การรักษาคลองรากฟันแท้ที่เนื้อเยื่อในโพรงฟันตายจากอุบัติเหตุและปลายรากเจริญไม่สมบูรณ์ด้วยวิธีเอ็มทีเอ เอเพ็กซิฟิเคชั่น

ภิญญดา ชูใหม่ ทบ., ป. บัณฑิต (ทันตกรรมคลินิก) วิทยาเอ็นโดดอนต์
กลุ่มงานทันตกรรม โรงพยาบาลบางขัน
Received: April 16, 2020; Revised: April 25, 2020; Accepted: May 20, 2020.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของการรักษาคลองรากฟันหลังจากการทำความสะอาดแล้วคือการอุดคลองรากฟันให้มีความแนบสนิทเพื่อป้องกันการติดเชื้อซ้ำ ในฟันไม่มีชีวิตที่มีการเจริญของของปลายรากฟันไม่สมบูรณ์ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุฟันผุ อุบัติเหตุ หรือพยาธิสภาพอื่นๆนั้นมีความยากในการทำความสะอาดด้วยไฟล์มาตรฐานและอาจทำให้วัสดุอุดเกินออกจากคลองรากฟันเนื่องจากไม่มีแนวกั้นปลายราก การรักษาด้วยวิธีเอ็มทีเอ เอเพ็กซิฟิเคชั่นเป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษาเนื่องจากข้อดีของวัสดุคือ มีความแนบสนิทที่ดี มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ ส่งเสริมการสร้างเนื้อเยื่อแข็ง รายงานนี้แสดงถึงความสำเร็จในการรักษาฟันไม่มีชีวิตเนื่องจากอุบัติเหตุของฟันแท้ซี่ตัดกลางหน้าบนขวาที่ปลายรากฟันเจริญไม่สมบูรณ์ด้วยวิธีเอ็มทีเอ เอเพ็กซิฟิเคชั่น ในผู้ป่วยเด็กอายุ 9 ปี

คำสำคัญ: เอ็มทีเอ เอเพ็กซิฟิเคชั่น

Root Canal Treatment of Pulp Necrosis in Traumatized Immature Permanent Tooth using MTA Apexification

Pinyada Choomai, DDS, Grad. Dip. (Clinical Dentistry)Endodontics

Dental Department, Bangkhan Hospital

Abstract

The main objective of root canal treatment after cleaning and shaping is complete obturation of root canal space to prevent reinfection. In teeth with pulp necrosis and incomplete root formation caused by caries, trauma or other pathological condition, cannot be disinfected properly with standard file and the lack of apical constriction makes control of filling materials difficult. MTA apexification is an alternative treatment because of the advantages of material enhancement sealing ability, biocompatibility and hard tissue forming capacity. This report presents the clinical success of MTA apexification in non vital traumatized and immature permanent upper right central incisor tooth, in the patient at the age of 9

Key word: MTA apexification

บทนำ

การสร้างรากฟันจะเริ่มขึ้นภายหลังจากการที่มีการสร้างชั้นเคลือบฟัน(Enamel)และเนื้อฟัน(Dentin)ถึงบริเวณรอยต่อของชั้นเคลือบตัวฟันและเคลือบรากฟัน(Cementoenamel junction) โดยเยื่อหุ้มผิวรากเฮิร์ตวิก(Hertwig's epithelial root sheath) จะเป็นตัวเริ่มในการสร้างรากฟัน เมื่อรากฟันมีความยาวที่เพียงพอแล้วเยื่อหุ้มผิวรากเฮิร์ตวิกจะหายไปแต่จะยังมีการสะสมของเนื้อฟันต่อโดยเซลล์โอดอนโตบลาสต์(Odontoblast) และภายในส่วนของรากฟันมีเซลล์ซีเมนต์โตบลาสต์ (Cementoblast) สร้างเคลือบรากฟันมาปิดบริเวณปลายรากต่อไป ระยะเวลาของการสร้างรากฟันได้เสร็จสมบูรณ์ในฟันแท้จะใช้เวลาประมาณ 3 ปี หลังจากฟันงอกขึ้นในช่องปาก[1] หากมีการรบกวนกระบวนการสร้างรากฟัน เช่น ฟันผุ ได้รับอุบัติเหตุ จนทำให้ฟันตายการสร้างรากฟันจะหยุดลงเกิดเป็นลักษณะปลายรากฟันเปิดและไม่สมบูรณ์

