

ผลของอัตราส่วนผงต่อของเหลวต่อความแข็งแรง พันธะผลึกออกของวัสดุไบโอเดนติน

ญาณิษฐ์ เกลิมสุรกาญจน์* กุลนันท์ คำรงวุฒิ* จารุมา ศักดิ์ศิริ*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนผงต่อของเหลวที่แตกต่างกันต่อความแข็งแรงพันธะผลึกออกของวัสดุไบโอเดนติน ทำการทดลองในฟันแท่งเดี่ยวของมนุษย์ 32 ซี่ กรอเปิดเข้าสู่โพรงเนื้อเยื่อในด้วยหัวกรอเร็วจากเพชรทรงกลม และเตรียมคลองรากฟันด้วยหัวกรอชนิดพีโซขนาด 1-4 ตามลำดับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคลองรากฟันสุดท้ายเท่ากับ 1.4 มิลลิเมตร สุ่มแบ่งฟันออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ซี่ ได้แก่ กลุ่มควบคุมอุดด้วยวัสดุเอ็มทีเอ กลุ่มทดลองอุดด้วยวัสดุไบโอเดนตินที่ผสมด้วยอัตราส่วน 1:4 (บีที1:4) 1:5 (บีที1:5) และ 1:6 (บีที1:6) คัดรากฟันที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร จะได้ตัวอย่าง 16 ซี่ สุ่มแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดสอบความแข็งแรงพันธะผลึกออกด้วยเครื่องทดสอบสากลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ทดสอบหลังแช่ในสารละลายฟิโบเอสเป็นเวลา 28 วัน นำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติทีเพื่อทดสอบ ผลการศึกษาพบว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมง กลุ่มบีที1:6 (17.569 เมกะปาสคัล) มีความแข็งแรงพันธะผลึกออกมากกว่า เอ็มทีเอ (10.056 เมกะปาสคัล) บีที1:4 (11.454 เมกะปาสคัล) และ บีที1:5 (12.159 เมกะปาสคัล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่เวลา 28 วัน กลุ่มบีที1:5 (15.169 เมกะปาสคัล) และ บีที1:4 (14.704 เมกะปาสคัล) มีความแข็งแรงพันธะผลึกออกมากกว่ากลุ่มบีที1:6 (10.169 เมกะปาสคัล) และกลุ่มเอ็มทีเอ (10.725 เมกะปาสคัล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมผงต่อของเหลวที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกของวัสดุไบโอเดนติน

คำไ้รหัส: ความแข็งแรงพันธะผลึกออก/ ไบโอเดนติน/ อัตราส่วนผสมผงต่อของเหลว/ เอ็มทีเอ

Received: Jan 22, 2021

Revised: Aug 11, 2021

Accepted: Sep 17, 2021

บทนำ

การรักษาคลองรากฟันซี่โดยใช้วิธีสัลยกรรมเป็นทางเลือกในการรักษาเมื่อไม่สามารถทำการรักษาคลองรากฟันซี่โดยใช้วิธีสัลยกรรมได้ เช่น ฟันที่มีการบูรณะด้วยเดือยฟันที่ยาว ฟันที่มีการหักของเครื่องมือในคลองรากฟัน และไม่สามารถนำออกได้ เป็นต้น การอุดย้อนปลายรากฟัน (Retrofill) เป็นขั้นตอนหนึ่งในการรักษาคลองรากฟันซี่โดยใช้วิธีสัลยกรรม จุดประสงค์ของการอุดย้อนปลายรากฟัน คือ เพื่อให้เกิดความแนบสนิทที่ดี (Hermetic seal) และป้องกันเชื้อแบคทีเรียออกสู่เนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน คุณสมบัติในอุดมคติของวัสดุที่นำมาอุดย้อนปลายรากฟันคือ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) กับเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน ไม่มีความเป็นพิษ มีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antimicrobial property) มีมิติที่คงที่ (Dimensional stable) ไม่ละลายตัว (Solubility) ทึบรังสี (Radiopacity) ใช้งานง่าย และมีเวลาทำงานที่เหมาะสม¹

คุณสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของวัสดุอุดย้อนปลายรากฟันที่ดีคือ สามารถยึดติดกับผนังคลองรากฟันเพื่อต้านทานแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ เช่น แรงบดเคี้ยว ความ

แข็งแรงพันธะของวัสดุอุดย้อนปลายรากฟันกับผนังคลองรากฟันเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้วัสดุยึดติดกับผนังคลองรากฟันได้ โดยวัสดุที่มีความแข็งแรงพันธะสูงจะช่วยต้านทานแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของวัสดุ ปัจจุบันการทดสอบการผลึกออก (Push-out test) เป็นวิธีที่นิยมนำมาทดสอบความแข็งแรงพันธะของวัสดุอุดย้อนปลายรากฟัน โดยการให้แรงบนวัสดุที่ถูกล้อมรอบด้วยเนื้อฟันซึ่งถือเป็นการทดสอบในภาวะเสมือนคลินิก²

