

การปรับสภาพผิวเซรามิกชนิดเซอริโคเนียทางทันตกรรม ตอนที่ 1: วิธีการยึดอยู่เชิงกลระดับจุลภาคและวิธีการยึดอยู่ทางเคมี

ศุภย์ ศรีอัมพร

นิสิตดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิยาม อารงศ์อนันต์สกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์

ดร. นิยาม อารงศ์อนันต์สกุล

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนอังรีดูนังต์ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์: 02-2188728

อีเมล: niyom.t@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความปริทัศน์เรื่องการปรับสภาพผิวเซรามิกชนิดเซอริโคเนียทางทันตกรรมตอนที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายถึงวิธีต่าง ๆ ของการปรับสภาพผิวเซรามิกชนิดเซอริโคเนีย เพื่อช่วยส่งเสริมการยึดติดกับเรซินซีเมนต์โดยวิธีการปรับสภาพผิวสามารถแบ่งเป็นวิธีสร้างการยึดอยู่เชิงกลระดับจุลภาค และการยึดอยู่ทางเคมี วิธีสร้างการยึดอยู่เชิงกลระดับจุลภาคได้แก่ การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเอตซิง ฮอทเอตซิงไฮดรอกซี การใช้เลเซอร์ การเคลือบผิวเซรามิกด้วยสเลอริวี และการเคลือบด้วยอะลูมินาโครงสร้างนาโน ส่วนวิธีสร้างการยึดอยู่ทางเคมี ได้แก่ การใช้สารคู่ควบไซเลน สารคู่ควบเซอริโคเนต เมทิลไพรเมอร์ และเซอริโคเนียไพรเมอร์สำหรับวิธีการเคลือบผิวเซอริโคเนียด้วยซิลิกาจะกล่าวถึงในบทความตอนที่ 2 ต่อไป

บทนำ

ในงานทันตกรรมมีการใช้เซรามิกชนิดเซอริโคเนียหลายรูปแบบอาทิเช่น ครอบฟัน สะพานฟัน^{1,2} เตี้ยฟัน (post)³⁻⁵ แบริกเกตทางทันตกรรมจัดฟัน (orthodontic bracket)⁶⁻⁸ และรากฟันเทียม (dental implant)^{9,10} เนื่องจากวัสดุประเภทนี้มีความแข็งแรงเชิงกลสูง ให้ความสวยงาม และยังมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปากมนุษย์ ปัจจุบันมีการใช้เซอริโคเนียเพื่อบูรณะฟันอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม เซอริโคเนียยังมีข้อจำกัดบางประการ อาทิเช่น ไม่สามารถยึดอยู่ด้วยพันธะเคมี (chemical bond) กับผิวเคลือบพอร์ซเลน (veneering porcelain) แต่วัสดุทั้งสองชนิดสามารถยึดอยู่ด้วยกันได้ เพราะมีความแตกต่างที่เหมาะสมของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อน (coefficient thermal expansion, CTE)^{11,12} และเนื่องด้วยเซอริโคเนียมีโครงสร้างที่เป็นผลึกหนาแน่น (high crystalline) ซึ่งทนต่อการกัดกร่อนด้วยกรด ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้กรดกัดแก้ว หรือไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) กัดผิวของเซอริโคเนียในสภาวะเดียวกับการกัดผิวของพอร์ซเลนได้¹³ นอกจากนี้ ชั้นออกไซด์ที่ผิวของเซอริโคเนียไม่เกิดพันธะทางเคมีกับซีเมนต์กลุ่มที่ปราศจากอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก^{14,15} อย่างไรก็ตาม ฟันเทียมชนิดติดแน่นที่ขึ้นรูปจากเซอริโคเนียสามารถใช้ร่วมกับซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม (conventional cement)¹⁶ เช่น ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ หรือกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ได้ เพราะว่าเซอริโคเนียเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง^{14,17} ปัจจุบันเรซินซีเมนต์ (resin cement) ได้รับความนิยมเพื่อยึดวัสดุบูรณะในช่องปากมากกว่าซีเมนต์ชนิดดั้งเดิม เนื่องจากให้ค่ากำลังแรงยึดอยู่สูง มีการละลายตัวต่ำในช่องปาก มีสีให้เลือกมากกว่า อย่างไรก็ตาม การยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอริโคเนียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวยังคงให้ค่าแรงยึดอยู่ต่ำ¹⁸ กว่ามาตรฐาน ISO 10477 ที่กำหนด

ไว้ว่าควรมีค่าไม่น้อยกว่า 5 เมกะปาสกาล¹⁹ ดังนั้น จึงเกิดการคิดค้นวิธีการต่าง ๆ ในการปรับสภาพผิว เพื่อเพิ่มค่าแรงยึดอยู่ระหว่างผิวเซอรโคเนียกับเรซินซีเมนต์ ซึ่งมีหลายวิธีได้แก่ วิธีการยึดอยู่เชิงกลระดับจุลภาค (Micro-mechanical retention methods) วิธีการยึดอยู่ทางเคมี (Chemical retention methods) วิธีการเคลือบด้วยซิลิกา (Silica-coating methods)

วิธีการยึดอยู่เชิงกลระดับจุลภาค (Micro-mechanical retention methods)

การปรับสภาพผิวเซอรโคเนียให้มีความขรุขระหรือเกิดรูพรุน เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่และพลังงานผิว (surface energy) ของเซอรโคเนีย โดยสามารถจำแนกออกเป็น

การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Air abrasion with Al₂O₃)