วัตถุประสงค์หลักของการรักษาคลองรากฟันหลังจากการกำจัดเชื้อที่ก่อให้เกิดพยาธิสภาพแล้ว คือ การอุดคลองรากฟันอย่างสมบูรณ์เพื่อฝังกลบเชื้อโรคและป้องกันการติดเชื้อซ้ำ[2] แต่ในกรณีฟันตายและปลายรากฟันเปิดกว้าง การรักษาฟันลักษณะดังกล่าวมีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าปกติ เนื่องจากการทำความสะอาด และการกำจัดเชื้อด้วยไฟล์ปกติตามมาตรฐานเป็นไปได้ยากและปลายรากฟันไม่มีแนวกั้น ทำให้วัสดุอุดคลองรากฟันเกินส่งผลให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อปริทันต์ อีกทั้งผนังคลองรากฟันบาง มีความยาวน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนตัวฟันเสี่ยงต่อรากฟันแตกหัก[3]

การทำเอเพคซิฟิเคชั่น (Apexification) เป็นกระบวนการเหนี่ยวนำให้ปลายรากปิดโดยการสร้างเนื้อเยื่อแข็ง (Hard tissue formation)และเกิดแนวกั้นในบริเวณปลายรากในฟันปลายรากที่มีการเจริญไม่สมบูรณ์และมีการตายของเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน ในอดีตสามารถทำได้โดยวิธีใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นระยะเวลานานเพื่อกระตุ้นให้เกิดการเจริญต่อของปลายรากฟัน ซึ่งปัญหาที่พบคือการใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นระยะเวลานานอาจส่งผลให้เนื้อฟันอ่อนแอ[4] จึงมีการนำเสนอให้ใช้เซรามิกชีวภาพ(Bioceramic)อุดบริเวณปลายรากเพื่อเป็นตัวกั้นเทียม (Artificial barrier)ซึ่งมีข้อดีคือ ลดเวลาการทำงาน สามารถบูรณะฟันได้ทันทีและไม่ส่งผลเสียต่อเนื้อฟันในระยะยาว

มิเนอรัลไตรออกไซด์แอ็กกรีเกรต (Mineral Trioxide Aggregate : MTA) เป็นเซรามิกชีวภาพคิดค้นและพัฒนาขึ้นโดย Torabinajad และคณะในปี ค.ศ.1993 ที่มหาวิทยาลัยโลมาลินดา (Loma Linda University) เพื่อใช้เป็นวัสดุอุดย้อนปลายรากฟัน (Root end filling material) บริษัทผู้ทำการผลิตคือ Tulsa Dental Products, Tulsa, OK, USA โดยผลิตในชื่อการค้า ProRoot® MTA[5] คุณสมบัติมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (Biocompatibility) คือเป็นพิษต่อเซลล์น้อย เมื่อสัมผัสเนื้อเยื่อจะทำให้เกิดการอักเสบเพียงเล็กน้อยหรือไม่เกิดเลย[6] สามารถส่งเสริมการสร้างเนื้อเยื่อแข็ง (Hard tissue-forming capacity) เช่น การกระตุ้นซีเมนโตบลาสต์ (Cementoblast) ให้สร้างเคลือบรากฟัน รวมถึงการกระตุ้นให้เกิดการสร้างสะพานเนื้อฟัน (Dentine bridge) อีกทั้งยังมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยเอ็มทีเอมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน(Facultative anaerobe) เช่น สเตรปโตคอคคัสไมติส (Streptococcus mitis) สเตรปโตคอคคัสมิวแทน (Streptococcus mutan) สเตรปโตคอคคัสซาไลวาเรียส(Streptococcus salivarious) สแตฟฟิโลค็อกคัสเอพิเดิมิดิส (Staphylococcus epidermitis) และแบคทีเรียสปีชีส์แลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus species) เป็นต้น โดยพบว่าฤทธิ์ต้านเชื้อของเอ็มทีเอที่เกิดขึ้นภายหลังการผสมเสร็จสิ้นจะมีมากกว่าเมื่อเกิดการแข็งตัวแล้วซึ่งอาจเป็นเพราะค่า pH ของเอ็มทีเอสูงขึ้นในขณะเกิดการแข็งตัว[7]

