

การรักษาคลองรากฟันซ้ำในคลองรากฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซีลเลอร์: หลักการและวิธีการ Retreatment of Root Canals Obturated with Bioceramic Sealer: Concept and Techniques

กฤตยนันท์ กาสา, ณุพงษ์ ชัยอริยะกุล, ธนิตา ศรีสุวรรณ*

ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

การรักษาคลองรากฟันมีอัตราความสำเร็จค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามยังพบมีการรักษาคลองรากฟันที่ไม่ประสบความสำเร็จ ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาทำการรักษาคลองรากฟันซ้ำเพื่อคงสภาพฟันให้อยู่ในช่องปาก ปัจจุบัน ไบโอเซรามิกซีลเลอร์ ได้รับความนิยมสำหรับใช้ในการรักษาคลองรากฟันจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เอื้อต่อการปิดผนึก (sealing ability) อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติดังกล่าวทำให้การรื้อวัสดุอุดคลองรากฟันเพื่อการรักษาคลองรากฟันซ้ำทำได้ยากเมื่อเทียบกับซีลเลอร์ชนิดอื่น

บทความนี้รวบรวมแนวทางและวิธีสำหรับการรักษาคลองรากฟันซ้ำในคลองรากฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซีลเลอร์ ครอบคลุมการใช้ตัวทำลาย และการใช้เครื่องมือต่าง ๆ การประยุกต์ใช้หลายวิธีร่วมกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำความสะอาด ลดปริมาณวัสดุอุดคลองรากฟันคงเหลือ และเพิ่มโอกาสความสำเร็จในการรักษาคลองรากฟันซ้ำได้

คำสำคัญ: การรักษาคลองรากฟันซ้ำ, ไบโอเซรามิกซีลเลอร์, ตัวทำลาย, ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม, อัลตราโซนิก, การล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริม

Abstract

The success rate of conventional root canal treatment is high; however, some cases fail and require root canal retreatment. Currently, the clinical use of bioceramic sealers has increased due to their favorable physicochemical properties, particularly their sealing ability. However, they present greater challenges when retreatment is required.

This review article summarizes current strategies and techniques for retreatment of canals previously obturated with bioceramic sealers, including the use of solvents and supplementary equipment. The combined use of different methods enhances debridement, minimizes residual obturation material, and may improve the likelihood of successful retreatment.

Keywords: endodontic retreatment, bioceramic sealer, solvents, nickel–titanium rotary files, ultrasonics, supplementary irrigation

Correspondence: ธนิตา ศรีสุวรรณ

ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์: 053-944457

Email address: tanida.srisuwan@cmu.ac.th

Received: 7 November 2025

Revised: 8 December 2025

Accepted: 9 December 2025

บทนำ

การรักษาคลองรากฟันมีอัตราความสำเร็จค่อนข้างสูง แต่ยังมีรายงานความล้มเหลวภายหลังการรักษาประมาณ ร้อยละ 15-22 (1) จากหลายสาเหตุ เช่น การติดเชื้อคงค้าง การติดเชื้อซ้ำ หรือการรักษาผิดพลาด ซึ่งการรักษาคลองรากฟันซ้ำเป็นหนึ่งในแนวทางการรักษากรณีต้องการเก็บรักษาฟันสำหรับใช้งานในช่องปากต่อไป (2) การกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันออกจากคลองรากฟันเป็นขั้นตอนสำคัญในการรักษาคลองรากฟันซ้ำ การศึกษาหลายปัจจัยส่งผลต่อการกำจัดวัสดุอุด ได้แก่ วิธีการอุดคลองรากฟัน วัสดุอุดคลองรากฟัน และลักษณะทางกายวิภาคของคลองรากฟัน โดยการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันในคลองรากฟันที่ได้รับการอุดแบบกัตาเปอร์ชาหนึ่งแท่ง (single-cone technique) มักทำได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับการอุดด้วยวิธีแลทเทอร์ลคอมแพคชัน (lateral compaction technique) หรือ วิธียอร์มเวอร์ติเคิลคอมแพคชัน (warm vertical compaction technique) (3) อย่างไรก็ตาม การศึกษารายงานว่าซิลเลอร์ที่นิยมใช้ร่วมกับ single-cone technique โดยเฉพาะจำพวกไบโอเซรามิกส่งผลต่อการกำจัดวัสดุอุด ทำให้สามารถกำจัดออกได้ง่าย (4) ดังนั้น ในทางคลินิกการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันนับเป็นขั้นตอนที่ท้าทาย ต้องอาศัยเครื่องมือหลายชนิด การเลือกใช้ น้ำยาล้าง และตัวทำลายที่เหมาะสมมีผลต่อการกำจัดวัสดุอุด นอกจากนี้ ลักษณะทางกายวิภาคของคลองรากฟัน เช่น คลองรากฟันลักษณะครีบ (fins) ส่วนคอดในคลองรากฟัน (isthmuses) และคลองรากฟันด้านข้าง (lateral canals) รวมถึงท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) เอื้อต่อการแทรกซึมและการคงเหลือของวัสดุอุดคลองรากฟันในบริเวณที่เครื่องมือเข้าถึงได้อย่างจำกัด ด้วยเหตุนี้ การกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันให้หมดอย่างสิ้นเชิงจึงทำได้ยากในทางปฏิบัติ (5)

บทความนี้รวบรวมแนวทางและวิธีสำหรับการรักษาคลองรากฟันซ้ำในคลองรากฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซิลเลอร์ ครอบคลุมการศึกษานี้ใหม่ที่ทดสอบประสิทธิภาพของการกำจัดวัสดุอุด ด้วยการใช้ตัวทำลายหลากหลายชนิด การใช้ไฟล์แบบหมุนนิกเกิล-ไทเทเนียมชนิดต่าง ๆ การล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริม นอกจากนี้ยังกล่าวถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดวัสดุอุด รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดวัสดุอุดกลุ่มไบโอเซรามิกซิลเลอร์

1. ไบโอเซรามิกซิลเลอร์ (bioceramic sealer) ในการอุดคลองรากฟัน

การอุดคลองรากฟัน คือ การอุดปิดช่องว่างภายในคลองรากฟันทั้งหมดภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการทำความสะอาดคลองรากฟัน เพื่อเป็นการป้องกันการรั่วซึม อีกทั้งฝังกลบเชื้อโรคที่อาจหลงเหลืออยู่ไม่ให้อาจเพิ่มจำนวน แพร่ผ่านหรือสัมผัสกับสารอาหารบริเวณรอบปลายรากฟัน (6) ดังนั้น วัสดุอุดคลองรากฟันในอุดมคติจึงควรแนบสนิทและยึดติดกับผนังคลองรากฟัน

ซิลเลอร์สำหรับอุดคลองรากฟัน เป็นวัสดุจำเป็นอย่างยิ่งที่ใช้ร่วมในขั้นตอนการอุดคลองรากฟัน โดยซิลเลอร์ในอุดมคตินั้น ควรใช้งานง่าย สร้างความแนบสนิทได้ดีในทุกมิติ ทนทานต่อความชื้น มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค มีความเป็นพิษต่ำไม่ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อรอบปลายราก อีกทั้งมีลักษณะกายภาพที่ดี หดตัวต่ำ การละลายต่ำเมื่อสัมผัสของเหลวภายในร่างกาย ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนสีของตัวฟัน มีความแข็งแรง และสามารถกำจัดออกได้หากจำเป็น (7) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีซิลเลอร์ใดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวครบถ้วน (8)

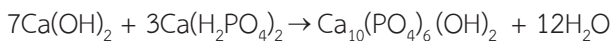
ไบโอเซรามิกซิลเลอร์ เป็นวัสดุที่ได้รับการพัฒนาขึ้นใหม่ มีส่วนประกอบหลักสำคัญ คือ แคลเซียมซิลิเกต ซิลเลอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีใกล้เคียงกับอุดมคติหลายประการ ได้แก่ การมี pH สูงขณะก่อกำตัว ส่งผลให้มีฤทธิ์ในการกำจัดเชื้อโรคที่อาจหลงเหลืออยู่ การหดตัวต่ำ อีกทั้งสามารถขยายตัวได้เล็กน้อยเมื่อมีการก่อกำตัวส่งผลให้มีการยึดติดกับผนังคลองรากฟันได้ดี การละลายตัวต่ำเมื่อสัมผัสของเหลวภายในร่างกาย (8) นอกจากนี้ ไบโอเซรามิกซิลเลอร์มีคุณสมบัติชอบน้ำสูง (highly hydrophilic cement) จึงมีความเหมาะสมในการอุดคลองรากฟัน เนื่องจากลักษณะความชื้นภายในเนื้อฟันส่งผลต่อการก่อกำตัวของวัสดุ แตกต่างจากซิลเลอร์ชนิดอื่น

ปฏิกิริยาการก่อกำตัวของไบโอเซรามิกซิลเลอร์ ประกอบด้วยสองขั้นตอนหลัก ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 คือปฏิกิริยาเติมโมเลกุลของน้ำ เมื่อส่วนของผงของแคลเซียมซิลิเกต (ไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต) สัมผัสกับน้ำเกิดผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 2 คือ ปฏิบัติการการตกตะกอนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการปฏิกริยาการเติมโมเลกุลของน้ำ โดยเมื่อสัมผัสกับฟอสเฟตไอออน ซึ่งเป็นองค์ประกอบในซิลเลอหรือของเหลวในร่างกาย จะเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟต หรือไฮดรอกซีอะพาไทต์ และน้ำ (9) ดังสมการ



ผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เกิดขึ้นใหม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน และสร้างชั้นยึดประสาน (interfacial ion-exchange layer) ระหว่างซิลเลอกับเนื้อฟัน ทำให้รอยต่อมีความเสถียรและทนทานต่อการละลายมากขึ้น นอกจากนี้ผลึกแคลเซียมฟอสเฟต แทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟัน (dental tubule) และก่อตัวเป็นโครงสร้างลักษณะคล้ายแท็ก (tag-like structures) หรือ โซนการแทรกซึมแร่ธาตุ (mineral infiltration zone) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงการยึดติดแบบดันออก (push-out bond strength) ด้วยเหตุผลดังกล่าว แนวทางสมัยใหม่จึงเสนอให้ไบโอเซรามิกซิลเลอเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในการอุดคลองรากฟันได้ โดยวิธีการอุดคลองรากฟันเมื่อใช้ไบโอเซรามิกซิลเลอนั้น มีการปรับเปลี่ยนจากแนวทางที่นิยมในปัจจุบัน เป็นการอุดคลองรากฟันด้วย single-cone technique ด้วยกัตตาเปอร์ชาที่มีรูปร่างและความผายใกล้เคียงกับรูปร่างคลองรากฟัน (matching cone) ร่วมกับการใช้ซิลเลอ ซึ่งด้วยลักษณะดังกล่าวจะส่งผลให้กัตตาเปอร์ชาทำหน้าที่คล้ายปลั๊กเกอร์ (plugger) ผลึกให้ซิลเลอไหลผ่านเข้าไปยังบริเวณที่ซับซ้อนในคลองรากฟันได้ เรียกวิธีนี้ว่า hydraulic condensation technique

