบบทรัส (truss endodontic cavity; TREC) และ การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันแบบนินจา (ninja endodontic cavity; NEC) ต่อปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออก การศึกษาพบว่าไม่พบ

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง TREC, CEC และ TEC แต่ NEC มีปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกน้อยกว่า CEC และ TEC อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผู้ศึกษาได้อภิปรายผลว่า NEC จะมีบริเวณของคลองรากฟันที่ไม่ได้รับการขยาย (untouched area) มากกว่ากลุ่มอื่น (10) จึงทำให้เกิดเดบรีสน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกมีแนวโน้มที่จะน้อยกว่าในกลุ่มที่มีการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันแบบ NEC ทันตแพทย์ควรให้ความสำคัญกับการทำความสะอาดคลองรากฟันให้มีประสิทธิภาพอย่างพอเพียง เนื่องจากการมีบริเวณของคลองรากฟันที่ไม่ได้รับการขยายมากย่อมหมายถึงประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยวิธีเชิงกลย่อมลดลงด้วย

2.2 การกำหนดความยาวทำงาน (working length determination)

การกำหนดความยาวทำงานก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการผลักเดบรีสระหว่างการขยายคลองรากฟัน โดยมีการศึกษาที่ใช้ตะไบมือ (hand file) ขยายคลองรากฟันห่างจากรูเปิดปลายรากฟัน (apical foramen) 1 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับการใช้ตะไบมือขยายคลองรากฟันพอดีรูเปิดปลายรากฟัน พบว่าการกำหนดความยาวทำงานห่างจากรูเปิดปลายรากฟัน 1 มิลลิเมตร มีปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (11, 12, 13) เนื่องจากการขยายคลองรากฟันที่ตำแหน่งพอดีรูเปิดปลายรากฟันจะทำให้เกิดการสูญเสียจุดคอดปลายรากฟัน ร่วมกับการใช้ตะไบมือขยายด้วยวิธีสเตปแบ็ค (step back technique) ที่มีการศึกษาพบว่าเป็นวิธีที่ทำให้เกิดเดบรีสที่ถูกผลักออกมากที่สุด (14) ทำให้การกำหนดความยาวทำงานพอดีรูเปิดปลายรากฟัน เกิดเหตุการณ์ผลักเดบรีสและน้ำยาล้างคลองรากฟันออกนอกปลายรากได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสนใจว่าการกำหนดความยาวทำงานกลับไม่มีผลต่อปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกเมื่อใช้ตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกล (rotary file) แบบหมุนไปกลับ (reciprocating motion) (15, 16) โดยพบว่าการขยายคลองรากฟันที่ตำแหน่งห่างจากรูเปิดปลายรากฟัน 1 มิลลิเมตร และการขยายคลองรากฟันพอดีรูเปิดปลายรากฟัน มีปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผู้ทำการศึกษาให้ความเห็นว่าการออกแบบเครื่องมือ จำนวนเครื่องมือที่ใช้ และการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ (movement kinematics) อาจเป็นเหตุผลที่ทำให้มีปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกไม่แตกต่างกัน

2.3 การขยายคลองรากฟัน (mechanical instrumentation)

2.3.1 การขยายคลองรากฟันส่วนต้น (coronal flare)

การขยายคลองรากฟันส่วนต้น คือการกำจัดสิ่งกีดขวางบริเวณส่วนต้นของคลองรากฟัน ทำให้สามารถใส่เครื่องมือเข้าไปยังคลองรากฟันส่วนปลายได้ง่ายขึ้น สามารถคงความยาวทำงานและการลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการขยายคลองรากฟันได้ดี (17) โดยวิธีการนี้สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือ เช่น orifice openers หรือ gates-glidden burs ในการเปิดคลองรากฟันส่วนต้น นอกจากประโยชน์ที่กล่าวมาแล้ว การขยายคลองรากฟันส่วนต้นยังมีส่วนช่วยลดปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักได้อย่างมีนัยสำคัญ (18) เนื่องจากสามารถกำจัดเนื้อฟันที่ขัดขวางการใส่เครื่องมือและเข็มล้างคลองรากฟัน ส่งผลช่วยลดแรงที่ใช้กดเครื่องมือในการตะไบหรือแรงดันของน้ำยาล้างคลองรากฟันได้ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาของ Gunes และคณะในปี 2020 (19) ที่รายงานว่าไม่พบความแตกต่างของปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกเมื่อมีการขยายคลองรากฟันส่วนต้น

2.3.2 การสร้างไกลด์พาท (glide path)

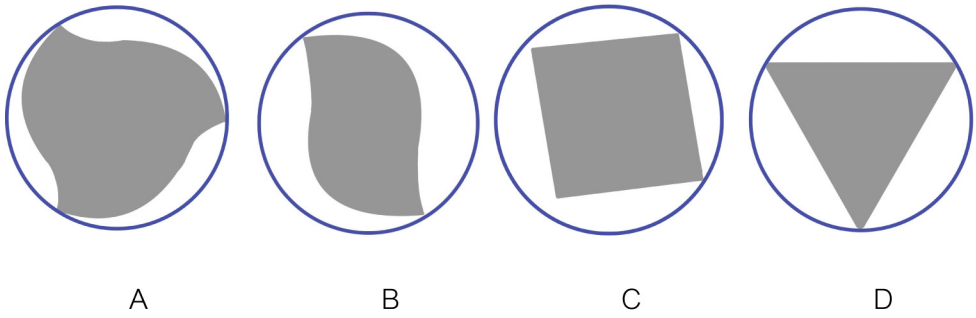
การสร้างไกลด์พาทเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญก่อนที่จะขยายคลองรากฟันด้วยตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกล โดยเป็นการใส่ตะไบอย่างน้อยขนาด 15 ลงในคลองรากฟันเพื่อสร้างแนวที่เรียบลื่นจนถึงความยาวทำงาน โดยจะช่วยลดการติดของตะไบเข้ากับผนังคลองรากฟัน (screw in) และลดความเสี่ยงการเกิดการหักจากการบิด (torsional failure) ของตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกล

มีรายงานพบว่าเดบรีสที่ถูกผลักออกจากการเตรียมไกลด์พาทนั้นมีเชื้อจุลชีพค่อนข้างมาก เนื่องจากคลองรากฟันยังไม่ผ่านการทำความสะอาดมาก่อน ดังนั้นเดบรีสที่ถูกผลักออกอาจจะกระตุ้นกระบวนการอักเสบอย่างเฉียบพลันรุนแรง มีการศึกษาที่สนใจเกี่ยวกับวิธีการเตรียมไกลด์พาทด้วยเครื่องกลเปรียบเทียบกับวิธีตะไบมือ ต่อการเกิดเดบรีสที่ถูกผลักออก พบว่าการเตรียมไกลด์พาทที่หมุนด้วยเครื่องกลพบปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกน้อยกว่าการเตรียมด้วยวิธีตะไบมือ (20, 21, 22) ซึ่งผู้ศึกษาให้ความเห็นว่าการใช้ตะไบมือชนิดเค (K file) ขนาด 15 และ 20 ในการเตรียมไกลด์พาทจะต้องมีการดันเครื่องมือเข้าและออกจากคลองรากฟันขณะทำงาน ทำให้มีโอกาสผลักเดบรีสออกไปนอกปลายรากฟันมากกว่าตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกลชนิดอื่น

2.3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการขยายคลองรากฟัน (root canal preparation instruments)

การขยายคลองรากฟันเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยกำจัดเชื้อโรคในผนังคลองรากฟัน ทำให้ได้รูปร่างคลองรากฟันที่ผายออกเหมาะสมต่อการอุดคลองรากฟัน การใช้ตะไบมือขยายคลองรากฟันโดยวิธีสเตปแบ็คยังคงเป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แม้ว่าจะเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการผลักเดบรีสออกไปนอกปลายรากฟันมากที่สุด (14) แต่หากใช้ร่วมกับการขยายด้วยวิธีคราวน์ดาวน์ (crown-down technique) จะสามารถช่วยลดการผลักเดบรีสออกไปนอกปลายรากได้ (23) ปัจจุบันการใช้ตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกลได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากสามารถช่วยคงรูปร่างเดิมของคลองรากฟันไว้ ช่วยลดขั้นตอนและเวลาการทำงาน ช่วยลดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นระหว่างการขยายลองรากฟัน (24) แต่อย่างไรก็ตามในระหว่างการขยายคลองรากฟันจะมีการขูดตัดเนื้อฟันออกส่งผลให้เกิดเดบรีสขึ้นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีการศึกษาเปรียบปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกเมื่อขยายคลองรากฟันด้วยตะไบมือหรือตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกลหลายการศึกษา ซึ่งรายงานผลไปในทิศทางเดียวกันว่า การขยายคลองรากฟันโดยใช้ตะไบมือทำให้เกิดปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (25, 26) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ตะไบมือมีการขยับในลักษณะเข้าและออกจากคลองรากฟันหลายครั้ง จึงมีโอกาสผลักเดบรีสที่อยู่ในคลองรากฟันออกไปนอกปลายรากฟันได้ง่าย (27) ในขณะที่ตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกลเป็นการหมุนที่ส่งผลให้เดบรีสติดมากับเครื่องมือและถูกกำจัดผ่านออกมาทางตัวฟัน (coronal) มากกว่าที่จะออกไปทางปลายรากฟัน รวมถึงจำนวนตะไบที่ใช้กับเครื่องกลมีการออกแบบให้ใช้จำนวนน้อยครั้ง ส่งผลให้ใช้เวลาในการขยายคลองรากฟันน้อยกว่า จึงมีปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักเกินออกไปนอกปลายรากฟันน้อยกว่าไปด้วยเช่นกัน (27)

ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการเกิดปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกระหว่างการขยายคลองรากฟันคือลักษณะหน้าตัดของตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกล (รูปที่ 1) การศึกษาของ Saricam และคณะในปี 2020 (28) ได้ทำการศึกษาปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกหลังจากการขยายคลองรากฟันด้วย One Shape (OS), One curve (OC) และ 2Shape จากผลการศึกษาพบว่าการขยายคลองรากฟันด้วย OC พบปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกน้อยกว่าการขยายคลองรากฟันด้วย 2Shape โดยคณะผู้ศึกษาคาดว่าเนื่องจาก OC มีการออกแบบหน้าตัดของเครื่องมือให้บริเวณปลาย 4 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็น ทริปเปิลเฮลิกซ์ (triple-helix) (รูปที่ 1A) ส่วนบริเวณที่เหลือจะมีหน้าตัดของเครื่องมือเป็นรูปตัวเอส (S-shape) (รูปที่ 1B) ในขณะที่ 2Shape มีการออกแบบหน้าตัดเป็นทริปเปิลเฮลิกซ์ตลอดความยาวทำงานของตะไบ ทำให้ตะไบ 2Shape แนบสนิทกับผนังคลองรากฟันมากกว่า ส่งผลให้เดบรีสเคลื่อนตัวย้อนออกมาทางตัวฟันได้ไม่ดีเท่ากับหน้าตัดแบบรูปตัวเอส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Omari ในปี 2022 (29) ที่ผลการศึกษาพบว่า VDW ROTATE ที่มีหน้าตัดของเครื่องมือเป็นรูปตัวเอส มีเดบรีสที่ถูกผลักออกน้อยกว่า TruNatomy ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน (รูปที่ 1C) และ RACE EVO ที่มีหน้าตัดของเครื่องมือเป็นสามเหลี่ยม (triangular) (รูปที่ 1D)