เนื่องจาก MTA มีคุณสมบัติที่เหมาะสมทั้งในแง่ของกายภาพและชีวภาพจึงทำให้ได้รับความนิยมในการนำมาใช้รักษาทางเอ็นโดดอนติกส์ เช่น การรักษาเนื้อเยื่อในที่ยังคงมีชีวิต (Vital pulp therapy) การซ่อมรูทะลุ (Perforation repair) การรักษาฟันที่มีการละลายของราก (Root resorption)[8-10] และการรักษาคลองรากฟันตายปลายรากเปิด (Apexification) [11] ตัวอย่างการศึกษาโดย Simon และคณะ[12] ที่ทำการติดตามผลการรักษาโดยการใช้เอ็มทีเอเป็นตัวกั้นเทียม (Artificial barrier)ในผู้ป่วยจำนวน 50 คน เป็นระยะเวลา 6 เดือน 12 เดือนและทุกปีโดยพิจารณาจากภาพรังสี พบว่ารอยโรคปลายรากมีการเปลี่ยนแปลงโดยขนาดรอยโรคปลายรากเล็กลงจำนวนร้อยละ 81 แต่อย่างไรก็ตามเอ็มทีเอยังมีข้อด้อยคือใช้เวลาในการก่อตัวนานใช้งานยาก เนื่องจากต้องผสมให้ได้ตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ และมีผลทำให้เนื้อฟันเปลี่ยนสี[13, 14]

รายงานผู้ป่วย

รายงานนี้เป็นการนำเสนอผลสำเร็จของการรักษาคลองรากฟันตายและปลายรากเปิดด้วยวิธี เอ็มทีเอ เอเพคซิฟิเคชั่น (MTA Apexification) ในผู้ป่วย 1 ราย

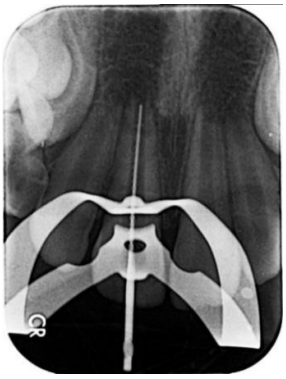
ผู้ป่วยเด็กชายอายุ 9 ปี อาการสำคัญปวดฟันซี่ตัดกลางหน้าบนขวา(ซี่ 11) มาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ มีอาการปวดมากขึ้นขณะดื่มน้ำเย็นและอาการจะยังคงอยู่เป็นระยะเวลาประมาณ 30 วินาที ซักประวัติ 1 เดือนก่อนหกล้มฟันหน้ากระแทกจนเป็นเหตุให้ปลายฟันบิ่นและไปอุดฟันกับทันตแพทย์ที่คลินิก การตรวจทางคลินิกพบลักษณะปลายฟันอุดวัสดุด้วยคอมโพสิตด้านใกล้กลางถึงปลายฟัน (Mesioincisal) ฟันเปลี่ยนสี (ภาพทางคลินิกที่ 1,2) เคาะปวดคลำไม่ปวด ไม่ตอบสนองต่อการวัดความมีชีวิตของฟันด้วยไฟฟ้า (Electric pulp test) ไม่โยก ไม่พบรูเปิดของหนอง ไม่พบร่องลึกปริทันต์อักเสบ จากภาพรังสีแสดงลักษณะทึบรังสีบริเวณด้าน Mesioincisal ปลายรากฟันยังสร้างไม่สมบูรณ์ ไม่มีเงาดำบริเวณปลายรากฟัน (ภาพทางรังสีที่ 1)

