



Dentin Conditioning Agents for Glass Ionomer Cement
สารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

Tool Sriamporn

ศุภย์ ศรีอัมพร

Awiruth Klaisiri

อวิรุทธ์ คล้ายศิริ

Niyom Thamrongananskul

นิยม ชำรงค์อนันต์สกุล

สำเนาการพิมพ์จากวิทยาสารทันตแพทยศาสตร์
ปีที่ 66 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน 2559
หน้า 149 - 170

Reprinted from the Journal of the Dental
Association of Thailand
Volume 66 Number 3 July - September 2016
pp. 149 - 170

สารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ Dentin Conditioning Agents for Glass-Ionomer Cement

ตุลย์ ศรีอัมพร¹, อวิรุทธ์ คล้ายศิริ² และ นียม ธำรงคือนันต์สกุล³

Tool Sriamporn¹, Awiruth Klaisiri² and Niyom Thamrongananskul³

¹ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

¹Department of Prosthodontics, Faculty of Dental Medicine, Rangsit University

²สาขาวิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

²Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Thammasat University

³ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

บทคัดย่อ

บทความปริทัศน์เรื่องสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและเรียบเรียงสารที่ใช้ปรับสภาพผิวเนื้อฟันก่อนการบูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยการใช้สารเหล่านี้เพื่อทำความสะอาดผิวฟัน กำจัดหรือดัดแปรชั้นสเมียร์ ละลายแร่ธาตุที่ผิวฟัน เพิ่มพื้นที่ผิวฟันระดับจุลภาค เพิ่มค่าแรงยึดทางกลและเคมีระหว่างผิวฟันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการใช้สารปรับสภาพผิวเนื้อฟันหลายชนิด เช่น กรดซिटริก สารละลายของแร่ธาตุ กรดพอลิอะคริลิก เอทิลีนไดเอมีน เททระอะซิดิก แอซิด หรืออีดีทีเอ กรดฟอสฟอริก และสารปรับสภาพผิวชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิดด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน เช่น ทาแล้วล้างน้ำออกหรือไม่ต้องล้างน้ำออก ความเข้มข้นและระยะเวลาที่สารสัมผัสผิวฟันก็แตกต่างกันไป โดยกรดพอลิอะคริลิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10-30 ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากเป็นสารชนิดเดียวกับส่วนเหลวของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีสมบัติเป็นกรดอ่อน น้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถทำความสะอาดและดัดแปรชั้นสเมียร์ได้ ไม่ทำให้ท่อเนื้อฟันเปิดเมื่อใช้ความเข้มข้นและระยะเวลาการทาที่เหมาะสม อีกทั้งยังสร้างความชุ่มชื้นที่ผิวฟันและส่งเสริมให้เกิดพันธะเคมีระหว่างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์กับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ปัจจุบันมีสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าออกวางจำหน่ายควบคู่กับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบทางเคมีและวิธีการใช้งานที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัดจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้วัสดุสามารถอยู่ในช่องปากของผู้ป่วยได้อย่างยาวนานและเกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

คำสำคัญ: สารปรับสภาพผิวเนื้อฟัน, กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์, กรดพอลิอะคริลิก

Abstract

The aim of this article was to review the properties of the dentin conditioning agents for glass-ionomer cement, for example, clean the tooth surface, modify or remove the smear layer, demineralize the tooth surface, increase the surface area and increase mechanical and/or chemical bond strength between the tooth surface and glass-ionomer cement. For many years, various tooth surface treatment agents have been available. These include citric acid, demineralizing solution, polyacrylic acid, ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA), phosphoric acid and many others. Different study designs have been tested for these tooth surface treatment agents; for example, rinsing or not rinsing the agent with water after application or testing the effect of different concentrations of the agent. The most popular and widely used dentin conditioning agent for glass-ionomer cements is 10–30 % polyacrylic acid because of its similar composition to the liquid mixture of the glass-ionomer cement. Polyacrylic acid is a weak acid with high molecular weight that is capable of cleaning the tooth surface, modifying the smear layer, without inducing dentinal tubule opening when the proper concentration and application time is used, roughening the tooth surface and promoting the formation of chemical bond between hydroxyapatite and glass-ionomer cement. Nowadays, suppliers tend to sell their dentin conditioning products along with the glass-ionomer cements. Each of which has different chemical composition and different treatment method. Therefore, it is best to strictly follow the manufacturer's instruction for the best result.

Key words: Dentin conditioning agent, Glass-ionomer cement, Polyacrylic acid

Received Date: Jan 12, 2016

Accepted Date: Apr 12, 2016

doi: 10.14456/jdat.2016.13

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ

ตุลย์ ศรีอัมพร ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 เมืองเอก ปทุมธานี 12000 ประเทศไทย
โทรศัพท์: 02-9972200-30 ต่อ 4312 อีเมล: tunster14@hotmail.com

Correspondence to:

Tool Sriamporn. Department of Prosthodontics, Faculty of Dental Medicine, Rangsit University 52/347 Muang Ake, Pathumthani 12000 Thailand
Tel: 02-9972200-30 Ext. 4312 E-mail: tunster14@hotmail.com

ปัจจุบันกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass-ionomer cement) เป็นวัสดุทางทันตกรรมที่นิยมใช้กันแพร่หลายโดยสามารถใช้เป็นสารรองพื้น (base) สารเชื่อมยึด (luting agent) วัสดุบูรณะ (filling) รวมถึงใช้เป็นวัสดุทำแกน (core material) เป็นต้น เนื่องจากกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น ปลดปล่อยฟลูออไรด์ เกิดแรงยึดทางกล เกิดพันธะเคมีกับผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก เป็นสารยับยั้งฟันผุ และสารต้านจุลชีพ เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัสดุชนิดนี้ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการ อาทิเช่น มีความไวต่อความชื้น มีความแข็งแรงและต้านทานต่อการสึกต้ำ

การศึกษาเรื่องการยึดติด (adhesion) ระหว่างวัสดุบูรณะฟันและเนื้อฟันได้ดำเนินมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเพื่อให้ได้แรงยึดที่มีประสิทธิภาพและคงทนในสภาวะช่องปากได้ยาวนาน เป็นที่ทราบกันว่าการยึดติดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับเนื้อฟันสามารถยึดเกาะกันด้วยพันธะทางเคมี โดยอาศัยหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในสายโซ่โพลีเมอร์ของกรดพอลิอัลคีนอิก (polyalkenoic acid) กับอนินทรีย์สาร ซึ่งก็คือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) แต่เนื่องด้วยโครงสร้างของเนื้อฟันที่แตกต่างจากเคลือบฟัน โดยเนื้อฟันมีปริมาณน้ำและสารอินทรีย์ที่มากกว่า แต่มีปริมาณสารอนินทรีย์ที่น้อยกว่า อีกทั้งยังมีท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) และส่วนของเซลล์สร้างเนื้อฟันปะปนอยู่จึงทำให้การวิจัยส่วนใหญ่มุ่งไปศึกษาที่ชั้นรอยต่อระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวเนื้อฟัน โดยพบว่าที่ชั้นรอยตอดังกล่าวเกิดการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างผิวหน้าซึ่งกันและกันได้ ซึ่งชั้นรอยตอดังกล่าวมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันไป เช่น ชั้นการแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange layer)¹ ชั้นที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างกัน (zone

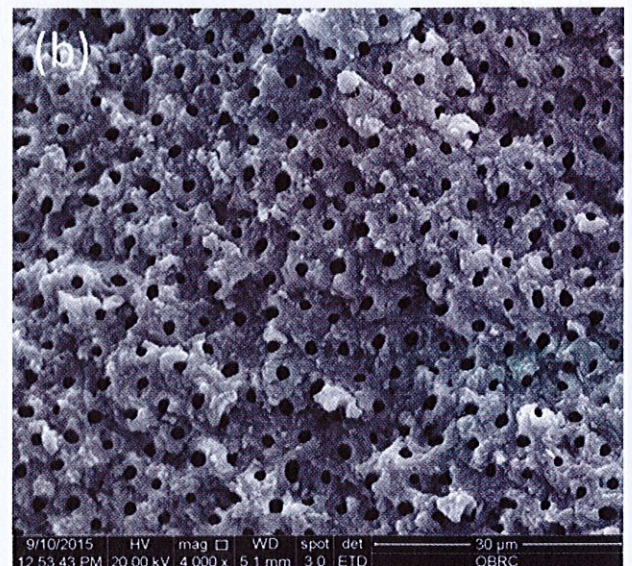
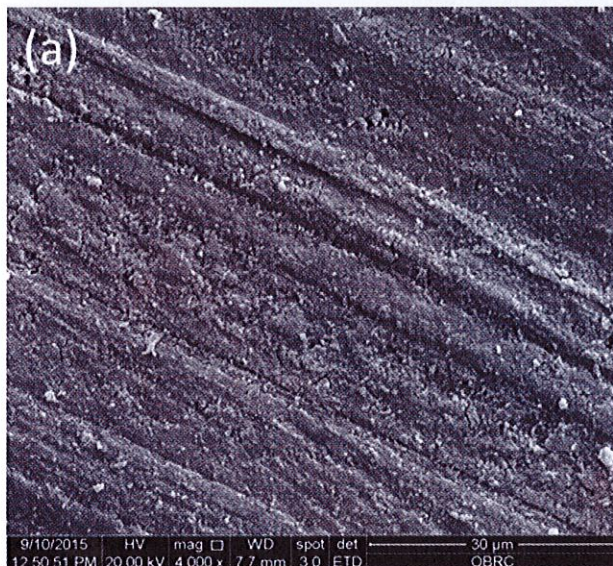
of interaction)² ชั้นที่เกิดการแพร่ผ่านระหว่างกัน (inter-diffusion zone)³ ชั้นไฮบริด (hybrid layer)⁴ ระหว่างวัฏภาค (interphase)⁵ และชั้นระหว่างกลาง (Intermediate layer)⁶ เป็นต้น ถึงจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป แต่ชั้นแลกเปลี่ยนประจุน่าจะเป็นชื่อที่เหมาะสมที่สุดและเชื่อกันว่าชั้นนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้แรงยึดระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโครงสร้างของฟันธรรมชาติเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

การตัดแต่งฟันธรรมชาติไม่ว่าจะด้วยอุปกรณ์ที่ออกแรงด้วยมือ (hand instrument) หรือใช้เครื่องมือชนิดหมุน (rotary instrument) ที่ผิวหน้าของฟันหลังการตัดแต่งจะถูกปกคลุมด้วยเศษเนื้อฟัน (debris) เสมอ โดยในปี ค.ศ.1970 Eick และคณะ⁷ ได้ทำการศึกษาคัดฟันธรรมชาติด้วยเข็มกรอฟันชนิดทากเพชรและคาร์ไบด์ ขณะที่ใช้และไม่ใช้น้ำหล่อเลี้ยง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าที่ผิวหน้าของฟันทุกซี่จะมีเศษเนื้อฟันปกคลุมอยู่ และเรียกว่าชั้นสเมียร์ (smear layer) ซึ่ง Pashley⁸ กล่าวเปรียบเปรยชั้นสเมียร์ว่าเหมือนการเลื่อยไม้ โดยที่ผิวหน้าตัดของเนื้อไม้จะถูกปกคลุมด้วยเศษขี้เลื่อย ซึ่งผนังก็คือชั้นสเมียร์ที่ผิวหน้าเนื้อฟันที่ผ่านการกรอแตงนั่นเอง และชั้นสเมียร์นี้ยังมีความหนาที่แตกต่างกันไป

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของชั้นสเมียร์ได้แก่การใช้หรือไม่ใช้น้ำหล่อเลี้ยงขณะกรอแต่ง ระดับความหยาบของเข็มกรอฟัน พบว่าการไม่ใช้น้ำและเข็มกรอฟันที่หยาบสูงทำให้มีความหนาของชั้นสเมียร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยชั้นสเมียร์ที่เกิดขึ้นมีความหนาระดับจุลภาคซึ่งไม่สามารถเห็นได้จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) และชั้นนี้สามารถถูกละลายได้ด้วยกรด⁹ ในปี ค.ศ.1974 Brannstrom และ Johnson⁹ ได้รายงานผลการศึกษาผิวเนื้อฟันที่ผ่านการกรอด้วย

