

## ความแนบสนิทของขอบวัสดุเคลือบซีลิกเกตซีเมนต์สองชนิดหลังจากการปนเปื้อนเลือดในแบบจำลองการอุดย้อนปลายรากฟัน

ภาณุมาศ วันเปีย\* จารุมา สักดีดี\* สุวิทย์ วิมลจิตต์\*

### บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์:** เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแนบสนิทของขอบวัสดุกับเนื้อฟันของวัสดุเคลือบซีลิกเกตซีเมนต์สองชนิดที่มีการปนเปื้อนเลือดในแบบจำลองการอุดย้อนปลายรากฟัน

**วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ:** ฟันกรามน้อยล่างรากเดี่ยวจำนวน 60 ซี่ ตัดส่วนตัวฟันออก เตรียมคลองรากฟันและอุดด้วยกัตตาเปอร์ชา ตัดปลายรากฟันออก 3 มิลลิเมตรและกรออุดย้อนปลายรากฟันลึก 3 มิลลิเมตร สุ่มแบ่งฟันออกเป็น 6 กลุ่ม โดย 3 กลุ่มอุดย้อนปลายรากฟันด้วยไบโอเดนทิน และอีก 3 กลุ่มอุดย้อนปลายรากฟันด้วยเรโทรเอ็มทีเอ ภายใต้สภาวะการปนเปื้อนที่แตกต่างกันคือ การปนเปื้อนเลือดบนผนังคลองรากฟันและ/หรือการปนเปื้อนพื้นผิววัสดุภายนอกด้วยเลือดหรือสารจำลองของเหลวในร่างกาย หลังจากปนเปื้อนเป็นระยะเวลา 7 วัน จะทำการวัดความกว้างและความยาวช่องว่างระหว่างขอบวัสดุกับผนังคลองรากฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบพรีดแมนและเปรียบเทียบพหุคูณด้วยสถิติทูเค้เอชเอสดี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

**ผลการศึกษา:** ค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวช่องว่างระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟันของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่อุดย้อนปลายรากฟันด้วยไบโอเดนทินและมีการปนเปื้อนเลือดบนผนังคลองรากฟันมีความกว้างและความยาวช่องว่างได้มากที่สุด ( $8.55 \pm 5.88$  และ  $128.28 \pm 69.5$  ไมโครเมตร ตามลำดับ)

**สรุป:** การปนเปื้อนเลือดส่งผลให้วัสดุเคลือบซีลิกเกตซีเมนต์สองชนิดมีความแนบสนิทของขอบแตกต่างกัน โดยในกลุ่มไบโอเดนทิน การปนเปื้อนเลือดบนพื้นผิวสองด้านจะเกิดช่องว่างได้มากกว่าการปนเปื้อนเลือดบนพื้นผิวด้านเดียว ในขณะที่กลุ่มเรโทรเอ็มทีเอไม่มีความแตกต่างกัน

**คำสำคัญ:** ความแนบสนิทของขอบ คัลยกรรมเอ็นโดดอนติก เคลือบซีลิกเกตซีเมนต์ การปนเปื้อนเลือด เรโทรเอ็มทีเอ ไบโอเดนทิน

\*ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 114 สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110

## Marginal Adaptation of Two Calcium Silicate Cements after Blood Contamination in Retrograde Filling Models

Bhanumas Wanpia\* Jaruma Sakdee\* Suwit Wimonchit\*

### Abstracts

**Objective:** The aim of this study was to compare the marginal adaptation of two calcium silicate cements after blood contamination in retrograde filling models.

**Materials and methods:** Decoronated sixty single-rooted lower premolars were prepared and obturated with gutta percha. All of them were resected 3 mm apically. The root-end cavities were prepared to the depth of 3 mm. Specimens were randomly allocated into six groups; three groups were filled with Biodentine and other three groups were filled with Retro MTA under the different contaminated conditions; blood contamination on dentin wall and/or on external surfaces of root-end filling material. Seven days after contamination, the width and length of the gaps formed in dentin/material interface were measured using scanning electron microscope (SEM). The data were statistically analyzed using Friedman test and Tukey's HSD test with the level of significance at  $p < 0.05$ .

**Results:** There were statistically significant differences in gap width and length among six groups. The highest gap length and width were found in the group of Biodentine with blood coated and blood contamination ( $8.55 \pm 5.88 \mu\text{m}$  and  $128.28 \pm 69.5 \mu\text{m}$ , respectively).

**Conclusions:** Blood contamination on two calcium silicate cements had a different marginal adaptation. Biodentine, under two surfaces contamination had a detrimental effect on marginal adaptation more than one surface contamination, meanwhile there were no significant difference between Retro MTA group.

**Keywords:** Marginal adaptation, Blood contamination, Endodontic surgery, Calcium silicate cements, Biodentine, Retro MTA

\*Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, 114, Sukhumvit 23, Wattana, Bangkok 10110, Thailand.

## บทนำ (Introduction)

การรักษาคลองรากฟันมีเป้าหมายเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ภายในคลองรากฟันและปิดทางเชื่อมต่อระหว่างคลองรากฟันกับเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันแต่เมื่อการรักษาคลองรากฟันประสบความสำเร็จแล้วและไม่สามารถทำการรักษาคลองรากฟันซ้ำได้ การทำคัลเลอร์กรรมเอ็นโดดอนติก (endodontic surgery) เป็นทางเลือกที่เหมาะสม ในอดีตอะมัลกัม (amalgam) ซูเปอร์อีบีเอ (super EBA) หรือไออาร์เอ็ม (IRM) ถูกใช้ในการอุดย้อนปลายรากฟัน แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าวัสดุเหล่านี้มีการรั่วซึมบริเวณรอยต่อระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟันค่อนข้างมาก (1,2) ซึ่งเป็นสาเหตุนำไปสู่ความล้มเหลวในการรักษา ต่อมาจึงมีการพัฒนาวัสดุกลุ่มแคลเซียมซิลิเกตซีเมนต์ (calcium silicate cement) ขึ้นสำหรับงานเอ็นโดดอนติกส์ ในรูปแบบของเอ็มทีเอ (MTA; mineral trioxide aggregate) ซึ่งเอ็มทีเอเป็นวัสดุที่มีสมบัติที่ดี (3-6) ดังนั้นเอ็มทีเอจึงเป็นวัสดุต้นแบบที่ใช้ในการพัฒนาวัสดุกลุ่มแคลเซียมซิลิเกตซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ ในเวลาต่อมา ถึงแม้ว่าเอ็มทีเอจะเป็นวัสดุที่พึงประสงค์ แต่เนื่องจากเอ็มทีเอมีระยะเวลาก่อตัว (setting time) นาน 4-6 ชั่วโมง ทำให้ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาแคลเซียมซิลิเกตซีเมนต์ชนิดใหม่ขึ้นมาเพื่อลดข้อด้อยดังกล่าวของเอ็มทีเอ เช่น ไบโอเดนทีนและเรโทรเอ็มทีเอ เป็นต้น

