

การศึกษาความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางบริเวณขอบแถบรัดฟันซึ่งยึดด้วยซีเมนต์ Cross-Sectional Microhardness of Area Adjacent to Cemented Bands

ชวลิต เพียรมี¹, ทิพวรรณ ธาราพัฒนานนท์¹, สมกมล วณิชวัฒนา¹

Chawalid Pianmee¹, Thipawan Tharapiwattananon¹, Somkamol Vanichvatana¹

¹ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

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

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของซีเมนต์ยึดแถบรัดฟันต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ขอบของแถบรัดฟัน เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยใช้ฟันกรามน้อยแท้ซี่บนของมนุษย์จำนวน 60 ซี่ ทำการขัดผิวฟัน และทาสียาทาเล็บที่ผิวฟัน ยกเว้นบริเวณช่องหน้าต่างทดลองขนาด 1 x 2 ตารางมิลลิเมตร ที่กึ่งกลางตัวฟันด้านไกลกลาง แบ่งฟันเป็น 6 กลุ่มเพื่อยึดด้วย (1) ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (ZP) (2) ซิงค์โพลีคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ (ZPC) (3) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (GI) (4) เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดผงและน้ำ (RMGI-PL) (5) เรซินมอดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดสองหลอด (RMGI-PP) และ (6) โพลีเอซิดมอดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน (PMCR) จากนั้นนำขึ้นตัวอย่างผ่านการจำลองภาวะอุณหภูมิร้อนเย็นในช่องปากนาน 24 ชั่วโมง และสภาวะการสูญเสียและคืนกลับแร่ธาตุเป็นเวลา 21 วัน ทำการรื้อแถบรัดฟันและกำจัดซีเมนต์ก่อนทำการตัดแบ่งฟันในแนวใกล้กลาง - ไกลกลาง เพื่อนำไปทดสอบความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางของเคลือบฟัน ที่ระยะห่างจากขอบของแถบรัดฟัน 50 400 700 ไมครอน และบริเวณใต้ต่อแถบรัดฟัน ระยะละ 6 จุด ในระดับความลึก 10 25 40 60 80 และ 100 ไมครอนจากผิวเคลือบฟัน จากการพิจารณาภาพรวมของค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางที่ลดลงในชั้นเคลือบฟันของซีเมนต์แต่ละชนิด พบว่ากลุ่ม RMGI-PP < ZPC < GI < ZP = RMGI-PL < PMCR ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางระหว่างซีเมนต์ พบว่าในระดับความลึก 10 ไมครอน RMGI-PP และ ZPC มีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางน้อยกว่า RMGI-PL และ PMCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม RMGI-PP ZPC GI และ ZP ที่ระยะ 50 ไมครอนจากขอบแถบรัดฟัน จึงสรุปได้ว่า RMGI-PP เป็นซีเมนต์ชนิดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันบริเวณขอบแถบรัดฟัน แต่ RMGI-PP ZPC GI และ ZP ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุบริเวณใกล้เคียงพื้นผิวเคลือบฟันที่ติดขอบแถบรัดฟันได้ไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: การสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟัน, ซีเมนต์ยึดแถบรัดฟัน, ความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวาง

Abstract

This study aimed to compare the efficacy of banding cement on enamel demineralization at the area adjacent to cemented bands. This in vitro study was conducted on 60 human premolars. The teeth were smooth polished and painted with nail varnish, except a 1 x 2 mm² window on the middle of distal surfaces. Sixty teeth were divided into 6 groups: (1) zinc phosphate cement (ZP), (2) zinc polycarboxylate cement (ZPC), (3) conventional glass

ionomer cement (GI), (4) resin-modified glass ionomer cement - powder/liquid (RMGI-PL), (5) resin-modified glass ionomer cement - paste/paste (RMGI-PP), and (6) polyacid-modified composite resin (PMCR). All specimens were thermocycled for 24 hours, and pH cycled for 21 days. The teeth were then debanded, decemented, mesiodistally sectioned, and assessed by cross-sectional microhardness. Determinations were made at cervical points 50, 400 and 700 micron away from the band margin and beneath the bands. In all of these positions, 6 indentations were made at depth of 10, 25, 40, 60, 80, and 100 micron from the polished enamel surface. The enamel cross-sectional microhardness reductions of each cement type was found that $RMGI-PP < ZPC < GI < ZP = RMGI-PL < PMCR$. The multiple comparison test of percent change cross-sectional microhardness showed that the RMGI-PP and ZPC groups were significantly less than the RMGI-PL and PMCR groups at depths of 10 micron. There were no statistically significant differences between the RMGI-PP, ZPC, GI and ZP groups at 50 micron from the band margins. It is concluded that RMGI-PP showed the most effective results in inhibiting demineralization at the area adjacent to cemented bands, but not different effective for reducing superficial enamel demineralization surrounding bands between RMGI-PP, ZPC, GI, and ZP.

Keywords: Enamel demineralization, Orthodontic band cement, Cross-sectional microhardness

Received Date: Feb 11, 2020

Revised Date: Mar 10, 2020

Accepted Date: Apr 30, 2020

doi: 10.14456/jdat.2020.23

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

สมกมล วนิชวัฒนะ, ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 34 ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย โทรศัพท์: 02-218-8909 อีเมล: somkamol.v@chula.ac.th

Correspondence to:

Somkamol Vanichvatana, Department of Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, 34 Henri-Dunant Road, Wangmai, Pathumwan, Bangkok, 10330 Thailand. Tel: 02-218-8909 Email: somkamol.v@chula.ac.th

บทนำ

แถบรัดฟันเป็นเครื่องมือที่ใช้ร่วมกับเครื่องมือกันที่ฟันในทันตกรรมสำหรับเด็ก และใช้เป็นแถบรัดจัดฟันสำหรับงานทันตกรรมจัดฟัน อย่างไรก็ตามการมีเครื่องมือชนิดติดแน่นจำพวกแถบรัดฟันหรือแบร็กเกตอยู่ในช่องปาก มักก่อให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันหรือเกิดฟันผุได้ง่าย¹⁻³ จากการรายงานของ Mizrahi พบว่าหลังจากการยึดแถบรัดฟันจะเพิ่มความขรุขระและความรุนแรงของการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณคอฟันและกึ่งกลางฟันด้านข้างแก้มมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่งบนและล่าง⁴ เนื่องจากเป็นฟันที่ทำความสะอาดได้ยาก ทำให้เกิดการสะสมของเศษอาหาร และคราบจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น⁵

การป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันในผู้ป่วยที่มีเครื่องมือในช่องปาก ทำได้โดยการแนะนำให้ผู้ป่วยมีความสามารถ

ในการทำมาสะอาดช่องปากของตนเองได้ ร่วมกับการใช้ฟลูออไรด์เฉพาะที่ชนิดต่าง ๆ⁶ แต่วิธีดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ป่วยเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำหรับผู้ป่วยเด็ก หรือผู้ป่วยที่มีความต้องการพิเศษ ดังนั้นการศึกษาถึงความสามารถในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุ และส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการพิจารณาเลือกใช้ซีเมนต์สำหรับยึดแถบรัดฟันที่เหมาะสมต่อไป

ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์เป็นซีเมนต์ชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้สำหรับการยึดแถบรัดฟัน แต่เนื่องจากมีการละลายตัวสูง มีความแข็งแรงต่ำ ไม่มีคุณสมบัติปลดปล่อยฟลูออไรด์ และมีความเป็นกรดสูงในระหว่างปฏิกิริยาการก่อตัว จึงทำให้ได้รับความนิยมน้อยลงในปัจจุบัน ซิงค์โพลีคาร์บอกซิเลตซีเมนต์เป็นอีกชนิดที่มีการนำมาใช้