วิธีการนี้ทำให้ผิวน้ำของเซอรโคเนียขรุขระโดยการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่มีค่าความแข็งผิวตามมาตรฐานความแข็งของโมส์ (Mohs scale of hardness) อยู่ที่ระดับ 9 ขณะที่เซอรโคเนียอยู่ที่ระดับ 8 โดยอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นสารที่ประกอบด้วยธาตุอะลูมิเนียมและธาตุออกซิเจน ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ Al₂O₃ ในทางอุตสาหกรรมนิยมใช้อะลูมิเนียมออกไซด์ในการผลิตเครื่องมือสำหรับ ตัด เจาะ และขัดผิว เป็นต้น เนื่องจากมีค่าความแข็งผิวสูง อีกทั้งยังมีความเป็นพิษต่ำ และราคาไม่แพง²⁰ ในทางทันตกรรมจึงนิยมผสมผงชนิดนี้ในวัสดุพวกหัวขัด และผงขัด เพื่อขัดผิวน้ำของชิ้นงานให้เรียบ นอกจากนี้ยังใช้พ่นเพื่อสร้างความขรุขระที่ผิวของชิ้นงานได้อีกด้วย โดยอนุภาคของผงอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้พ่นชิ้นงานเซอรโคเนียมีขนาดตั้งแต่ 50 ถึง 250 ไมโครเมตร²¹⁻²⁷ ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่กล่าวว่าการพ่นด้วยอนุภาคดังกล่าวสามารถสร้างความขรุขระที่ผิวของชิ้นเซอรโคเนียได้ดี และช่วยเพิ่มค่าแรงยึดอยู่กับเรซินซีเมนต์ แต่หลายการศึกษารายงานว่าการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์กลับส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลของเซอรโคเนียลดลง²⁸⁻³¹ ขณะที่บางการศึกษาให้ผลตรงกันข้ามโดยพบว่าค่าความแข็งแรงเชิงกลของเซอรโคเนียมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยให้เหตุผลว่าเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากเทอร์โกนอลไปเป็นมอโนคลินิกจึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงตามมาด้วย^{32,33}

ซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเอตซิง (Selective infiltration etching, SIE)

Aboushelib และคณะ³⁴ เสนอวิธีสร้างรูพรุนที่ผิวของเซอรโคเนียโดยใช้ผงแก้ว (glass powder) ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำซึ่งมีองค์ประกอบคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ไทเทเนียม อะลูมินา โพแทสเซียม รูบิเดียม แมกนีเซียม และออกซิเจน ร้อยละ 30, 13, 8, 3, 1, 1 และ 44 ตามลำดับ โดยพอกผงแก้วบนผิวของชิ้นเซอรโคเนียแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที โดยกระบวนการเพิ่มและลดอุณหภูมิดังกล่าวเรียกว่า “ฮีทอินดิวิชแมชัวร์เรนซ์ หรือ เฮทไอน์แมชัวร์เรนซ์” (heat-induced maturation, HIM) ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขอบเกรน (grain boundaries) ของเซอรโคเนีย และยังทำให้ผงแก้วเกิดการหลอมเหลวและสามารถแทรกซึมไปตามช่องระหว่างขอบผลึกเซอรโคเนียได้ จากนั้นปล่อยให้ชิ้นเซอรโคเนียเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดกัดแก้วที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 15 นาที เพื่อละลายเอาส่วนที่เป็นแก้วออกและเรียกวิธีการนี้ว่า “ซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเอตซิง” ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือเกิดรูพรุนที่สม่ำเสมอบนผิวของเซอรโคเนีย โดยรูพรุนนี้จะมีค่าความสม่ำเสมอมากกว่าวิธีการพ่นด้วยผงอะลูมินา นอกจากนี้ Aboushelib และคณะ³⁴ ยังศึกษาหาค่าแรงยึดตั้งเมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวียเอฟทู (Panavia F2.0) พบว่าการทำซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเอตซิง ให้ค่าแรงยึดตั้งระดับจุลภาคสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขณะเดียวกัน Casucci และคณะ³⁵ ได้ศึกษาค่าความขรุขระของผิวเซอรโคเนียด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอะตอมมิกฟอรัซหรือเอเอฟเอ็ม (Atomic Force Microscopy, AFM) หลังปรับสภาพผิวด้วยวิธีซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเอตซิง แต่เปลี่ยนอัตราส่วนขององค์ประกอบของผงแก้วที่มีองค์ประกอบเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ ลิเทียมออกไซด์ โบรอนออกไซด์ และแคลเซียมฟลูออไรด์ ร้อยละ 65, 15, 8, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยพอกผิวน้ำของเซอรโคเนียด้วยผงแก้วดังกล่าว แล้วใช้วิธี ฮีทอินดิวิชแมชัวร์เรนซ์และซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเอตซิง เช่นเดียวกับที่ Aboushelib และคณะเสนอไว้ก่อนหน้านั้น แต่เปลี่ยนเวลาการแช่ในสารละลายกรดกัดแก้วที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งผลการศึกษาของ Casucci และคณะ พบว่าค่าความขรุขระของเซอรโคเนียที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีดังกล่าวมีค่ามากกว่าวิธีการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ หรือวิธีการใช้กรดกัดแก้วกัดที่ผิว

เซอร์โคเนียที่ไม่ผ่านการทำซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเฮตซิง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิธีฮอทเฮตซิงโซลูชัน (Hot etching solution technique)

คือวิธีที่สร้างความขรุขระให้แก่ผิวของวัสดุโดยการต้มในสารละลายกรดที่อุณหภูมิสูง ซึ่ง Ferrari และคณะ³⁶ ได้ริเริ่มใช้วิธีนี้เพื่อกัดผิวของโลหะให้เกิดรูพรุนและเรียกวิธีการดังกล่าวว่าฮอทเฮตซิงโซลูชัน จากนั้น Casucci และคณะ³⁵ ได้นำวิธีนี้มาพัฒนาเพื่อใช้ปรับสภาพผิวของเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย โดยศึกษาเปรียบเทียบความขรุขระของผิวเซอร์โคเนียชนิดลาวา (Lava) ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

กลุ่มที่ 1. ฟันด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 125 ไมโครเมตร

กลุ่มที่ 2. ทาด้วยกรดกัดแก้วความเข้มข้นร้อยละ 9.5 เป็นเวลา 90 วินาที

กลุ่มที่ 3. วิธีซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเฮตซิง

กลุ่มที่ 4. วิธีฮอทเฮตซิงโซลูชัน โดยต้มชิ้นงานในสารละลายของกรดไฮโดรคลอริก กรดเพอร์ริคคลอไรด์ และเมทานอลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 10, 30 และ 60 นาที และ

