ผลของวิธีการกวนไปมาของสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียว ต่อความแข็งแรงกดออกของเรซินซีเมนต์ในคลองรากฟัน

Effects of Agitation Technique of One-step Self-etch Adhesives on Push-out Bond Strength of Resin Cements in Root Canal

อัญธวรรณ เพชรมาก[1], ภาวิศุทธิ แก่นจันทร์[2], ธนพัฒน์ ศาสตระรุจิ[3]
[1]นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2]ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[3]ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Untawan Petchmak[1], Pavisuth Kanjantra[2], Thanapat Sastraruji[3]
[1]Graduate student, Division of Restorative Dentistry, Department of Restorative Dentistry and Periodontology, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
[2]Department of Restorative Dentistry and Periodontology, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
[3]Dental Material Research Center, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2564; 42(1) : 111-124
CM Dent J 2021; 42(1) : 111-124

Received: 2 October, 2020
Revised: 24 January, 2021
Accepted: 22 February, 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการทากวนไปมาของสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียวที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ต่อค่าความแข็งแรงกดออกที่เกิดขึ้นกับเนื้อฟันส่วนคลองรากฟันระดับต่าง ๆ โดยแบ่งฟันกรามน้อยล่างจำนวน 40 ราก ที่ผ่านการเตรียมคลองรากฟันเพื่อรองรับเดือยฟันออกเป็น 4 กลุ่ม ตามชนิดของเรซินซีเมนต์ 2 ชนิด ได้แก่ เรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น และ

Abstract

The purpose of this study was to evaluate push-out bond strength of resin cement used with one-step self-etch adhesive systems applied with agitation on the root canal dentin. Forty human mandibular premolar teeth were used in this study. Roots canal were prepared for luting fiber posts and randomly divided into 4 groups of 10 each.

Corresponding Author:

อัญธวรรณ เพชรมาก
นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาทันตกรรมบูรณะ
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Untawan Petchmak
Graduate student, Division of Restorative Dentistry,
Department of Restorative Dentistry and Periodontology,
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand
E-mail: ***untawan_p@cmu.ac.th***

เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ โดยเปรียบเทียบวิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้หรือทากวนไปมาก่อนการยึดเดือยฟันเข้ากับคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ เก็บชิ้นทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งรากฟันส่วนที่ยึดเดือยฟันออกเป็น 6 ชิ้น แต่ละชิ้นหนา 1 มิลลิเมตร ตามระดับคลองรากฟัน ได้แก่ คลองรากฟันส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลาย นำไปทดสอบค่าความแข็งแรงกดออก ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้เรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น วิธีการทาสารยึดติดทั้งสองวิธีให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกไม่แตกต่างกัน บริเวณคลองรากฟันส่วนปลายมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกมากกว่าบริเวณคลองรากฟันส่วนต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ กลุ่มที่ทาสารยึดติดทิ้งไว้ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกมากกว่ากลุ่มที่ทาสารยึดติดกวนไปมา โดยค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกแต่ละระดับไม่แตกต่างกัน ผลของวิธีการกวนไปมาของสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียว ให้ค่าความแข็งแรงกดออกในคลองรากฟันไม่แตกต่างหรือน้อยกว่าวิธีการทาทิ้งไว้ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินซีเมนต์ที่ใช้

คำสำคัญ: การทาสารยึดติดกวนไปมา สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียว เรซินซีเมนต์ เนื้อฟันส่วนคลองรากฟัน ความแข็งแรงกดออก

Two different resin cements (Multilink® N and Panavia™ V5) were used to fix fiber posts in root canal in combination with corresponding adhesives applied passively or with agitation techniques. Twenty-four hours after cementation, each root was sectioned into 6 pieces, each 1 mm. thick, representing cervical, middle, apical regions. Push-out bond strength tests were used to measure regional bond strength. There was no significant difference between the two application techniques when Multilink® N was used. The mean bond strength value was significantly higher in the apical than in the cervical regions in Multilink® N groups regardless of application technique. Passive application demonstrated a higher mean bond strength compared with agitation in the groups using Panavia™ V5. However, no significant differences in the mean bond strength were observed between the three regional root groups in the Panavia™ V5 groups. In conclusion, with agitation, the bond strength was either not significantly different from, or lower than, with passive application, depending on resin cement used.

Keywords: agitation, one-step self-etch adhesive, resin cement, root canal dentin, push-out bond strength

บทนำ

ปัจจุบันการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟัน (restoration for endodontically treated teeth) ด้วยเดือยฟันชนิดคอมโพสิตเสริมเส้นใย (fiber-reinforced composite post) ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความสวยงาม มีมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน (dentin) ทำให้กระจายความเค้น (stress) ได้อย่างสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับเดือยฟันชนิดอื่นที่มีความแข็ง (rigid) ลดโอกาสเกิดการแตกหักของรากฟัน[1] อย่างไรก็ตามความล้มเหลวที่พบมากเกิดจากการหลุด (debond) ของเดือยฟันออกจากคลองรากฟัน (root canal)[2] ซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ความยากในการยึดติด ชนิดของซีเมนต์ (cement) ที่ใช้ในการยึดติด เป็นต้น[3]

เรซินซีเมนต์ (resin cement) ถูกนำมาใช้สำหรับการยึดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดี[4] ยังช่วยลดการรั่วซึมระดับจุลภาค (microleakage)[5] จึงลดโอกาสการเกิดฟันผุซ้ำ (secondary caries) และการติดเชื้อ

ซ้ำบริเวณรอบปลายรากฟัน (periapical) นอกจากนี้ให้การยึดติด (retention) และต้านทานการแตกหัก (fracture resistance) ได้ดีเมื่อเทียบกับซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (conventional luting cement)[6] โดยสามารถแบ่งเรซินซีเมนต์ตามระบบสารยึดติด (adhesive system) ออกเป็นเรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบโททอลเอทช์ (total-etch adhesive system) เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ (self-etch adhesive system) และเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (self-adhesive resin cement) ที่ลดขั้นตอนของการเตรียมพื้นผิวฟันก่อนการยึดติด[7]

ผลของการใช้เรซินซีเมนต์ในแต่ละระบบต่อความแข็งแรงยึดติดระหว่างเดือยฟันและคลองรากฟันยังมีความหลากหลาย และไม่สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ว่าเรซินซีเมนต์ระบบใดให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่ดีที่สุด มีบางการศึกษาที่พบว่า การใช้เรซินซีเมนต์ร่วมกับสารยึดติดระบบโททอลเอทช์ให้ค่าความแข็งแรงยึดติดสูงสุด[8] หรือเมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ให้ผลที่ดีที่สุด[9] ในขณะที่มีศึกษาพบว่า การใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยึดเดือยฟันกับเนื้อฟันส่วนคลองรากฟันให้ประสิทธิภาพในการยึดติดดีที่สุด[10]

สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์โดยทั่วไปแบ่งออกเป็นสองแบบตามลักษณะของสารยึดติด คือ แบบสองขั้นตอน (two-step self-etch adhesive system) ซึ่งมีการแยกส่วนของสารไพรเมอร์ (primer) ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic functional monomer) ออกจากส่วนของสารยึดติดที่มักไม่มีส่วนประกอบของตัวทำละลาย (solvent -free adhesive resin) และแบบขั้นตอนเดียว (one-step self-etch adhesive system) ซึ่งรวมส่วนของไพรเมอร์และสารยึดติดเข้าด้วยกัน สำหรับระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียวยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามการรวมส่วนของมอนอเมอร์ส่วนที่ทำงานเป็นกรดกับน้ำเข้าด้วยกันเป็นขวดเดียว (single component/all-in-one) หรือแยกออกจากกันเป็นสองขวด (two-components) และนำมาผสมกันเมื่อต้องการใช้งาน ซึ่งทำให้อายุการใช้งาน (shelf-life) ยาวนานมากขึ้น สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียว มีการรวมองค์ประกอบหลายส่วนเข้าไว้ด้วยกัน ทั้งมอนอเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic monomer) มอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic monomer) ตัวทำละลาย (solvent) และน้ำ รวมถึงสารเติมแต่งอื่นๆ (additive) เพื่อลดขั้นตอนการทำงานให้ง่ายขึ้น ไม่จำเป็นต้องใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ในการเตรียมผิวฟัน จึงช่วยให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน (technique sensitive) ลดลง[11] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของสารยึดติดในระบบนี้ยังอาจไม่ดีนักเมื่อเทียบกับการใช้สารยึดติดระบบโททอลเอทช์[12] ทั้งนี้ เนื่องจากสารยึดติดในระบบนี้มีปริมาณของตัวทำละลาย (solvent) ค่อนข้างสูง ทำให้ถูกกำจัดออกจนหมดได้ยาก รวมทั้งมีคุณสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) จึงมักมีการดูดซับน้ำเข้าสู่ชั้นรอยต่อของสารยึดติด (resin-dentin interface) ส่งผลให้วัสดุมีการบ่มตัว (polymerization) ไม่สมบูรณ์[13] นอกจากนี้ เนื่องจากสารยึดติดระบบขั้นตอนเดียวอาศัยการแทรกซึม (infiltrate) ผ่านชั้นสเมียร์ (smear layer) เพื่อไปสร้างชั้นไฮบริด (hybrid layer) กับเนื้อฟันด้านใต้ ดังนั้นชั้นสเมียร์ที่หนาหรือหยาบจึงอาจขัดขวางการแทรกซึมของสารยึดติดลงสู่ชั้นเนื้อฟัน ทำให้ประสิทธิภาพในการยึดติดลดลงได้[14]

เนื่องจากการใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ขั้นตอนเดียวให้ค่าความแข็งแรงยึดติดค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารยึดติดระบบอื่น[11] จึงได้มีความพยายามหาวิธีการทาสารยึดติด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดกับฟันเมื่อใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ขั้นตอนเดียว เช่น การทาสารยึดติดทับหลายชั้น[15] การทาสารยึดติดที่มีความไม่ชอบน้ำทับเพิ่มอีกหนึ่งชั้น (hydrophobic resin coating)[16] การทาสารยึดติดในลักษณะของการถู (scrubbing) หรือกวนไปมา (agitation)[12] และการทาสารยึดติดกวนไปมาโดยเครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic agitation)[17] เป็นต้น

การทาสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียวโดยวิธีการกวนไปมา พบว่า สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดติดเมื่อบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิต (resin composite) ได้[12,18] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ชนิดที่มีค่าความเป็นกรดอ่อน (mild self-etch adhesive)[19] เนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการกับชั้นสเมียร์ ทำให้สารยึดติดสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับเนื้อฟันได้ดี เกิดชั้นไฮบริดที่หนามากขึ้น[20] และยังช่วยเพิ่มอัตราการระเหยออกของตัวทำละลาย (solvent evaporation) ด้วย[21] สำหรับการทาสารยึดติดด้วยวิธีนี้เมื่อใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียวที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ มีการศึกษาที่พบว่าวิธีการนี้ให้ค่าความแข็งแรงยึดติดมากกว่า

การทาทิ้งไว้เมื่อทดสอบบนชั้นเนื้อฟันส่วนตัวฟัน (coronal dentin) เช่นกัน[22]

แม้ว่าการศึกษาส่วนใหญ่ระบุว่าการทาสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียวด้วยวิธีการกวนไปมาจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเนื้อฟันส่วนตัวฟันได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับการทาสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ด้วยวิธีการนี้ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ยังมีไม่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อฟันส่วนคลองรากฟัน ซึ่งมีหลายปัจจัยที่แตกต่างจากการบูรณะทางตรง (direct restoration) หรือการบูรณะทางอ้อม (indirect restoration) ในส่วนตัวฟัน เช่น การมีค่าซีแฟกเตอร์ (C-factor) ที่สูง มีความยากในการเข้าทำงาน และมีการเรียงตัวของท่อเนื้อฟัน (dentinal tubules) ที่แตกต่างจากเนื้อฟันส่วนตัวฟัน ประกอบกับวิธีการที่บริษัทแนะนำในการทาสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ที่ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์มีความแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ จึงเป็นที่น่าสนใจว่าการทาสารยึดติดด้วยวิธีการกวนไปมาจะมีผลต่อการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟันในคลองรากฟันระดับต่าง ๆ เมื่อเทียบกับการทาทิ้งไว้ (passive application) ด้วยระยะเวลาเท่ากันหรือไม่ โดยทดสอบความแข็งแรงกดออก (push-out bond strength) ภายหลังการยึดเดือยฟันเข้ากับคลองรากฟันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแรงกดออกในระยะต้น (early bond strength)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ฟันกรามน้อยล่างแท้มนุษย์ (human mandibular premolars) คลองรากฟันเดียวที่สมบูรณ์ ถูกถอนเพื่อการจัดฟัน ไม่มีพยาธิสภาพ ไม่พบรอยผุ รอยสึก รอยร้าว หรือการบูรณะใด ๆ มีรากฟันตรง ขนาด และความหนาของเนื้อฟันใกล้เคียงกัน ขนาดความกว้างในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น (bucco-lingual) 6.5-7 มิลลิเมตร ใกล้กลาง-ไกลกลาง (mesio-distal) 4.5-6.5 มิลลิเมตร มีความยาวรากฟัน 13-14 มิลลิเมตร โดยวัดจากรอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (cemento-enamal junction) ด้านใกล้กลาง (mesial side) ของรากฟัน จำนวน 52 ซี่ เก็บในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (0.1% thymol solution) ที่อุณหภูมิห้องเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ระยะเวลาการเก็บไม่เกิน 3 เดือน หลังจากฟันถูกถอน กำจัดเนื้อเยื่อและทำความสะอาดรากฟันด้วย กำจัดคราบหินน้ำลาย (calculus) และเนื้อเยื่อปริทันต์ (periodontal tissue) ออกจนหมดด้วยเครื่องขูดหินน้ำลายอัลตราโซนิก (ultrasonic scaler, P5 Newtron XS™, SATELEC-ACTEON®, Merignac, France) ก่อนเปลี่ยนมาเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องก่อนการทดลอง 24 ชั่วโมง