ทั้งนี้ ด้วยคุณสมบัติของไบโอเซรามิกซิลเลอในประเด็นของการหดตัวต่ำ ความสามารถในการขยายตัวเล็กน้อยขณะก่อตัว และการละลายต่ำเมื่อสัมผัสของเหลวภายในร่างกาย จึงสามารถใช้ซิลเลอในปริมาณมากเพื่อฉาบรอบกัตตาเปอร์ชาได้มากกว่าการอุดด้วยซิลเลอชนิดอื่น นอกจากนี้ เนื่องจากการอุดคลองรากฟันด้วยวิธี hydraulic

condensation ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นที่มีความผายหรือขนาดใหญ่เพิ่มเติม เช่น สเปรดเดอร์ (spreader) และปลั๊กเกอร์ให้ความร้อน (heat carrier) เหมือนกับการอุดคลองรากฟันแบบดั้งเดิม จึงทำให้สามารถตกแต่งคลองรากฟันให้มีขนาดเล็กลง มีความผายลดลงกว่าปกติ ส่งผลให้ผนังคลองรากฟันโดยรอบมีความหนา ลดโอกาสการแตกหักของรากฟันได้

2. การรักษาคลองรากฟันซ้ำ และการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟัน

การรักษาคลองรากฟันซ้ำ เป็นหนึ่งในแนวทางการรักษากรณีต้องการเก็บรักษาฟันที่เคยได้รับการรักษาคลองรากฟันมาแล้วแต่ล้มเหลว หรือมีการติดเชื้อ (2) การรักษาที่สำคัญ คือ มุ่งเน้นกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งอาจเป็นการติดเชื้อคงค้าง (persistent infection) หรือการติดเชื้อทุติยภูมิ (secondary infection) ดังนั้น การกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันเดิมออกจากคลองรากฟันนั้นเป็นขั้นตอนสำคัญ เพราะเป็นขั้นตอนแรกๆ ที่เอื้อให้การรักษารั้งใหม่สามารถเข้าถึงในคลองรากฟันซึ่งเป็นบริเวณที่อาจมีแบคทีเรียตกค้างหรือปนเปื้อนอยู่ได้ อย่างไรก็ตาม วิธีการกำจัดวัสดุดังกล่าวต้องส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายวิภาคของคลองรากฟันเดิมให้น้อยที่สุดเพื่อลดโอกาสการสร้างช่องทางใหม่ที่ผิดพลาด อีกทั้งยังคงความแข็งแรงของฟันไว้ นอกจากนี้ การกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันนั้นยังต้องส่งเสริมให้เครื่องมือที่ใช้ในการรักษาส่งเสริมให้ถึงความยาวของคลองรากฟัน (working length) โดยสามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก (patency) ได้ในตำแหน่งกายวิภาคดั้งเดิมของฟันอีกด้วย (10)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำจัดวัสดุอุดในการรักษาคลองรากฟันซ้ำมีหลายหลาย เนื่องจากวัสดุและวิธีในการอุดคลองรากฟันปัจจุบันมีหลายรูปแบบ จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันอย่างต่อเนื่อง โดยการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการเพราะสามารถควบคุมชนิดของฟัน วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีที่เกี่ยวข้องได้ง่ายกว่าการทำการทดลองในผู้ป่วยจริง (11) ทำให้สามารถศึกษาผลของสารเคมีหรือวิธีการที่ใช้ในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันได้ชัดเจน

ปัจจุบันแบ่งวิธีการในการกำจัดวัสดุคลองรากฟันออกเป็นหลายรูปแบบ ได้แก่ การใช้ตัวทำละลาย การใช้อุณหภูมิต่ำ และการล้างคลองรากฟันเสริม ซึ่งในบทความนี้จะรวบรวมการศึกษาเกี่ยวกับการใช้วิธีการดังกล่าวในการกำจัดวัสดุไบโอเซรามิกซิลิเคตเป็นหลัก

2.1 การใช้ตัวทำละลาย (solvents)

การเลือกใช้ตัวทำละลายเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟัน ซึ่งจุดเด่นของวิธีการนี้ คือ ไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียลักษณะทางกายวิภาคเดิมของคลองรากฟัน เพราะเป็นการละลายวัสดุเพียงอย่างเดียว ตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการรื้อวัสดุอุดคลองรากฟันสูงสุด คือ คลอโรฟอร์ม (chloroform) เนื่องจากการออกฤทธิ์ในการทำงานเร็ว แต่ในระยะหลังมีการรายงานถึงความเป็นพิษต่อเซลล์และเนื้อเยื่อ (cytotoxicity) รวมถึงเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenic) จึงมีแนวทางสำคัญในการใช้คลอโรฟอร์มว่า ควรหลีกเลี่ยงการผลึกตัวทำละลายออกนอกปลายรากฟัน ปัจจุบันมีคำแนะนำให้ใช้ตัวทำละลายชนิดอื่น เช่น ไสลิโน ยูคาลิปทอล ทดแทน แม้ว่าอาจมีประสิทธิภาพในการกำจัดวัสดุอุดน้อยกว่าการละลายด้วยคลอโรฟอร์ม (10)

2.1.1 คลอโรฟอร์ม (chloroform)

คลอโรฟอร์มเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ การศึกษาของ Hess และคณะในปี 2011 (12) ศึกษาเปรียบเทียบการรักษาคลองรากฟันซ้ำในฟันที่อุดด้วย EndoSequence BC (Brasseler USA, Savannah, GA, USA) ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นแคลเซียมซิลิเกต ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate), ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate), แคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) และใช้เซอร์โคเนียมออกไซด์ (zirconium oxide) เป็นสารเพิ่มความทึบรังสี ร่วมกับ single cone technique และการอุดด้วย AH Plus (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany) ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นอีพ็อกซีเรซิน (epoxy resin) และใช้เซอร์โคเนียมออกไซด์ (zirconium oxide) กับแคลเซียมทังสเตต (calcium tungstate) เป็นสารเพิ่มความทึบรังสี ร่วมกับ warm vertical compaction technique ที่ตำแหน่งระยะทำงาน

ของคลองรากฟัน และที่ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร โดยใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มพบว่า กลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วย EndoSequence BC ร่วมกับ single cone technique สามารถทำความโล่งผ่านปลายราก ได้ร้อยละ 80 เมื่อใส่กั๊กตาเปอร์ชาที่ระยะทำงานของคลองรากฟัน และสามารถทำความโล่งผ่านปลายรากได้ร้อยละ 30 เมื่อใส่กั๊กตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร ส่วนในกลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วย AH Plus ร่วมกับการทำ warm vertical compaction พบว่าสามารถทำความโล่งผ่านปลายรากได้ร้อยละ 100 ทั้งในกลุ่มที่ใส่กั๊กตาเปอร์ชาพอดีที่ระยะทำงานของคลองรากฟัน และในกลุ่มที่ใส่กั๊กตาเปอร์ชาสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร เมื่อทำการประเมินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) พบไบโอเซรามิกซิลิเคตหลงเหลือในตำแหน่งรูเปิดปลายรากฟัน (apical foramen) ซึ่งสนับสนุนผลการทดลองข้างต้นถึงสาเหตุของอุปสรรคในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าคลอโรฟอร์มไม่สามารถละลายไบโอเซรามิกซิลิเคตได้ (ตารางที่ 1)

สอดคล้องกับการศึกษาของ Agrafioti และคณะในปี 2015 (13) ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ฟันหนานบน การศึกษาประเมินความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก ภายหลังการใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม ในกลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย MTA Fillapex (Angelus, Londrina, PR, Brazil) เป็นไฮบริดไบโอเซรามิกซิลิเคต (resin-based sealer with a bioceramic component) โดย paste A ประกอบด้วย salicylate resin, bismuth trioxide และ fumed silica ขณะที่ paste B ประกอบด้วย base resin, Mineral trioxide aggregate (40%), titanium dioxide และ fumed silica เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย TotalFill BC sealer (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) เป็นไบโอเซรามิกซิลิเคต ที่มีส่วนประกอบหลักเป็น tricalcium silicate และ dicalcium silicate ร่วมกับสารในกลุ่ม calcium phosphate และใช้ zirconium oxide เป็นสารเพิ่มความทึบรังสี ผลการ

ทดลองพบว่า กลุ่มที่อุดด้วย MTA Fillapex สามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ง่ายกว่า ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์ว่าสาเหตุเนื่องมาจาก TotalFill BC sealer สามารถทำให้เกิดการสะสมแร่ธาตุและการยึดติดที่ดีกับเนื้อฟันมากกว่า MTA Fillapex (14) (ตารางที่ 1) และคลอโรฟอร์มมีผลทำให้เรซินเมทริกซ์ (resin matrix) ใน MTA Fillapex อ่อนตัวส่งผลให้สามารถใช้เครื่องมือในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ง่าย ตามการศึกษาของ Carpenter และคณะ ในปี 2014 (15) ทำการทดลองในฟันหน้าบนที่ได้รับการอุดด้วย MTA Fillapex ร่วมกับกัตตาเปอร์ชา โดยจำแนกกระยะการอุดกัตตาเปอร์ชาเป็นสองรูปแบบ คือ การใช้กัตตาเปอร์ถึงตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน และการใช้กัตตาเปอร์ที่ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร ทำการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันด้วยตัวทำละลายหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (chloroform), เอ็นโดโซลฟ อาร์ (endoSolv R) เป็นตัวทำละลายกลุ่มแอลกอฮอล์อะโรมาติก, เอ็นโดโซลฟ อี (endoSolv E) เป็นตัวทำละลายสำหรับซิลเลอร์กุ่มอีพ็อกซีเรซิน โดยมีส่วนประกอบหลักเป็น dimethylformamide, น้ำมันยูคาลิปทอล (eucalyptol oil) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มโมโนเทอร์พีนอยด์ ชนิดอีเทอร์ (monoterpenoid ether) โดยทำการประเมินผลการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย ผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่ใช้ตัวทำละลายมีความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้มากกว่าโดยคลอโรฟอร์มให้ผลดีที่สุด (ตารางที่ 1)

อีกหนึ่งการศึกษาของ Oltra และคณะในปี 2017 (16) ประเมินความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก และดูการหลงเหลืออยู่ของวัสดุอุดในขั้นตอนการรักษาคลองรากฟัน ข้างของฟันที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย EndoSequence BC sealer เปรียบเทียบกับฟันที่อุดคลองรากฟันด้วย AH plus ภายหลังการใช้และไม่ใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มร่วมกับไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ Vortex Blue (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA) ในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟัน ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย AH Plus ร่วมกับใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม มีวัสดุอุดคลองรากฟัน

หลงเหลือน้อยสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในกลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย EndoSequence BC sealer พบว่า ถ้าใช้ร่วมกับตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม จะมีปริมาณวัสดุอุดคลองรากฟันหลงเหลือน้อยกว่าในกลุ่มที่ไม่ใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม การทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากพบว่าในกลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วย AH Plus ร่วมกับการใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มและไม่ใช้ สามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ถึงร้อยละ 100 ส่วนในกลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย EndoSequence BC sealer ร่วมกับการใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม ทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ร้อยละ 93 แต่พบเพียงร้อยละ 14 ในกลุ่มที่ไม่ใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม (ตารางที่ 1)

