

Effect of Dentin Dryness on Shear Bond Strengths of Self-adhesive Resin Cements

Awiruth Klaisiri¹, Charuphan Oonsombat² and Niyom Thamrongananskul³

¹Department of Operative dentistry, Faculty of Dentistry, Thammasat University, Pathumthani, Thailand

²Department of Operative dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

³Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Correspondence to:

Awiruth Klaisiri. Faculty of Dentistry, Thammasat University, 99 Moo18, Klongluang, Pathumthani 12121 Thailand Tel: 02-9869051

Fax: 02-9869205 E-mail: Dentton@hotmail.com

Abstract

The purpose of this study was to compare shear bond strengths of self-adhesive resin cements on dry or moist dentin. Eighty non-carious, extracted human molars were cut horizontally to dentinal surfaces. Four self-adhesive resin cements: RelyX U100[®] (RU1), RelyX U200[®] (RU2), Maxcem elite[®] (MC), Clearfil SA luting[®] (CL) were used as luting agent in each group (N = 10). Therefore, the experimental groups were 1) RU1 + Dry, 2) RU1 + Moist, 3) RU2 + Dry, 4) RU2 + Moist, 5) MC + Dry, 6) MC + Moist, 7) CL + Dry, 8) CL + Moist. A single side masking tape with 2 mm diameter hole was applied to the centre of dentin surface. The resin composite rod was luted to prepared dentin surface in each group with the applying load of 1,000 grams, then light cured for 40 second for each side. The bonded specimens were then stored in distilled water at 37 °C for 24 hours. Shear bond strength was evaluated using universal testing machine at cross head speed of 0.5 mm/min. The data were collected and statically analyzed using two-way analysis of variance and Tukey's multiple comparisons at 95 % confidence level. For the same product, the mean shear bond strengths of self-adhesive resin cement luted on dry or moist dentin were not significantly different. Among 4 self-adhesive resin cements, shear bond strengths of RelyX U100[®] [dry 9.42 (1.32), moist 9.06 (1.21)], RelyX U200[®] [dry 9.30 (1.29), moist 9.27 (0.98)] and Maxcem elite[®] [dry 9.14 (1.23), moist 8.23 (1.61)] were not significantly different but they were significantly higher than Clearfil SA luting[®] [dry 4.32 (1.44), moist 4.84 (1.76)] in both dentin conditions ($p < 0.05$). All specimens showed adhesive failure at cement-tooth interface. In conclusion, there was no significant difference in shear bond strength of self-adhesive resin cements to dry or moist dentin. Shear bond strengths of RelyX U100[®], RelyX U200[®] and Maxcem elite[®] were not significantly different but they were significantly higher than Clearfil SA luting[®] in both dentin conditions.

Key words: Dry or moist dentin; Self-adhesive resin cement; Shear bond strength

Received Date: Dec 9, 2014, Accepted Date: Feb 27, 2015

doi: 10.14456/jdat.2015.16

ผลของความแห้งของเนื้อฟันต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

อวิรุทธ์ คล้ายศิริ¹ จารุพรรณ อุ้นสมบัติ² และนิยม อารังค์อนันต์สกุล³

¹ สาขาวิชาทันตกรรมทันตการ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี

² ภาควิชาทันตกรรมทันตการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

³ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

อวิรุทธ์ คล้ายศิริ 99 หมู่ 18 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ถ. พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12121 โทรศัพท์: 02-9869051

โทรสาร: 02-9869205 อีเมล: Dentton@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน เมื่อผิวเนื้อฟันอยู่ในสถานะที่แห้ง หรือชื้น โดยนำฟันกรามแท้ของมนุษย์จำนวน 80 ซี่ ตัดด้านบดเคี้ยวออกจนถึงชั้นเนื้อฟัน ใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ รีไลเอ็กซ์ยูร้อย (RU1) รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย (RU2) แม็กเซมอีลิต (MC) และเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง (CL) แบ่งโดยสุ่มเป็น 8 กลุ่ม (N = 10) ได้แก่ 1) RU1 + Dry 2) RU1 + Moist 3) RU2 + Dry 4) RU2 + Moist 5) MC + Dry 6) MC + Moist 7) CL + Dry 8) CL + Moist ใช้แผ่นเทปกาวหน้าเดียวที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ติดบนผิวเนื้อฟันที่เตรียมไว้ นำแท่งเรซินคอมโพสิตที่บ่มด้วยแสงแล้ว มายึดติดกับเนื้อฟันด้วยเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ในแต่ละกลุ่ม โดยใช้น้ำหนักกด 1,000 กรัม ทำการฉายแสงด้านละ 40 วินาที เก็บชิ้นงานในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงาน ไปทดสอบเพื่อหาค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวด้วยเครื่องทดสอบสากลระบบไฮดรอลิกที่ความเร็วหัวกดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร/นาที บันทึกแรงที่ทำให้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์หลุดออกจากเนื้อฟัน วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ความแปรปรวนแบบสองทาง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า กำลังแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์เดียวกัน เมื่อเนื้อฟันอยู่ในสถานะที่แห้ง หรือชื้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่กำลังแรงยึดเหนี่ยวกับเนื้อฟันที่แห้ง หรือชื้น ของรีไลเอ็กซ์ยูร้อย [dry 9.42 (1.32), moist 9.06 (1.21)] รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย [dry 9.30 (1.29), moist 9.27 (0.98)] และแม็กเซมอีลิต [dry 9.14 (1.23), moist 8.23 (1.61)] มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง [dry 4.32 (1.44), moist 4.84 (1.76)] อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รูปแบบการแตกหักที่พบภายหลังจากการทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน เป็นการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ร้อยละ 100 ในทุกกลุ่มการทดลอง จึงสรุปได้ว่า กำลังแรงยึดเหนี่ยวเมื่อเนื้อฟันอยู่ในสถานะที่แห้ง หรือชื้น ของซีเมนต์ผลิตภัณฑ์เดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกำลังแรงยึดเหนี่ยวเมื่อเนื้อฟันอยู่ในสถานะที่แห้ง หรือชื้น ของรีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย และแม็กเซมอีลิต มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: เนื้อฟันในสถานะที่แห้งหรือชื้น; เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์; กำลังแรงยึดเหนี่ยว

ปัจจุบันเรซินซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญ และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการยึดชิ้นงานที่ผลิตจากห้องปฏิบัติการให้ติดกับฟันหลัก¹ เนื่องจากมีสมบัติเด่นคือ มีความแข็งแรง มีค่าการละลายตัวในน้ำที่ต่ำ จึงลดอัตราการรั่วซึมระหว่างรอยต่อของวัสดุกับตัวฟัน สามารถยึดติดกับตัวฟัน และวัสดุบูรณะฟันได้ดี มีสีหลากหลายให้เลือกใช้ และมีความสวยงามสูง แต่ข้อด้อยของเรซินซีเมนต์คือ เรซินซีเมนต์บางประเภทมีวิธีการใช้งานที่ยุ่งยาก เมื่อเทียบกับซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม มีความไวต่อความชื้นสูงกำจัดส่วนเกินของซีเมนต์ออกได้ยาก และมีราคาแพง^{2,3}