ตัดส่วนของตัวฟันออกในแนวตั้งฉากกับแกนฟันที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟันด้านใกล้กลางด้วยแผ่นกรอกากเพชร (diamond disc) กำจัดเนื้อเยื่อที่หลงเหลือในโพรงประสาทฟันโดยใช้ไฟล์ (file) เบอร์ 20 จากนั้นยึดส่วนรากฟันกับฐานและเตรียมคลองรากฟันเพื่อรองรับเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย โดยยึดด้ามกรอฟัน (handpiece) บนเครื่องวัดความขนาน (surveyor/milling machine; Marathon 103, Saeyang, Daegu, Korea) ใช้เกลียวคว้านพีโซ (peeso reamer) เบอร์ 2 ถึง 4 ตามด้วยเกลียวคว้านคลองรากฟัน เบอร์ 2 ของไฟบริเคลียร์ (FibreKleer™ 4X reamer size 2, Kerr, Orange, CA, USA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มิลลิเมตร สำหรับเตรียมคลองรากฟันเพื่อใส่เดือยฟัน ให้ได้คลองรากฟันที่มีความลึก 10 มิลลิเมตร ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเกลือ และซับให้แห้งด้วยกระดาษซับรูปกรวยแหลม (paper point)

แบ่งรากฟันที่ผ่านการเตรียมคลองรากฟันแล้วจำนวน 40 ซี่ โดยการสุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ ตามชนิดของเรซินซีเมนต์และวิธีการทาสารยึดติดระบบเซลฟ์-เอทช์ ได้แก่ กลุ่มเรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ (Panavia™ V5, Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japan) ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดพานาเวียวีไฟว์ ทูธไพรเมอร์ (Panavia™ V5, Tooth Primer, Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japan) และกลุ่มเรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น (Multilink® N, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดมัลติลิงค์เอ็นไพร-เมอร์เอ/บี (Multilink® N Primer A/B, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) โดยใช้วิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้ (passive technique) หรือกวนไปมา โดยใช้แปรงซอกฟัน (proxabrush, 1512 GUM® TRAV-LER 1.2 mm, Sunstar Americas, Inc., Schaumburg, IL, USA) ระยะเวลาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

หลังเตรียมคลองรากฟันตามกลุ่มที่ได้แบ่งไว้แล้ว นำเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟบริเคลียร์ (FibreKleer™

post, Kerr, Orange, CA, USA) รูปร่างทรงกระบอก เบอร์ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มิลลิเมตร ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 และปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารควบคู่ไซเลน (silane coupling agent) รีไลย์เอ็กซ์เซรามิกไพรเมอร์ (RelyX™ Ceramic Primer, 3M ESPE, St Paul, MN, USA) ยึดเข้ากับคลองรากฟันที่เตรียมไว้ด้วยเรซินซีเมนต์ตามกลุ่มทดลอง โดยใช้แรงกดขนาด 50 นิวตัน (Newton, N) กดเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยไว้ 60 วินาที ใช้พู่กันกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออกจนหมด และทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงบลูเฟส (Bluephase® LE curing light, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) เป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นทำการยึดตัวอย่างรากฟันด้วยอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) ให้อยู่กึ่งกลางหลอดฉีดยาพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างรากฟันในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator, Memmert GmbH. Co. KG, Schwabach, Germany) วัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษามีองค์ประกอบและวิธีใช้งานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตดังแสดงในตารางที่ 1

ตัดแบ่งรากฟันที่ยึดเดือยฟันที่ยึดอยู่ในอีพอกซีเรซินในแนวตัดขวาง (cross sectioned) ด้วยเครื่องไอโซเมต (Isomet® 1000, Buehler, Lake Bluff, IL, USA) เริ่มต้นตัดจุดแรกห่างจากรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน 1 มิลลิเมตร ให้แต่ละชิ้นมีความหนา 1.0±0.1 มิลลิเมตร แต่ละรากจะได้ชิ้นทดสอบ 6 ชิ้นโดยแบ่งฟันออกเป็น 3 ระดับ คือ ส่วนต้น (coronal part) ส่วนกลาง (middle part) และส่วนปลาย (apical part) ของบริเวณที่ยึดกับเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย แต่ละระดับจะได้ชิ้นทดสอบ 2 ชิ้น ตามลำดับ นำชิ้นทดสอบที่ได้มาทดสอบวัดค่าความแข็งแรงกดออกด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบสากลอินสตรอน (Instron® Universal Testing Machine, Instron 5566, Instron (Thailand) Limited, Bangkok, Thailand) โดยใช้หัวกดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 มิลลิเมตร ใช้อัตราเร็วหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที และศึกษาลักษณะความล้มเหลว (failure) ของการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับ (inverted phase contrast microscope, model CK 40 culture microscope, Olympus, Tokyo, Japan) โดยจำแนกลักษณะของความล้มเหลวออกเป็น 5 รูปแบบ ได้แก่ ความล้มเหลวภายในชั้นเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (cohesive failure within fiber reinforced composite post) ความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย (adhesive failure between resin cement and fiber reinforced composite post) ความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ (adhesive failure between dentin and resin cement) ความล้มเหลวแบบผสม (mixed failure) ความล้มเหลวภายในชั้นเนื้อฟัน (cohesive failure within dentin)

นำรากฟัน 4 ซี่ ตัดกลางคลองรากฟันในแนวขนานกับแกนฟัน (longitudinal) แล้วนำไปปรับสภาพผิวตามลักษณะการใช้สารยึดติดทั้ง 4 กลุ่ม นำไปศึกษาพื้นผิวด้านในของคลองรากฟันภายหลังถูกปรับสภาพ และนำรากฟันอีก 8 ซี่ มาทำการยึดติดด้วยเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยและเรซินซีเมนต์ตามลักษณะการใช้สารยึดติดทั้ง 4 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ซี่ มาตัดตามแนวตัดขวางออกเป็น 3 ระดับ ความหนาชิ้นละ 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นกัดพื้นผิวด้านล่างที่ตัดตามแนวขวางด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 20 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น ศึกษาพื้นผิวบริเวณยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM, JEOL JSM-IT300LV SEM, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

นำค่าความแข็งแรงกดออกที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS V17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) โดยการจำแนกความแปรปรวนแบบสามทาง (three-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) และใช้สถิติเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ (Tukey's multiple comparison test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแต่ละกลุ่ม ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มทดสอบกับความล้มเหลวของการยึดติดที่เกิดขึ้นด้วยสถิติไคสแควร์ (Chi-square test)

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2 พบว่า กลุ่มที่ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกมาที่สุด ได้แก่ กลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ด้วยวิธีทาสารยึดติดทิ้งไว้ ที่บริเวณ

ตารางที่ 1 *แสดงส่วนประกอบ และวิธีใช้งานของผลิตภัณฑ์ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต*

Table 1 *Compositions of materials and manufacturer's directions for material application*