วัสดุเซรามิกชีวภาพ (Bioceramic) เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการอุดย้อนปลายรากฟันเนื่องจากมีสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุในอุดมคติ มีเอนอร์ไลต์รอกไฮดรอกไซด์แอกริเกต หรือ เอ็มทีเอ (Mineral trioxide aggregation; MTA) เป็นวัสดุในกลุ่มเซรามิกชีวภาพที่นิยมนำมาใช้ในการอุดย้อนปลายรากฟัน เนื่องจากเอ็มทีเอเป็นวัสดุที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ³ มีความแนบสนิทที่ดี⁴ แต่อย่างไรก็ตามเอ็มทีเอยังมีข้อด้อยคือ ใช้งานยาก และมีระยะเวลาการแข็งตัว (Setting time) นาน⁵ ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการนำวัสดุเซรามิกชีวภาพชนิดอื่นมาใช้แทนเอ็มทีเอ

ไบโอเดนติน (Biodentine™: Septodont, PA, USA) เป็นวัสดุในกลุ่มเซรามิกชีวภาพชนิดหนึ่งพัฒนาจากเอมทิโอ มีแคลเซียมซิลิเกตเป็นส่วนประกอบหลักเช่นเดียวกับเอมทิโอ ไบโอเดนตินมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์⁶ มีความเหมาะสมกับโพรงฟันที่ดี⁷ และยังมีระยะเวลาแข็งตัวเร็วกว่าเอมทิโอ มีระยะเวลาแข็งตัวเริ่มต้น 12 นาที และระยะเวลาแข็งตัวสุดท้าย 45 นาที⁸

วัสดุที่นำมาใช้ในงานอุดซ่อมปลายรากฟันควรมีลักษณะที่กดอัดได้และสามารถใส่ในเครื่องมือเพื่อนำเข้าสู่ปลายรากฟัน อัตราส่วนผงต่อของเหลวของไบโอเดนตินที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำคือ ส่วนผง 1 แคปซูล ต่อส่วนของเหลว 5 หยด ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อครีมค่อนข้างเหลวในระยะแรก ไม่สามารถกดอัดได้ทันที ในทางปฏิบัติทันตแพทย์อาจมีการลดส่วนของเหลวเหลือ 4 หยด เพื่อให้ได้เนื้อวัสดุที่พร้อมกดอัดในทันที นอกจากนี้อัตราส่วนผงต่อของเหลว 5 หยดจะมีลักษณะเป็นครีมไหลแผ่ได้น้อย จึงอาจมีการเพิ่มส่วนของเหลวเป็น 6 หยด เพื่อต้องการให้วัสดุมีการไหลแผ่มากขึ้นจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผงต่อของเหลวของไบโอเดนตินส่งผลต่อการละลายตัวของวัสดุ⁹ แต่ไม่ส่งผลต่อระยะเวลาการแข็งตัว และความทนแรงอัด (Compressive strength) ของวัสดุ¹⁰ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาผลต่อความแข็งแรงพันธะผลึกออก ดังนั้นจุดประสงค์ของการศึกษานี้คือ ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผงต่อของเหลวต่อความแข็งแรงพันธะผลึกออกของไบโอเดนตินเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกอัตราส่วนผงต่อของเหลวของไบโอเดนตินที่เหมาะสมให้เกิดการยึดติดของวัสดุอุดปลายรากฟันที่ดีซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความสำเร็จในการรักษา

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมฟัน

คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรมจีพาวเวอร์ (G-power) เวอร์ชัน 3.1 โดยอ้างอิงค่าจากการศึกษาของ Turker และ Uzunoglu¹¹ วิธีการเตรียมฟันและแผ่นเนื้อฟันสำหรับการทดสอบความแข็งแรงพันธะผลึกออก อ้างอิงจากวิธีของ Guneser และคณะ¹² และ Reyes-Carmona และคณะ¹³ นำฟันแท่งรากเดียวของมนุษย์ที่ถูกถอนทั้งหมด 32 ซี่ โดยเลือกฟันที่มีหนึ่งคลองรากฟัน ไม่เคยได้รับการรักษารากฟัน ไม่มีการละลายของรากฟัน เป็นรากฟันที่เจริญเต็มที่ และไม่

พบฟันผุหรือรอยแตกที่บริเวณรากฟัน ทำความสะอาดฟันโดยใช้เครื่องมือเกลารากฟัน (Curettes)