รูปที่ 1 แสดงหน้าตัดของตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกล รูปตัวเอส (A) ทริปเปิลเฮลิกซ์ (B) รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน (C) และรูปสามเหลี่ยม (D) โดยหน้าตัดรูปตัวเอสจะมีช่วยให้เดบริสถูกผลักออกนอกปลายรากน้อยกว่ารูปแบบอื่น

เครื่องมือที่มีความผาย (taper) แตกต่างกันก็อาจส่งผลต่อปริมาณเดบริสที่ถูกผลักออกได้ (30, 31) โดยการศึกษาของ Ozsu และคณะในปี 2014 (31) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเดบริสที่ถูกผลักออกหลังขยายคลองรากฟันด้วย ProTaper Universal (PTU), ProTaper Next (PTN), WaveOne (WO) และ Self-Adjusting-File (SAF) ผลการศึกษาพบว่า PTU ทำให้เกิดเดบริสที่ถูกผลักออกมากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญและ SAF ทำให้เกิดเดบริสที่ถูกผลักออกน้อยกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจาก PTU มีความผายมากที่สุด ทำให้มีการตัดเนื้อฟันบริเวณคลองรากฟันส่วนปลายมากกว่ากลุ่มอื่น ส่งผลให้มีเดบริสที่ถูกผลักออกมากขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Silva และคณะในปี 2016 (30) ด้วย PTU, PTN, WO และ Reciproc ซึ่งการขยายคลองรากฟันด้วย PTU ที่มีความผายมากที่สุดทำให้เกิดเดบริสที่ถูกผลักออกมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้รูปแบบลักษณะการหมุนของตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกล ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ถูกศึกษาว่ามีผลต่อปริมาณเดบริสที่ถูกผลักออกอย่างไร มีการศึกษาที่พบว่าการหมุนแบบต่อเนื่องในทิศทางเดียว (continuous rotating motion) การหมุนแบบไปกลับ (reciprocating motion) และการหมุนแบบอะแดปทีฟ (adaptive motion) ทำให้เกิดเดบริสที่ถูกผลักออกไม่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ (25, 32, 33, 34) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาบางส่วนที่พบความแตกต่างว่าการหมุนแบบไปกลับมีเดบริสที่ถูกผลักออกน้อยกว่าการหมุนแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (30, 35, 36, 37) โดยคาดว่าการหมุนแบบไปกลับซึ่งเป็นการจำลองการเคลื่อนที่อัตโนมัติของการขยายคลองรากฟันแบบบาลานซ์ฟอซ (balance force technique) ทำให้มีเดบริสที่ถูกผลักออกน้อยกว่าวิธีอื่น (38) ซึ่งตรงกันข้ามกับอีกหลายการศึกษาที่พบว่าการหมุนแบบต่อเนื่องในทิศทางเดียวจะทำให้มีเดบริสที่ถูกผลักออกน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (8, 39, 40) โดยให้เหตุผลว่าการหมุนแบบต่อเนื่องในทิศทางเดียวทำให้เดบริสที่เกิดขึ้น เคลื่อนออกมาทางตัวฟันตามเกลียวการหมุนของเครื่องมือมากกว่าที่จะออกไปทางปลายราก นอกจากนี้ตะไบที่หมุนโดยเครื่องกลที่มีการหมุนแบบต่อเนื่องในทิศทางเดียว ถูกพัฒนาให้มีการเคลื่อนที่ของเครื่องมือออกห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุน (offset design) ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเครื่องมือแบบสแวกเกอริ่งมูฟเม้น (swaggering movement) ซึ่งนอกจากจะลดการติดของเครื่องมือกับผนังคลองรากฟัน ยังช่วยให้มีเดบริสที่ถูกผลักออกไปนอกปลายรากน้อยกว่าตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกลแบบอื่น (28, 29, 41, 42, 43)

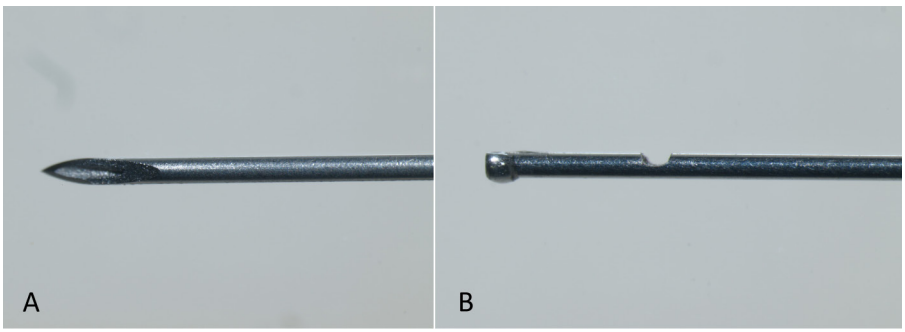
2.4 การล้างคลองรากฟัน (root canal irrigation)

การล้างคลองรากฟันมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดเชื้อจุลชีพในคลองรากฟัน ล้างเดบริส หล่อลื่นในคลองรากฟัน