สำหรับยึดแถบรัดฟัน เนื่องจากสามารถยึดติดกับฟันได้ มีการละลายตัวในช่องปากและระคายเคืองต่อประสาทฟันน้อยกว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ แต่มีข้อจำกัดคือ มีความหนืดสูงและมีระยะเวลาก่อตัวสั้น ทำให้มีระยะเวลาในการทำงานสั้นลง ปัจจุบันบางยี่ห้อมีการพัฒนาให้มีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ร่วมด้วย⁷

วัสดุชนิดกลาสไอโอโนเมอร์เป็นอีกกลุ่มที่ได้รับความนิยมสำหรับใช้ยึดเครื่องมือในช่องปาก มีหลายประเภท ได้แก่ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ซึ่งพบว่าสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์และลดการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันที่ยึดเครื่องมือด้วยซีเมนต์ชนิดนี้ได้⁸ แต่พบว่ามีอาการกัดเหงือกที่ต่ำกว่าวัสดุจำพวกเรซิน⁹ ส่งผลให้มีการละลายของซีเมนต์ออกบางส่วน ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแถบรัดฟันกับตัวฟัน และมีคราบจุลินทรีย์สะสมบริเวณดังกล่าวได้ง่ายขึ้น อันเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันได้ ต่อมา มีการพัฒนาเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ขึ้น โดยเติมส่วนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ซึ่งต้องอาศัยแสงในการบ่มตัวลงในกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม ทำให้ซีเมนต์มีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์เหมือนกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมและมีความแข็งแรงเหมือนเรซินคอมโพสิต¹⁰ เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในระยะแรกถูกผลิตออกมาในรูปแบบของผงและน้ำ ซึ่งต้องผสมตามอัตราส่วนที่บริษัทแนะนำ ต่อมาได้มีการผลิตในรูปแบบหลอดขึ้น เพื่อควบคุมอัตราส่วนสำหรับการผสม ทำให้ได้ซีเมนต์ที่มีลักษณะเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น¹¹ วัสดุอีกกลุ่มคือ โพลีแอซิดโมดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน โดยมีส่วนผสมเป็นวัสดุอุดแทรกชนิดแก้วแคลเซียมฟลูออโรลูมิโนซิลิเกตและโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด ซึ่งเมื่อวัสดุเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันแล้วจะเกิดการดูดซึมน้ำเข้าไป ส่งผลให้โมโนเมอร์แตกตัว และเกิดปฏิกิริยาการด่างกับแก้วแคลเซียมฟลูออโรลูมิโนซิลิเกต ทำให้เกิดการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้¹² มักเป็นซีเมนต์ชนิดหลอดเดียวไม่จำเป็นต้องผสมก่อนการใช้งาน ทำให้ใช้งานได้ง่าย

ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ผ่านมาพบว่า ซีเมนต์ยึดแถบรัดฟันชนิดโพลีแอซิดโมดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน และเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้ค่าการยึดติดที่ดีกว่า ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ^{13,14} และยังพบว่าเรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดผงและน้ำ เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดสองหลอด และโพลีแอซิดโมดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน มีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์^{11,15} และมีการรั่วซึมระดับจุลภาคต่ำ¹⁶ อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบล่าสุดของ Millett และคณะ¹⁷ ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าซีเมนต์ชนิดใดให้ผลดีที่สุดสำหรับใช้ยึดแถบรัดฟัน ทั้งในแง่ของการยึดติดและการป้องกันการเกิดฟันผุระหว่างใช้ยึดแถบรัดฟัน การวิจัยในครั้งนี้จึงต้องการศึกษาคุณสมบัติในการยับยั้ง

การสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันบริเวณขอบของแถบรัดฟัน ซึ่งยึดด้วยซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ คือ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ ซิงค์โพลีคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดผงและน้ำ เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดสองหลอด และโพลีแอซิดโมดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน ด้วยเทคนิคการศึกษาความแข็งแรงระดับจุลภาคชนิดตัดขวาง (cross-sectional microhardness: CMH) เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับการยึดแถบรัดฟันต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์ (HREC-DCU 2018-024) และผ่านการประเมินความปลอดภัยทางชีวภาพ (DENT CU-IBC 004/2018) จากคณะกรรมการควบคุมความปลอดภัยทางชีวภาพ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเตรียมฟันตัวอย่าง

ทำการคัดฟันกรามน้อยแท้ขึ้นของมนุษย์ที่ได้รับการถอนด้วยเหตุผลทางทันตกรรม และแช่ในน้ำยาไหมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1 จำนวน 60 ซี่ โดยแต่ละซี่ต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่พบรอยร้าว รอยผุ วัสดุบูรณะ หรือความผิดปกติของผิวฟันหลังจากตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ ทำการขัดผิวฟันด้วยผงขัดปราศจากฟลูออไรด์ และล้างให้สะอาดด้วยน้ำกั้น จากนั้นทำการขัดผิวเคลือบฟันบริเวณกึ่งกลางด้านไกลกลางด้วยกระดาษทรายน้ำละเอียด 800 กริท ร่วมกับเครื่องขัดฟันความเร็ว 100 รอบต่อวินาที ให้ผิวเคลือบฟันได้ระนาบ และขนาดพื้นที่อย่างน้อย 3 × 4 ตารางมิลลิเมตร ตรวจสอบว่าไม่มีการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การเรืองแสงเชิงปริมาณด้วยการใช้แสงกระตุ้นชนิดดิจิทัล (quantitative light-induced fluorescence-digital)

เตรียมแถบรัดฟันชนิดทำเอง โดยใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมโอบรอบฟันให้ได้ขนาดที่พอดีกับฟันแต่ละซี่ กำหนดให้ขอบล่างของแถบรัดฟันอยู่ที่ระดับกึ่งกลาง (middle 1/3) ของตัวฟัน และมีผิวเคลือบฟันที่ขัดแล้วอยู่ที่ขอบล่างของแถบรัดฟันอย่างน้อย 2 × 4 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยเครื่องเชื่อม ใช้ band pusher กดแถบรัดฟันให้แนบกับตัวฟัน และมีช่องว่างสำหรับซีเมนต์อยู่ระหว่าง 0.08 – 0.12 มิลลิเมตร เมื่อวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ

ทำช่องหน้าต่างทดลองขนาด 1 × 2 ตารางมิลลิเมตร ให้ขอบบนของช่องหน้าต่างอยู่ระดับเดียวกับขอบล่างของแถบรัดฟัน ทำน้ำยาทาเล็บโดยรอบช่องหน้าต่าง ยกเว้นขอบบนของช่องหน้าต่าง ทำให้น้ำยาทาเล็บสูงขึ้นไปเพียง 0.5 มิลลิเมตรเท่านั้น รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1

ของแถบรัดฟันด้านใกล้เหงือก จากนั้นใส่ให้เข้ากับตัวฟัน
กำจัดซีเมนต์ส่วนเกิน รอให้แข็งตัว 3 นาที

กลุ่มโพลีเอซิดมอดิฟายด์คอมโพสิตเรซิน (PMCR) ยี่ห้อ
Ultra Band-Lok® ฉีดซีเมนต์เข้าที่ด้านในของแถบรัดฟัน ใช้พาย
พลาสติกเกลี่ยซีเมนต์บาง ๆ ให้ทั่ว ใส่แถบรัดฟันให้เข้ากับฟัน

กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออกบางส่วน จากนั้นฉายแสงจากทางด้าน
บดเคี้ยว 1 วินาที กำจัดซีเมนต์ส่วนเกินที่เหลือออก วางปลายเครื่อง
ฉายแสงที่รอยต่อของฟันและแถบรัดฟันทางด้านบดเคี้ยว หมุนปลาย
เครื่องฉายแสงเป็นวงกลมโดยรอบด้านบดเคี้ยว เป็นเวลา 30 วินาที

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของซีเมนต์แต่ละชนิด

Table 1 Components of cements

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

นำขึ้นฟันตัวอย่างทุกซี่แช่ในน้ำปราศจากไอออนจนกว่า
จะได้รับการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

การจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนเย็น (thermo-
cycling)

จำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบร้อนเย็น ที่
อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สลับกับ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 1,440
รอบ รอบละ 30 วินาที โดยมีระยะพักระหว่างการสลับ 5 วินาที¹⁸
จากนั้นทิ้งขึ้นงานให้แห้ง 30 นาที ทาน้ำยาทาเล็บที่บริเวณขอบของ
แถบรัดฟันให้ทั่ว ยกเว้นขอบของแถบรัดฟันเหนือช่องหน้าต่างทดลอง

ทิ้งฟันตัวอย่างให้แห้ง 30 นาที ก่อนแช่ในน้ำปราศจากไอออนเพื่อ
รอทดสอบในขั้นตอนต่อไป

การจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่องปาก
(pH cycling)

นำขึ้นฟันตัวอย่างแช่ในสารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสีย
แร่ธาตุ (demineralization solution) วันละ 3 ครั้ง ครั้งละ 35
นาที ในเวลา 7.25 น. 12.25 น. และ 17.25 น. สลับกับการแช่
ในน้ำลายเทียม (artificial saliva) ที่ปราศจากฟลูออไรด์ในตู้เขย่า
และควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน โดยทำ

การล้างฟันตัวอย่างด้วยน้ำปราศจากไอออน 20 วินาทีก่อนเปลี่ยนน้ำยา และกำหนดให้เปลี่ยนเป็นน้ำยาชุดใหม่ก่อนเริ่มแช่ในช่วงเช้าของทุกวัน

ส่วนประกอบของสารละลายที่ใช้ผลิตโดยภาควิชาชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คือ สารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ pH 4.4 ประกอบด้วย โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 2.2 มิลลิโมลต่อลิตร แคลเซียมคลอไรด์ 2.2 มิลลิโมลต่อลิตร และกรดอะซิติก 50 มิลลิโมลต่อลิตร และน้ำลายเทียม pH 7 ประกอบด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต 20 มิลลิโมลต่อลิตร โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 3 มิลลิโมลต่อลิตร และแคลเซียมคลอไรด์ 1 มิลลิโมลต่อลิตร¹⁹

การวัดความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวาง

หลังจำลองการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่องปาก ทำการบากที่ผิวฟันลึก 0.5 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดฟัน โดยห่างจากขอบล่างของแถบรัดฟันไปทางรากฟัน 3 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับกำหนดตำแหน่งในการวัดความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวาง จากนั้นถอดแถบรัดฟัน กำจัดชีเมนต์ที่เหลืออยู่และใช้เครื่องมือลอกน้ำยาทาเล็บออก

นำฟันตัวอย่างหล่อด้วยเรซินชนิดใส และทำการตัดแบ่งฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางเป็น 2 ส่วน โดยกำหนดให้ตัดแบ่งครึ่งช่องหน้าต่างทดลองออกเป็นด้านใกล้แก้มและด้านใกล้ลิ้น ให้แต่ละชิ้นมีความหนา 2 มิลลิเมตร ขัดผิวด้านที่ต้องการวัดด้วยกระดาษทรายน้ำความละเอียด 800 1,000 และ 1,200 กริต ตามลำดับ จากนั้นขัดด้วยผงขัดอะลูมินาและเชย้าชิ้นงานในเครื่องเชย้าเป็นเวลา 10 นาที

ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะถูกปิดลำดับที่และกลุ่มการทดลอง โดยให้บุคคลภายนอกที่ไม่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเป็นผู้สุ่มหมายเลขลำดับชิ้นมาใหม่เพื่อใช้ระหว่างการวัด และจะทำการเปิดลำดับที่และกลุ่มการทดลองเดิมเมื่อทำการวัดเสร็จสิ้น วัดค่า CMH ด้วยเครื่องวัดความแข็งระดับจุลภาค (Microhardness Tester, FM-810, Future-Tech®, Japan) กำหนดให้ใช้หัวกดชนิดนูป (Knoop) แรงกดน้ำหนัก 50 กรัม นาน 5 วินาที²⁰ โดยอ้างอิงตำแหน่งสำหรับการกดจากรอยบากที่ทำไว้ แต่ละชิ้นให้กดจำนวน 5 แถว คือห่างจากขอบแถบรัดฟัน 50 400 และ 700 ไมครอนตำแหน่งละ 1 แถว และได้แถบรัดฟันบริเวณที่ถูกทาน้ำยาทาเล็บจำนวน 2 แถว เพื่อใช้เป็นค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคของเคลือบฟันปกติ โดยกดแถวละ 6 รอยกด ที่ระดับความลึก 10 25 40 60 80 และ 100 ไมครอนจากผิวฟัน และเพื่อป้องกันความผิดพลาดจากความอ่อนล้าของผู้วัด กำหนดให้ผู้วิจัยวัดค่า CMH ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมงต่อวัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 2 ชั่วโมง และมีเวลาพักระหว่างช่วง 30 นาที

คำนวณร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวาง (percent change cross-sectional microhardness: %CH CMH) ในทุกระดับความลึกของแต่ละแถว โดยเทียบกับค่าเฉลี่ยความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางของพื้นที่ได้แถบรัดฟันที่ถูกทาน้ำยาทาเล็บและกำหนดให้ใช้ค่าเฉลี่ย %CH CMH ในแต่ละระดับความลึกของแต่ละระยะห่างจากขอบแถบรัดฟันจากชิ้นงานทั้ง 2 ด้านเป็นตัวแทนค่า %CH CMH ของแต่ละซี่

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เอสพีเอสเอส รุ่น 22.0 (SPSS version 22.0, SPSS Inc., USA) ในการประมวลผล ทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลในแต่ละกลุ่มด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov test และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแปรปรวน (homogeneity of variance) ระหว่างกลุ่มด้วย Levene's test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

เปรียบเทียบค่า %CH CMH ในความลึกต่าง ๆ ของแต่ละระยะห่างจากขอบแถบรัดฟัน โดยแยกพิจารณาตามชนิดชีเมนต์ โดยหากข้อมูลมีการแจกแจงปกติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีการวัดซ้ำ (repeated measured ANOVA) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า %CH CMH ระหว่างแต่ละระดับความลึก ซึ่งหากข้อมูลมีความแปรปรวนเท่ากันกำหนดให้แปลผลสถิติ ANOVA ด้วยค่า Sphericity Assumed ถ้าหากข้อมูลมีความแปรปรวนไม่เท่ากันกำหนดให้แปลผลด้วยค่า Greenhouse-Geisser correction และเมื่อพบความแตกต่างระหว่างแต่ละระดับความลึก ใช้ Bonferroni post hoc test เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่ สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติกำหนดให้ใช้สถิติ Friedman test เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า %CH CMH ระหว่างแต่ละระดับความลึก และใช้สถิติ Dunn-Bonferroni post hoc test เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่