จากการรวบรวมผลการศึกษาข้างต้น อาจกล่าวได้ว่าแม้คลอโรฟอร์มไม่สามารถละลายไปโอเซรามิกซิลเลอร์ได้ แต่มีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มโอกาสการลงไปถึงตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน และสามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ (ตารางที่ 1)

2.1.2 ไซลีน (xylene)

ไซลีน (xylene) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติกที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงเบนซีน มีประสิทธิภาพในการทำให้วัสดุอุดคลองรากฟันอ่อนตัว จากการศึกษาของ Sharma และคณะในปี 2022 (17) ทำการทดลองในคลองรากฟันด้านแก้มใกล้กลางของฟันกรามล่างแท้ซี่ที่หนึ่งที่อุดคลองรากฟันด้วยกัตตาเปอร์ชาที่ระยะทำงานของคลองรากฟันร่วมกับ AH Plus หรือ BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, France) เป็นไปโอเซรามิกซิลเลอร์ที่ประกอบด้วยผง tricalcium silicate, zirconium oxide, calcium carbonate และ attapulgite ส่วนของเหลวเป็นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) ของแคลเซียมซิลิเกต ทำการประเมินระยะเวลาในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันจนสามารถใส่เครื่องมือลงไปได้ถึงระยะทำงานของคลองรากฟัน ภายหลังการกำจัดวัสดุอุดด้วยไฟล์แบบหมุนนิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ D-Race (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) ร่วมกับตัวทำละลายไซลีน เปรียบเทียบกับการไม่ใช้ตัวทำละลาย ผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย

AH Plus เมื่อทำการกำจัดวัสดุอุดรวมกับการใช้ตัวทำละลายไฮลีน ใช้เวลาน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งคณะผู้วิจัยวิเคราะห์ว่า BioRoot RCS ก่อให้เกิดการตกตะกอนของอะพาไทต์ ส่งผลต่อการต้านทานการหลุดออกของซีลเลอร์จากเนื้อฟันมากกว่า (18) (ตารางที่ 1)

2.1.3 น้ำมันหอมระเหย (essential oils)

น้ำมันหอมระเหยสามารถละลายกัตตาเปอร์ชาและซีลเลอร์ได้ อีกทั้งมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ การศึกษาของ Tanujaya และคณะในปี 2020 (19) ทำการวัดมวลของไบโอเซรามิกซีลเลอร์ก่อนและหลังการใช้ตัวทำละลายน้ำมันยูคาลิปทอล น้ำมันหอมระเหยส้ม และน้ำมันเกรฟรุต ซึ่งจัดเป็นสารในกลุ่มโมโนเทอร์พีน (monoterpene) ในการทดลองได้ใช้ Sure-Seal Root (SureDent Corp., Korea) เป็นไบโอเซรามิกซีลเลอร์ โดยมีส่วนประกอบหลักเป็น tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium phosphate, zirconium oxide และ silica ซึ่งใช้น้ำกลั่นเป็นกลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่ามวลไบโอเซรามิกซีลเลอร์หลังจากการใช้น้ำมันเกรฟรุต และน้ำมันหอมระเหยส้ม น้อยกว่ามวลไบโอเซรามิกซีลเลอร์หลังจากการใช้น้ำมันยูคาลิปทอล แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างกลุ่มตัวทำละลายทั้งสามกลุ่ม อย่างไรก็ตามผู้วิจัยให้ความเห็นว่าน้ำมันหอมระเหยมีบทบาทในการละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นผลผลิตที่พบเมื่อไบโอเซรามิกซีลเลอร์ก่อตัวสมบูรณ์ จึงส่งผลให้มวลของไบโอเซรามิกก่อนและหลังการสัมผัสตัวทำละลายแตกต่างกัน (ตารางที่ 1)

2.1.4 สารละลายกรด (acid solutions)

จากการศึกษาของ Rezaei และคณะในปี 2023 (20) ประเมินความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากของกลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วย EndoSequence BC sealer เมื่อทำการอุดด้วยกัตตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 1.5 มิลลิเมตร และทำการกำจัดออกด้วยการใช้ไฟล์แบบหมุนนิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ ProTaper gold finisher file (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA) ร่วมกับการใช้ตัวทำละลาย 10% กรดฟอร์มิก ซึ่งเป็นกรดในกลุ่มคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid), 20% กรดไฮโดรคลอริก จัดเป็นกรด

อนินทรีย์แรง (strong mineral acid) และคลอโรฟอร์ม ผลการทดลองพบว่าในกลุ่มที่ใช้ตัวทำละลาย 10% กรดฟอร์มิก และ 20% กรดไฮโดรคลอริก สามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ถึง 100% (ตารางที่ 1)

และมีการสนับสนุนจากการศึกษาของ Garrib และคณะในปี 2020 (21) ที่กล่าวว่า ค่า pH รอบ ๆ เนื้อเยื่อถือเป็นปัจจัยสำคัญในการละลายของไบโอเซรามิกซีลเลอร์ ซึ่งพบว่า EndoSequence BC Sealer มีการละลายที่มากกว่า AH Plus ในสภาวะค่า pH ต่ำ และสารละลายกรดยังสามารถละลายแคลเซียมคาร์บอเนต รวมถึงสลายโครงสร้างผลึกทรงลูกบาศก์ (cubic crystals) ที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นตามการศึกษาข้างต้นอาจจะบอกได้ว่า ความเป็นกรดน่าจะเป็นตัวทำละลายไบโอเซรามิกซีลเลอร์ได้ (ตารางที่ 1)

2.2 การใช้อุปกรณ์เชิงกล

การรักษาคลองรากฟันซ้ำในคลองรากฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซีลเลอร์ พบมีการศึกษาที่ทดสอบการใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม เพื่อช่วยในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันจำนวนมาก เนื่องจากหวังผลให้ขั้นตอนการรักษารวดเร็ว ลดความเหนื่อยล้าของทันตแพทย์ อีกทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการรักษา ปัจจุบันมีการพัฒนาไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียมสำหรับงานรักษาคอนกรีตฟันซ้ำ (retreatment files) โดยเฉพาะ ซึ่งออกแบบให้เหมาะสมต่อการกำจัดวัสดุอุดภายในคลองรากฟัน (11)

การใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม จากการศึกษาของ Koch and Brave ในปี 2009 (22) แนะนำการกำจัดกัตตาเปอร์ชาและวัสดุอุดโดยเริ่มจากการใช้ความร้อน (heated instrument) หรือ การใช้วิธีเชิงกลด้วยเกตส์กลิดเดนดริว (gates glidden drills) โดยมีคำแนะนำให้ใช้วิธีการกรอจากส่วนบนลงสู่ปลายราก (crown down technique) และหลีกเลี่ยงการใช้ Gates Glidden drills ขนาดใหญ่ เนื่องจากเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่อาจทำให้ส่วนต้นของคลองรากฟันมีการขยายขนาดที่ใหญ่เกินความจำเป็น นอกจากนี้ การใช้อัลตราโซนิก (ultrasonic) ร่วมกับการใช้น้ำ ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง สำหรับการกำจัดวัสดุในส่วนต้นของคลองรากฟัน ซึ่งเมื่อกำจัดวัสดุถึงระดับกลางของคลอง

ตารางที่ 1 ตารางแสดงเปรียบเทียบผลของการใช้ตัวทำละลายในการรื้อวัสดุอุดคลองรากฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซีลเลอร์

อ้างอิง	ตัวทำละลาย	ซีลเลอร์	กลไกการทำงาน	ผลการศึกษา
Hess et al., 2011 (12)	- Chloroform	- EndoSequence BC - AH Plus	- ทำให้กัตตาเปอร์ชาและเรซินซีลเลอร์อ่อนตัว - ไม่สามารถละลายไบโอเซรามิกซีลเลอร์ได้	- EndoSequence BC sealer + Single cone ทำความโล่งผ่านปลายราก: 80% (WL), 30% (WL-2 mm) - AH Plus + Warm vertical compaction ทำความโล่งผ่านปลายราก: 100% ทั้งสองตำแหน่ง - SEM พบไบโอเซรามิกซีลเลอร์หลงเหลืออยู่บริเวณ apical foramen
Agrafioti et al., 2015 (13)	- Chloroform	- MTA Fillapex - TotalFill BC	- ทำให้ resin matrix ของซีลเลอร์อ่อนตัว - ส่งผลต่อความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก	- MTA Fillapex ทำความโล่งผ่านปลายรากได้ง่ายกว่า TotalFill BC sealer - TotalFill BC sealer ยึดติดกับเนื้อฟันมากกว่า จึงทำให้กำจัดออกได้ยาก
Carpenter et al., 2014 (15)	- Chloroform, - EndoSolv R, - EndoSolv E, - Eucalyptol oil	- MTA Fillapex	- Chloroform: ทำให้ GP และเรซินซีลเลอร์อ่อนตัวเร็ว - EndoSolv R: ละลาย ZnO-eugenol - EndoSolv E: ละลาย epoxy resin - Eucalyptol: ทำให้ GP อ่อนตัว	- การใช้ตัวทำละลายช่วยเพิ่มความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก - Chloroform ให้ผลดีที่สุด
Oltra et al., 2017 (16)	- Chloroform	- EndoSequence BC - AH Plus	- ทำให้ GP และเรซินซีลเลอร์อ่อนตัว → เอื้อต่อการกำจัดด้วย Ni-Ti rotary file	- AH Plus + Chloroform: วัสดุอุดหลงเหลืออยู่น้อยที่สุด - EndoSequence BC sealer + Chloroform: วัสดุอุดหลงเหลืออยู่น้อยกว่าไม่ใช้ - AH Plus: ทำความโล่งผ่านปลายรากได้ 100% ทั้งใช้ และไม่ใช้ Chloroform - EndoSequence BC sealer: ใช้ Chloroform ทำความโล่งผ่านปลายรากได้ 93%, ไม่ใช้ Chloroform ได้เพียง 14%
Sharma et al., 2022 (17)	- Xylene	- AH Plus - BioRoot RCS	- Aromatic hydrocarbon → ทำให้ GP และ epoxy resin sealer อ่อนตัว	- AH Plus + xylene: ใช้เวลากำจัดวัสดุอุดน้อยที่สุด - BioRoot RCS ใช้เวลานานกว่า เนื่องจากมีการตกตะกอนของ hydroxyapatite ทำให้ยึดติดกับ เนื้อฟัน
Tanujaya et al., 2020 (19)	- Eucalyptol oil, - Orange oil, - Grapefruit oil	- Sure-Seal Root	- ทำให้ GP และองค์ประกอบบางส่วนของ BC sealer อ่อนตัว - ละลาย $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ซึ่งเป็นผลผลิตจาก hydration ของ BC sealer	- Grapefruit oil และ Orange oil ทำให้มวลของ BC sealer ลดลงมากกว่า Eucalyptol oil แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
Rezaei et al., 2023 (20)	- 10% Formic acid, - 20% HCl acid, - Chloroform	- EndoSequence BC	- กรดละลาย CaCO_3 และ hydroxyapatite - สลายโครงสร้างผลึกของ BC sealer	- 10% formic acid และ 20% HCl: ทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ 100%
Garrib et al., 2020 (21)	สารละลายกรด	- EndoSequence BC - AH Plus	- pH ต่ำ → เพิ่มการละลาย BC sealer - กรดละลาย CaCO_3 และสลาย cubic crystals	- BC sealer ละลายได้มากกว่า AH Plus ในสภาวะ pH ต่ำ

