ผลของสารเคลือบพื้นผิว 3 ชนิดต่อการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

The Effect of Three Surface Coating Agents on Microleakage of Glass Ionomer Cements

มนต์ชนก จงบุญเจือ[1*], ขวัญชนก อยู่เจริญ[2] และศิริจันทร์ เจียรพุฒิ[3]

Monchanok Jongboonjua[1*], Kwanchanok Youcharoen[2] and Sirichan Chiaraputt[3]

[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท, สาขาทันตกรรมคลินิก (ทันตกรรมบูรณะ), คณะทันตแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[1] Graduate student, Master of Science in Clinical Dentistry (Subspecialty in Restorative Dentistry), Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University.

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็กและทันตกรรมจัดฟัน, คณะทันตแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[2] Assistant Professor, Department of Pedodontics and Orthodontics Dentistry, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University.

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์, คณะทันตแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[3] Assistant Professor Dr., Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University.

[*]**Corresponding author, E-mail:** monchamind@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อนำสารชนิดต่าง ๆ มาใช้เคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ โดยมีการนำฟันกรามน้อยบน 20 ซี่มาเตรียมโพรงฟันบริเวณคอฟัน 40 โพรงฟัน บูรณะด้วยวัสดุ 2 ชนิด คือ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง (High- viscosity glass ionomer cement: Fuji IX GP EXTRA) และเรซินมอดิฟายด์กลาสอโอโนเมอร์ (Resin modified glass ionomer cement: Fuji II LC) ชนิดละ 20 โพรงฟัน ภายหลังการเตรียมชิ้นงาน แบ่งกลุ่มชิ้นงานแต่ละวัสดุตามการทาสารเคลือบพื้นผิว 4 กลุ่ม (n=5) ได้แก่ 1) ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว 2) Single bond Universal 3) Teethmate F-1 sealant และ 4) G-coat plus นำชิ้นงานทั้งหมดผ่านการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปาก หลังจากนั้นนำฟันกรามน้อยที่บูรณะแล้วมาแช่สารซิลเวอร์ไนเตรต และประเมินการรั่วซึม ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ Micro-Computed Tomography Scan ผลข้อมูลนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติ Kruskal-wallis test จากผลการทดลอง สามารถ

สรุปได้ว่า การทาสารเคลือบพื้นผิวหลังบูรณะด้วย Fuji IX GP EXTRA ส่งผลให้วัสดุมีการรั่วซึมน้อยกว่าวัสดุที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยในกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน Teethmate F-1 sealant และ สารเคลือบพื้นผิว G-coat plus ทำให้วัสดุมีค่าการรั่วซึมที่ลดลง อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการทดสอบการรั่วซึมของวัสดุ Fuji II LC พบว่า กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ และกลุ่มที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว พบการรั่วซึมที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์, สารเคลือบพื้นผิว, การรั่วซึมของวัสดุ

Abstract

The objective of this study was to compare the effects of different surface coating agents on microleakage of high-viscosity and resin-modified glass ionomer cements. Twenty upper premolar teeth were prepared for 40 class V cavities. Two types of glass ionomer cements: Fuji IX GP EXTRA (n=20) and Fuji II LC (n=20) were used to restore the cavities. Surface coating agents were used to allocate the blocks into four groups (n=5): (1) non-coated; (2) coated with Single Bond Universal; (3) coated with Teethmate F-1 sealant; and (4) coated with G-coat plus. Then, they were subjected to a simulated oral environment. The microleakage was measured with Micro-Computed Tomography Scan and the data were analyzed with Kruskal-Wallis test. In conclusion, the application of surface coating agents on Fuji IX GP EXTRA statistically reduced microleakage compared to non-coated group ($P<0.05$) and when Teethmate F-1 sealant and G-coat plus were applied, the microleakage was statistically lower than the other groups. The microleakage tests on Fuji II LC revealed no differences in leakage between three types of surface coating agents and non-coated groups.

Keywords: Glass ionomer cement, Surface coating agent, Microleakage

บทนำ

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cement) เป็นวัสดุที่มีสีเหมือนฟันธรรมชาติที่ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1970 (Diem, Tyas, Ngo, Phuong, & Khanh, 2014; Ronald S., 2019) ซึ่งได้รับความนิยมมาเป็นเวลานาน จากคุณสมบัติหลายประการ วัสดุสามารถยึดติดกับเนื้อฟันได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารยึดติดร่วมด้วย สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ จึงมีการนำมาใช้งานเป็นวัสดุบูรณะในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง ใช้เป็นวัสดุรองพื้น และใช้ในงานทันตกรรมสำหรับเด็ก เนื่องจาก

เป็นวัสดุที่ใช้งานง่าย ขั้นตอนการใช้งานไม่ซับซ้อน เมื่อเทียบกับวัสดุ สีเหมือนฟันเรซิน คอมโพสิต (Ronald S., 2019; Sidhu & Nicholson, 2016)

