

การยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณชิดแถบรัดฟันซึ่งยึดด้วยซีเมนต์ต่างชนิด Inhibition of Enamel Demineralization at the Area Adjacent to Cemented Bands with Different Cements

ชวลิต เพียรมี¹, ทิพวรรณ ธาราภิวัตนานนท์¹, สมกมล วณิชวัตนะ¹

Chawalid Pianmee¹, Thipawan Tharapiwattananon¹, Somkamol Vanichvatana¹

¹ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

¹Department of Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (ZP) ซิงค์โพลีคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ (ZPC) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (GI) เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดผงและน้ำ (RMGI-PL) เรซินมอดิไฟด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดสองหลอด (RMGI-PP) และโพลีแอซิดมอดิไฟด์คอมโพสิตเรซิน (PMCR) ต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณชิดแถบรัดฟัน เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยใช้ฟันกรามน้อยแท้ซึ่งบนของมนุษย์จำนวน 70 ซี่ ทำการขัดผิวเคลือบฟันด้านไกลกลางและท้าน้ำยาทาเล็บ ยกเว้นบริเวณช่องหน้าต่างทดลองขนาด 1 x 2 ตารางมิลลิเมตร ที่กึ่งกลางตัวฟันด้านไกลกลาง แบ่งฟันเป็น 7 กลุ่มเพื่อยึดด้วย; (1) ZP (Zinc Cement Improved[®]), ZPC (Hy-Bond Polycarboxylate Cement[®]), (3) GI (Hy-Bond Glasionomer CX[®]), (4) RMGI-PL (GC Fuji Ortho LC[®]), (5) RMGI-PP (GC Fuji Ortho Band Paste Pak[®]), (6) PMCR (Ultra Ban-Lok[®]) และ (7) กลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ยึดแถบรัดฟัน (Control) ขึ้นงานตัวอย่างจะผ่านการจำลองภาวะอุณหภูมิร้อนเย็นในช่องปากนาน 24 ชั่วโมง และสภาวะการสูญเสียและคืนกลับแร่ธาตุเป็นเวลา 21 วัน ทำการรื้อแถบรัดฟันและกำจัดซีเมนต์ก่อนทำการวัดค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์บริเวณช่องหน้าต่างทดลอง (ΔF), ค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์สูงสุดบริเวณช่องหน้าต่างทดลอง (ΔF_{max}), ค่าพื้นที่ที่เกิดการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (Area) และปริมาตรของเคลือบฟันที่สูญเสียแร่ธาตุ (ΔQ) ด้วยเทคนิควิเคราะห์การเรืองแสงเชิงปริมาณด้วยการใช้แสงกระตุ้นชนิดดิจิทัล จากการใช้วิธี Kruskal-Wallis test พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ของซีเมนต์แต่ละกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เมื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่ด้วยสถิติ Pairwise comparisons ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ เมื่อจับคู่เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม Control:PMCR, ZP:ZPC, ZP:GI, ZP:RMGI-PL, ZP:RMGI-PP, ZPC:GI, ZPC:RMGI-PL, ZPC:RMGI-PP, GI:RMGI-PL, GI:RMGI-PP, RMGI-PL:RMGI-PP และ RMGI-PL:PMCR แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อจับคู่เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม Control:ZP, Control:ZPC, Control:GI, Control:RMGI-PL, Control: RMGI-PP, PMCR:ZP, PMCR:ZPC, PMCR:GI และ PMCR:RMGI-PP การศึกษาในครั้งนี้พบว่าฟันซึ่งยึดแถบรัดฟันด้วย ZP, ZPC, GI และ RMGI-PP ไม่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณชิดแถบรัดฟัน ส่วนกลุ่ม RMGI-PL, PMCR และกลุ่มควบคุมเกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันขึ้น โดยที่กลุ่ม RMGI-PL เกิดการสูญเสียแร่ธาตุน้อยกว่ากลุ่มควบคุม แต่กลุ่ม PMCR เกิดการสูญเสียแร่ธาตุไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

คำสำคัญ: การสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟัน, ซีเมนต์ยึดแถบรัดฟัน, การวิเคราะห์การเรืองแสงเชิงปริมาณด้วยการใช้แสงกระตุ้นชนิดดิจิทัล

Abstract

This study aimed to compare the efficacy of zinc phosphate cement (ZP), zinc polycarboxylate cement (ZPC), conventional glass ionomer cement (GI), resin modified glass ionomer cement-powder/liquid (RMGI-PL), resin modified glass ionomer cement-paste/paste (RMGI-PP), and polyacid-modified composite resin (PMCR) on inhibition

of enamel demineralization at the area adjacent to cemented band. This *in vitro* study was conducted on 70 human upper premolars. The distal surfaces of the crown were smooth polished and painted with nail varnish, except a $1 \times 2 \text{ mm}^2$ window on middle of distal surface. Seventy teeth were divided into 7 groups; (1) ZP (Zinc Cement Improved[®]), (2) ZPC (Hy-Bond Polycarboxylate Cement[®]), (3) GI (HyBond Glasionomer CX[®]), (4) RMGI-PL (GC Fuji Ortho LC[®]), (5) RMGI-PP (GC Fuji Ortho Band Paste Pak[®]), (6) PMCR (Ultra Band-Lok[®]) and (7) control group. All specimens were thermocycled for 24 hours, and pH cycled for 21 days. The teeth were then debanded, and decemented. The percentage of fluorescence loss (ΔF), maximum percentage of fluorescence loss (ΔF_{max}), lesion area (Area) and lesion volume (ΔQ) were measured by quantitative light-induced fluorescence-digital. The Kruskal-Wallis showed statistically significant differences for ΔF , ΔF_{max} , Area and ΔQ among group ($p < 0.001$). the pairwise comparisons showed that there were no significant difference between the groups of Control:PMCR, ZP:ZPC, ZP:GI, ZP:RMGI-PL, ZP:RMGI-PP, ZPC:GI, ZPC:RMGI-PL, ZPC:RMGI-PP, GI:RMGI-PL, GI:RMGI-PP, RMGI-PL:RMGI-PP and RMGI-PL:PMCR in the mean ΔF , ΔF_{max} , Area and ΔQ , but the groups of Control:ZP, Control:ZPC, Control:GI, Control:RMGI-PL, Control:RMGI-PP, PMCR: ZP, PMCR:ZPC, PMCR:GI and PMCR:RMGI-PP are statistically significant differences. This study demonstrated that the use of ZP, ZPC, GI and RMGI-PP inhibit demineralization of enamel adjacent to cemented bands. Demineralization occurred in RMGI-PL, PMCR and control group, however, the demineralization of RMGI-PL group was less than control group and no difference between PMCR and control group.

Keywords: Enamel demineralization, Orthodontic band cement, Quantitative light-induced fluorescence-digital

Received date:

Revised date:

Accepted date:

Doi:

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

สมกมล วณิชวัฒน์, ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ประเทศไทย E-mail: somkamol.v@chula.ac.th
Tel: 02-218-8909

Correspondence to:

Somkamol Vanichvatana, Department of Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand E-mail: somkamol.v@chula.ac.th
Tel: 02-218-8909

บทนำ

รอยโรคขาวขุ่น (white lesion) เป็นปัญหาสำคัญที่พบได้ในฟันที่ติดเครื่องมือจำพวกแบร็กเกตและแถบรัดฟัน¹⁻³ จากการศึกษาพบว่าการยึดแถบรัดฟันจะเพิ่มความชุกของการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณคอฟัน และกึ่งกลางฟันด้านข้างแก้มมากขึ้น โดยเฉพาะในกรามแท้ซี่ที่หนึ่ง⁴ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มักทำความสะอาดได้ยากและเกิดการสะสมของคราบจุลินทรีย์ได้ง่าย⁵ การป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟัน และการป้องกันการเกิดฟันผุ ในผู้ป่วยที่ติดเครื่องมือจัดฟัน สามารถทำได้โดยการแนะนำให้ใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่ชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุและส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟัน ร่วมกับการแนะนำให้ผู้ป่วยสามารถดูแลสุขภาพช่องปากของตนเอง⁶ แต่วิธี

ดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ป่วย ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดในผู้ป่วยเด็กเล็กและผู้ที่มีความต้องการพิเศษ ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาซีเมนต์ยึดแถบรัดฟันที่มีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ขึ้นมาหลายชนิด

ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ และซิงค์โพลีคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ เป็นซีเมนต์กลุ่มแรก ๆ ที่ถูกนำมาใช้สำหรับยึดแถบรัดฟัน แต่เนื่องจากไม่มีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ปัจจุบันจึงมีความพยายามในการเพิ่มส่วนประกอบที่ทำให้ซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ กลาสไอโอโนเมอร์เป็นกลุ่มซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

ชนิดดั้งเดิม (conventional glass ionomer cement) ซึ่งได้รับการศึกษาว่าสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์และลดการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันในพื้นที่ใส่เครื่องมือจัดฟันได้⁷ แต่พบว่ามีการยึดเกาะที่ต่ำกว่าวัสดุจำพวกเรซิน⁸ จึงมีการพัฒนาเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (resin modified glass ionomer cement) ขึ้น โดยการเติมส่วนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ซึ่งต้องอาศัยแสงในการบ่มตัวลงในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ซีเมนต์จึงมีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์เหมือนกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม และมีความแข็งแรงเหมือนเรซินคอมโพสิต⁹ โดยเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีทั้งรูปแบบของส่วนผงและน้ำ (powder-liquid form) ซึ่งต้องผสมตามอัตราส่วนที่บริษัทแนะนำ รูปแบบแคปซูล (capsule) และรูปแบบหลอด (paste form) ที่สามารถใช้งานได้สะดวกขึ้น ลดขั้นตอนในการผสม และควบคุมอัตราส่วนของส่วนผสม ทำให้ซีเมนต์ที่ได้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน¹⁰

โพลีแอซิดโมดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน (polyacid-modified composite resin) เป็นซีเมนต์อีกกลุ่มที่มีการนำมาใช้สำหรับยึดเครื่องมือจัดฟัน มีส่วนผสมหลักเป็นวัสดุอัดแทรกชนิดแก้วแคลเซียมฟลูออโรลูมิโนซิลิเกตและโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด เมื่อวัสดุเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันแล้วจะเกิดการดูดซึมน้ำ ซึ่งทำให้โมโนเมอร์แตกตัวและเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์กับแก้วแคลเซียมฟลูออโรลูมิโนซิลิเกตที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้¹¹

ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ผ่านมาพบว่า ซีเมนต์ยึดแถบรัดฟันชนิดโพลีแอซิดโมดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน และเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้ค่าการยึดติดที่ดีกว่า ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ^{12,13} และยังพบว่าเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดผงและน้ำ เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดสองหลอด และโพลีแอซิดโมดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน มีคุณสมบัติที่พึงประสงค์หลายประการ เช่นมีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์^{10,14} และมีการรั่วซึมระดับจุลภาค (microleakage) ต่ำ¹⁵ เป็นต้น อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Millett และคณะ (2016)¹⁶ ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าซีเมนต์ชนิดใดเหมาะที่สุดสำหรับใช้ยึดแถบรัดฟัน ทั้งในแง่ของการยึดติดและการป้องกันการเกิดฟันผุระหว่างใช้ยึดแถบรัดฟัน การวิจัยนี้ จึงศึกษาถึงคุณสมบัติในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันบริเวณชิดแถบรัดฟันของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ ซิงค์โพลีคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดผงและน้ำ เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดสองหลอด และโพลีแอซิดโมดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้ประเภทซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับการยึดแถบรัดฟัน โดยการทดสอบด้วยเทคนิควิเคราะห์การ

เรืองแสงเชิงปริมาณด้วยการใช้แสงกระตุ้นชนิดดิจิทัล (quantitative light-induced fluorescence-digital, QLF-D) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถแสดงปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันได้จากการเปรียบเทียบแสงฟลูออเรสเซนส์ที่ลดลงในบริเวณรอยโรคกับแสงฟลูออเรสเซนส์ของผิวเคลือบฟันปกติโดยรอบ อีกทั้งเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องมีการทำลายฟันตัวอย่างก่อนการทดสอบ¹⁷ และสามารถตรวจพบรอยโรคในระยะเริ่มแรกได้ก่อนการตรวจด้วยตา¹⁸

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์ (HREC-DCU 2018-025) และผ่านการประเมินความปลอดภัยทางชีวภาพ (DENT CU-IBC 005/2018) จากคณะกรรมการควบคุมความปลอดภัยทางชีวภาพ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณขนาดตัวอย่าง

การศึกษานี้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ยอมรับ ทั้งที่สมมติฐานเป็นจริง (type-I error, α) เท่ากับ 0.05 และค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานไม่เป็นจริง (type-II error, β) เท่ากับ 0.1 ทำการคำนวณค่าขนาดอิทธิพล (effect size) และขนาดตัวอย่างสำหรับการเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างจำนวน 7 กลุ่ม ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป G Power เวอร์ชัน 3.1.9.2 โดยอ้างอิงผลการศึกษาของ Behnan และคณะ (2010)¹⁹ สามารถคำนวณค่าขนาดอิทธิพลได้เท่ากับ 0.60 และคำนวณกลุ่มตัวอย่างได้เท่ากับ 8 ซีต่อกลุ่ม ผู้วิจัยได้เพิ่มขนาดตัวอย่างอีกร้อยละ 25 ดังนั้นการศึกษานี้จึงกำหนดขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ซีต่อกลุ่ม

การเตรียมฟันตัวอย่าง

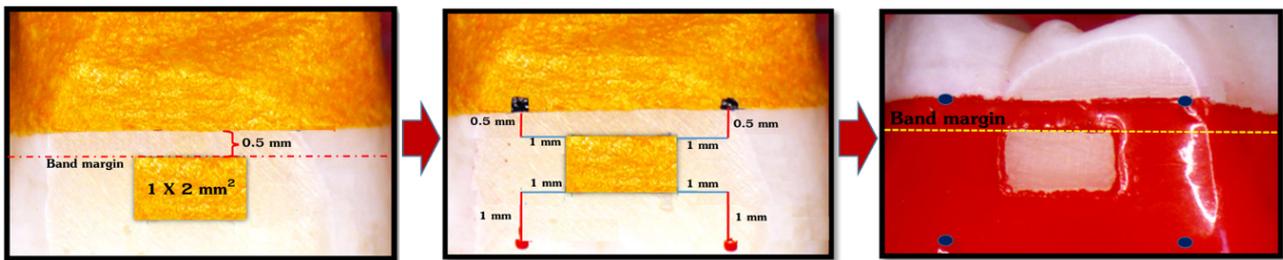
ใช้ฟันกรามน้อยแท้ซี่บนของมนุษย์ที่ถูกถอนด้วยเหตุผลในการรักษาทางทันตกรรม และแช่ในน้ำยาไหมลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ไม่เกิน 6 เดือน จำนวน 70 ซี่ โดยแต่ละซี่มีขนาดใกล้เคียงกัน กำจัดคราบสี หินน้ำลาย และเนื้อเยื่อออกจากตัวฟัน ใช้ผงขัดชนิดปราศจากฟลูออไรด์ขัดฟันแล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น และตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอว่าไม่มีรอยร้าว รอยผุ วัสดุบูรณะ หรือความผิดปกติของผิวฟัน จากนั้นขัดผิวเคลือบฟันที่บริเวณกึ่งกลางฟันด้านไกลกลางด้วยกระดาษทรายน้ำละเอียด 800 กริท ร่วมกับเครื่องขัดความเร็ว 100 รอบต่อนาที เพื่อให้ผิวเคลือบฟันได้ระนาบเรียบเสมอกันอย่างน้อย 3 x 4 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นตรวจสอบว่าไม่มีการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันด้วยเครื่อง QLF-D