เข็มกรอฟันโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่ามีชั้นสเมียร์ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 2-5 ไมโครเมตร ปกคลุมอยู่ ถัดมาอีกหนึ่งปีให้หลัง McComb และ Smith¹⁰ รายงานว่าการใช้เครื่องมือขยายคลองรากฟันทำให้เกิดชั้นสเมียร์ปกคลุมที่ผนังคลองรากฟัน โดยชั้นสเมียร์นี้ประกอบด้วย เศษเนื้อฟัน (dentine debris) เศษเนื้อเยื่อใน (pulp debris) และแบคทีเรีย จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า เนื้อฟันที่ผ่านการใช้เครื่องมือเพื่อกรอหรือปรับแต่งจะเกิดชั้นสเมียร์ปกคลุมที่ผิวเสมอ ดังรูปที่ 1a ซึ่งต่างจากเนื้อฟันที่เผยออกมา (expose) ที่เกิดจากการแตกหัก (fracture) จะไม่พบชั้นสเมียร์เลย ดังรูปที่ 1b

เนื่องจากชั้นสเมียร์มีโครงสร้างที่จับตัวกันอย่างหลวมๆ ซึ่งขัดขวางต่อการยึดติดที่สมบูรณ์ระหว่างวัสดุบูรณะกับผิวฟัน รวมถึงอาจส่งผลให้เกิดการรั่วซึมระหว่างชั้นรอยต่อ เมื่อวัสดุอยู่ในช่องปากเป็นเวลานาน ๆ¹¹ ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวความคิดในการปรับสภาพผิวเนื้อฟันก่อนการยึดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยใช้สารเคมีทาที่ผิวฟันเพื่อกำจัดหรือปรับปรุงชั้นสเมียร์ เปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวฟัน และช่วยเพิ่มแรงยึดติดของวัสดุ โดยบทความปริทัศน์นี้จะนำเสนอสารเคมีต่าง ๆ ที่เคยใช้ในอดีตและปัจจุบันเพื่อปรับสภาพผิวฟันก่อนการยึดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์



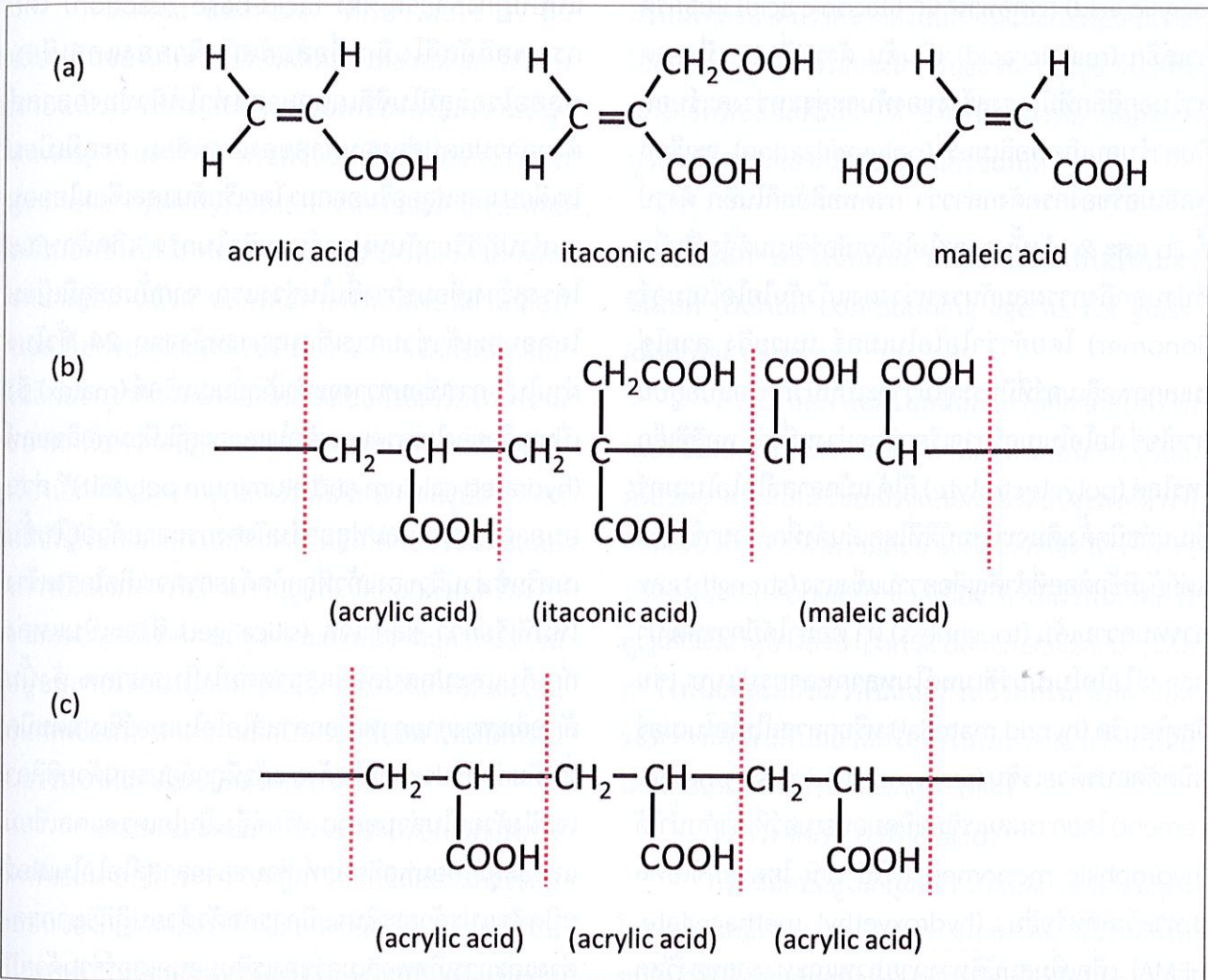
รูปที่ 1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (4,000x) (a) แสดงผิวเนื้อฟันที่ผ่านการใช้เข็มกรอเพชรกรอแต่งจะเกิดชั้นสเมียร์ปกคลุมและสิ่งสกปรกจากการกรอแต่งและ (b) ผิวเนื้อฟันที่เกิดแตกหักจะพบการเปิดออกของท่อเนื้อฟันและไม่พบชั้นสเมียร์เลย (ภาพนี้ได้มาจากชั้นทดสอบที่เตรียมโดยผู้เขียนบทความ)

Figure 1 Illustrations from scanning electron microscope (SEM) (4,000x) (a) show dentin surface after prepared with the diamond bur creating smear layer and cutting debris and (b) a fracture dentin showing the opening up of dentinal tubules and free of smear layer. (These images were taken from specimens prepared by the authors)

กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass-ionomer cement)

ในปี ค.ศ. 1972 Wilson และ Kent¹² ได้เผยแพร่ซีเมนต์ชนิดใหม่ที่เรียกว่า กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์หรือกลาสส์ฟลูออโรอัลคิโนเอต โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้วัสดุตามอุดมคติคือ มีสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกับโครงสร้างของฟันธรรมชาติสามารถยึดติดได้ดีกับผิว

เคลือบฟันและเนื้อฟัน อีกทั้งยังต้านทานต่อการเสื่อมสลายเมื่ออยู่ในช่องปาก¹³ วัสดุกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (conventional glass-ionomer cement) ประกอบด้วยส่วนผงคือ แคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาสส์ (calcium fluoroaluminosilicate glass) และส่วนเหลวคือ กรดฟลูออโรอัลคิโนอิกหรือกรดพอลิคาร์บอกซิลิก



รูปที่ 2 (a) สูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดอะคริลิก กรดอิทาโคนิก และกรดมาเลอิก (b) สูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดพอลิอัลคิโนอิก หรือโคพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก กรดอิทาโคนิก และกรดมาเลอิก และ (c) สูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดพอลิอัลคิโนอิก หรือพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก

Figure 2 (a) chemical structure of acrylic acid, itaconic acid and maleic acid, (b) chemical structure of polyalkenoic acid or copolymer of acrylic acid, itaconic acid and maleic acid, and (c) chemical structure of polyalkenoic acid or polymer of acrylic acid

(polycarboxylic acid) สาเหตุที่เรียกว่าเป็นกรดพอลิอัลคีนอนิกเพราะเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ของกรดที่เกิดจากหน่วยย่อย (repeating unit) ที่มีหมู่คาร์บอกซิลและมีพันธะคู่อยู่ระหว่างธาตุคาร์บอนกับคาร์บอน (C=C) อยู่ในโครงสร้างนั่นเอง โดยเรียกรวมที่มีหมู่คาร์บอกซิลนี้ว่ากรดคาร์บอกซิลิก ตัวอย่างของกรดชนิดนี้ได้แก่ กรดอะคริลิก (acrylic acid) กรดอิทาโคนิก (itaconic acid) และกรดมาเลอิก (maleic acid) เป็นต้น ดังรูปที่ 2a เมื่อกรดคาร์บอกซิลิกที่มีโครงสร้างของพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) จะเรียกพอลิเมอร์ของกรดดังกล่าวว่า กรดพอลิอัลคีนอนิก ดังรูปที่ 2b และ 2c ดังนั้นกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์จึงเป็นชื่อที่บ่งบอกถึงการผสมกันระหว่างผงแก้วกับไอโอโนเมอร์ (ionomer) โดยคำว่าไอโอโนเมอร์ หมายถึง สายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ที่มีประจุไม่ว่าจะเป็นบวกหรือลบอยู่บนสายโซ่ซึ่งไอโอโนเมอร์อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า พอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) ก็ได้ แม้อกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมจะมีสมบัติที่โดดเด่นดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่ก็ยังมีข้อด้อยที่สำคัญคือความแข็งแรง (strength) และการทนความเค้น (toughness) ต่ำ ต่อมาได้มีการพัฒนา กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ในหลากหลายรูปแบบ เช่น วัสดุไฮบริด (hybrid material) หรือกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน (resin modified glass-ionomer cement) โดยการผสมเรซินชนิดมอนอเมอร์ที่เข้ากับน้ำได้ (hydrophilic monomer) ลงไป เช่น ไฮดร็อกซีเอทิลเมทาคริเลตหรือฮีมา (hydroxyethyl methacrylate, HEMA) เพื่อเพิ่มสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุ เช่น เพิ่มความต้านทานการแตกหัก (fracture resistance) เพิ่มความต้านทานต่อความล้า (fatigue resistance) และมีการละลาย (solubility) ต่ำ หรือปรับปรุงโดยการเติมโลหะเจือ เช่น ผสมอะลูมิเนียมลงไปในส่วนผง เรียกว่าซิลเวอร์อัลลอยแอดมิคซ์ (silver alloy admix) หรือมีการเผาผลึก (sintering) ระหว่างแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาสส์กับโลหะเงิน เรียกว่า เซอร์เมท

ซีเมนต์ (cermet cement) ซึ่งเป็นการรวมคุณสมบัติของวัสดุสองชนิดคือ เซรามิก (ceramic) และโลหะ (metal) เข้าไว้ด้วยกัน เป็นต้น¹⁴

ปฏิกิริยาการก่อตัว (Setting reaction)

กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมมีการก่อตัวแบบปฏิกิริยากรด-ด่าง (acid-base reaction) โดยกรดพอลิอัลคีนอนิกเมื่อสัมผัสกับผิวของแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาสส์ทำให้ผิวของกลาสส์ดังกล่าวปลดปล่อยอนุภาคของแคลเซียม อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และฟลูออรีนออกมา โดยเริ่มต้นแคลเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลในกรด เกิดลักษณะโครงสร้างเชื่อมขวางขึ้นในช่วงแรก จากนั้นอะลูมิเนียมไอออนจะเข้าช่วยการเชื่อมขวางหลังจาก 24 ชั่วโมงผ่านไป¹³ การเชื่อมขวางจะทำให้เกิดชั้นเมทริกซ์ (matrix) ซึ่งเป็นเกลือของไฮเดรตแคลเซียมและอะลูมิเนียมพอลิซอลท์ (hydrated calcium and aluminum polysalt)¹⁵ ส่วนอนุภาคไฮดรอกไซด์และฟลูออรีนยังคงกระจายตัวอยู่ในชั้นเมทริกซ์ ส่วนผิวของแก้วที่ถูกกัดด้วยกรดจะเกิดโครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า ซิลิกาเจล (silica gel) ซึ่งจะเป็แหล่งกักเก็บและปลดปล่อยแร่ธาตุต่อไปในอนาคต ดังนั้นลักษณะทางกายภาพเมื่อกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมก่อตัวประกอบไปด้วย แก้วที่ถูกล้อมรอบด้วยซิลิกาเจลฝังตัวอยู่ในส่วนของเมทริกซ์ซึ่งเป็นไฮเดรตแคลเซียมและอะลูมิเนียมพอลิซอลท์ ส่วนของกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินจะมีการก่อตัวด้วยปฏิกิริยากรด-ด่างและการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินมอนอเมอร์ร่วมด้วย¹⁴

การยึดติดทางเคมีของกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับโครงสร้างฟัน (Chemical bonding of glass-ionomer cement to tooth structure)

หมู่คาร์บอกซิลของกรดพอลิอัลคีนอนิกในกลาสไอโอโนเมอร์ที่ผสมเสร็จใหม่ สามารถเกิดพันธะไอออนิกกับแคลเซียมไอออนของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์

บนผิวฟันได้ โดยการพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยเครื่อง
เอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี หรือ เอ็กซ์พีเอส
(X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) ซึ่ง
เครื่องมือนี้ใช้วิเคราะห์ข้อมูลอันเป็นสมบัติทางเคมีที่ระดับ
พื้นผิวของวัสดุ เช่น ชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ
โครงสร้างทางเคมี และชนิดของพันธะทางเคมี

Yoshida และคณะ¹⁶ ศึกษาโดยใช้ 1. ผิว
เคลือบฟันของมนุษย์ที่ขัดให้เกิดรอยหยาบด้วยกระดาษ
ทรายแล้วทำความสะอาดด้วยเครื่องคลื่นความถี่สูง
(ultrasonic) และ 2. ไฮดรอกซีอะพาไทต์ชนิดสังเคราะห์
(synthetic hydroxyapatite) จากนั้นเตรียมกรดพอลิ
อัลคีนอิกซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างกรดอะคริลิกและ
กรดมาเลอิก แล้วฉาบสารละลายกรดนี้ลงบนผิวเคลือบ
ฟันและไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ กำจัดกรดพอลิอัล
คีนอิกออกจากผิวหน้าของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทำความสะอาด
คลื่นความถี่สูง จากนั้นวิเคราะห์ชิ้นทดสอบด้วย
เครื่องเอ็กซ์พีเอส จากสเปกตรัมที่ได้สามารถสรุปได้ว่ากรด
พอลิอัลคีนอิกสามารถเกิดการยึดติดได้กับผิวชิ้นทดสอบ
ซึ่งการยึดติดดังกล่าวไม่สามารถถูกกำจัดออกด้วยเครื่องทำ
ความสะอาดคลื่นความถี่สูง รวมถึงพบว่าหมู่คาร์บอกซิล
ที่อยู่บนสายโซ่ของพอลิอัลคีนอิกสามารถเกิดพันธะเคมี
กับแคลเซียมไอออนของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ทั้งใน
พันธะธรรมชาติและในชนิดสังเคราะห์ขึ้น

Fukuda และคณะ¹⁷ ศึกษาประสิทธิภาพของการ
เกิดพันธะไอออนิกระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและแคลเซียม
ไอออนของกรดพอลิอัลคีนอิกสองชนิด คือ 1. ชนิดที่เป็น
ไฮโมพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก และ 2. ชนิดที่เป็น
โคพอลิเมอร์ระหว่างกรดอะคริลิกและกรดมาเลอิก โดย
ฉาบสารละลายของกรดลงบนไฮดรอกซีอะพาไทต์
สังเคราะห์และวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์พีเอส คล้ายกับ
การศึกษาของ Yoshida และคณะที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า
การเกิดพันธะเคมีของกรดพอลิอะคริลิกมีประสิทธิภาพที่
ต่อยกว่าโคพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิกและกรดมาเลอิก
จึงสรุปได้ว่าโครงสร้างโมเลกุล (molecular structure)

ของกรดพอลิอัลคีนอิกมีผลต่อการเกิดพันธะเคมีระหว่าง
หมู่คาร์บอกซิลและแคลเซียมไอออนของผลึกไฮดรอกซี
อะพาไทต์

จากที่กล่าวมาเป็นสิ่งยืนยันได้ว่ากรดพอลิอัลคีน
อิกซึ่งเป็นส่วนเหลวของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์
สามารถเกิดพันธะเคมีกับพันธะธรรมชาติได้ ดังนั้นการทำ
ผิวฟันให้สะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนและการมีแคลเซียม
ไอออนบนผิวฟันที่พร้อมจะเกิดพันธะเคมีกับหมู่คาร์บอกซิล
ของกรดพอลิอัลคีนอิกได้ จึงเป็นจุดมุ่งหมายของการ
บูรณะฟันด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์

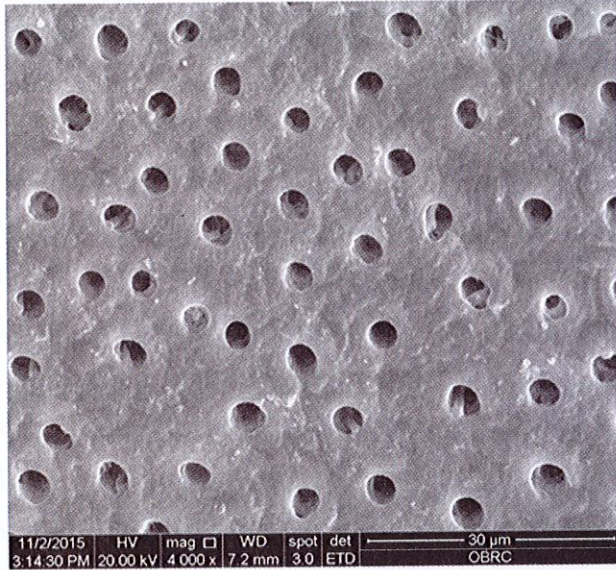
สารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ ซีเมนต์ (Dentin conditioning agents for glass- ionomer cement)

สารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโน
เมอร์ซีเมนต์เป็นสารเคมีที่ใช้ทาที่ผิวฟันก่อนการบูรณะ
ด้วยวัสดุกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ
อาทิเช่น เป็นการทำความสะอาดผิวฟัน กำจัด (remove)
หรือดัดแปร (modified) ชั้นสเมียร์ ทำให้ผิวฟันเกิดการ
สูญเสียแร่ธาตุบางส่วน (partial demineralization) เพื่อ
สร้างพันธะเคมีกับผิวฟันและยังหวังผลให้เพิ่มแรงยึด
ระหว่างผิวฟันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์อีกด้วย
โดยสารเคมีดังกล่าวมีหลายชนิด ได้แก่

1. กรดซิตริก (citric acid)

กรดชนิดนี้อยู่ในกลุ่มอินทรีย์ชนิดกรดอ่อน มีสูตร
โครงสร้างเคมีเป็น $C_6H_8O_7$ การปรับสภาพผิวฟันด้วยกรด
ชนิดนี้เพื่อต้องการกำจัดสิ่งสกปรกที่พื้นผิวฟัน กำจัดชั้น
สเมียร์ และละลายแร่ธาตุที่ผิวฟัน รูปที่ 3 เป็นผิวเนื้อฟัน
ที่ถูกปรับสภาพผิวด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 50
เป็นเวลา 5 วินาทีแล้วล้างน้ำออกพบว่า ไม่มีชั้นสเมียร์
ท่อนเนื้อฟันถูกเปิดออก และพื้นผิวระหว่างท่อนเนื้อฟัน
(intertubular dentin) มีลักษณะเรียบ

กรดซิตริกเป็นสารเคมีชนิดแรก ๆ ที่นำมาศึกษา
ในการปรับสภาพผิวฟัน โดย Hotz และคณะ¹⁸ ศึกษา



รูปที่ 3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (4,000x) แสดงผิวเนื้อฟัน ที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นเวลา 5 วินาทีแล้วล้างน้ำออก (ภาพนี้ได้มาจากขั้นตอนทดสอบที่เตรียมโดยผู้เขียนบทความ)

Figure 3 Illustration from SEM (4,000x) shows dentin surface after treated with 50 % citric acid for 5 seconds and water rinse. (This image was taken from specimens prepared by the authors)

ค่าแรงยึดติดระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์กับผิวเคลือบฟันและผิวเนื้อฟันโดยปรับสภาพผิวฟันด้วยสารต่าง ๆ เช่น กรดฟอสฟอริก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกรดซิตริก เป็นต้น ผลการทดลองพบว่าการใช้กรดซิตริกปรับสภาพผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันให้ค่าแรงยึดที่สูงกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่น ๆ แต่ในปีเดียวกัน Proddger¹⁹ ทำการศึกษาผิวเนื้อฟันที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยทิ้งไว้ 30 วินาทีแล้วล้างน้ำออก จากนั้นยึดติดกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ และพบว่ากลุ่มที่เนื้อฟันไม่ถูกและถูกปรับสภาพด้วยกรดซิตริกมีค่าแรงยึดติดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับ Hood และคณะ²⁰ และ Lacefield และคณะ²¹ ที่พบว่าการใช้กรดซิตริกเพื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟันไม่สามารถเพิ่มค่าแรงยึดระหว่างเนื้อฟันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้

2. สารละลายของแร่ธาตุ (mineralizing solution)

เริ่มต้นโดย Levine และคณะ²² ได้แนวความคิดจากงานวิจัยของ Beech^{23, 24} ที่พบว่าหมู่คาร์บอกซิลของกรดพอลิอะคริลิกสามารถเกิดพันธะเคมีกับแคลเซียมไอออนที่ผิวเคลือบฟันได้ โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมืออินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (infrared spectroscopy)

และยังพบว่าการใช้สารละลายของแร่ธาตุเพื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมไอออนที่ผิวเนื้อฟันจะทำให้ค่าแรงยึดติดของพอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องด้วยทั้งกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และพอลิคาร์บอกซิเลตซีเมนต์ต่างมีองค์ประกอบของเหลวเป็นกรดพอลิคาร์บอกซิลิกเหมือนกัน ดังนั้น Levine จึงใช้สารละลายของแร่ธาตุ ซึ่งภายหลังถูกเรียกว่า สารละลาย Levine solution ที่เตรียมจากโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate) แคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตดีไฮเดรต (calcium hydrogen phosphate dehydrate) และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่มีฟลูออไรด์ 2,000 พีพีเอ็ม (disodium hydrogen phosphate contained fluoride ion) ทาที่ผิวเนื้อฟัน ทิ้งไว้ 3 นาที ก่อนยึดติดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ แล้ววัดค่าแรงยึดเหนี่ยวพบว่าค่าแรงยึดของกลุ่มเนื้อฟันที่ไม่ได้ทาและทาด้วยสารละลายของแร่ธาตุมีค่าเท่ากับ 2.38 และ 14.87 เมกะพาสคาลตามลำดับ สรุปได้ว่าการทาด้วยสารละลายของแร่ธาตุตามสูตรของ Levine สามารถเพิ่มค่าแรงยึดติดให้มีค่าสูงขึ้นประมาณ 6 เท่า

Causton และ Johnson²⁵ ทำการศึกษาชนิดและปริมาณของไอออนที่ทาที่ผิวของเนื้อฟันต่อค่าแรงยึด

ของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยใช้สารละลายของธาตุ ดังนี้ 1. โซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 0.1 และ 1.0 2. สารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (saturated calcium hydroxide) 3. แคลเซียมคลอไรด์ 1 โมล 4. อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล 5. แมกนีเซียมซัลเฟต 1 โมล 6. สแตนนัสคลอไรด์ 1 โมล โดยมีกลุ่มที่เนื้อฟันไม่ได้รับการทาด้วยสารใด ๆ เป็นกลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า โซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 สารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคลอไรด์ 1 โมล และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล ทำให้ค่ากำลังแรงยึดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่โซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และแมกนีเซียมซัลเฟต 1 โมล กลับทำให้ค่ากำลังแรงยึดลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จากงานวิจัยนี้มีจุดที่น่าสนใจคือการใช้สารเคมีชนิดเดียวกันแต่ความเข้มข้นต่างกัน เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีผลต่อค่าแรงยึดติดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แบบเพิ่มและลด โดย Causton และ Johnson²⁵ ได้อธิบายว่าเมื่อโซเดียมฟลูออไรด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นแต่ค่ากำลังแรงยึดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กลับมีค่าลดลง อาจเป็นเพราะฟลูออไรด์ไอออนที่มีมากและแพร่ผ่านเข้าไปที่ชั้นของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่อยู่ติดกับเนื้อฟันนั้น ทำให้วัสดุชั้นนี้เกิดความอ่อนแอ เนื่องด้วยฟลูออไรด์ไอออนจะไปจับกับแคลเซียมไอออนและอะลูมิเนียมไอออนเกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อน (complex bodies)²⁶ ทำให้ปริมาณของแคลเซียมไอออนและอะลูมิเนียมไอออนที่จะไปทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่พอลิอัลคีนอิกตกลงไปด้วย ดังนั้นโครงสร้างเมทริกซ์ของซีเมนต์ที่ก่อตัวแล้วจึงไม่แข็งแรงเท่าที่ควร และจากผลการศึกษาครั้งนี้จึงนำไปสู่ขั้นตอนการปฏิบัติทางคลินิกที่ห้ามขัดผิวฟันด้วยผงขัดฟิวมิสที่ผสมสารฟลูออไรด์ก่อนการบูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์นั่นเอง

Causton และ Johnson²⁷ ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องการใช้สารละลายของแร่ธาตุเพื่อเพิ่มค่าแรงยึด

ติระหว่างผิวเนื้อฟันและกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์โดยการผลิตสารละลายของแร่ธาตุที่เรียกว่า ไอทีเอส (ITS) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาการสัมผัสของสารละลายที่ผิวเนื้อฟัน และสารละลายที่ผลิตขึ้นมีอายุการเก็บได้นานเป็นปีโดยไม่จำเป็นต้องผสมขึ้นใหม่ทุกครั้งที่ใช้ งาน จากผลการศึกษาพบว่าสารไอทีเอสที่เก็บไว้นานถึง 18 เดือน ทาที่เนื้อฟันและทิ้งไว้เพียงแค่ 2 นาที สามารถเพิ่มค่าแรงยึดติดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

3. กรดพอลิอะคริลิก (polyacrylic acid)

กรดอะคริลิกเป็นกรดที่มีหมู่คาร์บอกซิลในโครงสร้างโมเลกุล โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $C_3H_4O_2$ กรดอะคริลิกเป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดพอลิอะคริลิก โดยกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบตกตะกอน (precipitation polymerization) กรดพอลิอะคริลิกซึ่งเป็นกรดอ่อนมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 8,000 - 15,000 ถูกนำมาเป็นส่วนประกอบหลักในส่วนเหลวของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์²⁵ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากรด-ด่างกับผงแคลเซียมฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกตกลาสส์ มีการศึกษาพบว่า การปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดพอลิอะคริลิกก่อนการบูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สามารถเพิ่มค่าแรงยึดระหว่างวัสดุกับผิวฟันได้²⁸ Van Meerbeek และคณะ²⁹ ให้เหตุผล 3 ข้อที่ปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดพอลิอะคริลิก คือ 1. เป็นการทำความสะอาดผิวฟันและกำจัดชั้นสเมียร์ 2. เป็นการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization) ที่พื้นผิวฟันทำให้เกิดความขรุขระและเพิ่มพื้นที่ผิวระดับจุลภาคซึ่งส่งเสริมให้เกิดการยึดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical interlocking) 3. กรดพอลิอะคริลิกสามารถเกิดพันธะเคมีกับผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เหลือได้^{5,6}

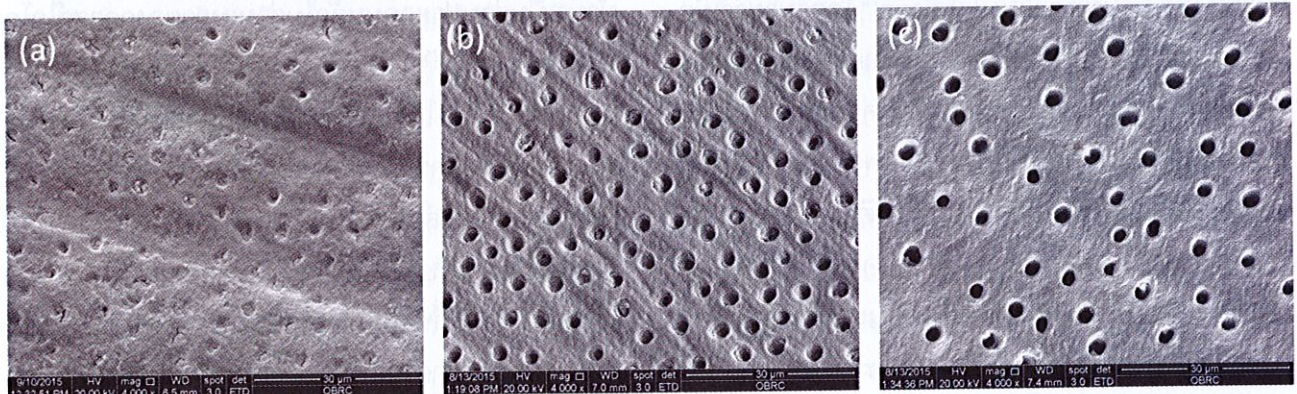
Powis และคณะ³⁰ เป็นกลุ่มแรกที่เสนอการใช้กรดพอลิอะคริลิกเพื่อปรับสภาพผิวฟันสำหรับยึดติดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และกรดชนิดนี้ก็ได้รับความ

นิยมอย่างกว้างขวางในเวลาต่อมากรดพอลิอะคริลิกเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลหลายหมู่ ซึ่งกรดนี้สามารถละลายชั้นสเมียร์ กำจัดผิวปนเปื้อน (surface contaminants)³¹ และละลายแร่ธาตุบางส่วนที่ผิวฟัน ซึ่งพื้นผิวฟันที่ถูกปรับสภาพด้วยกรดชนิดนี้ทำให้เกิดการไหลผ่านและเกิดการแทรกซึมของมอนอเมอร์ได้ดี³² เช่น มอนอเมอร์ที่อยู่ในกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน นอกจากนี้สารละลายกรดพอลิอะคริลิกที่ใช้ปรับสภาพนั้นเป็นสารชนิดเดียวกันกับส่วนเหลวของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ดังนั้นสารละลายกรดพอลิอะคริลิกที่ตกค้างหลังจากการล้างน้ำออก ไม่น่าจะมีผลต่อการก่อตัวของซีเมนต์และกรดชนิดนี้สามารถเพิ่มค่ากำลังยึดระหว่างผิวฟันกับวัสดุกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้

จากหลายการศึกษา^{33,34} พบว่าการใช้สารละลายกรดพอลิอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 10 ทาที่เนื้อฟันเป็นเวลา 20 วินาที แล้วล้างน้ำ จากนั้นยึดด้วยฟูจิทูแอลซี (Fuji II LC, GC Corporation) ซึ่งเป็นกลาสส์ไอโอโนเมอร์

ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน ให้ค่ากำลังแรงยึดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิวอย่างมีนัยสำคัญ Pereira และคณะ³⁵ รายงานการเกิดเรซินแท็ก (resin tag) และโครงสร้างที่คล้ายชั้นไฮบริด (hybrid like layer) จากการปรับสภาพผิวฟันด้วยสารละลายกรดพอลิอะคริลิกและยึดด้วยฟูจิทูแอลซี ขณะที่ Terata และคณะ³⁶ พบว่าสารละลายกรดพอลิอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 10 ไม่ได้ช่วยให้ค่ากำลังแรงยึดของฟูจิทูแอลซีสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะแต่ละการศึกษามีวิธีการที่แตกต่างกันไป เช่น การใช้ฟันมนุษย์และฟันวัว วิธีทดสอบแบบดึงและเฉือน และระยะเวลาการเก็บชิ้นตัวอย่างก่อนนำไปหาค่าแรงยึด เป็นต้น

Long และคณะ³⁷ ทำการศึกษาผลของการปรับสภาพผิวเนื้อฟัน โดยใช้กรดพอลิอะคริลิกที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ซึ่งทาและปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 30 วินาที แล้วล้างน้ำออก พบว่ากรดพอลิอะคริลิกเข้มข้น ร้อยละ 35 ให้ค่าแรง



รูปที่ 4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (4,000x) แสดงผิวเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดพอลิอะคริลิก (a) ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 10 วินาที (b) ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 20 วินาที (c) ความเข้มข้นร้อยละ 35 เป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นนำไปล้างน้ำออก (ภาพนี้ได้มาจากชิ้นทดสอบที่เตรียมโดยผู้เขียนบทความ)

Figure 4 Illustrations from SEM (4,000x) show dentin surface after treated with polyacrylic acid (a) concentration 10 % for 10 seconds, (b) concentration 10 % for 20 seconds (c) | concentration 35 % for 20 seconds and water rinse. (These images were taken from specimens prepared by the authors)

ยึดติดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์สูงสุดคือ 3.89 เมกะพาสคาล และสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทำสารปรับสภาพผิวคือ 2.79 เมกะพาสคาล อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ Berry และคณะ³⁸ ทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเนื้อฟันหลังปรับสภาพด้วยสารเคมีต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าการใช้กรดพลีอะคริลิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 ทาทิ้งไว้ 5 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำ จะให้ลักษณะผิวเนื้อฟันที่เหมาะสมสำหรับยึดกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และถึงแม้ว่าการศึกษาของกรดพลีอะคริลิกที่ใช้สำหรับการปรับสภาพผิวเนื้อฟันจะให้ผลที่ขัดแย้งกัน แต่อย่างไรก็ตามสารชนิดนี้ก็ยังคงเป็นที่นิยมใช้อยู่ เนื่องด้วยสามารถกำจัดชั้น smear ออกจากผิวหน้าของเนื้อฟันได้โดยไม่ทำให้อุณหภูมิของเนื้อฟันเปิดออก หากใช้ความเข้มข้นและระยะเวลาการทาที่เหมาะสม จากรูปที่ 4a ภาพของเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพผิวด้วยกรดพลีอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 10 วินาทีแล้วล้างน้ำออก ซึ่งยังพบชั้น smear ปกคลุมอยู่ แต่เมื่อเพิ่มเวลาปรับสภาพผิวเป็น 20 วินาที ดังรูปที่ 4b พบว่าชั้น smear ถูกกำจัดไปบางส่วนและพบก้อน smear plug (smear plug) บริเวณต่อเนื้อฟัน รูปที่ 4c เป็นการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยกรดพลีอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 35 เป็นเวลา 20 วินาทีแล้วล้างน้ำออก จะไม่พบชั้น smear และพบว่ารูต่อเนื้อฟันถูกเปิดออกหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของกรดและเวลาในการปรับสภาพผิวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผิวของเนื้อฟัน

โดยค่ากำลังแรงยึดติดที่เพิ่มขึ้นหลังจากการทาด้วยสารละลายกรดพลีอะคริลิกสามารถอธิบายได้ว่ากรดชนิดนี้สามารถทำความสะอาดพื้นผิวของเนื้อฟันโดยการกำจัดเศษเนื้อฟันที่เกิดจากการตัดแต่งและกรดยังทำหน้าที่ละลายสารอนินทรีย์บางส่วนที่ผิวเนื้อฟันออกไปทำให้เกิดรูพรุนระดับจุลภาคและเพิ่มพื้นที่ผิว³⁹ Yoshida และคณะ¹⁶ พิสูจน์การเกิดพันธะไอออนิกระหว่างกรดพลีอัลคีนไอนิกกับฟลักไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยใช้เครื่องมือเอ็กซ์พีเอส พบว่าร้อยละ 67.5 ของหมู่คาร์บอกซิลที่อยู่