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (Conventional glass ionomer cement) มีข้อจำกัดคือ มีความไวต่อการได้รับน้ำและการสูญเสียน้ำ ในช่วงเริ่มต้นที่วัสดุยังก่อตัวได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับการก่อตัวของ เมทริกซ์โพลีซอลต์ที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble polysalt matrix) โดยเมทริกซ์จะเปลี่ยนรูปเป็น แคลเซียมโพลีอะคริเลตที่ละลายน้ำ (Soluble calcium polyacrylate) และมีความเสถียรมากขึ้น เกิดเป็น อะลูมิเนียมโพลีอะคริเลต (Aluminum polyacrylate) ซึ่งต้องใช้เวลาในการ ก่อตัว 24 ชั่วโมงหลังจากผสมวัสดุ (Wang, Yap, & Ngo, 2006) ดังนั้น หากวัสดุได้รับน้ำหลังการบูรณะ โดยยังก่อตัวไม่สมบูรณ์ จะส่งผลต่อสมดุลของน้ำและรบกวนการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัว ทำให้วัสดุเกิดการสึกกร่อนและมีการดูดซึมน้ำ ส่งผลให้คุณสมบัติของวัสดุแย่ลง ทั้งในด้านความโปร่งแสง ความแข็งแรงและประสิทธิภาพทางคลินิก จึงมีคำแนะนำให้ทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ(Surface coating agents) เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในช่วง 24 ชั่วโมงแรกที่วัสดุยังก่อตัวได้ไม่เต็มที่ (Karaoglanoglu, AKGÜL, ÖZDABAK, & AKGÜL, 2009)

หลังจากนั้นจึงมีการพัฒนากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ขึ้น เพื่อลดปัญหาความไวต่อน้ำและความแข็งแรงของวัสดุในช่วงแรกของการก่อตัว แต่ยังคงคุณสมบัติด้านการยึดติดกับเนื้อฟันได้ดี และการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไว้ได้ เกิดเป็นวัสดุชนิดใหม่คือ เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ วัสดุชนิดนี้จะมีการก่อตัวจากสองปฏิกิริยาคือ ปฏิกิริยากรดเบส และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สามารถก่อตัวได้เร็วขึ้น สามารถขัดแต่งได้ทันทีหลังจากการบูรณะ (Karaoglanoglu et al., 2009) จึงมีการปรับลดขั้นตอนในการใช้งาน คือ ไม่มีการใช้สารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาคุณภาพของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างผงกับของเหลว (Almuhaiza, 2016) ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น (Khoroushi & Keshani, 2013) เช่น มีความหนืดสูงขึ้น ระยะเวลาการแข็งตัวรวดเร็วขึ้น (Almuhaiza, 2016; Park & Kang, 2020) การไวต่อความชื้นในช่วงเพียง 4-7 นาทีแรกหลังผสม โดยวัสดุกลุ่มนี้มีปฏิกิริยาการแข็งตัวเป็นแบบกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม คือเกิดจากปฏิกิริยากรด-เบส (acid-base reaction) เพียงอย่างเดียว โดยมีการเรียกวัสดุชนิดนี้ว่า กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูง (High-viscosity glass ionomer cement) ตัวอย่างวัสดุในกลุ่มนี้ ได้แก่ Fuji IX GP EXTRA, Ketac Molar, Ketac Fil Plus Aplicap เป็นต้น

มีหลายการศึกษาก่อนหน้านี้ (Feilzer, Kakaboura, de Gee, & Davidson, 1995; Meral & Baseren, 2019; Ninawe et al., 2014; Soliman & Othman, 2017) เปรียบเทียบผลของการทาสารเคลือบพื้นผิว ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงทางกลของวัสดุ และการรั่วซึมของวัสดุ และคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่าง ๆ กัน สารที่นำมาใช้ ได้แก่ สารยึดติด (Dental adhesives) น้ำมันขี้ผึ้ง (Petroleum jelly) สารเคลือบพื้นผิวชนิดนาโนฟิลด์

(Nano-filled coating) แต่ทั้งนี้ในชีวิตประจำวัน ยังคงมีสารอื่น ๆ ที่สามารถหาใช้งานได้ง่าย และมีอยู่แล้วในคลินิกทันตกรรม เช่น สารเคลือบหลุมร่องฟัน (Resin sealant) ซึ่งอาจนำมาใช้ในการทาเคลือบพื้นผิวกลาสไอโอโนเมอร์หลังการบูรณะได้ แต่ยังไม่มีการศึกษาใดที่นำสารเคลือบหลุมร่องฟันมาใช้เป็นสารเคลือบพื้นผิว

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบผลของการนำสารชนิดต่างๆมาใช้เคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ ได้แก่ สารยึดติด สารเคลือบพื้นผิวชนิดนาโนฟิลด์ และสารเคลือบหลุมร่องฟัน ว่าสารใดส่งผลทำให้ วัสดุมีความแนบสนิทที่ดี เกิดการรั่วซึมของวัสดุน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่างๆ บริเวณคอฟันในฟันธรรมชาติของมนุษย์ โดยส่องดูช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโพรงฟันและประเมินการรั่วซึมของวัสดุจากการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรต ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร หลังผ่านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิร้อน-เย็น

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เป็นวัสดุบูรณะที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง เนื่องจากมีข้อดีคือ สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ นอกจากนี้ ยังเหมาะสมกับการใช้งานในผู้ป่วยเด็กและในผู้ป่วยสูงอายุอีกด้วย โดยเฉพาะรอยผุบริเวณคอฟัน แต่เนื่องจากวัสดุอาจมีข้อจำกัดด้านความไวต่อน้ำในช่วงแรกของการก่อตัว ความแข็งแรง และการรั่วซึมของวัสดุ หากสามารถแก้ไข ปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุได้ ทำให้สามารถก่อตัวได้สมบูรณ์เต็มที่ มีความแข็งแรง และมีความแนบสนิทมากขึ้น เกิดการรั่วซึมลดลง จะช่วยลดปัญหาในการเกิดฟันผุซ้ำ หรือติดสีตามขอบของวัสดุได้ จะทำให้ผู้ป่วยสามารถลดเวลาในการรักษาและลดค่าใช้จ่าย ที่เกิดจากการรื้อวัสดุเพื่อทำการบูรณะซ้ำ อีกทั้งยังเป็นข้อมูลให้แก่ทันตแพทย์ผู้ทำการรักษา ว่าสารเคลือบพื้นผิวชนิดใด เหมาะสมในการใช้เคลือบพื้นผิวของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์หลังการบูรณะอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