ไบโอเดนทีน (Biodentine®; Septodont, Saint-Maur-des-fosses Cedex, France) เป็นวัสดุที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride;  $\text{CaCl}_2$ ) ลงไปในส่วนเหลว เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration reaction) ให้เกิดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ไบโอเดนทีนมีระยะเวลาก่อตัวเพียง 10-12 นาที (7) ส่วนเรโทรเอ็มทีเอ (Retro MTA; BioMTA, Seoul, Korea) เป็นวัสดุที่ได้รับการพัฒนาสมบัติและออกวางจำหน่ายในประเทศไทยประมาณ 5 ปี ประกอบไปด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เป็นหลัก ซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตจะช่วยให้อุดมีการก่อตัวเร็วขึ้น ทำให้เรโทรเอ็มทีเอมีระยะเวลาก่อตัวเพียง 180 วินาทีเท่านั้น ยิ่งวัสดุมีการก่อตัวเร็วก็จะยิ่งช่วยลดการถูกชะล้างเนื้อวัสดุจากเลือดหรือของเหลวในร่างกาย (body fluid) ที่เกิดขึ้นระหว่างหัตถการ ส่งผลให้วัสดุมีความแนบสนิท

กับผนังคลองรากฟันได้ดียิ่งขึ้นและลดการเกิดช่องว่างระหว่างวัสดุกับเนื้อฟัน (8) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเอ็มทีเอมีความแนบสนิทกับเนื้อฟันได้ดีในสภาวะที่มีความชื้นไม่มากเกินไป แต่การทำคัลเลอร์กรรมเอ็นโดดอนติกเป็นหัตถการที่มีเลือดออกในบริเวณที่ทำการรักษาจากการเปิดแผ่นเหงือกหรือกรอกกำจัดกระดูกบริเวณปลายรากฟัน ซึ่งแม้จะพยายามป้องกันไม่ให้เลือดสัมผัสกับปลายรากฟัน แต่ก็อาจมีการปนเปื้อนเลือดของผู้ป่วยกับวัสดุหรือบริเวณผนังคลองรากฟันเกิดขึ้นได้ (1,9,10) ซึ่งหากวัสดุมีการสัมผัสเลือดในขณะที่ยังก่อตัวไม่สมบูรณ์จะส่งผลให้วัสดุมีสมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป เช่น สมบัติทางกล (11) และสมบัติทางชีวภาพ (12) เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาใดที่เปรียบเทียบความแนบสนิทของขอบวัสดุ (marginal adaptation) ในเรโทรเอ็มทีเอกับไบโอเดนทีนที่มีการปนเปื้อนเลือด ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแนบสนิทของขอบวัสดุของเรโทรเอ็มทีเอกับไบโอเดนทีนที่มีการปนเปื้อนเลือดในแบบจำลองการอุดย้อนปลายรากฟัน (retrograde filling models)

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

การศึกษานี้ได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (SWUEC-417/2563E) เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำการคัดเลือกฟันกรามน้อยล่างที่ถูกถอนจำนวน 60 ซี่ โดยฟันดังกล่าวเป็นฟันที่ถูกถอนทั้งกองและเก็บไว้ในคลังของโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ก่อนที่จะเริ่มทำการวิจัย ดังนั้น ฟันเหล่านี้จะไม่สามารถระบุตัวตน เพศ อายุของบุคคลที่เป็นเจ้าของฟันและไม่สามารถระบุสาเหตุการถอนฟันขึ้นนั้น ๆ ได้ ฟันที่ผ่านการคัดเลือกต้องมีรากตรง คลองรากเดียว ก่อนทำการศึกษา ฟันทุกซี่จะถูกนำไปถ่ายภาพรังสีเพื่อยืนยันว่ามีเพียงคลองรากฟันเดียว

### 1. การเตรียมฟันตัวอย่าง

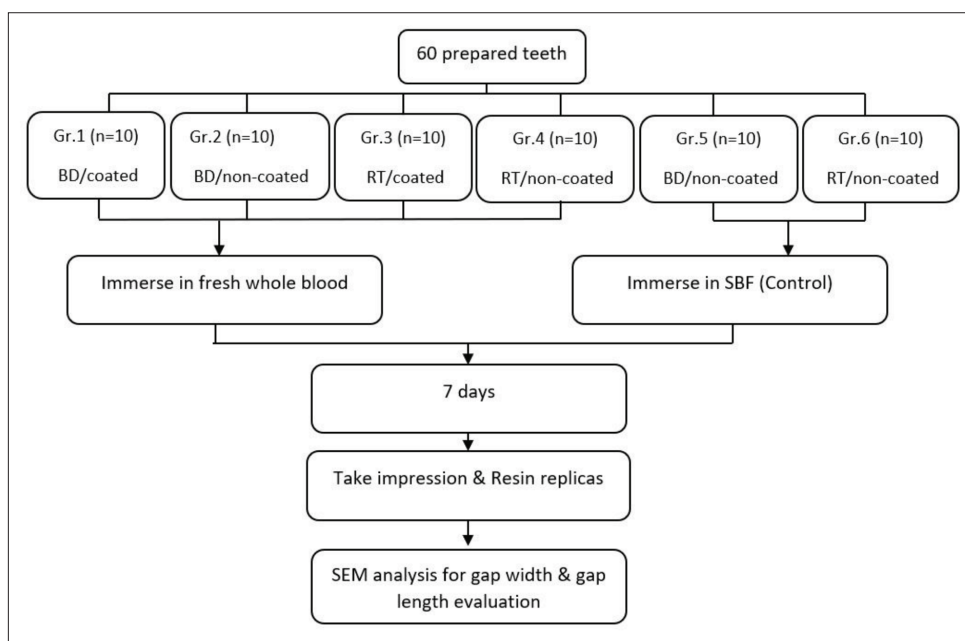
ทำการตัดตัวฟันออกโดยให้ความยาวของรากฟัน 15 มิลลิเมตร ใช้ความยาวทำงาน (working length) ที่ระยะสั้นกว่าปลายรากฟัน 1 มิลลิเมตร ขยายคลองรากฟันด้วยไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วย

เครื่องระบบโปรแทปเปอร์เน็กซ์ (ProTaper Next®; Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) ตั้งแต่ขนาดเอ็กซ์ 1 (X1) ถึงเอ็กซ์ 3 (X3; 30/.07) ล้างคลองรากฟันด้วยน้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 (2.5% sodium hypochlorite: ผลิตภัณฑ์ทางทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ซับคลองรากฟันให้แห้งแล้วอุดคลองรากฟันด้วยกัตตาเปอร์ซาร่วมกับเอเซพลัส ซีลเลอร์ (AH Plus® sealer: Dentsply De Trey GmbH, Konstanz, Germany) โดยวิธีวอร์มเวอร์ติคอลลอมแพ็คชัน (warm vertical compaction) ปิดคลองรากฟันส่วนต้นด้วยวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (Cavit, 3M ESPE, St. Paul, Minnesota, USA) หุ้มรากฟันด้วยผ้าก๊อซ (gauze) เปียกและนำไปป้อนไว้ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (incubator) ที่ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นรากฟันส่วนนอกจะถูกเคลือบด้วยน้ำยาทาเล็บ แล้วนำฟันมาตัดปลายราก 3 มิลลิเมตร ด้วยหัวกรอกากเพชรทรงสอบปลายมน (taper diamond bur) ร่วมกับเครื่องกรอชนิดหมุนเร็วภายใต้ละอองน้ำ โดยตัดใน