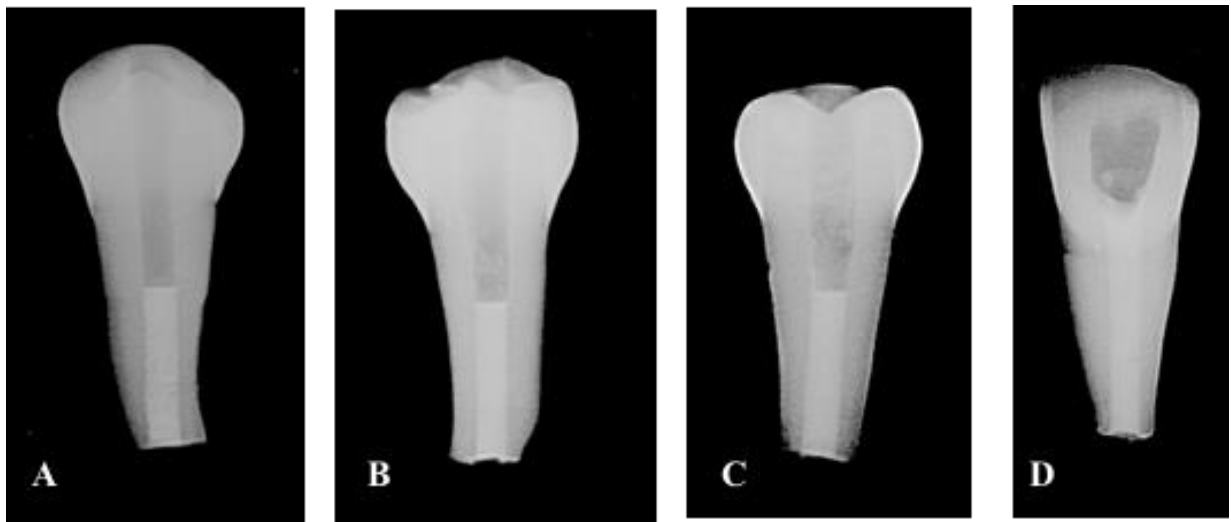
การเตรียมคลองรากฟันทำโดยกรอเปิดเข้าสู่โพรงเนื้อเยื่อใน (Open access) ด้วยหัวกรอเร็วจากเพชรทรงกลม (High speed round diamond burs) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 มิลลิเมตร จากนั้นตัดปลายรากฟัน ออก 3 มิลลิเมตร เตรียมคลองรากฟันจากปลายรากฟันด้วยหัวกรอชนิดพีโซ (Peeso burs) ขนาด 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ล้างคลองรากฟันระหว่างเปลี่ยนขนาดหัวกรอด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 จำนวน 3 มิลลิตร หลังจากการเตรียมคลองรากฟันเสร็จล้างคลองรากฟันครั้งสุดท้ายด้วยอีดีทีเอ ความเข้มข้นร้อยละ 17 (17% EDTA) จำนวน 1 มิลลิตร และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 จำนวน 3 มิลลิตร ขับคลองรากฟันให้แห้งด้วยกระดาษซับรูปกรวยแหลม (Paper point) ตรวจสอบลักษณะคลองรากฟันที่เตรียมเสร็จด้วยเครื่องมือเอกซเรย์ร่วมกับฟิล์มดิจิตอล คลองรากฟันที่เตรียมได้ต้องมีลักษณะตรง ผนังคลองรากฟันขนานกันตลอดความยาวรากฟัน และขนานกับแกนตามยาว (Long axis) ของรากฟัน

จากนั้นแบ่งฟันที่เตรียมได้โดยใช้วิธีสุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ซี่ และอุดซ่อมปลายรากฟันด้วยวัสดุดังนี้ กลุ่มควบคุมคือ เอ็มทิโอ (White ProRoot® MTA, Dentsply Tulsa dental, Tulsa OK, USA) อัตราส่วนผงต่อของเหลว 1:0.33 โดยน้ำหนัก เตรียมส่วนผงและของเหลวโดยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ผสมโดยใช้พายผสมซีเมนต์ (Cement spatula) บนแผ่นแก้ว (Glass slab) กลุ่มทดลองคือ วัสดุไบโอเดนติน (Biodentine™: Septodont, PA, USA) ที่ผสมด้วยอัตราส่วนผงต่อของเหลวที่แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มไบโอเดนติน 1:4 คือ ไบโอเดนตินที่ผสมด้วยอัตราส่วนผง 1 แคปซูลต่อของเหลว 4 หยด (0.145 มิลลิตร) (2) กลุ่มไบโอเดนติน 1:5 คือ ไบโอเดนตินที่ผสมด้วยอัตราส่วนผง 1 แคปซูลต่อของเหลว 5 หยด (0.180 มิลลิตร) (3) กลุ่มไบโอเดนติน 1:6 คือ ไบโอเดนตินที่ผสมด้วยอัตราส่วนผง 1 แคปซูลต่อของเหลว 6 หยด (0.215 มิลลิตร) โดยส่วนน้ำจะถูกเตรียมด้วยเครื่องดูดจ่ายสารละลายอัตโนมัติ (Auto pipette) เพื่อให้มีปริมาตรที่เท่ากันในแต่ละกลุ่มทดลอง และผสมด้วยเครื่องปั่นอะมัลกัมที่ความเร็ว 4000-4200 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที

การอุดคลองรากฟัน

นำวัสดุทดสอบซึ่งผสมในอัตราส่วนที่กำหนดอุดย้อนปลายรากฟันด้วยเครื่องนำอะมัลกัม (Amalgam carrier) และกดอัดให้แน่น ตรวจสอบวัสดุอุดในคลองรากฟันด้วยเครื่องมือเอ็กซเรย์ร่วมกับฟิล์มดิจิตอล โดยวัสดุอุดต้องมีลักษณะ

อุดแน่นเต็ม ไม่มีช่องว่างภายในเนื้อวัสดุ ไม่มีช่องว่างระหว่างวัสดุกับผนังคลองรากฟัน และมีความหนาของวัสดุ 7 มิลลิเมตร (รูปที่ 1) นำสำลีสับน้ำหมาดใส่ในคลองรากฟัน ส่วนคั่นและปิดปลายรากฟันเพื่อให้วัสดุแข็งตัว นำฟันเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 1 ภาพรังสีการอุดย้อนปลายรากฟันด้วยเอ็มทีเอ (A) ไบโอเดนทีน 1:4 (B) ไบโอเดนทีน 1: 5 (C) และไบโอเดนทีน 1:6 (D)

Figure 1 Retrograde filling films with MTA (A) Biodentine 1:4 (B) Biodentine 1:5 (C) and Biodentine 1:6 (D)

การเตรียมแผ่นเนื้อฟัน (Dentine disc)

นำฟันมาตัดในแนวขวางด้วยแผ่นเลื่อยไอโซเมท (Low speed Isomet diamond saw) โดยวางฟันให้แนวแกนกลางของคลองรากฟันตั้งฉากกับแผ่นเลื่อยไอโซเมท เพื่อทำแผ่นเนื้อฟันหนา 3 มิลลิเมตร โดยฟันหนึ่งซี่จะเตรียมแผ่นเนื้อฟันได้ 2 แผ่น ตรวจสอบว่าวัสดุมีการแข็งตัวสมบูรณ์โดยดูจากผิวของวัสดุทั้ง 2 ด้าน มีพื้นผิวแข็งและไม่ยุบตัวเมื่อถูกกด จากนั้นขัดแต่งแผ่นเนื้อฟันให้เรียบโดยใช้กระดาษทรายความละเอียด 400 นำแผ่นเนื้อฟันทั้งหมดกลุ่มละ 16 แผ่น มาวัดเส้นผ่านศูนย์กลางคลองรากฟันอีกครั้งด้วยเครื่องสเตอริโอไมโครสโคป ทำการวัดขนาดและเทียบอัตราส่วนกับแผ่นวัดขนาดมาตรฐานซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคลองรากฟันมีขนาดเท่ากับ 1.4 ± 0.05 มิลลิเมตร จากนั้นแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยวิธีสุ่มกลุ่มละ 8 ซัน โดยแต่ละกลุ่มประกอบด้วยแผ่นเนื้อฟันส่วนกลาง (Middle part) 4 ซัน และส่วนปลาย (Apical part) 4 ซัน ด้วยกลุ่มหนึ่งนำไปทดสอบความแข็งแรงพันธะผลึกออกทันที (ความแข็งแรงพันธะผลึกออกที่เวลา 24 ชั่วโมง) และอีกกลุ่มหนึ่งนำไปแช่ในสารละลายฟิฟิเอสเป็นเวลา 28 วัน (ความแข็งแรงพันธะผลึกออกที่เวลา 28 วัน)

การทดสอบความแข็งแรงพันธะผลึกออก

นำแผ่นฟันมาทดสอบความแข็งแรงพันธะผลึกออกโดยใช้เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) นำชิ้นงานวางบนแท่นโลหะของเครื่องที่มีรูตรงกลาง วางชิ้นงานให้มั่นคงโดยวางส่วนตัวฟัน (Coronal part) ไว้ด้านล่าง จากนั้นให้แรงกดลงบนผิวของวัสดุด้วยเข็มทดสอบทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ความเร็วหัวทดสอบ 0.2 มิลลิเมตร ต่อนาที ตำแหน่งหัวทดสอบกดลงกลางวัสดุอุดห่างจากผนังคลองรากฟันโดยรอบ 0.3 มิลลิเมตร เพื่อให้แน่ใจว่าหัวทดสอบกดอยู่บนวัสดุอุดเท่านั้น บันทึกแรงมากที่สุดที่ทำให้วัสดุหลุดออกจากคลองรากฟันในหน่วยนิวตัน (Newtons) โดยค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออก (MPa) คำนวณได้จากสูตร

Push out bond strength (MPa) =

$$\frac{\text{maximum load (newtons)}}{\text{adhesion area } (2\pi r \times h) \text{ (mm}^2\text{)}}$$

r คือ รัศมีคลองรากฟัน และ h คือ ความหนาแผ่นเนื้อฟัน

จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างมาพิจารณาลักษณะการแตกหักด้วยกล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 25 โดยแบ่งชนิดของการแตกหักออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ (1) การแตกหักแบบยึดติด (Adhesive failure) เป็นการหลุดออกของวัสดุอย่างสมบูรณ์ ไม่พบวัสดุหลงเหลืออยู่ที่ผนังคลองรากฟัน (2) การแตกหักแบบเชื่อมแน่น (Cohesive failure) เป็นการหลุดออกภายในวัสดุโดยเหลือวัสดุอยู่รอบบริเวณรอยต่อ (3) การแตกหักแบบผสม (Mixed failure) เป็นการหลุดออกของวัสดุอย่างไม่สมบูรณ์ พบวัสดุบางส่วนหลงเหลืออยู่บริเวณรอยต่อ