เรซินซีเมนต์สามารถแบ่งตามวิธีการเตรียมผิวฟันได้เป็น 3 ระบบ² โดยระบบแรก คือ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบการยึดติดที่เตรียมผิวฟันโดยใช้กรดทาแล้วล้างออกด้วยน้ำ (etch and rinse resin cement) หรือเรียกว่า ระบบเอทซ์แอนด์รีนส์ ซึ่งทั่วไปนิยมทาด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30 - 40 เป็นเวลา 15 วินาที โดยที่กรดจะไปกำจัดชั้นสเมียร์ (smear layer) ละลายแร่ธาตุในชั้นเคลือบฟัน ทำให้เกิดความขรุขระระดับจุลภาค เมื่อทาด้วยสารยึดติด (bonding) จะเกิดการแทรกซึมไปตามรูพรุนเล็ก ๆ เกิดเป็นเรซินแท็ก (resin tags) ส่วนที่เนื้อฟันกรดจะไปกำจัดชั้นสเมียร์ ละลายแร่ธาตุ ทำให้เกิดการเผยของเส้นใยคอลลาเจน และท่อเนื้อฟันเปิดออก เมื่อทาสารยึดติดจะเกิดการแทรกซึมไปตามเส้นใยคอลลาเจน จากนั้นเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) จนกลายเป็นชั้นไฮบริด (hybrid layer) ในที่สุด ข้อดีของเรซินซีเมนต์ระบบนี้คือ ให้กำลังแรงยึดที่สูงกับฟัน แต่มีข้อด้อยคือ มีการใช้งานที่ยุ่งยากหลายขั้นตอน ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ระบบนี้ ได้แก่ ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Superbond C&B[®]) วาริโอลิงค์ทู (Variolink II[®]) เป็นต้น ระบบที่สอง คือ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบการยึดติดแบบเซลฟ์เอทซ์ (self-etch resin cement) หรือเรียกว่า ระบบเซลฟ์เอทซ์ ระบบนี้มีขั้นตอนการใช้งานที่ง่ายกว่าระบบแรก โดยรวมกรด และไพรเมอร์เข้าด้วยกัน หรือรวมทั้งกรด ไพรเมอร์ และสารยึดติดเข้าด้วยกันก็ได้ ซึ่งสารผสมเหล่านี้เมื่อทาที่ผิวฟันจะเกิดการละลายแร่ธาตุบางส่วน และปรับเปลี่ยนชั้นสเมียร์ให้เหมาะสมต่อการยึดติด เรซินซีเมนต์ระบบนี้มีข้อดีคือ ลดขั้นตอนการทำงาน ลดการเสียวฟันหลังการบูรณะ แต่มีข้อด้อยคือ กำลังแรงยึดกับผิวฟันมีค่าต่ำกว่าซีเมนต์ระบบแรก ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ระบบนี้ ได้แก่ พานาเวียเอฟทู (Panavia F2.0[®]) มัลติลิงค์ออโตมิคซ์ (Multilink automix[®]) เป็นต้น จนกระทั่งในปี ค.ศ. 2002 ได้มีเรซินซีเมนต์ที่มีการยึดติดแบบเซลฟ์เอทซ์ (self-adhesive resin cement) ซึ่งจัดเป็นระบบที่สามออกวางจำหน่าย

เซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์เป็นการรวมสมบัติการปรับสภาพผิวด้วยกรด และการแทรกซึมของเรซินเข้าด้วยกัน และยังเป็น การรวมสมบัติเด่นของซีเมนต์กลุ่มดั้งเดิม และกลุ่มเรซินซีเมนต์คือ การใช้งานง่าย ไม่ต้องเตรียมผิวฟัน และยังสามารถเกิดพอลิเมอร์ได้อีกด้วย³ วัตถุประสงค์ของซีเมนต์ระบบนี้เพื่อลดขั้นตอนการทำงาน^{1,4} สร้างกลไกการยึดติดแบบเชิงกลระดับจุลภาค (micro-mechanical bond) จากมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acidic monomer) เพื่อละลายแร่ธาตุ ปรับสภาพ และยึดติดไปพร้อม ๆ กัน นอกจากนี้ ยังมีความเชื่อว่า สามารถเกิดการยึดติดด้วยพันธะเคมี (chemical bond) ระหว่างมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน (functional group) กับไฮดรอกซีอะพาไทต์ เนื่องจากเรซินซีเมนต์ระบบนี้ชั้นสเมียร์ไม่ได้ถูกกำจัดออก ไม่มีการเปิดของท่อเนื้อฟัน จึงไม่เกิดการเสียวฟันตามมาภายหลัง^{1,5,6} ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์ถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง และเป็นที่ยอมรับมากขึ้น¹ แต่อย่างไรก็ตาม เรซินซีเมนต์มีความไวต่อความชื้นสูง จึงต้องควบคุมความชื้นให้ดีระหว่างการใช้งาน ตัวอย่างเซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์ ได้แก่ รีไลเอ็กซ์ยูร้อย (RelyX U100[®]) รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย (RelyX U200[®]) รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม (RelyX Unicem[®]) แมกเซมอีลิท (Maxcem elite[®]) มัลติลิงค์สปลิ่ง (Multilink splint[®]) เคลียร์ฟิลเอสเอลูตติง (Clearfil SA luting[®]) จีเซม (G-Cem[®]) เป็นต้น

วัสดุเรซินซีเมนต์สามารถยึดติดกับฟันหลักได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการยึดติดทางกล ทางเคมี หรือทั้ง 2 อย่างร่วมกัน โดยมีการศึกษากำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ในชั้นเคลือบฟัน เพื่อหาค่ากำลังแรงยึดเฉือน⁷ หรือกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค⁸ พบว่า กำลังแรงยึดของเซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์อยู่ในช่วง 14.5 - 19.6 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ ที่มีกำลังแรงยึดในช่วง 17.8 - 49.3 เมกะพาสคาล^{7,8} และหลังจากการเร่งอายุด้วยการแช่น้ำสลับร้อนเย็น⁷ พบว่า เซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์มีกำลังแรงยึดที่ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนการศึกษากำลังแรงยึดระหว่างเซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน เพื่อหาแรงยึดเฉือน⁹ หรือแรงยึดดึงระดับจุลภาค¹⁰ พบว่า กำลังแรงยึดเฉือนของเซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์อยู่ในช่วง 8.6 - 9.2 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ ที่อยู่ในช่วง 10.3 - 15.6 เมกะพาสคาล⁹ และกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคของเซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์อยู่ในช่วง 4.6 - 16.9 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ ที่อยู่ในช่วง 33.7 - 69.6 เมกะพาสคาล¹⁰ ได้มีการอธิบายกำลังแรงยึดที่ต่ำของเซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์อาจเป็นผลมาจาก 1) เซลฟ์เอทซ์ซีฟเรซินซีเมนต์มีวัสดุอัดแทรกมากกว่าร้อยละ 60 ทำให้มีความหนืดสูงเมื่อเทียบกับสารยึดติด จึงไม่สามารถแทรกซึมลงไปในท่อเนื้อฟันได้

2) การเกิดความเป็นกลาง (neutralized effect)¹⁰ ของวัสดุ จะทำให้เรซินซีเมนต์มีสมบัติที่ดีขึ้นในด้านลดการดูดน้ำ และลดการละลายตัว แต่การเข้าสู่ความเป็นกลาง (neutral) อย่างรวดเร็ว ทำให้มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันของกรด ไม่สามารถละลายแร่ธาตุในชั้นเนื้อฟันได้อย่างเพียงพอ โดยหลังการผสมเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ วัสดุจะมีฤทธิ์ความเป็นกรด - ต่างที่ต่ำในช่วง 1 - 2 นาทีแรก¹⁰ จากนั้นค่าความเป็นกรด - ต่างจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และเข้าสู่ความเป็นกลางในที่สุด ดังนั้นความเป็นกรดในช่วงแรก ๆ จึงมีฤทธิ์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการละลายสารอินทรีย์ในชั้นเนื้อฟัน^{4,10,11} จึงไม่มีชั้นไฮบริดเกิดขึ้น แต่เป็นเพียงชั้นที่เกิดจากการผสมผสานกันของเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) วัสดุอัดแทรก แคลเซียมฟอสเฟตที่ถูกละลายด้วยมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด และก้อนสเมียร์ด้วยลักษณะโครงสร้างของชั้นที่เกิดขึ้นนี้จึงทำให้มีกำลังแรงยึดต่ำ ดังนั้น จึงได้มีการพยายามทำให้ความเป็นกรด - ต่างในช่วงแรกมีค่าต่ำลง และคงสถานะนั้นนานขึ้นเพื่อให้เกิดการละลายแร่ธาตุที่ผิวฟันมากขึ้น แต่กลับส่งผลให้เรซินซีเมนต์มีความชอบน้ำมากขึ้น และขัดขวางการเกิดพอลิเมอร์ได้¹¹