1) ใช้ฟันซี่กรามน้อยแท้ที่หนึ่งของมนุษย์สภาพสมบูรณ์ที่ไม่มีรอยผุ รอยสึกและ ไม่มีการบูรณะใด ๆ ซึ่งได้รับการถอนทิ้งและเก็บไว้ในคลินิกทันตกรรมหรือโรงพยาบาลก่อนเริ่มทำการวิจัย จึงไม่สามารถระบุตัวตนของผู้ป่วยได้

2) นำฟันกรามน้อยมาทำการกรอเตรียมโพรงฟัน บริเวณคอฟันด้านแก้มและด้านลิ้น ด้วยหัวกรอกากเพชรรูปทรงกระบอกความเร็วสูง เปลี่ยนหัวกรอทุกครั้งเมื่อใช้ในการกรอไปแล้ว 5 โพรงฟัน กรอให้โพรงฟันมีขนาดลึก 2 มิลลิเมตร กว้าง 4 มิลลิเมตร (mesiodistal width) และสูง 3 มิลลิเมตร (Occlusogingival height) โดยให้ขอบเขตด้านบดเคี้ยว อยู่ในชั้นเคลือบฟัน และขอบเขตด้านคอฟัน อยู่ในชั้นเนื้อฟัน ขอบเขตทั้งหมดทำมุม 90 องศา (Cavosurface angle) และไม่มีการกรอ Bevel (Ebaya & Mahmoud, 2019)

3) จากซี่ฟันทั้งหมด 20 ซี่ นำมาเตรียมโพรงฟันทั้งในคอฟันด้านแก้ม และคอฟันด้านลิ้น จะได้โพรงฟันทั้งหมด 40 โพรงฟัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่างใหญ่ ๆ โดยใช้การสุ่มให้มีโพรงฟันในด้านแก้มและ ด้านลิ้น กลุ่มละเท่า ๆ กัน ตามชนิดของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จะได้กลุ่มละ 20 โพรงฟัน ดังนี้

3.1) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด Fuji IX GP EXTRA แบบบรรจุแคปซูล

ทาเดนทีนคอนดิชันเนอร์ (GC Cavity Conditioner: 20% Polyacrylic Acid) 10 วินาที ล้างออกและเป่าลม นำแคปซูลของ Fuji IX GP EXTRA ไปปั่น และฉีดเข้าสู่โพรงฟันจนเต็ม แต่งรูปร่างโดยใช้ Cervical matrix และกำจัดส่วนเกินออกด้วย hand instrument

3.2) เรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิด Fuji II LC แบบบรรจุแคปซูล

ทาเดนทีนคอนดิชันเนอร์ (GC Cavity Conditioner: 20% Polyacrylic Acid) 10 วินาที ล้างออกและเป่าลม นำแคปซูลของ Fuji II LC ไปปั่น และฉีดเข้าสู่โพรงฟันจนเต็ม แต่งรูปร่างโดยใช้ Cervical matrix และกำจัดส่วนเกินออกด้วย hand instrument ฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที

4) เมื่อวัสดุทุกกลุ่มก่อตัวเต็มที่แล้ว (กลุ่ม Fuji IX GP EXTRA ระยะเวลาก่อตัว: 2.30 นาที และกลุ่ม Fuji II LC ระยะเวลาทำงาน: 3.15 นาที ก่อตัวสมบูรณ์ เมื่อฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที) จึงนำมาทาด้วยสารเคลือบพื้นผิว โดยสามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม จากวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์แต่ละชนิดออกเป็นกลุ่มย่อย 4 กลุ่มตามการทาสารเคลือบพื้นผิว 3 ชนิด ได้กลุ่มละ 5 โพรงฟัน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว

กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดติด Single bond Universal

กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน Teethmate F-1 sealant

กลุ่มที่ 4 กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบพื้นผิว G-Coat plus

ขั้นตอนการจำลองสภาวะในช่องปาก

1) การจำลองการเปลี่ยนแปลงของกรดเบส (pH-Cycling): นำฟันกรามน้อยที่บูรณะคอฟันด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ แช่ลงในสารละลาย Demineralizing solution เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามด้วยการแช่ในสารละลาย Remineralizing solution เป็นเวลา 21 ชั่วโมง โดยในวันสุดสัปดาห์ ชิ้นงานจะถูกแช่ในสารละลาย Remineralizing solution เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนครบ 4 สัปดาห์ (Mukai, Lagerweij, & Ten Cate, 2001)

2) การจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็น (Thermocycling): นำชิ้นงานเข้าในเครื่อง Thermocycling (KMITL, *TC301*, HWB332, Thailand) ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส สลับกับ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 5,000 รอบ

ขั้นตอนการทดสอบและการประเมินการรั่วซึมของวัสดุ

1) นำชิ้นงานทั้งหมดทาด้วยน้ำยาเคลือบเล็บ โดยเว้นจากขอบของวัสดุโดยรอบ 1 มิลลิเมตร และ แช่ลงในสารละลาย 50% Silver nitrate: $AgNO_3$ ในห้องมืด เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อนำออกจากสารละลาย นำชิ้นงานไปล้างน้ำ และนำไปแช่ในสารละลาย โฟโต้เดดวลอป (Photo-developing solution) ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนท์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (Vohra et al., 2020)