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลด้วยการทดสอบสถิติโคโมโกรอฟสเมอรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov) พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงพันธะผลักรหว่างวัสดุไบโอเดนตินแต่ละกลุ่มและเอมทิเอด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้สถิติทูเกียเอสดีเทสต์ (Tukey's HSD test)

ผล

ไบโอเดนติน 1:4 เนื้อวัสดุมีลักษณะร่วนแข็งสามารถบิ่นเป็นก้อนและกดอัดได้ ไบโอเดนติน 1:5 เนื้อวัสดุมีความมันวาว มีลักษณะเป็นเนื้อครีมที่ชั้นหนืดไม่สามารถกดอัดได้ทันที และ ไบโอเดนติน 1:6 มีลักษณะเป็นเนื้อครีมที่เหลวมากขึ้น

ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่าไบโอเดนติน 1:6 มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะผลักรอกมากกว่าไบโอเดนติน 1:5 ไบโอเดนติน 1:4 และเอมทิเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะผลักรอกเท่ากับ 17.569

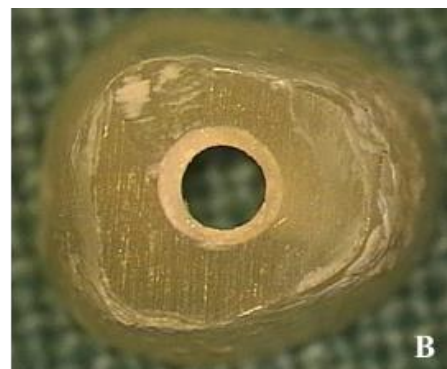
12.159 11.454 และ 10.056 เมกะปาสคัลตามลำดับ ที่เวลา 28 วัน พบว่าไบโอเดนติน 1:5 และไบโอเดนติน 1:4 มีค่าความแข็งแรงพันธะผลักรอกมากกว่าไบโอเดนติน 1:6 และเอมทิเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะผลักรอกเท่ากับ 15.619 14.704 10.169 และ 10.725 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงพันธะผลักรอกที่เวลา 24 ชั่วโมงและ 28 วัน พบว่าไบโอเดนติน 1:5 และไบโอเดนติน 1:4 มีค่าความแข็งแรงพันธะผลักรอกที่เวลา 28 วันมากกว่าที่เวลา 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ไบโอเดนติน 1:6 มีค่าความแข็งแรงพันธะผลักรอกที่เวลา 28 วันน้อยกว่าที่เวลา 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนเอมทิเอไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสรุปไบโอเดนตินมีค่าความแข็งแรงพันธะผลักรอกที่เวลา 24 ชั่วโมง และ 28 วันแตกต่างกัน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าความแข็งแรงพันธะผลักรอก
Table 1 Push out bond strength

Group	Mean push out bond strength $\pm$ SD (MPa)	
	24 hours	28 days
MTA	10.056 $\pm$ 1.889 ^a	10.725 $\pm$ 1.987 ^a
BD 1:4	11.454 $\pm$ 2.118 ^a	14.704 $\pm$ 1.881 ^b
BD1:5	12.159 $\pm$ 2.396 ^a	15.619 $\pm$ 2.689 ^b
BD1:6	17.569 $\pm$ 1.302 ^b	10.169 $\pm$ 2.213 ^a

*Means with different superscripted lowercase letters indicates statistically significant difference within groups (24 hours vs 28 days) and between groups (control vs test groups) ($p < 0.05$)

ผลการศึกษาพบการแตกหักแบบเชื่อมแน่นมากที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง (ร้อยละ 87.5) รองลงมาคือการแตกหักแบบผสม (ร้อยละ 12.5) และไม่พบการแตกหักแบบยึดติดในทุกกลุ่มการทดลอง (ร้อยละ 0) (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ภาพจากกล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 25 แสดงลักษณะการแตกหักแบบผสม (A) และการแตกหักแบบเชื่อมแน่น (B)

Figure 2 The picture from microscope 25 magnifying power represent mixed failure (A) and cohesive failure (B)