เตรียมแถบรัดฟันชนิดทำเอง โดยใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม โอบรอบฟันให้ได้ขนาดที่พอดีกับซี่ฟัน จากนั้นเชื่อมแผ่นเหล็กกล้า

ไว้สนิมด้วยเครื่องเชื่อม ปรับขอบล่างของแถบรัดฟันด้านไกลกลางให้อยู่ที่ระดับกึ่งกลางของตัวฟัน ใช้ band pusher กดแถบรัดฟันให้เข้าที่ ปรับขอบให้แนบกับตัวฟันและมีช่องว่างสำหรับซีเมนต์อยู่ระหว่าง 0.08 – 0.12 มิลลิเมตร ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ

ทำช่องหน้าต่างทดลองขนาด 1 x 2 ตารางมิลลิเมตร ให้ขอบบนของช่องหน้าต่างอยู่ระดับเดียวกับขอบล่างของแถบรัดฟัน จากนั้นใช้หัวกรอเร็วชนิดปลายแหลมกรอที่ผิวเคลือบฟันจำนวน 4 จุด เพื่อกำหนดเป็นจุดอ้างอิงในการเลือกพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง QLF-D โดยห่างจากขอบด้านข้างและขอบด้านล่างของช่อง

หน้าต่างออกไปข้างละ 1 มิลลิเมตร และห่างจากขอบด้านบนของช่องหน้าต่างขึ้นไป 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นทาน้ำยาทาเล็บสีแดงที่ผิวเคลือบฟันโดยรอบช่องหน้าต่างทดลอง ยกเว้นขอบบนของช่องหน้าต่างให้ทาน้ำยาทาเล็บสูงขึ้นไปเพียง 0.5 มิลลิเมตรเท่านั้น ทำการวัดขนาดของช่องหน้าต่างทดลองและวัดระยะของจุดอ้างอิงด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ จะได้ช่องหน้าต่างทดลองขนาด 1 x 2 ตารางมิลลิเมตรและจุดอ้างอิงจำนวน 4 จุด ดังรูปที่ 1 จากนั้นแช่ฟันตัวอย่างในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 1 ขั้นตอนการสร้างช่องหน้าต่างทดลอง และจุดอ้างอิงภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ

Figure 1 Preparation sequence of experimental window and reference points under stereomicroscope

การแบ่งกลุ่มทดลอง

กำหนดหมายเลขสำหรับฟันแต่ละซี่ จากนั้นสุ่มหยิบสลากหมายเลขเพื่อจัดฟันตัวอย่างเข้าสู่กลุ่มทดลองจำนวน 7 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ซี่ และกำหนดหมายเลขประจำกลุ่ม 1 – 7 เพื่อสุ่มหยิบสลากหมายเลขสำหรับยึดด้วยซีเมนต์แต่ละชนิด ดังนี้

กลุ่มควบคุมที่ไม่ยึดด้วยซีเมนต์และแถบรัดฟัน (Control) ทำการทาน้ำยาทาเล็บให้ทั่ว ยกเว้นบริเวณช่องหน้าต่างทดลอง

กลุ่มซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (ZP) ยี่ห้อ Zinc Cement Improve® ทำการผสมในอัตราส่วน ผง 1 ซ้อนตวงต่อน้ำ 3 หยด บนแท่นแก้วที่มีความเย็น โดยใช้พายพลาสติกผสมส่วนผงเข้ากับส่วนน้ำที่ละลายให้เข้ากันเป็นเนื้อครีมและยึดได้อย่างน้อย 1 นิ้ว ภายในเวลาไม่เกิน 90 วินาที เคลี่ยซีเมนต์บาง ๆ เข้าด้านในของแถบรัดฟันด้านใกล้เหงือก จากนั้นใส่ให้เข้าที่กับตัวฟัน กำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน รอให้แข็งตัว 3 นาที

กลุ่มซิงค์โพลีคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ (ZPC) ยี่ห้อ Hy-Bond Polycarboxylate Cement® ทำการผสมในอัตราส่วน ผง 1 ซ้อนตวงต่อน้ำ 3 หยด โดยแบ่งส่วนผงเป็นสองส่วนบนกระดาษผสม ใช้พายพลาสติกผสมส่วนแรกเข้ากับส่วนน้ำภายใน 20 วินาที ตามด้วยส่วนที่สอง ผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อครีมและยึดได้อย่างน้อย 1 นิ้ว ภายในเวลา 60 วินาทีหลังจากเริ่มผสม เคลี่ยซีเมนต์เข้าด้านในของแถบรัดฟันด้านใกล้เหงือก จากนั้นใส่ให้เข้าที่กับฟัน กำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน รอให้แข็งตัว 3 นาที

กลุ่มกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (GI) ยี่ห้อ Hy-Bond Glasionomer CX® ทำการผสมในอัตราส่วน ผง 1 ซ้อนตวงต่อน้ำ 2 หยด โดยแบ่งส่วนผงเป็นสองส่วนบนกระดาษผสม ใช้พายพลาสติกผสมส่วนแรกเข้ากับส่วนน้ำภายใน 20 วินาที ตามด้วยส่วนที่สอง ผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อครีมและยึดได้อย่างน้อย 1 นิ้ว ภายในเวลา 40 วินาทีหลังจากเริ่มผสม เคลี่ยซีเมนต์เข้าด้านในของแถบรัดฟันด้านใกล้เหงือก จากนั้นใส่ให้เข้าที่กับตัวฟัน กำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน รอให้แข็งตัว 3 นาที

กลุ่มเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดผงและน้ำ (RMGI-PL) ยี่ห้อ Fuji Ortho LC® ใช้อัตราส่วน ผง 1 ซ้อนตวงต่อน้ำ 3 หยด โดยแบ่งส่วนผงเป็นสองส่วนบนกระดาษผสม ใช้พายพลาสติกผสมส่วนแรกเข้ากับส่วนน้ำ ตามด้วยส่วนที่สองให้เข้ากันภายในเวลา 45 วินาที เคลี่ยซีเมนต์เข้าด้านในของแถบรัดฟันด้านใกล้เหงือก จากนั้นใส่ให้เข้าที่กับตัวฟัน ฉายแสงด้านบดเคี้ยว 1 วินาที กำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน แล้วฉายแสงต่ออีกด้านละ 20 วินาที กลุ่มเรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดสองหลอด (RMGI-PP) ยี่ห้อ Fuji Ortho Band Paste Pak® บีบซีเมนต์จากทั้งสองหลอดบนกระดาษผสม ใช้พายพลาสติกผสมให้เข้ากันใน 20 วินาที และเคลี่ยเข้าด้านในแถบรัดฟันด้านใกล้เหงือกก่อนใส่ให้เข้าที่กับฟัน กำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน รอให้แข็งตัว 3 นาที

กลุ่มโพลีแอสติมอดิฟายด์คอมโพสิทีเรซิน (PMCR) ยี่ห้อ Ultra Band-Lok® ฉีดซีเมนต์เข้าด้านในแถบรัดฟัน เคลี่ยซีเมนต์

ให้ทั่วก่อนใส่แถบรัดฟันให้เข้าที่กับฟัน กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออกบางส่วนและฉายแสงด้านบดเคี้ยว 1 วินาที จากนั้นกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินที่เหลือออก วางปลายเครื่องฉายแสงที่รอยต่อของฟันและ

แถบรัดฟันด้านบดเคี้ยว หมุนปลายเครื่องฉายแสงเป็นวงกลมโดยรอบด้านบดเคี้ยว นาน 30 วินาที

