

## การเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียมเพื่อเพิ่มการยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซิน: การทบทวนวรรณกรรม

ขวัญกัญญา กองคำบุตร\* กษิษกร กุลติยะรัตนะ\*\* กัทริกา อังกสิทธิ์\*\*\* อากาพร พงษ์ภัทรินทร์\*\*\*\*  
พิสัยศิษฐ์ ชัยรัตน์\*\*\*\*\*

### บทคัดย่อ

ไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียมถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของรากฟันเทียม โดยเฉพาะหลักยึดปลุกฝัง ซึ่งทำหน้าที่รองรับชิ้นงานบูรณะบนรากฟันเทียม อย่างไรก็ตามหลักยึดปลุกฝังไทเทเนี่ยมนั้นมีข้อจำกัดในด้านความสวยงาม เนื่องจากมีสีที่เข้มทึบ และสามารถแสดงสีฟันเนื้อเยื่อรอบรากฟันเทียมได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงพิจารณาเลือกใช้หลักยึดปลุกฝังชนิดสองชิ้น โดยอาศัยฐานโลหะผสมไทเทเนี่ยมยึดติดกับหลักยึดปลุกฝังวัสดุเซอร่าโคเนี่ย หรือยึดติดกับครอบฟันโดยตรงด้วยวัสดุยึดติดชนิดเรซิน ซึ่งการยึดติดระหว่างวัสดุทั้งสองชนิดดังกล่าวกับฐานโลหะผสมไทเทเนี่ยมนั้น ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความทนทาน และความสำเร็จของวัสดุบูรณะบนรากฟันเทียม

ดังนั้นการเตรียมพื้นผิวของวัสดุไทเทเนี่ยม และโลหะผสมไทเทเนี่ยมด้วยวิธีทางกล และวิธีทางเคมี จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้เกิดการยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินที่ดีขึ้น อันจะนำไปสู่ความสำเร็จ และความคงทนของวัสดุบูรณะบนรากฟันเทียมต่อไป

**คำสำคัญ:** วัสดุยึดติดชนิดเรซิน การเตรียมพื้นผิว ไทเทเนี่ยม โลหะผสมไทเทเนี่ยม

วันที่รับ: 3 มกราคม 2567

วันที่แก้ไข: 25 มิถุนายน 2567

วันที่ตอบรับ: 12 กันยายน 2567

\*คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50200

\*\*ศูนย์ทันตกรรมชลบุรี จ.ชลบุรี 20000

\*\*\*ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

\*\*\*\*ภาควิชาทันตกรรมครอบคร้วและชุมชน สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไป คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

# Surface Treatment of Titanium and Titanium Alloy to Improve Bond Strength to Resin Cement: A review literature

**Kwanhatai Khongkumbut\* Tachakorn Kuntiyaratana\*\* Pattarika Angkasith\*\*\*  
Arpaporn Pongpattarin\*\*\*\* Pisaisit Chaijareenont\*\*\*\***

## Abstract

Titanium and titanium alloy have been widely used as essential components in dental implant systems. One of their applications is implant abutments, which support restoration for dental implants. However, titanium abutments have aesthetic limitations due to their dense and dark color, which can be shown through the peri-implant tissue. To deal with this challenge, a two-piece abutment system has been considered, using a titanium alloy base attached to the abutment part. This base can be connected to the zirconia abutment or directly to the crown using resin cement. Adhesion between these two different types of materials is a critical factor influencing the durability and success of the restoration.

Therefore, the surface treatment of both titanium and titanium alloy materials using mechanical and chemical methods must be done to promote better adhesion with the resin cement, which will contribute to increased success and longevity of dental implant restorations.

**Keywords:** Resin cement, Surface treatment, Titanium, Titanium alloy

Received Date: Jan 3, 2024

Revised Date: Jun 25, 2024

Accepted Date: Sep 12, 2024

\*Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Mueang District, Chiang Mai 50200, Thailand.

\*\*Chonburi Dental Center, Chonburi 2000, Thailand.

\*\*\*Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Mueang District, Chiang Mai 50200, Thailand.

\*\*\*\*Department of Community Dentistry, Division of General Dentistry, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Mueang District, Chiang Mai 50200, Thailand.

### บทนำ (Introduction)

ไทเทเนียม (titanium) และโลหะผสมไทเทเนียม (titanium alloy) ถูกนำมาใช้ในงานทันตกรรม รากฟันเทียมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติทางชีวภาพเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อภายในช่องปาก (biocompatibility) สามารถเนื้อมานำ และเชื่อมติดกับกระดูกโดยรอบ (osteointegration) มีความแข็งแรง ต้านทานต่อการสึกกร่อน และมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ที่ใกล้เคียงกับกระดูก โดยในทางทันตกรรมปัจจุบัน จะนิยมใช้ไทเทเนียมบริสุทธิ์เชิงพาณิชย์ (commercially pure-titanium: Cp-Ti) และโลหะผสมไทเทเนียม อะลูมิเนียม วาเนเดียม (Ti-6Al-4V alloy) (1,2) เพื่อเป็นส่วนประกอบต่างๆ ในระบบรากฟันเทียม อันได้แก่ รากฟันเทียม (implant fixture) และหลักยึดลิ้งปลูกฝัง (implant abutment) ซึ่งทำหน้าที่รองรับชิ้นงานบูรณะบนรากฟันเทียม เป็นต้น (3)

