



การปรับสภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียในทางทันตกรรม: บทความปริทัศน์ Surface Treatments of Dental Zirconia: A Review

ปารย์วี ธนอมศักดิ์ชัย¹, พิสัยศิษฐ์ ชัยจรินนท์^{1*}

Panravee Thanomsakchai¹, Pisaisit Chaijareenont^{1*}

บทคัดย่อ

เซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติโดดเด่นทั้งเชิงกลและชีวภาพ มีการนำเซอร์โคเนียมาใช้ในทางทันตกรรมทั้งในส่วนทันตกรรมประดิษฐ์ และทันตกรรมรากเทียม สิ่งที่เป็นปัญหาสำหรับวัสดุชนิดนี้คือ เป็นสารที่ไม่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ ทำให้ไม่สามารถใช้กรดเพียงอย่างเดียวในการเตรียมพื้นผิว และไม่สามารถให้การยึดติดกับซีเมนต์เรซินได้ จึงมีการคิดค้นการเตรียมพื้นผิวดังกล่าวหลากหลายวิธี ทั้งวิธีเชิงกล เช่น การเป่าทราย การใช้หัวกรออากาศเพชร การใช้เลเซอร์ การกัดขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้า การทำซีล็คทิฟอนฟิลเทรชันเอทซิง หรือการใช้กรดวิธีทางเคมี เช่น การเพิ่มซิลิกา หรือการใช่มอนอเมอร์ทำงาน รวมไปถึงการใช้วิธีเชิงกลและทางเคมีร่วมกันเพื่อให้ได้การยึดติดที่ดีที่สุด โดยวิธีที่เป็นที่นิยมและให้ผลดีในปัจจุบันคือ การเตรียมพื้นผิวเชิงกลโดยการเป่าทรายด้วยอนุภาคขนาดเล็กที่มีความดัน 0.1-0.25 เมกะพาสคัล เพื่อเพิ่มความขรุขระและทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค ตามด้วยวิธีทางเคมีคือการใช้มอนอเมอร์ทำงานที่มีอยู่ในไพรเมอร์หรือซีเมนต์เรซิน ร่วมกับการใช้ซีเมนต์เรซินในการยึดติดชิ้นงานเซอร์โคเนียดังกล่าว

คำไชรหัส: การปรับสภาพพื้นผิว, เซอร์โคเนีย

Citation:

Thanomsakchai P, Chaijareenont P. Surface treatments of dental of dental Zirconia: A review. Health Sci J Thai 2022; 4(4): 53-62, (in Thai); (in Thai); <https://doi.org/10.55164/hsjt.v4i3.251979>

* Corresponding author: E-mail: pisaisit.c@cmu.ac.th, Tel: 0819399538
Received: Jul 6, 2021; Revised: Jul 24, 2022; Accepted: Sep 5, 2022
<https://doi.org/10.55164/hsjt.v4i4.251979>

¹ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ 50200

¹ Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, 50200, Thailand

Abstract

Regarding the outstanding mechanical and biological properties, zirconia has been generally used in dentistry mainly in prosthodontic and implant dentistry. The problem with this material is that zirconia is a non-silica-based material that cannot be treated with acid etching leading to a loss of ability to bond with resin cement. Surface treatments used most often to improve adhesion are mechanical techniques (airborne particle abrasion, diamond stone, laser, elective discharge machine, selective infiltration etching technique, acid etching), chemical techniques (silicatization, functional monomer), and the combination of mechanical and chemical techniques. The most popular and effective technique is the combined technique which is using small airborne particle abrasion with a pressure of 0.1-0.25 megapascal to roughen the surface and to achieve the micromechanical retention followed by primer or resin cement containing functional monomer.

Keywords: Surface treatment, Zirconia

บทนำ

เซอร์โคเนีย (Zirconia) เป็นสารประกอบระหว่างธาตุ เซอร์โคเนียม (Zirconium) และออกซิเจน (Oxygen) เกิดเป็น เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ หรือที่เรียกว่า เซอร์โคเนีย⁽¹⁾ วัสดุตั้งกล่าวมักมีลักษณะเป็นผลึก (Polycrystalline ceramics) 3 วัฏภาค คือ มอโนคลินิก (Monoclinic-m) เทตระโกนัล (Tetragonal-t) และลูกบาศก์ (Cubic-c) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน ดังแผนภาพที่ (Figure) 1

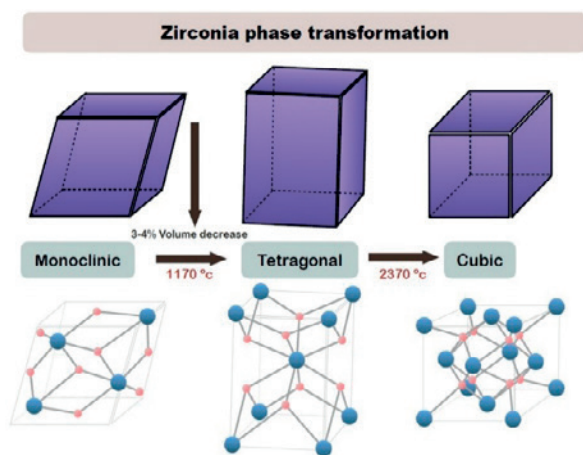
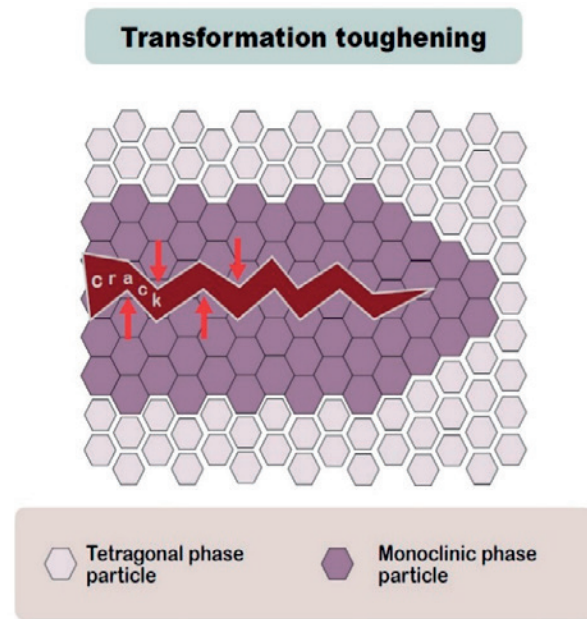


Figure 1 Composition and phase transformation of zirconia⁽¹⁾

เซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่สามารถลอกเลียนลักษณะและรายละเอียดได้ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ และเนื่องจากการมีคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical property) ที่โดดเด่น และมีคุณสมบัติทางชีวภาพ (Biological property)^(1, 2) ที่ดี ทำให้ปัจจุบันเซอร์โคเนียที่นำมาใช้ทางทันตกรรมถูกแปรรูปและทำให้ อยู่ในสถานะเสถียรที่อุณหภูมิห้อง ทำให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การใช้งานในช่องปาก รวมทั้งทนทานต่อการบดเคี้ยว