ภาพทางคลินิกที่ 1 และ 2 แสดงลักษณะฟันซี่ 11 ก่อนการรักษา

ภาพทางรังสีที่ 1 เริ่มต้นก่อนการรักษา

การวินิจฉัยฟันซี่ 11 คือ ฟันตายและมีอาการอักเสบบริเวณเนื้อเยื่อปริทันต์ปลายราก (Pulp necrosis with symptomatic apical periodontitis) การวางแผนการรักษาคลองรากฟันด้วยวิธี MTA apexification และส่งต่อทันตแพทย์เฉพาะทางทันตกรรมประดิษฐ์บูรณะโดยการปักเดือยฟัน แกนฟัน และตัวฟันด้วยวัสดุคอมโพสิตอธิบายผู้ปกครองผู้ป่วยเข้าใจและยินยอมให้การรักษา นัดผู้ป่วยมาทำการรักษาในครั้งแรกโดยการใส่ยาชาเฉพาะที่ ใส่แผ่นยางกันน้ำลาย เปิดทางเข้าสู่รากฟันพบลักษณะเนื้อเยื่อในฟันตายวัดความยาวรากฟันด้วยการใส่ไฟล์เบอร์ 30 และถ่ายภาพรังสี (ภาพทางรังสีที่ 2) ความยาวการทำงาน 20 มิลลิเมตร ทำความสะอาดเตรียมคลองรากด้วยวิธี

มาตรฐาน (standard technique)ถึงไฟล์เบอร์ 80 ทำการล้างด้วยน้ำยาล้างคลองรากฟันโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ซับคลองรากฟันให้แห้งและใส่แคลเซียมไฮดรอกไซด์แบบสำเร็จรูป (Ultracal™) จนเต็มคลองรากฟันปิดทับด้วยวัสดุอุดชั่วคราว และนัดผู้ป่วยมาอีก 1 เดือน



ภาพทางรังสีที่ 2 แสดงการวัดความยาวราก

ผู้ป่วยมาตามนัดเมื่อครบกำหนด 1 เดือน ทำการตรวจฟันไม่มีอาการใด เคาะและคลำไม่ปวด เหงือกปกติ จึงวางแผนเตรียมทำ MTA apexification เริ่มต้นด้วยการใส่ยาชา ใส่แผ่นยางกันน้ำลาย ล้างทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮโปรคลอไรท์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 ซับคลองรากฟันแห้ง ผสมผง MTA กับน้ำกลั่นตามบริษัทผู้ผลิตกำหนด นำเข้าสู่คลองรากฟันด้วย MTA carrier (ภาพทางคลินิกที่ 3) และใช้ root canal plugger อัด MTA ให้แน่นโดยมีความหนาของวัสดุ 4-5 มิลลิเมตรจากปลายรากฟัน ตรวจสอบโดยการถ่ายภาพรังสี (ภาพทางรังสีที่ 3) ทำความสะอาดส่วนเกินที่ติดบริเวณผนังคลองรากออก ใส่สำลีชุบน้ำหมาดไว้ในคลองรากฟันเพื่อรอให้ MTA แข็งตัวเป็นเวลาอย่างน้อย 3-4 ชั่วโมงปิดด้วยวัสดุอุดชั่วคราว และส่งต่อผู้ป่วยให้ทันตแพทย์เฉพาะทางทันตกรรมประดิษฐ์ในการนัดบูรณะฟันด้วยเดือยสำเร็จรูปในครั้งถัดไป

ภาพทางคลินิกที่ 3 แสดงลักษณะ MTA ที่ผสมแล้วพร้อมใช้อุดคลองรากฟัน

ภาพทางรังสีที่ 3 แสดงการอุด MTA บริเวณปลายรากฟัน

การติดตามอาการของผู้ป่วยหลังจากทำการรักษาด้วย MTA apexification ร่วมกับการได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูป อุดบริเวณตัวฟันด้วยวัสดุคอมโพสิตแล้วระยะเวลา 6 เดือน ตรวจด้วยการเคาะ และคลำไม่ปวด วัสดุอุดปกติ ฟันเปลี่ยนเป็นสีเทาเล็กน้อย (ภาพทางคลินิกที่ 4) ถ่ายภาพรังสีพบวัสดุทึบในคลองราก ไม่มีเงาดำปลายรากฟัน (ภาพทางรังสีที่ 4)