2) นำชิ้นงานไปส่องดูการรั่วซึม ภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (BRUKER SKYSCAN 1173) นำภาพที่ได้เข้าสู่โปรแกรม เพื่อตัดภาพออกตามแนว 3 มิติ เพื่อดูระดับการแพร่ซึมผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตเข้าสู่โพรงฟัน และนำภาพที่ได้วิเคราะห์ด้วยซอฟแวร์ Bruker CTAn (CT-Analyzer) ดูปริมาณการสะสมของซิลเวอร์ไนเตรต ที่สามารถแพร่ผ่านรอยต่อของโพรงฟันกับวัสดุ โดยปรับเลือกค่า threshold ของภาพให้อยู่ในค่าระหว่าง 90-255 จะทำให้พบสารซิลเวอร์ไนเตรตในภาพได้ชัดเจน และซอฟแวร์จะทำการคำนวณปริมาตรของสารซิลเวอร์ไนเตรตออกมาเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร จึงนำปริมาตรที่ได้ ไปวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ค่าการรั่วซึม กรณีประชากรมีการแจกแจงและความแปรปรวนไม่ปกติจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ Kruskal-Wallis และการเปรียบเทียบแบบจับคู่ (Pairwise comparison) ประกอบกับภาพระดับการรั่วซึมของสารซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร

ผลการวิจัย

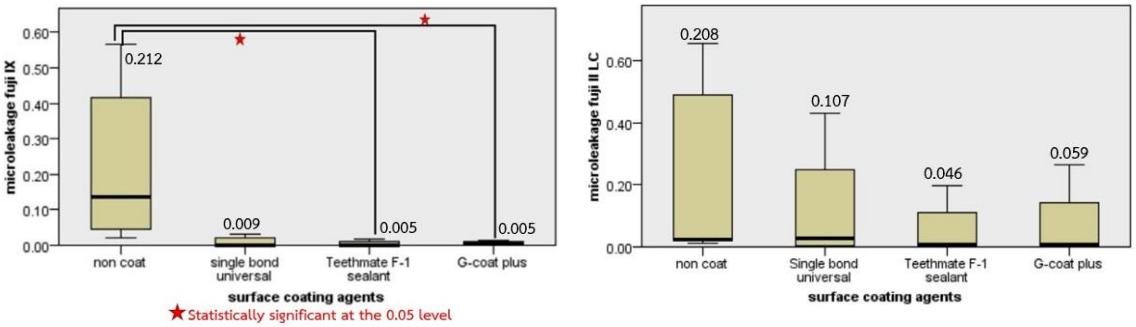
1) ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุชนิด Fuji IX GP EXTRA

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ Kruskal-Wallis พบว่า ค่าเฉลี่ยการรั่วซึมของวัสดุ Fuji IX GP EXTRA เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่าง ๆ มีอย่างน้อย 1 ชนิดที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และภายหลังการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยสถิติการเปรียบเทียบแบบจับคู่ (Pairwise comparison) พบว่า เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน Teethmate F-1 sealant และสารเคลือบพื้นผิว G-Coat plus ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ทำให้วัสดุมีค่าการรั่วซึมต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่การทาสารเคลือบ

พื้นผิวด้วยสารยึดติด Single bond Universal ให้ค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมที่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

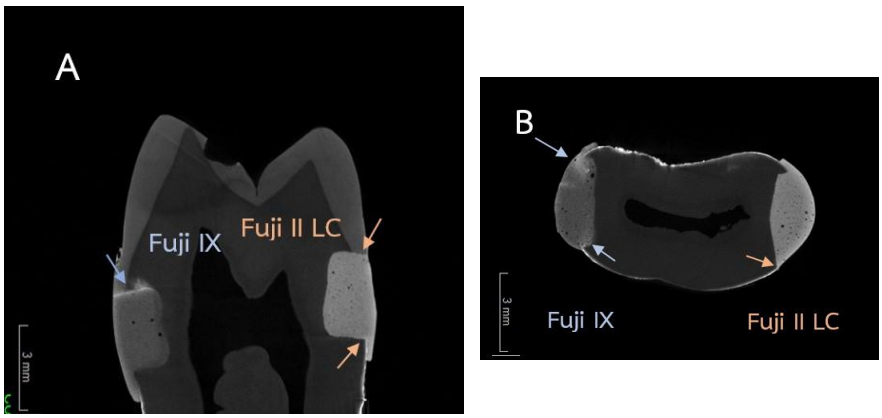
2) ผลการทดสอบการรั่วซึมระดับจุลภาคของวัสดุชนิด Fuji II LC

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ Kruskal-Wallis พบว่า ค่าเฉลี่ยการรั่วซึมของวัสดุเรซิน มอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 1 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูงยี่ห้อ Fuji IX GP EXTRA (ภาพด้านซ้าย) และเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยี่ห้อ Fuji II LC (ภาพด้านขวา) เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้งสามชนิด โดยค่าเฉลี่ยการรั่วซึมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