ถึงแม้ว่าหลักยึดลิ้งปลูกฝังที่สร้างจากวัสดุไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม จะเป็นที่นิยมใช้ แต่ด้วยคุณสมบัติของสีที่เข้มทึบ จึงสามารถแสดงสีผ่านชั้นเนื้อเยื่อรอบรากฟันเทียม (peri-implant tissue) ที่มีลักษณะบาง (thin mucosa) หรือมีความหนาน้อยกว่า 3 มิลลิเมตรได้ (4) ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้น เกิดลักษณะสีเทา ซึ่งส่งผลต่อความสวยงาม และความสำเร็จของการรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตำแหน่งที่ต้องการความสวยงาม (5) ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นหลักยึดลิ้งปลูกฝัง

ที่สร้างจากวัสดุเซอร์โคเนีย (zirconia abutment) จึงถูกพัฒนาเข้ามามีบทบาท เพื่อแก้ไขส่วนของเนื้อเยื่อรอบรากฟันเทียม ให้มีความสวยงามมากขึ้น (6) อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้หลักยึดลิ้งปลูกฝังแบบชิ้นเดียว (zirconia single piece abutment) มักพบปัญหาการแตกหัก และการสึกกร่อนบริเวณรอยต่อ อันเป็นผลให้เกิดความล้มเหลว ในการรักษา (7,8) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงพิจารณาให้มีการเลือกใช้หลักยึดลิ้งปลูกฝังชนิดสองชิ้น (two-piece abutment) โดยอาศัยฐานโลหะผสมไทเทเนียม (titanium alloy base) ยึดติดเข้ากับหลักยึดลิ้งปลูกฝังวัสดุเซอร์โคเนีย (8,9) หรือใช้วิธีการยึดติดกับส่วนครอบฟันโดยตรง ในกรณีที่บูรณะด้วยครอบฟันชนิดเซรามิกล้วน (10,11) ผ่านการยึดติดด้วยวัสดุยึดติดชนิดเรซิน (resin cement)

ดังที่กล่าวมาข้างต้น การยึดติดระหว่างหลักยึดลิ้งปลูกฝังวัสดุเซอร์โคเนีย หรือครอบฟันชนิดเซรามิกล้วนกับฐานโลหะผสมไทเทเนียมด้วยวัสดุยึดติดชนิดเรซิน ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความทนทานของวัสดุบูรณะทั้งหมด (12) อย่างไรก็ตาม ยังพบว่า การยึดติดที่เกิดขึ้นนั้นมักไม่ดีเท่าที่ควร (13-15) เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเตรียมพื้นผิวของวัสดุไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อทำให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้นกับวัสดุยึดติดชนิดเรซิน อันจะนำไปสู่ความสำเร็จ และความคงทนของวัสดุบูรณะบนรากฟันเทียมต่อไป (16)



รูปที่ 1 แสดงการส่องผ่านสีของหลักยึดลิ้งปลูกฝังไทเทเนียม ในเนื้อเยื่อที่มีลักษณะบาง  
 Fig 1. A grayish appearance of titanium abutment on thin mucosa tissue.

## การเตรียมพื้นผิว (Surface Treatment)

การเตรียมพื้นผิวบนวัสดุไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียมนั้น หัวใจเพื่อให้เกิดการยึดติด ที่ดีขึ้นกับวัสดุยึดติดชนิดเรซิน โดยจากการรวบรวมข้อมูลของผู้ศึกษา การเตรียมพื้นผิวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง ได้แก่ วิธีการเตรียมพื้นผิวทางกล และวิธีการเตรียมพื้นผิวทางเคมี

### 1. การเตรียมพื้นผิวทางกล (Mechanical Method)

การสร้างผิวขรุขระของพื้นผิว (surface roughness) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ตลอดจนการทำมาสะอาดพื้นผิวให้ปราศจากสิ่งรบกวน (decontamination) โดยเฉพาะวิธีการเป่าทราย (sandblasting) จัดเป็นวิธีที่สามารถเพิ่มแรงยึดติดทางกลระหว่างพื้นผิวโลหะ และวัสดุยึดติดได้ (17)