แนวตั้งฉากกับแนวแกนของรากฟัน หลังจากนั้นทำการกรอย้อนปลายรากฟัน (retropreparation) ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร และลึก 3 มิลลิเมตร ด้วยหัวกรอขนาด AS 3D (EndoSuccess™ Apical Surgery Kit, Acteon) ร่วมกับเครื่องอัลตราโซนิค P5 (P5 Newtron XS™, satelec®, Acteon, North America) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทางทันตกรรม (dental operating microscope)

## 2. การอูดย้อนปลายรากฟันและการปนเปื้อนเลือด

เลือดของมนุษย์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้มาจากการเจาะเลือดของผู้ทำวิจัยเองโดยพยาบาลวิชาชีพที่สถาบันทางการแพทย์ มศว คลินิกมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งจะใช้ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ส่วนสารจำลองของเหลวในร่างกาย (simulated body fluid; SBF) จะเตรียมขึ้นตามสูตรของ Kokubo และ Takadama ในปี 2006 (13) โดยหลังจากกรอย้อนปลายรากฟันแล้ว ฟันทั้งหมดจะถูกสุ่มแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังงานแสดงขั้นตอนการวิจัย (coated = เคลือบเลือดบนผนังคลองรากฟัน)

Fig 1. Flowchart illustrates the methods of this study (coated = blood coated on the root canal wall, BD = Biodentine, RT = Retro MTA)

กลุ่มที่ 1 และ 2 เป็นกลุ่มที่อุดยอนปลายรากฟันด้วยด้วยไบโอเดนทิน (BD) โดยก่อนที่จะอุดยอนปลายรากฟัน กลุ่มที่ 1 ต้องทำการเคลือบเลือดบนผนังคลองรากฟันก่อนโดยใช้ไมโครปิเปต (micropipette) หยดเลือดลงไป 1 หยด ทิ้งไว้ 5 วินาที แล้วใช้แท่งกระดาษซับซับออก ส่วนกลุ่มที่ 2 ไม่ต้องเคลือบเลือดบนผนังคลองรากฟัน เตรียมไบโอเดนทินตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตแล้วนำมาอุดยอนปลายรากฟันหนา 3 มิลลิเมตร โดยใช้ตัวนำเอ็มทีเอ (Dovgan MTA carrier) ร่วมกับหัวกดเอ็มทีเอ (MTA plugger) เช็ดกำจัดวัสดุส่วนเกินด้วยสำลีชุบน้ำหมาด ๆ จากนั้นนำฟันใส่ลงในหลอดเอพเพนดอร์ฟ (eppendorf tube) ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ที่มีเลือดอยู่ภายใน 0.1 มิลลิลิตรทันที โดยให้ปลายรากฟันจมอยู่ในเลือด แล้วปิดฝาหลอดเอพเพนดอร์ฟให้สนิท

กลุ่มที่ 3 และ 4 เป็นกลุ่มที่อุดยอนปลายรากฟันด้วยเรโตรีเอ็มทีเอ (RT) โดยก่อนที่จะอุดยอนปลายรากฟัน กลุ่มที่ 3 ต้องทำการเคลือบผนังคลองรากฟันด้วยวิธีการเดียวกันกับกลุ่มที่ 1 แล้วใช้แท่งกระดาษซับซับออก ส่วนกลุ่มที่ 4 ไม่ต้องเคลือบเลือดบนผนังคลองรากฟัน เตรียมเรโตรีเอ็มทีเอตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตแล้วนำมาอุดยอนปลายรากฟันหนา 3 มิลลิเมตร เช็ดกำจัดวัสดุส่วนเกินด้วยสำลีชุบน้ำหมาด ๆ จากนั้นนำฟันใส่ลงในหลอดเอพเพนดอร์ฟขนาด 1.5 มิลลิลิตรที่มีเลือดอยู่ภายใน 0.1 มิลลิลิตรทันที โดยให้ปลายรากฟันจมอยู่ในเลือด แล้วปิดฝาหลอดเอพเพนดอร์ฟให้สนิท

กลุ่มที่ 5 และ 6 เป็นกลุ่มควบคุม ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้จะไม่มีการปนเปื้อนเลือด กลุ่มที่ 5 ทำการอุดยอนปลายรากฟันด้วยไบโอเดนทิน ส่วนกลุ่มที่ 6 อุดยอนปลายรากฟันด้วยเรโตรีเอ็มทีเอ อุดหนา 3 มิลลิเมตร เช็ดกำจัดวัสดุส่วนเกินด้วยสำลีชุบน้ำหมาด ๆ จากนั้นนำฟันใส่ลงในหลอดเอพเพนดอร์ฟขนาด 1.5 มิลลิลิตรที่มีสารจำลองของเหลวในร่างกายอยู่ภายใน 0.1 มิลลิลิตรทันที โดยให้ปลายรากฟันจมอยู่ในเลือด แล้วปิดฝาหลอดเอพเพนดอร์ฟให้สนิท

หลังจากทำการอุดยอนปลายรากฟันเสร็จแล้ว ชิ้นงานทุกกลุ่มจะถูกนำไปถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากเพื่อตรวจสอบคุณภาพของการอุดยอนปลายรากฟัน แล้วนำไปบ่มไว้ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เป็นเวลา 7 วัน

### 3. การทำชิ้นงานจำลองด้วยอีพ็อกซีเรซิน (Resin replicas)

หลังจากที่ชิ้นงานถูกบ่มไว้ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิครบ 7 วันแล้ว ฟันแต่ละซี่จะถูกนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดคราบเลือดและเป่าให้แห้ง จากนั้นทำการพิมพ์ปลายรากฟันด้วยแอดดิชันซิลิโคน (addition silicone: Panasil® contact plus X-light, Kettenbach, Germany) บนสภาพพิมพ์ปากที่ดัดแปลงมาจากหลอดเอพเพนดอร์ฟ หลังจากท่วสตุพิมพ์ปากแข็งตัวสมบูรณ์แล้ว นำปลายรากฟันออกและสำรวจความสมบูรณ์ของรอยพิมพ์ หากรอยพิมพ์ไม่สมบูรณ์ มีรอยฉีกขาด มีฟองอากาศจะต้องทำการพิมพ์ปลายรากฟันใหม่จนกว่าจะได้รอยพิมพ์ที่สมบูรณ์ จากนั้นเทชิ้นงานด้วยอีพ็อกซีเรซิน (epoxy resin) เมื่อได้ชิ้นงานจำลองแล้วจะทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นงาน หากบริเวณพื้นผิวปลายรากของชิ้นงานใดมีฟองอากาศหรือเกิดความเสียหายต้องทำแบบจำลองชิ้นใหม่ซ้ำอีกครั้งจนกว่าจะได้แบบจำลองที่สมบูรณ์

### 4. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์ชิ้นงานสำหรับประเมินช่องว่างระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟันจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-6510LV, JEOL, Tokyo, Japan) โดยในการประเมินความกว้างช่องว่าง (gap width) จะใช้ภาพที่กำลังขยาย 100 เท่า (100X) แบ่งพื้นที่หน้าตัดของปลายรากฟันออกเป็น 6 ส่วนเท่า ๆ กัน ในแต่ละส่วนที่แบ่งไว้จะทำการวัดช่องว่างที่กว้างที่สุด (maximum gap width) 1 จุด ด้วยภาพกำลังขยาย 1000 เท่า (1000X) นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ยของฟัน 1 ซี่ในหน่วยไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) แล้วนำค่าเฉลี่ยของแต่ละซี่มาหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มอีกครั้ง ส่วนความยาวของช่องว่าง (gap length) จะใช้ภาพที่กำลังขยาย