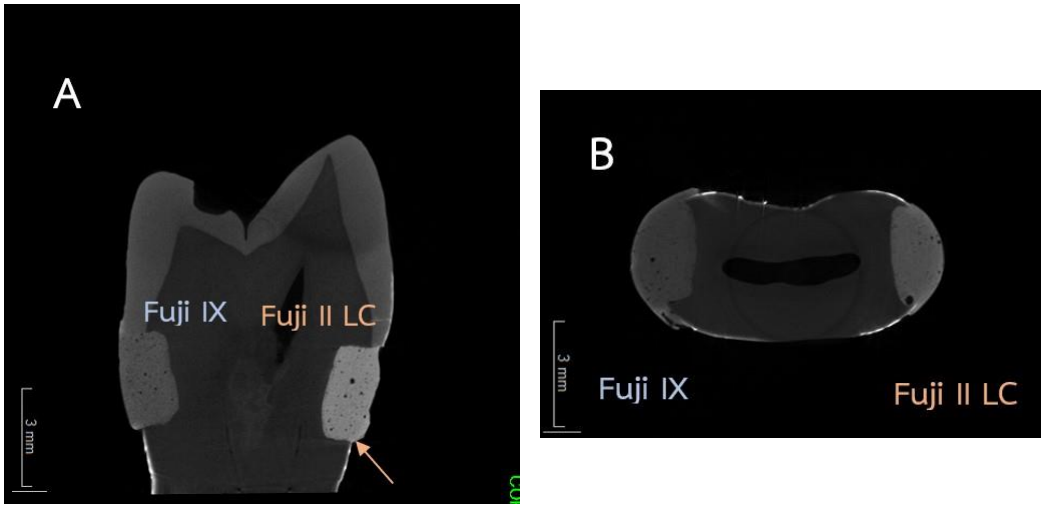
ภาพการวิเคราะห์การรั่วซึมด้วยการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro-Computed Tomography)



ภาพประกอบ 2 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะ บริเวณที่ลูกศรชี้คือบริเวณที่มีการสะสมของซิลเวอร์ไนเดรต (A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตาม

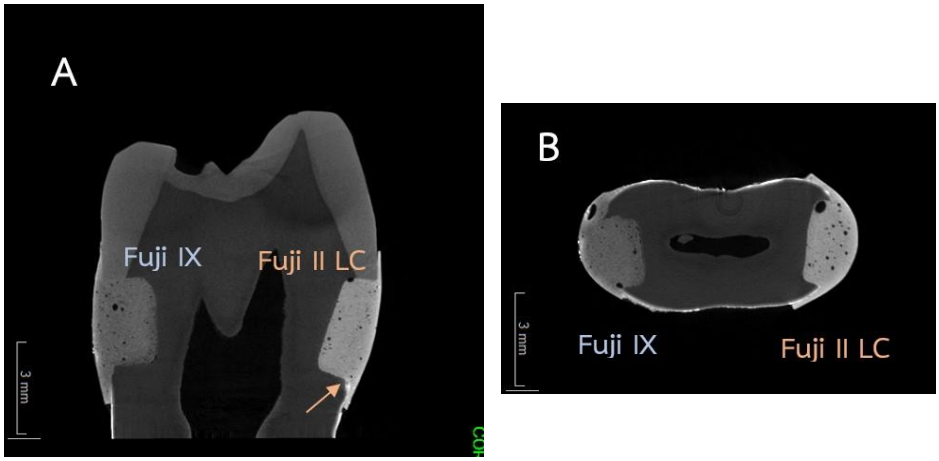
ระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane) (B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)

ในกลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้น วัสดุ Fuji IX GP EXTRA พบสารซิลเวอร์ไนเตรต สามารถแพร่ผ่านจากรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟัน(enamel) เข้าไปในชั้นเนื้อฟัน(dentine)และผ่านเข้าไปถึงผิวด้านในของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์อีกด้วย ส่วนในกลุ่ม Fuji II LC พบสารซิลเวอร์ไนเตรต สามารถแพร่ผ่านจากรอยต่อของวัสดุกับโพรงฟัน เข้าไปในชั้นเคลือบฟัน ไปจนถึงรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (Dentinoenamel junction) โดยพบการรั่วซึมทางขอบด้านบดเคี้ยว (Occlusal margin) มากกว่าขอบด้านเหงือก (Gingival margin) (ภาพประกอบ 2)



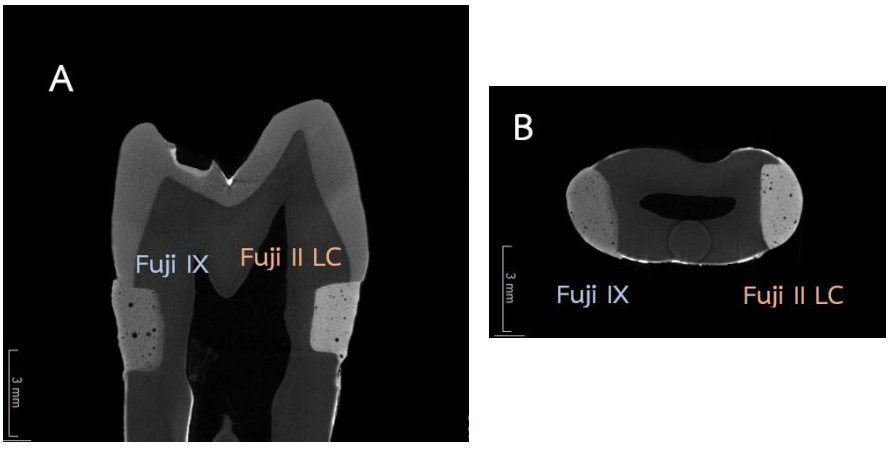
ภาพประกอบ 3 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะด้วยสารยึดติดSingle bond universal บริเวณที่ลูกศรชี้คือบริเวณที่มีการสะสมของซิลเวอร์ไนเดรต (A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane) (B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)