### 1.1 การเป่าทราย (Sandblasting)

การเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินา (sandblasting with alumina oxide particles) ถือเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถทำได้ง่าย และมีราคาถูก โดยอนุภาคเหล่านี้จะช่วยกำจัด สิ่งปนเปื้อน รวมถึงสร้างความขรุขระบนพื้นผิว (17-19) นอกจากนี้ ยังมีการดัดแปลงอนุภาคอะลูมินาด้วยการเคลือบซิลิกาบนพื้นผิว (tribochemical silica coating) เพื่อทำให้เกิดพื้นผิวที่มีความขรุขระร่วมกับมีฟิล์มซิลิกาฝังตัวอยู่บนพื้นผิว ซึ่งการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินา ดัดแปลงด้วยซิลิกานี้ มักจะทำงานร่วมกับการใช้สารละลายควบคู่ไซเลน (silane coupling agent) เสมอ เพื่อก่อให้เกิดแรงยึดติดที่ดีขึ้น จากการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical retention) และการยึดติดทางเคมี (chemical bonding) (20, 21) การศึกษาการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม ด้วยวิธีการเป่าทราย ได้สรุปมา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการศึกษาการเตรียมพื้นผิวบนไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม ด้วยวิธีการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินา และอนุภาคอะลูมินาที่ดัดแปลงด้วยซิลิกา

Table 1. Summary studies of surface treatment on titanium and titanium alloy using the alumina oxide sandblasting and tribochemical silica coating methods.

ผู้ศึกษา และชนิดของโลหะ	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
Fonseca และคณะ (12) ไทเทเนียมบริสุทธิ์ เชิงพาณิชย์ (Cp-Ti)	เป่าทรายอนุภาคอะลูมินา ขนาด 50 120 250 ไมครอน และอนุภาค อะลูมินาที่ดัดแปลงด้วยซิลิกา ขนาด 30 ไมครอน ภายใต้ ความดัน 4.8 บาร์ มุม 90 องศา 10 วินาที	พื้นผิวของไทเทเนียมที่ผ่านการเป่าทรายอะลูมินาด้วย ขนาดที่แตกต่างกัน จะเกิดร่องขรุขระระดับไมครอน ที่มี ขนาดแปรผันตามอนุภาคที่ใช้ กระจายบนพื้นผิว และเมื่อ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบเฉือนพบว่า ในกลุ่มที่ เป่าทรายอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 120 และ 250 ไมครอน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.1 6.0 และ 7.0 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เป่าทรายอนุภาคอะลูมินาที่ดัดแปลงขนาด 30 ไมครอน (2.3 เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมด้วยการเป่าทรายอนุภาค อะลูมินา ขนาด 50 120 และ 250 ไมครอน จึงมีความ เหมาะสมในการศึกษานี้ เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดที่สูง และไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