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของซีเมนต์แต่ละชนิด

Table 1 Components of cements

Cement	Manufactures	Composition	
Zinc Cement Improved [®]	S.S. White Group, Gloucester, UK	Powder	zinc oxide, magnesium oxide, silicon dioxide
	Lot (powder): 626321 Lot (liquid): 1016211	Liquid	aluminum, zinc, phosphoric acid, phosphoric acid combined with aluminum/zinc
Hy-Bond Polycarboxylate Cement [®]	Shofu Dental, Kyoto, Japan	Powder	zinc oxide (>80%), magnesium oxide
	Lot: 101701	Liquid	copolymer of acrylic acid and tricarboxylic acid, deionized water, tartaric acid
Hy-Bond Glasionomer CX [®]	Shofu Dental, Kyoto, Japan	Powder	fluoroalumino-silicate glass, HY agent, pigments
	Lot: 021702	Liquid	acrylic acid-tricarboxylate acid co-polymer solution, tartaric acid, others
Fuji Ortho LC [®]	GC Corporation, Tokyo, Japan Lot: 1710041	Powder	alumino-silicate glass (100%) polyacrylic acid (20 - 22%),
		Liquid	2-hydroxyethyl methacrylate (35 - 40%), proprietary ingredient (5 - 15%), 2,2,4, trimethyl hexamethylene dicarbonate (5 - 7%), triethylene glycol dimethacrylate (4 - 6%)
Fuji Ortho Band Paste Pak [®]	GC Corporation, Tokyo, Japan Lot: 1805182	Paste A	fluoroaluminosilicate glass, hydroxyethyl methacrylate, dimethacrylate, pigment, initiator
		Paste B	polyacrylic acid, distilled water, silica powder, initiator
Ultra Band-Lok [®]	Reliance Ortho Prod, IL, USA Lot: 184441	Paste	SG-355RG4000CMP3 (30 - 50%), BisGMA (10 - 30%), Barium monoxide (3.9 - 6.5%), 2-hydroxyethyl methacrylate (1 - 5%), 3-(trimethoxysilyl) propyl-2-methyl-2-propenoic acid (0.2 - 3.9%)

การจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็น (thermocycling) นำฟันตัวอย่างผ่านการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สลับกับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 1,440 รอบ รอบละ 30 วินาที โดยมีระยะพักระหว่างสลับ 5 วินาที²⁰ ทั้งฟันตัวอย่างให้แห้ง 30 นาที แล้วทาด้วยน้ำยาทาเล็บสีแดงให้ทั่วทั้งซี่ฟัน ยกเว้นบริเวณช่องหน้าต่างทดลอง จากนั้นทิ้งฟันตัวอย่างให้แห้ง 30 นาที ก่อนแช่ลงในน้ำปราศจากไอออน เพื่อรอทำการทดสอบในขั้นต่อไป

การจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่องปาก (pH cycling)

นำฟันตัวอย่างแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization solution) วันละ 3 ครั้ง ครั้งละ 35 นาที

ในเวลา 7.25 – 8.00 น. 12.25 – 13.00 น. และ 17.25 – 18.00 น. สลับกับการแช่ในน้ำลายเทียม (artificial saliva) ที่ปราศจากฟลูออไรด์ ในตู้เขย่าและควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 21 วัน โดยกำหนดให้เปลี่ยนเป็นน้ำยาชุดใหม่ก่อนเริ่มแช่ในช่วงเช้าของทุกวัน และล้างฟันตัวอย่างด้วยน้ำปราศจากไอออน ซับให้แห้งด้วยผ้าสะอาด ก่อนแช่ในน้ำยาแต่ละชนิด

ส่วนประกอบของสารละลายที่ใช้ผลิตโดยภาควิชาชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คือ สารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ pH 4.4 ประกอบด้วย โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 2.2 มิลลิโมลต่อลิตร แคลเซียมคลอไรด์ 2.2 มิลลิโมลต่อลิตร และกรดอะซิติก 50 มิลลิโมลต่อลิตร และน้ำลายเทียม pH 7 ประกอบด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต 20 มิลลิโมลต่อลิตร โซเดียม

ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 3 มิลลิโมลต่อลิตร และแคลเซียมคลอไรด์ 1 มิลลิโมลต่อลิตร²¹

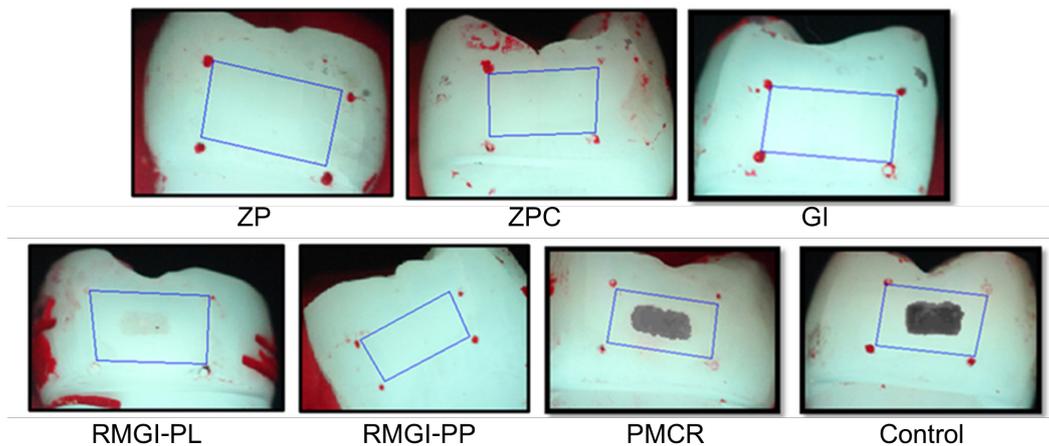
หลังจำลองการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่องปาก ทำการถอดแบริดฟันออก กำจัดซีเมนต์ที่เหลืออยู่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ และใช้เครื่องมือลอกน้ำยาทาเล็บด้วยความระมัดระวัง จากนั้นแช่ฟันตัวอย่างในน้ำปราศจากไอออนจนกว่าจะวัดการเปลี่ยนแปลงฟลูออเรสเซนส์ด้วยเครื่อง QLF-D

การวัดการเปลี่ยนแปลงฟลูออเรสเซนส์ด้วยเครื่อง QLF-D

แช่ฟันแต่ละซี่ด้วยผ้าก๊อช ที่ให้แห้ง 15 นาที จากนั้นปิดลำดับที่และกลุ่มทดลอง โดยให้บุคคลภายนอกที่ไม่เกี่ยวข้องกับกรวิจัยเป็นผู้สุ่มหมายเลขขึ้นมาใหม่เพื่อใช้สำหรับการวัด และจะทำการเปิดลำดับที่และกลุ่มทดลองเดิมเมื่อทำการวัดเสร็จสิ้น จากนั้นวางฟันตัวอย่างบนดินน้ำมันในกล่องพลาสติกที่มีขอบกล่องเรียบไม่ขรุขระ ใช้แผ่นกระจกผิวเรียบกดฟันตัวอย่างให้บริเวณช่องหน้าต่างทดลองอยู่ในแนวระนาบและตั้งฉากกับลำกล้อง จากนั้นถ่ายภาพรอยผุในท้องมืดด้วยเครื่อง QLF-D โดยจัดให้ลำกล้องและฟันตัวอย่างอยู่ห่างกัน 10 เซนติเมตร กล้องถูกตั้งให้ถ่ายภาพด้วย

ความเร็วชัตเตอร์ (shutter speed) เท่ากับ 1 ต่อ 20 วินาที ขนาดรูเปิดรับแสง (aperture value) เท่ากับ 13.0