เซอร์โคเนียรูปแบบธรรมชาติเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ จะพบในวัฏภาคมอโนคลินิก โดยจะเปลี่ยนเป็นวัฏภาคเทตระโกนัล และหดตัวลงร้อยละ 4 ถึง 5 โดยปริมาตรเมื่ออุณหภูมิ 1,170 องศาเซลเซียส ในขณะที่เทตระโกนัลจะเปลี่ยนเป็นวัฏภาคลูกบาศก์ ที่หดตัวเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิ 2,370 องศาเซลเซียส ในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ลูกบาศก์จะเปลี่ยนไปอยู่ในวัฏภาคเทตระโกนัล และมอโนคลินิก ทำให้ขยายขนาดมากขึ้น และเกิดความเค้นภายใน (Internal stress)⁽¹⁾ ทำให้เกิดรอยแตกร้าว (Crack) หรือ การแตกหัก (Catastrophic fracture) ตามมา การเปลี่ยนวัฏภาคจากเทตระโกนัลไปเป็นมอโนคลินิก ทำให้เกิดปัญหามากที่สุด เรียกเหตุการณ์นี้ว่า ทัพเอมทรานส์ฟอร์มเมชัน (T-to-m transformation)⁽¹⁾ การยับยั้งการเกิดปัญหาการเปลี่ยนวัฏภาคดังกล่าว ทำได้โดยการเติมสารออกไซด์ชนิดอื่นเข้าไปเจือปน เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซีเรียมออกไซด์ (CeO₂) และอิตเรียมออกไซด์ (Y₂O₃) ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนสถานะไปเป็นมอโนคลินิกที่อุณหภูมิห้อง⁽¹⁾ ซึ่งสถานะเสถียรภาพดังกล่าวสามารถป้องกันการเกิดการขยายตัวของรอยแตกร้าว (Crack propagation) ได้จากการที่ เมื่อเกิดรอยแตกร้าวพลังงานอิสระที่อยู่รอบๆ จะทำการเปลี่ยนสถานะจากเทตระโกนัลให้ไปเป็นมอโนคลินิกที่มีขนาดใหญ่ เกิดการบีบและยับยั้งรอยร้าวดังกล่าวไม่ให้ขยายต่อไปได้ เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การเพิ่มความเหนียวด้วยการเปลี่ยนภาค (Transformation toughening)⁽¹⁾ ดังแผนภาพที่ (Figure) 2

สิ่งที่ปัญหาสำคัญอันดับต้นๆ สำหรับการนำเซอร์โคเนียมาใช้เป็นวัสดุในการบูรณะทางทันตกรรม คือการยึดเซอร์โคเนียกับฟันธรรมชาติหรือกับวัสดุอื่นๆ เนื่องจากเซอร์โคเนียเป็นวัสดุจำพวกโพลีคริสตัลที่ไม่มีซิลิกา (Silica) เป็นส่วนประกอบ ทำให้

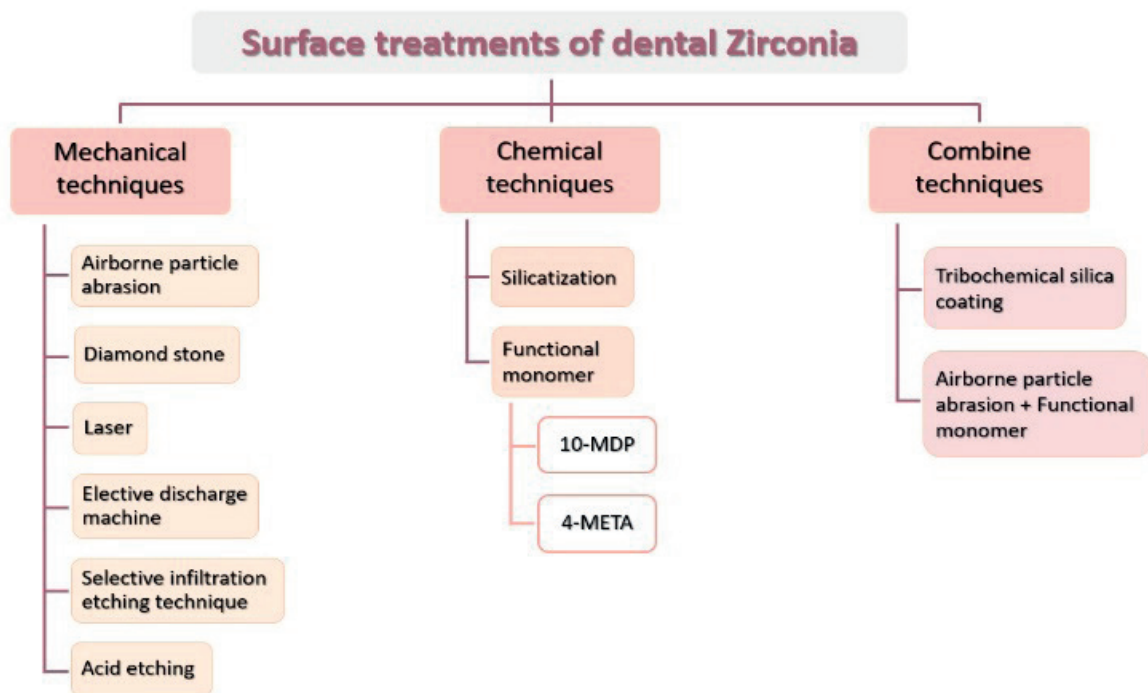
Figure 2 Transformation toughening⁽¹⁾

ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) และไม่สามารถใช้กรดปรับสภาพพื้นผิวได้ ณ สภาวะปกติ จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพพื้นผิวและการใช้สารเคมี เพื่อเพิ่มการยึดติดทั้งทางเชิงกลและทางเคมี⁽³⁻⁶⁾ โดยแบ่งได้ ดังนี้ ดังแผนภาพที่ (Figure) 3

1. การเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีเชิงกล

1.1 การเป่าทราย (Airborne particle abrasion)

การเป่าทราย เป็นวิธีเชิงกลที่ทันตแพทย์นิยมนำมาใช้ในการเตรียมพื้นผิวโดยการเป่าอนุภาคขนาดเล็กที่มีความดันปานกลางไปทั่ววัสดุที่ต้องการการยึดติด เพื่อเพิ่มความขรุขระให้แก่พื้นผิวเพิ่มพลังงานพื้นผิวเพื่อทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (Micromechanical retention) ขึ้น การเป่าทรายไปบนพื้นผิวของเซอโรโคเนีย จะทำให้เกิดการเพิ่มของพื้นที่ผิวและหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับเรซินซีเมนต์ (Resin cement) ที่มี MDP เป็นองค์ประกอบ ได้⁽⁴⁾

Figure 3 Surface treatments of dental Zirconia⁽³⁻⁶⁾

การศึกษาของ Hallmann และคณะในปี ค.ศ. 2016⁽⁷⁾ บ่งบอกว่า การเป่าทรายนั้น สามารถเพิ่มความแข็งแรงและความคงทน (Durability) ของการยึดติดได้ โดยไม่ได้เป็นผลมาจากความขรุขระของพื้นผิวที่เกิดขึ้นเท่านั้น แต่มาจากการที่วิธีดังกล่าวสามารถกำจัดสารอินทรีย์ออกจากพื้นผิวได้ สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงเคมีที่พื้นผิว และเพิ่มความเปียกของพื้นผิว (Surface wettability) ได้อีกด้วย อีกทั้งการที่มีการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการคงสภาพการยึดติดระหว่างพื้นผิวเซอโรโคเนียและเรซินในทันตกรรมเดียวกันกับ Sanli และคณะ

ในปี ค.ศ. 2015⁽⁸⁾ แนะนำว่าการทำกริตบลาสติง (Grit-blasting) หรือเป่าด้วยโมเลกุลลูมินาขนาด 50 ไมครอน ให้ผลดีที่สุดในการเตรียมพื้นผิวเชิงกลเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อน เพิ่มความขรุขระในบริเวณที่จำเพาะ ช่วยลดมุมสัมผัส (Contact angle) และเพิ่มการไหลแผ่ของวัสดุที่จะมายึดติดได้

การศึกษาถึงความดันและระยะเวลาของการเป่าทรายที่เหมาะสมกับการเตรียมพื้นผิวเซอโรโคเนีย พบว่าการเป่าทรายด้วยอนุภาคขนาดต่างๆ กัน ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของ

เซรามิก โดยพบว่า ขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนวัสดุจากเทอร์โกนัลไปเป็นมอโนคลินิก⁽⁹⁻¹¹⁾ และค่าความทนแรงดัด (Flexural strength) ของเซรามิกที่มากขึ้น โดยพบว่าแม้จะใช้ขนาดอนุภาคที่เล็กเพียง 30 และ 50 ไมครอน ก็ยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนวัสดุดังกล่าวได้ ร้อยละ 4-5 ตามลำดับ⁽⁹⁾ เช่นเดียวกับ Souza และคณะในปี ค.ศ. 2013⁽¹²⁾ ที่พบว่าการเป่าทรายด้วยอนุภาคและความดันต่างๆ นั้น ก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนวัสดุเช่นกัน และแนะนำให้ใช้การเป่าด้วยอนุภาคขนาด 30 ไมครอน ที่ความดัน 0.25 เมกะพาสคัล (megapascal) ก็เพียงพอแล้วที่จะทำให้เกิดความขรุขระที่พื้นผิวเซรามิก และการเป่าทรายควรทำด้วยระยะเวลาสั้นๆ ดังการศึกษาของ Turp และคณะในปี ค.ศ. 2013⁽¹¹⁾ ที่พบว่าการเป่าด้วยอนุภาคขนาดต่างๆ ที่ความดัน 0.2 เมกะพาสคัล ระยะเวลา 5 15 และ 30 วินาทีนั้น พบว่ายิ่งใช้เวลานานขึ้น พื้นผิวเซรามิกก็จะมีค่าความขรุขระมากขึ้น และพบการเปลี่ยนวัสดุมากขึ้นตามไปด้วย

ถึงแม้บางการศึกษาจะสรุปผลว่าการทำให้เกิดร่องรอยที่พื้นผิว ไม่ว่าจะเป็นการขัดแต่งด้วยหัวกรอความเร็วสูง หัวกรอเพชร หรือการเป่าด้วยอนุภาคและแรงดัน อาจทำให้ค่าความแข็งแรงของพันธะ (Bond strength) ลดลงในขณะที่จำลองสภาวะบ่มเทียมเนื่องมาจากกระบวนการกัดกร่อนโดยมีน้ำเหนี่ยวนำความเค้น (Water-assisted stress-corrosion) แต่การเป่าทรายก็อาจไม่ได้เกี่ยวข้องกับการเกิดกระบวนการดังกล่าว และอาจไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดติด หากหลังการเป่าทรายนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนโมเลกุลไปเป็นมอโนคลินิกเพียงเล็กน้อย⁽¹³⁾

1.2 การใช้หัวกรอกากเพชร (Diamond bur)

การใช้หัวกรอกากเพชรในการเตรียมพื้นผิว เป็นอีกหนึ่งวิธีในการเตรียมพื้นผิวเชิงกล ในกรณีที่ไม่สามารถเตรียมด้วยวิธีเป่าทรายได้ การศึกษาของ Qebrawi และคณะในปี ค.ศ. 2010⁽¹⁴⁾ หลังการใช้หัวกรอกากเพชรแบบละเอียดความเร็วสูงร่วมกับน้ำ (High speed fine-grit diamond) ในการเตรียมพื้นผิวเซรามิก พบว่าค่าความทนแรงดัดกลุ่มดังกล่าวเทียบเท่ากับการเป่าทราย และเป็นวิธีเชิงกลที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับวิธีทางเคมีเพื่อเพิ่มค่าแรงยึดติดแนวเชื่อมระหว่างเซรามิกและเนื้อฟัน (Dentine) ได้อีกด้วย ในขณะที่การศึกษานี้พบว่า การใช้หัวกรอกากเพชรในการเตรียมพื้นผิวนั้น จะทำให้มีความเค้น และอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดของเซรามิกลดลง⁽¹³⁾ อีกทั้งยังพบว่าการใช้หัวกรอกากเพชรดังกล่าวร่วมกับซีเมนต์เรซินจะให้ค่าความทนแรงเฉือน (Shear bond strength) ระหว่างเซรามิกและคอมโพสิตต่ำที่สุดและไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม⁽¹⁵⁾

1.3 การใช้เลเซอร์ (Laser)

เป็นการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เลเซอร์ที่มีพลังงาน

และความร้อนสูง ได้แก่ นีโอเดียมแอกเลเซอร์ (Nd:YAG laser) เออเปียมแอกเลเซอร์ (Er:YAG laser) และอีโทเปียมแอกเลเซอร์ (Yb:YAG laser) เพื่อเพิ่มความขรุขระ (Roughness) และพลังงานพื้นผิวแก่เซรามิกก่อนที่จะทำการยึดติด

การศึกษาของ Rona และคณะในปี ค.ศ. 2017⁽¹⁶⁾ พบว่าการใช้เลเซอร์ชนิดเออเปียมแอกที่ กำลัง 2 วัตต์ (Watt) นาน 10 วินาที ให้ค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเซรามิกและคอมโพสิตที่ดี เช่นเดียวกับการศึกษาของ Esteves-Oliveira และคณะในปี ค.ศ. 2016⁽¹⁷⁾ ใช้เลเซอร์ชนิดอีโทเปียมแอก ซึ่งเป็นเลเซอร์ในรูปแบบอัลตราชอร์ตพัลส์ (Ultra-short pulse) ที่กำลัง 9 วัตต์ พบว่ากลุ่มที่ใช้เลเซอร์ให้ค่าความขรุขระผิว (Surface roughness) สูงที่สุด มุมสัมผัสต่ำที่สุด และไม่เกิดรอยร้าวที่พื้นผิว อีกทั้งให้ค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาค (Microtensile bond strength) สูงที่สุด เมื่อเทียบกับการเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าทราย และ ไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง (Tribochemical silica coating) แต่อย่างไรก็ตามในปีเดียวกัน Yeniser และคณะ⁽¹⁸⁾ พบว่าการใช้เลเซอร์ในการปรับสภาพพื้นผิวเซรามิก ให้ค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเซรามิกและคอมโพสิตที่น้อยกว่าการเป่าทราย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Akyil และคณะในปี ค.ศ. 2010⁽¹⁹⁾ ที่พบว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าทราย หรือเคลือบผิวด้วยซิลิกา ให้ค่าความทนแรงเฉือนที่ดีกว่าการใช้เลเซอร์ทั้งชนิด นีโอเดียมแอก เออเปียมแอก และคาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งในการศึกษาที่ใช้เลเซอร์ชนิดเออเปียมแอก ยังพบการเกิดรอยร้าวที่พื้นผิว (Surface crack) จากการที่มีความร้อนและพลังงานสูงด้วย⁽¹⁶⁾

1.4 การกัดขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้า (Elective discharge machine; EDM)

มีการทดลองนำการกัดขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้า มาใช้ในการปรับสภาพผิวของเซรามิกก่อนทำการยึดติด โดยเป็นการให้กระแสไฟฟ้าผ่านอิเล็กโตรดที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ร่วมกับฉนวนไฟฟ้าที่เป็นของเหลว เพื่อให้เกิดการกัดกร่อนพื้นผิวขึ้น โดยที่ Rona และคณะในปี ค.ศ. 2017⁽¹⁶⁾ พบว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธี EDM ให้ค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเซรามิกและคอมโพสิตสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเป่าทราย การใช้ไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง และการใช้เลเซอร์ และวิธีดังกล่าวแม้จะก่อให้เกิดพลังงานพื้นผิวสูง แต่ไม่ส่งผลต่อค่าความทนแรงดัดของเซรามิกอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีนี้ทำให้เกิดรอยร้าวที่พื้นผิวขึ้นได้⁽¹⁶⁾