ผู้ศึกษา และ ชนิดของโลหะ	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
Abi-Rached และคณะ (14)  โทเทเนียมบริสุทธิ เชิงพาณิชย์ (Cp-Ti)	เป่าทรายอนุภาคอะลูมินา ขนาด 50 120 250 ไมครอน และอนุภาค อะลูมินาตัดแปลงด้วยซิลิกา ขนาด 30 ไมครอน ภายใต้ ความดัน 4.8 บาร์ มุม 90 องศา ห่าง 10 มิลลิเมตร 10 วินาที	การเป่าทรายอนุภาคอะลูมินาขนาด 120 และ 250 ไมครอน และอนุภาคอะลูมินาตัดแปลงด้วยซิลิกาขนาด 30 ไมครอน เป็นวิธีที่เหมาะสมในการศึกษานี้ เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยแรง ยึดติดแบบเนียนกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินที่ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $16.71 \pm 2.90$ $13.76 \pm 2.03$ และ $14.89 \pm 2.80$ เมกะปาสคาล ตามลำดับ และสูงกว่าการ เป่าทรายอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน ( $12.39 \pm 2.16$ เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญ โดยอนุภาคอะลูมินาขนาด 120 และ 250 ไมครอน จะทำให้เกิดร่องขรุขระขนาดใหญ่ บนพื้นผิวโทเทเนียม และการใช้อะลูมินาตัดแปลงด้วยซิลิกา ขนาด 30 ไมครอน ร่วมกับสารละลายควบคู่โซเลน จะทำให้ พื้นผิวมีความชอบน้ำมากขึ้น ซึ่งเหมาะสมต่อการซึมผ่านของ เรซิน และส่งผลให้แรงยึดติดเพิ่มขึ้น
Pitta และ คณะ (19) โลหะผสมโทเทเนียม อะลูมิเนียม วานาเดียม (Ti-6Al-4V alloy)	เป่าทรายอนุภาคอะลูมินา ขนาด 50ไมครอน อนุภาค อะลูมินาตัดแปลงด้วยซิลิกา ขนาด 30 และ 110 ไมครอน ภายใต้ความดัน 2.5 บาร์ มุม 45 องศาห่าง 10 มิลลิเมตร 10 วินาที	การเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน เป็นวิธี ที่มีความเหมาะสมที่สุดในการเตรียมพื้นผิว โทเทเนียม โดย จะทำให้เกิดร่องขรุขระในระดับไมครอนบนพื้นผิว ได้มากกว่า การเป่าทรายอนุภาคอะลูมินาตัดแปลงด้วยซิลิกาขนาด 30 และ 110 ไมครอน จึงส่งผลให้เกิดการยึดติดที่ดี โดยให้ ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินสูงที่สุด ( $420.0 \pm$ $139.5$ นิวตัน) เมื่อเปรียบเทียบกับ การเป่าทรายด้วยอนุภาค อะลูมินาตัดแปลงด้วยซิลิกาขนาด 30 ไมครอน ( $346.9 \pm$ $273.0$ นิวตัน) และ 110 ไมครอน ( $376.1 \pm 295.1$ นิวตัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
Karaokutan และ Ozel (18)  โทเทเนียมบริสุทธิ เชิงพาณิชย์ (Cp-Ti)	เป่าทรายอนุภาคอะลูมินา ขนาด 50 และ 110 ไมครอน ภายใต้ความดัน 2 บาร์ มุม 45 องศา 10 วินาที และอนุภาค อะลูมินาตัดแปลงด้วยซิลิกา ขนาด 30 ไมครอน ภายใต้ ความดัน 2 บาร์ 15 วินาที	การเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 110 ไมครอน และอะลูมินาตัดแปลงด้วยซิลิกาขนาด 30 ไมครอน ส่งผลให้ พื้นผิวโทเทเนียมมีความขรุขระ และเกิดรูพรุนในระดับไมครอน โดยอนุภาคอะลูมินาขนาด 110 ไมครอน จะทำให้เกิดรูพรุน ที่มีขนาดใหญ่กว่าทุกกลุ่ม อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า การเตรียมพื้นผิวโทเทเนียมด้วยการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินา ขนาด 50 ไมครอน ถือเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบเนียนระหว่างวัสดุยึดติด ชนิดเรซินอยู่ที่ $18.72 \pm 2.58$ เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าสูงกว่า กลุ่มอนุภาคอะลูมินาขนาด 110 ไมครอน ( $17.31 \pm 2.22$ ) และอนุภาคตัดแปลงด้วยซิลิกาขนาด 30 ไมครอน ( $14.19 \pm$ $2.25$ ) อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้แล้ว การเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินา และอนุภาคอะลูมินาที่ดัดแปลงด้วยซิลิกา ยังสามารถสร้างความขรุขระบนพื้นผิวของเซอรัโคเนียได้ และส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงยึดติดระหว่างเซอรัโคเนียกับวัสดุยึดติดชนิดเรซิน ดังเช่น ในการศึกษาของ Moon และคณะ ปี 2016 ที่พบว่า การเตรียมพื้นผิวเซอรัโคเนียด้วยการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน ภายใต้อุณหภูมิ 4 บาร์ ที่ระยะเวลา 20 วินาทีนั้น ส่งผลให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิว และให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดติดแบบเฉือนกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินสูงที่สุดในการศึกษาดังกล่าว (22)

**2. การเตรียมพื้นผิวทางเคมี (Chemical Method)**

เนื่องจากวัสดุไทเทเนียม หรือโลหะผสมไทเทเนียม ในอุณหภูมิห้องนั้น จะเกิดพื้นผิวสนิม หรือชั้นที่เรียกว่า ไทเทเนียมออกไซด์ (titanium oxide layer) ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติในการยึดติดของวัสดุ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยสารเคมีจึงเข้ามามีบทบาทต่อคุณสมบัติทางกล และทางเคมีของวัสดุดังกล่าว (23)

**2.1 การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)**

การเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม หรือโลหะผสมไทเทเนียม โดยการแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถเพิ่มการยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินได้ (17, 23,24) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของการยึดติดดังกล่าว เกิดขึ้นได้จากพื้นผิวของไทเทเนียมที่ถูกกัดกร่อน จนนำไปสู่การเกิดความขรุขระบนพื้นผิว นอกจากนี้ การใช้สารละลายดังกล่าวยังเหนี่ยวนำให้พื้นผิวของไทเทเนียมเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปลดปล่อยไทเทเนียมไอออน (titanium ion) ส่วนเกิน และเข้าจับกับออกซิเจนไอออน (oxygen ion) เกิดเป็นชั้นไทเทเนียมออกไซด์ชั้นบนพื้นผิว ส่งผลให้พื้นผิวเกิดความชอบน้ำขึ้น (hydrophilicity) (23-27)

อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดรูปแบบที่เป็นมาตรฐานของการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม ซึ่งการศึกษาศึกษาการเตรียมพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น และระยะเวลาที่แตกต่างกัน สามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2 แสดงการศึกษาการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์**

**Table 2. Summary studies of surface treatment on titanium and titanium alloy using hydrogen peroxide.**

ผู้ศึกษา และ ชนิดของโลหะ	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
Ozyetim และ คณะ(24)	แช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 35 ระยะเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง	ไม่พบลักษณะ และค่าเฉลี่ยความขรุขระที่แตกต่างกัน บนพื้นผิวของไทเทเนียมในกลุ่มที่แช่ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 35 (0.76 ± 0.3 ไมครอน) และกลุ่มควบคุม (0.81 ± 0.5 ไมครอน) อย่างไรก็ตามสำคัญ แต่พบว่าในกลุ่มที่แช่ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนพื้นผิวของไทเทเนียม ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงยึดติด โดยมีค่าเฉลี่ยแรงยึดกับวัสดุยึดชนิดเรซินอยู่ที่ 490 ± 48.2 นิวตัน ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุม (382 ± 48.4 นิวตัน) ในทางสถิติ