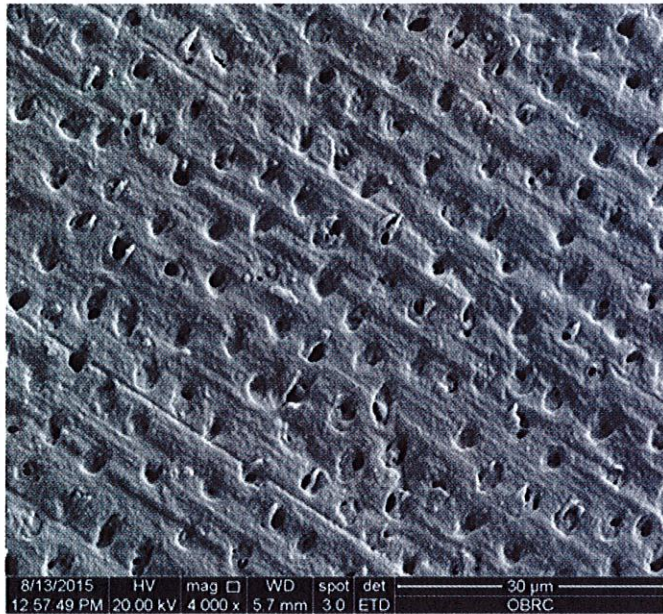
บนสายโซ่ของพอลิอัลคีนไอนิกสามารถเกิดพันธะเคมีกับแคลเซียมไอออนของฟลักไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องการรั่วซึม พบว่าการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยสารละลายกรดพลีอะคริลิก ช่วยลดการรั่วซึมตามขอบของวัสดุกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้⁴⁰⁻⁴⁴

4. สารอีดีทีเอ (EDTA; Ethylenediamine tetraacetic acid)

สารอีดีทีเอเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการรักษาคลองรากฟันโดยมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ กำจัดชั้น smear ที่ผนังคลองราก โดยสารอีดีทีเอเป็นสารคีเลต (chelate) ที่สามารถจับกับแคลเซียมไอออนที่ผิวฟันเกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า แคลเซียมคีเลต (calcium chelate)⁴⁵ จากรูปที่ 5 แสดงการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยสารละลายอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 เป็นเวลา 20 วินาที แล้วล้างน้ำออก พบว่าชั้น smear ถูกกำจัดออกบางส่วน มีก้อน smear ปิดต่อเนื้อฟันอยู่ทั่วไป

Powis และคณะ³⁰ ศึกษาการปรับสภาพผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันด้วยสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 15 ของอีดีทีเอ จากนั้นยึดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ พบว่าสารละลายอีดีทีเอทั้ง 2 ความเข้มข้นสามารถเพิ่มค่าแรงยึดระหว่างผิวเคลือบฟันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ แต่กลับทำให้แรงยึดระหว่างผิวเนื้อฟันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์มีค่าลดลง ซึ่งแตกต่างจากการปรับสภาพผิวด้วยกรดพลีอะคริลิกที่สามารถเพิ่มค่าแรงยึดทั้งในส่วนเคลือบฟันและเนื้อฟัน

Ayad และคณะ⁴⁶ ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการอุดด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตกับวัสดุกลาสส์ไอโอโนเมอร์หลังปรับสภาพผิวเนื้อฟันส่วนรากด้วยสารอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 15 พบว่าการบูรณะด้วยสารยึดติด (bonding agent) และเรซินคอมโพสิตสามารถพบชั้นเรซินแท็กที่ผิวเนื้อฟันได้อย่างสมบูรณ์ ในทางตรงข้ามเมื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยสารอีดีทีเอแล้วอุดด้วยกลาสส์



รูปที่ 5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (4,000x) แสดงผิวเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยอีดีทีเอความเข้มข้นร้อยละ 17 เป็นเวลา 20 วินาทีแล้วล้างน้ำออก (ภาพนี้ได้มาจากชิ้นทดสอบที่เตรียมโดยผู้เขียนบทความ)

Figure 5 Illustration from SEM (4,000x) shows dentin surface after treated with 17 % EDTA for 20 seconds and water rinse. (This image was taken from specimens prepared by the authors)

ไอโอโนเมอร์จะไม่พบเรซินแท้ก โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าการปรับสภาพผิวด้วยสารอีดีทีเอทำให้ลดการสัมผัสโดยตรง (loss of direct contact) ระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์กับผิวฟัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุของวัสดุกับผิวฟัน

Fagundes และคณะ⁴⁷ ศึกษาค่ากำลังแรงดึงระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินกับเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้น 0.1 โมล ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.4 โดยทาทิ้งไว้ 1 นาทีแล้วล้างน้ำออก จากนั้นแช่ชิ้นทดสอบไว้ในน้ำกลั่น เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและ 3 เดือน ผลการทดลองพบว่าทั้งสองช่วงเวลาของการแช่ชิ้นทดสอบเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายอีดีทีเอให้ค่ากำลังแรงดึงสูงกว่าเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าการปรับสภาพผิวฟันด้วยสารอีดีทีเอเป็นการกำจัดชั้นสเมียร์และก้อนสเมียร์ ส่งผลให้เพิ่มแรงยึดทางกลให้แก่กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินกับผิวเนื้อฟัน รวมถึงสารละลายอีดีทีเอยังไม่ทำให้โครงสร้างของเส้นใยคอลลาเจนเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือแร่ธาตุ

ที่อยู่รอบ ๆ เส้นใยคอลลาเจน (intrafibrillar mineral) ยังคงอยู่ และช่วยพยุงไม่ให้เส้นใยเกิดการพับตัว ดังนั้นพื้นผิวของเนื้อฟันยังคงมีแคลเซียมไอออนซึ่งพร้อมที่จะเกิดพันธะเคมีกับหมู่ฟังก์ชันของวัสดุบูรณะฟันได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังกล่าวว่าการใช้สารอีดีทีเอยังทำหน้าที่คล้ายเป็นสารยับยั้งเอนไซม์เมทริกเมทัลโลโปรตีนเนส (matrix metalloproteinases, MMPs) ซึ่งทำให้การปรับสภาพผิวด้วยสารอีดีทีเอสามารถป้องกันความเสี่ยงของการยึดติดเมื่อกาลเวลาผ่านไปอีกด้วย

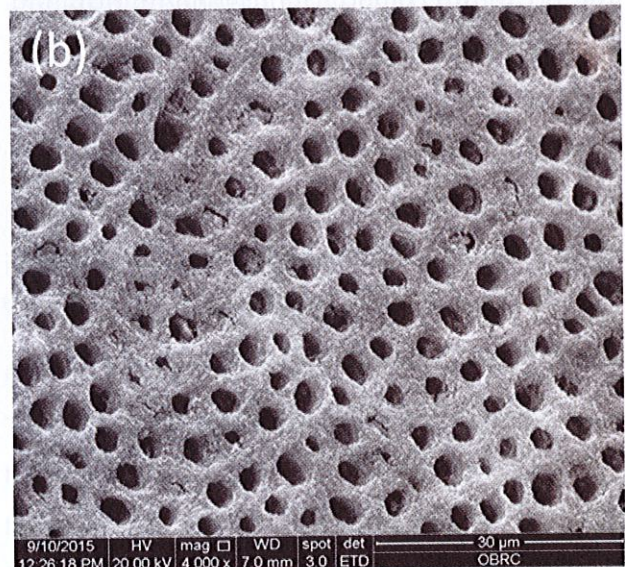
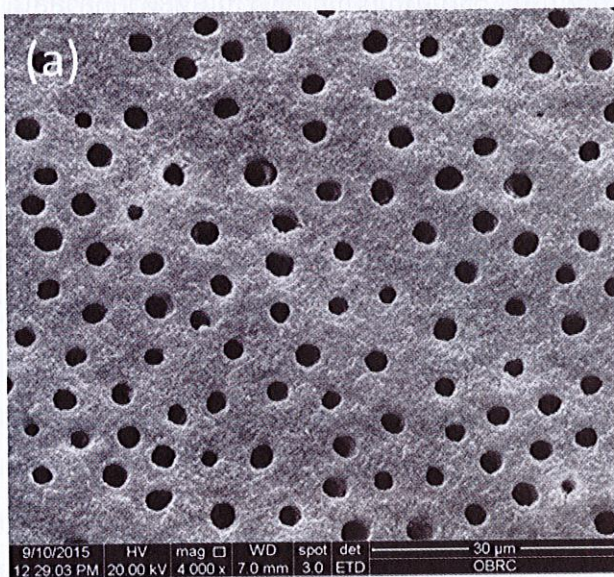
Imbery และคณะ⁴⁸ ศึกษาค่าความทนแรงเฉือนระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินกับเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายอีดีทีเอที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 17 โดยทาทิ้งไว้ 1 นาทีแล้วล้างน้ำออก จากนั้นเก็บชิ้นทดสอบไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงแช่ต่อในน้ำกลั่นอีก 24 ชั่วโมง สำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ของฟูจิฟูแอลซีและคีแทคนาโน ผลการทดลองพบว่าเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายอีดีทีเอให้ค่าความทนแรงเฉือนดิ่งสูงกว่าเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid)

ปัจจุบันในงานทันตกรรมมีการใช้กรดฟอสฟอริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 27-40 อย่างแพร่หลายเพื่อปรับสภาพผิวก่อนการบูรณะฟันด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตในระบบเอทซ์แอนด์รีนส์ (etch and rinse) กรดฟอสฟอริก เป็นกรดแก่ ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ H_3PO_4 เมื่อย้อนกลับไป ปี ค.ศ.1955 Buonocore⁴⁹ แสดงให้เห็นว่าการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 ทาที่ผิวเคลือบฟันแล้วล้างน้ำออก ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ซึ่งสารเรซินที่เหลว ๆ สามารถไหลไปตามรูพรุนดังกล่าวได้ เมื่อเรซินบ่มตัวจะเกิดการยึดแน่นระหว่างผิวเคลือบฟัน และวัสดุเรซิน อันเนื่องมาจากแรงยึดเชิงกลระดับจุลภาคนั้นเอง แต่การใช้กรดฟอสฟอริกในคลินิกเพื่อปรับสภาพผิวฟันเริ่มเป็นรูปธรรมมากขึ้นเมื่อ Bowen⁵⁰ ได้ใช้วัสดุบูรณะฟันชนิดเรซินคอมโพสิตซึ่งหนึ่งในองค์ประกอบหลัก

ก็คือ บิสฟีนอล ไกลซิดิล ไดเมทาคริเลต หรือบิส-จีเอ็มเอ (bisphenol glycidyl dimethacrylate, Bis-GMA) โดยทั้ง Buonocore และ Bowen ใช้กรดดังกล่าวปรับสภาพผิวฟันเพื่อวัตถุประสงค์ในการยึดติดของวัสดุด้วยแรงยึดเชิงกล

จากการศึกษาที่ผ่านมาที่มีการใช้กรดฟอสฟอริกปรับสภาพผิวฟันก่อนการยึดติดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดย Tay และคณะ⁵ และ Yap และคณะ⁵¹ แนะนำว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ทาที่ผิวเนื้อฟัน 15 วินาที ทำให้แรงยึดติดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมกับผิวเนื้อฟันมีค่าลดลง โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าการปรับสภาพผิวด้วยกรดดังกล่าวทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุและปริมาณของแคลเซียมไอออนลดลง ส่งผลกระทบต่อการเกิดพันธะเคมีระหว่างวัสดุกับผิวเนื้อฟัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความแรงของกรดพบว่ากรดพอลิอะคริลิก



รูปที่ 6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (4,000x) แสดงผิวเนื้อฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา (a) 5 และ (b) 10 วินาทีแล้วล้างน้ำออก (ภาพนี้ได้มาจากชิ้นทดสอบที่เตรียมโดยผู้เขียนบทความ)

Figure 6 Illustrations from SEM (4,000x) show dentin surface after treated with 37 % phosphoric acid for (a) 5 and (b) 10 seconds and water rinse. (These images was taken from specimens prepared by the authors)