อภิปรายผล

ความแข็งแรงพันธะของวัสดุอุดชั้นปลายรากฟันเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ทำให้เกิดความสำเร็จในการรักษาอัตราส่วนผงต่อของเหลวเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อความแข็งแรงพันธะของวัสดุ¹¹ อัตราส่วนไบโอเดนทินที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ อัตราส่วน 1:4, 1:5 และ 1:6 เนื่องจากสามารถใส่ในเครื่องมืออุดชั้นปลายรากฟันและสามารถกดอัดได้ ผลการศึกษาที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่าไบโอเดนทิน 1:6 มีค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกมากกว่าเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Guneser และคณะ¹² และ Aggarwal และคณะ¹⁴ เนื่องจากไบโอเดนทินมีอนุภาคที่เล็กกว่าเอ็มทีเอ ทำให้เนื้อซีเมนต์สามารถแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้มากกว่าเอ็มทีเอ ส่งเสริมให้เกิดการยึดทางกลขนาดเล็ก (Micromechanical retention) ส่วนในกลุ่มไบโอเดนทินพบว่าไบโอเดนทิน 1:6 มีค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกมากกว่าไบโอเดนทิน 1:5 และ 1:4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากไบโอเดนทิน 1:6 มีลักษณะเป็นเนื้อครีมเหลวไหลแผ่ได้ดีกว่าไบโอเดนทิน 1:5 และ 1:4 จึงสามารถไหลแผ่เข้าไปในท่อเนื้อฟันได้ เกิดเป็นการยึดติดทางกลช่วยส่งเสริมให้มีการยึดติดดีจึงมีค่าความแข็งแรงพันธะสูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Reyhani และคณะ¹⁵ พบว่าการลดส่วนผงของวัสดุซีอีเอ็ม (CEM; Calcium-enriched mixture) ทำให้วัสดุมีลักษณะเป็นเนื้อครีมเหลวและไหลแผ่ได้ดี ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกมีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ไบโอเดนทิน 1:6 ยังมีส่วนเหลวมากกว่า ส่วนเหลวของไบโอเดนทินประกอบด้วยแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรชันได้เร็วขึ้น⁸ ทำให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ทำให้วัสดุมีความแข็งแรง¹⁶ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของไบโอเดนทิน 1:6 ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีค่าสูงกว่าไบโอเดนทิน 1:5 และ 1:4

ผลการศึกษาวัสดุที่แช่ในฟิปีเอสเป็นเวลา 28 วัน พบว่าไบโอเดนทิน 1:4 และ 1:5 มีค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกมากกว่าไบโอเดนทิน 1:6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากไบโอเดนทิน 1:6 มีการละลายตัวที่มากกว่าไบโอเดนทิน 1:5 และ 1:4 สอดคล้องกับการศึกษาของอลิสานันท์⁹ พบว่าไบโอเดนทินที่ผสมด้วยอัตราส่วนของเหลว 6 หยด มีการละลายตัวมากกว่าไบโอเดนทินที่ผสมด้วยอัตราส่วนของเหลว 5 หยดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ Fridland และ Rosado¹⁷ ยังพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของเหลวจะส่งผล

ให้เอ็มทีเอมีการละลายตัวและปริมาณรูพรุนมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากลุ่มที่เวลา 24 ชั่วโมงกับกลุ่มที่แช่ในสารละลายฟิปีเอส 28 วัน แสดงให้เห็นว่าไบโอเดนทิน 1:4 และ 1:5 มีค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เอ็มทีเอไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากวัสดุไบโอเดนทินมีการสร้างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้มากกว่าเอ็มทีเอ ซึ่งการสร้างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยส่งเสริมให้ค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกมีค่าสูงขึ้น¹³ สอดคล้องกับการศึกษาของ Han และ Okiji¹⁸ ที่พบว่าไบโอเดนทินมีการสร้างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้มากกว่าเอ็มทีเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อแช่ในสารละลายฟิปีเอสเป็นเวลา 30 วัน แต่อย่างไรก็ตามเอ็มทีเอสามารถสร้างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป Reyes-Caemona และคณะ¹³ พบว่าโพรูทเอ็มทีเอมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะผลึกออกเพิ่มมากขึ้นเมื่อนำไปแช่ในสารละลายฟิปีเอสเป็นเวลา 2 เดือน นอกจากนี้ความแข็งแรงพันธะผลึกออกของไบโอเดนทิน 1:6 ที่แช่ในสารละลายฟิปีเอสเป็นเวลา 28 วัน มีค่าน้อยกว่าที่เวลา 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากไบโอเดนทิน 1:6 มีการละลายตัวสูง และอาจส่งผลต่อความแนบสนิทของวัสดุ⁹

ผลการศึกษาพบว่าวัสดุทั้งไบโอเดนทิน และเอ็มทีเอมีการแตกหักแบบเชื่อมแน่นเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 87.5) และไม่พบการแตกหักชนิดยึดติดในวัสดุทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่าทั้งไบโอเดนทินและเอ็มทีเอมีการยึดติดกับเนื้อฟันที่ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Han และ Okiji¹⁹ ซึ่งศึกษาลักษณะบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุไบโอเดนทิน และเอ็มทีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีลักษณะเป็นแท่งบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุทั้งสองชนิด