จากการศึกษาถึงความแห้ง และชื้นของเนื้อฟันเมื่อใช้เซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยการศึกษาของ Guarda และคณะ¹² ค.ศ. 2010 ศึกษาถึงค่ากำลังแรงยึดดึงในเนื้อฟันที่สภาวะแห้ง และชื้นของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมพบว่า เนื้อฟันที่แห้งมีค่ากำลังแรงยึดดึง 9.1 เมกะพาสคาล และเนื้อฟันที่ชื้นมีค่ากำลังแรงยึดดึง 18.5 เมกะพาสคาล ส่วนการศึกษาของ André และคณะ¹³ ค.ศ. 2013 ศึกษาค่ากำลังแรงยึดดึงของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ในเนื้อฟันสภาวะที่แห้ง และชื้นของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม และเคลียร์ฟิลเอสเอลูตติง พบว่า เนื้อฟันที่แห้งของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีค่ากำลังแรงยึดดึงอยู่ในช่วง 18.3 – 18.9 เมกะพาสคาล และเนื้อฟันที่ชื้นของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีค่ากำลังแรงยึดดึงอยู่ในช่วง 15.7 – 19.3 เมกะพาสคาล ส่วนเนื้อฟันที่แห้งของเคลียร์ฟิลเอสเอลูตติงมีค่ากำลังแรงยึดดึงอยู่ในช่วง 12.7 – 14.2 เมกะพาสคาล และเนื้อฟันที่ชื้นของเคลียร์ฟิลเอสเอลูตติงมีค่ากำลังแรงยึดดึงอยู่ในช่วง 15.7 – 17.8 เมกะพาสคาล

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันของกรดซึ่งเป็นสารหลักของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ จะทำหน้าที่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพได้คือ ต้องสามารถเกิดพอลิเมอร์เป็นเรซินเมทริกซ์ หรือเกิดการบ่มตัวนั่นเอง และจะต้องสามารถแตกตัวให้ได้ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เพื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟัน ส่วนหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์ที่แตกตัวแล้ว และมีประจุลบ จะเกิดพันธะเคมีกับแคลเซียมไอออนที่ผิวเนื้อฟัน ซึ่งปฏิกิริยาที่หมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์จะแตกตัวให้ได้ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) นั้นจำเป็นต้องมีน้ำร่วมอยู่ด้วยเสมอ เนื่องจากปัจจุบัน

ยังมีความสับสนในเรื่องการเตรียมสภาพผิวของฟันหลักว่า เนื้อฟันควรอยู่ในสภาวะที่แห้ง หรือชื้น จึงจะเหมาะสมกับเรซินซีเมนต์ระบบเซลฟ์แอตตีฟ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม ร้อย แม็กเซมอลิต และเคลียร์ฟิลเอสเอลูตติงกับเนื้อฟัน เมื่อผิวเนื้อฟันอยู่ในสภาวะที่แห้ง หรือชื้น โดยมีสมมติฐาน คือ 1) สภาวะที่แห้ง หรือชื้นของผิวเนื้อฟัน ไม่มีผลต่อกำลังแรงยึดของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ 2) กำลังแรงยึดของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์กับสภาวะของผิวเนื้อฟันไม่ว่าแห้ง หรือชื้น มีค่าไม่แตกต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ฟันกรามแท้ของมนุษย์จำนวน 80 ซี่ ที่ปราศจากรอยผุและความผิดปกติอื่น ๆ ทำความสะอาด และเก็บซี่ฟันไว้ในสารละลายคลอรามินที (Chloramines-T trihydrate solution) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นระยะเวลาไม่เกิน 1 สัปดาห์ จากนั้นนำไปเก็บไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตามหลักมาตรฐานไอเอสโอ 11405¹⁴ โดยทำการเปลี่ยนน้ำกลั่นที่แช่ฟันทุกสัปดาห์ ฟันที่นำมาใช้จะมีอายุการเก็บไม่เกิน 6 เดือน

การเตรียมเนื้อฟันสำหรับทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว

งานวิจัยนี้ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เลขที่ จธ 10/2554 โดยนำฟันจำนวน 80 ซี่ ตัดผิวด้านบดเคี้ยวออกประมาณ 2 มิลลิเมตร ให้ถึงชั้นเนื้อฟันด้วยเครื่องตัดฟันความเร็วต่ำ (Slow speed cutting machine; ISOMET 1000 series 15, Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, USA) ด้วยแรงกด 150 นิวตัน ที่ความเร็ว 350 รอบต่อนาที ในแนวตั้งฉากกับแนวแกนฟัน แล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Stereomicroscope; ML 9300, Meiji Techno Co. Ltd., Saitama, Japan) กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อตรวจสอบบริเวณที่ตัดว่าเป็นส่วนเนื้อฟันเท่านั้น โดยไม่มีจุดทะเลพุโพรงเนื้อเยื่อใน (pulp tissue) และไม่มีรอยแตก (crack) จากนั้นนำฟันที่ได้ไปฝังในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว สูง 1.5 นิ้ว ด้วยยิปซัมทางทันตกรรมประเภทที่ 4 โดยให้แนวแกนฟันตั้งฉากกับพื้นระนาบ และมีความสูงของผิวหน้าฟันโผล่พ้นจากผิวหน้าของยิปซัมประมาณ 1 มิลลิเมตร¹⁴ (รูปที่ 1A) แล้วขัดผิวเนื้อฟันด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 600 กริท (600-grit silicon carbide paper; PACE technologies, Tucson, AZ, USA) เป็นเวลา 10 วินาทีภายใต้กำลังน้ำหล่อเลี้ยงบนเครื่องขัดอัตโนมัติ

(Automatic polishing machine; DPS 3200, Imptech, Boksburg, South Africa) จากนั้นทำความสะอาดพื้นผิวเนื้อฟันด้วยการฉีบน้ำ และลมพร้อมกันจากทริปเปิลไซริงค์ ที่แรงดัน

40 - 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร สเปรย์นาน 10 วินาที แล้วเก็บซี่ฟันที่ตัดไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100



A



B



C



D

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ

- A. ฟันกรามแท้ของมนุษย์ถูกตัดในแนวระนาบจนถึงชั้นเนื้อฟัน และฝังลงในท่อพีวีซีด้วยยิปซัมทางทันตกรรม
- B. เรซินคอมโพสิตที่บรรจุในท่อซิลิโคนใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร
- C. แท่งเรซินคอมโพสิตถูกยึดเข้ากับผิวเนื้อฟันด้วยน้ำหนักกดคงที่ 1,000 กรัม
- D. ชิ้นทดสอบที่แท่งเรซินคอมโพสิตยึดติดกับเนื้อฟันด้วยเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

Figure 1 The steps of specimen preparation

- A. Human molar was cut horizontally to dentin and embedded into a PVC pipe with dental gypsum.
- B. Clear silicone mold (3 mm in diameter, 10 mm in height) was filled with light cure resin composite.
- C. The resin composite rod was luted to dentin surface under constant weight of 1,000 grams.
- D. The specimen; resin composite rod was luted to prepared dentin surface with self-adhesive resin cement.