กลุ่มที่พบสารซิลเวอร์ไนเตรต สามารถแพร่ผ่านช่องว่างระหว่างโพรงฟันและวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ รองลงมาจากกลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว คือ กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วย สารยึดติด Single bond universal ในกลุ่ม Fuji II LC พบการแพร่ผ่านบริเวณรอยต่อขอบด้านเหงือกของโพรงฟันและวัสดุ แต่ไม่พบการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตในกลุ่มวัสดุ Fuji IX GP EXTRA ที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดติด Single bond universal (ภาพประกอบ 3)



ภาพประกอบ 4 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน Teethmate F-1 sealant บริเวณที่ลูกศรชี้คือบริเวณที่มีการสะสมของซิลเวอร์ไนเตรต (A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane) (B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)

จากภาพประกอบ 4 กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน Teethmate F-1 sealant พบการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ ไนเตรตเพียงเล็กน้อยในกลุ่ม Fuji II LC ที่บริเวณรอยต่อขอบด้านเหงือกของโพรงฟันและวัสดุ แต่ไม่พบการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรตในกลุ่มวัสดุ Fuji IX GP EXTRA ที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน Teethmate F-1 sealant



ภาพประกอบ 5 แสดงการรั่วซึมของซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เมื่อบูรณะคอฟันด้วยวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และทาสารเคลือบพื้นผิวหลังการบูรณะด้วยสาร G-coat plus (A) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane) (B) ภาพชิ้นงานตัดขวางตามระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane)

กลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารเคลือบพื้นผิวด้วยสาร G-coat plus ไม่พบการแพร่ผ่านของสารซิลเวอร์ไนเตรต (ภาพประกอบ 5) ทั้งในกลุ่มวัสดุ Fuji IX GP EXTRA และกลุ่ม Fuji II LC

สรุปและอภิปรายผล

การถ่ายภาพด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร เป็นวิธีที่เราสามารถวิเคราะห์ภาพได้เป็น 3 มิติ สามารถเปรียบเทียบความแนบสนิทด้านในระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุได้ (El Ashiry et al., 2019; Zhao, Li, Gu, & Li, 2014) มีข้อดีคือ ให้ภาพที่มีคุณภาพสูง แม้ชิ้นงานจะมีขนาดเล็ก หรือมีรูปร่างที่ซับซ้อน โดยไม่ต้องผ่านการเตรียมชิ้นงานที่อาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย (Charoenkit & Pumpaluk, 2020) มีการใช้โปรแกรมซอฟแวร์ตัดภาพแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ได้ (Rizzante et al., 2020) ในการศึกษานี้ มีการนำเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Bruker SkyScan 1173) มาใช้เพื่อส่องดูการแพร่ผ่านของสาร 50% ซิลเวอร์ไนเตรต ที่เกิดขึ้นบริเวณช่องว่างระหว่างวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโพรงฟัน เพื่อเปรียบเทียบการรั่วซึมของวัสดุ เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่าง ๆ พบว่า ในกลุ่มวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูงที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว มีการแพร่ผ่านของสารเข้าไปยังรอยต่อระหว่างวัสดุและโพรงฟันได้มากกว่ากลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทาสถิติ และกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด พบว่า สารซิลเวอร์ไนเตรต ไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าไปผ่านรอยต่อระหว่างวัสดุบูรณะและโพรงฟันได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ที่พบว่า วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูงที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว จะมีการรั่วซึมมากกว่ากลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (Bayrak, Sen Tunc, Tuloglu, & Ceylan, 2011; Ebaya & Mahmoud, 2019; Feilzer et al., 1995; Karaoglanoglu et al., 2009; Ninawe et al., 2014) และเมื่อนำค่าการรั่วซึมของวัสดุ มาวิเคราะห์ด้วยสถิติ พบว่า ค่าการรั่วซึมของวัสดุที่ทาด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน Teethmate F-1 sealant และสารเคลือบพื้นผิว G-coat plus ต่ำกว่าวัสดุที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กลุ่มที่ทาด้วยสารยึดติด Single bond universal ให้ค่าการรั่วซึมที่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว ซึ่งสารยึดติด Single bond universal มีส่วนประกอบของโมโนเมอร์ที่มีความชอบน้ำ หรือ HEMA จึงมีคุณสมบัติดูดดน้ำเข้าสู่วัสดุได้ (Klaisiri, Krajangta, & Yang, 2018; Silva et al., 2009) จึงไม่สามารถช่วยลดการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้

ผลการศึกษาการรั่วซึมของของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอซีเมนต์เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ภายใต้เครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร พบว่า วัสดุกลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว มีการแพร่ผ่านของสารเข้าไปยังรอยต่อระหว่างวัสดุและโพรงฟันได้มากกว่ากลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด อย่างชัดเจน โดยมีการแพร่เข้าไปในชั้นเคลือบฟัน ไปจนถึงรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟันกับเนื้อฟัน (Dentinoenamel junction) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าวัสดุที่ไม่ทาสารเคลือบพื้นผิว มีการรั่วซึมไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ทาสารเคลือบพื้นผิวชนิดต่าง ๆ อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการรั่วซึมของเรซินมอฟายด์กลาสไอโอโนเมอซีเมนต์ที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว พบการรั่วซึมที่น้อยกว่ากลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดความหนืดสูงที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิว เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (Diem et al., 2014; Rekha & Balagopal Varma, 2012; Singla, Pandit, Srivastava, Gugnani, & Gupta, 2012) เนื่องจากเมื่อวัสดุได้รับการฉายแสงแล้วเกิดการก่อตัวในช่วงแรก แต่เมื่อน้ำซึมเข้าสู่วัสดุ จะทำให้มีการละลายของไอออน และเกิดปฏิกิริยากรด-เบสไม่สมบูรณ์ตามมา เกิดการรั่วซึมที่มากขึ้นตามมาได้ (Jevnikar, Serša, Sepe, Jarh, & Funduk, 2000)