ผู้ศึกษา และ ชนิดของโลหะ	วิธีการศึกษา	ผลการศึกษา
Elsaka และ Swain (28)  ไทเทเนียมบริสุทธิ์ เชิงพาณิชย์ (Cp-Ti)	แช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 30 ระยะเวลา 5 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง	สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวไทเทเนียมในรูปแบบของหลุมระดับไมครอน มากกว่าสารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบแรงยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินด้วยค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยพลังงานความเค้น (G-values) พบว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มที่แช่ด้วยสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่ระยะเวลา 5 และ 10 นาที ( $5.3 \pm 0.8$ และ $6.2 \pm 1$ จุลต่อตารางเมตร) มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่แช่ด้วยสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 10 ( $4.2 \pm 1$ และ $4.5 \pm 1$ จุลต่อตารางเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระยะเวลาในการแช่ 5 และ 10 นาที ให้ค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกัน ในทั้งสองกลุ่ม การเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่ระยะเวลา 5 หรือ 10 นาที จึงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมในการศึกษาดังกล่าว
Yoshida (23)  ไทเทเนียมบริสุทธิ์ เชิงพาณิชย์ (Cp-Ti)	แช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 34.5 ระยะเวลา 60 นาที และใช้สารละลายร่วมกับ การเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยหลอดไฟฮาโลเจนที่ระยะเวลา 40 100 160 220 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง	การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 34.5 ร่วมกับการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยหลอดไฟฮาโลเจน ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของชั้นไทเทเนียมออกไซด์บนพื้นผิวของไทเทเนียม และทำให้พื้นผิวเกิดความขรุขระมากขึ้น โดยพบว่าการเร่งปฏิกิริยาด้วยหลอดไฟฮาโลเจนที่ระยะเวลา 160 วินาที ถือเป็นวิธีเตรียมพื้นผิวที่มีความเหมาะสม เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยการยึดติดแบบเฉือนกับวัสดุยึดติด ชนิดเรซินอยู่ที่ $25.8 \pm 9.4$ เมกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุม 14 เท่า และสูงกว่ากลุ่มที่แช่ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว 1.5 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสของไทเทเนียมกับสารละลายจาก 160 วินาที เป็น 220 วินาที จะส่งผลให้แรงยึดติดแบบเฉือนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาของชั้นไทเทเนียมออกไซด์ ที่มากเกินไป

## 2.2 การใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid)

สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกนั้น มักถูกนำมาเตรียมพื้นผิวรากฟันเทียมไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียมเพื่อเพิ่มการเหนียวนาเซลล์เนื้อเยื่อกระดูกให้เกิดการเชื่อมประสานของกระดูก (osseointegration) ผ่านการแสดงออกของ อาร์ เอ็น เอ ที่เกี่ยวข้องกับกระดูก (bone specific RNA) โดยส่งผลให้มีการแสดงออกของยีนกระดูก (osteoblastic gene) และโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกระดูกมากขึ้น เช่น โบน ไชอะโลโปรตีน (bone sialoprotein: BSP) และ อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase: ALP) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์สร้างกระดูก (osteoblastic-differentiation) เพื่อให้เกิดการสร้างกระดูกมากขึ้น (29) นอกจากนี้ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีการศึกษาเพิ่มเติมที่พบว่า สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกสามารถก่อให้เกิดความขรุขระของพื้นผิวที่มากขึ้น เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น และระยะเวลาการเตรียมพื้นผิว (28) รวมถึงยังมีคุณสมบัติในการชะล้างพื้นผิว และสร้างชั้นของไทเทเนียมออกไซด์ (30)

ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ว่า ชั้นออกไซด์ดังกล่าวสามารถเพิ่มการยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินได้ จึงทำให้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม ในหลายการศึกษา (28, 31) Guilherme และคณะ ในปี 2016 พบว่า การใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 9.5 ระยะเวลา 30 วินาที ถือเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย โดยไม่ต้องอาศัยวัสดุเพิ่มเติมในการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม โดยจะทำให้เกิดลักษณะรูพรุนขนาดเล็ก (micropores) อย่างเป็นระเบียบบนพื้นผิว แตกต่างจากลักษณะขรุขระที่พบจากการเป่าทรายอะลูมินา และให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบเฉือนกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินอยู่ที่  $46.1 \pm 17.9$  เมกะปาสคาล ซึ่งไม่แตกต่างจากการเป่าทรายอะลูมินา ( $53.0 \pm 9.7$  เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (31) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Elsaka และ Swain ในปี 2013 ที่พบว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้น