การเตรียมชิ้นเรซินคอมโพสิตเพื่อการยึดติด

เตรียมแท่งเรซินคอมโพสิตจำนวน 80 แท่ง โดยนำเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มด้วยแสง ผลิตภัณฑ์พริมีส (Primise, KERR, Orange, CA, USA) สีเอสสอง บรรจุลงในท่อซิลิโคนใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร บ่มวัสดุโดยฉายแสงที่ปลายท่อทั้ง 2 ด้าน และด้านข้าง ด้านละ 40 วินาที ด้วยเครื่องฉายแสง (The Elipar FreeLight 2, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) ที่ความเข้มแสงประมาณ 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (รูปที่ 1B) จากนั้นเตรียมผิวหน้าของแท่งเรซินคอมโพสิตด้านที่จะนำมายึดติด โดยเป่าผิวหน้าด้วยอนุภาคคอลลูมิเนียออกไซด์ ขนาด 50 ไมโครเมตร ความดัน 35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร เป็นเวลา 15 วินาที¹⁵ ด้วยเครื่องขัดสีแบบพ่นอนุภาคในอากาศ (Airborne particle abrasive unit; Basic Classic, Renfert Gmbh, Hilzingen, Germany) แล้วทำความสะอาดแท่งเรซินคอมโพสิตในน้ำกลั่นด้วยเครื่องล้างคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic cleaner VI, Yoshida Dental Trade Distribution Co., Tokyo, Japan) เป็นเวลา 10 นาที

การเตรียมชิ้นทดลองเพื่อการยึดติด

ใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ จำนวน 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่

รีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย แม็กเซมอีลิต และเคลียร์ฟิล เอสเอสเอลูตทิง โดยส่วนประกอบ และวิธีการใช้งานของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงในตารางที่ 1 นำเทปขาวหน้าเดียว (Scotch blue Painter's tape, 3M, St. Paul, MN, USA) ที่มีความหนาประมาณ 80 ไมโครเมตร เจาะรูให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร ตัดลงบนด้านบดเคี้ยวของฟันที่เตรียมไว้ โดยแบ่งฟันเป็น 8 กลุ่ม ๆ ละ 10 ซี่ ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple randomization) นำท่อพีวีซีที่มีซี่ฟันฝังอยู่ใส่ที่ฐานของเครื่องมือควบคุมน้ำหนักการกด ผสมเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ป้ายเรซินซีเมนต์ลงบนเนื้อฟันภายในรูของแผ่นเทปที่เตรียมไว้ วางแท่งเรซินคอมโพสิตลงบนเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ แล้วกดด้วยน้ำหนักที่คงที่ 1,000 กรัม (รูปที่ 1C) ตามหลักมาตรฐานไอเอสโอ 11405¹⁴ ฉายแสงรอบชิ้นงาน ด้านละ 2 วินาที กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินรอบชิ้นงานออก ฉายแสงรอบชิ้นงานอีกครั้ง ทั้ง 2 ด้าน (ด้านแก้ม และด้านลิ้น) ด้านละ 40 วินาที แล้วทิ้งไว้จนครบ 10 นาที โดยนับเวลาเริ่มต้นตั้งแต่ทำการผสมเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (รูปที่ 1D) จากนั้นนำชิ้นทดสอบเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Incubator; Contherm 160M, Contherm Scientific Ltd., Korokoro, Lower Hutt, New Zealand)

ตารางที่ 1 แสดงชนิดของซีเมนต์ บริษัทผู้ผลิต เลขที่ผลิต ระบบการส่งวัสดุออกจากหลอด และส่วนประกอบ

Table 1 Type of cements, manufacturers, lot number, delivery system and their composition

Materials	Delivery	Composition
RelyX U100 [®] (3M ESPE, Seefeld, Germany) Lot: 422141	Clicker dispenser 2 pastes, hand mixed	Base paste: Methacrylate monomers containing phosphoric acid group, silanated fillers, initiator components, stabilizers Catalyst paste: Methacrylate monomers, alkaline (basic) fillers, silanated fillers, initiator components, stabilizers, pigment
RelyX U200 [®] (3M ESPE, Seefeld, Germany) Lot: 509730	Clicker dispenser 2 pastes, hand mixed	Base paste: Methacrylate monomers containing phosphoric acid group, silanated fillers, initiator components, stabilizers, rheological additives Catalyst paste: Methacrylate monomers, alkaline (basic) fillers, silanated fillers, initiator components, stabilizers, pigment, rheological additives

Table 1 (Continued)

Materials	Delivery	Composition
Maxcem elite® (Kerr, Orange, CA, USA) Lot: 4544333	Paste/paste dual syringe, direct dispensing through mixing tip	GPDM (glycerol dimethacrylate dihydrogen phosphate), comonomers (mono-, di-, and tri-function methacrylate monomers), proprietary self-curing redox activators, photoinitiator (camphorquinone), stabilizer, barium glass fillers, fumed silica fillers, fluoroaluminosilicate fillers
Clearfil SA luting® (Kuraray medical Inc., Okayama, Japan) Lot: 00143A	Paste/paste dual syringe, hand mixed	Paste A: 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP), Bis-phenol A diglycidyl methacrylate (Bis-GMA), Triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA), hydrophobic aromatic dimethacrylate, dl-camphorquinone, benzoyl peroxide, initiator, silanated barium glass fillers, silanated colloidal silica Paste B: Bis-phenol A diglycidyl methacrylate hydrophobic aromatic dimethacrylate, hydrophobic aliphatic dimethacrylate, accelerators, pigments, surface treated sodium fluoride, silanated barium glass fillers, silanated colloidal silica

การทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว

นำชิ้นทดสอบยึดเข้ากับอุปกรณ์เพื่อทดสอบกำลังแรงยึดเหนี่ยว โดยให้แนวระนาบของปลายมีดที่ใช้ทดสอบแรงเฉือน (shearing blade) ขนานกับรอยต่อระหว่างเซลล์แอตตีซีฟเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน และให้อยู่ห่างประมาณ 1 มิลลิเมตร แล้วทำการทดสอบวัดกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์แอตตีซีฟเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ด้วยเครื่องทดสอบสากลระบบไฮดรอลิก (Universal testing machine; EZ-S 500N, Shimadzu corporation, Kyoto, Japan) ที่ความเร็วของหัวกด (crosshead speed) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ต่อนาทีที่คำนวณกำลังแรงยึดเหนี่ยวโดยนำแรงเฉือนสูงสุดหารด้วยพื้นที่ผิวรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและแท่งคอมโพสิต มีหน่วยเป็น เมกะพาสคาล

การศึกษารูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ โดยนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ

ไมโครสโคปที่กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อดูรูปแบบความล้มเหลว (mode of failure) ของแรงยึดติดระหว่างเนื้อฟัน และเซลล์แอตตีซีฟเรซินซีเมนต์ สามารถแบ่งเป็น 3 แบบ คือ 1) การยึดไม่อยู่ (adhesive failure) เกิดความล้มเหลวระหว่างรอยต่อของผิวเนื้อฟันกับเซลล์แอตตีซีฟเรซินซีเมนต์ เมื่อดูบนด้านเนื้อฟันของชิ้นทดสอบ จะไม่พบเซลล์แอตตีซีฟเรซินซีเมนต์หลงเหลืออยู่เลย 2) การเชื่อมแน่นล้มเหลว (cohesive failure) เกิดความล้มเหลวในเนื้อวัสดุเซลล์แอตตีซีฟเรซินซีเมนต์ เมื่อดูบนผิวเนื้อฟันของชิ้นทดสอบ จะพบเซลล์แอตตีซีฟเรซินซีเมนต์ปกคลุมผิวเนื้อฟันอยู่ทั้งหมด 3) การล้มเหลวแบบผสม เกิดความล้มเหลวทั้งแบบการยึดไม่อยู่และการเชื่อมแน่นล้มเหลว เมื่อดูผิวเนื้อฟันของชิ้นทดสอบจะพบเซลล์แอตตีซีฟเรซินซีเมนต์ปกคลุมผิวเนื้อฟันอยู่เป็นหย่อม ๆ จากนั้นเลือกชิ้นงานไปเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบทอง (Gold sputtering unit; JFC-1200E Fine coater, JEOL Ltd., Tokyo, Japan)