100 เท่า ทำการวัดช่องว่างที่เกิดขึ้นตามขอบของวัสดุ โดยใช้โปรแกรม ImageJ® software ขยายภาพในแต่ละบริเวณแล้วลากเส้นตามความยาวของช่องว่างที่พบ ซึ่งโปรแกรมจะแสดงความยาวช่องว่างในแต่ละบริเวณแล้วสรุปรวมเป็นความยาวของหนึ่งชิ้นงาน ค่าความยาวจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยความยาวช่องว่างของกลุ่มอีกครั้ง

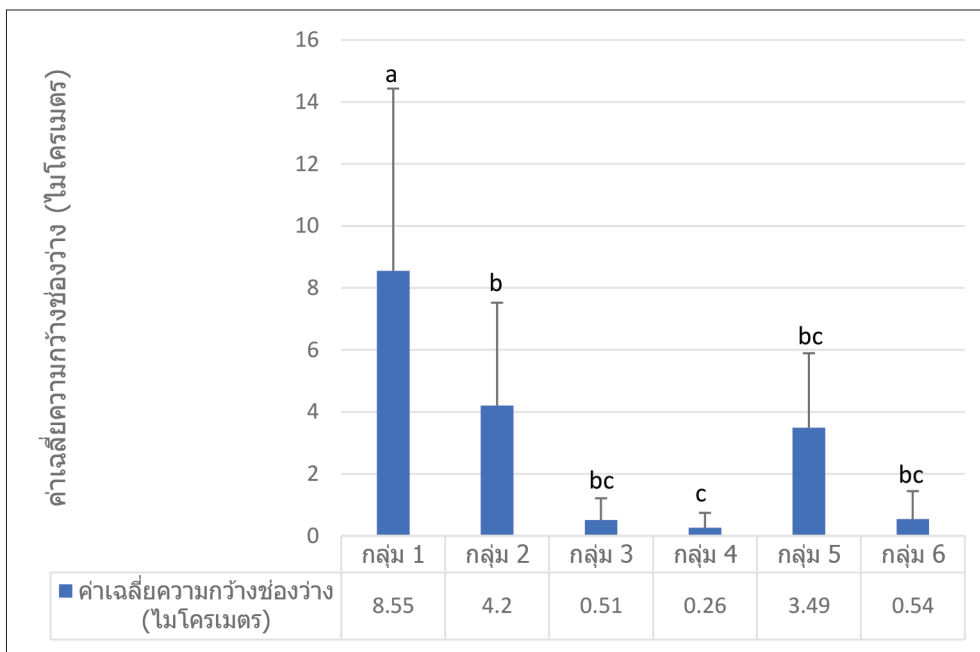
### 5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติโคลโมโกรอฟ-สเมอรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov test) พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ จึงใช้สถิติทดสอบฟริดแมน (Friedman test) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวช่องว่างระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟันในแต่ละกลุ่มร่วมกับการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยสถิติทูเคย์เอสดี (Tukey's HSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS version 25

## ผลการทดลอง (Results)

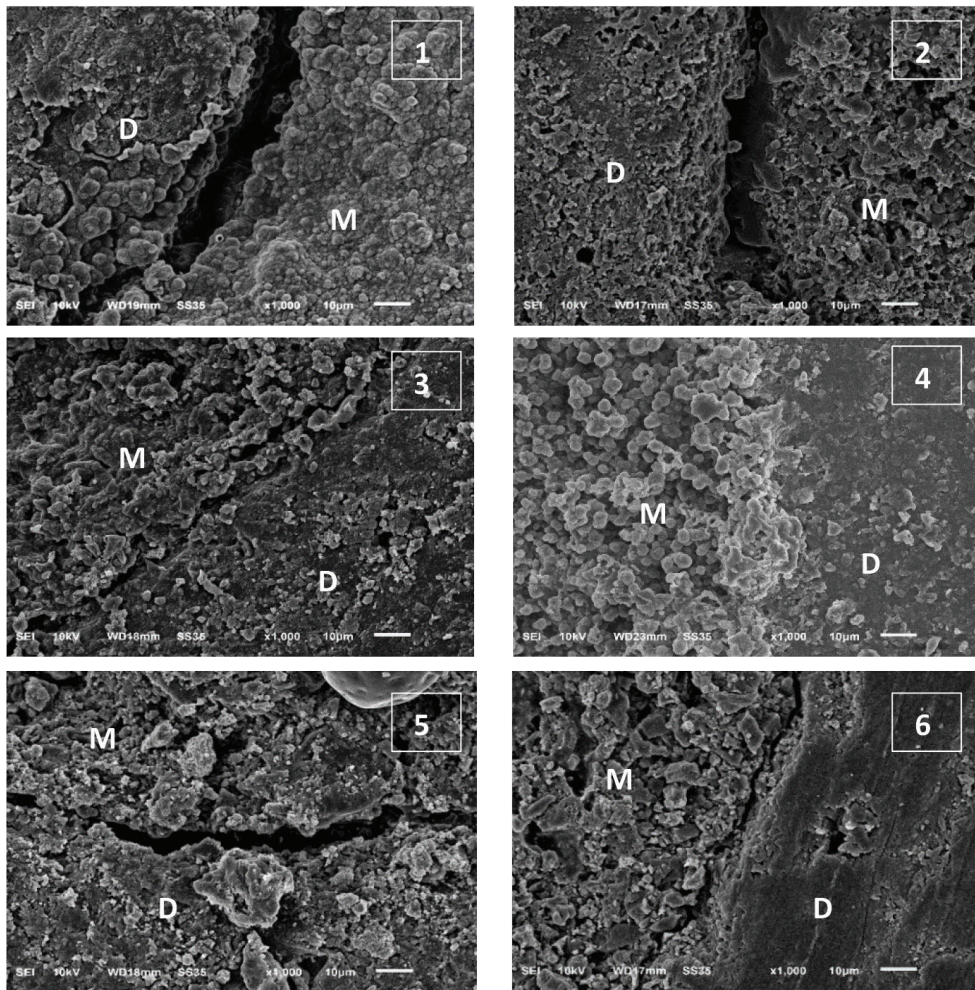
### 1. ความกว้างช่องว่างระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟัน

หลังจากวัสดุอุดย่นปลายรากฟันปนเปื้อนเลือด 7 วัน พบว่ากลุ่มที่อุดย่นปลายรากฟันด้วยไบโอเดนทิน คือกลุ่มที่ 1 ( $8.55 \pm 5.88 \mu\text{m}$ ), กลุ่มที่ 2 ( $4.20 \pm 3.32 \mu\text{m}$ ) และ กลุ่มที่ 5 ( $3.49 \pm 2.4 \mu\text{m}$ ) มีค่าเฉลี่ยความกว้างช่องว่างมากกว่ากลุ่มที่อุดย่นปลายรากฟันด้วยเรโทรเอ็มทีเอคือกลุ่มที่ 3 ( $0.51 \pm 0.7 \mu\text{m}$ ), กลุ่มที่ 4 ( $0.26 \pm 0.48$ ) และ กลุ่มที่ 6 ( $0.54 \pm 0.9 \mu\text{m}$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยสถิติทดสอบฟริดแมนร่วมกับทูเคย์เอสดี พบว่ากลุ่มที่ 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่กลุ่มที่ 4 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะกับกลุ่มที่ 1 และ 2 เท่านั้น ( $p < 0.05$ ) ส่วนกลุ่มการศึกษาอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความกว้างช่องว่าง (รูปที่ 2 และ 3)



รูปที่ 2 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความกว้างช่องว่างและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่ม อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Fig 2. Bar chart illustrates the means and standard deviations of the gap width within each group. Different letters indicate a statistically significant difference between groups.