ตำแหน่งที่มักพบการรั่วซึมจากหลายการศึกษา (Ebaya & Mahmoud, 2019; Glasspoole, Erickson, & Davidson, 2002; Zhao et al., 2014) ให้ผลในทางตรงกันข้าม คือ ผลการรั่วซึมของวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มักพบที่ขอบด้านเหงือกมากกว่าขอบด้านบดเคี้ยว แต่ในการศึกษานี้ พบการรั่วซึมที่ขอบด้านบดเคี้ยว(Occlusal margin)มากกว่าขอบด้านเหงือก (Gingival margin) อาจเกิดจากวัสดุเรซินมอดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เมื่อเริ่มเกิดการก่อตัวจากการฉายแสง วัสดุจะเริ่มมีความเครียดมากขึ้นและเกิดการหดตัวจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ขอบทางด้านเหงือกเป็นบริเวณที่ประกอบด้วยเนื้อฟันและผิวเคลือบฟัน ซึ่งมีของเหลวไหลออกจากท่อเนื้อฟันได้ เมื่อวัสดุดูดซึมของเหลวจะทำให้วัสดุเกิดการขยายตัว และลดความเครียดของวัสดุลงได้ ช่วยชดเชยช่องว่างที่เกิดจากการหดตัว (Feilzer et al., 1995) จึงทำให้เกิดการรั่วซึมที่น้อยลงที่ขอบด้านเหงือก

เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวบนวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ด้วยสารเคลือบหลุมร่องฟัน Teethmate F-1 sealant และการทาสารเคลือบพื้นผิวด้วยสารยึดติด Single bond universal ยังคงพบการรั่วซึมของสารซิลเวอร์ไนเตรตที่บริเวณรอยต่อขอบด้านเหงือกของโพรงฟันและวัสดุได้ เมื่อนำค่าการรั่วซึมของวัสดุ เมื่อทาด้วยสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เมื่อทาสารเคลือบพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด ให้ค่าการรั่วซึมของวัสดุที่ไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ และค่าการรั่วซึมไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ได้ทาสารเคลือบพื้นผิวอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา (Jevnikar et al., 2000) ซึ่งทำการทดลองเพื่อดูการดูดซึมน้ำของวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์หลังทาสารเคลือบพื้นผิว เมื่อเวลาผ่านไป พบว่า การทาสารเคลือบพื้นผิวบนวัสดุ จะช่วยป้องกันการสัมผัสน้ำจากภายนอกได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไป สามารถพบของเหลวไหลออกมาจากเนื้อฟันเข้าสู่วัสดุ เนื่องจากวัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ มีสารHEMAเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ และทำให้วัสดุสามารถเกิดการดูดซึมน้ำจากเนื้อฟัน เกิดการรั่วซึมของน้ำเข้ามาในเนื้อวัสดุได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ควรทาสารเคลือบพื้นผิวในช่วงแรกของการก่อตัว แม้วัสดุเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จะมีการก่อตัวทันทีเมื่อได้รับการฉายแสงแต่หากสัมผัสความชื้นในช่วงแรก อาจเกิดการรบกวนปฏิกิริยากรด-เบสที่เกิดขึ้น ซึ่งใช้เวลาหลายชั่วโมงจึงก่อตัวสมบูรณ์ ทำให้วัสดุเกิดรูพรุนและมีคุณสมบัติที่แย่ลงได้

เอกสารอ้างอิง

Almuhaiza, Mohammed. (2016). Glass-ionomer cements in restorative dentistry: a critical appraisal. *J Contemp Dent Pract,* 17(4), 331-336.

Bayrak, S, Sen Tunc, E, Tuloglu, N, & Ceylan, G. (2011). Effects of self-etch adhesives used as surface coating agents on microleakage of conventional and resin modified glass ionomer cements. *Materials Research Innovations,* 15(1), 53-57.

Charoenkit, Muthita, & Pumpaluk, Piyapanna. (2020). A micro-computed tomography study of internal gap with and without resinmodified glass-ionomer cement liner under occlusal resin composite restoration. *Mahidol Dental Journal,* 40(2), 159-164.

Diem, Vu Thi Kieu, Tyas, Martin J, Ngo, Hien C, Phuong, Lam Hoai, & Khanh, Ngo Dong. (2014). The effect of a nano-filled resin coating on the 3-year clinical performance of a conventional high-viscosity glass-ionomer cement. *Clinical Oral Investigations,* 18(3), 753-759.

Ebaya, Maha M, & Mahmoud, Ashraf I Ali1 Salah H. (2019). Evaluation of Marginal Adaptation and Microleakage of Three Glass Ionomer-Based Class V Restorations: In Vitro Study. *European Journal of Dentistry,* 13(4), 599-606.