กลุ่มที่ 5. ไม่มีปรับสภาพผิวใด ๆ

จากนั้นวัดความขรุขระของผิวเซอร์โคเนียทั้ง 5 กลุ่มด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอะตอมมิกฟอรัซ พบว่ากลุ่มที่ใช้วิธีฮอทเฮตซิงโซลูชันมีค่าความขรุขระที่ผิวมากที่สุดและค่าความขรุขระจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการต้มชิ้นเซอร์โคเนียในสารละลายของกรด นอกจากนี้ Casucci และคณะ³⁷ ยังใช้วิธีฮอทเฮตซิงโซลูชันเพื่อปรับสภาพผิวของเซอร์โคเนีย 3 ชนิดได้แก่ ลาวา เซอร์คอน (Cercon) และอะแอดวาเซอร์โคเนีย (Aadva Zr) โดยพบว่าวิธีนี้สามารถสร้างความขรุขระให้กับผิวของเซอร์โคเนีย-เซรามิกทั้ง 3 ชนิดนี้ได้เป็นอย่างดี

การใช้เลเซอร์เอ็นดีแอก (Nd:YAG laser)

คือวิธีการสร้างความขรุขระบนผิวเซอร์โคเนียโดยใช้พลังงานจากแสงเลเซอร์ที่ใช้ผลึกอิตเทรียมอะลูมิเนียมเกต (Yttrium-aluminium garnet, $Y_3Al_5O_{12}$) เป็นเลเซอร์มีเดีย (laser medium) เพื่อให้เกิดแสงเลเซอร์ ในทางทันตกรรมมีการใช้เลเซอร์เอ็นดีแอกในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเชื่อมโลหะกับโลหะ (welding)^{38, 39} หรือการผ่าตัดในช่องปาก⁴⁰⁻⁴² โดย Spohr และคณะ⁴³ ใช้เลเซอร์เอ็นดีแอกเพื่อปรับสภาพผิวอินซิมเซรามเซอร์โคเนีย (In-ceram zirconia) ซึ่งเป็นเซรามิกที่มีอะลูมินาและเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบร้อยละ 62 และ

20 ตามลำดับ พบว่าการปรับสภาพผิวด้วยเลเซอร์ให้ค่ากำลังแรงยึดดึง ระดับจุลภาคสูงกว่ากลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ Noda และคณะ⁴⁴ รายงานว่าการใช้เลเซอร์ชนิดนี้เพื่อปรับสภาพผิวเซอร์โคเนีย วายทีแซสพี (Y-TZP) กลับทำให้เกิดรอยร้าว (crack) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของเซอร์โคเนียได้

วิธีการเคลือบผิวเซรามิกด้วยสเลอริ (Slurry-coated ceramic)

คือวิธีการสร้างชั้นรูพรุนบนผิวหน้าของเซอร์โคเนีย โดยใช้ของผสมชั้นเหลวที่เรียกว่าสเลอริ (slurry) ซึ่งมีส่วนผสมระหว่างผงเซอร์โคเนียและอนุภาคที่เป็นแม่แบบให้เกิดรูพรุน (pore former) ทาบนผิวหน้าของเซอร์โคเนียจากนั้นนำไปเผาไหม้ (sintering) โดยอนุภาคที่เป็นแม่แบบจะเผาไหม้ (burn out) และสลายไป เกิดเป็นรูพรุนที่ผิวหน้าของเซอร์โคเนีย โดย Phark และคณะ⁴⁵ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงยึดเหนี่ยวเมื่อทำการปรับสภาพผิวของเซอร์โคเนีย ด้วยวิธีการเคลือบผิวเซรามิกด้วยสเลอริ กับวิธีการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 และ 110 ไมโครเมตร และทำการยึดชิ้นทดสอบเซอร์โคเนียกับแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ 3 ชนิด ได้แก่ พานาเวียเอฟทู รีเลย์เอ็กซ์เออาร์ซี (RelyX ARC) และรีเลย์เอ็กซ์ยูนิเซม (Rely X Unicem) พบว่าวิธีการเคลือบผิวเซรามิก ด้วยสเลอริให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดพานาเวียเอฟทู แต่ถ้าใช้วิธีการเคลือบผิวเซรามิกด้วยสเลอริร่วมกับการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์กลับทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเคลือบด้วยอะลูมินาโครงสร้างนาโน (Nano-structured alumina coating)

คือวิธีการสร้างความขรุขระที่ผิวของเซอร์โคเนียด้วยชั้นอะลูมินาที่มีโครงสร้างระดับนาโน โดยหลักการนี้ได้แนวความคิดมาจากการเคลือบผิวของเซอร์โคเนียด้วยสารต่าง ๆ อาทิเช่น แคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) หรือไฮดรอกซีอะพาไทท์ (hydroxyapatite)^{46, 48} เป็นต้น Jevnikar และคณะ⁴⁹ ศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงยึดเหนี่ยวเมื่อทำการปรับสภาพผิวของเซอร์โคเนียด้วยวิธีนี้ โดยใช้ผงอะลูมิเนียมไนไตรด์ (aluminium nitride, AlN) ขนาด 1.2 ไมโครเมตรเป็นสารตั้งต้นโดยผสมกับน้ำปราศจากไอออน แล้วให้ความร้อน 75 องศาเซลเซียส นำชิ้นเซอร์โคเนียจุ่มลงในของเหลวดังกล่าวแล้วเผา ซึ่งจะเกิดขึ้นอะลูมินาเคลือบที่ผิวของเซอร์โคเนีย จากนั้นวัดค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวเซอร์โคเนียกับเรซินซีเมนต์ชนิดรีเลย์เอ็กซ์ยูนิเซม เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ผ่านการขัด

ด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ความละเอียด 4,000 กริท และกลุ่มที่พันด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 110 ไมโครเมตร ที่ความดัน 4 บาร์ ด้วยระยะเวลา 15 วินาที พบว่าชั้นทดสอบที่เคลือบด้วยอะลูมินาโครงสร้างนาโน ให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ากระบวนการเร่งอายุโดยการทำเทอร์โมไซคลิก (thermocycling) ระหว่าง 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 12,000 รอบ ไม่มีผลกระทบต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของกลุ่มที่เคลือบด้วยอะลูมินาโครงสร้างนาโน