รากฟัน (middle-third) เรียบร้อยแล้ว จึงทำการใส่ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ลงในคลองรากฟันเพื่อทำการกำจัด กัดตาเปอร์ชาและวัสดุอุดระดับต่อไป เมื่อทำการใส่ไฟล์จะ รู้สึกถึงแรงต้าน ให้ทำการถอยออกเล็กน้อย จากนั้นใส่ไฟล์ซ้ำ อีก 3 ครั้ง เคลื่อนไฟล์ลงในคลองรากฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร โดยในแต่ละครั้งให้ใช้ไฟล์ขนาดเล็กลงตามลำดับ เมื่อไฟล์ ลงได้ประมาณ 2-3 มิลลิเมตรจากปลายรากฟัน ให้ใช้ไฟล์ ชนิดมือ (hand file) สลับกับการใช้ไฟล์แบบหมุนนิกเกิล-ไทเทเนียม จนถึงตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน อาจใช้ตัวทำลายช่วยกำจัดวัสดุอุดได้หากจำเป็น (รูปที่ 2)

โดยการศึกษาของ Ersev และคณะปี 2012 (23) ทดสอบความสามารถในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันด้วย การใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม เปรียบเทียบระหว่าง ProTaper Universal Retreatment (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) กับเฮดสตรอมไฟล์ (hedstrom file; H-file) ในกลุ่มตัวอย่างที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย Hybrid Root (Sun Medical Co., Ltd., Shiga, Japan) เป็น ซิลเลอร์ชนิดเรซินแบบ self-etching และ dual-cure, SEAL (Kerr Corporation, Brea, CA, USA) เป็นซิลเลอร์ชนิด zinc oxide-eugenol, Activ GP sealer (Brasseler USA, Savannah, GA, USA) เป็นซิลเลอร์ชนิด glass-ionomer-based sealer, AH Plus และ EndoSequence BC Sealer ซึ่งอุดด้วย single-cone technique ผลการศึกษาพบว่าทั้ง การใช้ ProTaper Universal Retreatment และการใช้ H-file ในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันไม่พบความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทางผู้วิจัยกล่าวว่าการใช้ไฟล์ แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียมมีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพเหมือนกับการใช้ไฟล์ชนิดมือ (ตารางที่ 2)

Suk และคณะในปี 2017 (24) ทดสอบการกำจัดวัสดุ อุดคลองรากฟันด้วยการใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ ProTaper Universal Retreatment ในกลุ่มตัวอย่าง ที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย Endosequence BC Sealer, MTA Fillapex, และ AH Plus ผลการศึกษาพบว่าการใช้ไฟล์ แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม มีประสิทธิภาพในการกำจัด วัสดุอุดได้ดีในทุกกลุ่มของซิลเลอร์ โดยพบว่าปริมาณวัสดุ อุดคลองรากฟันเหลือน้อยสุดในกลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟัน ด้วย MTA Fillapex แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติในการกำจัดวัสดุอุดระหว่างการใส่ซิลเลอร์ทั้งสาม ชนิด (ตารางที่ 2)

Donnermeyer และคณะในปี 2018 (25) ทำการ ทดสอบใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ Reciproc (VDW GmbH, Munich, Germany), ระบบ Mtwo retreatment file (VDW GmbH, Munich, Germany) และ ระบบ F6 SkyTaper (Brasseler USA, Savannah, GA, USA) เปรียบเทียบกับการใช้ H-file ในการกำจัดวัสดุอุดคลอง รากฟันในกลุ่มตัวอย่างที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย BioRoot RCS, MTA Fillapex, Endo CPM (Egeo S.R.L., Buenos Aires, Argentina) เป็นไบโอเซรามิกซิลเลอร์ โดยมี ส่วนประกอบหลักเป็น tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium carbonate และ zirconium oxide ร่วมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยา hydration และ AH Plus ผลการศึกษาพบว่า การใช้ H-file ในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันใช้เวลานานกว่าการใช้ ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ Mtwo retreatment file ระบบ Reciproc และระบบ F6 SkyTaper อย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าการอุดคลองรากฟันด้วย AH Plus จะมีปริมาณวัสดุอุดคลองรากฟันหลงเหลือมากที่สุด (ตารางที่ 2)

Romeiro และคณะในปี 2020 (26) ทำการทดลองใช้ ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ Reciproc Blue ใน การกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันที่ทำการอุดด้วย BC sealer และ AH Plus พบว่า การใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม สามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ดี อย่างไรก็ตาม พบว่าความสามารถในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันบริเวณ ส่วนปลายรากฟันจะกำจัดออกได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ บริเวณส่วนกลางและบริเวณส่วนต้นของคลองรากฟันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ เนื่องมาจากไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียมระบบ Reciproc Blue มีการออกแบบหน้าตัดของ เครื่องมือเป็นตัวเอส (s-shaped) และมีความผายของเครื่อง มือที่ใหญ่กว่า (ตารางที่ 2)

สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะในปี 2021 (27) ทำการทดลองใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม 3 ระบบ คือ Protaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Waveone Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) และ Reciproc Blue

ในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันในคลองรากฟันโค้ง ซึ่งทำการอุดคลองรากฟันด้วย iRoot SP (Innovative BioCeramix Inc., Vancouver, BC, Canada) เป็นไบโอเซรามิกซิลเลออร์ ประกอบด้วย tricalcium silicate, dicalcium silicate, zirconium oxide และ calcium phosphate

พบว่าไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ Reciproc Blue สามารถทำการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันส่วนปลายได้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของความ สามารถในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันโดยรวม ระหว่าง ไฟล์ทั้งสามระบบ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงเปรียบเทียบผลของการใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ในการรื้อวัสดุอุดคลองรากฟันที่อุดด้วย ไบโอเซรามิกซิลเลออร์

อ้างอิง	ระบบเครื่องมือ	การเคลื่อนไหว	ซิลเลออร์	สรุปผลการศึกษา: 1) ประสิทธิภาพ 2) เวลา
Ersev et al., 2012 (23)	- ProTaper Universal Retreatment - H-file	- หมุนต่อเนื่อง - ไฟล์ชนิดมือ	- Hybrid Root, - SEAL, - Activ GP, - AH Plus, - EndoSequence BC (match cone)	1) ประสิทธิภาพ: ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่าง ProTaper Universal Retreatment และ H-file ในการรื้อวัสดุอุดทุกชนิดที่ซิลเลออร์ต่างชนิดกัน 2) เวลา: ProTaper Universal Retreatment ให้ความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ H-file โดยเวลาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
Suk et al., 2017 (24)	- ProTaper Universal Retreatment	- หมุนต่อเนื่อง	- EndoSequence BC, - MTA Fillapex, - AH Plus	1) ประสิทธิภาพ: รื้อวัสดุอุดได้ดีทั้ง 3 ชนิด โดย MTA Fillapex ถูกรื้อออกได้มากที่สุด แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 2) เวลา: ไม่มีความแตกต่างของเวลาในการรื้อระหว่าง ซิลเลออร์ทั้งสามชนิด
Donnermeyer et al., 2018 (25)	- Reciproc Blue - Mtwo R - F6 SkyTaper - H-file	- หมุนไป-กลับ (Reciproc) - หมุนต่อเนื่อง (Mtwo, F6) - ไฟล์ชนิดมือ	- BioRoot RCS - MTA Fillapex - Endo CPM - AH Plus	1) ประสิทธิภาพ: Ni-Ti rotary file ทั้ง 3 ระบบรื้อวัสดุอุดได้ดีกว่า H-file อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในส่วน กลางและส่วนต้นของคลองรากฟัน พบ AH Plus มีวัสดุอุดหลงเหลือมากที่สุด 2) เวลา: H-file ใช้เวลานานที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับ Ni-Ti rotary file ทั้งสามระบบ
Romeiro et al., 2020 (26)	- Reciproc Blue	- หมุนไป-กลับ	- BC Sealer, - AH Plus	1) ประสิทธิภาพ: รื้อวัสดุอุดได้ดี แต่ส่วนปลายรากฟัน (apical third) รื้อออกได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ middle และ coronal thirds (อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) 2) เวลา: เวลาในการรื้อไม่รายงานชัดเจน แต่ระบบ Reciproc Blue สามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้อย่างมีประสิทธิภาพ
Chen et al., 2021 (27)	- ProTaper Next - WaveOne Gold - Reciproc Blue	- หมุนต่อเนื่อง - หมุนไป-กลับ	- iRoot SP	1) ประสิทธิภาพ: Reciproc Blue กำจัดวัสดุอุดส่วนปลายรากได้มากที่สุด (ในคลองรากฟันโค้ง) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการใช้ Ni-Ti rotary file ทั้งสามระบบ 2) เวลา: ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง Ni-Ti rotary file ทั้ง 3 ระบบ

มีการแนะนำใช้หัวอัลตราโซนิก (ultrasonic tip) สำหรับการกำจัดวัสดุอุดในคลองรากฟันที่มีลักษณะตรง หรือในบริเวณส่วนต้นของคลองรากฟัน (รูปที่ 2) โดยการศึกษาของ Simsek และคณะในปี 2014 (28) ทดสอบการทำงานของหัวอัลตราโซนิก และ R-Endo files (Micro-Mega, Besançon, France) ในการกำจัดวัสดุอุดในกลุ่มตัวอย่างที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย iRoot SP, MM seal (Micro-Mega, Besançon, France) เป็นซีลเลอร์ชนิดอีพ็อกซีเรซิน และ AH Plus ผลการทดลองพบว่า ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าในกลุ่มตัวอย่างที่ทำการกำจัดวัสดุด้วย R-Endo files จะมีปริมาณวัสดุอุดหลงเหลืออยู่บริเวณส่วนปลายรากฟันน้อยกว่าในกลุ่มตัวอย่างที่ใช้หัวอัลตราโซนิก (ตารางที่ 3)

การศึกษาของ Marinova-Takorova และคณะในปี 2019 (29) ทดสอบการทำงานของไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ Protaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), H-file และ หัวอัลตราโซนิก ในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันที่อุดด้วย MTA Fillapex ผลการทดลองพบว่าหัวอัลตราโซนิก มีความ

สามารถในการกำจัดวัสดุอุด โดยใช้เวลาน้อยสุด เนื่องจากการสั่นของปลายเครื่องมือทำให้เกิดความร้อน ซึ่งส่งผลให้กัตตาเปอร์ชาหลอมละลาย รวมถึงทำให้พันธะของซีลเลอร์สลายได้ (ตารางที่ 3)

2.3 การล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริม (supplementary irrigation)

การกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันออกจากคลองรากฟันทั้งหมดเป็นไปได้ยาก เนื่องจากลักษณะทางกายวิภาคของคลองรากฟันมีความซับซ้อน โดยเฉพาะในคลองรากฟันรูปวงรี (oval canal) จึงมีคำแนะนำให้ใช้การล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริม หลังจากกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันส่วนต้นออกแล้ว เช่น การกระตุ้นของเหลวแบบโซนิก (sonic irrigation), การกระตุ้นของเหลวแบบอัลตราโซนิก (ultrasonic irrigation), XP-endo Finisher, XP-endo Finisher R (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) และ การใช้เลเซอร์ (Laser) ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันที่คงเหลือภายในคลองรากฟัน (30) (รูปที่ 1)