ร้อยละ 9 ที่ระยะเวลา 5 หรือ 10 นาที ส่งผลให้แรงยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินในรูปแบบของค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตปล่อยพลังงานความเค้น (G-values) อยู่ที่  $11.6 \pm 1.6$  และ  $11.8 \pm 1.2$  จุลต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินา ( $9.1 \pm 1.3$  จุลต่อตารางเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าจะทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวที่น้อยกว่าก็ตาม โดยได้อธิบายไว้ว่า แรงยึดติดที่สูงขึ้นเป็นผลมาจากส่วนโมโนเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดของวัสดุยึดติดชนิดเรซิน เข้าจับกับชั้นไทเทเนียมออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น (28) ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของ Alkhadashi และคณะ ในปี 2020 ที่พบว่า การใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 9.5 เป็นระยะเวลา 90 วินาทีนั้น ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบเฉือนอยู่ที่  $5.35 \pm 1.12$  เมกะปาสคาล ซึ่งต่ำกว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน ( $15.91 \pm 3.23$  เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญ โดยเป็นผลมาจากการเลือกใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่น้อย และสารยึดติดชนิดเรซินที่ไม่หลากหลาย ซึ่งในการศึกษาไม่ได้อธิบายถึงลักษณะ และค่าเฉลี่ยความขรุขระของพื้นผิวไทเทเนียมที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวที่แตกต่างกัน (32)

## 2.3 การทำอโนไดซ์ (Anodization)

อโนไดซ์ เป็นการปรับสภาพพื้นผิวของไทเทเนียม เพื่อให้เกิดการสะสมของชั้นออกไซด์ที่มีความหนาเหมาะสมบนพื้นผิว โดยอาศัยวิธีไฟฟ้าทางเคมี (electrochemical method) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้วบวกบนผิวไทเทเนียม (anodic oxidation) เมื่อให้แรงดันไฟฟ้า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวก และไอออนลบ ซึ่งไอออนลบจะเข้าไปสะสมบนผิวของไทเทเนียม เกิดเป็นชั้นออกไซด์ที่มีความหนาขึ้น (33) ความหนาของชั้นไทเทเนียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้ จะส่งผลให้ไทเทเนียมมีการสะท้อนของแสง และมีสีที่สว่างขึ้น โดยไม่ทำให้สูญเสียคุณสมบัติทางชีวภาพ (34-37) ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า ระยะเวลาที่ใช้ (38) รวมถึงอุณหภูมิ และประเภทของสารอิเล็กโทรไลต์ ที่เลือกใช้ในการทำปฏิกิริยา



(39, 40) นอกจากที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว เมื่อทำการศึกษาเพิ่มเติมจะพบว่า การทำโนโดซ์ส่งผลให้ไทเทเนียมต้านทานต่อการกัดกร่อนมากขึ้น (41) และทำให้เกิด

ความขรุขระได้บนพื้นผิว ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินที่เพิ่มขึ้น (42)



รูปที่ 2 แสดงหลักยึดสิ่งปลูกฝังไทเทเนียมที่ผ่านการทำโนโดซ์ในฟันตัดซี่กลาง

Fig 2. An anodized titanium abutment on central incisors.

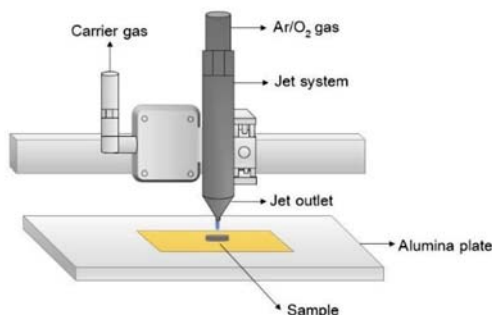
อย่างไรก็ตาม การศึกษาการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียมด้วยวิธีอโนโดซ์ เพื่อเพิ่มการยึดติดกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินในปัจจุบัน ยังมีการศึกษาที่ค่อนข้างน้อย โดยจากการศึกษาของ Amornwichtwech และ Palanuwech ในปี 2022 พบว่า การเตรียมพื้นผิวโลหะผสมไทเทเนียมด้วยวิธีอโนโดซ์ ที่แรงดันไฟฟ้า 60 โวลต์ ระยะเวลา 5 ถึง 10 วินาที ภายใต้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดโซเดียม ไบคาร์บอเนต ณ อุณหภูมิห้อง ส่งผลให้พื้นผิวของไทเทเนียมเปลี่ยนเป็นสีทอง และมีความเรียบเนียน ซึ่งแตกต่างจากการเป่าทรายอะลูมินาโดยมีค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบเฉือนกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินอยู่ที่  $16.25 \pm 2.23$  เมกะปาสคาล ซึ่งต่ำกว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน ( $29.47 \pm 2.41$  เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่แนะนำให้ทำการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีอโนโดซ์ร่วมกับการเป่าทรายอะลูมินาเนื่องจากจะทำให้โลหะผสมไทเทเนียมสูญเสียคุณสมบัติของสีที่ได้จากการทำโนโดซ์ ถึงแม้ว่าจะให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบเฉือนอยู่ที่  $27.84 \pm 2.71$  เมกะปาสคาล ซึ่งไม่แตกต่างจากการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน ในทางสถิติก็ตาม (43)