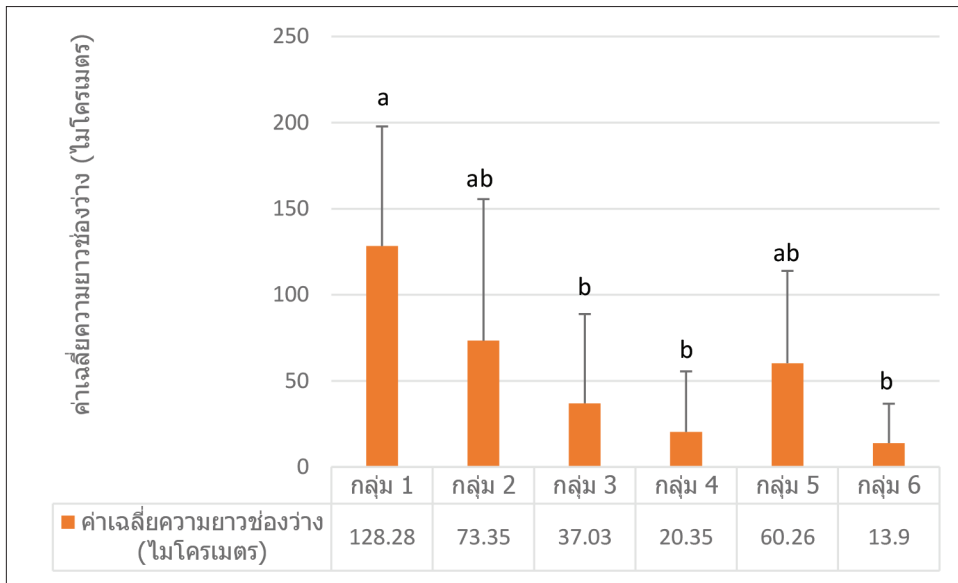
รูปที่ 3 ช่องว่างระหว่างขอบของวัสดุกับเนื้อของแต่ละกลุ่มการศึกษาที่กำลังขยาย 1000 เท่า โดยอักษร D คือเนื้อฟัน อักษร M คือวัสดุอุดย่นปลายรากฟัน, (1) = กลุ่มที่ 1, (2) = กลุ่มที่ 2, (3) = กลุ่มที่ 3, (4) = กลุ่มที่ 4, (5) = กลุ่มที่ 5, (6) = กลุ่มที่ 6

Fig 3. The marginal gaps formed in dentin/material interface within each group at 1000X., D = dentin, M = materials, (1) = group 1, (2) = group 2, (3) = group 3, (4) = group 4, (5) = group 5, (6) = group 6.

## 2. ความยาวช่องว่างระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟัน

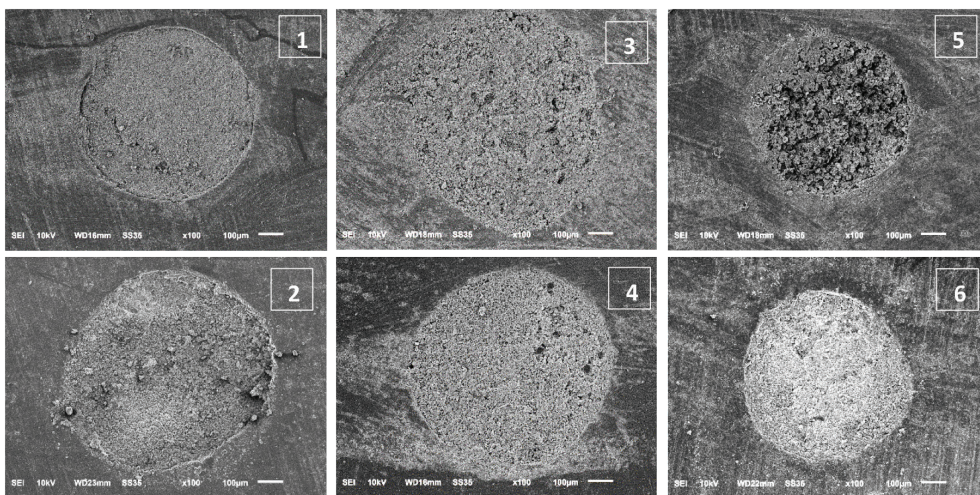
หลังจากวัสดุอุดย่นปลายรากฟันบนเบื่อนเลือด 7 วัน พบว่ากลุ่มที่อุดย่นปลายรากฟันด้วยไบโอเดนทินคือกลุ่มที่ 1 ( $128.28 \pm 69.5 \mu\text{m}$ ) กลุ่มที่ 2 ( $73.35 \pm 82.19 \mu\text{m}$ ) และ กลุ่มที่ 5 ( $60.26 \pm 53.63 \mu\text{m}$ ) มีค่าเฉลี่ยความยาวช่องว่างมากกว่ากลุ่มที่อุดย่นปลายรากฟันด้วยเรโธรเอ็มทีเอ คือกลุ่มที่ 3 ( $37.03 \pm 51.81 \mu\text{m}$ )

กลุ่มที่ 4 ( $20.35 \pm 35.18 \mu\text{m}$ ) และ กลุ่มที่ 6 ( $13.90 \pm 22.85 \mu\text{m}$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยสถิติทดสอบพรีดแมนร่วมกับทู่คีเอชเอสตีพบว่ากลุ่มที่ 1 ที่อุดย่นปลายรากฟันด้วยไบโอเดนทินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะกับกลุ่มที่ 3 4 และ 6 ที่อุดย่นปลายรากฟันด้วยเรโธรเอ็มทีเอเท่านั้น ( $p < 0.05$ ) ส่วนกลุ่มการศึกษาอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความยาวช่องว่าง (รูปที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความยาวช่องว่างและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่ม อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Fig 4. Bar chart illustrates the means and standard deviations of the gap width within each group. Different letters indicate a statistically significant difference between groups.



รูปที่ 5 ช่องว่างระหว่างขอบของวัสดุกับเนื้อโดยรอบของแต่ละกลุ่มการศึกษาที่กำลังขยาย 100 เท่า โดย (1) = กลุ่มที่ 1, (2) = กลุ่มที่ 2, (3) = กลุ่มที่ 3, (4) = กลุ่มที่ 4, (5) = กลุ่มที่ 5, (6) = กลุ่มที่ 6

Fig 5. The marginal gaps formed in dentin/material interface within each group at 100X (1) = group 1, (2) = group 2, (3) = group 3, (4) = group 4, (5) = group 5, (6) = group 6.