ตารางที่ 3 ตารางแสดงเปรียบเทียบผลของการใช้หัวอัลตราโซนิก ในการรื้อวัสดุอุดคลองรากฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซีลเลอร์

วิธี	อ้างอิง	กลุ่มตัวอย่างและซีลเลอร์ที่ใช้	ผลการทดลอง	สรุปผล
Ultrasonic tip (ESI), R-Endo (MicroMega)	Simsek et al., 2014 (28)	- ฟันรากเดี่ยวและคลองรากฟันตรง - iRoot SP - MM Seal - AH Plus	- ปริมาณวัสดุอุดคลองรากฟันที่เหลืออยู่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ - แต่การใช้ R-Endo files พบมีวัสดุอุดคลองรากฟันเหลือน้อยกว่าในส่วนปลายของคลองรากฟัน	- Ultrasonic เหมาะสำหรับใช้ ในส่วน coronal หรือ middle ส่วน apical แนะนำใช้ NiTi Rotary file หรือ hand file
ProTaper Universal, Hedström file, Ultrasonic tip	Marinova-Takorova et al., 2019 (29)	- คลองรากฟันตรง - MTA Fillapex	- Ultrasonic tip ใช้เวลาน้อยสุดในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟัน เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสั่นของปลายเครื่องมือ ส่งผลให้กัตตาเปอร์ชาหลอมละลายรวมถึงทำให้พันธะของซีลเลอร์สลาย	- ต้องการลดเวลาในการกำจัดวัสดุอุด/เพิ่มประสิทธิภาพ → ใช้ ultrasonic ร่วมกับการใช้ NiTi rotary file และ hand file



รูปที่ 1 แสดงเครื่องมือเสริมที่ช่วยในการล้างคลองรากฟัน (ซ้าย) Passive ultrasonic irrigation, (กลาง) EndoActivator, (ขวา) XP-endo Finisher R

Passive ultrasonic irrigation การทำงานของเครื่องมืออาศัยแรงสั่นด้วยหลักการเกิดฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก (cavitation) และการเกิดไหลวนของกระแสน้ำยารอบอุปกรณ์อย่างรวดเร็ว (acoustic streaming) ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ การใส่ Passive ultrasonic irrigation ลงในคลองรากฟันต้องไม่สัมผัสกับผนังคลองรากฟัน และใส่สั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 1-2 มิลลิเมตร (31) ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นการแกว่งคล้ายลูกตุ้มนาฬิกา (gentle pendulum) ในช่วงแรกจะยังไม่ใช้น้ำยาล้างคลองรากฟัน (ประมาณ 30 วินาที) เพื่อทำให้เกิดความร้อนแกว่งดูดคลองรากฟัน จากนั้นทำการล้างคลองรากฟันด้วย 2.5% โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) 2 มิลลิลิตร ด้วยเข็มเบอร์ 30 (30)

XP-endo Finisher R เป็นลวดโลหะผสม Ni-Ti MaxWire alloy ที่มีความยืดหยุ่นสูง ปลายเครื่องมือขนาด ISO No.30 ความผาย 0% สามารถใส่เครื่องมือลงได้ถึงระยะทำงานของคลองรากฟัน เครื่องมือจะมีลักษณะรูปร่างตรงเมื่ออยู่ในสภาวะ Martensite phase (M-phase) และเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิร่างกายจะเข้าสู่สภาวะ Austenite phase (A-phase) ลักษณะรูปร่างของเครื่องมือจะเปลี่ยนแปลงคล้ายครึ่งวงกลม เมื่อเครื่องมือหมุนในระบบคลองรากฟัน ส่งเสริมการเคลื่อนไหวปัดวนซ้ำ (whipping action) ต่อวัสดุอุดคลองรากฟันที่ยังเหลือค้างอยู่ (32) เริ่มต้นทำการล้างคลองรากฟันด้วย 2.5% โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) 1 มิลลิลิตร โดยใส่ XP-endo Finisher R ในคลองรากฟันตำแหน่งสั้นกว่าระยะ

ทำงานของคลองรากฟันประมาณ 1 มิลลิเมตร ใช้ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที และแรงบิด 1 นิวตัน-เซนติเมตร เคลื่อนที่อย่างช้าๆ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการล้างคลองรากฟันด้วย 2.5% โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) 2 มิลลิลิตร ด้วยเข็มเบอร์ 30 (30)

EndoActivator system (sonic irrigation)

การทำงานอาศัยหลักการเกิดปรากฏการณ์ไฮโดรไดนามิก (hydrodynamic phenomenon) และการเกิดไหลวนของกระแสน้ำยารอบอุปกรณ์อย่างรวดเร็ว (acoustic streaming) ปลายเครื่องมือมีลักษณะยืดหยุ่นทำให้น้ำยาล้างคลองรากฟันสั่นด้วยความถี่ 1-6 กิโลเฮิร์ตซ์ (31)

จากการศึกษาของ Crozeta และคณะในปี 2021 (30) ประเมินประสิทธิภาพการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริมระหว่าง R2 Flatsonic ultrasonic และ XP-endo Finisher R ในการกำจัดวัสดุอุดที่หลงเหลือในคลองรากฟันกรามล่างด้านไกลกลาง ลักษณะตรง และรูปร่างวงรี ซึ่งทำการอุดด้วย AH plus และ BC sealer พบว่า **หลังการใช้ ultrasonic พบมีค่าร้อยละโดยปริมาตร (% volume) ของวัสดุอุดที่เหลืออยู่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในกลุ่มที่ใช้ AH plus และในกลุ่มที่ใช้ BC sealer** การใช้ XP-endo Finisher R พบมีค่าร้อยละโดยปริมาตร (% volume) ของวัสดุอุดที่เหลืออยู่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะในกลุ่มที่ใช้ AH plus แต่ยังไม่พบมีการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริมใดที่สามารถกำจัดวัสดุอุดได้ทั้งหมด โดยการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) แสดงให้เห็นว่าวัสดุอุดที่เหลืออยู่

ส่วนใหญ่พบบริเวณส่วนปลายรากฟัน (apical thirds) ซึ่งหลังจากการใช้ ultrasonic พบมีวัสดุอุดเหลืออยู่น้อยกว่าการใช้ XP-endo Finisher R อาจจะเกี่ยวข้องกับการสั่นที่บริเวณปลายของเครื่องมือ ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานคลื่นเสียง (acoustic transmission) จะส่งผลให้เกิดการสลายและแตกตัวแยกกันของวัสดุอุดที่ยังเหลืออยู่บริเวณผนังคลองรากฟัน อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมให้เกิดความร้อนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุอุดคลองรากฟัน และทำให้วัสดุอุดถูกกำจัดออกมาได้ด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟัน นอกจากนี้รูปร่างสามเหลี่ยมของ ultrasonic tip ที่มีการเคลื่อนที่คล้ายการแกว่งของลูกตุ้ม นาฬิกา ช่วยให้สามารถเข้าทำงานในคลองรากฟันที่มีลักษณะรูปร่างรี หรือในตำแหน่งที่เข้าทำงานไม่ถึง และช่วยทำให้การกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันสะดวกมากขึ้น ส่วน XP-endo Finisher R ทำงานด้วยการเคลื่อนไหวนวดวนซ้ำ ซึ่งส่งเสริมการสีกกร่อนต่อวัสดุอุดคลองรากฟันที่ยังเหลืออยู่ และจากนั้นก็ได้รับการกระตุ้นต่อด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟัน แต่เนื่องจากการทดลองนี้ทำในฟันกรามน้อยล่างซึ่งมีลักษณะคลองรากฟันตรง ทำให้ ultrasonic tip สามารถเข้าทำงานได้ หากทดลองในคลองรากฟันลักษณะโค้งอาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง เนื่องจากปลายเครื่องมือเคลื่อนที่ได้อย่างจำกัด ซึ่งทำให้การทำความสะอาดบริเวณส่วนปลายรากฟันลดลง (ตารางที่ 4)

แต่การศึกษาของ Chanakarn และ Sirawut ในปี 2022 (33) ประเมินประสิทธิภาพการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริม ระหว่างการใช้เข็มล้างแบบดั้งเดิม (conventional syringe irrigation) การใช้ passive ultrasonic irrigation และ การใช้ XP-endo Finisher R ต่อการกำจัดวัสดุอุด ในคลองรากฟันรูปร่างรี ซึ่งทำการอุดด้วย iRoot SP พบว่าในการใช้ XP-endo Finisher R เป็นวิธีเสริมในการล้างคลองรากฟัน ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดวัสดุอุดได้ดีกว่า โดยพบวัสดุอุดเหลืออยู่ในคลองรากฟันน้อยกว่าการใช้ passive ultrasonic irrigation และ การใช้ conventional syringe irrigation ตามลำดับ เนื่องจากความลึกของการใส่เครื่องมือที่สามารถใส่ได้ใกล้กับตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน ซึ่ง XP-endo Finisher R สามารถลงได้ถึงระยะ

ทำงานของคลองรากฟัน ในขณะที่ passive ultrasonic irrigation สามารถลงได้ถึงตำแหน่งความลึกน้อยกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน เพราะมีความเสี่ยงต่อการเกิดเครื่องมือหักในคลองรากฟันที่โค้งได้มากกว่า (ตารางที่ 4)

สอดคล้องกับการศึกษาของ Volponi และคณะในปี 2020 (31) เปรียบเทียบความสามารถของการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริม ในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันซึ่งทำการอุดด้วย Bio-C sealer (Angelus, Londrina, PR, Brazil) เป็นไบโอเซรามิกซิลเลตอร์ ประกอบด้วย tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium phosphate, zirconium oxide และ silica หลังกำจัดวัสดุอุดด้วยไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ Reciproc ระหว่างการใช้ passive ultrasonic irrigation การใช้ EndoActivator (sonic irrigation) และ การใช้ XP-endo Finisher R พบว่า การใช้ XP-endo Finisher R มีปริมาณการกำจัดของวัสดุอุดคลองรากฟันมากกว่าการใช้ passive ultrasonic irrigation และ การใช้ EndoActivator (sonic irrigation) ตามลำดับ โดยอธิบายว่าการที่ XP-endo Finisher R มีความสามารถในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันได้ดีกว่าอีก 2 วิธี เนื่องจาก XP-endo Finisher R สามารถลงไปได้ถึงระยะทำงานของคลองรากฟัน และปลายของ XP-endo Finisher R เมื่อทำงานในคลองรากฟันจะมีลักษณะรูปร่างคล้ายข้อ ทำให้มีความสามารถในการสัมผัสกับบริเวณที่มีความกว้างของคลองรากฟันได้ดี (ตารางที่ 4)