วิธีการยึดอยู่ทางเคมี (Chemical retention methods)

การยึดอยู่ทางเคมีระหว่างผิวของเซอริโคเนียกับเรซินซีเมนต์ เป็นวิธีที่ต่ออาศัยการทาสารเคมีหรือการทำให้เกิดโครงสร้างทางเคมีชนิดใหม่ที่ผิวของเซอริโคเนีย ซึ่งวิธีนี้ได้แก่

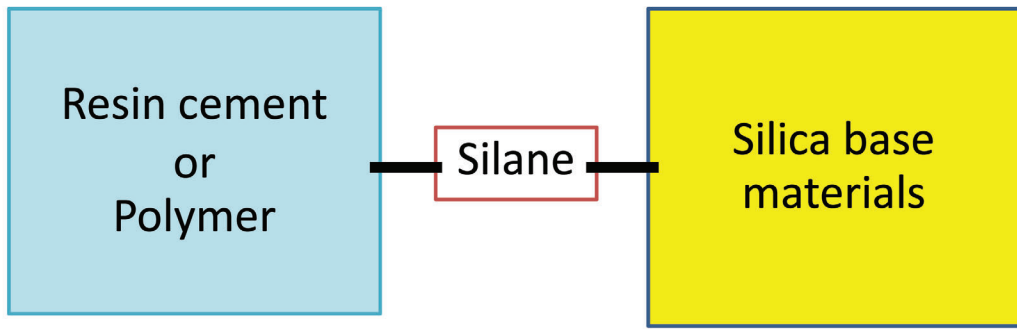
สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent)⁵⁰

ไซเลนเป็นสารคู่ควบ (coupling agent) ที่มีอะตอมของธาตุซิลิกอน (Si) อยู่ภายในโมเลกุล โดยโครงสร้างหลักของไซเลนจะมีปลายสองข้างที่ทำหน้าที่ต่างกัน ดังรูปที่ 1 ซึ่งปลายข้างหนึ่งเป็นหมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (organic functional part) และสามารถเกิดพันธะเคมีกับวัสดุจำพวกพอลิเมอร์ต่างๆ อาทิเช่น เรซินซีเมนต์ หรือเรซินคอมโพสิต ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งของสารไซเลนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์ (inorganic functional part) โดยปลายฝั่งนี้มีหน้าที่หลักในการเกิดพันธะเคมีกับแก้วหรือวัสดุที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ (silica based material) เช่น พอร์ซเลน ทางทันตกรรมนิยมใช้ไซเลนชนิดแกมมาเอ็มพีเอส (Y -MPS; gamma methacryloxypropyltrimethoxy silane) เพื่อปรับสภาพผิวเซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ^{22,51} เช่น กลุ่มเฟลสปาทิกพอร์ซเลน ลิเทียม-ไดซิลิเกตเซรามิก เป็นต้น ขณะที่เซอริโคเนียไม่มีหมู่ธาตุซิลิกอน

เป็นองค์ประกอบจึงไม่สามารถใช้สารไซเลนเพื่อปรับสภาพผิวได้ แต่ถ้าปรับปรุงผิวของเซอริโคเนียให้มีหมู่ธาตุซิลิกอนเสียก่อนด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล (Tribochemical) ซิลิโคเตอร์ (Silicoater) และวิธีการเคลือบด้วยไอเคมี (Chemical vapor deposition technique, CVD)⁵²⁻⁵⁶ สามารถใช้ไซเลนในการปรับสภาพผิวได้และพบแรงยึดอยู่ระหว่างเซอริโคเนียกับเรซินซีเมนต์มีค่าสูงขึ้นแต่อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยพบว่าสารเอ็มดีพี (MDP, 10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate) สามารถเกิดพันธะเคมีกับชั้นออกไซด์บนผิวของเซอริโคเนียได้ จึงมีผู้วิจัยโดยผสมสารเอ็มดีพี เข้ากับสารคู่ควบไซเลนเพื่อใช้ปรับสภาพผิวของเซอริโคเนียก่อนที่จะยึดด้วยเรซินซีเมนต์ และพบว่าทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงขึ้น⁵⁷ Aboushelib³⁴ และคณะศึกษาศสารคู่ควบไซเลนที่พัฒนาขึ้นใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ปรับสภาพผิวของเซอริโคเนียที่ผ่านการทำซีเลคทีฟอินฟิลเทรชันเอตซิง พบว่าสามารถเพิ่มค่ากำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคได้ แต่ค่ากำลังแรงยึดติดกลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อขึ้นทดสอบผ่านการเร่งอายุ ด้วยกระบวนการเทอร์โมไซคลิก

สารคู่ควบเซอริโคเนต (Zirconate coupling agent)

สารคู่ควบเซอริโคเนตเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมเพื่อปรับสภาพผิวของวัสดุตัวเติม (filler material) ประเภทแคลเซียมคาร์บอเนต⁵⁸ เพื่อให้เกิดการเชื่อมยึดด้วยพันธะเคมีกับพอลิเมอร์ทางทันตกรรมมีการใช้สารคู่ควบชนิดนี้เพื่อปรับสภาพผิวเซอริโคเนีย โดย Yoshida และคณะ⁵⁹ ได้ทดสอบเปรียบเทียบค่าแรงยึดระหว่างเซอริโคเนียบริสุทธิ์ (pure zirconia 99%) ที่ทำด้วยสารคู่ควบเซอริโคเนตพบว่าให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทาสารใด ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อมา Yoshida และคณะ⁶⁰ ยังศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของเซอริโคเนียบริสุทธิ์ที่ทำด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ ได้แก่ สารคู่ควบเซอริโคเนต