เปรียบเทียบ %CH CMH ของกลุ่มทดลอง 6 กลุ่ม ในแต่ละระยะห่างจากขอบแถบรัดฟันที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ข้อมูลตามการแจกแจงของข้อมูลดังนี้ ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและมีความแปรปรวนแต่ละกลุ่มเท่ากัน ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เพื่อหาความแตกต่างระหว่าง 6 กลุ่มทดลอง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หากพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ใช้ Tukey's Honestly Significant Difference เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และมีความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน ใช้ Welch ANOVA เพื่อหาความแตกต่างระหว่าง 6 กลุ่มทดลอง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หากพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ใช้ Games-Howell test เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

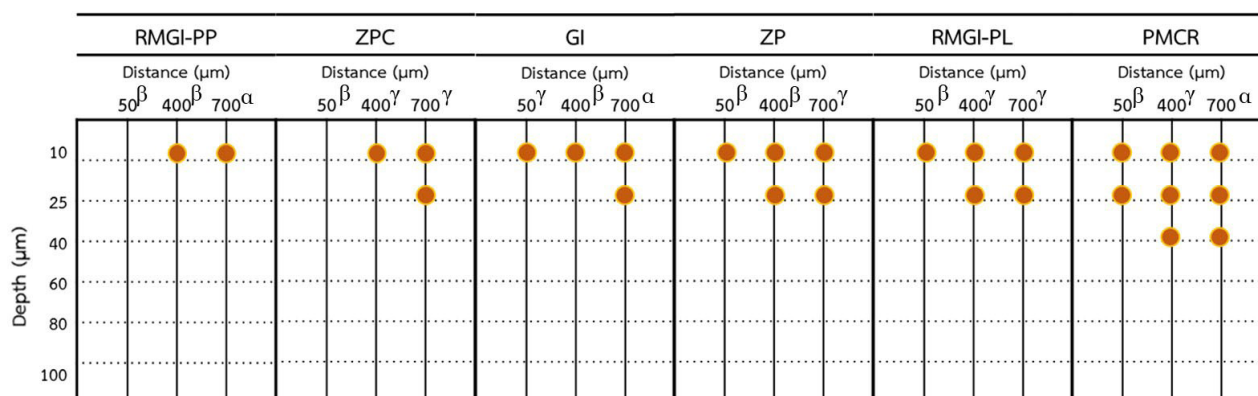
และถ้าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ใช้สถิติไคร์พารามิเตอร์ชื่อ Kruskal-Wallis test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หากพบว่ามีความแตกต่างกัน จะใช้ Dunn-Bonferroni post hoc test เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่

สุ่มขึ้นฟันตัวอย่างร้อยละ 25 เพื่ออ่านค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางซ้ำ โดยกำหนดให้ห่างจากการอ่านค่าครั้งแรกอย่างน้อย 7 วัน เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้ประเมิน

(intra-rater reliability) ด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายใน-ชั้น (intraclass correlation coefficient: ICC) Model (3,1)

ผลการศึกษา

ตำแหน่งของชั้นเคลือบฟันที่มีค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของซีเมนต์แต่ละชนิดแสดงได้ดังรูปที่ 2



Circle symbols indicate the depths where significant reductions in cross-sectional microhardness

^γ Repeated measures ANOVA (Sphericity Assumed) with Bonferroni post hoc test

^α Repeated measures ANOVA (Greenhouse-Geisser correction) with Bonferroni post hoc test

^β Friedman test with Dunn-Bonferroni post hoc test

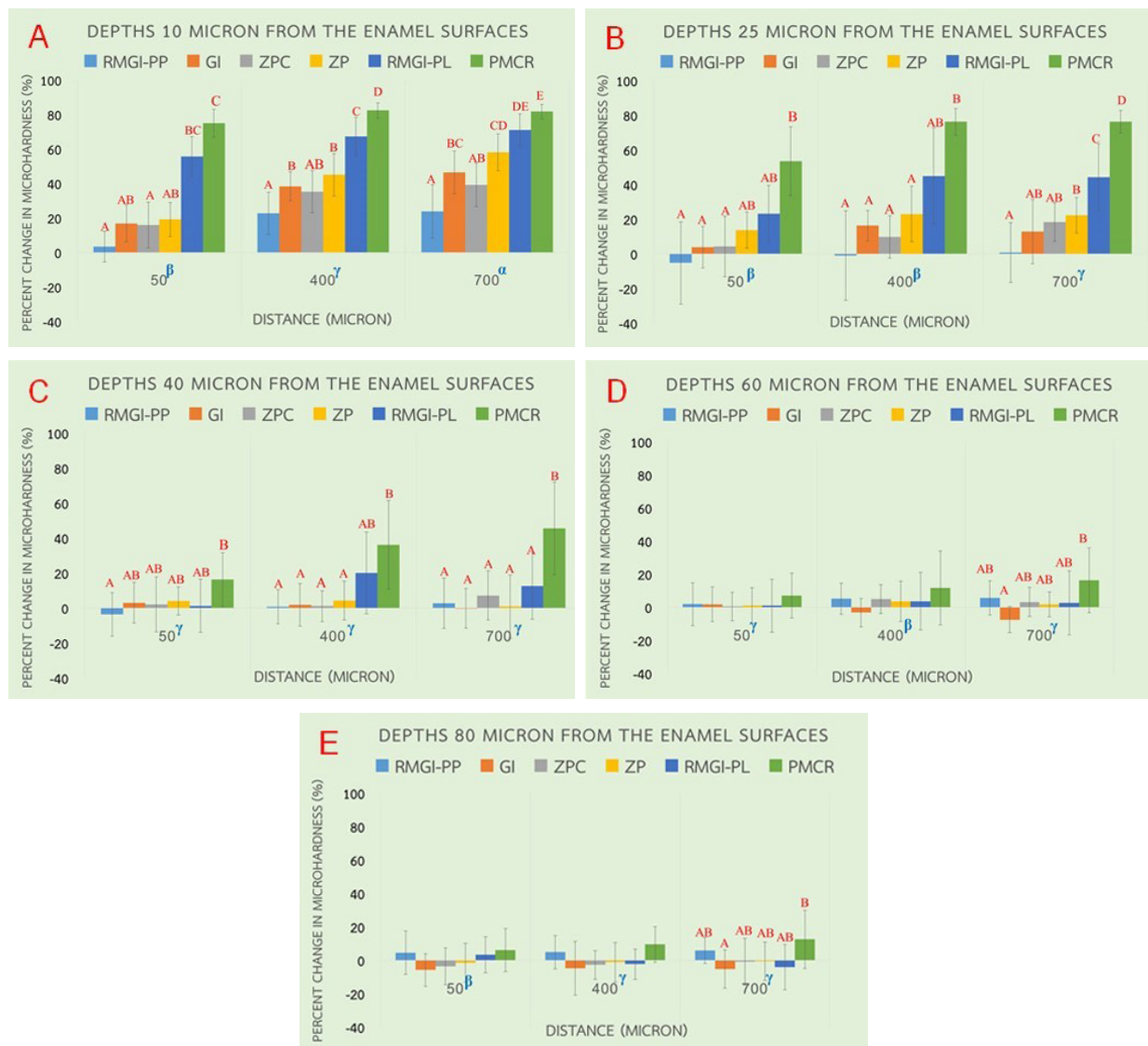
รูปที่ 2 ความลึกที่มีความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละระยะห่างแยกตามชนิดซีเมนต์