ละลายเนื้อเยื่อในคลองรากฟัน และกำจัดชั้นสเมียร์บนเนื้อฟัน ในปี 1975 Van de Visse และ Brilliant (44) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเดบริสที่ถูกผลักออกในคลองรากฟันที่มีน้ำยาล้างคลองรากฟันกับที่ไม่มีน้ำยาล้างคลองรากฟัน พบว่าคลองรากฟันที่มีน้ำยามีปริมาณเดบริสที่ถูกผลักออก มากกว่าคลองรากฟันไม่มีน้ำยา แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนการล้างคลองรากฟันเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญซึ่งมีผลต่ออัตราความสำเร็จของการรักษาคลองรากฟัน ทันตแพทย์จึงควรให้ความสำคัญในการเลือกวิธีการที่ใช้ในการล้างคลองรากฟัน โดยเน้นวิธีที่ผลักเดบริสออกนอกปลายรากฟันน้อยที่สุด

การล้างคลองรากฟันด้วยเข็มล้างเป็นวิธีดั้งเดิมที่ยังนิยม ในอดีตจะมีการใช้เข็มทั่วไปในการล้างคลองรากฟัน ซึ่งเข็มดังกล่าวจะมีรูเปิดบริเวณปลายเข็ม (open ended needle) (รูปที่ 2A) ปัจจุบันมีการออกแบบปลายเข็มใหม่ให้เป็นแบบปลายปิด (closed ended needle) (รูปที่ 2B) โดย Psimma และคณะในปี 2013 (45) ได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเดบริสที่ถูกผลักออกเมื่อทำการล้างคลองรากฟันด้วยเข็มล้างทั้งสองชนิด ผลพบว่าการใช้เข็มล้างแบบปลายเปิดทำให้เกิดน้ำยาล้างคลองรากฟันถูกดันออกนอกคลองรากมากกว่าการใช้เข็มล้างปลายปิด นอกจากนี้แล้วยังพบปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น การวางตำแหน่งของเข็มล้างและขนาดของรูเปิดปลายรากฟัน ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำยาจะออกนอกคลองรากฟันลดลง เมื่อวางตำแหน่งเข็มห่างจากความยาวทำงานมากขึ้น รวมถึงเมื่อขนาดปลายรากฟันมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังควรให้ความสำคัญกับการเลือกขนาดของเข็มให้มีขนาดที่เล็กกว่าขนาดของคลองรากฟัน เพื่อป้องกันการติดแน่นของเข็มกับผนังคลองรากฟัน ส่งผลให้เกิดแรงดันน้ำยาล้างคลองรากฟันออกนอกคลองรากฟันได้ง่ายขึ้น

ปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดคลองรากฟันขึ้นมาหลากหลายวิธี ได้แก่ การล้างที่กระตุ้นด้วยโซนิก (sonically activated irrigation) การล้างที่กระตุ้นด้วยอัลตราโซนิก (ultrasonic-assisted irrigation), การล้างด้วยเครื่องมือที่สร้างความดันลบบริเวณปลายราก (negative apical pressure Irrigation), และการล้างที่มีการกระตุ้นด้วยเลเซอร์ (laser-activated irrigation; LAI) เป็นต้น จากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลอย่างเป็นระบบ และการวิเคราะห์อภิมาน (systematic review and meta-analysis) ของ Mazreah และคณะในปี 2022 (46) ที่ศึกษาวิธีล้างคลองรากฟันด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อการดันน้ำยาล้างคลองรากฟันออกไปนอกคลองรากฟัน พบว่าการใช้เข็มล้างไม่ว่าจะเป็นแบบปลายเปิดหรือปลายปิดมีส่วนทำให้น้ำยาถูกดันออกนอกคลองรากฟันมากกว่า sonically activated irrigation และ ultrasonic-assisted irrigation อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีโอกาสเพิ่มแรงดันส่วนปลายรากฟันจนเกิด positive pressure และเมื่อเปรียบเทียบ negative apical pressure irrigation กับ ultrasonic-assisted irrigation พบว่า

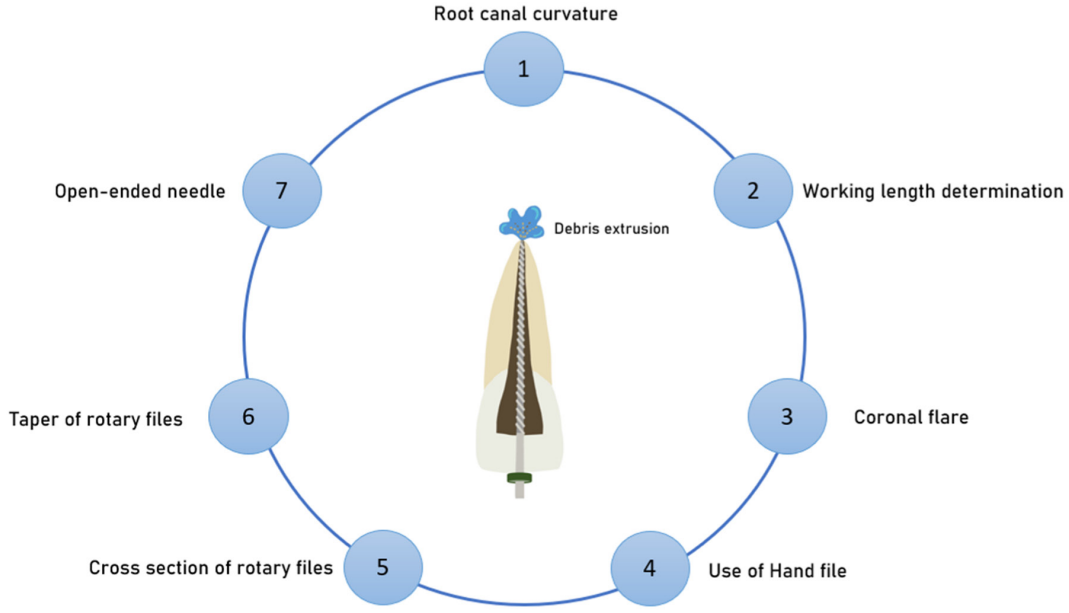


รูปที่ 2 เข็มล้างแบบปลายเปิด (A) และเข็มล้างแบบปลายปิด (B)