ในปัจจุบันการใช้เลเซอร์มีบทบาทช่วยในการกระตุ้นน้ำยาล้างคลองรากฟัน (laser-activated irrigation) Erbium: yttrium aluminum garnet (Er: YAG) (34) ด้วยโหมดการทำงาน Shock Wave-Enhanced Emission Photoacoustic Streaming (SWEEPS®) โดยประสิทธิภาพการทำงานขึ้นอยู่กับพัลส์สั้นยิ่งยวด (ultrashort pulses) 25 ไมโครวินาที ความถี่การทำซ้ำสูงเป็นพิเศษของพัลส์คู่ที่มีพลังงานต่ำประมาณ 25 ไมโครจูล ส่งผ่านไปยังน้ำยาล้างคลองรากฟัน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเลเซอร์และของเหลวทำให้เกิดการสร้างฟองอากาศ (bubbles) ในน้ำยาล้างคลองรากฟัน และมีการสร้างฟองอากาศอันที่สอง (secondary bubbles) ไปซ้อนทับฟองอากาศแรก ส่งผลให้เกิดคลื่นกระแทก

ตารางที่ 4 ตารางแสดงเปรียบเทียบผลของการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริมในการรื้อวัสดุอุดคลองรากฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซีลเลอร์

วิธีเสริม	อ้างอิง	กลุ่มตัวอย่าง	ซีลเลอร์	ผลการทดลอง
R2 Flatsonic ultrasonic tip, XP-endo Finisher R	Crozeta et al., 2021 (30)	คลองรากฟันด้านไกลกลางในฟันกรามล่างที่มีคลองรากฟันตรง และลักษณะรูปวงรี (micro-CT)	GP + AH Plus GP + BC Sealer	- การใช้ Ultrasonic tips พบมีค่าร้อยละโดยปริมาตรของวัสดุอุดคลองรากฟันที่เหลืออยู่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทั้งในกลุ่มที่ใช้ AH plus และในกลุ่มที่ใช้ไบโอเซรามิกซีลเลอร์ ส่วนการใช้ XP-endo Finisher R พบเฉพาะในกลุ่ม AH plus - พบมีวัสดุอุดคลองรากฟันเหลืออยู่บริเวณปลายรากฟัน Ultrasonic tips < XPR - แต่ไม่พบมีการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริมใดที่สามารถกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันได้ทั้งหมด
XP-endo Finisher R, Passive ultrasonic irrigation, Conventional syringe irrigation	Sinsareekul & Hiran-Us, 2022 (33)	ฟันกรามน้อยล่างที่มี 1 คลองรากฟัน และมีความโค้งน้อยกว่า 5 องศา (micro-CT)	GP + iRoot SP (single-cone)	- พบวัสดุอุดคลองรากฟันที่เหลืออยู่ในคลองรากฟัน CSI > PUI > XPR แสดงว่า XPR ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด - แต่ไม่พบมีการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริมใดที่สามารถกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันได้ทั้งหมด
XP-endo Finisher R, Passive ultrasonic irrigation, EndoActivator	Volponi et al., 2020 (31)	ฟันกรามน้อยล่าง 1 คลองรากฟัน ที่มีคลองรากฟันตรงและมีลักษณะรูปวงรี (micro-CT)	GP + Bio-C Sealer	- ปริมาตรการกำจัดของวัสดุอุดคลองรากฟัน XPR > PUI > EndoActivator - แต่ไม่พบมีการล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริมใดที่สามารถกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันได้ทั้งหมด
Er:YAG, Ultrasonic irrigation, Syringe needle irrigation	Kapetanović et al., 2022 (34)	คลองรากฟันด้านไกลกลางในฟันกรามล่างที่มีลักษณะคลองรากฟันรูปวงรี (micro-CT)	GP + BC sealer (single-cone)	- ทั้งสามวิธีให้ผลในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันลดลงได้พอกัน - พบตัวอย่างที่ไม่มีวัสดุอุดคลองรากฟันคงเหลือ Er:YAG laser (SWEEPS®) : 21.43% Ultrasonic irrigation : 7.14%

ที่มีพลังงานรุนแรง (strong shock waves) ทำให้เกิดการสร้างพลังงานไหลในของเหลวด้วยเลเซอร์(photoacoustic streaming) ช่วยในการกำจัดตะกอนได้ดี ซึ่งได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความโน้มเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดชั้นสเมียร์ (smear layers) และเศษเนื้อฟันจากตำแหน่งที่ซับซ้อนในคลองรากฟัน

มีการศึกษาของ Kapetanovic และคณะในปี 2022 (34) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันซึ่งอุดด้วย BC sealer ระหว่างการใช้เลเซอร์ erbium: yttrium aluminum garnet (Er:YAG laser); Shock Wave-Enhanced Emission Photoacoustic

Streaming (SWEEPS®) การใช้ ultrasonic irrigation และ การใช้เข็มล้างแบบดั้งเดิม (conventional syringe needle irrigation) พบว่าทั้งสามวิธีให้ผลในการกำจัดวัสดุอุดได้ ลดลงใกล้เคียงกัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้ทั้งสามวิธีร่วมกับการรักษาคคลองรากฟันซ้ำแบบดั้งเดิม (conventional retreatment) แสดงให้เห็นว่ามี ประสิทธิภาพในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบมี 3 ตัวอย่างคิดเป็น ร้อยละ 21.43 ไม่มีวัสดุ อุดคลองรากฟันคงเหลือเมื่อใช้ Er:YAG laser และพบมี 1 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 7.14 ไม่มีวัสดุอุดคลองรากฟันคง เหลือเมื่อใช้ ultrasonic irrigation (ตารางที่ 4)

3. ข้อคำนึงของการกำจัดวัสดุไบโอเซรามิก

3.1 วิธีการอุดคลองรากฟัน

จากการศึกษาการรักษาคคลองรากฟันซ้ำในคลอง รากฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซิลเลอร์ พบหลายการศึกษา มี การใช้วิธีการอุดคลองรากฟันที่แตกต่างกัน โดยการศึกษาของ Kfir และคณะปี 2012 (35) เปรียบเทียบปริมาณวัสดุอุดที่หลง เหลืออยู่ในคลองรากฟันระหว่างกลุ่มที่ทำการอุดคลอง รากฟันด้วยวิธี warm vertical compaction กับกลุ่ม ที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วยวิธี lateral compaction ทำการกำจัดวัสดุอุดด้วยการใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล- ไทเทเนียม ระบบ Protaper Universal พบว่า กลุ่มที่ทำการ อุดคลองรากฟันด้วยวิธี warm vertical compaction มีปริมาณวัสดุอุดที่หลงเหลืออยู่ในคลองรากฟันมากกว่า กลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วยวิธี lateral compaction อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากความ ร้อนของวิธีการอุดคลองรากฟันแบบ warm vertical compaction ทำให้กัตตาเปอร์ชาหลอมละลาย และเข้าไป อัดแน่นในท่อเนื้อฟันทำให้กำจัดออกได้ยาก

3.2 ความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก และการลงไปถึงระยะทำงานของคลองรากฟัน

จากการศึกษาของ Hess และคณะในปี 2011 (12) ศึกษาเปรียบเทียบการรักษาคคลองรากฟันซ้ำในฟันที่อุดด้วย EndoSequence BC ร่วมกับ single-cone technique และ

การอุดด้วย AH Plus ร่วมกับ warm vertical compaction technique ที่ตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน และที่ ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร โดยใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม พบว่า กลุ่มที่อุดคลอง รากฟันด้วย EndoSequence BC ร่วมกับ single-cone technique สามารถทำความโล่งผ่านปลายราก ได้ร้อยละ 80 เมื่อใส่กัตตาเปอร์ชาที่ระยะทำงานของคลองรากฟัน และ สามารถทำความโล่งผ่านปลายรากได้ร้อยละ 30 เมื่อใส่กัตตา เพอร์ชาที่ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร ส่วนในกลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วย AH Plus ร่วม กับการทำ warm vertical compaction พบว่าสามารถ ทำความโล่งผ่านปลายราก ได้ร้อยละ 100 ทั้งในกลุ่มที่ใส่ กัตตาเปอร์ชาพอดีที่ระยะทำงานของคลองรากฟัน และในกลุ่ม ที่ใส่กัตตาเปอร์ชาสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร

การศึกษาของ Sharma และคณะในปี 2022 (17) ทำการทดลองในคลองรากฟันด้านแก้มใกล้กลางของฟัน กรามล่างแท้ซี่ที่หนึ่งที่อุดคลองรากฟันด้วยกัตตาเปอร์ชาที่ ระยะทำงานของคลองรากฟันร่วมกับ AH Plus และ BioRoot RCS ภายหลังการกำจัดวัสดุอุดด้วยไฟล์แบบหมุน นิกเกิล- ไทเทเนียม ระบบ D-Race ร่วมกับใช้และไม่ใช้ตัวทำละลาย ไฮลีน พบว่าสามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก และลง ถึงระยะทำงานของคลองรากฟันได้ในทุกกลุ่มตัวอย่าง

ในขณะที่การศึกษาของ Maronga และคณะในปี 2022 (36) ทดลองในกลุ่มตัวอย่างทำการอุดคลองรากฟัน ด้วย TotalFill BC Sealer เปรียบเทียบกับ AH Plus ซึ่งทำ การใส่กัตตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน และตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 3 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าในกลุ่มที่ใส่กัตตาเปอร์ชา ตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน ทั้งในกลุ่มที่ทำการอุด ด้วย TotalFill BC Sealer และ AH Plus สามารถทำให้เกิด ความโล่งผ่านปลายราก และลงถึงระยะทำงานของคลอง รากฟันได้ร้อยละ 100 ส่วนกลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วย AH Plus และใส่กัตตาเปอร์ชาตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของ คลองรากฟัน 3 มิลลิเมตร สามารถทำให้เกิดความโล่งผ่าน ปลายราก และลงถึงระยะทำงานของคลองรากฟันได้ร้อยละ 83

แต่ในกลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย TotalFill BC Sealer และใส่กั๊ตตาเปอร์ชาตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 3 มิลลิเมตร สามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก และลงถึงระยะทำงานของคลองรากฟันได้เพียงร้อยละ 30

ดังนั้น คลองรากฟันที่ได้รับการอุดด้วยไบโอเซรามิกซิลเลอร์ และทำการอุดได้พอดีที่ตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน เมื่อจำเป็นต้องทำการรักษาคลองรากฟันซ้ำ โอกาสที่จะสามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก และลงถึงระยะทำงานของคลองรากฟัน มีมากกว่าในกลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน

3.3 ระยะเวลา

จากการศึกษาของ Maronga และคณะในปี 2022 (36) ทดลองในกลุ่มตัวอย่างทำการอุดคลองรากฟันด้วย TotalFill BC Sealer เปรียบเทียบกับ AH Plus ซึ่งทำการใส่กั๊ตตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน และตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 3 มิลลิเมตร พบว่ากลุ่มที่อุดด้วย TotalFill BC Sealer และใส่กั๊ตตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน ใช้เวลาในการรักษาคลองรากฟันสั้นกว่ากลุ่มตัวอย่างอื่น เมื่อวิเคราะห์จากความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Agrafioti และคณะในปี 2015 (13) ทดลองในกลุ่มตัวอย่างที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย TotalFill BC Sealer และ MTA Fillapex ร่วมกับการใส่กั๊ตตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งระยะทำงานของคลองรากฟัน และการใส่กั๊ตตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร พบว่ากลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย TotalFill BC Sealer และใส่กั๊ตตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งสั้นกว่าระยะทำงานของคลองรากฟัน 2 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการกำจัดวัสดุอุดนานกว่าในกลุ่มอื่น เมื่อวิเคราะห์จากความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก

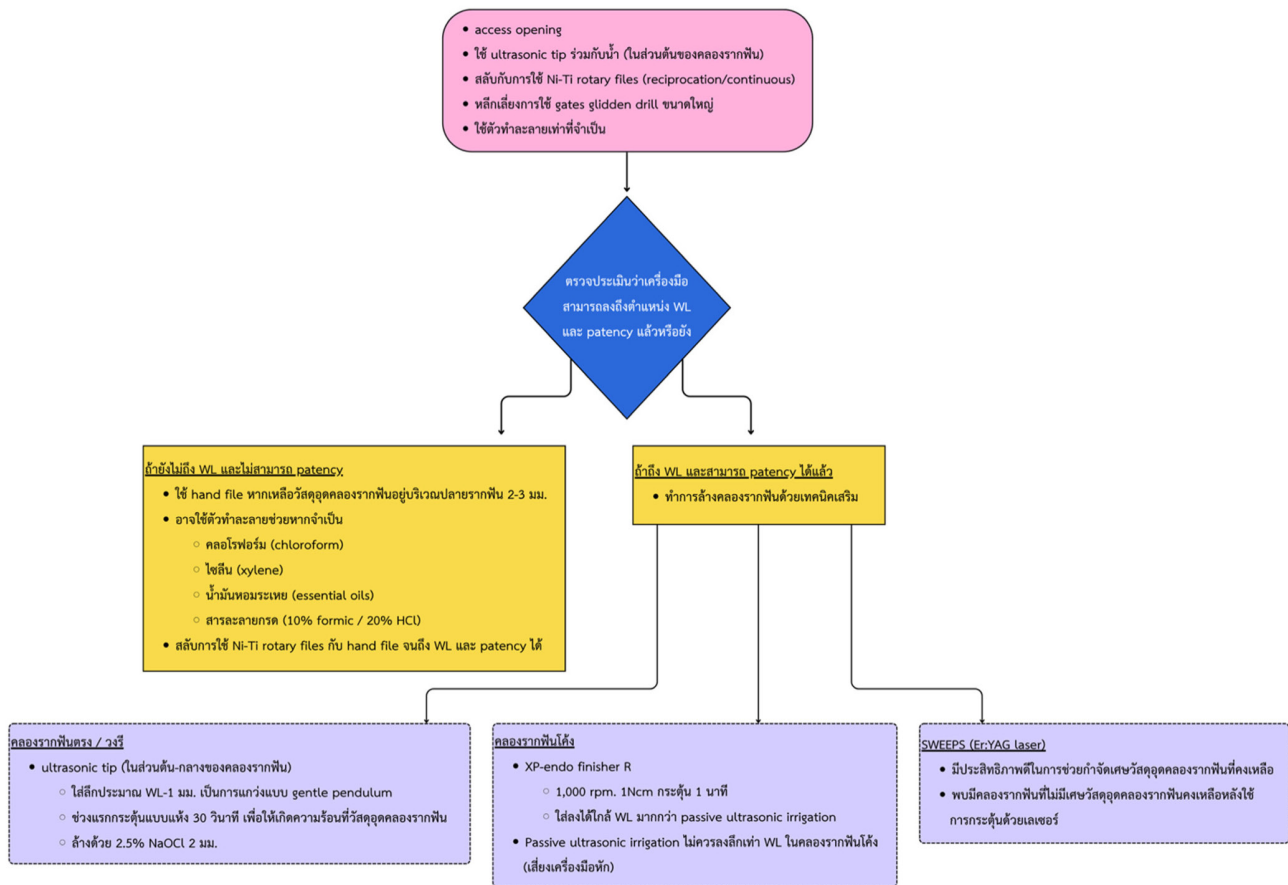
แต่ในการศึกษาของ Neelakantan และคณะในปี 2013 (14) และการศึกษาของ Uzunoglu และคณะในปี 2015 (37) เปรียบเทียบความสามารถการรักษาคลองรากฟัน

ซ้ำในคลองรากฟันที่อุดด้วยซิลเลอร์ต่างชนิดกัน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่ทำการอุดคลองรากฟันด้วย MTA Fillapex ใช้เวลาในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันน้อยสุดเมื่อวิเคราะห์จากความสามารถในการทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายราก อาจเป็นเพราะ MTA Fillapex มีประสิทธิภาพในการสะสมแร่ธาตุ และประสิทธิภาพในการยึดติดกับผนังคลองรากฟันต่ำ จึงกำจัดได้ง่ายกว่าซิลเลอร์ชนิดอื่น โดยส่วนใหญ่การรักษาคลองรากฟันซ้ำในคลองรากฟันที่ทำการอุดด้วยไบโอเซรามิกซิลเลอร์ จะใช้เวลานานกว่ากลุ่มที่ใช้ซิลเลอร์ชนิดอื่น เนื่องจากมีความแข็งแรงหลังจากการก่อตัวเสร็จ

การรักษาคลองรากฟันซ้ำในฟันที่อุดด้วยไบโอเซรามิกซิลเลอร์มักใช้เวลานานกว่าการกำจัดวัสดุอุดที่ใช้ซิลเลอร์ชนิดอื่น เนื่องจากวัสดุกลุ่มนี้มีความแข็งแรงสูงหลังการก่อตัวสมบูรณ์และเกิดการยึดติดกับเนื้อฟันมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การใส่กั๊ตตาเปอร์ชาที่ตำแหน่งระยะทำงานยิ่งเพิ่มระยะเวลาในการกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ไบโอเซรามิกซิลเลอร์ร่วมด้วย

4. บทสรุป

การกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันกลุ่มไบโอเซรามิกซิลเลอร์เมื่อทำการรักษาคลองรากฟันซ้ำแบบไม่ทำการผ่าตัด (non-surgical root canal retreatment) มีข้อจำกัด ปัจจุบันยังไม่มีวิธีใดสามารถกำจัดวัสดุอุดคลองรากฟันออกได้สมบูรณ์ มีคำแนะนำการใช้ ultrasonic tip กำจัดวัสดุอุดในส่วนต้นของคลองรากฟัน ตามด้วยการใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบหมุนไป-กลับ ร่วมกับการใช้ไฟล์ชนิดมือ ในการกำจัดวัสดุอุดจนถึงส่วนปลายของคลองรากฟัน โดยอาจพิจารณาใช้ตัวทำลายละลาย เช่น กรดฟอร์มิก 10% และกรดไฮโดรคลอริก 20% ร่วมในการกำจัดวัสดุ นอกจากนี้ การล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริม ได้แก่ การใช้ XP-endo Finisher R การกระตุ้นของเหลวแบบอัลตราโซนิค การกระตุ้นของเหลวแบบโซนิค และการกระตุ้นการล้างด้วยเลเซอร์ (laser-activated irrigation) ช่วยส่งเสริมให้การกำจัดเศษวัสดุอุดคลองรากฟันคงเหลือดีขึ้น ซึ่งอาจเพิ่มอัตราความสำเร็จในการรักษาคลองรากฟันซ้ำ (รูปที่ 2)



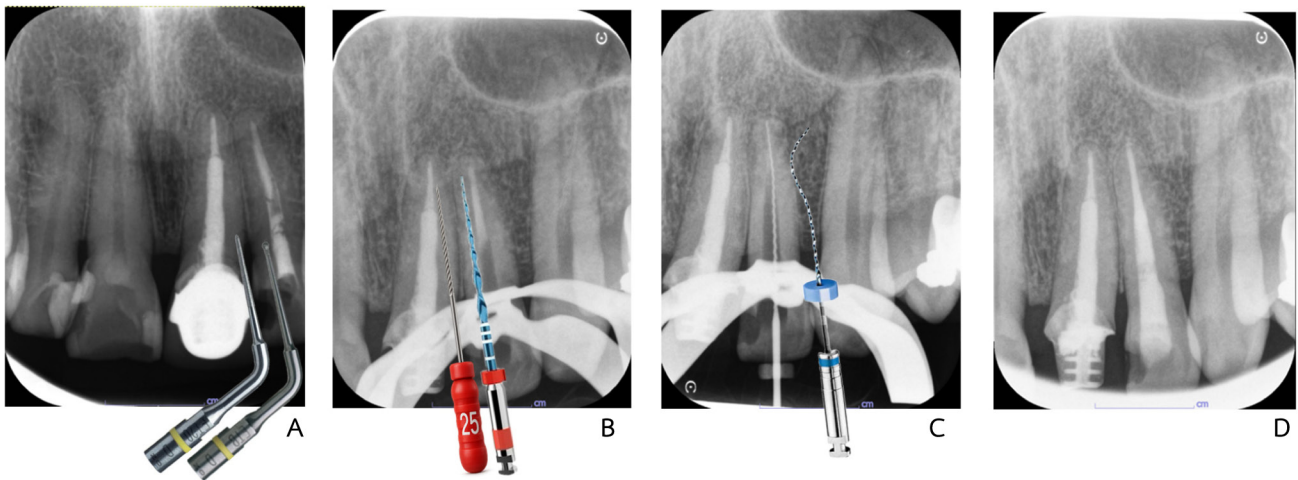
รูปที่ 2 แผนผังแสดงหลักการและวิธีการ สำหรับการรักษาคอนกรกฟันซี่ในคลองกรกฟันที่อุดด้วยไปโอเซรามิกซิลเลอร์

ตัวอย่างกรณีศึกษา

ผู้ป่วยชายไทยอายุ 66 ปี ฟันซี่ 22 ได้รับการรักษาคอนกรกฟันด้วยวัสดุกลุ่มไปโอเซรามิกซิลเลอร์และปักเคียวฟันชนิดไฟเบอร์โพสต์ (fiber post) เป็นระยะเวลา 10 ปี ไม่ได้รับการบูรณะด้วยครอบฟัน วัสดุอุดชั่วคราวหลุดและเกิดการรั่วซึมเข้าสู่ภายในวัสดุอุดคลองกรกฟัน จึงได้ส่งตัวเข้ารับการรักษาคลองกรกฟันซี่ ทันทแพทย์วางแผนการรักษา ขั้นตอนการกำจัดวัสดุอุดคลองกรกฟันด้วยการใช้หลายวิธีร่วมกัน โดยเริ่มจากการรื้อเคียวฟันด้วยหัวอัลตราโซนิก เบอร์ ET18D / ETBD (Acteon) และทำการกำจัดกักตาดเปอร์ชาในส่วนต้นของคลองกรกฟันด้วยวิธีการเชิงกลโดยใช้หัวอัลตราโซนิก เบอร์ ET20 จากนั้นทำการกำจัดวัสดุอุดในส่วนกลางของคลองกรกฟันด้วยไฟล์แบบหมุนนิกเกิล-ไทเทเนียม ระบบ Reciproc Blue ขนาด 25 สลับกับการใช้ H-file จนสามารถ

ทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ ทำการล้างคลองกรกฟันด้วยวิธีเสริม ด้วย XP-endo Finisher R พบว่าสามารถกำจัดวัสดุอุดคลองกรกฟันเดิมออกได้เมื่อตรวจสอบด้วยภาพถ่ายทางรังสี หลังจากนั้นจึงทำการรักษาคอนกรกฟันต่อ และทำการอุดคลองกรกฟันใหม่ด้วยวิธี warm vertical compaction ร่วมกับ AH Plus