เป็นกรดอ่อนเมื่อเทียบกับกรดฟอสฟอริก จากรูปที่ 6a ซึ่งใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ทาที่ผิวเนื้อฟันเพียง 5 วินาทีแล้วล้างน้ำออกสามารถสังเกตเห็นได้ว่าชั้นสเมียร์ถูกกำจัดออกและยังทำให้รูท่อนเนื้อฟันเปิดออกอย่างชัดเจน ขณะที่กรดพอลิอะคริลิกสามารถกำจัดชั้นสเมียร์ออกได้เช่นกันแต่ก่อนสเมียร์ที่ปิดรูท่อนเนื้อฟันยังคงอยู่สำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ผลิตภัณฑ์ไรวา (Riva®) ที่ในคู่มือการใช้งานแนะนำให้ใช้กรดพอลิอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 25 ถึง 30 หรือใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 อย่างใดอย่างหนึ่ง ทาที่เนื้อฟันเป็นเวลา 5 วินาทีแล้วล้างน้ำ เพื่อเป็นการปรับสภาพผิวเนื้อฟันก่อนสัมผัสกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ซึ่งผู้เขียนได้ปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 5 และ 10 วินาทีตามลำดับ จากนั้นส่องด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ได้ภาพดังรูปที่ 6a และ 6b โดยพบว่าชั้นสเมียร์ถูกกำจัดออกหมดไม่มีก่อนสเมียร์ปิดท่อนเนื้อฟันและรูของท่อนเนื้อฟันเปิดออกโดยทั่ว จากรูปเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการปรับสภาพผิวของสารต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะพบว่ากรดฟอสฟอริกมีความรุนแรงมากกว่ากรดพอลิอะคริลิกและอดีตที่เออย่างไรก็ตามค่าแรงยึดติดระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวเนื้อฟันที่ใช้กรดฟอสฟอริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 37 ทาเพียง 10 วินาที ยังไม่พบการรายงาน

เมื่อพิจารณาในส่วนของกลุ่มกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน EL-Askary และ Nassif⁴⁰ พบว่าการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 15 วินาที หรือด้วยสารละลายอดีตที่เอเป็นเวลา 60 วินาที สามารถเพิ่มค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวเนื้อฟันกับกลุ่มคีแทกนาโน (Ketac Nano®, 3M ESPE) ซึ่งเป็นกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินชนิดนาโนฟิลล์

Hamama และคณะ⁵² ศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงยึดติดระดับจุลภาคของเนื้อฟันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน เมื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วย

1. กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 5 วินาที 2. กรดพอลิอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 25-30 เป็นเวลา 10 วินาที 3. สารปรับสภาพผิวที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า พบว่าสารปรับสภาพผิวทั้ง 3 ชนิดให้ค่าแรงยึดติดระดับจุลภาคระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุไม่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยได้อ้างอิงถึงการศึกษาของ Scheffel และคณะ⁵³ พบว่า เมื่อกรดฟอสฟอริกสัมผัสผิวเนื้อฟันเพียง 5 วินาที จะมีการละลายแร่ธาตุเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับการสัมผัสของกรดที่นานขึ้น ดังนั้นปริมาณแคลเซียมไอออนที่หลงเหลืออยู่จึงสามารถเกิดพันธะไอออนิกกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินได้

6. สารปรับสภาพผิวนชนิดอื่นๆ (other substances)

Powis และคณะ³⁰ ทำการปรับสภาพผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันก่อนยึดชิ้นงานโลหะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โดยสารที่ใช้ปรับสภาพผิวฟันที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีทั้งหมดหลายชนิด อาทิเช่น กรดซิตริก กรดพอลิอะคริลิก กรดแทนนิก (tannic acid) โดดิซิน (dodacin) โซเดียมฟลูออไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride) เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่าการปรับสภาพผิวเคลือบฟันและเนื้อฟันด้วยโดดิซินความเข้มข้นร้อยละ 0.09 กรดแทนนิกความเข้มข้นร้อยละ 25 หรือ กรดพอลิอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 25 ให้ค่ากำลังแรงยึดติดเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าของกลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพผิว โดย Powis ให้ข้อสังเกตว่าสารเคมีทั้ง 3 ชนิดที่ทำให้ค่าแรงยึดติดที่เพิ่มขึ้นนั้น ต่างเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ในหนึ่งโมเลกุล (multifunctional group) ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของฟันธรรมชาติได้ และจากการทดลองที่ใช้สารแทนนิกเข้มข้นร้อยละ 25 ทาที่ผิวเนื้อฟันแล้วล้างน้ำออกจากนั้นยึดชิ้นโลหะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์แล้วแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เก็บชิ้นทดสอบไว้ 24 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมงแล้วทำการวัดค่าแรงยึดติด ซึ่งได้ค่าเท่ากับ

6.32 เมกะพาสคาล และ 7.32 เมกะพาสคาล ตามลำดับ โดยมีรูปแบบของการแตกหักเป็นแบบการเชื่อมแน่นล้มเหลว (cohesive failure) หรือแตกในเนื้อของวัสดุเอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บขึ้นทดสอบไว้นาน วัสดุกลาสส์ไอโอโนเมอร์มีการก่อตัวที่สมบูรณ์มากขึ้น โดยส่วนของเมทริกซ์จะเกิดโครงสร้างของร่างแหของสายโซ่พอลิอัลคีนอีกเพิ่มขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ Powis ยังพบว่าการใช้โซเดียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ไม่ได้ทำให้ค่าแรงยึดติดลดลงเหมือนผลการศึกษาของ Causton และ Johnson²⁷

Quinn Beech และคณะ⁵⁴ รายงานค่าแรงยึดติดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวเนื้อฟันที่ไม่ได้ทำสารปรับสภาพผิวมีค่าเท่ากับ 2.2 เมกะพาสคาล แต่ในขณะที่เมื่อทดสอบกับผิวเคลือบฟันที่ไม่ได้รับการทำด้วยสารใดให้ค่าแรงยึดติดสูงถึง 4.5 เมกะพาสคาล รวมถึงยังพบว่าการใช้สารละลายต่าง ๆ อาทิเช่น สารละลายไอทีเอสตามสูตรของ Causton และ Johnson²⁷ ทา 2 นาที กรดแทนนิกความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 3 นาที กรดพอลิอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 40 นาน 3 นาที และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ นาน 5 นาที เป็นต้น เพื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟัน ไม่ได้ช่วยทำให้ค่าแรงยึดติดสูงขึ้นแต่อย่างใด โดย Beech และคณะให้เหตุผลว่า กรดทาร์ทริกที่อยู่ในกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ อาจไปละลายชั้นผิวของเนื้อฟันและไปหักล้างผลของสารปรับสภาพผิวที่เกิดจากการทำด้วยสารเคมีที่กล่าวมา และยังอธิบายว่าสาเหตุที่ค่าแรงยึดติดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ที่ผิวเคลือบฟันมีค่าสูงกว่าที่ผิวเนื้อฟัน โดยอ้างอิงตามความเชื่อของ Olio⁵⁵ ที่กล่าวว่าเป็นเพราะมีการดูดซึมน้ำจากเนื้อฟันเข้าสู่เนื้อของวัสดุ จึงทำให้เกิดความอ่อนแอที่บริเวณใกล้รอยต่อระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับเนื้อฟัน

Prati และคณะ⁵⁶ ได้ศึกษาค่ากำลังแรงยึดระหว่างเนื้อฟันกับ วิทริบอนด์ (Vitrebond™, 3M ESPE) ซึ่งเป็นกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน โดยปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยสารละลายหลายชนิด อาทิเช่น น้ำเกลือ

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite) กรดพอลิอะคริลิก กรดมาลิก (malic acid) กรดแทนนิก อีดีทีเอ และไดโปแทสเซียมออกซาเลต (dipotassium oxalate) เป็นต้น โดยใช้สารละลายน้ำเกลือเป็นกลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า การปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และกรดพอลิอะคริลิกให้ค่ากำลังแรงยึดต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ขณะที่กลุ่มที่ปรับสภาพด้วยไดโปแทสเซียมออกซาเลตให้ค่ากำลังแรงยึดสูงสุด คือประมาณ 10.51 เมกะพาสคาล ซึ่งมากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าประมาณ 5.94 เมกะพาสคาล โดยผู้ทำวิจัยได้อธิบายว่าการทำด้วยสารละลายไดโปแทสเซียมออกซาเลตแล้วล้างน้ำออก ทำให้เกิดผลึกของแคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate crystals) ที่ผิวเนื้อฟัน⁵⁷ ซึ่งส่งผลให้พื้นผิวมีความเปียก (wettability) เหมาะสำหรับการไหลแผ่ของวิทริบอนด์ และเนื่องด้วยโครงสร้างของออกซาเลตที่เป็นคาร์บอกซิล 2 หมู่ โดยคาร์บอกซิลหมู่หนึ่งจับกับแคลเซียม และอีกหมู่หนึ่งที่เหลือทำปฏิกิริยากับอนุภาคของฟลูออโรอะลูมิโนซิลิเกตกลาสส์ที่อยู่ในวิทริบอนด์ได้ ดังนั้นออกซาเลตจึงทำหน้าที่เหมือนตัวเชื่อมผิวฟันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ ส่งผลให้มีค่ากำลังแรงยึดที่สูงขึ้นนั่นเอง เมื่อพิจารณาที่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ซึ่งในปี 1989 Prati และคณะ⁵⁸ ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ปรับสภาพผิวของเนื้อฟันพบว่าสารละลายชนิดนี้ไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดของค่ากำลังยึดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม ดังนั้นผลจากการศึกษาของ Prati และคณะ⁵⁶ อาจบ่งบอกได้ว่าการปรับสภาพผิวของเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมและชนิดดัดแปรด้วยเรซิน อาจจะต้องใช้สารละลายที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม คู่มือการใช้งานของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ ผลิตภัณฑ์ฟูจิตูแอลซี แนะนำให้ปรับสภาพผิวฟันด้วยสารละลายกรดพอลิอะคริลิก จากหลายการศึกษาพบว่าการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยสารละลายกรดพอลิอะคริลิกสามารถเพิ่มค่ากำลังแรงยึดให้กับฟูจิตูแอลซีได้^{28, 34, 59}

7. สารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า (commercial product of dentin conditioning agents for glass-ionomer cement)

ปัจจุบันมีสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าก่อนการบูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ออกวางจำหน่ายในท้องตลาดมากมายหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาส่วนประกอบหลักของแต่ละผลิตภัณฑ์ พบว่ามีส่วนประกอบหลักเป็น กรดพอลิอะคริลิกที่ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 30 ซึ่งหน้าที่ของกรดชนิดนี้ได้กล่าวถึงในส่วนต้นแล้ว แต่ยังมีสารเคมีบางชนิดเช่น สารอะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride) ที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ จีซีแควิตีคอนดิชันเนอร์ (GC cavity conditioner, GC Corporation) โดยบริษัทผู้ผลิตอ้างว่าเมื่อผิวเนื้อฟันสัมผัสกับกรดแล้วเกิดการสูญเสียแร่ธาตุไปอะลูมิเนียม

คลอไรด์ จะช่วยคงสภาพเส้นใยคอลลาเจนไม่ให้ฟู^{34, 35} เป็นต้น Coutinho และคณะ⁶⁰ ศึกษาผลิตภัณฑ์ คีแทกนาโนหนึ่งร้อย (Ketac Nano -100, 3M ESPE) ซึ่งเป็นกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินชนิดนาโนฟิลล์กับผิวเนื้อฟันที่ได้รับหรือไม่ได้การปรับสภาพด้วยคีแทกนาโนไพรเมอร์ (Ketac nano primer, 3M ESPE) พบว่าคีแทกนาโนไพรเมอร์ สามารถช่วยส่งเสริมค่ากำลังแรงยึดขณะที่เนื้อฟันที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิวมีค่ากำลังแรงยึดเป็นศูนย์ Hoshika และคณะ³⁹ ศึกษาการปรับสภาพเนื้อฟันด้วยจีซีแควิตีคอนดิชันเนอร์แล้วยึดด้วยฟูจิไนน์จีพีเอ็กซ์ตรา (Fuji IX GP Extra, GC Corporation) โดยเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเมื่อเก็บชิ้นตัวอย่างไว้ 1 สัปดาห์ 1 เดือน 3 เดือน และ 6 เดือน พบว่าค่ากำลังแรงยึดของทุกช่วงเวลาไม่แตกต่างกัน แต่ในกรณีที่เนื้อฟันไม่ได้รับการปรับสภาพ พบว่าที่ระยะเวลา 6 เดือนค่ากำลังแรงยึดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และสารที่เป็นองค์ประกอบ