แล้วส่องผิวหน้าของบริเวณรอยแตกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope; Quanta 250, FEI Company, Hillsboro, OR, USA) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิดทูกีย์ (Tukey's multiple comparisons) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผล

การวิจัยนี้ไม่พบการแตกหักของชิ้นทดลองก่อนการทดสอบกำลังแรงยึด (prematurely failed specimen) ในทุกกลุ่มการทดลอง

กำลังแรงยึดเฉือน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยกำลังแรงยึดเฉือนของเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์เดียวกันพบว่า เมื่อเนื้อฟันอยู่ในสถานะที่แห้ง หรือชื้น มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่กำลังแรงยึดเฉือนกับเนื้อฟันที่แห้ง หรือชื้น ของรีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย และแม็กเซมอีลิท มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสแอลูตทิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

รูปแบบความล้มเหลวที่พบภายหลังจากการทดสอบกำลังแรงยึดเฉือนระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน เป็นการแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินซีเมนต์ (adhesive failure at cement-tooth interface) ร้อยละ 100 ในทุกกลุ่มการทดลอง (รูปที่ 2A - H)

ตารางที่ 2 ค่ากำลังแรงยึดเฉือนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เมกะพาสคาล)

Table 2 Mean shear bond strengths and standard deviations (MPa)

Cements	Dry	Moist
RelyX U100 [®] (N = 10)	9.42 (1.32) ^{a,1}	9.06 (1.21) ^{a,1}
RelyX U200 [®] (N = 10)	9.30 (1.29) ^{a,1}	9.27 (0.98) ^{a,1}
Maxcem elite [®] (N = 10)	9.14 (1.23) ^{a,1}	8.23 (1.61) ^{a,1}
Clearfil SA luting [®] (N = 10)	4.32 (1.44) ^{a,2}	4.84 (1.76) ^{a,2}

For each horizontal row: value with identical letters indicates no statistically significant difference

For each vertical column: value with identical numbers indicates no statistically significant difference

บทวิจารณ์

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อพิจารณาที่ผลิตภัณฑ์เดียวกัน ในสถานะที่แห้ง หรือชื้น ของผิวเนื้อฟันไม่มีผลต่อกำลังแรงยึดเฉือนของเซลฟ์แอตฮีซีฟเรซินซีเมนต์ จึงยอมรับสมมติฐานข้อที่ 1 ขณะที่กำลังแรงยึดเฉือนของเซลฟ์แอตฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ เมื่อเนื้อฟันอยู่ในสถานะที่แห้ง หรือชื้น

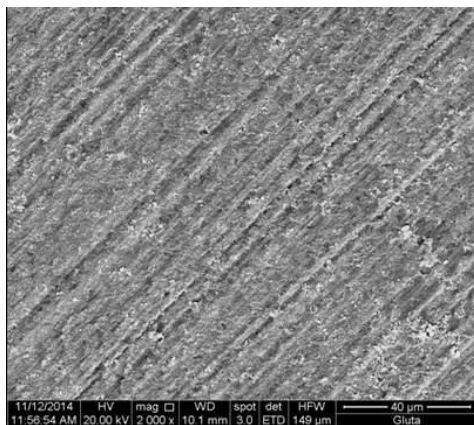
มีอย่างน้อย 1 คู่ที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 2

การวิจัยครั้งนี้ได้พยายามจัดเตรียมสภาพ และขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติในคลินิกมากที่สุด มีการควบคุมโดยการขัดผิวเนื้อฟันด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 600 กริท เพื่อควบคุมชั้นสเมียร์ให้ใกล้เคียงกัน ในฟันทุก ๆ ซี่ ขณะที่เรซินซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์มีความหนืด

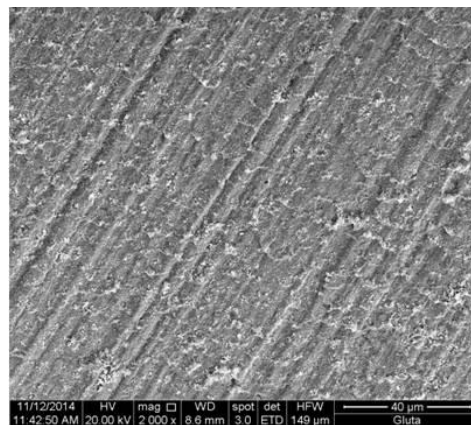
และความหนาชั้นฟิล์มที่ต่างกัน จึงมีการควบคุมชั้นฟิล์มของเรซินซีเมนต์ที่ยึดแท่งเรซินคอมโพสิตให้มีความหนาประมาณ 80 ไมโครเมตร ด้วยแผ่นเทป และน้ำหนักที่ใช้กดตามหลักมาตรฐานไอเอสโอ 11405¹⁴ ดังนั้น จึงตัดปัจจัยเรื่องความหนาของชั้นฟิล์มที่อาจส่งผลต่อกำลังแรงยึดได้¹⁶⁻¹⁸

การวิจัยครั้งนี้ใช้เรซินซีเมนต์ในกลุ่มเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ทั้งหมด รูปแบบความล้มเหลวทั้งหมดจะพบที่รอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวิจัยของ Viotti และคณะ¹⁰ ค.ศ. 2009, Brunzel และคณะ⁴ ค.ศ. 2009 ที่พบรูปแบบความล้มเหลวหักมากกว่าร้อยละ 80 เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันเช่นเดียวกัน^{4,10} ซึ่งเป็นความล้มเหลวแบบการยึดไม่อยู่ และการวิจัยของ André และคณะ¹³ ค.ศ. 2013 พบว่า รีโกลเอ็กซ์ยูนิเซมและเคลียร์ฟิลเอสเอลูติงให้รูปแบบความล้มเหลวแบบการยึดไม่อยู่มากที่สุด แต่จากการศึกษาของ Guarda และคณะ¹² ค.ศ. 2010 พบว่า ในเนื้อฟันที่แห้งจะให้รูปแบบความล้มเหลวแบบการยึดไม่อยู่มากที่สุด ส่วนในเนื้อฟันที่ชื้นจะให้รูปแบบความล้มเหลวแบบการเชื่อมแน่นล้มเหลว (cohesive failure) มากที่สุด และการศึกษาของ Vinicius และคณะ¹⁹ ค.ศ. 2014 พบว่า รูปแบบความล้มเหลวของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ประมาณร้อยละ 50 – 70 เป็นแบบการเชื่อมแน่นล้มเหลว โดยภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่ผิวหน้าของเนื้อฟัน หลังการแตกหัก พบร่องรอยที่เป็นเส้นที่เกิดจากการขีดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ และพบชั้นสเมียร์ปกคลุมอยู่ทั้งเนื้อฟันที่เคยอยู่ในสภาวะที่แห้ง