El Ashiry, Eman A, Alamoudi, Najlaa M, Farsi, Najat M, Al Tuwirqi, Amani A, Attar, Moaz H, Alag, Hanan K, . . . Al Ashiry, Mohamed K. (2019). The Use of Micro-Computed Tomography for Evaluation of Internal Adaptation of Dental Restorative Materials in Primary Molars: An In-Vitro Study. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences,* 8(1).

Feilzer, Albert J, Kakaboura, Afrodite I, de Gee, Anton J, & Davidson, Carel L. (1995). The influence of water sorption on the development of setting shrinkage stress in traditional and resin-modified glass ionomer cements. *Dental Materials,* 11(3), 186-190.

Glasspoole, Eileen A, Erickson, Robert L, & Davidson, Carel L. (2002). Effect of surface treatments on the bond strength of glass ionomers to enamel. *Dental Materials,* 18(6), 454-462.

Jevnikar, P, Serša, I, Sepe, A, Jarh, O, & Funduk, N. (2000). Effect of surface coating on water migration into resin-modified glass ionomer cements: A magnetic resonance micro-imaging study. *Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine,* 44(5), 686-691.

Karaoglanoglu, Serpil, AKGÜL, Nilgün, ÖZDABAK, Hatice Nur, & AKGÜL, Hayati Murat. (2009). Effectiveness of surface protection for glass-ionomer, resin-modified glass-ionomer and polyacid-modified composite resins. *Dental materials journal,* 28(1), 96-101.

Khoroushi, Maryam, & Keshani, Fateme. (2013). A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dental research journal,* 10(4), 411.

Klaisiri, Awiruth, Krajangta, Nantawan, & Yang, Lili. (2018). Effect of different surface protection materials on microhardness of a resin-modified glass-ionomer cement. *Songklanakarin Dent. J., Vol.*6 *No.*2 12-19.

Meral, E, & Baseren, NM. (2019). Shear bond strength and microleakage of novel glass-ionomer cements: An In vitro Study. *Nigerian journal of clinical practice,* 22(4), 566.

Mukai, Y, Lagerweij, MD, & Ten Cate, JM. (2001). Effect of a solution with high fluoride concentration on remineralization of shallow and deep root surface caries in vitro. *Caries research,* 35(5), 317-324.

Ninawe, Nupur, Nayak, Ullal Anand, Nagar, Priya, Khandelwal, Vishal, Jain, Suyash, & Gupta, Ambika Shrivastava. (2014). A comparative evaluation of microleakage of glass ionomer restoration with different surface protectors-an in-vitro study. *Dental Journal of Advance Studies,* 2(02), 105-108.

Park, Eun Young, & Kang, Sohee. (2020). Current aspects and prospects of glass ionomer cements for clinical dentistry. *Yeungnam University Journal of Medicine,* 37(3), 169.

Rekha, C Vishnu, & Balagopal Varma, Jayanthi. (2012). Comparative evaluation of tensile bond strength and microleakage of conventional glass ionomer cement, resin modified glass ionomer cement and compomer: An in vitro study. *Contemporary clinical dentistry,* 3(3), 282.

Rizzante, Fabio AP, Sedky, Rana AF, Furuse, Adilson Y, Teich, Sorin, Ishikiriama, Sérgio K, & Mendonça, Gustavo. (2020). Validation of a method of quantifying 3D leakage in dental restorations. *The Journal of prosthetic dentistry,* 123(6), 839-844.

Ronald S., Jack F., John P. . (2019). *Craig's Restorative Dental Materials* (14th ed ed.). St. Louis, Missouri: Elsevier.

Sidhu, Sharanbir K, & Nicholson, John W. (2016). A review of glass-ionomer cements for clinical dentistry. *Journal of functional biomaterials,* 7(3), 16.

Silva, Safira Marques de Andrade, Carrilho, Marcela Rocha de Oliveira, Marquezini Junior, Luiz, Garcia, Fernanda Cristina Pimentel, Manso, Adriana Pigozzo, Alves, Marcelo Correa, & Carvalho, Ricardo Marins de. (2009). Effect of an additional hydrophilic versus hydrophobic coat on the quality of dentinal sealing provided by two-step etchand-rinse adhesives. *Journal of Applied Oral Science,* 17, 184-189.

Singla, Teena, Pandit, IK, Srivastava, Nikhil, Gugnani, Neeraj, & Gupta, Monika. (2012). An evaluation of microleakage of various glass ionomer based restorative materials in deciduous and permanent teeth: An in vitro study. *The Saudi dental journal,* 24(1), 35-42.

Soliman, Tarek A, & Othman, Maha S. (2017). Mechanical properties of the new Ketac™ Universal glass ionomer restorative material : effect of resin coating *Egyptian Dental Journal,* 63(1-January (Fixed Prosthodontics, Dental Materials, Conservative Dentistry & Endodontics)), 1027-1035.

Vohra, Fahim, Altwaim, Manea, Alshuwaier, Abdulaziz S, Alomayri, Abdullah, Al Deeb, Modhi, AlFawaz, Yasser F, . . . Abduljabbar, Tariq. (2020). Bond integrity and microleakage of dentin-bonded crowns cemented with bioactive cement in comparison to resin cements: in vitro study. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials,* 18.

Wang, XY, Yap, Adrian U Jin, & Ngo, HC. (2006). Effect of early water exposure on the strength of glass ionomer restoratives. *Operative Dentistry,* 31(5), 584-589.

Zhao, XY, Li, SB, Gu, LJ, & Li, Y. (2014). Detection of marginal leakage of class v restorations in vitro by micro–computed tomography. *Operative Dentistry,* 39(2), 174-180.