1.5 การทำซีเล็คทีฟอินฟิลเทรชันเอทชิง (Selective infiltration etching technique; SIE)

วิธีซีเล็คทีฟอินฟิลเทรชันเอทชิง ทำเพื่อให้เกิดการเชื่อมรวมกันระหว่างเซรามิกที่พื้นผิวและสารแทรกซึม (Infiltration agent) ทำโดยให้ความร้อนแก่สารแทรกซึม

ที่เคลือบอยู่บนผิวของวัสดุต่างๆ โดยที่สารดังกล่าวนี้ มีส่วนประกอบของแก้วที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ (Low melting temperature glass) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of thermal expansion; CTE) ที่เข้ากันได้กับเซอโรโคเนีย ทำให้เกิดการเคลื่อนที่และแยกออกของเกรนที่พื้นผิว (Sliding and splitting of the surface grains) จากนั้นใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 5 (Hydrofluoric acid) กัดสารแก้วออก จะได้ลักษณะของพื้นผิวที่มีความขรุขระเหมาะแก่การเพิ่มการยึดติดเชิงกล^(20, 21)

Salem และคณะในปี ค.ศ. 2016⁽²¹⁾ พบว่าลักษณะของพื้นผิวเซอโรโคเนียความโปร่งใสสูง (High translucent zirconia) หลังเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีซีเล็คทิฟอินฟิลเทรชันเอพซิงนั้น ทำให้เกิดลักษณะคล้ายรวงผึ้ง (Honeycomb retentive feature) เป็นรูพรุนระดับนาโนเมตร (Nanometer) ส่งผลให้เกิดการไหลผ่านของสารยึดติดเรซิน และเกิดการยึดเชิงกลระดับนาโนขึ้น (Nanomechanical interlocking) ส่งผลให้ค่าความค่าความทนแรงดึงระดับจุลภาคในกลุ่มทดลองนี้สูงที่สุด เช่นเดียวกับการทดลองอื่นๆ ที่การเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีซีเล็คทิฟอินฟิลเทรชันเอพซิงให้ค่าความแข็งแรงของพันธะระหว่างเซอโรโคเนียและคอมโพสิตสูงที่สุดในการทดลองโดยการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีเชิงกล ไม่ว่าจะใช้สารยึดติดหรือซีเมนต์เรซินที่มีมอโนเมอร์ทำงาน (Functional monomer) ชนิดโฟร์เมตา (4-META) หรือเท็นเอ็มดีพี (10-MDP)^(20, 22, 23)

1.7 การใช้กรด (Acid etching)

มีการนำกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) มาใช้ในการปรับพื้นผิวของวัสดุที่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ เพื่อเพิ่มการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค เช่นเดียวกันนี้จึงได้มีการนำกรดต่างๆ โดยมีการปรับเปลี่ยนความเข้มข้น ระยะเวลา ร่วมกันให้ความร้อน เพื่อหวังผลในการปรับสภาพพื้นผิวเซอโรโคเนียที่ไม่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบได้เช่นกัน

Sriamporn และคณะในปี ค.ศ. 2014⁽²⁴⁾ ทำการศึกษาพื้นผิวของเซอโรโคเนียภายหลังการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 9.5 และร้อยละ 48 ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ กัน พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับความร้อน สามารถทำให้เกิดรูพรุน และความขรุขระที่พื้นผิวของเซอโรโคเนียได้ และจะยิ่งมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ หรือใช้เวลานานขึ้น อย่างไรก็ตามรูพรุนดังกล่าวเกิดในระดับนาโนเมตร ซึ่งรูพรุนนี้เล็กเกินกว่าที่เรซินซีเมนต์จะไหลผ่านเข้าไปได้ ทำให้ค่าความแข็งแรงของพันธะลดลงได้ อีกทั้งยังพบการเปลี่ยนวัฏภาคจากเทระโกนัล ไปเป็นมอโนคลินิกในทุกกลุ่มการทดลองในทางตรงกันข้าม Liu และคณะในปี ค.ศ. 2015⁽²⁵⁾ ทำการทดลองโดยปรับสภาพพื้นผิวเซอโรโคเนียด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 48 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที และ

กรดที่ผสมระหว่างกรดไนตริก ความเข้มข้นร้อยละ 69 (Nitric acid) กับกรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 48 อัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที พบว่าทั้งสองกลุ่มให้ค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเซอโรโคเนียและคอมโพสิตได้เทียบเท่ากับการเตรียมพื้นผิวด้วยการเตรียมด้วยไฮโดรเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง อีกทั้ง Xie และคณะในปี ค.ศ. 2017⁽²⁶⁾ ได้คิดค้นการเตรียมสารละลายกรด เพื่อลดอุณหภูมิและเวลาในการเตรียมพื้นผิว โดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้นร้อยละ 40 ที่ 25 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิห้อง ร่วมกับการใช้เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) พบว่าได้ค่าความขรุขระพื้นผิวที่สูงและให้ค่าความทนแรงเฉือนกับคอมโพสิตสูงกว่าการเป่าทรายเช่นกัน ทำให้สามารถลดเวลาในการเตรียมพื้นผิวลงได้ อีกทั้งยังไม่พบการเปลี่ยนวัฏภาคจากเทระโกนัล ไปเป็นมอโนคลินิกอีกด้วย^(25, 26) อย่างไรก็ตาม การใช้กรดความเข้มข้นสูงในทางคลินิกควรเป็นไปด้วยความระมัดระวัง ควรต้องคำนึงถึงความเป็นพิษและผลกระทบต่อร่างกายร่วมด้วย

2. การเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีทางเคมี

2.1 การเพิ่มซิลิกา (Silicization) จากการที่เซอโรโคเนียไม่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ ทำให้การเตรียมพื้นผิวโดยใช้กรดที่มีความเข้มข้นต่ำ เพื่อหวังผลให้เกิดความขรุขระพื้นผิว และเพิ่มการยึดติดเชิงกลนั้นเป็นไปได้ยาก จึงมีการคิดค้นการเตรียมพื้นผิวเซอโรโคเนีย โดยนำคุณสมบัติการยึดติดของเซรามิก ชนิดที่มีแก้วเป็นส่วนประกอบ คือการยึดติดระหว่างซิลิกาและสารคู่ควบไซเลน มาใช้เพื่อทำให้พื้นผิวของเซอโรโคเนียมีชั้นซิลิกาที่พร้อมต่อการยึดติดกับซีเมนต์เรซิน โดยสามารถทำได้หลายวิธี วิธีแรกคือวิธี โซล-เจล (Sol-Gel process) โดย Lung และคณะ ในปี ค.ศ. 2013⁽²⁷⁾ ทำการทดลองโดยใช้สารละลายเตตระเอทิลออร์โธซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate) ในการเคลือบผิวเซอโรโคเนียในระยะเวลาต่างๆ กัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของซิลิกากับพื้นผิวเซอโรโคเนีย ถึงแม้ว่าหลังการทดลองจะพบว่ามีส่วนประกอบของซิลิกามากที่พื้นผิว แต่อย่างไรก็ตามความแข็งแรงยึดเหนี่ยวในทุกกลุ่มมีค่าต่ำกว่าการเตรียมพื้นผิวโดยวิธีไฮโดรเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง (Rocatec) ในการยึดติดระหว่างเซอโรโคเนียและคอมโพสิตโดยใช้สารคู่ควบไซเลนร่วมกับซีเมนต์เรซิน และถึงแม้ค่าความแข็งแรงยึดติดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เตรียมพื้นผิว แต่ก็พบว่าใช้เวลานานเกินกว่าจะนำมาใช้ได้ทางคลินิก เช่นเดียวกับการทดลองที่มีการใช้สารละลายซิลิกอนไนไตรด์ (Silicon nitride) ร่วมกับความร้อนที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ถึงแม้จะไม่พบการเปลี่ยนวัฏภาคจากเทระโกนัลไปเป็นมอโนคลินิก แต่พบว่าให้ค่าความทนแรงเฉือนที่ต่ำกว่าเช่นเดียวกัน⁽²⁸⁾ อีกวิธีหนึ่งของการเตรียมพื้นผิวโดยการเพิ่มซิลิกา คือ ใช้การเผาขึ้นรูป โดย Liu และคณะในปี