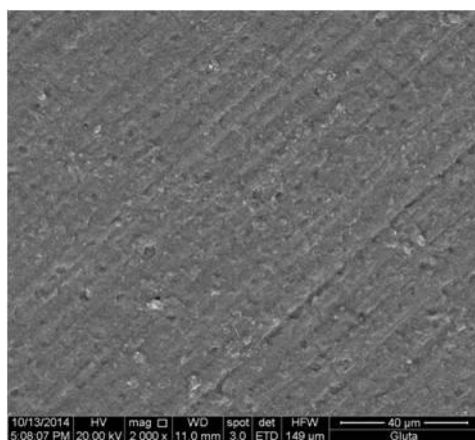
หรือชื้น (รูปที่ 2A - H) แสดงให้เห็นว่า ความเป็นกรดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ไม่สามารถละลายผิวเนื้อฟันได้ ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา^{11,20} เป็นไปได้ว่า การยึดติดของเรซินซีเมนต์ชนิดนี้เกิดในชั้นสเมียร์เท่านั้น^{9,11} ลักษณะการยึดติดที่พบน่าจะเกิดจากชั้นที่ผสมผสานกันของวัสดุอุดแทรก เรซินเมทริกซ์แคลเซียมฟอสเฟตที่ถูกละลายด้วยมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดชั้นสเมียร์ และก้อนสเมียร์ ทำให้เกิดเป็นชั้นที่มีความแข็งแรงน้อย³ อีกทั้งปริมาณของสารอินทรีย์ในชั้นสเมียร์อาจมีส่วนในการยับยั้งการแทรกซึมของมอนอเมอร์ในเนื้อฟัน และอาจเป็นไปได้ว่า กำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์นั้นเกิดจากแรงยึดระหว่างชั้นสเมียร์กับเนื้อฟัน แม้ว่า ในเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์จะมีมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรดอยู่ แต่มอนอเมอร์ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะไปทำการละลาย หรือปรับเปลี่ยนชั้นสเมียร์^{4,7,8,10,11} และไม่สามารถแทรกซึมลงไปเนื้อฟันด้านล่างเพื่อสร้างชั้นไฮบริดได้^{3,4,11} นอกจากนี้ เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีรูปแบบการบ่มตัวแบบร่วม (dual-curing) ดังนั้น เมื่อผสมวัสดุเข้าด้วยกัน ปฏิกริยาการบ่ม - ต่าง และการเชื่อมไขว้ของพอลิเมอร์ก็จะเริ่มดำเนินและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้วัสดุเข้าสู่ภาวะความเป็นกลาง²¹ และมีความหนืดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ²⁰ อาจส่งผลต่อแรงยึดติด ซึ่งถ้ามีขนาดใหญ่กว่าท่อเนื้อฟันก็ไม่สามารถแทรกซึมลงไปเนื้อฟันได้ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ขัดขวางการละลายชั้นสเมียร์ และการแทรกซึมผ่านชั้นสเมียร์ของมอนอเมอร์ เพื่อจะไปทำปฏิกิริยากับผิวเนื้อฟัน²¹ ดังนั้น จึงพบลักษณะความล้มเหลวหลังการแตกหักเป็นแบบยึดไม่ติด



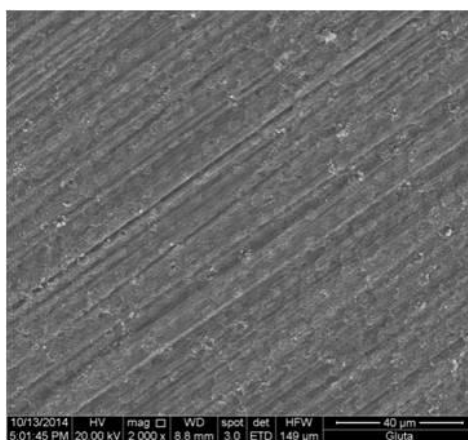
A



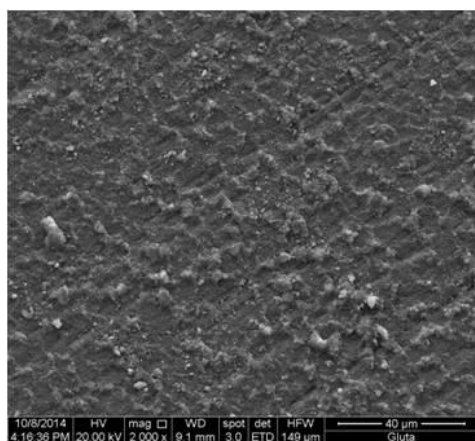
B



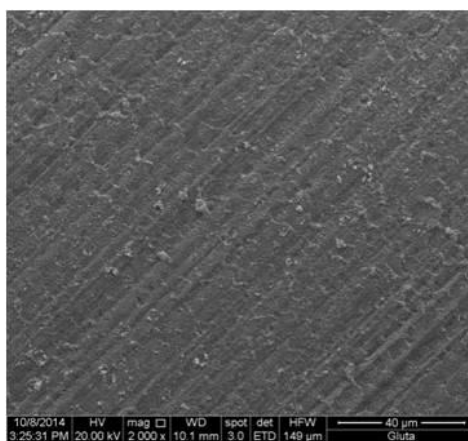
C



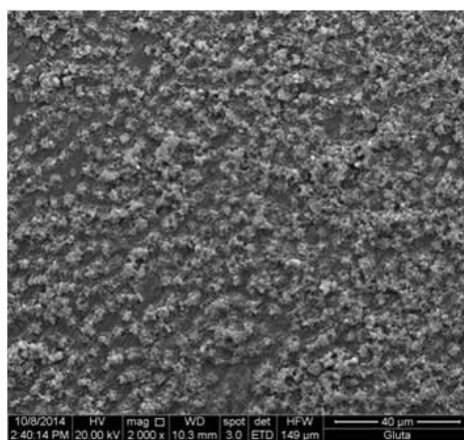
D



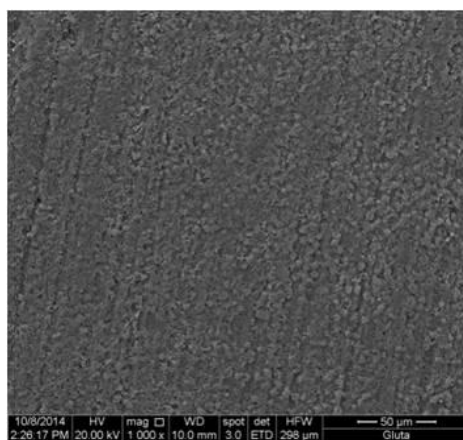
E



F



G



H

รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า แสดงลักษณะความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ

- A. ด้านเนื้อฟันที่แห้งกับรีไลเอ็กซ์ยูร้อย
- B. ด้านเนื้อฟันที่ชื้นกับรีไลเอ็กซ์ยูร้อย
- C. ด้านเนื้อฟันที่แห้งกับรีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย
- D. ด้านเนื้อฟันที่ชื้นกับรีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย
- E. ด้านเนื้อฟันที่แห้งกับแม็กเซมอีลิท
- F. ด้านเนื้อฟันที่ชื้นกับแม็กเซมอีลิท
- G. ด้านเนื้อฟันที่แห้งกับเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง
- H. ด้านเนื้อฟันที่ชื้นกับเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง

Figure 2 Illustrations from scanning electron microscope at 2,000X show failure mode of specimens.

- A. Dry dentin and RelyX U100[®] interface
- B. Moist dentin and RelyX U100[®] interface
- C. Dry dentin and RelyX U200[®] interface
- D. Moist dentin and RelyX U200[®] interface
- E. Dry dentin and Maxcem elite[®] interface
- F. Moist dentin and Maxcem elite[®] interface
- G. Dry dentin and Clearfil SA luting[®] interface
- H. Moist dentin and Clearfil SA luting[®] interface