Material and manufacturer	Composition	Application procedure
Panavia™ V5 Tooth Primer (Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japan) (Lot. 000027)	MDP, HEMA, hydrophilic aliphatic dimethacrylate, accelerators, water	- Apply Tooth Primer to the root canal with an applicator brush and leave it in place for 20 seconds. Use paper point to remove any excess Tooth Primer. Dry canal by mild oil-free air
Multilink® N primer (primer A/B) (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) (Lot. Y02889)	Primer A: aqueous solution of initiators Primer B: HEMA, phosphonic acid, methacrylate monomers	- Primer A and B are mixed in a 1:1 ratio and it must be applied within 10 minutes. The mixed Multilink N primer A/B should be applied to the root canal for about 30 seconds using thin microbrush. Remove excess primer from the root canal using paper points
Panavia™ V5 (Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japan) (Lot. 000027)	Bisphenol-A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA), triethyleneglycon dimethacrylate (TEGDMA), hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate, initiators, accelerators, silanated barium glass filler, silanated fluoroaluminosilicate glass filler, colloidal silica, silanate aluminium oxide filler, dl-camphorquinone, pigments	- Apply mixed paste over the entire surface of post and tooth surface within the cavity. Place the post into the cavity. Remove excess cement Light cure for 20 seconds
Multilink® N (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) (Lot. Y02889)	Dimethacrylate, HEMA, inorganic fillers included barium glass, ytterbium trifluoride, spheroid mixed oxide	- Coat the endodontic post, which has been prepared, with the mixed Multilink® N. Place the endodontic post, then remove excess cement. Light-cure 20 seconds
RelyX™ Ceramic Primer (3M ESPE, St Paul, MN, USA) (Lot. N944086)	Methacryloxypropyl- trimethoxysilane (MPS), ethanol, water	Apply RelyX™ Ceramic Primer with microbrush to the post surface. Allow the material to react for 60 seconds. Dispense it with a strong stream of air
FiberKleer™ post (Kerr, Orange, CA, USA) (Lot. 6445941)	Glass Fiber Bis-GMA; bis-phenol-A diglycidyl dimethacrylate, filler	Clean post by cotton soak with 70% alcohol and then dry with mild oil-free air

คลองรากฟันส่วนปลาย (18.82±2.63 เมกะปาสคาล (Mega-pascal, MPa)) และกลุ่มที่ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกต่ำที่สุด ได้แก่ กลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น ด้วยวิธีทาสารยึดติดทิ้งไว้บริเวณคลองรากฟันส่วนต้น (8.60±1.93 เมกะปาสคาล) หากเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกระหว่างเรซินซีเมนต์ที่แตกต่างกัน โดยไม่คำนึงถึงผลของวิธีการใช้สารยึดติดและระดับคลองรากฟัน พบว่าการใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ (16.77±2.76 เมกะปาสคาล) ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกมากกว่าเรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น (10.19±2.22 เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกเมื่อใช้วิธีการทาสารยึดติดพานาเวียวีไฟว์ ทูธไพร-เมอร์ทิ้งไว้ให้ค่าความแข็งแรงกดออกมากกว่าการทาสารยึดติดกวนไปมาในทุกระดับคลองรากฟัน ในขณะที่เมื่อใช้เรซิน

ซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกเมื่อเปรียบระหว่างวิธีการทาสารยึดติดทั้งสองวิธีอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกระดับคลองรากฟัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกดออกในแต่ละระดับคลองรากฟัน พบว่าเมื่อใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกทั้งสามระดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่ขึ้นกับวิธีการทาสารยึดติด อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกบริเวณคลองรากฟันส่วนต้นน้อยกว่าคลองรากฟันส่วนปลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้วิธีการทาสารยึดติดกวนไปมาและวิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้

ความล้มเหลวของการยึดติดที่พบเป็นส่วนใหญ่ในการศึกษานี้ ได้แก่ ความล้มเหลวระหว่างเรซินซีเมนต์และคลองรากฟัน ยกเว้นในกลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ เมื่อใช้วิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้ พบว่าความล้มเหลวส่วนใหญ่เป็นความล้มเหลวแบบผสม (แผนภูมิที่ 1) เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มทดสอบโดยแบ่งตามเรซินซีเมนต์และวิธีการทาสารยึดติดโดยไม่คำนึงถึงระดับคลองรากฟัน กับความล้มเหลวที่เกิดขึ้นด้วยสถิติไคสแควร์ พบว่าความล้มเหลวการยึดติดที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับกลุ่มทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

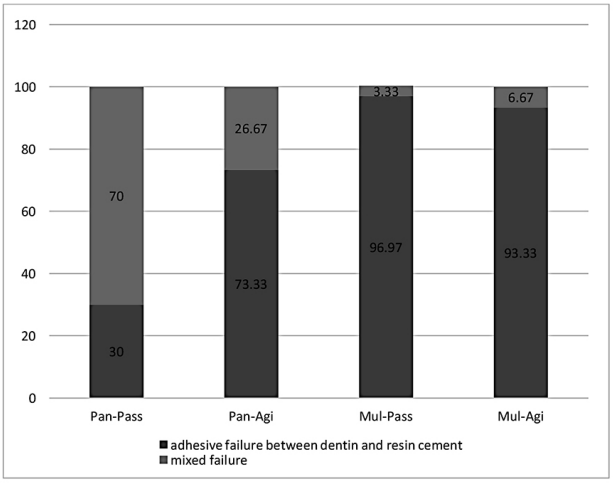
เมื่อศึกษาบริเวณพื้นผิวคลองรากฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังรูปที่ 1 พบว่าเรซินซีเมนต์ทั้งสองกลุ่ม เมื่อใช้วิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้ จะยังพบชั้นสเมียร์และเศษเนื้อฟันที่เกิดจากการเตรียมคลองรากฟันปกคลุมบริเวณพื้นผิวเนื้อฟันและรูเปิดท่อเนื้อฟันทำให้สามารถมองเห็นรูเปิดท่อเนื้อฟันเพียงบางส่วน ในขณะที่การทาสารยึดติดกวนไปมา พบว่าสามารถกำจัดชั้นสเมียร์และเศษเนื้อฟันออกจนหมด และมองเห็นรูเปิดท่อเนื้อฟันได้ชัดเจน ในส่วนของบริเวณพื้นผิวยึดติดนั้นพบว่าการทาสารยึดติดกวนไป

ตารางที่ 2 *แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออก และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกกลุ่มทดลอง*

Table 2 *Means and standard deviations of push-out bond strength from all experimental groups*

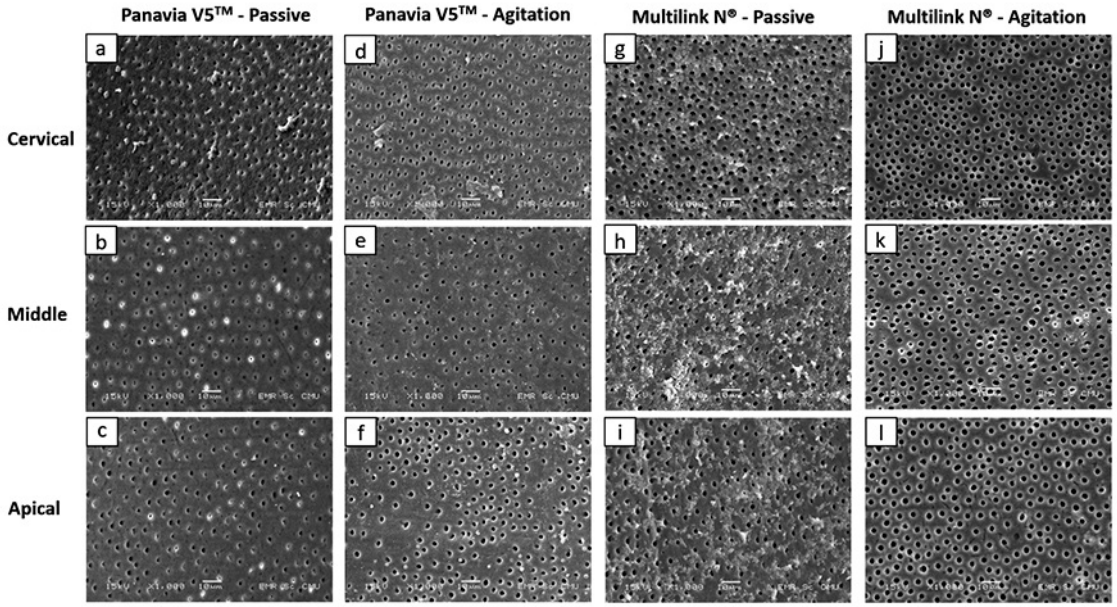
Adhesive/ Resin Cement	Mean push-out bond strength (MPa)	Technique	Mean push-out bond strength at different root region (MPa)		
			cervical	middle	apical
Panavia™ V5 Tooth primer/ Panavia™ V5	16.77^{α}±2.76	Passive	18.11^{f}±2.57	18.46^{f}±1.87	18.82^{f}±2.63
		Agitation	14.01^{de}±1.71	15.22^{e}±2.04	16.02^{e}±1.77
Multilink® N Primer A/B/ Multilink® N	10.19^{β}±2.22	Passive	8.60^{a}±1.93	10.48^{abc}±2.10	11.47^{bc}±1.45
		Agitation	8.84^{a}±1.93	9.60^{ab}±1.77	12.17^{cd}±1.70

ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่มีอักษรยกหรือสัญลักษณ์ที่เหมือนกันแสดงถึงกลุ่มที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)
Means with the same superscript letters and symbols are not significantly different (p>0.05)



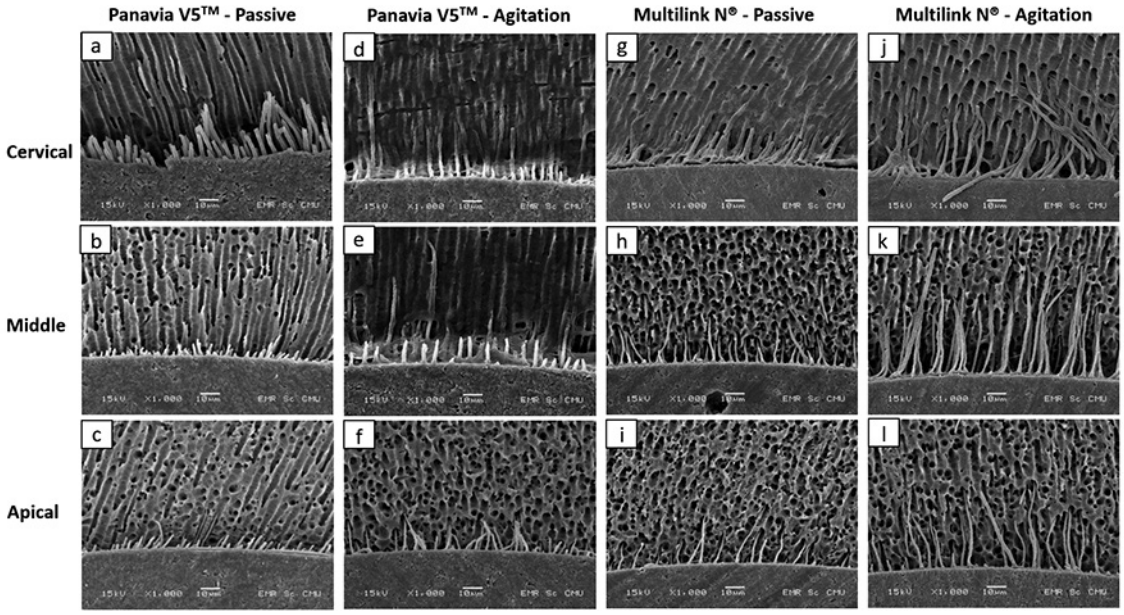
แผนภูมิที่ 1 *แผนภูมิแสดงร้อยละของความล้มเหลวรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่ม*

Charge 1 *Percentage of specimens (%) according to mode of failure for each experimental group. (Pan = Panavia™ V5, Mul = Multilink® N, Pass = Passive application, Agi = Agitation application)*



รูปที่ 1 *ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวคลองรากฟันที่ผ่านการเตรียมด้วยสารยึดติดที่กำลังขยาย 1000 เท่า*

Figure 1 *SEM images of treated root canal dentin surfaces with different self-etch adhesives, application techniques, and root regions. (1000X)*



รูปที่ 2 *ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวยึดติดที่กำลังขยาย 1000 เท่า*

Figure 2 *SEM images of resin cement/dentin interface bonded with different resin cements, application techniques, and root regions. (1000X)*

มาทำให้เกิดเรซินแทกส์ (resin tag) ที่มีความยาวมากขึ้นเล็กน้อยในกลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ และยาวขึ้นอย่างชัดเจนในกลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้ ซึ่งลักษณะเหล่านี้พบได้ในทุกระดับคลองรากฟัน ดังรูปที่ 2

บทวิจารณ์

สมมติฐานที่ว่าการทาสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์แบบขั้นตอนเดียวด้วยวิธีกวนไปมาให้ค่าความแข็งแรงกดออกไม่แตกต่างจากวิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้ได้รับการปฏิเสธบางส่วน โดยเมื่อใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ การทาสารยึดติดพานาเวียวีไฟว์ ทูธไพรเมอร์ทิ้งไว้ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกมากกว่าการทาสารยึดติดกวนไปมาอย่างมีนัยสำคัญ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก พานาเวียวีไฟว์ ทูธไพรเมอร์ มีองค์ประกอบของเท็นเมทาไครโลออกซีเดซิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟตหรือเท็นเอ็มดีพี (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, 10-MDP) ทำหน้าที่เป็นมอนอเมอร์หมู่ทำงาน (functional monomer) ซึ่งมีความไวและทำหน้าที่ในการละลายแร่ธาตุได้ดี[23] เมื่อใช้ร่วมกับวิธีการกวนไปมาในการปรับสภาพเนื้อฟัน ทำให้เกิดการกำจัดชั้นสเมียร์พร้อมกับการละลายแร่ธาตุออกจากเนื้อฟันมากเกินไป ทำให้หลงเหลือผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxy apatite) ล้อมรอบคอลลาเจน (collagen) ไม่เพียงพอให้เกิดการยึดติดทางเคมีที่ดีได้ นอกจากนี้การกวนไปมาอาจทำให้ความเข้มข้นของเอ็มดีพีที่สัมผัสกับผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สูงขึ้นเอื้อต่อการสร้างเกลือเอ็มดีพีแคลเซียม (MDP-calcium salt) และการรวมตัวเป็นชั้นระดับนาโน (nanolayering) มากขึ้น[24] ซึ่งปริมาณเกลือเอ็มดีพีแคลเซียมที่มากเกินไปพบว่าส่งผลเสียต่อความแข็งแรงยึดติดได้[25] อาจเป็นเพราะเกลือเอ็มดีพีแคลเซียม และไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต (dicalcium phosphate dihydrate, DCPD) ที่เกิดขึ้นตามมาไปสะสมบริเวณเนื้อฟันรอบท่อเนื้อฟัน ทำให้เรซินแทกส์หลุดออกจากท่อเนื้อฟันได้ง่ายส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดลดลง[24,25] นอกจากนี้การทาสารยึดติดกวนไปมาทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุในระดับที่ลึกมากขึ้น และมีชั้นระดับนาโนหนาแน่นมากขึ้น สารตั้งต้น (initiator) การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ (polymerization) ซึ่งพบเฉพาะในเรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ แต่ไม่พบในพานาเวียวีไฟว์ ทูธไพรเมอร์[26] อาจไม่สามารถแทรกซึมไปยังบริเวณที่มีการละลายแร่ธาตุระดับลึกและเกิดปฏิกิริยาเคมีกับเนื้อฟัน ส่งผลให้ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของชั้นสารยึดติดไม่สมบูรณ์[24] ทำให้ประสิทธิภาพการยึดติดลดต่ำลง

สำหรับเรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น การทาสารยึดติดมัลติลิงค์เอ็นไพรเมอร์เอ/บี ทิ้งไว้และการทาสารยึดติดกวนไปมา ให้ค่าความแข็งแรงกดออกไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะเวลาที่ใช้ในการทาสารยึดติดตามคำแนะนำของบริษัทเพียงพอสำหรับการแทรกซึมของสารยึดติดเข้าทำปฏิกิริยากับเนื้อฟันและทำให้เกิดการยึดติดที่ดีได้ โดยการศึกษาของ Velasquez และคณะ[18] ในปี ค.ศ. 2006 พบว่าผลของวิธีการสารยึดติดกวนไปมาต่อค่าความแข็งแรงยึดติดขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ โดยผลของระยะเวลาที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารยึดติด ร่วมกับภายในคลองรากฟันมีลักษณะคล้ายเป็นระบบปิด ทำให้สามารถควบคุมปริมาณสารยึดติดภายในคลองรากฟันให้สัมผัสกับผนังคลองรากฟันได้อย่างทั่วถึงตลอดเวลา การทาสารยึดติดด้วยวิธีการกวนไปมาภายในคลองรากฟันไม่ช่วยให้เกิดการระเหยของตัวทำละลายแตกต่างจากวิธีการทาทิ้งไว้ ทำให้ค่าความแข็งแรงกดออกทั้งสองวิธีที่ใช้ในการศึกษานี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลของการศึกษานี้ขัดแย้งกับบางการศึกษาที่พบว่าวิธีการทาสารยึดติดกวนไปมาให้ค่าความแข็งแรงยึดติดมากกว่าการทาสารยึดติดทิ้งไว้[27,28] อาจเป็นผลมาจากชนิดของสารยึดติดที่แตกต่างจากการศึกษานี้

การศึกษานี้พบว่าเมื่อใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกมากกว่าเรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น เป็นผลมาจากมอนอเมอร์หมู่ทำงานที่มีความเป็นกรดในสารยึดติดที่แตกต่างกัน โดยในพานาเวียวีไฟว์ ทูธไพรเมอร์มีเท็นเอ็มดีพี ในขณะที่มัลติลิงค์เอ็นไพรเมอร์เอ/บี มีมอนอเมอร์หมู่กรดฟอสฟอนิก (phosphonic acid monomer) ทำหน้าที่เป็นมอนอเมอร์หมู่ทำงาน มีการศึกษาที่พบว่า สารยึดติดที่มีองค์ประกอบของเท็นเอ็มดีพีให้ค่าความแข็งแรงยึดติดมากกว่าสารยึดติดที่มีมอนอเมอร์หมู่กรดฟอสฟอนิก นอกจากนี้จากเอกสารข้อมูลของบริษัท[29] อ้างว่า เท็นเอ็มดีพีที่เป็นองค์ประกอบในสารยึดติดพานาเวียวีไฟว์ ทูธไพรเมอร์มีความบริสุทธิ์มาก ซึ่งจากการศึกษาของ Yoshihara และคณะ[30] ในปี ค.ศ.2015 พบว่า ความบริสุทธิ์ของเท็นเอ็มดีพีเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการยึดติด โดยเท็นเอ็มดีพีในสาร

ไพรเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูงให้ค่าความแข็งแรงยึดติดมากกว่าสารไพรเมอร์ทดสอบที่มีองค์ประกอบของเท็นเอ็มดีพีความบริสุทธิ์ต่ำ

ลักษณะทางกายภาพของเนื้อฟันส่วนคลองรากฟันที่ยึดเดือยฟันแต่ละระดับมีความแตกต่างกัน แม้ว่าความหนาแน่นของท่อเนื้อฟันบริเวณคลองรากฟันส่วนต้นจะมากกว่าบริเวณคลองรากฟันส่วนปลาย ส่งผลต่อความหนาของชั้นไฮบริดและการเกิดเรซินแทกส์[31] แต่อาจไม่สัมพันธ์โดยตรงไปกับประสิทธิภาพการยึดติด ในการศึกษานี้พบว่า เมื่อใช้เรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็นค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกบริเวณคลองรากฟันส่วนปลายมากกว่าบริเวณคลองรากฟันส่วนต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องไปกับการศึกษาของ Gaston และคณะ[32] ในปี ค.ศ. 2001 ที่พบว่าค่าความแข็งแรงยึดติดในคลองรากฟันมากขึ้นจากส่วนต้นลงสู่ส่วนปลาย อาจเป็นเพราะบริเวณที่เป็นเนื้อฟันส่วนแข็งระหว่างท่อ (solid intertubular dentin) มีความสัมพันธ์ต่อการยึดติดมากกว่าปริมาณเรซินแทกส์ในท่อเนื้อฟัน นอกจากนี้ แรงดัน (pressure) ที่สูงบริเวณคลองรากฟันส่วนปลายจากการยึดเดือยฟันอาจช่วยให้เกิดความแนบสนิท (adaptation) ระหว่างเรซินซีเมนต์กับผนังคลองรากฟันส่วนปลายได้ดียิ่งขึ้น[9] ทำให้ค่าความแข็งแรงยึดติดในบริเวณนี้สูงกว่าบริเวณคลองรากฟันส่วนต้นได้ สำหรับกลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ แม้ว่าค่าความแข็งแรงกดออกเพิ่มขึ้นจากคลองรากฟันส่วนต้นสู่คลองรากฟันส่วนปลาย แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะการทำงานของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ไม่ได้ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของเนื้อฟันมากนัก เช่นเดียวกับบางการศึกษาที่พบว่าระดับคลองรากฟันไม่มีผลต่อความสามารถในการยึดติด[33]

การศึกษานี้พบความล้มเหลวระหว่างเนื้อฟันและเรซินซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น สอดคล้องไปกับหลายการศึกษาที่พบว่าบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเรซินซีเมนต์เป็นรอยต่อที่อ่อนแอที่สุดในการบูรณะคลองรากฟันด้วยเดือยฟัน[34,35] ความล้มเหลวที่พบรองลงมา ได้แก่ ความล้มเหลวแบบผสม ซึ่งพบมากในกลุ่มที่ใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ โดยใช้วิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟันที่มากจนสามารถเอาชนะค่าความแข็งแรงภายในเรซินซีเมนต์ ทำให้เกิดการแตกหักของเรซินซีเมนต์ร่วมด้วย และพบความล้มเหลวลักษณะนี้ในกลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงกดออกค่อนข้างสูง