ค.ศ. 2015⁽²⁵⁾ ทำการเตรียมพื้นผิวโดยเคลือบด้วยสารละลายที่มีส่วนประกอบของอนุภาคซิลิกา (Silica particle) ขนาดเล็กก่อนที่จะนำเซอโรโคเนียไปเผาขึ้นรูปโดยสมบูรณ์ (Sinter) ที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส พบว่าการเชื่อมกันของอนุภาคเซอโรโคเนียและซิลิกา สามารถให้ความขรุขระพื้นผิว ให้ค่าความทนแรงเฉือนสูงที่สุดกับคอมโพสิต เมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรเจนไดฟอสเฟต (CoJet) หรือการใช้กรด อีกทั้งยังมีความคงทนสูงหลังจากผ่านการทำเทอร์โมไซคลิง (Thermocycling)

2.2 มอโนเมอร์ทำงาน (Functional monomer)

2.2.1 เท็นเอ็มดีพี (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate; 10-MDP) มอโนเมอร์ที่ใช้กับเซอโรโคเนียในทางทันตกรรม หรือที่รู้จักกันในลักษณะของฟอสเฟตมอโนเมอร์ (Phosphate monomer) คือมอโนเมอร์ทำงานชนิดหนึ่งซึ่งทำหน้าที่คล้ายสารคู่ควบไซเลน คือมีหน้าที่ให้การยึดติดระหว่างเซรามิกและเรซินคอมโพสิต ซึ่งจะทำ

ปฏิกิริยากับเมทาคริเลตในเรซิน และออกไซด์ของเซรามิก ผ่านมอโนเมอร์ทำงาน^(6, 29) มีการคิดค้นนำสารเท็นเอ็มดีพี ที่มีอยู่ในไพรเมอร์สำหรับโลหะมาใช้กับเซอโรโคเนีย เนื่องจากเซอโรโคเนียมีลักษณะคล้ายโลหะซึ่งจะมีออกไซด์ (Oxide) อยู่บนพื้นผิว จึงสามารถใช้เท็นเอ็มดีพีมาช่วยในการยึดติดกับซีเมนต์เรซินได้⁽⁶⁾ เท็นเอ็มดีพี คือฟอสเฟตมอโนเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) สามารถทำให้เนื้อฟันเกิดการสูญเสียแร่ธาตุได้ (Decalcification) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน (Calcium ions) หรือกลุ่มอะมิโน (Amino groups) ทำให้เพิ่มการกระจายตัวและการยึดติดของซีเมนต์เรซินได้ หมูไฮดรอกซิลของเท็นเอ็มดีพี ยังสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับหมูไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของโลหะ⁽²⁹⁾ ทำให้เกิดพันธะ P-O-Zr ที่ไม่ชอบน้ำ สามารถป้องกันการแทรกซึมของโมเลกุลน้ำได้ และปลายสายของพันธะคาร์บอนยังสามารถทำปฏิกิริยากับเรซินได้^(30, 31) ดังแผนภาพที่ (Figure) 4

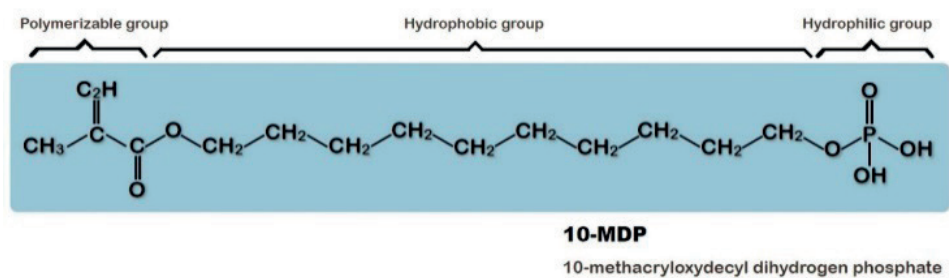


Figure 4 Chemical structure of 10-MDP^(30, 31)

แต่จากการศึกษาของ Ozcan และคณะในปี ค.ศ. 2011⁽³⁾ พบว่าเมื่อทำการเป่าทรายและทดสอบค่าความแข็งแรงยึดเหนี่ยวโดยใช้ซีเมนต์เรซิน ที่มีเท็นเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบ ได้สมมติฐานว่าเท็นเอ็มดีพี อาจไม่สามารถให้การยึดติดเชิงเคมีได้โดยตรงกับเซอโรโคเนีย โดยไม่ผ่านการเตรียมพื้นผิวร่วมกับการใช้สารคู่ควบไซเลน และหลายการศึกษาพบว่า การใช้ซีเมนต์เรซินที่มีส่วนประกอบของเท็นเอ็มดีพี หลังการเป่าทรายนั้น ให้ค่าความทนแรงเฉือนหรือค่าความทนแรงเฉือนถึงระดับจุลภาคกับเซอโรโคเนียต่ำกว่าหรือเทียบเท่ากับซีเมนต์เรซินที่ไม่มีเท็นเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบ⁽³²⁻³⁴⁾ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวอาจมาจากส่วนประกอบของซีเมนต์เรซินชนิดนั้นๆ มีเท็นเอ็มดีพีอยู่ทั้งในไพรเมอร์และซีเมนต์เรซิน ทำให้มีความเข้มข้นของเท็นเอ็มดีพีมากเกินไป มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดมอโนเมอร์อิมิต์ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีน้อยลง และให้การยึดติดที่น้อยลงตามลำดับ อีกทั้งการที่มีความหนืดของซีเมนต์เรซินมาก (High viscosity) ทำให้เกิดการไหลแผ่ไปตามพื้นผิวที่เตรียมด้วยวิธีเชิงกลไม่เพียงพอ⁽³²⁾

ในทางกลับกัน จากการศึกษาอื่นๆ พบว่าเท็นเอ็มดีพีสามารถให้การยึดติดโดยตรงกับออกไซด์โลหะผ่านทางฟอสเฟต