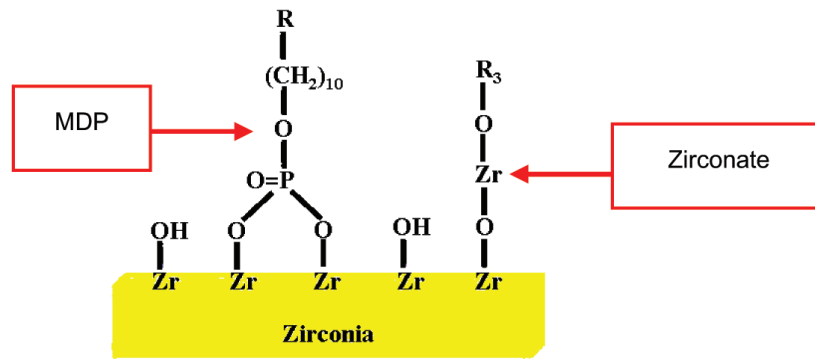


รูปที่ 1 แผนภาพสารคู่ควบไซเลนที่เชื่อมเรซินซีเมนต์กับวัสดุซิลิกา
 Fig. 1 Diagram of silane coupling agent attaches resin cement to silica base material

สารเอ็มดีพี และสารผสม 2 ชนิดระหว่างสารคู่ควบเซอร์โคเนตกับสารเอ็มดีพี พบว่ากลุ่มทดสอบที่ทำด้วยสารผสม 2 ชนิด ให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงที่สุด ส่วนกลุ่มที่ทำด้วยสารคู่ควบเซอร์โคเนตเพียงอย่างเดียวจะให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวต่ำสุด นอกจากนี้ Yoshida และคณะ ได้เสนอโครงสร้างการยึดติดระหว่างผิวเซอร์โคเนตกับสารเอ็มดีพีและสารคู่ควบเซอร์โคเนต ดังรูปที่ 2

สารเมทัลไพรเมอร์ (Metal primer)

เมทัลไพรเมอร์คือสารที่ใช้ในการปรับสภาพผิวของโลหะผสมทางทันตกรรมชนิดมีตระกูล (dental noble metal alloys) เพื่อให้เกิดพันธะเคมีระหว่างผิวของโลหะกับเรซินซีเมนต์ ซึ่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของเมทัลไพรเมอร์และสารที่เป็นองค์ประกอบหลักได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 จากสมมุติฐานที่ว่าเซอร์โคเนียเป็นเซรามิกที่ประกอบด้วยธาตุโลหะคือเซอร์โคเนียม (Zirconium, Zr) ดังนั้นเมทัลไพรเมอร์ก็น่าจะสามารถใช้ปรับสภาพผิวของเซอร์โคเนียได้เช่นเดียวกัน จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เมทัลไพรเมอร์เพื่อเพิ่ม



รูปที่ 2 โครงสร้างการยึดติดระหว่างผิวเซอร์โคเนียกับสารเอ็มดีพีและสารคู่ควบเซอร์โคเนต เสนอโดย Yoshida และคณะ (2006)

Fig. 2 Chemical structure of zirconia surface bond to MDP and zirconate coupling agent, proposed by Yoshida et al. (2006)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของเมทัลไพรเมอร์และสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก

Table 1 The sample of metal primer products and their main composition

Brand	Manufacturer	Main composition
V-primer	Sun Medical	VBATDT
Alloy primer	Kuraray Medical	VBATDT, MDP
Metalbite	Tokuyama	MTU-6
Metal/Zirconia primer	Ivoclar Vivadent	Phosphonic acid acrylate

VBATDT: 6-[N-(4-vinylbenzyl) propylamino]-1,3,5-triazine 2,4-dithione)

MDP: 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate

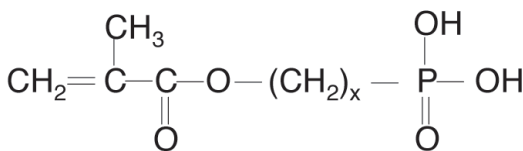
MTU-6: 6-methacryloyloxyhexyl 2-thiouracil-5-carboxylate

การยึดติดระหว่างเซอริโคเนียกับเรซินซีเมนต์ โดย Kern และคณะ⁶¹ เปรียบเทียบแรงยึดติดของเรซินคอมโพสิตกับเซอริโคเนียที่ผ่านการปรับสภาพผิวโดยการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยแรงดัน 0.05 หรือ 0.25 เมกกะพาสคาล แล้วทาด้วยไพรเมอร์ชนิดต่าง ๆ จากนั้นแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 วัน แล้วทดสอบค่ากำลังแรงดึง และอีกกลุ่มผ่านการเร่งอายุด้วยกระบวนการเทอร์โมไซเคิลระหว่าง 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 37,500 รอบ เป็นเวลา 150 วัน แล้วทดสอบหาค่ากำลังแรงดึง พบว่าการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยความดัน 0.05 หรือ 0.25 เมกกะพาสคาล ให้ค่ากำลังแรงดึงที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่ากลุ่มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยอัลลอยไพรเมอร์ (Alloy primer, Kuraray Medical) ซึ่งมีสารที่เป็นองค์ประกอบหลัก 2 ชนิดคือสารวีบีเอทีดีที (VBATDT) และสารเอ็มดีพี ให้ค่ากำลังแรงดึงสูงกว่าการปรับสภาพผิวด้วยเมทัลเซอริโคเนียไพรเมอร์ (metal/zirconia primer) ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นอนุพันธ์กรดฟอสฟอริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

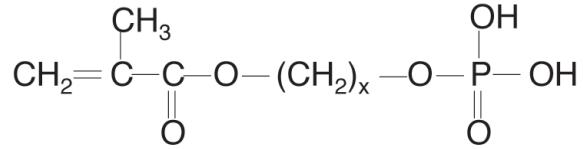
Yun และคณะ²⁶ ศึกษาการปรับสภาพผิวเซอริโคเนียโดยใช้เมทัลไพรเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ อัลลอยไพรเมอร์ วีไพรเมอร์ (V-primer, Sun Medical) และเมทัลไทท์ (Metaltite, Tokuyama) ด้วยสมมุติฐานว่าที่ผิวของเซอริโคเนียจะมีชั้นไฮเดรตออกไซด์ ซึ่งน่าจะเชื่อมกับหมู่ฟองไวของเมทัลไพรเมอร์ได้ ผลการศึกษาพบว่า การปรับสภาพผิวด้วยเมทัลไพรเมอร์อย่างเดียวให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวต่ำมาก แต่ในทางกลับกันเมื่อทำการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ก่อนแล้วทาด้วยเมทัลไพรเมอร์จะทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและผู้วิจัยได้แนะนำว่าไม่ควรปรับสภาพผิวเซอริโคเนียด้วยสารเมทัลไพรเมอร์เพียงอย่างเดียว