การทาสารยึดติดกวนไปมาช่วยเพิ่มความสามารถในการกระจาย (disperse) และการสลายตัว (dissolve)[20] ของชั้นสเมียร์ที่เกิดจากการเตรียมคลองรากฟัน ทำให้สามารถเห็นรูเปิดท่อเนื้อฟันได้ชัดเจนขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มพลังงานจลน์ทำให้เกิดการแทรกซึมของสารยึดติดเข้าไปทำปฏิกิริยากับเนื้อฟันมากขึ้น[12] อาจส่งผลให้มีปริมาณและความยาวของเรซินแทกส์ที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการทาสารยึดติดทิ้งไว้ในระยะเวลาที่เท่ากัน ดังที่เห็นได้จากภาพพื้นผิวยึดติดของเดือยฟันกับคลองรากฟันเมื่อส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด อย่างไรก็ตาม ลักษณะดังกล่าวไม่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกที่ได้ในการศึกษานี้ สอดคล้องไปกับการศึกษาของ Lohbauer และคณะ[36] ในปี ค.ศ. 2008 ที่พบว่าปริมาณการเกิดเรซินแทกส์ไม่มีผลต่อความแข็งแรงยึดติดของเนื้อฟันเมื่อใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ที่เป็นกรดอ่อน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Bitter และคณะ[33] ในปี ค.ศ. 2009 ที่พบว่าแรงยึดติดทางเคมีที่ดีระหว่างเรซินซีเมนต์และผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์มีความสำคัญมากกว่าความสามารถในการเกิดชั้นไฮบริดบริเวณเนื้อฟันส่วนคลองรากฟัน

เมื่อมองในมุมของชั้นสเมียร์ แม้ว่าจะมีชั้นสเมียร์ปกคลุมที่พื้นผิวภายหลังการเตรียมคลองรากฟัน แต่พบว่าไม่เป็นอุปสรรคในการแทรกซึมของสารยึดติด ซึ่งมีการศึกษาที่พบว่าสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ที่เป็นกรดอ่อน สามารถแทรกซึมผ่านชั้นสเมียร์ที่มีความหนาไปสู่เนื้อฟันที่อยู่ข้างใต้ได้[37] โดยไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงยึดติด ยกเว้นในกลุ่มที่มีชั้นสเมียร์ที่หนามาก[38] สอดคล้องกับการศึกษานี้ ซึ่งแม้จะมีชั้นสเมียร์หลงเหลืออยู่บนพื้นผิวดังที่เห็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 1 และ 2 แต่สามารถให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่ดีได้

การศึกษานี้ทำในคลองรากฟันที่ไม่ได้ผ่านการรักษารากฟัน เพื่อป้องกันปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อการยึดติด การใช้น้ำยาล้างคลองรากฟันบางอย่างซึ่งช่วยในการกำจัดเศษเนื้อเยื่อหรือแร่ธาตุต่าง ๆ ระหว่างขั้นตอนการรักษาคลองรากฟัน อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวคลองรากฟัน[39] และอาจทำให้การยึดติดลดลง[40] รวมถึงเศษกัตตาเปอร์ชาหรือซีเมนต์อุดคลองรากฟันที่ยากต่อการกำจัด

ออกในขั้นตอนการเตรียมคลองรากฟันสำหรับรองรับเดือยฟัน ทำให้มีโอกาสหลงเหลืออยู่ในคลองรากฟันซึ่งอาจส่งผลต่อค่าความแข็งแรงยึดติด[41] โดยการศึกษานี้เลือกใช้น้ำเกลือซึ่งไม่มีความสามารถในการกำจัดชั้นสเมียร์และไม่ส่งผลกระทบต่อการยึดติดระหว่างซีเมนต์และคลองรากฟัน[39] ซึ่งสภาวะที่เกิดขึ้นนี้อาจไม่สอดคล้องกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในทางคลินิก ในขั้นตอนการทาสารยึดติดโดยวิธีกวนไปมาในการศึกษานี้เลือกใช้แปรงซอกฟันโดยเลือกขนาดที่กระชับพอดีกับคลองรากฟัน และสามารถขยับขึ้นลงในแนวดิ่งได้อย่างไม่ติดขัด แทนการใช้แปรงไมโคร (microbrush) ที่ใช้ในทางคลินิก เพื่อให้แน่ใจว่าพื้นผิวทั้งหมดภายในคลองรากฟันได้รับสัมผัสจากกระบวนการกวนไปมาสม่ำเสมอ แม้ว่าแปรงซอกฟันที่ใช้มีขนแปรงที่อ่อนนุ่ม แต่ชนิดของเครื่องมือที่ใช้แตกต่างกันนี้อาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดผลที่แตกต่างเมื่อใช้จริงในทางคลินิกได้[42]

ผลการศึกษานี้แสดงค่าความแข็งแรงยึดติดที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งการทาสารยึดติดกวนไปมาพบว่าช่วยลดอัตราการเสื่อมสภาพ (degradation rate) ของการยึดติดได้[43] เพื่อยืนยันสมมติฐานนี้อาจต้องทำการทดสอบโดยทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานขึ้นหรือด้วยการจำลองการเสื่อมสภาพ (aging mechanism) เพิ่มเติม และด้วยข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกำลังขยายที่ใช้ ทำให้ไม่สามารถแสดงให้เห็นลักษณะของชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นบนชั้นเนื้อฟันได้ จึงอาจจำเป็นต้องมีการศึกษาด้วยเครื่องมือที่สามารถแสดงให้เห็นลักษณะชั้นยึดติดนี้ เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope, TEM) หรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยายสูงขึ้นร่วมกับวิธีการเตรียมพื้นผิวที่เหมาะสำหรับการส่องดูชั้นไฮบริด เป็นต้น รวมถึงการวิเคราะห์การยึดติดทางเคมีเพิ่มเติมในอนาคต

การศึกษานี้ใช้เรซินซีเมนต์เพียงสองชนิด ผลที่ได้จึงไม่อาจครอบคลุมไปยังเรซินซีเมนต์ในกลุ่มที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ทั้งหมดที่มีมากมายในปัจจุบัน ซึ่งอาจให้ผลแตกต่างกันออกไป

บทสรุป

การศึกษานี้พบว่า การทาสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ขั้นตอนเดียวด้วยวิธีกวนไปมาไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดในคลองรากฟันเมื่อใช้เรซินซีเมนต์พานาเวียวีไฟว์ โดยการทาสารยึดติดทิ้งไว้ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีกวนไปมา และให้ค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับคลองรากฟัน ในขณะที่เมื่อใช้เรซินซีเมนต์มัลติลิงค์เอ็น วิธีการทาสารยึดติดที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออก แต่บริเวณคลองรากฟันส่วนปลายมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงกดออกมากกว่าบริเวณคลองรากฟันส่วนต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

1. Silva N, Castro C, Santos-Filho P, et al. Influence of different post design and composition on stress distribution in maxillary central incisor: finite element analysis. *Indian J Dent Res* 2009; 20(2): 153-158.
2. Rasimick BJ, Wan J, Musikant BL, Deutsch AS. A review of failure modes in teeth restored with adhesively luted endodontic dowels. *J Prosthodont* 2010; 19(8): 639-646.
3. Naumann M, Koelpin M, Beuer F, Meyer-Lueckel H. 10-year survival evaluation for glass-fiber-supported postendodontic restoration: a prospective observational clinical study. *J Endod* 2012; 38(4): 432-435.
4. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent* 1998; 80(3): 280-301.
5. Bachicha WS, DiFiore PM, Miller DA, Lautenschlager EP, Pashley DH. Microleakage of endodontically treated teeth restored with posts. *J Endod* 1998; 24(11): 703-708.
6. Hagge MS, Wong RDM, Lindhemut JS. Retention strengths of five luting cements on prefabricated dowels after root canal obturation with a zinc oxide/eugenol sealer: 1. Dowel space preparation/cementation at one week after obturation. *J Prosthodont* 2002; 11(3): 168-175.