โดยทั่วไปแล้วเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ อาศัยหลักการเดียวกันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กล่าวคือ กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เกิดการก่อตัวจากการผสมส่วนเหลวที่มีองค์ประกอบหลักคือ พอลิอัลคิลีนอิกแอซิด และน้ำ กับส่วนผงคือ ฟลูออโรอะลูมินอซิลิเกตกลาสส์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นต่าง ดังนั้น เมื่อผสมส่วนผสมทั้งสองเข้าด้วยกันจะเกิดปฏิกิริยากรด - ด่าง โดยหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ที่เป็นหมู่ฟังก์ชันบนสายโซ่ของพอลิอัลคิลีนอิกแอซิดเมื่อละลายตัวในน้ำจะได้คาร์บอกซิเลตแอนไอออน (RCOO⁻) ซึ่งจะเกิดการเชื่อมขวางกับแคลเซียมไอออน และอลูมิเนียมไอออน²²⁻²⁴ นอกจากนี้ คาร์บอกซิเลตแอนไอออน ยังสามารถเกิดพันธะเคมีกับแคลเซียมไอออนที่ผิวเนื้อฟันด้วย โดยขณะเกิดการก่อตัวพอลิอัลคิลีนอิกแอซิดจะถูกสะเทินด้วยความเป็นต่างของอนุภาคฟลูออโรอะลูมินอซิลิเกตกลาสส์ และไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผิวเนื้อฟัน ทำให้กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีความเป็นกรด - ด่างเข้าสู่ภาวะความเป็นกลางในที่สุด จากหลักการของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นี้เอง จึงได้นำมาพัฒนาเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ โดยเรซินซีเมนต์ชนิดนี้ประกอบด้วยสารหลักที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือมอนอเมอร์ที่เป็นอนุพันธ์ของกรดซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดฟอสฟอริก ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สมบัติของความเป็นกรดไปปรับสภาพผิวเนื้อฟัน โดยการละลายชั้นสเมียร์และแทรกซึมผ่านชั้นสเมียร์ไปละลายอินทรีย์สารที่ผิวเนื้อฟันตามลำดับ ขณะเดียวกันความเป็นกรดจะถูกสะเทินด้วยไฮดรอกซี

อะพาไทต์ หรือวัสดุอัดแทรกที่มีสมบัติเป็นต่าง นอกจากนี้ หมู่ฟังก์ชันดังกล่าวยังสามารถเกิดพันธะเคมีกับฟัน โลหะไร้สกุล และเซอร์โคเนียได้อีกด้วย²⁵ แต่เซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ต่างจากกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ตรงที่ เซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ที่วางจำหน่ายส่วนใหญ่ไม่มีน้ำอยู่ในองค์ประกอบ ดังนั้น หมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์จะแสดงความเป็นกรดได้จะต้องอาศัยน้ำ หรือความชื้นจากสิ่งแวดล้อมที่สัมผัสอยู่เพื่อแตกตัว จากคู่มือการใช้เซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ของทุกบริษัทแนะนำการเตรียมสภาพผิวเนื้อฟัน โดยห้ามเป่าด้วยลมจนแห้งเกินไปแต่ให้อยู่ในลักษณะชื้น (slightly dry, damp dry, moist) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ไม่ว่าเนื้อฟันจะอยู่ในสภาวะแห้ง หรือชื้น กำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ผลิตภัณท์เดียวกันให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการศึกษาของ André และคณะ¹³ ค.ศ. 2013 ศึกษาค่ากำลังแรงยึดดึงของเซลฟ์แอตตีฟเรซินซีเมนต์ในเนื้อฟันสภาวะที่แห้ง และชื้น พบว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมให้ค่ากำลังแรงยึดดึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเนื้อฟันที่แห้ง และชื้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ ในขณะที่เคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิงมีค่ากำลังแรงยึดดึงในเนื้อฟันที่ชื้นมากกว่าเนื้อฟันที่แห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งให้ผลแตกต่างกับการศึกษาในครั้งนี้ แต่การศึกษาของ Guarda และคณะ¹² ค.ศ. 2010 กลับพบว่า ค่ากำลังแรงยึดดึงของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมในเนื้อฟัน สภาวะชื้นมีค่า

มากกว่าเนื้อฟันสภาวะแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาค้นคว้าจากเดคาอีกทางหนึ่งได้ว่า โมเลกุลของน้ำบนผิวเนื้อฟันที่ขึ้น สามารถส่งเสริมเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์กับแคลเซียมฟอสเฟตได้ แต่พันธะที่เกิดขึ้นเป็นแรงอ่อน ๆ อีกทั้งชั้นสเมียร์ และก้อนสเมียร์ยังเป็นสิ่งกีดขวางการแทรกซึมของมอนอเมอร์ที่จะเข้าไปสัมผัสกับเนื้อฟัน และท่อเนื้อฟัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกิดการยึดติดในชั้นสเมียร์เท่านั้น^{9,11} จึงส่งผลให้มีความกำลังแรงยึดไม่แตกต่างกันระหว่างเนื้อฟันที่แห้งหรือขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ในการเกิดปฏิกิริยากรด - ต่างต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้น เมื่อผสมเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เสร็จใหม่ ๆ วัสดุจะมีความชอบน้ำทำให้น้ำจากท่อเนื้อฟันสามารถแพร่ผ่านชั้นสเมียร์ที่ปกคลุมบนเนื้อฟันขึ้นมาทำปฏิกิริยากับเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ได้ ดังนั้นจึงทำให้อ่อนพันธะของกรดฟอสฟอริกที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์สามารถแตกตัว และทำหน้าที่ได้แต่การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบนอกกาย (*in vitro*) จึงไม่มีผลข้างเคียงเรื่องการขับของของเหลวในท่อเนื้อฟัน หากเมื่อเกิดกับพันธะธรรมชาติที่มีชีวิตอาจเกิดปัญหาเรื่องการเสียน้ำตามมาได้ เหมือนอย่างกรณีการใช้กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับเนื้อฟันธรรมชาติที่แห้งมากเกินไป²⁶⁻²⁷

เมื่อพิจารณากำลังแรงยึดกับเนื้อฟันในสภาวะที่แห้ง หรือขึ้นในเรซินซีเมนต์ต่างผลิตภัณฑ์กัน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า กำลังแรงยึดกับเนื้อฟันที่แห้ง หรือขึ้น ของรีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย และแม็กเซมอีลิต มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีค่าสูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Viotti และคณะ¹⁰ ค.ศ. 2009, Khuwuttayakorn และ Maneenut²⁸ ค.ศ. 2008 ที่พบว่า กำลังแรงยึดกับเนื้อฟันของรีไลเอ็กซ์ยูร้อย และแม็กเซมอีลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วน André และคณะ¹³ ค.ศ. 2013 ศึกษาว่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ในเนื้อฟันสภาวะที่แห้ง และขึ้น พบว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมให้ค่ากำลังแรงยึดที่สูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในเนื้อฟันสภาวะที่แห้ง และขึ้น ขณะที่ Vinicius และคณะ¹⁹ ค.ศ. 2014 พบว่า ค่ากำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูร้อย และเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าน้อยกว่ากำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูสองร้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน Farrokh และคณะ²⁹ ค.ศ. 2012 รายงานค่ากำลังแรงยึดเดือนของแม็กเซมอีลิตว่ามีค่าเพียง 3.01 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าการศึกษาในครั้งนี้ ที่มีค่า 8.23 เมกะพาสคาล ซึ่งอาจอธิบายได้จากขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบที่ต่างกัน โดย Farrokh ใช้วิธีการฉีดยาเรซินซีเมนต์ลงไปในท่อพลาสติกใสขนาด 3.35 x 2.0