เซอริโคเนียไพรเมอร์ (Zirconia primer)

เซอริโคเนียไพรเมอร์เป็นสารที่ใช้ปรับสภาพผิวของเซอริโคเนีย โดยสารประเภทนี้มักมีองค์ประกอบหลักเป็นอนุพันธ์กรดฟอสฟอริก (phosphonic) ดังรูปที่ 3 หรือเป็นอนุพันธ์กรดฟอสฟอริก (phosphoric)²³ ดังรูปที่ 4 จากการศึกษาของ Lehmann และ Kern²¹ รวมไปถึงการศึกษาของ Yang, Barloio และ Kern²⁵ พบว่าไพรเมอร์ที่เป็นอนุพันธ์กรดฟอสฟอริก จะให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าไพรเมอร์



รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก
 Fig. 3 Chemical structure of phosphonic acid derivitive



รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก
 Fig. 4 Chemical structure of phosphoric acid derivitive

ที่เป็นอนุพันธ์กรดฟอสฟอริก นอกจากนี้ Kitayama และคณะ²² ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดติดเมื่อปรับสภาพผิวของเซรามิกชนิดที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบและชนิดเซอริโคเนีย โดยทาด้วยไพรเมอร์ชนิดต่าง ๆ จากนั้นยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัทเดียวกันกับสารไพรเมอร์ที่ทำก่อนหน้านั้นกับแท่งเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) พบว่าเซรามิกชนิดที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบเมื่อทาด้วยไฮเลนให้ค่ากำลังแรงดึงสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนเซอริโคเนีย ที่ทาด้วยไพรเมอร์ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นอนุพันธ์กรดฟอสฟอริก คือเอแซสไพรเมอร์ (AZ primer) และไพรเมอร์ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นสารฟอสเฟตเอสเทอร์มอนอเมอร์ (phosphate ester monomer) ให้ค่ากำลังแรงยึดติดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

บทวิจารณ์

การปรับสภาพผิวเป็นกระบวนการปรับปรุงผิวของวัสดุให้มีความเหมาะสม เพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง ตัวอย่างของการปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดในวงการทันตกรรมได้แก่ การพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ การใช้กรดกัดผิว การเคลือบผิวด้วยสารเคมี เป็นต้น

เซอริโคเนียเป็นเซรามิกชนิดที่มีความแข็งแรงสูง มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เนื่องจากโครงสร้างที่มีความเป็นผลึกสูง รวมไปถึงยังมีค่าความแข็งผิว (surface hardness) ที่สูง ดังนั้นการปรับสภาพผิวเซอริโคเนียจึงทำได้ยากอีกทั้งยังไม่สามารถใช้กรดกัดแก้วเพื่อสร้างรูพรุนที่ผิวเช่นเดียวกับเซรามิกที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีผู้คิดค้นวิธีการต่าง ๆ เพื่อสร้างการยึดติดที่ดีระหว่างเซอริโคเนียกับซีเมนต์ที่ใช้ในช่องปาก มีหลายการศึกษาที่แนะนำให้ใช้ซีเมนต์ชนิดดั้งเดิมกับเซอริโคเนียได้ อย่างไรก็ตาม การใช้เรซินซีเมนต์กับเซอริโคเนียมีข้อดีคือเป็นการเพิ่มค่าแรงยึดติดลดการละลายตัวในน้ำซึ่งส่งผลให้ลดการเกิดฟันผุและการรั่วซึมของวัสดุบูรณะในช่องปากได้

การสร้างความขรุขระที่ผิวด้วยวิธีเชิงกลระดับจุลภาค เช่น การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดต่าง ๆ สามารถเพิ่มพลังงานผิว (surface energy) เพิ่มการเปียก (wettability) และเพิ่มการยึดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical retention) ของเรซินซีเมนต์ได้ แต่เป็นที่ถกเถียงกันว่า การพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์นั้นอาจกระทบต่อค่าความแข็งแรงเชิงกลของเซอโรโคเนียได้ อย่างไรก็ตามวิธีการพ่น ด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวิธีที่สามารถปฏิบัติได้ง่ายในคลินิกทันตกรรม ส่วนวิธีการสร้างการยึดเชิงกลวิธีอื่น ๆ เช่น ซีเมนต์ที่พินฟิลเทรชันเอตซิง ฮอทเอตซิงไฮดรอกซี การใช้เลเซอร์ วิธีการเคลือบผิวเซรามิกด้วยสเลอวีร์ และการเคลือบด้วยอะลูมินาโครงสร้างนาโน เป็นวิธีที่ต้องอาศัยขั้นตอนรวมถึงกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนซึ่งเป็นการยากที่จะปฏิบัติจริงได้ในคลินิก

ส่วนการสร้างการยึดติดทางเคมีจำเป็นต้องอาศัยการทาสารเคมีลงบนผิวของเซอโรโคเนีย เพื่อให้เกิดพันธะเคมีที่ผิวและยังสามารถเชื่อมกับเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดติดกับผิวฟันได้ โดยการเชื่อมระหว่างผิวเซอโรโคเนียกับเรซินซีเมนต์ไม่สามารถใช้สารคู่ควบไซเลนได้ เนื่องจากสารชนิดนี้ต้องเกิดพันธะไฮดรอกซีกับหมู่ไฮดรอกซิลของธาตุซิลิกอนเท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการใช้สารไซเลนในการเชื่อมผิวเซอโรโคเนียกับเรซินซีเมนต์จึงจำเป็นต้องสร้างชั้นของซิลิกาที่ผิวขึ้นมาก่อนด้วยวิธีการไทโรโบเคมีคอล ซิลิโคเตออร์ หรือ วิธีการเคลือบด้วยไอเคมี ซึ่งจะกล่าวในบทความตอนที่ 2