วัดการเปลี่ยนแปลงฟลูออเรสเซนส์บริเวณช่องหน้าต่างทดลองด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงฟลูออเรสเซนส์ (QA2 v1.21, Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, The Netherlands) โดยใช้จุดอ้างอิง 4 จุด สำหรับลากกรอบสี่เหลี่ยมให้มีผิวเคลือบฟันปกติล้อมรอบช่องหน้าต่างทดลอง ซึ่งโปรแกรมจะพิจารณาว่ามีการสูญเสียแร่ธาตุเกิดขึ้นเมื่อบริเวณช่องหน้าต่างทดลองมีระดับฟลูออเรสเซนส์ลดลงมากกว่าร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับฟลูออเรสเซนส์ของผิวเคลือบฟันปกติโดยรอบ¹⁷ จากนั้นบันทึกค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนส์บริเวณหน้าต่างทดลองเมื่อเทียบกับผิวฟันปกติโดยรอบ (ΔF) ค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนส์สูงสุดบริเวณหน้าต่างทดลองเมื่อเทียบกับผิวฟันปกติโดยรอบ (ΔF_{max}) พื้นที่ที่เกิดการสูญเสียฟลูออเรสเซนส์ (Area) และปริมาตรของเคลือบฟันที่สูญเสียแร่ธาตุ (ΔQ) โดยรูปแสดงการวิเคราะห์การสูญเสียฟลูออเรสเซนส์ที่บริเวณช่องหน้าต่างทดลองของแต่ละกลุ่มแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปการวิเคราะห์ด้วย QLF-D ของแต่ละกลุ่มทดลอง
Figure 2 QLF-D images of each group

กำหนดให้วัดการเปลี่ยนแปลงฟลูออเรสเซนส์ของชิ้นงานแต่ละซี่จำนวน 3 ครั้ง และใช้ค่าเฉลี่ยของค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ จากทั้ง 3 ครั้ง เป็นตัวแทนของฟันแต่ละซี่ และเพื่อป้องกันความผิดพลาดจากความอ่อนล้าของผู้วัด กำหนดให้ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของฟลูออเรสเซนส์ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมงต่อวัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ไม่เกินช่วงละ 2 ชั่วโมง และมีเวลาพักระหว่างช่วงอย่างน้อย 30 นาที

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เอสพีเอสเอส รุ่น 22.0 (SPSS version 22.0, SPSS Inc., USA) ในการประมวลผล โดยทำ

การวิเคราะห์ค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ของทั้ง 7 กลุ่มด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (mean) และการวัดการกระจายข้อมูล (standard deviation) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จึงพิจารณาใช้สถิติไร้พารามิเตอร์ (non – parametric test) ชื่อ Kruskal-Wallis test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกลุ่ม ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันของค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ระหว่าง 7 กลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่ โดยใช้สถิติ Dunn-Bonferroni post hoc test

ทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้ประเมิน (intra-rater reliability) จากการวัดค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ จำนวน 3 ครั้ง ด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (intraclass correlation coefficient: ICC) Model (3,1) และทำการประเมินความน่าเชื่อถือของการทดสอบและทดสอบซ้ำ (test-retest reliability) ด้วยการนำชิ้นงานทุกชิ้นมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงฟลูออเรสเซนซ์ซ้ำห่างจากการวิเคราะห์ครั้งแรก 7 วัน จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของค่า ΔF , ΔF_{max} ,

Area และ ΔQ จากการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มาทดสอบด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น Model (3,1)

ผลการศึกษา

การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ระหว่างกลุ่มทั้ง 7 กลุ่ม ด้วยสถิติ Dunn-Bonferroni post hoc test ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบพหุคูณของค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ (ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ระหว่างกลุ่มทดลอง

Table 2 Multiple comparisons of ΔF , ΔF_{max} , Area, and ΔQ (mean \pm standard deviation) between groups

Cement	n	ΔF (%)	ΔF_{max} (%)	Area (Px2)	ΔQ (%Px2)
		Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
ZP	10	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A
ZPC	10	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A
GI	10	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A
RMGI-PP	10	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A	0 \pm 0 ^A
RMGI-PL	10	-3.03 \pm 4.03 ^{AB}	-4.33 \pm 5.92 ^{AB}	138.87 \pm 199.82 ^{AB}	-1,117.97 \pm 1,695.19 ^{AB}
PMCR	10	-7.12 \pm 1.80 ^{BC}	-9.53 \pm 3.66 ^{BC}	267.03 \pm 236.42 ^{BC}	-2,230.77 \pm 2,392.88 ^{BC}
Control	10	-14.87 \pm 5.12 ^C	-25.06 \pm 8.92 ^C	695.03 \pm 370.74 ^C	-10,353.17 \pm 7,764.62 ^C

Different letters indicate statistically significant differences between groups

จากผลการศึกษาเมื่อจับคู่เปรียบเทียบกลุ่ม Control กับกลุ่ม ZP, ZPC, GI และ RMGI-PP พบว่าแต่ละคู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ($p < 0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบกลุ่ม Control กับกลุ่ม RMGI-PL พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ($p < 0.05$) นอกจากนี้เมื่อจับคู่เปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม PMCR กับกลุ่ม ZP, ZPC, GI และ RMGI-PP พบว่าแต่ละคู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติของค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ($p < 0.05$)

การทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้ประเมิน (intra-rater reliability) จากการวิเคราะห์ค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ด้วย QLF-D จำนวน 3 ครั้ง โดยใช้สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (intraclass correlation coefficient: ICC) Model (3,1) มีค่าเท่ากับ 1.000, 0.999, 0.997 และ 0.999 ตามลำดับ แสดงว่าค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ครั้ง มีความสอดคล้องกันในระดับดีมาก²² และการประเมินความน่าเชื่อถือของการทดสอบและทดสอบซ้ำ (test-retest reliability) จากค่าเฉลี่ยของค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ในการวัดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ซึ่งวัดห่างกัน 7 วัน เมื่อทดสอบด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น Model (3,1)

มีค่าเท่ากับ 0.999, 0.999, 0.996 และ 0.522 ตามลำดับ กล่าวคือค่า ΔF , ΔF_{max} และ Area ที่วัดได้จากทั้งสองครั้งมีความแน่นอนในระดับดีมาก ส่วนค่า ΔQ ที่วัดได้จากทั้งสองครั้งมีความแน่นอนในระดับพอใช้²²

บทวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของซีเมนต์ยึดแถบรัดฟันชนิด ZP, ZPC, GI, RMGI-PL, RMGI-PP และ PMCR ต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ขอบแถบรัดฟัน โดยวัดค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ด้วยเครื่อง QLF-D ซึ่งเป็นอีกเทคนิคที่ใช้สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุของรอยฟันในระยะเริ่มแรก²³ เทคนิคนี้ได้รับการศึกษาว่าสามารถตรวจพบรอยโรคฟันผุในระยะเริ่มแรกได้ก่อนการตรวจด้วยตา โดยไม่ต้องทำลายชิ้นฟันตัวอย่าง¹⁸ โปรแกรมจะวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณฟลูออเรสเซนซ์ในบริเวณที่มีการสูญเสียแร่ธาตุกับผิวเคลือบฟันปกติโดยรอบและรายงานผลจำนวน 4 ค่า คือ ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ^{18,24} เนื่องจากเทคนิคนี้ต้องจัดวางพื้นที่ที่ต้องการทดสอบให้ตั้งฉากกับลำกล้อง ผู้วิจัยจึงเตรียมพื้นที่ทดลองในฟันแต่ละซี่ให้มีระนาบเรียบเสมอกัน ร่วมกับการจัดตั้งชิ้นงานให้บริเวณที่ต้องการทดสอบตั้ง

ฉากกับลำกล้องและอยู่ห่างจากตัวกล้องเท่ากันในทุกครั้งที่ทำการทดสอบ จึงสามารถเปรียบเทียบค่า ΔF , ΔF_{max} , Area และ ΔQ ระหว่างซีฟันได้อย่างแม่นยำ