ภาพทางคลินิกที่ 4 ติดตามการรักษา 6 เดือน แสดงฟันซี่ 11 เปลี่ยนเป็นสีเทาเล็กน้อย

ภาพทางรังสีที่ 4 ติดตามการรักษา 6 เดือน

ติดตามการรักษา 1 ปี ไม่พบความผิดปกติใดๆ ผู้ป่วยใช้งานได้ดีตัวฟันได้รับการบูรณะถาวรด้วยเรซินคอมโพสิตปลายฟันต่ำกว่าฟันที่ 21 เล็กน้อยขอบแนบสนิทเคาะและคลำไม่ปวดฟันโยกระดับปกติ ไม่พบร่องลึกปริทันต์ผิดปกติเหงือกปกติไม่บวม (ภาพทางคลินิกที่ 5) ภาพรังสีแสดงเงาทึบรังสีของวัสดุบริเวณตลอดความยาวรากฟันปกติ ไม่มีการละลายของวัสดุ ไม่มีเงาดำปลายรากลักษณะผิวกระดูกเบ้าฟัน (Lamina dura) มีความต่อเนื่องตลอดความยาวรากและความกว้างเอ็นยึดปริทันต์ (PDL space) ปกติ (ภาพทางรังสีที่ 5) การประเมินผลการรักษามีการหายที่สมบูรณ์ (Complete healing) แต่มีลักษณะฟันเปลี่ยนเป็นสีเทามากขึ้น แนะนำผู้ปกครองเกี่ยวกับการทำครอบฟัน เมื่อผู้ป่วยมีการเจริญเติบโตเต็มที่

ภาพทางคลินิกที่ 5 ติดตามการรักษา 1 ปี แสดงฟันซี่ 11 เปลี่ยนเป็นสีเทามากขึ้น

ภาพทางรังสีที่ 5 ติดตามการรักษา 1ปี

วิจารณ์

ฟันตายปลายรากฟันที่ไม่สมบูรณ์และมีการสูญเสียเนื้อฟันไปมากโดยสาเหตุเกิดจากฟันผุหรือได้รับอุบัติเหตุมักจำเป็นต้องบูรณะด้วยเดือยฟันหลังจากรักษาคลองรากฟันจากเดิมที่ต้องใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ใส่ในคลองรากเป็นเวลานานส่งผลทำให้เนื้อฟัน อ่อนแอหากบูรณะได้ช้าทำให้ฟันมีโอกาสแตกหักเพิ่มขึ้น อีกทั้งต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ป่วยในการกลับมาติดตามรักษาหลายครั้ง การทำ MTA apexification มีข้อดีคือ ลดระยะเวลาการรักษาสามารถบูรณะได้อย่างรวดเร็วและไม่ส่งผลเสียต่อเนื้อฟันในระยะยาว[4]

ด้วยคุณสมบัติที่ดีของ MTA ในแง่ ความแนบสนิทความเข้ากันได้ของเนื้อเยื่อและส่งเสริมการสร้างเนื้อเยื่อแข็ง[8-10] จึงทำให้การรักษาประสบความสำเร็จสูง แต่อย่างไรก็ตามพบว่า MTA มีข้อเสีย คือ เป็นวัสดุที่ใช้งานค่อนข้างลำบากเนื่องจากยากที่จะผสมให้ได้เนื้อวัสดุตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำและยากที่จะทำการใส่วัสดุเข้าไปยังบริเวณที่ต้องการรักษา นอกจากนี้ MTA ยังมีปัญหาในเรื่องของระยะเวลาแข็งตัวนาน (setting time) ที่นานทำให้เสียเวลาต้องนัดผู้ป่วยกลับมาบูรณะถาวร อีกทั้งปัจจุบันยังมีราคาแพง[15] และข้อด้อยที่สำคัญของ MTA คือมีผลทำให้เนื้อฟันเปลี่ยนสีคล้ำ[14] ทำให้เกิดปัญหาด้านความสวยงามซึ่งผู้ป่วยและผู้ปกครองต้องรับทราบตั้งแต่ก่อนการรักษา