การทำด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ อาทิเช่น สารคู่ควบเซอโรโคเนต เมทัลไพโรเมออร์ และเซอโรโคเนียไพโรเมออร์ มีหลายการศึกษาพบว่า การทำด้วยสารเคมีกลุ่มนี้จะให้ผลดีต้องปรับสภาพผิวด้วยการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ก่อนและพบว่า สารเคมีที่เป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริกหรือกรดฟอสฟอริก เช่น สารเอ็มดีพีสามารถเกิดพันธะเคมีกับชั้นออกไซด์ที่ผิวของเซอโรโคเนียได้

บทสรุป

การปรับสภาพผิวของเซอโรโคเนียในงานทันตกรรมด้วยวิธีเชิงกลเป็นการเพิ่มความขรุขระที่ผิวของซีเมนต์เซอโรโคเนียเพื่อให้เกิดการยึดติดเชิงกลกับซีเมนต์ที่ใช้ในช่องปาก ส่วนการปรับสภาพผิวด้วยวิธีทางเคมี เป็นการทาสารที่ผิวของเซอโรโคเนียเพื่อให้เกิดพันธะทางเคมี ซึ่งสองวิธีการดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้

เอกสารอ้างอิง

1. Conrad HJ, Seong WJ, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2007;98:389-404.
2. Tinschert J, Natt G, Mohrbotter N, Spiekermann H, Schulze KA. Lifetime of alumina- and zirconia ceramics used for crown and bridge restorations. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2007;80:317-21.
3. Bittner N, Hill T, Randi A. Evaluation of a one-piece milled zirconia post and core with different post-and-core systems: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 2010;103:369-79.
4. Akgungor G, Sen D, Aydin M. Influence of different surface treatments on the short-term bond strength and durability between a zirconia post and a composite resin core material. *J Prosthet Dent* 2008;99:388-99.
5. Ozkurt Z, Iseri U, Kazazoglu E. Zirconia ceramic post systems: a literature review and a case report. *Dent Mater J* 2010;29:233-45.
6. Kittipibul P, Godfrey K. In vitro shearing force testing of the Australian zirconia-based ceramic Begg bracket. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:308-15.
7. Keith O, Kusy RP, Whitley JQ. Zirconia brackets: an evaluation of morphology and coefficients of friction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:605-14.
8. Tanne K, Matsubara S, Hotei Y, Sakuda M, Yoshida M. Frictional forces and surface topography of a new ceramic bracket. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:273-8.
9. Tete S, Mastrangelo F, Bianchi A, Zizzari V, Scarano A. Collagen fiber orientation around machined titanium and zirconia dental implant necks: an animal study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:52-8.
10. Kerstein RB, Radke J. A comparison of fabrication precision and mechanical reliability of 2 zirconia implant abutments. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:1029-36.
11. Aboushelib MN, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Effect of loading method on the fracture mechanics of two layered all-ceramic restorative systems. *Dent Mater* 2007;23:952-9.
12. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: Zirconia veneering ceramics. *Dent Mater* 2006;22:857-63.
13. Borges GA, Sophr AM, de Goes MF, Sobrinho LC, Chan DC. Effect of etching and airborne particle abrasion on the

- microstructure of different dental ceramics. *J Prosthet Dent* 2003;89:479-88.
14. Kern M, Wegner SM. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater* 1998;14:64-71.
 15. Wegner SM, Gerdes W, Kern M. Effect of different artificial aging conditions on ceramic-composite bond strength. *Int J Prosthodont* 2002;15:267-72.
 16. Donovan TE, Cho GC. Contemporary evaluation of dental cements. *Compend Contin Educ Dent* 1999;20:197-9, 202-8, 10 passim; quiz 20.
 17. Jung YG, Peterson IM, Kim DK, Lawn BR. Lifetime-limiting strength degradation from contact fatigue in dental ceramics. *J Dent Res* 2000;79:722-31.
 18. Derand T, Molin M, Kvam K. Bond strength of composite luting cement to zirconia ceramic surfaces. *Dent Mater* 2005;21:1158-62.
 19. International Organization for Standardization. ISO/TR 10477 Dentistry-Polymer-based crown and bridge materials. Geneva: ISO; 2004.
 20. Jefferies SR. Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: a state-of-the-art review. *Dent Clin North Am* 2007;51:379-97, ix.
 21. Lehmann F, Kern M. Durability of resin bonding to zirconia ceramic using different primers. *J Adhes Dent* 2009;11:479-83.
 22. Kitayama S, Nikaido T, Takahashi R, Zhu L, Ikeda M, Foxton RM, et al. Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic. *Dent Mater* 2010;26:426-32.
 23. Magne P, Paranhos MP, Burnett LH Jr. New zirconia primer improves bond strength of resin-based cements. *Dent Mater* 2010;26:345-52.
 24. Wolfart M, Lehmann F, Wolfart S, Kern M. Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. *Dent Mater* 2007;23:45-50.
 25. Yang B, Barloi A, Kern M. Influence of air-abrasion on zirconia ceramic bonding using an adhesive composite resin. *Dent Mater* 2010;26:44-50.
 26. Yun JY, Ha SR, Lee JB, Kim SH. Effect of sandblasting and various metal primers on the shear bond strength of resin cement to Y-TZP ceramic. *Dent Mater* 2010;26:650-8.
 27. Derand P, Derand T. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont* 2000;13:131-5.
 28. Zhang Y, Pajares A, Lawn BR. Fatigue and damage tolerance of Y-TZP ceramics in layered biomechanical systems. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2004;71:166-71.
 29. Zhang Y, Lawn BR, Rekow ED, Thompson VP. Effect of sandblasting on the long-term performance of dental ceramics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2004;71:381-6.
 30. Zhang Y, Lawn BR, Malament KA, Van Thompson P, Rekow ED. Damage accumulation and fatigue life of particle-abraded ceramics. *Int J Prosthodont* 2006;19:442-8.
 31. Guazzato M, Albakry M, Quach L, Swain MV. Influence of grinding, sandblasting, polishing and heat treatment on the flexural strength of a glass-infiltrated alumina-reinforced dental ceramic. *Biomaterials* 2004;25:2153-60.
 32. 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;103:210-20.
 33. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater* 1999;15:426-33.
 34. 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;98:379-88.
 35. Casucci A, Osorio E, Osorio R, Monticelli F, Toledano M, Mazzitelli C, et al. Influence of different surface treatments on surface zirconia frameworks. *J Dent* 2009;37:891-7.
 36. Ferrari M, Cagidiaco MC, Borracchini A, Bertelli E. Evaluation of a chemical etching solution for nickel-chromium-beryllium and chromium-cobalt alloys. *J Prosthet Dent* 1989;62:516-21.
 37. Casucci A, Mazzitelli C, Monticelli F, Toledano M, Osorio R, Osorio E, et al. Morphological analysis of three zirconium oxide ceramics: Effect of surface treatments. *Dent Mater* 2010;26:751-60.
 38. Liu J, Watanabe I, Yoshida K, Atsuta M. Joint strength of laser-welded titanium. *Dent Mater* 2002;18:143-8.
 39. NaBadalung DP, Nicholls JI. Laser welding of a cobalt-chromium removable partial denture alloy. *J Prosthet Dent* 1998;79:285-90.
 40. Coluzzi DJ. Fundamentals of dental lasers: science and instruments. *Dent Clin North Am* 2004;48:751-70, v.
 41. Strauss RA, Fallon SD. Lasers in contemporary oral and maxillofacial surgery. *Dent Clin North Am* 2004;48:861-88, vi.
 42. Coletton S. Lasers in surgical periodontics and oral medicine. *Dent Clin North Am* 2004;48:937-62, vii.