7. Stamatacos C, Simon JF. Cementation of indirect restorations: an overview of resin cements. *Compend Contin Educ Dent* 2013; 34(1): 42-44.
8. Goracci C, Sadek FT, Fabianelli A, Tay FR, Ferrari M. Evaluation of the adhesion of fiber posts to intraradicular dentin. *Oper Dent* 2005; 30(5): 627-635.
9. Zicari F, Couthino E, De Munck J, et al. Bonding effectiveness and sealing ability of fiber-post bonding. *Dent Mater* 2008; 24(7): 967-977.
10. Bitter K, Perdigão J, Exner M, Neumann K, Kielbassa A, Sterzenbach G. Reliability of fiber post bonding to root canal dentin after simulated clinical function in vitro. *Oper Dent* 2012; 37(4): 397-405.
11. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater* 2011; 27(1): 17-28.
12. do Amaral RC, Stanislawczuk R, Zander-Grande C, Gagler D, Reis A, Loguercio AD. Bond strength and quality of hybrid layer of one-step self-etch adhesives applied with agitation on dentin. *Oper Dent* 2010; 35(2): 211-219.
13. Pashley E, Agee K, Pashley D, Tay F. Effects of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentine bonding. *J Dent* 2002; 30 (2-3): 83-90.
14. Senawongse P, Srihanon A, Muangmingsuk A, Harnirattisai C. Effect of dentine smear layer on the performance of self-etching adhesive systems: a micro-tensile bond strength study. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2010; 94(1): 212-221.
15. Ito S, Tay FR, Hashimoto M, et al. Effects of multiple coatings of two all-in-one adhesives on dentin bonding. *J Adhes Dent* 2005; 7(2): 133-141.
16. Van Landuyt KL, Peumans M, De Munck J, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Extension of a one-step self-etch adhesive into a multi-step adhesive. *Dent Mater* 2006; 22(6): 533-544.
17. Bagis B, Turkaslan S, Vallittu PK, Lassila LV. Effect of high frequency ultrasonic agitation on the bond strength of self-etching adhesives. *J Adhes Dent* 2009; 11(5): 369-374.
18. Velasquez LM, Sergent RS, Burgess JO, Mercante DE. Effect of placement agitation and placement time on the shear bond strength of 3 self-etching adhesives. *Oper Dent* 2006; 31(4): 426-430.
19. Tay FR, Sano H, Carvalho R, Pashley EL, Pashley DH. An ultrastructural study of the influence of acidity of self-etching primers and smear layer thickness on bonding to intact dentin. *J Adhes Dent* 2000; 2(2): 83-98.
20. Chan KM, Tay FR, King NM, Imazato S, Pashley DH. Bonding of mild self-etching primers/adhesives to dentin with thick smear layers. *Am J Dent* 2003; 16(5): 340-346.
21. Tewari S, Goel A. Effect of placement agitation and drying time on dentin shear bond strength: an in vivo study. *Oper Dent* 2009; 34(5): 524-530.
22. Salz U, Zimmermann J, Salzer T. Self-curing, self-etching adhesive cement systems. *J Adhes Dent* 2005; 7(1): 7-17.
23. Aung SSMP, Takagaki T, Ko AK, et al. Adhesion durability of dual-cure resin cements and acid-base resistant zone formation on human dentin. *Dent Mater* 2019; 35(7): 945-952.
24. Yoshihara K, Yoshida Y, Hayakawa S, et al. Nanolayering of phosphoric acid ester monomer on enamel and dentin. *Acta Biomater* 2011; 7(8): 3187-3195.

25. Iwai H, Nishiyama N. Effect of calcium salt of functional monomer on bonding performance. *J Dent Res* 2012; 91(11): 1043-1048.
26. Rohr N, Fischer J. Tooth surface treatment strategies for adhesive cementation. *J Adv Prosthodont* 2017; 9(2): 85-91.
27. Elmarakby AM, Labib AH. Bond strength evaluation of different adhesive systems applied with passive and active manual application mode in endodontically treated teeth (An in-vitro study). *J Orthod Endod* 2018; 4(8): 1-5.
28. Gruber YL, Bakaus TE, Gomes OMM, Reis A, Gomes GM. Effect of dentin moisture and application mode of universal adhesives on the adhesion of glass fiber posts to root canal. *J Adhes Dent* 2017; 19(5): 385-393.
29. Kuraraydental. Panavia™ V5 Technical information. [Website]. https://kuraraydental.com/wp-content/uploads/sds/Technical-Information/panavia-v5-technical-information.pdf [cited 2020 March 9].
30. Yoshihara K, Nagaoka N, Okihara T, et al. Functional monomer impurity affects adhesive performance. *Dent Mater* 2015; 31(12): 1493-1501.
31. Ferrari M, Mannocci F, Vichi A, Cagidiaco MC, Mjör IA. Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate. *Am J Dent* 2000; 13(5): 255-260.
32. Gaston BA, West LA, Liewehr FR, Fernandes C, Pashley DH. Evaluation of regional bond strength of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod* 2001; 27(5): 321-324.
33. Bitter K, Paris S, Pfuertner C, Neumann K, Kielbassa AM. Morphological and bond strength evaluation of different resin cements to root dentin. *Eur J Oral Sci* 2009; 117(3): 326-333.
34. Erdemir U, Mumcu E, Topcu FT, Yildiz E, Yamanel K, Akyol M. Micro push-out bond strengths of 2 fiber post types luted using different adhesive strategies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010; 110(4): 534-544.
35. Mumcu E, Erdemir U, Topcu FT. Comparison of micro push-out bond strengths of two fiber posts luted using simplified adhesive approaches. *Dent Mater J* 2010; 29(3): 286-296.
36. Lohbauer U, Nikolaenko SA, Petschelt A, Frankenberger R. Resin tags do not contribute to dentin adhesion in self-etching adhesives. *J Adhes Dent* 2008; 10(2): 97-103.
37. Kenshima S, Reis A, Uceda-Gomez N, et al. Effect of smear layer thickness and pH of self-etching adhesive systems on the bond strength and gap formation to dentin. *J Adhes Dent* 2005; 7(2): 117-126.
38. Tay FR, Carvalho R, Sano H, Pashley DH. Effect of smear layers on the bonding of a self-etching primer to dentin. *J Adhes Dent* 2000; 2(2): 99-116.
39. Ekambaram M, Yiu CKY, Matinlinna JP. Bonding of adhesive resin to intraradicular dentine: a review of the literature. *Int J Adhes Dent* 2015; 60(4): 92-103.
40. Gu XH, Mao CY, Liang C, Wang HM, Kern M. Does endodontic post space irrigation affect smear layer removal and bonding effectiveness? *Eur J Oral Sci* 2009; 117(5): 597-603.
41. Ferrari M, Vichi A, Grandini S, Goracci C. Efficacy of a self-curing adhesive-resin cement system on luting glass-fiber posts into root canals: an SEM investigation. *Int J Prosthodont* 2001; 14(6): 543-549.

42. Gokce K, Aykor A, Ersoy M, Ozel E, Soyman M. Effect of phosphoric acid etching and self-etching primer application methods on dentinal shear bond strength. *J Adhes Dent* 2008; 10(5): 345-349.

43. Loguercio AD, Stanislawczuk R, Mena-Serrano A, Reis A. Effect of 3-year water storage on the performance of one-step self-etch adhesives applied actively on dentine. *J Dent* 2011; 39(8): 578-587.