เช่น โครเมียม นิกเกิล อลูมินัม ตะกั่ว ไทเทเนียม และออกไซด์ของเซอโรโคเนีย อีกทั้งยังพบว่า เท็นเอ็มดีพีดังกล่าวให้ผลดีในการให้การยึดติดเชิงเคมี ไม่ว่าจะเป็นส่วนประกอบในไพรเมอร์หรือซีเมนต์เรซิน ก็ล้วนให้ค่าการยึดติดทางห้องทดลองที่ดีกว่ากลุ่มทดลองอื่นๆ^(3, 4, 29, 35) Al Harbi และคณะในปี ค.ศ. 2016⁽²⁹⁾ ทำการทดสอบค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเซอโรโคเนียและวัสดุใช้เป็นแกน 3 ชนิดคือ เรซินคอมโพสิต นิกเกิลโครเมียม และเซอโรโคเนีย โดยใช้ซีเมนต์เรซินและไพรเมอร์ 3 ชนิด พบว่ากลุ่มที่ใช้ซีเมนต์เรซิน ร่วมกับไพรเมอร์ที่มีเท็นเอ็มดีพี ให้ค่าความแข็งแรงของพันธะที่สูงกว่าการใช้ซีเมนต์เรซิน ร่วมกับไพรเมอร์ที่มีส่วนประกอบของคาบอซิลิกมอโนเมอร์ และเซลฟเอทช์ฟอสเฟสโมโนเมอร์ (Self-etch phosphate monomer) ตามลำดับ ในขณะที่ Chuang และคณะในปี ค.ศ. 2017⁽³⁰⁾ พูดยถึงหมูฟอสเฟสโมโนเมอร์ชนิด ฟอสฟอริกเมทา คริเลต หรือ สามเอ็มพีเอส (3-MPS) ที่พบในสารคู่ควบไซเลน พบว่าการใช้สามเอ็มพีเอสที่มีในสารคู่ควบไซเลนหรือไพรเมอร์ร่วมกับเท็นเอ็มดีพี จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเท็นเอ็มดีพีลดลง โดยเฉพาะเมื่อใช้เป็นลำดับสุดท้ายในการเตรียมพื้นผิวก่อนยัดขึ้นงาน อาจเนื่อง

มาจากความเป็นกรดที่มากของมอนอเมอร์ดังกล่าวส่งผลต่อความคงทนของการยึดติดได้

2.2.2 โพรเมตา (4-Methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride; 4-META) โพรเมตา เป็นอีกหนึ่งมอนอเมอร์ทำงานที่มีการพูดถึงและถูกนำมาใช้ในการยึดติดเซอรโคเนีย โดยโพรเมตาอยู่ในรูปผงคริสตัล ที่เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis) จะเปลี่ยนเป็น โพรเมต (4-Methacryloyloxyethyl trimellitic acid; 4-MET) อย่างรวดเร็ว มีกลุ่มคาบอซซิก 2 กลุ่ม ทำปฏิกิริยากับวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) เพื่อเพิ่มความเป็นกรด ทำหน้าที่กัดกร่อนแร่ธาตุ (Demineralizing) และเพิ่มการไหลผ่าน โดยที่วงแหวนอะโรมาติกเป็นสารไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ในขณะที่คาบอซซิกเป็นสารชอบน้ำ⁽³⁶⁾ ดังแผนภาพที่ (Figure) 5

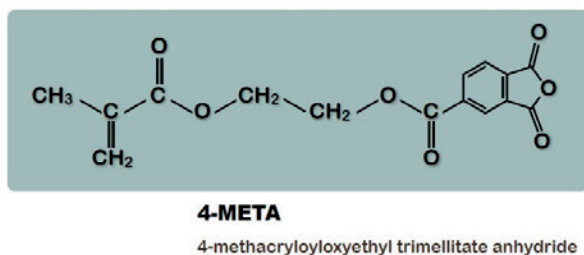


Figure 5 Chemical structure of 4-META⁽³⁶⁾

โพรเมตาสามารถช่วยเพิ่มการยึดติด ทำหน้าที่เป็นมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนแร่ธาตุ (Demineralizing monomer) ใช้ในการเพิ่มความเปียกของโลหะ เช่น โลหะผสมพื้นฐาน (based metal alloys) อมัลกัม (Amalgam) ได้^(36, 37) มีการนำโพรเมตามาใช้ในทางทันตกรรมมาก เนื่องจากผลิตได้ง่ายและหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด ปัจจุบันพบในรูปแบบที่ผสมกับเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate; MMA) และอยู่ในรูปของ 4-META/MMA TBB⁽³⁷⁾ การศึกษาของ Shimoe และคณะในปี ค.ศ. 2018⁽³⁸⁾ ต้องการศึกษาลงผลของการยึดติดระหว่างมอนอเมอร์ทำงานชนิดต่างๆ กับการทำปฏิกิริยากับเซอรโคเนีย พบว่าทั้งโพรเมตาและเทินเอ็มดีพีสามารถเกิดการดูดซับ (Adsorption) ที่ผิวของเซอรโคเนียได้ ซึ่งส่งผลให้สามารถเกิดปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์ทำงานทั้งสองชนิดกับเซอรโคเนีย

หลายการศึกษาพบว่าการใช้ซีเมนต์เรซินที่มีมอนอเมอร์ทำงานคือ โพรเมตาเป็นส่วนประกอบ ต่างให้ความแข็งแรงของพันธะสูงกว่าการใช้ซีเมนต์เรซินที่มีมอนอเมอร์ทำงานชนิดอื่น⁽³⁹⁻⁴¹⁾ โดยที่ Derand และคณะในปี ค.ศ. 2000⁽³⁹⁾ พบว่าการใช้ซีเมนต์เรซินที่มีมอนอเมอร์ทำงานเป็นโพรเมตาให้ค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเซอรโคเนียและเรซินคอมโพสิต มากกว่าซีเมนต์เรซินที่มีมอนอเมอร์ทำงานเป็นเทินเอ็มดีพี และบิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) ในทำนองเดียวกับ Moon และคณะในปี ค.ศ. 2011⁽⁴⁰⁾ ที่พบว่าการใช้ซีเมนต์เรซินที่มีโพรเมตาเป็นส่วนประกอบ หรือการใช้

ซีเมนต์เรซินร่วมกับโพรเมอร์ที่มีส่วนประกอบของโพรเมตานี้ ให้ค่าความทนแรงเฉือนกับเซอรโคเนียมากกว่าซีเมนต์เรซินที่มีเทินเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบ

3. การใช้วิธีเชิงกลร่วมกับวิธีทางเคมี

3.1 ไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง (Tribosilica coating; Cojet, Rocatec) อีกหนึ่งวิธีในการเพิ่มซิลิกาให้แก่พื้นผิวเซอรโคเนีย โดยอาศัยอนุภาคนาโนขนาดเล็กร่วมกับแรงดัน ทำให้เป็นการเตรียมพื้นผิวที่ช่วยเพิ่มการยึดติดได้ เริ่มจากนำอนุภาคนาโนไดออกไซด์พาทิเคิลที่เคลือบผิวด้วยซิลิกา เป่าด้วยแรงดันและความเร็วสูง ผังซิลิกาในพื้นผิวของเซอรโคเนีย (การเป่าด้วยอนุภาคอนุภาคนาโน ขนาด 30 ไมครอนเคลือบผิวด้วยซิลิกาข้างแก๊ส หรือเรียกว่า Cojet และการเป่าด้วยอนุภาคซิลิกาพิเศษที่มีผงอนุภาคนาโนขนาด 110 ไมครอน หรือเรียกว่า Rocatec) สร้างเป็นชั้นซิลิกาเพื่อเตรียมความพร้อมของวัสดุในการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารเคลือบไซเลนและซีเมนต์เรซิน⁽³⁾ โดยสามารถสร้างชั้นดังกล่าวได้ลึก 15 ไมครอนทั้งที่ผิวเซรามิกและโลหะ⁽⁴²⁾ การศึกษาของ Blastz และคณะในปี ค.ศ. 2007⁽¹⁵⁾ พบว่าการใช้ไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง ร่วมกับซีเมนต์เรซิน ให้ค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเซอรโคเนียกับคอมโพสิตที่สูง และไม่ต่างจากการเป่าทรายอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังมีความคงทนสูงภายหลังการทำเทอร์โมไซคลิง เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Ozcan และคณะในปี ค.ศ. 2011⁽³⁾ ที่พบว่าเมื่อทำการเตรียมพื้นผิวด้วยไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง (Cojet) ร่วมกับการใช้สารเคลือบไซเลนพบว่าให้ค่าความทนแรงเฉือนระหว่างเซอรโคเนียและซีเมนต์เรซิน มากกว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าทราย หรือการใช้สารเคลือบไซเลนเพียงอย่างเดียว ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาในปี ค.ศ. 2016 ของ Yenisey และคณะ⁽¹⁸⁾ พบว่า การเตรียมพื้นผิวด้วยไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง (Cojet) ร่วมกับการใช้สารเคลือบไซเลนที่มีส่วนประกอบของเทินเอ็มดีพี ร่วมกับซีเมนต์เรซิน ให้ค่าความทนแรงเฉือนสูงที่สุดระหว่างเซอรโคเนียและคอมโพสิต เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเป่าทราย การเป่าพ่นด้วยอนุภาคกากเพชรระดับนาโนเมตร หรือการใช้เลเซอร์