Figure 2 The depths where significant reductions in cross-sectional microhardness for each distance of each cement type

ซึ่งพบว่าชั้นเคลือบฟันของกลุ่ม RMGI-PP และ ZPC มีการลดลงของค่า CMH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความลึก 10 ไมครอนเฉพาะที่ระยะ 400 และ 700 ไมครอนจากขอบแถบรัดฟัน ยกเว้นกลุ่ม ZPC ซึ่งพบการลดลงของค่า CMH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความลึก 25 ไมครอนที่ระยะห่าง 700 ไมครอนด้วย สำหรับกลุ่ม GI ZP และ RMGI-PL พบว่ามีการลดลงของค่า CMH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระยะห่างของระดับความลึก 10 ไมครอน แต่มีความแตกต่างกันในระดับความลึก 25 ไมครอน

ซึ่งพบว่ากลุ่ม GI มีการลดลงของค่า CMH เฉพาะที่ระยะห่าง 700 ไมครอน ส่วนกลุ่ม ZP และ RMGI-PL มีการลดลงของค่า CMH ทั้งที่ระยะห่าง 400 และ 700 ไมครอน เมื่อพิจารณาจากกลุ่ม PMCR พบว่ามีการลดลงของค่า CMH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนถึงระดับความลึก 40 ไมครอนด้วย

จากการเปรียบเทียบ %CH CMH ของซีเมนต์ทั้ง 6 ชนิด ในแต่ละระยะห่างจากขอบแถบรัดฟัน ที่ความลึกต่าง ๆ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 2



Different capital letters indicate statistically significant differences between groups

^γ One-way ANOVA with Tukey post-hoc test

^α Welch ANOVA with Games-Howell post-hoc test

^β Kruskal-Wallis test with Dunn-Bonferroni post hoc test

รูปที่ 3 กราฟค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละระยะห่างจากขอบแถบรัดฟันของระดับความลึกต่าง ๆ (A;ความลึก 10 ไมครอน B;ความลึก 25 ไมครอน C;ความลึก 40 ไมครอน D;ความลึก 60 ไมครอน E;ความลึก 80 ไมครอน)

Figure 3 Mean and standard deviation of cross-sectional microhardness percent change regarding distance and depth (A;Depths 10 micron, B;Depths 25 micron, C;Depths 40 micron, D;Depths 60 micron, E;Depths 80 micron)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละระยะห่างจากขอบแถบรัดฟันของระดับความลึกต่าง ๆ

Table 2 Mean and standard deviation of cross-sectional microhardness percent change regarding distance and depth

| Depths | Distances | Cement | | | | | |
|--------|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | RMGI-PP | GI | ZPC | ZP | RMGI-PL | PMCR |
| 10 | 50 ^β | 3.47±8.91 ^A | 16.91±10.85 ^{AB} | 16.02±13.30 ^A | 19.16±9.90 ^{AB} | 55.65±11.50 ^{BC} | 74.93±8.07 ^C |
| | 400 ^γ | 22.78±12.22 ^A | 38.42±8.38 ^B | 35.19±12.23 ^{AB} | 45.04±12.24 ^B | 67.34±11.06 ^C | 82.43±4.42 ^D |
| | 700 ^α | 23.90±15.49 ^A | 46.50±12.36 ^{BC} | 39.23±12.68 ^{AB} | 58.10±10.58 ^{CD} | 70.98±9.48 ^{DE} | 81.74±4.17 ^E |
| 25 | 50 ^β | -5.20±23.69 ^A | 3.87±11.88 ^A | 4.35±17.44 ^A | 13.71±10.50 ^{AB} | 23.19±16.37 ^{AB} | 53.45±19.92 ^B |
| | 400 ^β | -0.98±25.91 ^A | 16.29±8.74 ^A | 9.79±12.12 ^A | 22.99±16.04 ^A | 44.90±27.71 ^{AB} | 76.23±7.75 ^B |
| | 700 ^γ | 0.71±17.22 ^A | 12.84±18.50 ^{AB} | 18.33±11.05 ^{AB} | 22.28±10.16 ^B | 44.24±19.24 ^C | 76.34±6.40 ^D |
| 40 | 50 ^γ | -3.60±12.41 ^A | 3.05±11.60 ^{AB} | 2.08±15.71 ^{AB} | 4.09±7.96 ^{AB} | 1.26±15.18 ^{AB} | 16.27±15.36 ^B |
| | 400 ^β | 0.74±9.79 ^A | 1.90±12.24 ^A | 1.11±8.78 ^A | 4.36±11.08 ^A | 20.06±23.39 ^{AB} | 36.19±25.28 ^B |
| | 700 ^γ | 2.73±14.35 ^A | -0.10±11.29 ^A | 7.20±14.01 ^A | 0.94±17.98 ^A | 12.65±19.04 ^A | 47.57±26.42 ^B |
| 60 | 50 ^γ | 1.88±12.92 | 1.86±10.43 | 0.49±8.66 | 1.08±10.78 | 1.00±16.00 | 7.09±13.47 |
| | 400 ^β | 5.25±9.44 | -3.18±8.53 | 4.95±8.74 | 3.65±12.18 | 3.70±17.32 | 11.75±22.36 |
| | 700 ^γ | 5.67±10.36 ^{AB} | -7.46±7.93 ^A | 3.20±8.81 ^{AB} | 1.67±7.53 ^{AB} | 2.71±19.28 ^{AB} | 16.38±19.55 ^B |
| 80 | 50 ^β | 4.63±13.03 | -5.72±9.76 | -3.58±10.98 | -1.43±11.64 | 3.33±10.77 | 6.17±12.90 |
| | 400 ^γ | 4.92±9.92 | -4.69±16.08 | -2.70±8.59 | -1.05±11.80 | -2.30±9.10 | 9.54±10.69 |
| | 700 ^γ | 5.86±7.80 ^{AB} | -5.20±11.40 ^A | -0.81±14.09 ^{AB} | -0.57±11.36 ^{AB} | -4.09±13.55 ^{AB} | 12.63±17.38 ^B |
| 100 | 50 ^β | 5.95±11.58 | -2.25±9.76 | 2.15±13.02 | 1.61±14.34 | 0.54±13.76 | -0.72±12.02 |
| | 400 ^γ | 1.08±8.36 | -8.03±18.01 | -0.67±11.05 | -2.15±13.31 | 4.21±10.09 | 7.39±11.91 |
| | 700 ^γ | 7.05±9.48 | -5.35±9.26 | 5.04±15.48 | -0.79±13.10 | -1.76±14.50 | 8.00±17.83 |

Different letters indicate significant differences between groups

^γ One-way ANOVA with Turkey post-hoc test

^α Whelch ANOVA with Games-Howell post-hoc test

^β Kruskal-Wallis test with Dunn-Bonferroni post hoc test

ซึ่งพบว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย %CH CMH ในระดับความลึก 10 ไมครอน กลุ่ม RMGI-PP และ ZPC มี %CH CMH น้อยกว่ากลุ่ม RMGI-PL และ PMCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระยะห่างจากขอบแถบรัดฟัน เมื่อพิจารณาเฉพาะที่ระยะห่าง 50 ไมครอนจากขอบแถบรัดฟัน พบว่าค่าเฉลี่ย %CH CMH ของ RMGI-PP ZPC GI และ ZP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ระยะห่าง 400 ไมครอนจากขอบแถบรัดฟัน พบว่าค่าเฉลี่ย %CH CMH ของ RMGI-PP น้อยกว่า GI ZP RMGI-PL และ PMCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ %CH CMH ระหว่างกลุ่ม RMGI-PP และ ZPC และระหว่างกลุ่ม ZPC GI และ ZP สำหรับที่ระยะห่าง