## บทวิจารณ์ (Discussion)

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้จำลองสถานการณ์ระหว่างหัตถการการทำคัลยกรรมเอ็นโดดอนติก โดยการเคลือบเลือดบนผนังคลองรากฟันก่อนอุดยอนปลายรากฟันเป็นการจำลองการปนเปื้อนเลือดของผู้ป่วยบนผนังคลองรากฟัน และการนำปลายรากฟันไปสัมผัสเลือดหลังอุดยอนปลายรากฟันเสร็จก็เป็นการจำลองการปนเปื้อนเลือดกับวัสดุในระหว่างหัตถการหรือหลังจากทำการปิดเย็บแผลไปแล้ว Mathew และคณะในปี 2016 (9) ทำการศึกษาการรั่วซึมระดับจุลภาค (microleakage) ของเอมทิเอและไบโอเดนทิน โดยทำการเคลือบผนังคลองรากฟันด้วยเลือดก่อนอุดยอนปลายรากฟันซึ่งผู้ทำวิจัยให้เหตุผลว่าการปนเปื้อนเลือดหรือของเหลวในร่างกายกับวัสดุอุดยอนปลายรากฟันในระหว่างการทำคัลยกรรมเอ็นโดดอนติกเป็นสิ่งที่อาจเกิดขึ้นได้และเหตุการณ์ดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการผนึกของวัสดุ Nekoofar และคณะในปี 2011 (10) ได้นำเอมทิเอบางส่วนผสมกับเลือด (partial mixed with blood) เพื่อจำลองการปนเปื้อนเลือดระหว่างการซ่อมรอยทะลุบริเวณรากฟัน และมีการผสมเลือดเข้าไปกับเนื้อวัสดุโดยตรงเพื่อเป็นการจำลองเมื่อวัสดุเกิดการปนเปื้อนเลือดอย่างรุนแรง (severe blood contamination) เนื่องจากภาวะการอักเสบอย่างฉับพลัน (acute inflammation) ของเนื้อเยื่อ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวมาจากประสบการณ์ตรงที่ผู้วิจัยพบในคลินิก ดังนั้นจากการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนเลือดหรือของเหลวในร่างกายกับวัสดุอุดยอนปลายรากฟันหรือผนังคลองรากฟันอาจเกิดขึ้นในระหว่างหัตถการได้

จากหลายการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเลือดมีผลกระทบต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของแคลเซียมซิลิเกตซีเมนต์ ซึ่งการเผยแผ่รังสีของวัสดุอุดยอนปลายรากฟันในของเหลวหรือสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน จะทำให้ได้ผลการศึกษาที่แตกต่างกันออกไป บางการศึกษาวัสดุอุดยอนปลายรากฟันจะถูกเผยแผ่รังสีต่อฟอสเฟตบัฟเฟอร์เซลิน (phosphate buffer saline; PBS) (14) บางการศึกษาเก็บฟันที่อุดยอนปลายรากแล้วไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 (100% humidity) แต่ไม่ได้เผยแผ่

ต่อสารเหลวชนิดใดเลย (15) บางการศึกษาหุ้มรากฟันด้วยผ้าก๊อชเปียกและเก็บไว้ในความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 (16) หรือแช่ไว้ในน้ำ (17) ในการศึกษาครั้งนี้เลือกที่จะใช้เลือดของมนุษย์และสารจำลองของเหลวในร่างกายในการเผยแผ่รังสีต่อวัสดุอุดยอนปลายรากฟันเนื่องจากการใช้เลือดมนุษย์จะใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงในทางคลินิกมากที่สุด และการใช้สารจำลองของเหลวในร่างกายตามสูตรของ Kokubo และ Takadama ปี 2006 (13) มีข้อดีคือจะใกล้เคียงกับสภาวะในร่างกายเพราะมีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับในน้ำเลือด (blood plasma) (1 mM) ในขณะที่ PBS และสารเหลวในเนื้อเยื่อแบบสังเคราะห์ (synthetic tissue fluid; STF) มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 9-10 mM (18,19) และ 9.56 mM (20) ตามลำดับ ซึ่งจะสูงกว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเลือด ดังนั้นหากการศึกษาที่ใช้สารเหลวสำหรับสัมผัสกับวัสดุอุดยอนปลายรากฟันที่ไม่เหมือนกับสภาวะในร่างกาย อาจทำให้การแปลผลการศึกษาแตกต่างไปจากความเป็นจริง

การประเมินช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างขอบวัสดุและเนื้อฟันสามารถทำได้หลายวิธี การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาอย่างแพร่หลาย ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถใช้กำลังขยายสูงในการประเมินช่องว่างที่เกิดขึ้น สามารถแยกขอบของวัสดุกับเนื้อฟันได้ชัดเจนและสามารถเก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล (digital form) ได้ (2,15,21) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการประเมินความแนบสนิทของขอบระหว่างไบโอเดนทินและเรโตรีเอมทิเอจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปัญหาการแตกร้าวของชิ้นงานมักเกิดจากขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการดึงน้ำออกจากชิ้นงาน (dehydration) ด้วยแอลกอฮอล์หรือสารเคมีต่าง ๆ การใช้ระบบสุญญากาศสูง (high vacuum pressure) ในการถ่ายภาพ การหดขยายตัวของวัสดุอุดยอนปลายรากฟันในระหว่างขั้นตอนการพันเคลือบโลหะ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้เกิดช่องว่างเทียม (artificial gap) ขึ้นระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟัน (15,22) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้แบบจำลองชิ้นงาน

ด้วยเรซิน (resin replicas) ในการทดสอบเพื่อป้องกันการเกิดช่องว่างเทียม ซึ่งการใช้แบบจำลองชิ้นงานด้วยเรซินมีข้อดีคือ สามารถทำการทดสอบซ้ำได้หลายครั้งโดยไม่เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน และการสร้างรอยพิมพ์ด้วยแอตดิชันซิลิโคนร่วมกับการสร้างแบบจำลองชิ้นงานด้วยเรซินสามารถลอกเลียนรายละเอียดของชิ้นงานได้ในระดับ 1-2 ไมโครเมตร (23) สอดคล้องกับการศึกษาของ Kerdvongbundit และคณะในปี 2004 (24) ที่พบว่าแบบจำลองชิ้นงานด้วยเรซินสามารถลอกเลียนรายละเอียดของผิวเนื้อฟันได้อย่างเที่ยงตรง โดยสามารถให้รายละเอียดของท่อเนื้อฟันได้อย่างชัดเจนและลอกเลียนหยดของเหลวในท่อเนื้อฟัน (dentinal fluid droplets) ที่อยู่บนรูเปิดท่อเนื้อฟันได้อย่างครบถ้วน ซึ่งหยดของเหลวในท่อเนื้อฟันมีขนาดเพียง 5-10 ไมโครเมตรเท่านั้น ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าหลังจากการปนเปื้อนเลือด 7 วัน กลุ่มที่อุดย่นปลายรากฟันด้วยเรซินเอ็มทีเอ มีความแนบสนิทของขอบที่ติกว่ากลุ่มไบโอเดนทินที่มีการปนเปื้อนเลือด ซึ่งผลการศึกษานี้จะขัดแย้งกับการศึกษาของ Bansal และคณะในปี 2019 (25) ที่พบว่าไบโอเดนทินมีความแนบสนิทของขอบที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Bansal และคณะเป็นเพียงการอุดย่นปลายรากฟันและปล่อยให้วัสดุแข็งตัวภายใต้ความชื้นจากลำลื่นน้ำหามาต ๆ เท่านั้น ไม่มีการปนเปื้อนเลือดหรือสัมผัสเลือดแต่อย่างใด ทำให้วัสดุไม่ได้รับผลกระทบจากเลือดและเป็นสถานการณ์ที่ไม่เกิดขึ้นจริงในทางคลินิก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Bolbolian และคณะในปี 2020 (26) ที่พบว่าไบโอเดนทินมีช่องว่างระหว่างวัสดุอุดย่นปลายรากฟันกับเนื้อฟันน้อยที่สุด รองลงมาคือเรซินเอ็มทีเอและโพรูสเอ็มทีเอ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้วพบว่าวัสดุทั้งสามชนิดมีความแนบสนิทของขอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ในการศึกษาของ Bolbolian และคณะหลังจากอุดย่นปลายรากฟันแล้ว วัสดุทั้งสามชนิดไม่มีการสัมผัสเลือดหรือความชื้นใด ๆ เลยเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าในสภาวะที่ไม่มีการปนเปื้อนเลือดไบโอเดนทิน