มิลลิเมตร ที่วางอยู่บนผิวเนื้อฟัน แล้วทำการบ่มด้วยแสงก่อนนำไปทดสอบ ซึ่งไม่ได้ใช้แรงกดเพื่อให้เรซินซีเมนต์แนบและแผ่ไปกับผิวเนื้อฟัน อีกทั้งปริมาณเรซินซีเมนต์ที่มีมาก เมื่อเทียบกับการเป็นชั้นบาง ๆ ที่ได้จากการกำหนดความหนาด้วยแผ่นเทป จึงทำให้เกิดความเค้น (stress) สูงระหว่างผิวเนื้อฟัน และเรซินซีเมนต์หลังการบ่มด้วยแสง และผลของการศึกษาในครั้งนี้จึงอาจอธิบายได้ว่า รีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย และแม็กเซมอีลิตประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีค่าความเป็นกรด - ต่างประมาณ 2.0 - 2.4^{19,30} ขณะที่เคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิงมีค่าความเป็นกรด - ต่างประมาณ 3¹⁹ จึงไม่สามารถละลายแร่ธาตุในเนื้อฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับรีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย และแม็กเซมอีลิต ประกอบกับเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง มีสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักที่แตกต่างจากกลุ่มรีไลเอ็กซ์ โดยรีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย มีมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายกลุ่ม (multifunctional monomer) ที่เป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid derivative) จึงมีประสิทธิภาพในการเกิดพันธะเคมีกับเนื้อฟันได้ดีกว่าสารเอ็มดีพี (MDP) ที่เป็นมอนอเมอร์ในเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง¹⁹ เมื่อพิจารณาค่าความสามารถเข้าสู่สภาวะความเป็นกลางของวัสดุ พบว่า ทั้งรีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย และแม็กเซมอีลิต สามารถเข้าสู่สภาวะความเป็นกลางได้ในเวลาที่เหมาะสม^{10,31} จึงอาจส่งผลให้มีความกำลังแรงยึดเดือนที่สูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิง

ด้วยข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้ที่ใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เพียงระบบเดียวในการวิจัย ซึ่งพบว่า เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยังคงให้ค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบเอทซ์แอนดรินส์ ที่มีค่ากำลังแรงยึดถึง 69.6 - 37.9 เมกะพาสคาล^{8,10} ค่ากำลังแรงยึดเดือน 15.3 - 12.2 เมกะพาสคาล⁹ และเรซินซีเมนต์ระบบเซลฟ์โททซ์ที่มีค่ากำลังแรงยึดถึง 49.2 - 16.8 เมกะพาสคาล^{8,10,28} ค่ากำลังแรงยึดเดือน 15.6 - 12.4 เมกะพาสคาล⁹ ดังนั้น ควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคตเพิ่มเติมถึงวิธีการที่จะเพิ่มค่ากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ ให้มีค่ากำลังแรงยึดเทียบเท่ากับเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ

บทสรุป

กำลังแรงยึดเดือนกับเนื้อฟันในสภาวะที่แห้ง หรือขึ้นของผลิตภัณฑ์เดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกำลังแรงยึดเดือนกับเนื้อฟันที่แห้ง หรือขึ้น ของรีไลเอ็กซ์ยูร้อย รีไลเอ็กซ์ยูสองร้อย และแม็กเซมอีลิตมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูงกว่าเคลียร์ฟิลเอสเอลูตทิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1. Cantoro A, Goracci C, Carvalho CA, Coniglio I, Ferrari M. Bonding potential of selfadhesive luting agents used at different temperatures to lute composite onlays. *J Dent* 2009;37:454-61.
2. El-Guindy J, Selim M, El-Agroudi M. Alternative pretreatment modalities with a selfadhesive system to promote dentin/alloy shear bond strength. *J Prosthodont* 2010;19:205-11.
3. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive resin cements:a literature review. *J Adhes Dent* 2008;10:251-8.
4. Brunzel S, Yang B, Wolfart S, Kern M. Tensile Bond Strength of a so-called self-adhesive luting resin cement to dentin. *J Adhes Dent* 2010;12:143-50.
5. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K, Poitevin A, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Two-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays. *J Adhes Dent* 2010;12:151-61.
6. Taschner M, Frankenberger R, Garcia-Godoy F, Rosenbusch S, Petschelt A, Krämer N. IPS Empress inlays luted with a self-adhesive resin cement after 1 year. *Am J Dent* 2009;22:55-9.
7. Abo-Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clin Oral Investig* 2005;9:161-7.
8. Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, et al. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. *Dent Mater* 2007;23:71-80.
9. Holderegger C, Sailer I, Schuhmacher C, Schlapfer R, Hämmerle C, Fischer J. Shear bond strength of resin cements to human dentin. *Dent Mater* 2008;24:944-50.
10. Viotti RG, Kasaz A, Pena CE, Alexandre RS, Arrais CA, Reis AF. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. *J Prosthet Dent* 2009;102:306-12.
11. Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, Ferrari M, Toledano M. Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. *J Dent Res* 2008;87:974-9.
12. Guarda GB, Gonçalves LS, Correr AB, Moraes RR, Sinhoreti MA, Correr-Sobrinho L. Luting glass ceramic restorations using a self-adhesive resin cement under different dentin conditions. *J Appl Oral Sci* 2010;18:244-8.
13. André CB, Aguiar TR, Ayres AP, Ambrosano GM, Giannini M. Bond strength of selfadhesive resin cements to dry and moist dentin. *Braz Oral Res* 2013;27:389-95.
14. International Standards Organization. ISO Standard 11405: 2003. Dental materials-Testing of adhesion to tooth structure. Geneva:ISO-TS. 2003.
15. Salvio LA, Correr-Sobrinho L, Consani S, Sinhoreti MA, de Goes MF, Knowles JC. Effect of water storage and surface treatments on the tensile bond strength of IPS Empress 2 ceramic. *J Prosthodont* 2007;16:192-9.
16. Diaz-Arnold AM, Williams VD, Aquilino SA. The effect of film thickness on the tensile bond strength of a prosthodontic adhesive. *J Prosthet Dent* 1991;66:614-8.
17. Chana HS, Ibbetson RJ, Pearson GJ, Eder A. The influence of cement thickness on the tensile bond strength of two resin cements. *Int J Prosthodont* 1997;10:340-4.
18. Cekic-Nagas I, Canay S, Sahin E. Bonding of resin core materials to lithium disilicate ceramics: the effect of resin cement film thickness. *Int J Prosthodont* 2010;23:469-71.
19. Vinicius DH, Lindia da CA. Effect of dentinal surface preparation on the bonding of selfadhesive luting cements. *J Adhes Sci Technol* 2014;19:1907-24.
20. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 2004;20:963-71.
21. Han L, Okamoto A, Fukushima M, Okiji T. Evaluation of physical properties and surface degradation of self-adhesive resin cements. *Dent Mater J* 2007;26:906-14.
22. Mount GJ. An Atlas of glass-ionomer cements: A clinician's guide. 3rd ed. London: Martin Dunitz; 2002. p. 1-41.
23. Katsuyama S, Ishikawa T, Fujii B. Glass ionomer dental cement: The materials and their clinical use. Tokyo: Ishiyaku EuroAmerica, Inc.; 1993. p. 10-30.
24. Saito S, Tosaki S, Hirota K. Characteristics of glass-ionomer cements; In: Davidson CL:Advances in glass-ionomercements. Chicago: Quintessence Publishing Co.; 1999. p. 15-50.

25. Zhang Z, Wang X, Zhang L, Liang B, Tang T, Fu B, *et al* .The contribution of chemical bonding to the short- and long-term enamel bond strengths. *Dent Mater* 2013;29:e103-12.
26. Wilson AD, McLean JW. Glass-ionomer cement. Chicago: Quintessence Publishing Co.; 1988. p. 229-46.
27. Moore BK, Avery DR. Dental materials; In: McDonald RE, Avery DR, Dean JA. Dentistry for the child and adolescent. 8th ed. St. Louis: Mosby; 2004. p. 333-52.
28. Khuwuttayakorn Y, Maneenut C. Microtensile bond strength of self-adhesive resin cements to enamel or dentin. *CU Dent J* 2008;31:201-12.
29. Farrokh A, Mohsen M, Soheil S, Nazanin B. Shear bond strength of three self-adhesive resin cements to dentin. *Indian J Dent Res* 2012;23:221-5.
30. Saskalauskaite E, Tam LE, McComb D. Flexural strength, elastic modulus, and pH profile of self-etch luting cements. *J Prosthodont* 2008;17:262-8.
31. Vrochari AD, Eliades G, Hellwig E, Wrbas KT. Water sorption and solubility of four selfetching, self-adhesive resin luting agents. *J Adhes Dent* 2010;12:39-43.