700 ไมครอนจากขอบแถบรัดฟัน พบค่าเฉลี่ย %CH CMH ของ RMGI-PP น้อยกว่า GI และ ZP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ค่าเฉลี่ย %CH CMH ระหว่าง RMGI-PP และ ZPC ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาในระดับความลึก 25 – 40 ไมครอนของทุกระยะห่างจากขอบแถบรัดฟัน พบว่า RMGI-PP มีค่าเฉลี่ย %CH CMH น้อยกว่า PMCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย %CH CMH ระหว่าง RMGI-PP ZPC GI ZP และ RMGI-PL ยกเว้นในระดับความลึก 25 ไมครอนของระยะห่าง 700 ไมครอนจากขอบแถบรัดฟัน พบว่า RMGI-PP มี %CH CMH น้อยกว่า ZP RMGI-PL และ PMCR อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ในระดับความลึก 60 - 100 ไมครอนของทุกระยะห่างจากขอบแถบรัดฟัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย %CH CMH ระหว่างซีเมนต์แต่ละชนิด ยกเว้นในระดับความลึก 60 และ 80 ไมครอน ที่ระยะห่าง 700 ไมครอนจากขอบแถบรัดฟัน ซึ่งพบค่าเฉลี่ย %CH CMH ของ GI น้อยกว่า PMCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่า RMGI-PP ZPC ZP และ RMGI-PL มีค่าเฉลี่ย %CH CMH ไม่แตกต่างจากทั้ง GI และ PMCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ

การทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้ประเมิน (intra-rater reliability) จากการอ่านค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางซ้ำด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น มีค่าเท่ากับ 0.977 แสดงให้เห็นว่าการศึกษาในครั้งนี้มีความน่าเชื่อถือของผู้ประเมินอยู่ในระดับดีมาก²¹

บทวิจารณ์

รอยโรคขาวขึ้นเกิดจากการสูญเสียแคลเซียม และฟอสเฟตไอออนออกจากชั้นเคลือบฟัน หากมีการสูญเสียแร่ธาตุอย่างต่อเนื่อง อาจนำไปสู่การผุเป็นรูของชั้นเคลือบฟันซึ่งไม่สามารถทำการคืนกลับแร่ธาตุได้ งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของซีเมนต์ยึดแถบรัดฟันต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ขอบแถบรัดฟันของซีเมนต์ 6 ชนิด คือ ZP ZPC GI RMGI-PL RMGI-PP และ PMCR โดยวัดความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของแต่ละระยะห่างจากขอบแถบรัดฟัน เทียบกับความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางของเคลือบฟันปกติในซี่เดียวกัน การศึกษาในครั้งนี้ใช้ฟันกรามน้อยแท้ขึ้นของมนุษย์ที่ปราศจากรอยผุ มาผ่านการจำลองสภาวะในช่องปากด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบร้อนเย็น และจำลองการเกิดรอยโรคฟันผุด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างในช่องปาก

การวัดความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางเป็นเทคนิคที่แสดงค่าความแข็งของเคลือบฟันได้ทั้งในระดับใกล้พื้นผิวและใต้พื้นผิว แม้การศึกษาของ Magalhaes และคณะ²² จะพบว่า การวัดความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางไม่สามารถแสดงถึงปริมาณแร่ธาตุของชั้นเคลือบฟันได้แม่นยำเท่ากับเทคนิคไมโครเรดิโอกราฟ ซึ่งเป็นเทคนิคมาตรฐาน แต่ถูกแนะนำให้ใช้เป็นอีกทางเลือกสำหรับการศึกษารอยโรคฟันผุได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าเทคนิคไมโครเรดิโอกราฟในด้านการแสดงถึงความแข็งแรงทางกายภาพ (physical strength) ของรอยโรคฟันผุ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวไม่สามารถบอกได้ อีกทั้งมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า จึงเป็นอีกวิธีที่นิยมนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุของชั้นเคลือบฟันบริเวณขอบของเครื่องมือชนิดติดแน่น เช่น แบริกเก็ต เป็นต้น^{20,23-27}

คุณสมบัติในการต้านทานการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันของซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีและลักษณะเฉพาะของซีเมนต์แต่ละชนิด คุณลักษณะสำคัญประการหนึ่งคือความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุในกลุ่มกลาส-ไอโอโนเมอร์ ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดโพลีแอซิดและแก้วฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกตจะเกิดการปลดปล่อยฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูง เรียกว่า “burst effect” หลังจากนั้นวัสดุเหล่านี้จะยังปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้แต่จะเป็นความเข้มข้นต่ำ ๆ²⁸ การมีฟลูออไรด์ความเข้มข้นสูงดังกล่าวจะเกิดการสร้างแคลเซียมฟลูออไรด์บนผิวฟันทันที²⁹ ทำให้ซีเมนต์มีคุณสมบัติในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุบริเวณนั้นได้ แม้ว่าหลังจากนั้นจะมีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาในความเข้มข้นต่ำ ๆ แต่หากยังปลดปล่อยออกมาอย่างสม่ำเสมอ ก็ยังมีผลต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุ และส่งเสริมการคืนกลับแร่ธาตุได้³⁰

จากการศึกษาในครั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากค่าความแข็งระดับจุลภาคชนิดตัดขวางที่ลดลง ในชั้นเคลือบฟันของซีเมนต์แต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันเรียงลำดับจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุดได้ดังนี้ กลุ่ม RMGI-PP > ZPC > GI > ZP = RMGI-PL > PMCR ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในอดีต พบว่าวัสดุกลุ่ม GI RMGI-PL RMGI-PP และ PMCR สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้^{16,28,31-33} แต่เมื่อพิจารณาการปล่อยฟลูออไรด์ของวัสดุแต่ละชนิด³³ พบว่า RMGI-PP มีการปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้มากที่สุด ตามด้วย Conventional GI และ RMGI-PL ตามลำดับ ส่วน PMCR พบว่ามีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ออกมาได้ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ ที่หากพิจารณาเฉพาะซีเมนต์ 4 ชนิดนี้ จะพบว่า RMGI-PP มีตำแหน่งที่มีค่า CMH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุด ตามด้วย GI และ RMGI-PL ตามลำดับ และพบว่า PMCR มีตำแหน่งที่มีค่า CMH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุด ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเนื่องจากซีเมนต์แต่ละชนิดมีส่วนของกลาสไอโอโนเมอร์ และเรซินที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้แตกต่างกันไปด้วย

สำหรับ ZPC ที่นำมาศึกษาในครั้งนี้เป็นชนิดที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบ แม้จะยังไม่มีการศึกษาถึงปริมาณหรือความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาจาก ZPC แต่การศึกษาในอดีตพบว่าชั้นเคลือบฟันของฟันที่ผ่านการยึดด้วย ZPC ชนิดที่มีฟลูออไรด์มีการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันน้อยกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งไม่ถูกยึดด้วยซีเมนต์ชนิดใดมาก่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ¹⁸ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่า ZPC ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันได้เช่นเดียวกับซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ ส่วน ZP ที่ศึกษาในครั้งนี้เป็นชนิดไม่มีฟลูออไรด์ แต่จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า