ในการศึกษานี้พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะผลึกออกที่เวลา 24 ชั่วโมงของเอ็มทีเอมีค่าเท่ากับ 10.056 เมกะปาสคัล และไบโอเดนทินที่ผสมด้วยอัตราส่วนของเหลว 5 หยด มีค่าเท่ากับ 12.159 เมกะปาสคัล สูงกว่าหลายการศึกษาที่ผ่านมา โดยจากการศึกษาของ El-Ma'aita และคณะ²⁰ พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะผลึกออกของเอ็มทีเอมีค่าเท่ากับ 7.54 เมกะปาสคัล และไบโอเดนทินกับ 8.79 เมกะปาสคัล

และจากการศึกษาของ Guneser และคณะ¹² พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะผลึกออกของเอ็มทีเอมีค่าเท่ากับ 3.49 เมกะปาสคัล และไบโอเดนทินกับ 7.23 เมกะปาสคัล ทั้งนี้เป็นเพราะการศึกษานี้ใช้ความหนาของแผ่นเนื้อฟัน 3 มิลลิเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับความหนาของวัสดุอุดปลายรากฟันจริงที่ใช้ในทางคลินิก ซึ่งหนาว่าการศึกษาของของ El-Ma'aita และคณะ²⁰ ที่มีความหนาของแผ่นเนื้อฟัน 2 มิลลิเมตร และ Guneser และคณะ¹² ที่มีความหนาของแผ่นเนื้อฟัน 1 มิลลิเมตร โดยการเพิ่มความหนาของแผ่นเนื้อฟันทำให้เพิ่มพื้นที่การเสียดสีส่งผลให้เกิดแรงเสียดทาน (Friction force) ที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกของการศึกษานี้มีค่ามากกว่า²¹

จากการศึกษานี้และการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าวัสดุเอ็มทีเอและไบโอเดนทินเป็นวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกสูง^{12,20} และมีการยึดติดบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุทำให้วัสดุทั้งสองมีความต้านทานต่อการหลุดออกเมื่อมีแรงกระทำ^{19,22}

การศึกษานี้ทำการศึกษาในแผ่นเนื้อฟันที่ถูกตัดจากส่วนกลาง (Middle part) และส่วนปลาย (Apical part) ของรากฟัน เนื่องจากไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความแข็งแรงพันธะออกในแผ่นเนื้อฟันส่วนกลางและส่วนปลาย²² และเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการซึ่งควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออก ได้แก่ อัตราส่วนของหัวทดสอบต่อขนาดคลองรากฟัน^{21,23} และชั้นสเมียร์ (Smear layer)²⁰ ซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงลักษณะในทางคลินิกและไม่สามารถขยายผลไปในทางคลินิกได้ทั้งหมด แต่อาจเป็นประโยชน์ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับทันตแพทย์ในการเลือกอัตราส่วนผสมของวัสดุไบโอเดนทิน

ภายใต้ข้อจำกัดจากการศึกษานี้พบว่าเมื่อแช่ในสารละลายฟิฟีส 28 วัน ซึ่งสอดคล้องกับสภาวะจริงของวัสดุอุดปลายรากฟันที่สัมผัสกับของเหลวในร่างกาย ไบโอเดนทิน 1:4 และ 1:5 มีค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกมากขึ้น และมากกว่าไบโอเดนทิน 1:6 และเอ็มทีเอ นอกจากนี้ไบโอเดนทิน 1:4 และ 1:5 มีลักษณะเป็นก้อนและกดอัดได้ดีกว่าไบโอเดนทิน 1:6 ดังนั้นจากผลการศึกษานี้พบว่าไบโอเดนทิน 1:4 และ 1:5 มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานอุดซ่อมปลายรากฟัน แต่อย่างไรก็ตามการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผงต่อของเหลวอาจส่งผลต่อสมบัติอื่นๆของวัสดุไบโอเดนทิน เช่น ความหนืด คุณสมบัติชีวเคมี ซึ่งจำเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความสำเร็จในการรักษาจึงควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคต

บทสรุป

จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผงต่อของเหลวส่งผลต่อความแข็งแรงพันธะผลึกออกของวัสดุไบโอเดนทิน โดยเมื่อเวลาผ่านไป 28 วันไบโอเดนทิน 1:4 และ 1:5 มีความแข็งแรงพันธะผลึกออกมากกว่าไบโอเดนทิน 1:6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

1. Johnson BR, Fayad MI. Periradicular surgery. In: Hargreaves KM, Berman LH, Rotstein I, editors. Cohen's Pathways of the Pulp. 11th ed. California: Elsevier; 2011. 387-446.
2. Brichko J, Burrow MF, Parashos P. Design variability of the Push-out bond test in endodontic research: A systematic review. J Endod 2018;44(8):1237-45.
3. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. J Endod 1999;25(3):197-205.
4. Sarkar N, 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.
5. Islam I, Chng HK, Yap AUJ. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement. J Endod 2006;32(3):193-7.
6. Zhou H, Shen Y, Wang Z, Hakkinen L, Haapasalo M. *In vitro* cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. J Endod 2013;39(4):478-83.
7. Mazumdar P, Das UK, Rahaman S, Das S. A comparative evaluation of the sealing ability of biosilicate material, mineral trioxide aggregate, light cure glass ionomer cement, silver amalgam as root end filling materials by dye penetration method. Int Med J 2013;20(2):232-4.
8. Rajasekharan S, Martens L, Cauwels R, Verbeeck R. Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a review of the literature. Eur Archives Paediatr Dent 2014;15(3):147-58.
9. Alisanunt P. A comparative study on some physical properties of Biodentine in different water to powder ratios [dissertation]. Srinakarinwirot (SWU): Univ of Srinakarinwirot; 2014.