ผู้ป่วยรายนี้วางแผนบูรณะด้วยเดือยฟันเพื่อให้เกิดความแนบสนิททั้งคลองรากฟันเสริมความแข็งแรงให้กับแกนฟันและตัวฟัน เนื่องจากเป็นผู้ป่วยเด็กจึงแนะนำให้ทำครอบฟันเมื่อโตเต็มที่ช่วงอายุ 18-19 ปี[16] จากข้อเสียดังกล่าวจึงทำให้ปัจจุบันมีการพัฒนาคุณสมบัติเชรามิกชีวภาพให้ดีขึ้น เช่น เอ็มทีเอแองเจลัส (MTA angelus) ที่ลดปริมาณแคลเซียมซัลเฟตเพื่อทำให้ระยะเวลาก่อตัวของวัสดุเร็วขึ้น โปรรูทเอ็มทีเอสีขาว (ProRoot®white MTA) เพื่อแก้ไขปัญหาที่ทำให้ฟันเปลี่ยนสี[5] แต่ยังไงก็ตามยังต้องมีการศึกษาเรื่องคุณสมบัติและการพัฒนาคุณภาพในการนำมาใช้ทางเอ็นโดดอนติกส์ต่อไป

สรุป

MTA เป็นเชรามิกชีวภาพ มีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกในกระบวนการรักษาคลองรากฟัน ได้แก่ การเข้ากันได้ทางชีวภาพของเนื้อเยื่อ ไม่ทำให้เกิดการอักเสบ การต้านเชื้อจุลชีพ สามารถเกิดโครงสร้างไฮดรอกซีอะพาไทต์ส่งเสริมการยึดติดกับเนื้อฟัน ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อแข็ง มีการแนบสนิทที่ดีในปัจจุบันได้มีการพัฒนา MTA รูปแบบต่างๆออกมามากมายและมีหลายรูปแบบที่ทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการรักษาคลองรากฟันตายปลายรากเจริญไม่สมบูรณ์ด้วยวิธี MTA apexification จึงเป็นหนึ่งทางเลือกที่ทันตแพทย์พิจารณาเนื่องจากประสบความสำเร็จสูง

เอกสารอ้างอิง

1. Rao A. Principles and Practice of PEDODONTICS. First ed. New Delhi: Jaypee brothers medical publishers; 2006. p. 9-94.

2. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. Journal of endodontics. 1995;21(3):109-12.

3. Trope M. Treatment of the immature tooth with a non-vital pulp and apical periodontitis. Dental clinics of North America. 2010;54(2):313-24.

4. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. Dental traumatology : official publication of International Association for Dental Traumatology. 2002;18(3):134-7.

5. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. Journal of endodontics. 1993;19(12):591-5.

6. Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials. 2008;24(2):149-64.

7. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. J Endod. 1995;21(8):403-6.

8. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. Journal of endodontics. 1993;19(11):541-4.

9. Koh ET, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Brady K, McDonald F. Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. Journal of biomedical materials research. 1997;37(3):432-9.

10. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. Journal of endodontics. 1997;23(4):225-8.

11. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. J Endod. 1999;25(3):197-205.

12. Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P. The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. Int Endod J. 2007;40(3):186-97.

13. Debelian G, Trope M. The use of premixed bioceramic materials in endodontics. Giornale Italiano di Endodonzia. 2016;30(2):70-80.

14. Trope M, Bunes A, Debelian G. Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? Endodontic Topics. 2015;32(1):86-96.

15. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. Journal of endodontics. 2010;36(3):400-13.

16. Morrow LA, Robbins JW, Jones DL, Wilson NH. Clinical crown length changes from age 12-19 years: a longitudinal study. Journal of dentistry. 2000;28(7):469-73.