ZP สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันได้ใกล้เคียงกับ RMGI-PL ที่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์ โดยอาจอธิบายได้ด้วย ผลการศึกษาของ Mohammed และคณะ³⁴ ซึ่งพบว่าซิงค์ไอออน สามารถลดการละลายตัวของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผิวเคลือบฟัน ได้เป็นแคลเซียมไอออนและฟอสเฟตไอออน ร่วมกับการละลายตัวของซิงค์ไอออนจากผลิตภัณฑ์ที่มีซิงค์เป็นส่วนประกอบ จากนั้น ซิงค์ไอออนจะจับกับฟอสเฟตไอออนที่โครงข่ายของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ เกิดเป็น α -hopeite-like phase ที่ผิวเคลือบฟัน ซึ่งสันนิษฐานว่าสามารถยับยั้งการสูญเสียฟอสเฟตออกจากผิวเคลือบฟันได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ผิวเคลือบฟันที่ติดกับซีเมนต์ที่มีซิงค์เป็นส่วนประกอบ โดยใช้เทคนิคอินฟราสเปกโทรสโกปีของ Crisp และคณะ³⁵ พบว่าบริเวณดังกล่าวเกิดผลึก α -hopeite-like phase ที่หนาแน่นมากกว่าผิวเคลือบฟันที่ห่างออกไป อย่างไรก็ตามการเกิดผลึกดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้คือ สภาพความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม และมีความเข้มข้นของซิงค์ไอออนที่เพียงพอ

อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจากผลการศึกษาในอดีตของ ZP ที่ไม่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์ต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟัน ซึ่งพบว่า ZP ไม่สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ถูกยึดแถบรัดฟันด้วยซีเมนต์¹⁸ แต่เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการวิจัยแล้วพบว่า การศึกษาดังกล่าวศึกษาผลของ ZP ต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุของชั้นเคลือบฟันหลังจากถอดแถบรัดฟันและกำจัดซีเมนต์ที่หลงเหลือออกแล้ว โดยแช่ฟันตัวอย่างในสารละลายที่เป็นกรดเพียงอย่างเดียวตลอด 4 สัปดาห์ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นสภาพที่มีความเป็นกรดต่างไม่เหมาะสม และไม่เกิดการปลดปล่อยซิงค์ไอออนออกมาในความเข้มข้นที่เพียงพอต่อการสร้างผลึก α -hopeite-like phase ส่งผลให้เคลือบฟันมีความต้านทานต่อการสูญเสียแร่ธาตุลดลง

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ออกแบบการทดลองให้ยังมีการยึดแถบรัดฟันด้วยซีเมนต์อยู่ เพื่อศึกษาผลโดยตรงของซีเมนต์แต่ละชนิดต่อการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันบริเวณขอบของแถบรัดฟัน อีกทั้งทำการแช่ฟันตัวอย่างในสารละลายที่เป็นกรดนาน 35 นาที วันละ 3 ครั้ง สลับกับการแช่ในน้ำลายเทียม ซึ่งเป็นสภาวะที่คล้ายคลึงกับในช่องปากมากกว่าการศึกษาในอดีต และคาดว่าจะ เป็นสภาวะซึ่งมีความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม และก่อให้เกิดการปลดปล่อยซิงค์ไอออนจาก ZPC และ ZP ในความเข้มข้นที่เพียงพอต่อการสร้างผลึก α -hopeite-like phase ซึ่งทำให้การศึกษาในครั้งนี้พบว่า ซีเมนต์ทั้งสองชนิดสามารถยับยั้งการสูญเสีย

แร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันได้เช่นเดียวกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบ

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งของเคลือบฟันที่มีค่าความแข็งระดับจุลภาคลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของซีเมนต์ทั้ง 6 ชนิด ไม่พบว่ามี การลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความแข็งระดับจุลภาคที่ชั้นเคลือบฟันบริเวณชิดขอบแถบรัดฟัน ซึ่งยึดด้วย RMGI-PP และ ZPC แสดงให้เห็นว่าซีเมนต์ชนิด RMGI-PP และ ZPC มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันบริเวณดังกล่าวได้มากกว่าซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ แต่หากพิจารณาในแต่ละระดับความลึก พบว่าชั้นเคลือบฟันที่มีการสูญเสียความแข็งระดับจุลภาคมากที่สุดคือ ที่ระดับความลึก 10 ไมครอนจากผิวเคลือบฟัน ซึ่งที่ระดับความลึกนี้ ซีเมนต์กลุ่ม RMGI-PP และ ZPC มีความสามารถในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุได้มากกว่ากลุ่ม RMGI-PL และ PMCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม RMGI-PP ZPC GI และ ZP ดังนั้นหากต้องการป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุของเคลือบฟันในระดับใกล้พื้นผิว (superficial) การพิจารณาเลือกใช้ซีเมนต์ในกลุ่ม RMGI-PP ZPC GI และ ZP จะให้ประสิทธิผลมากกว่ากลุ่ม RMGI-PL และ PMCR

อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ซีเมนต์สำหรับยึดแถบรัดฟัน ไม่สามารถพิจารณาจากความสามารถในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันเพียงอย่างเดียวได้ Millet และคณะ¹⁷ แนะนำให้พิจารณาปัจจัย 4 ประการ คือ ต้องใช้งานง่าย ราคาไม่แพง ให้การยึดติดที่ดีแต่ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียผิวเคลือบฟันขณะถอดเครื่องมือ และสามารถป้องกันการเกิดฟันผุที่ชั้นเคลือบฟันได้ จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ZP และ ZPC ให้ผลยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ขอบของแถบรัดฟันได้ อีกทั้งซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีราคาไม่แพง แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติอื่น ๆ พบว่าซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีอัตราการละลายตัวสูง มีความแข็งแรงต่ำ^{7,36} จึงไม่เหมาะสำหรับใช้ยึดแถบรัดฟันที่ต้องการการยึดติดที่ดีในระยะยาว

GI เป็นซีเมนต์ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถถอดแถบรัดฟันออกได้ง่าย อีกทั้งมีคุณสมบัติในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ แต่ในช่วงแรกของการก่อตัวต้องหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับความชื้น เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่วัสดุมีความไวต่อการดูดน้ำและสูญเสียน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้วัสดุเกิดความอ่อนแอได้ง่าย³⁷ ระยะเวลาดังกล่าวอาจทำได้ยากในผู้ป่วยเด็กที่ไม่ให้ความร่วมมือ อีกทั้งแม้พบว่าจะมีอัตราการยึดติดที่ดีกว่า ZP และ ZPC แต่จากการศึกษาพบว่า GI มีอัตราการยึดติดต่ำกว่าเรซินซีเมนต์⁹ และมีความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างรอยต่อของแถบรัดฟันและซีเมนต์^{31,38} ทำให้เกิดช่องว่างที่มีการสะสมของคราบจุลินทรีย์ใต้ต่อแถบรัดฟันได้ง่าย ดังนั้น

หากพิจารณาถึงปัญหาและปัจจัยดังกล่าวเป็นหลัก การเลือกใช้ซีเมนต์ที่มีการยึดติดที่ดีจึงเหมาะสมกว่า