10. Warangkarat W. A comparative study on surface and compressive strength of Biodentine in different water to powder ratio [dissertation]. Srinakarinwirot (SWU): Univ of Srinakarinwirot; 2015.
11. Türker SA, Uzunoglu E. Effect of powder to water ratio on the push out bond strength of white mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol* 2016;32(2):153-5.
12. Guneser MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *J Endod* 2013;39(3):380-4.
13. Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. The biomineralization ability of mineral trioxide aggregate and Portland cement on dentin enhances the push out strength. *J Endod* 2010;36(2):286-91.
14. Aggarwal V, Singla M, Miglani S, Kohli S. Comparative evaluation of push out bond strength of ProRoot MTA, biodentine, and MTA plus in furcation perforation repair. *J Conserv Dent* 2013;16(5):462-5.
15. Reyhani MF, Ghasemi N, Zand V, Mosavizadeh S. Effects of different powder to liquid ratios on the push out bond strength of CEM cement on simulated perforations in the furcal area. *J Clin Exp Dent* 2017;9(6):785-8.
16. Juenger M, Monteiro P, Gartner E, Denbeaux G. A soft X-ray microscope investigation into the effects of calcium chloride on tricalcium silicate hydration. *Cem Concr Res* 2005;35(1):19-25.
17. Fridland M, Rosado R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water to powder ratios. *J Endod* 2003;29(12):814-7.
18. Han L, Okiji T. Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials. *Int Endod J* 2013; 46(9):808-14.
19. Han L, Okiji T. Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine. *Int Endod J* 2011;44(12):1081-7.
20. El-Maaita AM, Qualtrough AJ, Watts DC. The effect of smear layer on the push-out bond strength of root canal calcium silicate cements. *Dent Mater* 2013;29(7):797-803.
21. Chen WP, Chen YY, Huang SH, Lin CP. Limitations of push-out test in bond strength measurement. *J Endod* 2013;39(2):283-7.
22. Sagsen B, Ustün Y, Demirbuga S, Pala K. Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine. *Int Endod J* 2011;44(12): 1088-91.
23. Pane ES, Palamara JE, Messer HH. Critical evaluation of the push-out test for root canal filling materials. *J Endod* 2013;39(5):669-73.

ผู้รับผิดชอบบทความ

กุลนันท์ คำรงวุฒิ

ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

โทรศัพท์ : 086 623 6527

จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: kunlanun_d@hotmail.com

Effect of Powder to Liquid Ratio on the Push Out Bond Strength of Biodentine™

Chalermurakarn Y* Dumrongvute K* Sakdee J*

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of different powder-to-liquid ratio on the push out bond strength of Biodentine™ (BD). The methods used in this study were as follows: 32 single root permanent human teeth were prepared coronal access with round diamond burs and prepared root canal with peeso reamer burs no. 1-4, respectively. The size of the final diameter of the root canal is 1.4 mm. The prepared root canals were randomly allocated into 4 groups of 8 teeth each, and were filled with four types of material: groups I (control) - filled with MTA, groups II - filled with BD1:4, groups III - filled with BD1:5 and groups IV - filled with BD1:6. The roots were cut into 3-mm thick sections and 16 samples of each group were randomized and then divided into two groups. The push-out test was performed with a Universal Testing Machine at 24 hours and 28 days after storage in PBS. The data were analyzed statistically by One-way ANOVA and Tukey's HSD test. The results at 24 hours, BD1:6 (17.569 MPa) showed higher push out bond strength than MTA (10.056 Mpa) BD1:4 (11.454 MPa) and BD1:5 (12.159 MPa) with statistically significant differences ($p < 0.05$). At 28 days, the BD1:5 (15.619 Mpa) and BD1:4 (14.704 MPa) showed a significantly higher push-out bond than BD1:6 (10.169 MPa) and MTA (10.725 MPa) ($p < 0.05$). In conclusion, a different powder-to-liquid ratio affected the push out bond strength of Biodentine™.

Keywords: Push out bond strength/ Biodentine/ Powder to liquid ratio/ MTA

Corresponding Author

Kunlanun Dumrongvute

Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics,

Faculty of dentistry,

Srinakharinwirot University,

Wattana, Bangkok.

Tel.: +66 86 623 6527

Email: kunlanun_d@hotmail.com