กรณีศึกษานี้เลือกวิธีในการกำจัดวัสดุอุดคลองกรกฟันแบบผสมผสาน เนื่องจากภายหลังการรื้อเคียวฟัน พบวัสดุอุดคลองกรกฟันที่มีลักษณะค่อนข้างแข็ง จึงวางแผนพิจารณากำจัดกักตาดเปอร์ชาส่วนต้นของคลองกรกฟันด้วยวิธีการเชิงกลโดยใช้หัวอัลตราโซนิก ตามการศึกษาของ Marinova-Takorova และคณะในปี 2019 (29) ที่อธิบายถึงผลของความร้อนจากการสั่นของปลายเครื่องมือทำให้กักตาดเปอร์ชาหลอมละลาย รวมถึงทำให้ฟันระของซิลเลอร์สลายได้



รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายทางรังสีฟันซี่ 22 ที่ได้รับการรักษารากฟันซ้ำ โดยรีดเดือฟันด้วย ET18D/ETBD และกำจัดกัตาเปอร์ชาส่วนต้นด้วย ET20 (A), กำจัดวัสดุอุดส่วนกลางด้วย Ni-Ti Rotary file ระบบ Reciproc Blue สลับกับการใช้ H-file (B), ล้างคลองรากฟันด้วยวิธีเสริม ด้วย XP-endo Finisher R (C) และอุดคลองรากฟันด้วยวิธี warm vertical compaction ร่วมกับ AH Plus (D)

ส่วนการกำจัดวัสดุอุดบริเวณส่วนกลาง และส่วนปลายของคลองรากฟัน อาศัยหลักการเชิงกลตามการศึกษาของ Ersev และคณะปี 2012 (23) และการศึกษาของ Suk และคณะในปี 2017 (24) ที่สนับสนุนการใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียมเนื่องจาก ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือดีกว่าการใช้ไฟล์ชนิดหมุนด้วยมือ อีกทั้งมีความรวดเร็ว โดยในกรณีศึกษาเลือกใช้ไฟล์แบบหมุน นิกเกิล-ไทเทเนียมระบบ Reciproc Blue เนื่องจาก สามารถทำให้เกิดความโล่งผ่านปลายรากได้ดี ใช้เวลาในการกำจัดวัสดุอุดได้น้อยกว่า และสามารถกำจัดวัสดุอุดส่วนปลายได้มากกว่าระบบอื่น (26, 27) นอกจากนี้ยังมีการนำ XP-endo Finisher R มาใช้เป็นวิธีเสริมในการล้างคลองรากฟัน เพื่อช่วยให้การกำจัดวัสดุที่หลงเหลือมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเมื่อทำงานในคลองรากฟันปลายของเครื่องมือจะมีลักษณะรูปร่างคล้ายข้อ ทำให้มีความสามารถในการสัมผัสกับบริเวณที่มีความกว้างของคลองรากฟันได้ดี (31, 33) ซึ่งแนวทางการรักษาทั้งหมดนี้สามารถกำจัดวัสดุอุดชนิดไบโอเซรามิกออกจากคลองรากฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอทางคลินิก ส่งผลให้สามารถรักษารากฟันซ้ำต่อได้ประสบความสำเร็จ

Acknowledgment

ไม่มี

Funding source

ไม่มี

Conflict of interest

ผู้เขียนขอประกาศว่าไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

บรรณานุกรม

1. 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: 583–609.
2. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival. *Int Endod J*. 2011;44:610–25.

3. Khedmat S, Azari A, Shamschiri AR, Fadae M, Bashizadeh Fakhar H. Efficacy of ProTaper and Mtwo Retreatment Files in Removal of Gutta-percha and GuttaFlow from Root Canals. **Iran Endod J.** 2016;11:184–7.
4. Kim K, Kim DV, Kim SY, Yang S. A micro-computed tomographic study of remaining filling materials of two bioceramic sealers and epoxy resin sealer after retreatment. **Restor Dent Endod.** 2019;44:e18.
5. Kim SR, Kwak SW, Lee JK, Goo HJ, Ha JH, Kim HC. Efficacy and retrievability of root canal filling using calcium silicate-based and epoxy resin-based root canal sealers with matched obturation techniques. **Aust Endod J.** 2019; 45:337–45.
6. B S, Gopikrishna V. Grossman's Endodontic Practice - 13th edition. Philadelphia: Wolters Kluwer / Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
7. ISO 6876: 2012. Dental root canal sealing materials. 2001.
8. Gandolfi MG, Iacono F, Agee K, Siboni F, Tay F, Pashley DH, et al. Setting time and expansion in different soaking media of experimental accelerated calcium-silicate cements and ProRoot MTA. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.** 2009;108:e39–45.
9. Haapasalo M, Parhar M, Huang X, Wei X, Lin J, Shen Y. Clinical use of bioceramic materials. **Endodontic Topics.** 2015;32:97–117.
10. Al Akam H, Kim HC, Jeong JW. Retreatment Strategies for Cases Containing Calcium Silicate-Based Root Canal Sealers: A Comprehensive Review. **Dent J (Basel).** 2024;12.
11. Ajina MA, Shah PK, Chong BS. Critical analysis of research methods and experimental models to study removal of root filling materials. **Int Endod J.** 2022;55:119–52.
12. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. **J Endod.** 2011;37:1547–9.
13. Agrafioti A, Koursoumis AD, Kontakiotis EG. Re-establishing apical patency after obturation with Gutta-percha and two novel calcium silicate-based sealers. **Eur J Dent.** 2015;9:457–61.
14. Neelakantan P, Grotra D, Sharma S. Retreatability of 2 mineral trioxide aggregate-based root canal sealers: a cone-beam computed tomography analysis. **J Endod.** 2013;39:893–6.
15. Carpenter MT, Sidow SJ, Lindsey KW, Chuang A, McPherson JC, 3rd. Regaining apical patency after obturation with gutta-percha and a sealer containing mineral trioxide aggregate. **J Endod.** 2014;40:588–90.
16. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, EndoSequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. **Restor Dent Endod.** 2017;42(1):19–26.
17. Sharma S, Raghu R, Shetty A, Rajasekhara S, Lakshmisetty H, Bharath G. An in vitro comparative evaluation of retreatability of a bioceramic and resin sealer using cone-beam computed tomography analysis. **Endodontology.** 2022;34:173.
18. Baranwal HC, Mittal N, Garg R, Yadav J, Rani P. Comparative evaluation of retreatability of bioceramic sealer (BioRoot RCS) and epoxy resin (AH Plus) sealer with two different retreatment files: An in vitro study. **J Conserv Dent Endod.** 2021;24:88–93.

19. Tanujaya C, Aryadi, Hardini N. Efficacy of eucalyptus oil (*Eucalyptus globulus*), sweet orange oil (*Citrus sinensis*), and grapefruit oil (*Citrus paradisi*) as bioceramic sealer solvents. **Sci Dent J**. 2020;4:120.
20. Rezaei G, Liu X, Jalali P. Efficacy of Different Solvents for Achieving Patency in Teeth Obturated Using Bioceramic Sealer. **J Endod**. 2023;49:219–23.
21. Garrib M, Camilleri J. Retreatment efficacy of hydraulic calcium silicate sealers used in single cone obturation. **J Dent**. 2020;98:103370.
22. Koch KA, Brave D. EndoSequence: melding endodontics with restorative dentistry, part 3. 2009;28:88, 90, 2 passim.
23. Ersev H, Yilmaz B, Dinçol ME, Dağlaroğlu R. The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. **Int Endod J**. 2012;45: 756–62.
24. Suk M, Bago I, Katić M, Šnjarić D, Munitić M, Anić I. The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming in the removal of calcium silicate-based filling remnants from the root canal after rotary retreatment. **Lasers Med Sci**. 2017;32:2055–62.
25. Donnermeyer D, Bunne C, Schäfer E, Dammaschke T. Retreatability of three calcium silicate-containing sealers and one epoxy resin-based root canal sealer with four different root canal instruments. **Clin Oral Investig**. 2018; 22:811–7.
26. Romeiro K, de Almeida A, Cassimiro M, Gominho L, Dantas E, Chagas N, et al. Reciproc and Reciproc Blue in the removal of bioceramic and resin-based sealers in retreatment procedures. **Clin Oral Investig**. 2020;24:405–16.
27. Chen Y, Tian W, Wang L, Qi F, Sun M, Li R, et al. Evaluation of Three Ni-Ti Systems in Retreatment of Curved Root Canals Obturated by Gutta-Percha With iRoot SP2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-258140/v1>.
28. Simsek N, Keles A, Ahmetoglu F, Ocak MS, Yologlu S. Comparison of different retreatment techniques and root canal sealers: a scanning electron microscopic study. **Braz Oral Res**. 2014;28.
29. Marinova-Takorova M, Radeva E, Kisyova I, Naseva E. Retreatment of Teeth Filled With Single Cone Technique And MTA Based Sealer-Comparison Of The Effectiveness Of Different Retreatment Techniques (In Vitro Study). **Journal of IMAB - Annual Proceeding (Scientific Papers)**. 2019;25:2379–83.
30. Crozeta BM, Lopes FC, Menezes Silva R, Silva-Sousa YTC, Moretti LF, Sousa-Neto MD. Retreatability of BC Sealer and AH Plus root canal sealers using new supplementary instrumentation protocol during non-surgical endodontic retreatment. **Clin Oral Investig**. 2021;25:891–9.
31. Volponi A, Pelegri RA, Kato AS, Stringheta CP, Lopes RT, Silva ASS, et al. Micro-computed Tomographic Assessment of Supplementary Cleaning Techniques for Removing Bioceramic Sealer and Gutta-percha in Oval Canals. **J Endod**. 2020;46:1901–6.
32. Silva E, Belladonna FG, Zuolo AS, Rodrigues E, Ehrhardt IC, Souza EM, et al. Effectiveness of XP-endo Finisher and XP-endo Finisher R in removing root filling remnants: a micro-CT study. **Int Endod J**. 2018;51:86–91.

33. Sinsareekul C, Hiran-us S. Comparison of the efficacy of three different supplementary cleaning protocols in root-filled teeth with a bioceramic sealer after retreatment—a micro-computed tomographic study. **Clin Oral Investig.** 2022;26:3515–21.
34. Kapetanović Petričević G, Katić M, Brzović Rajić V, Anić I, Bago I. The Efficacy of Er:YAG Laser-Activated Shock Wave-Enhanced Emission Photoacoustic Streaming Compared to Ultrasonically Activated Irrigation and Needle Irrigation in the Removal of Bioceramic Filling Remnants from Oval Root Canals-An Ex Vivo Study. **Bioengineering (Basel).** 2022;9.
35. Kfir A, Tsesis I, Yakirevich E, Matalon S, Abramovitz I. The efficacy of five techniques for removing root filling material: microscopic versus radiographic evaluation. **Int Endod J.** 2012;45:35–41.
36. Maronga G, Ahmed S, Saayman CM, Irari KW. Retreatability of root canals obturated using a bioceramic sealer and gutta percha. **S Afr Dent J.** 2022;77:77–84.
37. Uzunoglu E, Yilmaz Z, Sungur DD, Altundasar E. Retreatability of Root Canals Obturated Using Gutta-Percha with Bioceramic, MTA and Resin-Based Sealers. **Iran Endod J.** 2015;10:93–8.