มีความแนบสนิทของขอบที่ดี แต่อย่างไรก็ตามในสถานการณ์ทางคลินิกขณะที่ทำคัลยกรรมเอ็นโดดอนติก การปนเปื้อนเลือดกับวัสดุอุดย่นปลายรากฟันเป็นสิ่งที่อาจเกิดขึ้นได้ (1,9-11,27,28)

ในการศึกษาครั้งนี้ การที่เรซินเอ็มทีเอมีความแนบสนิทของขอบที่ดีกว่าไบโอเดนทินอาจมีสาเหตุมาจากเรซินเอ็มทีเอมีระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น (initial setting time) ที่สั้นกว่า เนื้อของวัสดุสามารถผสมและใช้งานได้ง่าย ในส่วนผงของเรซินเอ็มทีเอประกอบไปด้วยอนุภาคขนาดเล็ก จึงสามารถทำปฏิกิริยากับส่วนเหลวได้ง่ายขึ้น ซึ่ง Shah และคณะในปี 2018 (29) รายงานว่าการที่วัสดุมีอนุภาคขนาดเล็กทำให้วัสดุมีความแนบกับผนังคลองรากฟันได้ดียิ่งขึ้น ส่วนไบโอเดนทินที่มีความแนบสนิทที่ด้อยกว่า อาจเกิดจากหลังผสมเสร็จไบโอเดนทินมีลักษณะที่ใช้งานยาก และหลังจากอุดเสร็จไบโอเดนทินมีการสัมผัสกับเลือดทันที ทำให้วัสดุได้รับความชื้นมากเกินไป ซึ่งบริษัทผู้ผลิตแนะนำว่าหลังจากที่อุดด้วยไบโอเดนทินแล้วไม่ควรให้วัสดุสัมผัสน้ำหรือสารเหลวชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อให้วัสดุก่อตัวสมบูรณ์ (30) และจากการศึกษาของ Kim และคณะในปี 2015 (31) รายงานว่า ความชื้นที่มากเกินไปมีผลต่อการก่อตัวของไบโอเดนทินและส่งผลให้ไบโอเดนทินแยกตัวออกจากเนื้อฟัน

ในการศึกษาครั้งนี้ หากเปรียบเทียบการเกิดช่องว่างในวัสดุชนิดเดียวกันพบว่า กลุ่มไบโอเดนทินที่มีการปนเปื้อนเลือดบนพื้นผิว 2 ด้าน คือที่ผนังคลองรากฟันกับผิวภายนอกของวัสดุ จะมีช่องว่างระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟันเกิดขึ้นได้มากกว่ากลุ่มที่มีการปนเปื้อนเลือดเพียงพื้นผิวด้านเดียว ในขณะที่เรซินเอ็มทีเอไม่ได้รับผลกระทบดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีการปนเปื้อนเลือดกับกลุ่มควบคุม พบว่ากลุ่มไบโอเดนทินที่มีการปนเปื้อนเลือดมีแนวโน้มที่จะเกิดช่องว่างได้มากกว่ากลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาของ Salem Milani และคณะในปี 2013 (32) ที่พบว่าเอ็มทีเอที่เผชิญต่อเลือดจะมีช่องว่างระหว่างขอบวัสดุกับเนื้อฟันได้มากกว่าการเผชิญต่อของเหลวในเนื้อเยื่อแบบสังเคราะห์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่เลือดหรือ

โปรตีนในเลือดไปทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของวัสดุเกิดไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้วัสดุก่อตัวไม่สมบูรณ์ (33,34) นอกจากนี้แล้วเซลล์เม็ดเลือดหรือโปรตีนในเลือด เช่น อัลบูมิน (albumin) อาจไปอุดตันท่อเนื้อฟันและทำให้เกิดช่องว่างระหว่างวัสดุกับเนื้อฟันได้ (35,36) ดังนั้นในระหว่างการทำคัลยกรรมเอ็นโดดอนติกจึงควรระวังไม่ให้มีเลือดปนเปื้อนเข้ามาบนผนังคลองรากฟันหรือบนเปื้อนเลือดกับเนื้อวัสดุโดยการห้ามเลือดด้วยวิธีต่าง ๆ แต่ถ้าหากการห้ามเลือดไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ การเลือกใช้วัสดุที่มีสมบัติที่ดี สามารถลดผลกระทบที่เกิดจากเลือดได้ก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้การรักษามีโอกาสประสบความสำเร็จได้มากยิ่งขึ้น

#### บทสรุป (Conclusion)

การปนเปื้อนเลือดส่งผลให้วัสดุเคลือบเซรามิกเกิดซีเมนต์สองชนิดมีความแนบสนิทของขอบแตกต่างกัน โดยในกลุ่มไบโอเดนทิน การปนเปื้อนเลือดบนพื้นผิวสองด้านจะเกิดช่องว่างได้มากกว่าการปนเปื้อนเลือดบนพื้นผิวด้านเดียว ในขณะที่กลุ่มเรโพรเอ็มทีโอไม่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนเลือด

#### กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้สนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิทยาเอ็นโดดอนต์ ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะจนงานวิจัยในครั้งนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมไปถึงบุคลากรประจำภาควิชาทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบพระคุณ นางกนกพร สุขยานันท์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือการใช้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและให้คำปรึกษาเรื่องการขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

#### เอกสารอ้างอิง (References)

1. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root end filling materials: effects of blood contamination. J Endod. 1994;20(4):159-63.
2. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. J Endod. 1995;21(6):295-9.
3. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. J Endod. 1993;19(12):591-5.
4. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. J Endod. 1995; 21(7):349-53.
5. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. J Endod. 1995;21(8):403-6.
6. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. J Endod. 1995;21(10):489-92.
7. Jang YE, Lee BN, Koh JT, Park YJ, Joo NE, Chang HS, et al. Cytotoxicity and physical properties of tricalcium silicate-based endodontic materials. Restor Dent Endod. 2014;39(2):89-94.
8. Choi Y, Park SJ, Lee SH, Hwang YC, Yu MK, Min KS. Biological effects and washout resistance of a newly developed fast-setting pozzolan cement. J Endod. 2013;39(4):467-72.
9. Mathew L, Kini S, Acharya S, Kamath S, Menezes N, Rao S. A comparative evaluation of the microleakage of blood-contaminated mineral trioxide aggregate and Biodentine as root-end filling materials: An *in vitro* study. J Interdiscip Dentistry. 2016;6(1):19-24.