การวัดระดับการสูญเสียแร่ธาตุบริเวณช่องหน้าต่างทดลองด้วยเครื่อง QLF-D ต้องใช้พื้นผิวเคลือบฟันที่ไม่มีการสูญเสียแร่ธาตุโดยรอบเพื่อใช้เปรียบเทียบความต่างของฟลูออเรสเซนต์ระหว่างทั้งสองพื้นที่ การทดลองนี้จึงออกแบบให้มีผิวเคลือบฟันปกติที่ถูกทาด้วยน้ำยาทาเคลือบฟันโดยรอบช่องหน้าต่างทดลอง อีกทั้งมีการบากสัญลักษณ์เพื่อใช้อ้างอิงขอบเขตของพื้นที่ดังกล่าว เพื่อให้พื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ถูกจำกัดเฉพาะในบริเวณที่ต้องการ และไม่ครอบคลุมพื้นที่ซึ่งถูกยึดด้วยซีเมนต์ซึ่งอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฟลูออเรสเซนต์ ทำให้ค่าที่ได้เกิดจากการเปรียบเทียบความต่างของฟลูออเรสเซนต์ระหว่างพื้นที่ช่องหน้าต่างและผิวเคลือบฟันปกติโดยรอบเท่านั้น

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ มีการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่องปาก โดยอ้างอิงและดัดแปลงวิธีการจากการศึกษาของ Vorhies และคณะ (1998)²¹ ด้วยการแช่ชิ้นงานในน้ำลายเทียมที่ไม่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์ สลับกับสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุวันละ 3 ครั้ง ครั้งละ 35 นาที เป็นเวลา 21 วัน หลังจากจำลองสภาวะการสูญเสียแร่ธาตุและการคืนกลับแร่ธาตุนาน 21 วัน พบว่ากลุ่ม Control ซึ่งไม่ถูกยึดด้วยซีเมนต์เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันในบริเวณช่องหน้าต่างทดลอง คือมีการสูญเสียแร่ธาตุมากกว่าการคืนกลับแร่ธาตุ จึงพิจารณาได้ว่ากระบวนการจำลองสภาวะในช่องปากที่เลือกใช้ในครั้งนี้ใกล้เคียงกับสภาวะช่องปากของผู้ป่วยที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคฟันผุ ดังนั้นการจำลองสภาวะในช่องปากด้วยวิธีดังกล่าวรวมถึงระยะเวลาที่เลือกใช้เป็นเวลา 21 วัน จึงเป็นอีกวิธีที่สามารถนำมาศึกษาประสิทธิภาพของซีเมนต์ยึดแถบรัดฟันต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของผิวเคลือบฟันในกลุ่มผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดโรคฟันผุได้ อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายเพื่อจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่องปาก ไม่สามารถจำลองสภาวะในช่องปากที่มีความซับซ้อนได้อย่างสมบูรณ์ หากต้องการผลการศึกษาที่มีความใกล้เคียงกับสภาพในช่องปากมากขึ้น อาจพิจารณาศึกษาโดยจำลองการเกิดรอยโรคฟันผุด้วยเชื้อแบคทีเรียก่อโรคฟันผุ หรือการศึกษาในช่องปากมนุษย์โดยตรง

การศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า ZP, ZPC, GI, RMGI-PL และ RMGI-PP ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณขอบแถบรัดฟันได้ โดย ZP, ZPC, GI และ RMGI-PP สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้ดีกว่า PMCR แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่าง

RMGI-PL กับ PMCR และระหว่าง PMCR กับ Control ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hedge และคณะ (2014)²⁵ และ Prabhavathi และคณะ (2015)²⁶ ที่พบว่า ZP ชนิดไม่มีฟลูออไรด์, ZPC ชนิดมีฟลูออไรด์, GI, RMGI-PL และ RMGI-PP ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันแตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ไม่ถูกยึดด้วยซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ขัดแย้งกับการศึกษาของ Foley และคณะ (2002)²⁰ ที่พบว่าการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของ ZP ชนิดไม่มีฟลูออไรด์ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ไม่ถูกยึดด้วยซีเมนต์

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง PMCR และ GI การศึกษาในครั้งนี้พบว่า PMCR ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้น้อยกว่า GI ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vanmiller และคณะ (2003)²⁷ และ Prabhavathi และคณะ (2015)²⁶ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง PMCR และ RMGI-PL ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าทั้งสองกลุ่มให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุไม่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Prabhavathi และคณะ (2015)²⁶ ที่พบว่า RMGI-PL ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีกว่า PMCR นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกลุ่ม PMCR กับ ZP ชนิดที่ไม่มีฟลูออไรด์ การศึกษาในครั้งนี้พบว่า ZP ชนิดที่ไม่มีฟลูออไรด์ยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีกว่า PMCR ซึ่งขัดแย้งกับหลายการศึกษาในอดีต ได้แก่ Prabhavathi และคณะ (2015)²⁶ ที่พบว่า PMCR ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุดีกว่า ZP ชนิดไม่มีฟลูออไรด์ ส่วนการศึกษาของ Vanmiller และคณะ (2003)²⁷ พบว่า PMCR ให้ผลยับยั้งไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้การศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่พบการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง PMCR กับกลุ่มควบคุมที่ไม่ถูกยึดด้วยซีเมนต์มาก่อน

การที่ผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจากการศึกษาในอดีต เนื่องจากการศึกษาส่วนใหญ่^{20,25,26} เป็นการศึกษาผลของการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของฟัน หลังจากยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ โดยนำชิ้นฟันตัวอย่างที่ถูกถอดแถบรัดฟันและซีเมนต์ออกหมดแล้วมาแช่ในสารละลายที่เป็นกรด เพื่อจำลองการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟัน ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ที่ทำการศึกษาที่บริเวณขอบแถบรัดฟันซึ่งยึดด้วยซีเมนต์แต่ละชนิดโดยไม่ได้อัดแถบรัดฟันหรือกำจัดซีเมนต์ออก จากนั้นทำการจำลองสภาวะในช่องปาก คือการจำลองสภาวะอุณหภูมิร้อนเย็น และการจำลองสภาวะความเป็นกรดต่าง โดยแช่ชิ้นงานในน้ำลายเทียมที่ไม่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์ สลับกับสารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ผลการศึกษาที่ได้จึงเป็นผลในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ขณะใช้ยึดแถบรัดฟัน

ลักษณะเฉพาะและส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์แต่ละชนิด มีผลต่อความสามารถในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่แตกต่างกัน คุณสมบัติสำคัญประการหนึ่งคือความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดโพลีแอซิดและ

แก้วฟลูออโรโพลีเมอร์อินซิติเกตที่เป็นส่วนประกอบของซีเมนต์หลาย ๆ ชนิด โดยในช่วงแรกจะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ในความเข้มข้นสูง เรียกว่า “burst effect” ตามด้วยการปลดปล่อยฟลูออไรด์ความเข้มข้นต่ำ ๆ ในเวลาต่อมา²⁸ ซึ่งฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงดังกล่าวจะทำให้เกิดการสร้างแคลเซียมฟลูออไรด์บนผิวฟันในทันที²⁹ ทำให้สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณนั้นได้ ส่วนหลังจากนั้นแม้ว่าจะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในความเข้มข้นต่ำ ๆ แต่หากมีการปลดปล่อยออกมาอย่างสม่ำเสมอ ก็ยังมีผลต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุและส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุได้³⁰ เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในอดีตจะพบว่า GI, RMGI-PL, RMGI-PP และ PMCR สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้^{15,18,31,32,33} แต่เมื่อพิจารณาจากระดับการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุแต่ละชนิด³² พบว่า GI และ RMGI-PP มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในระดับสูงใกล้เคียงกัน และ PMCR มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในระดับต่ำที่สุด โดยที่ RMGI-PL มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในระดับใกล้เคียงกับ PMCR ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งพบว่า GI, RMGI-PP, RMGI-PL สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม และ PMCR ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม โดยที่ไม่พบความแตกต่างระหว่าง RMGI-PL และ PMCR ซึ่งการพบว่า PMCR ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมอาจเป็นเพราะปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณขอบของแถบรัดฟันได้

การศึกษาในครั้งนี้เลือกใช้ ZPC ชนิดที่มีฟลูออไรด์ และ ZP ชนิดที่ไม่มีฟลูออไรด์สำหรับทำการทดสอบ จากผลการศึกษานี้พบว่าซีเมนต์ทั้งสองชนิดสามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นผลของซิงค์ไอออนที่ละลายตัวจากซีเมนต์ทั้งสองชนิด โดยจากการวิเคราะห์ผิวเคลือบฟันที่ติดกับ ZP ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของ Crisp และคณะ (1978)³⁴ จะพบการสร้างผลึก α -hopeite-like phase ที่หนาแน่นบริเวณผิวเคลือบฟันที่ติดกับ ZP มากกว่าผิวเคลือบฟันที่ห่างออกไป ซึ่ง Mohammed และคณะ (2014)³⁵ ได้อธิบายว่าในภาวะที่เป็นกรดจะเกิดการละลายตัวของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผิวเคลือบฟัน เกิดเป็นแคลเซียมไอออนและฟอสเฟตไอออน ร่วมกับการปลดปล่อยซิงค์ไอออนจากผลิตภัณฑ์ที่มีซิงค์เป็นส่วนประกอบจากนั้นจะเกิดการจับตัวกันของซิงค์ไอออนและฟอสเฟตไอออนที่โครงข่ายของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์สร้างเป็น α -hopeite-like phase ที่ผิวเคลือบฟัน ซึ่งสามารถยับยั้งการสูญเสียฟอสเฟตออกจากผิวเคลือบฟันได้ อย่างไรก็ตามการสร้างผลึกดังกล่าวจะเกิดเฉพาะในสภาวะความเป็นกรดต่าง

ที่เหมาะสม มีความเข้มข้นของซิงค์ไอออนที่เพียงพอและอยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกับซีเมนต์ แต่การศึกษาในครั้งนี้ให้ผลการศึกษาที่แตกต่างจากผลการศึกษาในอดีต ซึ่งพบว่า ZP ที่ไม่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์ไม่สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ถูกยึดด้วยซีเมนต์²⁰ แต่เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการวิจัยแล้วพบว่า การศึกษาดังกล่าวเป็นการนำฟันตัวอย่างที่ถอดแถบรัดฟันและกำจัด ZP ออกหมดแล้วมาแช่ในสารละลายกรดแลคติกเพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งอาจเป็นภาวะที่ไม่เกิดการปลดปล่อยซิงค์ไอออนออกมาในความเข้มข้นที่เพียงพอสำหรับการสร้างผลึก α -hopeite-like phase ที่มีความสามารถต้านทานต่อการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้ ส่งผลให้การศึกษาดังกล่าวแตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้

สำหรับ ZPC ที่เลือกใช้ในการศึกษานี้เป็นชนิดที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบ จึงทำให้ ZPC สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้ ทั้งจากคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์และการปลดปล่อยซิงค์ไอออนดังที่กล่าวข้างต้นแล้ว แม้จะยังไม่มีการศึกษาถึงปริมาณหรือความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจาก ZPC แต่จากผลการศึกษาในอดีตพบว่าผิวเคลือบฟันที่ผ่านการยึดด้วย ZPC ชนิดที่มีฟลูออไรด์สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้มากกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งไม่ถูกยึดด้วยซีเมนต์ชนิดใดมาก่อน²⁰ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการพัฒนาซีเมนต์สำหรับยึดแถบรัดฟันขึ้นมามีอีกหลายชนิด เช่น ซีเมนต์ชนิดที่มีส่วนผสมของซีพีพี-เอซีพี หรือซีเมนต์ชนิดที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น ซึ่งหากมีการศึกษาเพิ่มเติมอาจจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการเลือกใช้ซีเมนต์ยึดแถบรัดฟันต่อไป

Millet และคณะ¹⁶ แนะนำข้อพิจารณา 4 ประการ ในการเลือกใช้ซีเมนต์สำหรับยึดแถบรัดฟัน คือ ต้องเป็นซีเมนต์ที่ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง ให้การยึดติดที่ดีแต่ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียผิวเคลือบฟันขณะถอดเครื่องมือและสามารถป้องกันการเกิดฟันผุที่ผิวเคลือบฟันได้จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าฟันซึ่งยึดด้วย ZP, ZPC, GI และ RMGI-PP ไม่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณขอบของแถบรัดฟัน แต่เมื่อคำนึงถึงข้อพิจารณาอื่น ๆ ข้างต้นแล้ว พบว่า แม้ ZP และ ZPC จะมีราคาไม่แพง แต่มีอัตราการละลายตัวสูงและมีความแข็งแรงต่ำ^{36,37} จึงไม่เหมาะสำหรับใช้ยึดแถบรัดฟันที่ต้องการการยึดติดที่ดีในระยะยาว ส่วน GI เป็นซีเมนต์ที่สามารถถอดแถบรัดฟันออกได้ง่ายและมีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ แต่ในช่วงแรกของการก่อตัวต้องหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับความชื้น เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีวัสดุมีความไวต่อการดูดน้ำและสูญเสียน้ำ อันจะเป็นสาเหตุทำให้วัสดุเกิดความอ่อนแอได้³⁸ ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวอาจทำได้ยากในผู้ป่วยเด็กที่ไม่ให้ความร่วมมือ อีกทั้งเป็นวัสดุที่ต้อง

ทำการตวงให้ได้สัดส่วนและผสมให้มีลักษณะที่เหมาะสมก่อนการใช้งาน จึงอาจเกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการตวงและผสมได้ สำหรับ RMGI-PP เป็นซีเมนต์ชนิดสองหลอดที่ใช้งานได้ง่ายขึ้น โดยถูกออกแบบให้สามารถบีบซีเมนต์ออกจากหลอดให้มีสัดส่วนที่พอดีต่อการผสมให้ได้เนื้อซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน และเนื่องจาก PMCR-PP ให้การยึดติดที่ดี⁹ จึงอาจเป็นทางเลือกในกรณีที่ต้องการการยึดติดที่ดีในระยะยาว แต่ต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายด้วยเนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูง

สำหรับฟันที่ยึดด้วย RMGI-PL แม้จะมีการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณขอบของแถบรัดฟันขึ้น แต่เกิดน้อยกว่ากลุ่ม Control แสดงว่าซีเมนต์มีความสามารถในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุอยู่บ้าง และเมื่อพิจารณาการใช้งาน แม้ว่าผู้ใช้จะต้องตวงและทำการผสมให้ได้ซีเมนต์ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน แต่สามารถทำให้แข็งตัวได้ทันทีด้วยการใช้แสงกระตุ้น ทำให้ลดระยะเวลาในการทำงานลง ส่วนฟันที่ยึดด้วย PMCR จากการศึกษาพบว่าเกิดการสูญเสียแร่ธาตุไม่ต่างไปจากกลุ่ม Control แต่เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ พบว่า PMCR เป็นซีเมนต์ชนิดหลอดเดียวทำให้ใช้งานได้ง่าย ราคาไม่แพง และสามารถทำให้แข็งตัวได้โดยการใช้แสงกระตุ้น จึงอาจพิจารณาเลือกใช้ในกรณีที่ต้องการความรวดเร็วในการทำงาน อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ซีเมนต์สำหรับยึดแถบรัดฟันในผู้ป่วยแต่ละราย นอกจากจะต้องพิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแล้ว การติดตามการรักษาอย่างสม่ำเสมอเป็นอีกปัจจัยที่จะช่วยให้ทันตแพทย์สามารถประเมินความเสี่ยงต่อการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณขอบของแถบรัดฟัน และสามารถเลือกใช้มาตรการทางทันตกรรมป้องกันได้อย่างทัน่วงที่ ทั้งนี้ในผู้ป่วยที่มีเครื่องมือในช่องปาก ควรได้รับการแนะนำและฝึกปฏิบัติในการทำความสะอาดในช่องปากอย่างสม่ำเสมอ

บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า ฟันที่ยึดแถบรัดฟันด้วย ZP, ZPC, GI และ RMGI-PP ไม่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณขอบของแถบรัดฟัน แต่พบว่าฟันที่ยึดแถบรัดฟันด้วย RMGI-PL, PMCR และกลุ่ม Control เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันขึ้น โดยกลุ่ม RMGI-PL เกิดการสูญเสียแร่ธาตุน้อยกว่ากลุ่ม Control ขณะที่กลุ่ม PMCR เกิดการสูญเสียแร่ธาตุไม่ต่างจากกลุ่ม Control

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทโลออนส์ ประเทศไทย จำกัด ภาควิชาชีวเคมี ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน และภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันต-

แพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือในการทดสอบ และอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการวิจัย และกราบขอบพระคุณ ผศ.ทญ.ดร.อ้อยทิพย์ ชาญการคำ และ ศ.(พิเศษ) ทญ.ชุตินา ไตรรัตน์วรกุล ที่ช่วยให้คำปรึกษาและชี้แนะการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1982; 81(2):93-8.
- Mizrahi E. Enamel demineralization following orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1982;82(1):62-7.
- Tufekci E, Dixon JS, Gunsolley JC, Lindauer SJ. Prevalence of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances. *Angle Orthod* 2011;81(2):206-11.
- Mizrahi E. Surface distribution of enamel opacities following orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1983;84(4):323-31.
- Oggard B, Rolla G, Arends J, Tencate JM. Orthodontic appliance and enamel demineralization. Part 2. Prevention and treatment of lesion. *Am J Orthod* 1988;94(2):123-8.
- Benson PE, Shah AA, Millett DT, Dyer F, Parkin N, Vine RS. Fluorides, orthodontics and demineralization: a systematic review. *J Orthod* 2005;32(2):102-14.
- Marcusson A, Norevall LI, Persson M. White spot reduction when using glass ionomer cement for bonding in orthodontics: a longitudinal and comparative study. *Eur J Orthod* 1997;19(3):233-42.
- Valk JW, Davidson CL. The relevance of controlled fluoride release with bonded orthodontic appliances. *J Dent* 1987;15(6):257-60.
- Hamula W, Hamula DW, Brower K. Glass ionomer update. *J Clin Orthod* 1993;27(8):420-5.
- Tantbirojn D, Falsafi A, Mitra SB, DeLong R, Douglas WH, Ton T. Fluoride release and dentin caries inhibition adjacent to resin-modified glass-ionomer luting cements. *Chin Dent J* 2005;24(3):127-33.
- Nicholson JW. Polyacid-modified composite resins ("compomers") and their use in clinical dentistry. *Dent Mater* 2007;23(5):615-22.
- Millett DT, Kamahli K, McColl J. Comparative laboratory investigation of dual-cured vs. conventional glass ionomer cements for band cementation. *Angle Orthod* 1998;68(4):345-50.
- Aggarwal M, Foley TF, Rix D. A comparison of shear-peel band strengths of 5 orthodontic cements. *Angle Orthod* 2000;70(4):308-16.
- Wheeler AW, Foley TF, Mamandras A. Comparison of fluoride release protocols for in-vitro testing of 3 orthodontic adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121(3):301-9.
- Shimazu K, Ogata K, Karibe H. Evaluation of the caries-preventive

- effect of three orthodontic band cements in terms of fluoride release, retentiveness, and microleakage. *Dent Mater J* 2013;32(3):376-80.
16. Millett DT, Glennly AM, Mattick RCR, Mandall NA. Adhesives for fixed orthodontic bands (Review). *Cochrane Database of Syst Re*. 2016(10):CD004485.
17. de Josselin de Jong E, Sundstrom F, Westerling H, Tranaeus S, ten Bosch JJ, Angmar-Mansson B. A new method for *in vivo* quantification of changes in initial enamel caries with laser fluorescence. *Caries Res* 1995;29(1):2-7.
18. Pretty IA, Pender N, Edgar WM, Higham SM. The *in vitro* detection of early enamel de- and re-mineralization adjacent to bonded orthodontic cleats using quantitative light-induced fluorescence. *Eur J Orthodont* 2003;25(3):217-23.
19. Behnan SM, Arruda AO, Gonzalez-Cabezas C, Sohn W, Peters MC. In-vitro evaluation of various treatments to prevent demineralization next to orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138(6):712.e1-e7.
20. Foley T, Aggarwal M, Hatibovic-Kofman S. A comparison of *in vitro* enamel demineralization potential of 3 orthodontic cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121(5):526-30.
21. Vorhies AB, Donly KJ, Staley RN, Wefel JS. Enamel demineralization adjacent to orthodontic brackets bonded with hybrid glass ionomer cements: an *in vitro* study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114(6):668-74.
22. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 2016; 15(2):155-63.
23. Baysal A, Ulusoy SN, Uysal T. Evaluation of enamel demineralization in adolescents after rapid maxillary expansion using the quantitative light-induced fluorescence method: A single-center, randomized controlled clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016; 150(5):731-9.
24. Ko HY, Kang SM, Kim HE, Kwon HK, Kim BI. Validation of quantitative light-induced fluorescence-digital (QLF-D) for the detection of approximal caries *in vitro*. *J Dent* 2015;43(5):568-75.
25. Hegde AB, Patil T, Khandekar S, Gupta G, Nayak USK. Comparative assessment of resistance to enamel demineralization after orthodontic banding with three different cements- An *in vitro* study. *Cumhuriyet Dent J* 2014;17(2):159-65.
26. Prabhavathi V, Jacob J, Kiran MS, Ramakrishnan M, Sethi E, Krishnan CS. Orthodontic cements and demineralization: An *in vitro* comparative scanning electron microscope study. *J Int Oral Health* 2015;7(2):28-32.
27. Vanmiller EJ, Donly KJ. Enamel demineralization inhibition by cements at orthodontic band margins. *Am J Dent* 2003;16(5):356-8.
28. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Tagliani P, Klersy C. *In-vitro* fluoride release rates from 9 orthodontic bonding adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132(5):656-62.
29. Rolla G, Saxegaard E. Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides, with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibition. *J Dent Res* 1990;69(Spec Iss):780-5.
30. ten Cate JM. Current concepts on the theories of the mechanism of action of fluoride. *Acta Odontol Scand* 1999;57(6):325-9.
31. Gillgrass TJ, Millett DT, Creanor SL, MacKenzie D, Bagg J, Gilmour WH, *et al*. Fluoride release, microbial inhibition and microleakage pattern of two orthodontic band cements. *J Dent* 1999;27(6):455-61.
32. Komori A, Kojima I. Evaluation of a new 2-paste glass ionomer cement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123(6):649-52.
33. Ahn SJ, Lee SJ, Lee DY, Lim BS. Effects of different fluoride recharging protocols on fluoride ion release from various orthodontic adhesives. *J Dent* 2011;39(3):196-201.
34. Crisp S, O'Neill IK, Prosser HJ, Stuart B, Wilson AD. Infrared spectroscopic studies on the development of crystallinity in dental zinc phosphate cements. *J Dent Res* 1978;57(2):245-54.
35. Mohammed NR, Mneimne M, Hill RG, Al-Jawad M, Lynch RJ, Anderson P. Physical chemical effects of zinc on *in vitro* enamel demineralization. *J Dent* 2014;42(9):1096-104.
36. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Dental cements. Phillips' science of dental materials. 12th ed. Missouri: Elsevier; 2003. p. 307-39.
37. Hatrick CD, Eakle WS. Dental cement. Dental materials clinical applications for dental assistants and dental hygienists. 2nd ed. Missouri: Elsevier; 2016. p. 220-42.
38. Wilder AD, Jr., Swift EJ, Jr., May KN, Jr., Thompson JY, McDougal RA. Effect of finishing technique on the microleakage and surface texture of resin-modified glass ionomer restorative materials. *J Dent* 2000;28(5):367-73.
39. Sfondrini MF, Cacciafesta V, Noga E, Scribante A, Klersy C. *In vitro* bond strength evaluation of four orthodontic cements. *J Adhes Dent* 2010;12:131-5.