negative apical pressure irrigation ทำให้เกิดน้ำยาที่ถูกดันออกนอกคลองรากน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการล้างด้วยวิธี negative apical pressure irrigation เข็มล้างจะสามารถดูดน้ำยาออกได้ (suction force) ในขณะล้างช่วยป้องกันไม่ให้มีน้ำยาส่วนเกินออกมานอกคลองรากฟัน ส่วนสำหรับวิธี LAI นั้น จะทำให้เกิดน้ำยาออกนอกคลองรากมากกว่าทั้งวิธี sonic, ultrasonic และ negative apical pressure เนื่องจาก LAI มี การสร้าง high speed shock wave ในน้ำยาล้างคลองรากฟันซึ่งจะไปเพิ่มแรงดันบริเวณส่วนปลายรากฟันได้

การป้องกันและลดการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน

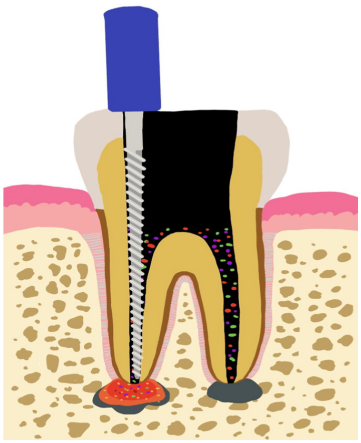
การป้องกันและลดการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟันนั้นต้องลดความเสี่ยงต่าง ๆ ที่จะทำให้มีโอกาสเกิดการผลักของ เดบรีสออกมากขึ้น (รูปที่ 3) เริ่มตั้งแต่การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันให้เหมาะสมกับการทำงานร่วมกับการขยายคลองรากฟันส่วนต้นให้สามารถใส่เครื่องมือเข้าสู่คลองรากฟันได้ถึงคลองรากฟันส่วนปลายหรือจุดที่คลองรากฟันเริ่มโค้ง เพื่อให้สามารถขยายคลองรากฟันได้ง่ายขึ้น รวมทั้งเพื่อให้น้ำยาล้างคลองรากฟันลงไปถึงบริเวณปลายรากได้มากขึ้นโดยเฉพาะในคลองรากฟันที่โค้งหรือตีบแคบ การกำหนดความยาวการทำงานอย่างเหมาะสมเพื่อรักษาจุดคอดปลายรากฟันเอาไว้ การเตรียมไกลด์พาทและการขยายคลองรากฟันด้วยการใช้ตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกลจะช่วยลดการผลักเดบรีสออกไปนอกปลายรากฟันได้ โดยพิจารณาเลือกเครื่องมือจากทั้งลักษณะของหน้าตัดที่มีพื้นที่ว่างระหว่างเครื่องมือกับคลองรากฟัน เพื่อให้เด-บรีสสามารถย้อนออกมาทางด้านบนของตัวฟันได้ นอกจากนี้การเลือกเครื่องมือที่มีความผายน้อยจะช่วยลดแรงดันเดบรีสออกทางปลายราก ในระหว่างการขยายคลองรากฟันควรใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันเป็นระยะเพื่อกำจัดเดบรีสที่เกิดขึ้น โดยเลือกเข็มล้างชนิด closed-ended needle ร่วมกับการใช้วิธีล้างคลองรากฟันด้วยวิธี negative pressure, sonic หรือ ultrasonic ที่สามารถล้างคลองรากฟันได้สะอาดมากขึ้น ลดโอกาสเกิดน้ำยาล้างคลองรากฟันถูกดันออกนอกปลายรากฟัน



รูปที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน

ผลที่ตามมาจากเดบรีสที่ถูกผลักออก

ปกติแล้วบริเวณเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันที่มีการติดเชื้อในคลองรากฟันจะมีสมดุลระหว่างเชื้อโรคและระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เมื่อเดบรีสที่มีเชื้อจุลชีพถูกผลักออกไปสู่เนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันจะทำให้เกิดการรบกวนสมดุลดังกล่าว (รูปที่ 4) โดยระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายจะตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมทำให้เกิดกระบวนการอักเสบแบบเฉียบพลัน (acute inflammation) (2) ส่งผลให้เกิดอาการการปวดหลังหัตถการ (47) และอาจก่อให้เกิดอาการปวดอย่างรุนแรงระหว่าง/ หลังการรักษา (flare up) ได้ (48) ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย (49) โดยปริมาณเดบรีสที่ถูกผลักออกมีความสัมพันธ์กับระดับการอักเสบที่เกิดขึ้น (8) ดังเช่นการศึกษาของ Iqbal และคณะในปี 2009 (50) ที่พบว่าเมื่อมีเดบรีสที่ถูกผลักออกลดลงหลังการขยายคลองรากฟันก็จะช่วยลดการอักเสบ และลดการปวดหลังหัตถการลงได้ นอกจากนี้เดบรีสที่ถูกผลักออกยังอาจส่งผลให้การหายของรอยโรคปลายรากช้าลง มีอัตราความสำเร็จของการรักษาคลองรากฟันลดลง (51, 52) หรือจะทำให้เกิดการติดเชื้อนอกคลองรากฟันได้ (extraradicular infection) (53)



รูปที่ 4 แสดงเดบรีสที่ถูกผลักออกไปนอกปลายรากฟันจากการขยายคลองรากฟันซึ่งจะไปรบกวนสมดุลของร่างกายทำให้เกิดการอักเสบ และอาการปวดหลังหัตถการตามมา