43. Spohr AM, Borges GA, Junior LH, Mota EG, Oshima HM. Surface modification of In-Ceram Zirconia ceramic by Nd:YAG laser, Rocatec system, or aluminum oxide sandblasting and its bond strength to a resin cement. *Photomed Laser Surg* 2008;26:203-8.
44. Noda M, Okuda Y, Tsuruki J, Minesaki Y, Takenouchi Y, Ban S. Surface damages of zirconia by Nd:YAG dental laser irradiation. *Dent Mater J* 2010;29:536-41.
45. Phark JH, Duarte S, Jr., Blatz M, Sadan A. An in vitro evaluation of the long-term resin bond to a new densely sintered high-purity zirconium-oxide ceramic surface. *J Prosthet Dent* 2009;101:29-38.
46. Kim HW, Georgiou G, Knowles JC, Koh YH, Kim HE. Calcium phosphates and glass composite coatings on zirconia for enhanced biocompatibility. *Biomaterials* 2004;25:4203-13.
47. Kim HW, Kong YM, Bae CJ, Noh YJ, Kim HE. Sol-gel derived fluor-hydroxyapatite biocoatings on zirconia substrate. *Biomaterials* 2004;25:2919-26.
48. Ferraris M, Verne E, Appendino P, Moisescu C, Krajewski A, Ravaglioli A, et al. Coatings on zirconia for medical applications. *Biomaterials* 2000;21:765-73.
49. Jevnikar P, Krnel K, Kocjan A, Funduk N, Kosmac T. The effect of nano-structured alumina coating on resin-bond strength to zirconia ceramics. *Dent Mater* 2010;26:688-96.
50. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004;17:155-64.
51. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003;89:268-74.
52. Piascik JR, Swift EJ, Thompson JY, Grego S, Stoner BR. Surface modification for enhanced silanation of zirconia ceramics. *Dent Mater* 2009;25:1116-21.
53. Atsu SS, Kilicarslan MA, Kucukesmen HC, Aka PS. Effect of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. *J Prosthet Dent* 2006;95:430-6.
54. Amaral R, Ozcan M, Bottino MA, Valandro LF. Microtensile bond strength of a resin cement to glass infiltrated zirconia-reinforced ceramic: the effect of surface conditioning. *Dent Mater* 2006;22:283-90.
55. Valandro LF, Ozcan M, Amaral R, Vanderlei A, Bottino MA. Effect of testing methods on the bond strength of resin to zirconia-alumina ceramic: microtensile versus shear test. *Dent Mater J* 2008;27:849-55.
56. Ozcan M, Nijhuis H, Valandro LF. Effect of various surface conditioning methods on the adhesion of dual-cure resin cement with MDP functional monomer to zirconia after thermal aging. *Dent Mater J* 2008;27:99-104.
57. Blatz MB, Sadan A, Martin J, Lang B. In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J Prosthet Dent* 2004;91:356-62.
58. Salvatore JM, Titanate coupling agents. In: Xanthos M, editors. Functional fillers for plastics. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2005. p. 85-102.
59. Yoshida K, Yamashita M, Atsuta M. Zirconate coupling agent for bonding resin luting cement to pure zirconium. *Am J Dent* 2004;17:249-52.
60. 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;77:28-33.
61. Kern M, Barloi A, Yang B. Surface conditioning influences zirconia ceramic bonding. *J Dent Res* 2009;88:817-22.

Review Article

Surface Modification of Dental Zirconia Ceramic Part I: Micro-Mechanical Retention and Chemical Retention Methods

Tool Sriamporn

Ph.D. Student
Department of Prosthodontics Dentistry
Faculty of Dentistry,
Chulalongkorn University

Niyom Thamrongananskul

Assistant Professor
Department of Prosthodontics Dentistry
Faculty of Dentistry,
Chulalongkorn University

Correspondence to:

Assistant Professor Dr. Niyom
Thamrongananskul
Department of Prosthodontics Dentistry
Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University
Henri-Dunant Rd., Patumwan
Bangkok 10330

Abstract

The objective of the literature review on the surface modification of dental zirconia ceramic: part I article was to explain the methods of surface modification of zirconia in order to enhance the adhesion of dental resin cement. The surface-modified of dental zirconia ceramic is classified into micro-mechanical retention methods and chemical retention methods. The micro-mechanical retention methods include air abrasion with Al_2O_3 technique, selective infiltration etching technique, hot etching solution technique, laser technique, slurry-coated ceramic technique and nano-structured alumina coating technique. Whereas, chemical retention methods include the using silane coupling agent, zirconate coupling agent, metal primers and zirconia primers. For the surface-modified of dental zirconia ceramic by silica-coating methods will be explained in the following part II article.

Key words: bond strength; chemical retention; mechanical retention; surface modification; zirconia