3.2 การเป่าทรายร่วมกับการใช้มอนอเมอร์ทำงาน จากการทำการวิเคราะห์ห่อภิณ (Meta-analysis) ของ Inokoshi และคณะในปี ค.ศ. 2014⁽⁴³⁾ พบว่าการเตรียมพื้นผิวเซอรโคเนียด้วยวิธีเชิงกล ไม่ว่าจะทำการเป่าด้วยอนุภาคนาโน เคลือบผิวด้วยเซรามิก หรือไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง ต่างให้ผลดีต่อค่าความแข็งแรงของพันธะของเซอรโคเนียกับซีเมนต์เรซินทั้งสิ้น และจะให้ผลดียิ่งขึ้นเมื่อมีการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีเคมีร่วมด้วย คือ การใช้โพรเมอร์ที่มีมอนอเมอร์ทำงานเทินเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบ เช่นเดียวกับ Bona และคณะในปี ค.ศ. 2015⁽⁴²⁾ ได้

สรุปถึงหลักการเตรียมพื้นผิวของเซอรโคเนียในปัจจุบันไว้คือ ใช้วิธีเชิงกลร่วมกับเคมี ได้แก่ การเป่าผิวด้วยอนุภาคอัลมินา ร่วมกับการใช้ไพรเมอร์ หรือซีเมนต์เรซินที่มีฟอสเฟตมอโนเมอร์ เช่น เทีเอ็นเอ็มดีพี และ ไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง ร่วมกับการใช้สารคู่ควบไซเลน เพื่อยึดติดกับซีเมนต์เรซิน Ozcan และคณะในปี ค.ศ. 2015⁽⁴⁴⁾ ทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (Systematic review) พบว่าการเป่าด้วยอนุภาคและความดัน ทำให้ความแข็งแรงของพันธะเพิ่มขึ้น และหากใช้ซีเมนต์เรซินที่มีเทีเอ็นเอ็มดีพีเป็นส่วนผสม จะสามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดติดเพิ่มมากขึ้น และในปีเดียวกัน Kern และคณะ⁽⁴⁵⁾ ทำการรวบรวมข้อมูลการศึกษาในทางคลินิก ได้ข้อสรุปถึงหลักในการยึดติดของเซรามิกออกไซด์ พบว่าการยึดติดของวัสดุเซอรโคเนีย ควรมีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีเชิงกลคือ การเป่าทรายด้วยอนุภาคอัลมินาขนาด 50 ไมครอน ด้วยความดัน 0.1 - 0.25 เมกะพาสคัล ตามด้วยวิธีทางเคมีคือ ใช้ซีเมนต์เรซินที่มีส่วนผสมของเทีเอ็นเอ็มดีพี หรือ ใช้ซีเมนต์เรซินร่วมกับไพรเมอร์ที่มีเทีเอ็นเอ็มดีพีหรือ ฟอสเฟตเมทาคริเลต เป็นส่วนผสม การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Khan และคณะในปี ค.ศ. 2017⁽⁴⁶⁾ พบว่าการใช้ไพรเมอร์ที่มีส่วนผสมของเทีเอ็นเอ็มดีพี ให้ค่าความแข็งแรงของพันธะระหว่างเซอรโคเนียและเรซินคอมโพสิตที่มีเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และแนะนำการเป่าทรายร่วมกับการใช้วิธีทางเคมีคือการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีเทีเอ็นเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบ ในขณะที่ Russo และคณะในปี ค.ศ. 2019⁽⁴⁷⁾

ทำการทบทวนอย่างเป็นระบบ รวบรวมการศึกษาย้อนหลัง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2013 ถึง 2018 พบว่า การเป่าทรายและไทโรโบเคมีคอลซิลิกาโคทติ้ง เป็นวิธีปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลของเซอรโคเนียที่มีการศึกษากว่าถึงมากที่สุด และการเพิ่มความแข็งแรงของพันธะควรใช้ทั้งวิธีเชิงกลร่วมกับวิธีทางเคมี อีกทั้งยังสรุปว่ายังคงไม่มีวิธีการเตรียมพื้นผิวเซอรโคเนียที่เป็นมาตรฐานหลักสากล (Universal adhesion protocol)

สรุป

การเตรียมพื้นผิวเพื่อรองรับการยึดติดของวัสดุเซอรโคเนียนั้น ควรใช้ทั้งวิธีการเชิงกล ร่วมกับวิธีการทางเคมี โดยวิธีเชิงกลทำเพื่อให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค และเพิ่มพื้นที่ผิวส่วนวิธีเชิงเคมี ทำเพื่อให้เกิดการยึดติดด้วยพันธะเคมีระหว่างเซอรโคเนีย ซีเมนต์เรซิน และพื้นหลัก ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มซิลิกาที่พื้นผิวร่วมกับการใช้สารคู่ควบไซเลน หรือโดยใช้มอโนเมอร์ทำงาน ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีวิธีที่เป็นมาตรฐานสากล แต่วิธีที่ได้รับความนิยมสูงคือ การเป่าทรายร่วมกับการใช้มอโนเมอร์ทำงานเพื่อการยึดติดที่ดีกับซีเมนต์เรซิน

เอกสารอ้างอิง

1. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 1999; 20(1): 1-25.
2. Manicone PF, Rossi Iommetti P, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent* 2007; 35(11): 819-826.
3. Ozcan M, Cura C, Valandro LF. Early bond strength of two resin cements to Y-TZP ceramic using MPS or MPS/4-META silanes. *Odontology* 2011; 99(1): 62-67.
4. Ahn JS, Yi YA, Lee Y, Seo DG. Shear bond strength of MDP-containing self-adhesive resin cement and Y-TZP ceramics: effect of phosphate monomer-containing primers. *Biomed Res Int* 2015; 2015: 1-6.
5. Magne P, Paranhos MP, Burnett LH, Jr. New zirconia primer improves bond strength of resin-based cements. *Dent Mater* 2010; 26(4): 345-352.
6. Moraes R, Guimaraes, Oliveira P, Faot F, Cava S. Impact of acidic monomer type and concentration on the adhesive performance of dental zirconia primers. *Int J Adhes Adhes* 2012; 39(8): 49-53.
7. Hallmann L, Ulmer P, Lehmann F, Wille S, Polonskyi O, Johannes M, et al. Effect of surface modifications on the bond strength of zirconia ceramic with resin cement resin. *Dent Mater* 2016; 32(5): 631-639.
8. Sanli S, Comlekoglu MD, Comlekoglu E, Sonugelen M, Pamir T, Darvell BW. Influence of surface treatment on the resin-bonding of zirconia. *Dent Mater* 2015; 31(6): 657-668.
9. Garcia Fonseca R, de Oliveira Abi-Rached F, dos Santos Nunes Reis JM, Rambaldi E, Baldissara P. Effect of particle size on the flexural strength and phase transformation of an airborne-particle abraded yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal ceramic. *J Prosthet Dent* 2013; 110(6): 510-514.
10. Hallmann L, Ulmer P, Reusser E, Hammerle CHF. Surface characterization of dental Y-TZP ceramic after air abrasion treatment. *J Dent* 2012; 40(9): 723-735.
11. Turp V, Sen D, Tuncelli B, Goller G, Ozcan M. Evaluation of air-particle abrasion of Y-TZP with different particles using microstructural analysis. *Aus Dent J* 2013; 58(2): 183-191.