ในกรณีที่คนไข้มีการปวดอย่างรุนแรงระหว่าง/ หลังการรักษาแล้วอาจต้องทำการล้างคลองรากฟันให้สะอาดร่วมกับการขยายคลองรากฟัน และใส่ยาที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อไว้ในคลองรากฟันก่อนอุดปิดด้วยวัสดุอุดชั่วคราว ร่วมกับการทานยาแก้ปวดพาราเซตตามอล (paracetamol) และ/ หรือยาต้านการอักเสบชนิดที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ (nonsteroidal anti-inflammatory drugs: NSAIDs) ขึ้นกับระดับความรุนแรงในการปวดของคนไข้ นอกจากนี้ยังสามารถให้ยาเด็กซาเมทาโซน (Dexamethasone) ซึ่งเป็นยาคอร์ติโคสเตียรอยด์ (corticosteroid) ที่ใช้อย่างแพร่หลายทางทันตกรรมได้เพื่อลดอาการปวดหลังหัตถการ (48) ในกรณีที่น้ำยาล้างคลองรากฟันโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite) ถูกดันออกไปนอกปลายรากฟันร่วมกับเดบรีสที่ถูกผลักออก ผู้ป่วยจะมีอาการปวดอย่างรุนแรงระหว่างการล้างคลองรากฟัน กรณีนี้ให้ล้างคลองรากฟันด้วยน้ำเกลือ (normal saline solution) ปริมาณมากเพื่อเจือจางน้ำยาล้างคลองรากฟันจากบริเวณที่ได้รับการบาดเจ็บ(54, 55) อาจพิจารณาให้ยาชาเฉพาะที่เพิ่มเติมร่วมกับให้ยาแก้ปวด ยาฆ่าเชื้อ และแนะนำผู้ป่วยประคบเย็นเพื่อลดการบวมในวันแรกแล้วจึงเปลี่ยนเป็นการประคบอุ่นเพื่อกระตุ้นการไหลเวียนของเลือดในวันถัดไป

สรุป

การผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟันในระหว่างขั้นตอนการรักษารากฟันนั้นส่งผลเสียต่อเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน เกิดกระบวนการอักเสบ อาจเกิดการปวดอย่างรุนแรงระหว่าง/ หลังการรักษาซึ่งส่งผลต่อคุณภาพชีวิตผู้ป่วย และทำให้การหายของโรคบริเวณปลายรากช้าลง อย่างไรก็ตามยังไม่มีวิธีที่ป้องกันการผลักออกของเดบรีสได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการป้องกันให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวน้อยที่สุดจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม โดยสามารถทำได้ตั้งแต่ขั้นตอนการเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันให้เหมาะสม การขยายคลองรากฟันส่วนต้น การวัดความยาวทำงาน การรักษาจุดคอดปลายราก วิธีการล้างคลองรากฟันด้วยเข็มล้างแบบปลายปิด การเลือกใช้เครื่องมือขยายคลองรากที่มีความผายน้อย เป็นต้น (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สรุปปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการผลักเดบรีสและข้อควรปฏิบัติเพื่อลดการผลักเดบรีสออกไปนอกปลายรากฟัน

ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน	ข้อควรปฏิบัติเพื่อลดการผลักเดบรีสออกนอกปลายรากฟัน
ความโค้งของคลองรากฟัน (3, 4)	การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันให้เหมาะสม ร่วมกับการขยายคลองรากฟันส่วนต้นเพื่อให้ได้แนวในการใส่เครื่องมือเป็นเส้นตรง (straight line access) ไปยังจุดที่คลองรากฟันเริ่มโค้ง
การกำหนดความยาวทำงาน (11, 12, 13)	กำหนดความยาวทำงานที่ตำแหน่งสั้นกว่ารูเปิดปลายรากฟัน เพื่อเก็บรักษาจุดคอดปลายรากไว้
การขยายคลองรากส่วนต้น (18)	ใช้เครื่องมือ เช่น orifice openers หรือ gates-glidden burs ในการเปิดขยายคลองรากฟันส่วนต้น เพื่อให้ได้มาซึ่ง straight line access และลดแรงดันระหว่างการล้างคลองรากฟัน
การใช้ตะไบมือ (25, 26)	หากจำเป็นต้องใช้ตะไบมือในการขยายคลองรากฟัน ควรใช้ตะไบมือขนาดเล็กใส่ลงไปในคลองรากฟันที่มีน้ำยาล้างคลองรากฟันอยู่และขยับขึ้นลงเบา ๆ (recapitulation) ร่วมกับการล้างคลองรากฟัน เมื่อเปลี่ยนขนาดเครื่องมือ เพื่อลดการสะสมเดบรีสในคลองรากฟันส่วนปลาย
หน้าตัดของตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกล (28, 29)	เลือกใช้ตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกลที่มีหน้าตัดเป็นรูปตัวเอส
ความผายของตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกล (30, 31)	เลือกใช้ตะไบที่หมุนด้วยเครื่องกลที่มีความผายเหมาะสมและไม่ใหญ่จนเกินไป
การล้างคลองรากฟัน (45)	- เลือกใช้เข็มล้างปลายปิด ร่วมกับการกระตุ้นน้ำยาด้วยวิธี เช่น negative pressure, sonic หรือ ultrasonic - หากใช้เข็มล้างปลายเปิด ควรใช้เข็มล้างขนาดเล็กเพื่อลดการติดเข้ากับผนังคลองรากฟัน และกำหนดให้ปลายเข็มล้างอยู่เหนือระยะทำงานประมาณ 2 มิลลิเมตร