10. Nekoofar MH, Davies TE, Stone D, Basturk FB, Dummer PM. Microstructure and chemical analysis of blood-contaminated mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2011;44(11):1011-8.
11. Nekoofar MH, Stone DF, Dummer PM. The effect of blood contamination on the compressive strength and surface microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2010; 43(9):782-91.
12. Farrugia C, Baca P, Camilleri J, Arias Moliz MT. Antimicrobial activity of ProRoot MTA in contact with blood. *Sci Rep.* 2017;7:41359.
13. Kokubo T, Takadama H. How useful is SBF in predicting *in vivo* bone bioactivity? *Biomaterials.* 2006;27:2907-15.
14. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Ashoftehyazdi K, Zahraee S, Khoshkhounejad M. Marginal adaptation of new bioceramic materials and mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscopy study. *Iran Endod J.* 2014;9(2):144-8.
15. Badr AE. Marginal adaptation and cytotoxicity of bone cement compared with amalgam and mineral trioxide aggregate as root-end filling materials. *J Endod.* 2010;36(6):1056-60.
16. Shipper G, Grossman ES, Botha AJ, Cleaton-Jones PE. Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) compared with amalgam as a root-end filling material: a low-vacuum (LV) versus high-vacuum (HV) SEM study. *Int Endod J.* 2004;37(5):325-36.
17. Gondim E, Zaia AA, Gomes BP, Ferraz CC, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Investigation of the marginal adaptation of root-end filling materials in root-end cavities prepared with ultrasonic tips. *Int Endod J.* 2003;36(7):491-9.
18. Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. Biom mineralization ability and interaction of mineral trioxide aggregate and white portland cement with dentin in a phosphate-containing fluid. *J Endod.* 2009;35(5):731-6.
19. Gandolfi MG, Ciapetti G, Taddei P, Perut F, Tinti A, Cardoso MV, et al. Apatite formation on bioactive calcium-silicate cements for dentistry affects surface topography and human marrow stromal cells proliferation. *Dent Mater.* 2010;26(10):974-92.
20. Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2005;31(2):97-100.
21. Al-Fouzan K, Al-Garawi Z, Al-Hezaimi K, Javed F, Al-Shalan T, Rotstein I. Effect of acid etching on marginal adaptation of mineral trioxide aggregate to apical dentin: microcomputed tomography and scanning electron microscopy analysis. *Int J Oral Sci.* 2012;4(4):202-7.
22. Bolhari B, Ashofteh Yazdi K, Sharifi F, Pirmoazen S. Comparative scanning electron microscopic study of the marginal adaptation of four root-end filling materials in presence and absence of blood. *J Dent (Tehran).* 2015;12(3):226-34.
23. Gandolfi MG, Sauro S, Mannocci F, Watson TF, Zanna S, Capoferri M, et al. New tetrasilicate cements as retrograde filling material: an *in vitro* study on fluid penetration. *J Endod.* 2007;33(6):742-5.
24. Kerdvongbundit V, Thiradilok S, Vongsavan N, Matthews B. The use of the replica technique to record fluid emerging from exposed dentine. *Arch Oral Biol.* 2004;49(8):613-9.

25. Bansal R, Bansal M, Matta MS, Walia S, Kaur B, Sharma N. Evaluation of marginal adaptation of MTA, Biodentine, and MTA Plus as root-end filling materials-an SEM study. *Dent J Adv Stud.* 2019;7(1):6-11.
26. Bolbolian M, Mostafaei F, Faegh S. Evaluation of the marginal adaptation of ProRoot MTA, Biodentine, and Retro MTA as root-end filling materials. *Dent Hypotheses.* 2020;11(4):97-102.
27. Sasaki S, Kimura Y, Imai H, Sato Y, Kamada A, Kurumada F, et al. Effects of blood contamination on sealing ability and microhardness of mineral trioxide aggregate used as a root-end filling material. *Jpn J Conserv Dent.* 2013;56(3):200-7.
28. Nekoofar MH, Oloomi K, Sheykhrezae MS, Tabor R, Stone DF, Dummer PM. An evaluation of the effect of blood and human serum on the surface microhardness and surface microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2010;43(10):849-58.
29. Shah DK, Sanap- Tandale A, Aggarwal S, Borse S, Borse N, A N. Sealing ability of root end filling materials – a systematic review. *Int J Recent Sci Res.* 2018;9(3):25386-90.
30. Ustun Y, Topcuoglu HS, Akpek F, Aslan T. The effect of blood contamination on dislocation resistance of different endodontic reparative materials. *J Oral Sci.* 2015;57(3):185-90.
31. Kim JR, Nosrat A, Fouad AF. Interfacial characteristics of Biodentine and MTA with dentine in simulated body fluid. *J Dent.* 2015;43(2):241-7.
32. Salem Milani A, Rahimi S, Froughreyhani M, Vahid Pakdel M. Effect of blood contamination on marginal adaptation and surface microstructure of mineral trioxide aggregate: a SEM study. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2013;7(3):157-63.
33. Chang SW. Chemical characteristics of mineral trioxide aggregate and its hydration reaction. *Restor Dent Endod.* 2012;37(4):188-93.
34. Akcay H, Arslan H, Akcay M, Mese M, Sahin NN. Evaluation of the bond strength of root-end placed mineral trioxide aggregate and Biodentine in the absence/presence of blood contamination. *Eur J Dent.* 2016;10(3):370-5.
35. Adl A, Sobhnamayan F, Sadatshojaee N, Azadeh N. Effect of blood contamination on the push-out bond strength of two endodontic biomaterials. *J Res Dent.* 2016;4(2):59-63.
36. Rahimi S, Ghasemi N, Shahi S, Lotfi M, Froughreyhani M, Milani AS, et al. Effect of blood contamination on the retention characteristics of two endodontic biomaterials in simulated furcation perforations. *J Endod.* 2013;39(5):697-700.

**ติดต่อบทความ :**

ผศ.ทพ.สุวิทย์ วิมลจิตต์

ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

114 สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110

โทรศัพท์ 02 649 5112

อีเมล: suwim46@hotmail.com

**Corresponding author:**

Assist.Prof.Dr. Suwit Wimonchit

Department of Conservative Dentistry and

Prosthodontics, Faculty of Dentistry,

Srinakharinwirot University,

114, Sukhumvit 23, Wattana, Bangkok 10110,

Thailand.

Tel: +66 2 649 5112

E-mail: suwim46@hotmail.com

Received Date: Jul 20, 2021

Revised Date: Aug 27, 2021

Accepted Date: Dec 16, 2021