Table 1 The samples of commercial product of dentin conditioner for glass-ionomer cement and their compositions

Product	Composition	Company
GC Dentin Conditioner	10 % Polyacrylic acid	GC Corporation, Tokyo, Japan
GC Cavity Conditioner	20 % Polyacrylic acid, 3 % Aluminum chloride hexahydrate	GC Corporation, Tokyo, Japan
GC Fuji Plus Conditioner	Citric acid monohydrate, ferric chloride	GC Corporation, Tokyo, Japan
Self-Conditioner for Fuji Filling	HEMA, 4-META, ethanol and water	GC Corporation, Tokyo, Japan
Ketac Dentin Conditioner	25 % Polyacrylic acid	3M ESPE, Seefeld, Germany
Vitremer core build up/ restorative primer	46 % HEMA, 39 % Ethyl alcohol, 15 % Polyacrylic acid, photoinitiator	3M ESPE, Seefeld, Germany
Ketac Nano primer	HEMA, water, copolymer acrylic acid and itaconic acid, photoinitiator	3M ESPE, Seefeld, Germany
Riva Conditioner	25-30 % Polyacrylic acid	SDI Limited, Bayswater Victoria, Australia

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการยึดอยู่ของการบูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์กับผิวฟันมีหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ธรรมชาติของผิวฟัน (nature of the substrate) การปนเปื้อน (surface contamination) ของผิวฟัน การปรับสภาพและสารทำความสะอาดผิวฟัน (surface treatment and cleaning agent)¹³

มีหลายการศึกษารายงานว่า การทาผิวฟันด้วยสารปรับสภาพผิวก่อนการบูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้ค่าแรงยึดสูงกว่าการไม่ใช้สารปรับสภาพผิว ซึ่งเป็นเพราะสารปรับสภาพผิวอาจทำหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลาย ๆ อย่าง ได้แก่ กำจัดหรือตัดแปรชั้นสเมียร์ละลายอินทรีย์สาร สร้างพันธะเคมีกับผิวฟัน ลดการเกิดช่องว่างและเพิ่มความแนบสนิทระหว่างผิววัสดุกับผิวฟัน อีกทั้งยังส่งเสริมให้เกิดชั้นการแลกเปลี่ยนประจุที่สมบูรณ์จากอดีตมีการศึกษาเรื่องการปรับสภาพผิวฟันก่อนการบูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ด้วยสารเคมีหลายชนิด ได้แก่ กรดซิตริก สารละลายของแร่ธาตุ กรดพอลิอะคริลิก สารอีดีทีเอ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น ซึ่งสารเคมีดังกล่าวเป็นต้นแบบในการพัฒนาสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า โดยเมื่อพิจารณาสารปรับสภาพผิวที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า พบว่าองค์ประกอบหลักส่วนใหญ่เป็นกรดพอลิอะคริลิก เนื่องจากเป็นกรดอ่อนสามารถทำความสะอาดผิวฟัน กำจัดหรือตัดแปรชั้นสเมียร์ทำให้ผิวฟันเกิดสูญเสียแร่ธาตุบางส่วน สามารถสร้างพันธะเคมีกับผิวฟัน รวมถึงยังมีโครงสร้างของกรดที่คล้ายคลึงกับส่วนประกอบของกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และจากหลายงานวิจัยสรุปไปในทิศทางเดียวกันว่าสามารถเพิ่มค่าแรงยึดระหว่างผิวฟันกับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์อีกด้วย^{40, 61} แต่ในส่วนของกรดซิตริกซึ่งเป็นกรดแก่ และ

เมื่อพิจารณาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดหลังปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยกรดซิตริกพบว่าผิวเนื้อฟันไม่มีส่วนของชั้นสเมียร์ปกคลุม มีการเปิดออกของท่อเนื้อฟันอย่างสมบูรณ์ซึ่งกรณีที่บูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีความหนืดสูง อาจทำให้ซีเมนต์ไหลแผ่เข้าไปในช่องว่างดังกล่าวไม่สมบูรณ์ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการรั่วซึมต่อมาในอนาคตได้ อย่างไรก็ตามยังมีการแนะนำให้ใช้กรดซิตริกในการปรับสภาพผิวเนื้อฟันเป็นเวลา 20 วินาทีแล้วล้างน้ำออกเช่น ผลิตภัณฑ์ซีฟิวจีพลัสคอนดิชันเนอร์ (GC Fuji Plus Conditioner, GC Corporation) ที่ใช้เป็นสารปรับสภาพผิวฟันก่อนการยึดชิ้นงานบูรณะด้วยสารเชื่อมยึดซีฟิวจีพลัส (GC Fuji Plus, GC Corporation) ซึ่งเป็นกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดตัดแปรด้วยเรซิน โดยทั่วไปกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดที่ใช้สำหรับการเชื่อมยึดชิ้นงานบูรณะจะมีความหนืดต่ำกว่ากลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดที่ใช้อุดฟันและในขั้นตอนการยึดชิ้นงานบูรณะทันตแพทย์ต้องใช้แรงกดบนชิ้นงานหรือต้องมีแรงกีดจากฟันคู่สบของผู้ป่วยเองเพื่อให้ชิ้นงานบูรณะเข้าสู่ตำแหน่งที่ถูกต้องบนพื้นหลักจึงน่าจะช่วยให้วัสดุไหลแผ่และแทรกเข้าไปในผิวเนื้อฟันที่ผ่านการปรับสภาพผิวได้ ดังนั้นการใช้กรดซิตริกปรับสภาพผิวเนื้อฟันสำหรับกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ใช้เป็นสารเชื่อมยึดตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ได้

มีการศึกษาทางคลินิกโดยเปรียบเทียบระหว่างการทำและไม่ทำสารปรับสภาพผิวฟันก่อนการบูรณะด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์พบว่า ค่าอัตราการยึดติด (retention rate) และค่าการติดสีตามขอบของวัสดุ (marginal staining) ไม่แตกต่างกัน⁶²⁻⁶⁴ โดยการศึกษาของ Tyas⁶³ ในปี ค.ศ.1994 ได้ศึกษาการติดสีตามขอบของวัสดุ (marginal staining) ภายหลังจากอุดรอยขีดสี

(abrasion lesion) ที่บริเวณคอฟันด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม โดยติดตามเป็นระยะเวลา 3 ปี พบว่าการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดพอลิอะคริลิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 เป็นเวลา 10 วินาที ให้ค่าการติดสีตามขอบของวัสดุไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ขัดผิวฟันด้วยผงฟัมมิสผสมน้ำ โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าเนื่องจากชั้นสเมียร์ที่ปกคลุมบนพื้นผิวของรอยขีดสีจะมีลักษณะแตกต่างจากชั้นสเมียร์จากการกรอตัดฟัน ซึ่งสิ่งที่ปกคลุมจริง ๆ บนผิวของรอยขีดสีน่าจะเป็นแผ่นคราบน้ำลาย (salivary pellicle) มากกว่า ดังนั้นการปรับสภาพผิวด้วยกรดพอลิอะคริลิกก่อนการอุดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมนั้นจึงไม่มีความจำเป็น รวมถึงกรดส่วนเกิน (free acid) ที่มากพบบนผิวของซีเมนต์ที่ยังไม่ก่อตัวก็สามารถละลายชั้นสเมียร์ที่ผิวฟันได้เช่นกัน van Dijken⁶⁴ ให้ผลงานวิจัยทางคลินิกที่สอดคล้องกันคือ การทาสารปรับสภาพผิวด้วยกรดพอลิอะคริลิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 มีอัตราการหลุดของวัสดุที่ร้อยละ 17.9 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่ขัดผิวฟันด้วยผงฟัมมิสผสมน้ำก่อนการบ่มซึ่งมีอัตราการหลุดของวัสดุอยู่ที่ร้อยละ 11.6 เท่านั้น

Tanumiharja และคณะ⁶⁵ เปรียบเทียบความแนบสนิทของผิวกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมและกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินกับผิวเนื้อฟัน เมื่อทาและไม่ทาสารปรับสภาพผิวก่อนการบ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ผลการศึกษาพบว่า ไม่มีความแตกต่างในเรื่องความแนบสนิทระหว่างผิววัสดุและผิวเนื้อฟัน รวมถึงยังพบว่ากลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทั้งสองชนิดสามารถแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟันได้และสามารถเกิดชั้นการแลกเปลี่ยนประจุหรือชั้นต้านทานกรด-ด่าง (acid-base resistant layer) บนผิวเนื้อฟันได้เช่นกัน ซึ่งผลการศึกษาไปในทิศทางเดียวกับ Kaushik และคณะ⁶⁶ พบว่าการทาสารปรับสภาพผิวก่อนการบ่มด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ยังสามารถเพิ่มความแนบสนิทให้กับชั้นระหว่างวิภาคอีกด้วย

ในสารปรับสภาพผิวฟันบางชนิดเช่น เซลฟ์

คอนดิชันเนอร์ (self-conditioner) และวิทริเมอร์คอร์บิวด์อัพ/เรสทอเรทีฟไพรเมอร์ (Vitremere core build up/restorative primer, 3M ESPE) มีการเติมสารมอนอเมอร์ เช่น สารฮีมา เพื่อหวังผลในการเกิดพันธะเคมีระหว่างมอนอเมอร์ดังกล่าวกับมอนอเมอร์ที่อยู่ในกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินอีกด้วย Poggio และคณะ⁶⁷ ศึกษาค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมชนิด ฟุจินอนจีพีเอ็กซ์และกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินชนิดฟุจิบูแอลซี เมื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยสารเคมีต่าง ๆ ดังนี้คือ 1. จีซีคิววิตีคอนดิชันเนอร์ ซึ่งประกอบด้วย กรดพอลิอะคริลิกร้อยละ 20 กับอะลูมิเนียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตร้อยละ 3 เป็นเวลา 20 วินาทีแล้วล้างน้ำออก 2. กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 15 วินาที แล้วล้างน้ำออก 3. เซลฟ์เอทช์บอนดิง (self-etch bonding; Clearfil SE bond, Kuraray) และ 4. กลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า ค่าแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินมากกว่ากลุ่มกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและการใช้เซลฟ์เอทช์บอนดิงปรับสภาพผิวเนื้อฟันก่อนการยึดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุดในทางตรงข้าม การปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยวิธีดังกล่าวแล้วยึดด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมกลับให้ค่าแรงยึดที่ต่ำที่สุด โดยผู้วิจัยให้เหตุผลว่าสารฮีมาซึ่งเป็นมอนอเมอร์ที่อยู่ในเซลฟ์เอทช์บอนดิงมีส่วนสำคัญทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวสูงขึ้นเนื่องจากสารฮีมาเป็นไพรเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic primer) เป็นตัวช่วยให้มอนอเมอร์ที่อยู่ในกลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปรด้วยเรซินไหลแผ่ไปบนผิวของเนื้อฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุได้ดีขึ้น และสุดท้ายจะเกิดเป็นชั้นไฮบริดชัน ซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้น

ผู้เรียบเรียงใคร่เสนอแนะว่า ก่อนการบ่มด้วยกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ ทันตแพทย์ผู้ใช้งานควรศึกษาคู่มือวิธีการใช้งาน และปฏิบัติตามข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิตในการใช้สารปรับสภาพผิวฟันอย่างเคร่งครัด