เอกสารอ้างอิง

1. Huang X, Ling J, Wei X, Gu L. Quantitative evaluation of debris extruded apically by using ProTaper Universal Tulsa rotary system in endodontic retreatment. J Endod. 2007;33(9):1102-5.
2. Siqueira JF, Jr. Microbial causes of endodontic flare-ups. Int Endod J. 2003;36(7):453-63.
3. Karatasliogl E, Arslan H, Er G, Avci E. Influence of canal curvature on the amount of apically extruded debris determined by using three-dimensional determination method. Aust Endod J. 2019;45(2):216-24.
4. Serefoglu B, Kandemir Demirci G, Miçooğulları Kurt S, Kaşıkçı Bilgi İ, Çalışkan MK. Impact of root canal curvature and instrument type on the amount of extruded debris during retreatment. Restore Dent Endod. 2021;46(1).
5. Karatasliogl E, Arslan H, Er G, Avci E. Influence of canal curvature on the amount of apically extruded debris determined by using three-dimensional determination method. Aust Endod J. 2019;45(2):216-24.
6. Contreras MA, Zinman EH, Kaplan SK. Comparison of the first file that fits at the apex, before and after early flaring. J Endod. 2001;27(2):113-6.

7. Constante IG, Davidowicz H, Barletta FB, Moura AA. Location and angulation of curvatures of mesiobucal canals of mandibular molars debrided by three endodontic techniques. Braz Oral Res. 2007;21(1):22-8.
8. Tufenkci P, Yilmaz K, Adiguzel M. Effects of the endodontic access cavity on apical debris extrusion during root canal preparation using different single-file systems. Restor Dent Endod. 2020;45(3):e33.
9. Memiş M, Karataş E. The effect of different endodontic access cavity designs on the amount of apically extruded debris. Turkish Endod J. 2022;7(1):13-20.
10. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. J Endod. 2010;36(4):703-7.
11. Myers GL, Montgomery S. A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and Canal Master techniques. J Endod. 1991;17(6):275-9.
12. Martin H, Cunningham WT. An evaluation of postoperative pain incidence following endosonic and conventional root canal therapy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 1982;54(1):74-6.
13. Beeson TJ, Hartwell GR, Thornton JD, Gunsolley JC. Comparison of debris extruded apically in straight canals: conventional filing versus profile .04 Taper series 29. J Endod. 1998;24(1):18-22.
14. Reddy SA, Hicks ML. Apical extrusion of debris using two hand and two rotary instrumentation techniques. J Endod. 1998;24(3):180-3.
15. de Moura JDM, da Silveira Bueno CE, Fontana CE, Pelegrine RA. Extrusion of debris from curved root canals instrumented up to different working lengths using different reciprocating systems. J Endod. 2019;45(7):930-4.
16. Silva EJNL, Teixeira JM, Kudsi N, Sassone LM, Krebs RL, Coutinho-Filho TS. Influence of apical preparation size and working length on debris extrusion. Braz Dent J. 2016;27:28-31.
17. Hawi N, Pedullà E, La Rosa GR, Conte G, Nehme W, Neelakantan P. Influence of Coronal Flaring on the Shaping Ability of Two Heat-Treated Nickel-Titanium Endodontic Files: A Micro-Computed Tomographic Study. J Clin Med [Internet]. 2023; 12(1).
18. Borges Á H, Pereira TM, Porto AN, de Araújo Estrela CR, Miranda Pedro FL, Aranha AM, et al. The Influence of Cervical Preflaring on the Amount of Apically Extruded Debris after Root Canal Preparation Using Different Instrumentation Systems. J Endod. 2016;42(3):465-9.
19. Gunes B, Yeter KY. The effect of cervical preflaring on the apical debris extrusion of single or multiple rotary Ni-Ti files. Niger J Clin Pract. 2020;23(4):510-4.
20. Dagna A, El Abed R, Hussain S, Abu-Tahun IH, Visai L, Bertoglio F, et al. Comparison of apical extrusion of intracanal bacteria by various glide-path establishing systems: an in vitro study. Restor Dent Endod. 2017;42(4):316-23.
21. Ha JH, Kim SK, Kwak SW, El Abed R, Bae YC, Kim HC. Debris extrusion by glide-path establishing endodontic instruments with different geometries. J Dent Sci. 2016;11(2):136-40.
22. Gunes B, Yesildal Yeter K. Effects of Different Glide Path Files on Apical Debris Extrusion in Curved Root Canals. J Endod. 2018;44(7):1191-4.
23. Eshagh Saberi A, Ebrahimipour S, Saberi M. Apical Debris Extrusion with Conventional Rotary and Reciprocating Instruments. Iran Endod J. 2020;15(1):38-43.

24. Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G. Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. J Endod. 2004;30(6):432-5.
25. Boijink D, Costa DD, Hoppe CB, Kopper PMP, Grecca FS. Apically Extruded Debris in Curved Root Canals Using the WaveOne Gold Reciprocating and Twisted File Adaptive Systems. J Endod. 2018;44(8):1289-92.
26. Keskin C, Sariyilmaz E. Apically extruded debris and irrigants during root canal filling material removal using Reciproc Blue, WaveOne Gold, R-Endo and ProTaper Next systems. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects. 2018;12(4):272-6.
27. Imura N, Kato AS, Hata GI, Uemura M, Toda T, Weine F. A comparison of the relative efficacies of four hand and rotary instrumentation techniques during endodontic retreatment. Int Endod J. 2000;33(4):361-6.
28. Saricam E, Kayaoglu G. Comparison of OneShape, 2Shape and One Curve endodontic instruments for debris and irrigant extrusion. Dent Med Probl. 2020;57(3):255-9.
29. Al Omari T, El-Farraj H, Arican B, Atav Ates A. Apical debris extrusion of full-sequenced rotary systems in narrow ribbon-shaped canals. Aust Endod J. 2022;48(2):245-50.
30. Silva EJ, Carapiá MF, Lopes RM, Belladonna FG, Senna PM, Souza EM, et al. Comparison of apically extruded debris after large apical preparations by full-sequence rotary and single-file reciprocating systems. Int Endod J. 2016;49(7):700-5.
31. Ozsu D, Karatas E, Arslan H, Topcu MC. Quantitative evaluation of apically extruded debris during root canal instrumentation with ProTaper Universal, ProTaper Next, WaveOne, and self-adjusting file systems. Eur J Dent. 2014;8(4):504-8.
32. Sen OG, Bilgin B, Kocak S, Saglam BC, Kocak MM. Evaluation of Apically Extruded Debris Using Continuous Rotation, Reciprocation, or Adaptive Motion. Braz Dent J. 2018;29(3):245-8.
33. da Silva E, de Moura SG, de Lima CO, Barbosa AFA, Misael WF, Lacerda M, et al. Shaping ability and apical debris extrusion after root canal preparation with rotary or reciprocating instruments: a micro-CT study. Restor Dent Endod. 2021;46(2):e16.
34. Solda C, Padoim K, Rigo L, Silva Sousa YTC, Hartmann MSM. Assessment of Apical Extrusion using Rotary and Reciprocating Systems during Root Canal Retreatment. J Contemp Dent Pract. 2020;21(3):238-41.
35. Mustafa R, Al Omari T, Al-Nasrawi S, Al Fodeh R, Dkmak A, Haider J. Evaluating In Vitro Performance of Novel Nickel-Titanium Rotary System (TruNatomy) Based on Debris Extrusion and Preparation Time from Severely Curved Canals. J Endod. 2021;47(6):976-81.
36. Costa EL, Sponchiado-Junior EC, Garcia LFR, Marques AAF. Effect of large instrument use on shaping ability and debris extrusion of rotary and reciprocating systems. J Investig Clin Dent. 2018;9(1).
37. Üstün Y, Çanakçi BC, Dinçer AN, Er O, Düzgün S. Evaluation of apically extruded debris associated with several Ni-Ti systems. Int Endod J. 2015;48(7):701-4.
38. McKendry DJ. Comparison of balanced forces, endosonic, and step-back filing instrumentation techniques: quantification of extruded apical debris. J Endod. 1990;16(1):24-7.
39. Predin Djuric N, Van Der Vyver P, Vorster M, Vally ZI. Comparison of apical debris extrusion using clockwise and counter-clockwise single-file reciprocation of rotary and reciprocating systems. Aust Endod J. 2021;47(3):394-400.

40. Bürklein S, Schäfer E. Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. J Endod. 2012;38(6):850-2.
41. Uslu G, Ozyurek T, Yilmaz K, Gundogar M, Plotino G. Apically Extruded Debris during Root Canal Instrumentation with Reciproc Blue, HyFlex EDM, and XP-endo Shaper Nickel-titanium Files. J Endod. 2018;44(5):856-9.
42. Mustafa R, Al Omari T, Al-Nasrawi S, Al Fodeh R, Dkmak A, Haider J. Evaluating In Vitro Performance of Novel Nickel-Titanium Rotary System (TruNatomy) Based on Debris Extrusion and Preparation Time from Severely Curved Canals. J Endod. 2021;47(6):976-81.
43. Yılmaz Çırakoglu N, Özbay Y. Apically extruded debris associated with ProTaper Next, ProTaper Gold and TruNatomy systems: An in vitro study. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects. 2021;15(1):30-4.
44. Vande Visse JE, Brilliant JD. Effect of irrigation on the production of extruded material at the root apex during instrumentation. J Endod. 1975;1(7):243-6.
45. Psimma Z, Boutsioukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. J Endod. 2013;39(4):521-4.
46. Azizi Mazreah S, Shirvani A, Azizi Mazreah H, Dianat O. Evaluation of irrigant extrusion following the use of different root canal irrigation techniques: A systematic review and meta-analysis. Aust Endod J. 2022.
47. Caviedes-Bucheli J, Rios-Osorio N, Rey-Rojas M, Laguna-Rivero F, Azuero-Holguin MM, Diaz LE, et al. Substance P and Calcitonin gene-related peptide expression in human periodontal ligament after root canal preparation with Reciproc Blue, WaveOne Gold, XP EndoShaper and hand files. Int Endod J. 2018;51(12):1358-66.
48. Bassam S, El-Ahmar R, Salloum S, Ayoub S. Endodontic postoperative flare-up: An update. Saudi Dent J. 2021;33(7):386-94.
49. L.S P, Rao LN, Shetty A, Hegde MN, Shetty C. Impact on Quality of Life of Patients Treated by Different File Systems for Root Canal Treatment. Journal of Health and Allied Sciences NU. 2021;11(01):35-9.
50. Iqbal M, Kurtz E, Kohli M. Incidence and factors related to flare-ups in a graduate endodontic programme. Int Endod J. 2009;42(2):99-104.
51. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. Int Endod J. 2011;44(7):583-609.
52. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature -- Part 2. Influence of clinical factors. Int Endod J. 2008;41(1):6-31.
53. Ricucci D, Siqueira JF, Lopes WSP, Vieira AR, Rôças IN. Extraradicular Infection as the Cause of Persistent Symptoms: A Case Series. J Endod. 2015;41(2):265-73.
54. Mehdipour O, Kleier DJ, Averbach RE. Anatomy of sodium hypochlorite accidents. Compend Contin Educ Dent. 2007;28(10):544-6, 8, 50.
55. Ehrich DG, Brian JD, Jr., Walker WA. Sodium hypochlorite accident: inadvertent injection into the maxillary sinus. J Endod. 1993;19(4):180-2.