RMGI-PP เป็นซีเมนต์ชนิดสองหลอดซึ่งสามารถบีบออกมาจากหลอดได้ในอัตราส่วนที่แม่นยำก่อนทำการผสม ทำให้ได้เนื้อซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน และใช้ได้ง่ายขึ้นกว่าซีเมนต์ชนิดที่ต้องตวงและผสมเอง จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า RMGI-PP เป็นซีเมนต์ที่ยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันได้ดีที่สุด จึงเหมาะสมที่จะได้รับการพิจารณานำมาใช้เป็นวัสดุยึดแถบรัดฟันในแง่ของการป้องกันการเกิดฟันผุ อย่างไรก็ตาม RMGI-PP มีราคาค่อนข้างสูง จึงแนะนำให้ใช้ในกรณีที่ต้องการการยึดติดที่ดีในระยะยาว ส่วน RMGI-PL เป็นซีเมนต์ชนิดที่ผู้ใช้อาจตวงและผสมให้ได้ซีเมนต์ที่มีลักษณะเหมาะสมก่อนการใช้งาน และสามารถแข็งตัวได้ทันทีจากการฉายแสง ทำให้ลดเวลาในการทำงานลง จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า RMGI-PL สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุได้ค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะสำหรับใช้ยึดแถบรัดฟันในกรณีที่หวังผลต่อการป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟัน

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า PMCR มีความสามารถในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับซีเมนต์ชนิดอื่น จึงเป็นซีเมนต์อีกชนิดหนึ่งที่ไม่เหมาะสำหรับใช้ยึดแถบรัดฟันในกรณีที่หวังผลต่อการป้องกันการเกิดฟันผุที่ชั้นเคลือบฟัน แต่เนื่องจาก PMCR เป็นซีเมนต์ชนิดหลอดเดียวทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ราคาไม่แพง สามารถทำให้แข็งตัวได้ด้วยการใช้แสงกระตุ้น จึงเหมาะสมในกรณีที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วในการทำงาน

การเลือกใช้ซีเมนต์สำหรับยึดแถบรัดฟันในผู้ป่วยแต่ละราย นอกจากจะต้องพิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแล้ว การติดตามการรักษาอย่างเหมาะสมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้ทันตแพทย์สามารถประเมินความเสี่ยงในการเกิดการสูญเสียแร่ธาตุที่ผิวเคลือบฟันบริเวณขอบของแถบรัดฟันได้ และสามารถเลือกใช้มาตรการทางทันตกรรมป้องกันได้อย่างทันทั่วทั้งที่ทั้งนี้ในผู้ป่วยที่มีการใส่เครื่องมือในช่องปาก ควรได้รับการแนะนำ และฝึกปฏิบัติให้สามารถทำความสะอาดช่องปากบริเวณนั้นได้อย่างสม่ำเสมอ

บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่า

1. ประสิทธิภาพในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่ชั้นเคลือบฟันเรียงลำดับจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุดได้ดังนี้ RMGI-PP > ZPC > GI > ZP = RMGI-PL > PMCR ตามลำดับ โดยที่ RMGI-PP และ ZPC มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุที่เคลือบฟันบริเวณชิดขอบแถบรัดฟันได้มากกว่าซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ

2. ที่ระดับใกล้เคียงผิวของชั้นเคลือบฟัน ซีเมนต์กลุ่ม RMGI-PP และ ZPC มีความสามารถในการยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีกว่ากลุ่ม RMGI-PL และ PMCR โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม RMGI-PP, ZPC, GI และ ZP ที่ระดับใกล้เคียงผิวของชั้นเคลือบฟันบริเวณชิดขอบแถบรัดฟัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาชีวเคมี ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ และภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือในการทดสอบ และอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการวิจัย และกราบขอบพระคุณ ผศ.ทญ.ดร.สรนันท์ จันทรางศุ ผศ.ทญ.ดร.อ้อยทิพย์ ชาญการคำ และ ศ.(พิเศษ) ทญ.ชุตินา ไตรรัตน์วรกุล ที่ช่วยให้คำปรึกษา และชี้แนะในการเขียนบทความในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. 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.
2. 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.
3. Mizrahi E. Enamel demineralization following orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1982;82(1):62-7.
4. Mizrahi E. Surface distribution of enamel opacities following orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1983;84(4):323-31.
5. 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.
6. 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.
7. Hatrick CD, Eakle WS. Dental cement. Dental materials clinical applications for dental assistants and dental hygienists. 2nd ed. Missouri: Elsevier; 2016. p. 220-42.
8. 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.
9. Fajen VB, Duncanson MG, Jr., Nanda RS, Currier GF, Angolkar PV. An in vitro evaluation of bond strength of three glass ionomer cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97(4):316-22.
10. Hamula W, Hamula DW, Brower K. Glass ionomer update. *J Clin Orthod* 1993;27(8):420-5.

11. 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.
12. Nicholson JW. Polyacid-modified composite resins ("compomers") and their use in clinical dentistry. *Dent Mater* 2007;23(5):615-22.
13. 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.
14. Aggarwal M, Foley TF, Rix D. A comparison of shear-peel band strengths of 5 orthodontic cements. *Angle Orthod* 2000;70(4):308-16.
15. 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.
16. 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.
17. Millett DT, Glenney AM, Mattick RCR, Mandall NA. Adhesives for fixed orthodontic bands (Review). *Cochrane Database of Syst Rev* 2016(10).
18. 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.
19. 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.
20. Pascotto RC, Navarro MFD, L., Filho LC, Cure JA. *In vivo* effect of a resin-modified glass ionomer cement on enamel demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125(1):36-41.
21. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 2016;15(2):155-63.
22. Magalhaes AC, Moron BM, Comar LP, Wiegand A, Buchalla W, Buzalaf MAR. Comparison of Cross-Sectional Hardness and Transverse Microradiography of Artificial Carious Enamel Lesions Induced by Different Demineralising Solutions and Gels. *Caries Res* 2009;43(6):474-83.
23. Uysal T, Amasyali M, Ozcan S, Koyuturk AE, Akyol M, Sagdic D. *In vivo* effects of amorphous calcium phosphate-containing orthodontic composite on enamel demineralization around orthodontic brackets. *Aust Dent J* 2010;55(3):285-91.
24. Uysal T, Amasyali M, Ozcan S, Koyuturk AE, Sagdic D. Effect of antibacterial monomer-containing adhesive on enamel demineralization around orthodontic brackets: an in-vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(5):650-6.
25. Kohda N, Iijima M, Brantley WA, Muguruma T, Yuasa T, Nakagaki S, *et al.* Effects of bonding materials on the mechanical properties of enamel around orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2012;82(2): 187-95.
26. Manfred L, Covell DA, Crowe JJ, Tufekci E, Mitchell JC. A novel biomimetic orthodontic bonding agent helps prevent white spot lesions adjacent to brackets. *Angle Orthod* 2013;83(1):97-103.
27. Nalbantgil D, Oztoprak MO, Caken DG, Bozkurt K, Arun T. Prevention of demineralization around orthodontic brackets using two different fluoride varnishes. *Eur J Dent* 2013;7(1):41-7.
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. 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.
33. Komori A, Kojima I. Evaluation of a new 2-paste glass ionomer cement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123(6):649-52.
34. 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.
35. 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.
36. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Dental cements. Phillips' science of dental materials. 12th ed. Missouri: Elsevier; 2003. p. 307-39.
37. 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.
38. Fricker JP. A 12-month clinical comparison of resin-modified light-activated adhesives for the cementation of orthodontic molar bands. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112(3):239-43.