12. Souza RO, Valandro LF, Melo RM, Machado JP, Bottino MA, Ozcan M. Air-particle abrasion on zirconia ceramic using different protocols: effects on biaxial flexural strength after cyclic loading, phase transformation and surface topography. *J Mech Behav Biomed Mater* 2013; 26: 155-163.
13. Kosmac T, Oblak C, Marion L. The effects of dental grinding and sandblasting on ageing and fatigue behavior of dental zirconia (Y-TZP) ceramics. *J Eur Ceram Soc* 2008; 28(5): 1085-1090.
14. Qeblawi DM, Munoz CA, Brewer JD, Monaco EA, Jr. The effect of zirconia surface treatment on flexural strength and shear bond strength to a resin cement. *J Prosthet Dent* 2010; 103(4): 210-220.
15. Blatz MB, Chiche G, Holst S, Sadan A. Influence of surface treatment and simulated aging on bond strengths of luting agents to zirconia. *Quintessence Int* 2007; 38(9): 745-753.
16. Rona N, Yenisey M, Kucuk Turk G, Gurun H, Cogun C, Esen Z. Effect of electrical discharge machining on dental Y-TZP ceramic-resin bonding. *J Prosthodont Res* 2017; 61(2): 158-167.
17. Esteves-Oliveira M, Jansen P, Wehner M, Dohrn A, Bello-Silva MS, Eduardo CP, et al. Surface characterization and short-term adhesion to zirconia after ultra-short pulsed laser irradiation. *J Adhes Dent* 2016; 18(6): 483-492.
18. Yenisey M, Dede DO, Rona N. Effect of surface treatments on the bond strength between resin cement and differently sintered zirconium-oxide ceramics. *J Prosthodont Res* 2016; 60(1): 36-46.
19. Akyil MS, Uzun IH, Bayindir F. Bond strength of resin cement to yttrium-stabilized tetragonal zirconia ceramic treated with air abrasion, silica coating, and laser irradiation. *Photomed Laser Surg* 2010; 28(6): 801-808.
20. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *J Prosthet Dent* 2007; 98(5): 379-388.
21. Salem R, Naggar GE, Aboushelib M, Selim D. Microtensile bond strength of resin-bonded hightranslucency zirconia using different surface treatments. *J Adhes Dent* 2016; 18(3): 191-196.
22. Aboushelib MN. Evaluation of zirconia/resin bond strength and interface quality using a new technique. *J Adhes Dent* 2011; 13(3): 255-260.
23. Jiang T, Chen C, Lv P. Selective infiltrated etching to surface treat zirconia using a modified glass agent. *J Adhes Dent* 2014; 16(6): 553-557.
24. Sriamporn T, Thamrongananskul N, Busabok C, Poolthong S, Uo M, Tagami J. Dental zirconia can be etched by hydrofluoric acid. *Dent Mater J* 2014; 33(1): 79-85.
25. Liu D, Tsoi J, Matinlinna J, Wong H. Effects of some chemical surface modifications on resin zirconia adhesion. *J Mech Behav Biomed Mater* 2015; 46(1): 23-30.
26. Xie H, Cheng Y, Chen Y, Qian M, Xia Y, Chen C. Improvement in the bonding of Y-TZP by room-temperature ultrasonic HF etching. *J Adhes Dent* 2017; 19(5): 425-433.
27. Lung CYK, Kuk E, Matinlinna JP. The effect of silica-coating by sol-gel process on resin-zirconia bonding. *Dent Mater J* 2013; 32(1): 165-172.
28. Lung CY, Liu D, Matinlinna JP. Silica coating of zirconia by silicon nitride hydrolysis on adhesion promotion of resin to zirconia. *Mater Sci Eng C* 2015; 46: 103-110.
29. Al-Harbi FA, Ayad NM, Khan ZA, Mahrous AA, Morgano SM. In vitro shear bond strength of Y-TZP ceramics to different core materials with the use of three primer/resin cement systems. *J Prosthet Dent* 2016; 115(1): 84-89.
30. Chuang SF, Kang LL, Liu YC, Lin JC, Wang CC, Chen HM, et al. Effects of silane-and MDP-based primers application orders on zirconia-resin adhesion-a ToF-SIMS study. *Dent Mater* 2017; 33(8): 923-933.
31. Yoshida K, Tsuo Y, Atsuta M. Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2006; 77(1): 28-33.

32. Moura DMD, do Nascimento Januario AB, de Araujo AMM, de Oliveira Dal Piva AM, Ozcan M, Bottino MA, et al. Effect of primer-cement systems with different functional phosphate monomers on the adhesion of zirconia to dentin. *J Mech Behav Biomed Mater* 2018; 88(1): 69-77.
33. Triwatana P, Visuttivattanakorn P, Suputtamongkol K, Butrangamdee N. Bond strength and failure characteristics of zirconia-based dental ceramic to resin cements. *M Dent J* 2016; 36(1): 13-23.
34. Passia N, Mitsias M, Lehmann F, Kern M. Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic. *J Mech Behav Biomed Mater* 2016; 62(1): 268-274.
35. Turp V, Akgungor G, Sen D, Tuncelli B. Influence of MDP content in different resin cements and zirconia primers on ceramic-resin cement bond strength. *Turkiye Klinikleri J Dental Sci Cases* 2016; 22(1): 7-13.
36. Ebnesajjad S. Adhesives for medical and dental applications-14. *Handbook of Adhesives and Surface Preparation*. Oxford: Elsevier Inc.; 2011. 345-368.
37. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007; 28(26): 3757-3785.
38. Shimoe S, Hirata I, Otaku M, Matsumura H, Kato K, Satoda T. Formation of chemical bonds on zirconia surfaces with acidic functional monomers. *J Oral Sci* 2018; 60(2): 187-193.
39. Derand P, Derand T. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont* 2000; 13(2): 131-135.
40. Moon JE, Kim SH, Lee JB, Ha SR, Choi YS. The effect of preparation order on the crystal structure of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal and the shear bond strength of dental resin cements. *Dent Mater* 2011; 27(7): 651-663.
41. Ernst CP, Cohnen U, Stender E, Willershausen B. In vitro retentive strength of zirconium oxide ceramic crowns using different luting agents. *J Prosthet Dent* 2005; 93(6): 551-558.
42. Bona AD, Pecho OE, Alessandretti R. Zirconia as a dental biomaterial. *Materials* 2015; 8(8): 4978-4991.
43. Inokoshi M, De Munck J, Minakuchi S, Van Meerbeek B. Meta-analysis of bonding effectiveness to zirconia ceramics. *J Dent Res* 2014; 93(4): 329-334.
44. Ozcan M, Bernasconi M. Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent* 2015; 17(1): 7-26.
45. Kern M. Bonding to oxide ceramics—laboratory testing versus clinical outcome. *Dent Mater* 2015; 31(1): 8-14.
46. Khan AA, Al Kheraif AA, Jamaluddin S, Elsharawy M, Divakar DD. Recent trends in surface treatment methods for bonding composite cement to zirconia: a review. *J Adhes Dent* 2017; 19(1): 7-19.
47. Russo DS, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to zirconia: a systematic review of current conditioning methods and bonding materials. *Dent J* 2019; 7(3): 1-19.