เนื่องจากสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันแต่ละผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบและสัดส่วนของสารเคมีที่แตกต่างกัน รวมถึงยังมีวิธีการใช้งานที่แตกต่างกันอีกด้วย เช่น บางผลิตภัณฑ์ให้ล้างน้ำ บางผลิตภัณฑ์ไม่ให้ล้างน้ำ นอกจากนี้บางผลิตภัณฑ์ต้องฉายแสง ตัวอย่างเช่น วิทริเมอร์คอร์ บิวต์อัลฟ/เรสทอเรทีฟ ไพโรเมอร์ เนื่องจากมีส่วนประกอบของสารเริ่มต้น (initiator) ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นช่วงแสงสีฟ้า เป็นต้น ดังนั้นควรปฏิบัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอย่างเคร่งครัดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ป่วย และช่วยให้วัสดุบูรณะสามารถอยู่ในช่องปากของผู้ป่วยได้อย่างปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และใช้งานได้ยาวนานที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Tyas MJ, Burrow MF. Adhesive restorative materials: a review. *Aust Dent J* 2004;49:112-21.
2. Ngo H, Mount GJ, Peters MC. A study of glass-ionomer cement and its interface with enamel and dentin using a low-temperature, high-resolution scanning electron microscopic technique. *Quintessence Int* 1997;28:63-9.
3. Ferrari M, Davidson CL. Interdiffusion of a traditional glass ionomer cement into conditioned dentin. *Am J Dent* 1997;10:295-7.
4. Hosoya Y, Garcia-Godoy F. Bonding mechanism of Ketac-Molar Aplicap and Fuji IX GP to enamel and dentin. *Am J Dent* 1998;11:235-9.
5. Tay FR, Smales RJ, Ngo H, Wei SH, Pashley DH. Effect of different conditioning protocols on adhesion of a GIC to dentin. *J Adhes Dent* 2001;3:153-67.
6. Yip HK, Tay FR, Ngo HC, Smales RJ, Pashley DH. Bonding of contemporary glass ionomer cements to dentin. *Dent Mater* 2001;17:456-70.
7. Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res* 1970;49: Suppl:1359-68.
8. Pashley DH. Smear layer: physiological considerations. *Oper Dent Suppl* 1984;3:13-29.
9. Brannstrom M, Johnson G. Effects of various conditioners and cleaning agents on prepared dentin surfaces: a scanning electron microscopic investigation. *J Prosthet Dent* 1974;31:422-30.
10. McComb D, Smith DC. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod* 1975;1:238-42.
11. Garg N, Garg A, editors. Bonding agents and techniques: Textbook of operative dentistry. 3rd ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.; 2015. p. 233-51.
12. Wilson AD, Kent BE. A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. *Br Dent J* 1972;132:133-5.
13. Walls AW. Glass polyalkenoate (glass-ionomer) cements: a review. *J Dent* 1986;14:231-46.
14. Primus C, Shen C. Dental cements ; In: Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR, editors. Phillips' Science of Dental Materials. 12th ed. St Louis: Saunders; 2013. p. 307-39.
15. Chandra S, Chandra S, Chandra G, editors. Glass ionomer cement: Textbook of operative dentistry. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.; 2008. p. 265-72.
16. Yoshida Y, Van Meerbeek B, Nakayama Y, Snauwaert J, Hellems L, Lambrechts P, et al.

- Evidence of chemical bonding at biomaterial-hard tissue interfaces. *J Dent Res* 2000;79:709-14.
17. Fukuda R, Yoshida Y, Nakayama Y, Okazaki M, Inoue S, Sano H, *et al.* Bonding efficacy of polyalkenoic acids to hydroxyapatite, enamel and dentin. *Biomaterials* 2003;24:1861-7.
 18. Hotz P, McLean JW, Sced I, Wilson AD. The bonding of glass ionomer cements to metal and tooth substrates. *Br Dent J* 1977;142:41-7.
 19. Prodger TE, Symonds M. ASPA adhesion study. *Br Dent J* 1977;143:266-70.
 20. Hood JA, Childs WA, Evans DF. Bond strengths of glass-ionomer and polycarboxylate cements to dentine. *N Z Dent J* 1981;77:141-4.
 21. Lacefield WR, Reindl MC, Retief DH. Tensile bond strength of a glass-ionomer cement. *J Prosthet Dent* 1985;53:194-8.
 22. Levine RS, Beech DR, Garton B. Improving the bond strength of polyacrylate cements to dentine. A rapid technique. *Br Dent J* 1977;143:275-7.
 23. Beech DR. A spectroscopic study of the interaction between human tooth enamel and polyacrylic acid (polycarboxylate cement). *Arch Oral Biol* 1972;17:907-11.
 24. Beech DR. Improvement in the adhesion of polyacrylate cements to human dentine. *Br Dent J* 1973;135:442-5.
 25. Causton BE, Johnson NW. The role of diffusible ionic species in the bonding of polycarboxylate cements to dentine: an in vitro study. *J Dent Res* 1979;58:1383-93.
 26. Hosoda H. The composition and setting reaction of glass ionomer cement ; In: Katsuyama S, Ishikawa T, Fujii B, editors. Glass ionomer dental cement: The materials and their clinical use. Tokyo: Ishiyaku EuroAmerica, Inc.; 1993. p. 16-30.
 27. Causton BE, Johnson NW. Improvement of polycarboxylate adhesion to dentine by the use of a new calcifying solution. An in vitro study. *Br Dent J* 1982;152:9-11.
 28. Inoue S, Van Meerbeek B, Abe Y, Yoshida Y, Lambrechts P, Vanherle G, *et al.* Effect of remaining dentin thickness and the use of conditioner on micro-tensile bond strength of a glass-ionomer adhesive. *Dent Mater* 2001;17:445-55.
 29. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, *et al.* Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 2003;28:215-35.
 30. Powis DR, Folleras T, Merson SA, Wilson AD. Improved adhesion of a glass ionomer cement to dentin and enamel. *J Dent Res* 1982;61:1416-22.
 31. Mount GJ. Buonocore Memorial Lecture. Glass-ionomer cements: past, present and future. *Oper Dent* 1994;19:82-90.
 32. Akinmade AO, Nicholson JW. Glass-ionomer cements as adhesives. *J Mater Sci Mater Med* 1993;4:95-101.
 33. Charlton DG, Haveman CW. Dentin surface treatment and bond strength of glass ionomers. *Am J Dent* 1994;7:47-9.
 34. Tanumiharja M, Burrow MF, Tyas MJ. Microtensile bond strengths of glass ionomer (polyalkenoate) cements to dentine using four conditioners. *J Dent* 2000;28:361-6.

35. Pereira PN, Yamada T, Tei R, Tagami J. Bond strength and interface micromorphology of an improved resin-modified glass ionomer cement. *Am J Dent* 1997;10:128-32.
36. Terata R, Nakashima K, Yoshinaka S, Kubota M. Effect of dentin treatment with citric acid/ferric chloride solutions on glass ionomer bond strength. *Am J Dent* 1998;11:33-5.
37. Long TE, Duke ES, Nording BK. Polyacrylic acid cleaning of dentin and glass-ionomer bond strength. *J Dent Res* 1986;65:345. (Abstr 1583).
38. Berry EA 3rd, von der Lehr WN, Herrin HK. Dentin surface treatments for the removal of the smear layer: an SEM study. *J Am Dent Assoc* 1987;115:65-7.
39. Hoshika S, De Munck J, Sano H, Sidhu SK, Van Meerbeek B. Effect of Conditioning and Aging on the Bond Strength and Interfacial Morphology of Glass-ionomer Cement Bonded to Dentin. *J Adhes Dent* 2015;17:141-6.
40. El-Askary FS, Nassif MS. The effect of the pre-conditioning step on the shear bond strength of nano-filled resin-modified glass-ionomer to dentin. *Eur J Dent* 2011;5:150-6.
41. Yilmaz Y, Gurbuz T, Kocogullari ME. The influence of various conditioner agents on the interdiffusion zone and microleakage of a glass ionomer cement with a high viscosity in primary teeth. *Oper Dent* 2005;30:105-12.
42. Glasspoole EA, Erickson RL, Davidson CL. Effect of surface treatments on the bond strength of glass ionomers to enamel. *Dent Mater* 2002;18:454-62.
43. Cortes O, Garcia-Godoy F, Boj JR. Bond strength of resin-reinforced glass ionomer cements after enamel etching. *Am J Dent* 1993;6:299-301.
44. Di Nicolo R, Shintome LK, Myaki SI, Nagayassu MP. Bond strength of resin modified glass ionomer cement to primary dentin after cutting with different bur types and dentin conditioning. *J Appl Oral Sci* 2007;15:459-64.
45. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. *Int Endod J* 2010;43:2-15.
46. Ayad MF, Bahannan SA, Rosenstiel SF. Morphological characteristics of the interface between resin composite and glass-ionomer cement to thin-walled roots: a microscopic investigation. *Am J Dent* 2010;23:103-7.
47. Fagundes TC, Toledano M, Navarro MF, Osorio R. Resistance to degradation of resin-modified glass-ionomer cements dentine bonds. *J Dent* 2009;37:342-7.
48. Imbery TA, Namboodiri A, Duncan A, Amos R, Best AM, Moon PC. Evaluating dentin surface treatments for resin-modified glass ionomer restorative materials. *Oper Dent* 2013;38:429-38.
49. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955;34:849-53.
50. Bowen RL. Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues. II. Bonding to dentin promoted by a surface-active comonomer. *J Dent Res* 1965;44:895-902.
51. Yap AU, Tan AC, Goh AT, Goh DC, Chin KC. Effect of surface treatment and cement maturation on the bond strength of resin-modified glass ionomers to dentin. *Oper Dent* 2003;28:728-33.

52. Hamama HH, Burrow MF, Yiu C. Effect of dentine conditioning on adhesion of resin-modified glass ionomer adhesives. *Aust Dent J* 2014;59:193-200.
53. Scheffel DL, Tenuta LM, Cury JA, Hebling J. Effect of acid etching time on demineralization of primary and permanent coronal dentin. *Am J Dent* 2012;25:235-8.
54. Beech DR, Solomon A, Bernier R. Bond strength of polycarboxylic acid cements to treated dentine. *Dent Mater* 1985;1:154-7.
55. Oilo G. Bond strength of new ionomer cements to dentin. *Scand J Dent Res* 1981;89:344-7.
56. Prati C, Montanari G, Biagini G, Fava F, Pashley DH. Effects of dentin surface treatments on the shear bond strength of Vitrabond. *Dent Mater* 1992;8:21-6.
57. Pashley DH, Galloway SE. The effects of oxalate treatment on the smear layer of ground surfaces of human dentine. *Arch Oral Biol* 1985;30:731-7.
58. Prati C, Nucci C, Montanari G. Effects of acid and cleansing agents on shear bond strength and marginal microleakage of glass-ionomer cements. *Dent Mater* 1989;5:260-5.
59. Coutinho E, Van Landuyt K, De Munck J, Poitevin A, Yoshida Y, Inoue S, *et al.* Development of a self-etch adhesive for resin-modified glass ionomers. *J Dent Res* 2006;85:349-53.
60. Coutinho E, Cardoso MV, De Munck J, Neves AA, Van Landuyt KL, Poitevin A, *et al.* Bonding effectiveness and interfacial characterization of a nano-filled resin-modified glass-ionomer. *Dent Mater* 2009;25:1347-57.
61. Garcia-Godoy F. Dentine surface treatment and shear bond strength of a light-cured glass ionomer. *Am J Dent* 1992;5:283-5.
62. Tyas MJ. The effect of dentine conditioning with polyacrylic acid on the clinical performance of glass ionomer cement. *Aust Dent J* 1993;38:46-8.
63. Tyas MJ. The effect of dentine conditioning with polyacrylic acid on the clinical performance of glass ionomer cement--3-year results. *Aust Dent J* 1994;39:220-1.
64. van Dijken J. Three-year evaluation of effect of surface conditioning on bonding of glass ionomer cement in cervical abrasion lesions. *Scand J Dent Res* 1992;100:133-5.
65. Tanumiharja M, Burrow MF, Cimmino A, Tyas MJ. The evaluation of four conditioners for glass ionomer cements using field-emission scanning electron microscopy. *J Dent* 2001;29:131-8.
66. Kaushik M, Sharma R, Reddy P, Pathak P, Udameshi P, Vallakuruchi Jayabal N. Comparative evaluation of voids present in conventional and capsulated glass ionomer cements using two different conditioners: an in vitro study. *Int J Biomater* 2014;2014:5.
67. Poggio C, Beltrami R, Scribante A, Colombo M, Lombardini M. Effects of dentin surface treatments on shear bond strength of glass-ionomer cements. *Ann Stomatol (Roma)* 2014;5:15-22.