#### 2.4 การใช้พลาสมาในอุณหภูมิปกติ (Plasma treatment)

การใช้พลาสมาในอุณหภูมิปกตินั้น จัดเป็นวิธีการเตรียมพื้นผิวแบบใหม่ โดยอาศัยการใช้ก๊าซภายใต้ความกดอากาศ (13) เพื่อหวังผลเพิ่มพลังงานพื้นผิว (surface energy) ของไทเทเนียม เป็นผลให้พื้นผิวมีความเปียกเพิ่มมากขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีบนพื้นผิว โดยไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ (24, 44, 45) และยังจัดว่าเป็นวิธีการเตรียมพื้นผิวที่ทำได้ง่าย ปลอดภัย รวมถึงไม่ทำลายพื้นผิวของชิ้นงานดังเช่นที่เกิดจากการเป่าทราย (46) โดยจากการศึกษาของ Degirmenci และคณะ ในปี 2020 พบว่า บริเวณพื้นผิวที่ถูกดัดแปลงจะมีชั้นของออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของธาตุออกซิเจน และการลดลงของธาตุคาร์บอน จึงเป็นผลให้เกิดการยึดติดระหว่างพื้นผิวไทเทเนียมที่ถูกทำความสะอาดกับวัสดุยึดติดที่มากขึ้น (47) สอดคล้องกับการศึกษาของ El-behawly และคณะ ในปี 2016 ที่พบว่า การเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมด้วยออกซิเจนพลาสมานั้น ให้แรงยึดติดแบบดึงกับวัสดุยึดติดอยู่ที่  $264.7 \pm 12.8$  นิวตัน ซึ่งไม่ต่างจากการเป่าทรายอนุภาคอะลูมินา ขนาด

50 ไมครอน ( $261.3 \pm 20.6$  นิวตัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าจะไม่ส่งผลให้เกิดความขรุขระของพื้นผิว

ก็ตาม ซึ่งผู้ศึกษาได้อธิบายว่า เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของชั้นไทเทเนียมออกไซด์บนพื้นผิวเช่นเดียวกัน (48)



รูปที่ 3 แสดงแผนภาพแบบเรขาคณิตของระบบพลาสมา (ดัดแปลงจาก Wang, 2020 (49))

Fig 3. A schematic diagram of the plasma system. (modified from Wang, 2020 (49))

## 2.5 การใช้เลเซอร์ (Laser etching)

ถึงแม้ว่าการเป่าทรายอะลูมินาจะเป็นวิธีที่นิยมในการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียมก็ตาม แต่การปนเปื้อนของอนุภาคอะลูมินาบนพื้นผิวก็อาจส่งผลต่อความแข็งแรงของแรงยึดติดเชิงกลได้ (50) เลเซอร์หลายชนิดที่ใช้ในทางทันตกรรมจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมพื้นผิว เพื่อลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนดังกล่าวที่อาจเกิดขึ้น (50,51) หลายการศึกษาพบว่า การใช้เลเซอร์เตรียมพื้นผิวบนไทเทเนียมนั้น จะทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวโดยปราศจากการปนเปื้อน (52,53) และให้ค่าแรงยึดติดกับวัสดุยึดติด ที่ดีใกล้เคียงกับการเป่าทรายอะลูมินา (50) ดังเช่น การศึกษาของ Kurt และคณะ ในปี 2013 พบว่า การใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO<sub>2</sub> laser) ความยาวคลื่น 10.6 ไมครอน ที่ค่าพลังงานเฉลี่ย 3 วัตต์ ความถี่ 1,000 ครั้งต่อวินาที เป็นระยะเวลา 160 มิลลิวินาทีนั้น ก่อให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวของไทเทเนียม และให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบตั้งอยู่ที่  $315.14 \pm 29.86$  นิวตัน ซึ่งมากกว่ากลุ่มควบคุม ( $249.41 \pm 15.39$  นิวตัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (54) เช่นเดียวกับการเตรียมพื้นผิวด้วยนีโอโดเมียมวายเอจิลเลเซอร์ (Nd:YAG laser) ที่ค่าพลังงาน 7 วัตต์ และความถี่ 50 ครั้งต่อวินาทีในการศึกษาของ Kim และคณะ ปี 2009 จากการศึกษาพบว่า มีค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบ

เดือนอยู่ที่  $21.22 \pm 3.41$  เมกะปาสคาล ซึ่งไม่แตกต่างจากการเป่าทรายอะลูมินาอนุภาคขนาด 250 ไมครอน ( $22.22 \pm 4.04$  เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าจะทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวที่น้อยกว่าก็ตาม (50) นอกจากนี้แล้ว การศึกษาของ Turker และคณะ ในปี 2020 พบว่า การใช้เออร์เบียมโครเมียมวายเอจิลเลเซอร์ (Er,Cr:YSGG laser) ที่ค่าพลังงาน 1.5 วัตต์ ความถี่ 20 ครั้งต่อวินาที ระยะห่าง 1 มิลลิเมตร เป็นระยะเวลา 30 วินาที ในการเตรียมพื้นผิวไทเทเนียม ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดอยู่ที่  $189.3 \pm 37.51$  นิวตัน โดยไม่พบความแตกต่างจากการเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอน ( $205.72 \pm 61.19$  นิวตัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (55) อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาของ Akin และ Guney ในปี 2012 กลับพบว่าการเตรียมพื้นผิวด้วยนีโอโดเมียมวายเอจิลเลเซอร์ และเออร์เบียมวายเอจิลเลเซอร์ (Er:YAG laser) ไม่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับวัสดุยึดติดชนิดเรซิน โดยให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดแบบเดือนอยู่ที่  $1.73 \pm 0.63$  และ  $1.23 \pm 0.5$  เมกะปาสคาล ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ( $3.38 \pm 0.55$  เมกะปาสคาล) และกลุ่มที่เป่าทรายอะลูมินา ( $2.56 \pm 0.98$  เมกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นผลมาจากการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ของเลเซอร์ที่ไม่เหมาะสม (56)

**การเสียดสี (Mode of failure)**

ความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างไทเทเนียมที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวกับวัสดุยึดติดชนิดเรซินสามารถจำแนกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ 1. การเสียดสี (adhesion failure) โดยจะพบการแตกหักที่รอยต่อของพื้นผิวกับสารยึดติด 2. การเสียดสีเชื่อม

แน่น (cohesion failure) จะพบการแตกหักแค้ในส่วนของวัสดุยึดติด และพบการค้ำของวัสดุยึดติดอยู่ที่บริเวณรอยต่อของพื้นผิว และ 3. การเสียดสีผสม (mixed failure) ซึ่งจะพบการแตกหักทั้งในส่วนของวัสดุยึดติดชนิดเรซิน ร่วมกับการแตกหักที่บริเวณรอยต่อของพื้นผิวกับสารยึดติด (14) ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3 แสดงการเสียดสีเมื่อเกิดความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างไทเทเนียมที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วยวิธีที่แตกต่างกัน กับวัสดุยึดติดชนิดเรซิน**

**Table 3. Evaluation of failure modes in adhesive interfaces of titanium with varying surface treatments bonded to resin cement.**

วิธีการเตรียมพื้นผิวบนไทเทเนียม	รูปแบบการเสียดสี
เป่าทรายอนุภาคอะลูมินา	การเสียดสียึดติด (12,14) การเสียดสีเชื่อมแน่น (18,19)
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	การเสียดสียึดติด (24,28) การเสียดสีผสม (28)
สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก	การเสียดสีผสม (28,31)
การทำไอโซไซท์	การเสียดสียึดติด (43)
การใช้พลาสมาในอุณหภูมิปกติ	การเสียดสียึดติด (48)
การใช้เลเซอร์	การเสียดสียึดติด (50,56) การเสียดสีผสม (55)

**บทสรุป (Conclusion)**

การยึดติดระหว่างหลักยึดสิ่งปลูกฝังบนรากฟันเทียมไทเทเนียม และวัสดุบูรณะนั้น ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความทนทาน และความสำเร็จของการรักษาด้วยทันตกรรมรากฟันเทียม ดังนั้นการเตรียมพื้นผิวของวัสดุไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม เพื่อส่งเสริมให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้นกับวัสดุยึดติดชนิดเรซิน และสิ่งบูรณะ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันการเตรียมพื้นผิวทางกลด้วยวิธีเป่าทรายอนุภาคขนาด 50 และ 250 ไมครอน เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การศึกษาให้

ข้อสังเกตว่า การเป่าทรายด้วยอนุภาคอะลูมินาอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุ รวมถึงเกิดการปนเปื้อนของอนุภาคอะลูมินาบนพื้นผิววัสดุได้ ซึ่งอาจนำไปสู่การลดลงของแรงยึดติดเชิงกล ดังนั้นการเตรียมพื้นผิววัสดุไทเทเนียมด้วยวิธีการทางเคมี อันได้แก่ การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก การทำไอโซไซท์ การใช้พลาสมาในอุณหภูมิปกติ และการใช้เลเซอร์ จึงถูกนำมาศึกษามากขึ้น เพื่อเป็นวิธีการเตรียมพื้นผิวทางเลือกใหม่ ที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงยึดติด โดยไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของวัสดุ

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่า ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการเตรียมพื้นผิววิธีใด ที่มีความเหมาะสมที่สุด และจัดเป็นวิธีมาตรฐานสำหรับไทเทเนียม และโลหะผสมไทเทเนียม เนื่องจากผลการศึกษา ที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปอีกในอนาคต

#### กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้สนับสนุนทุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา

#### เอกสารอ้างอิง (References)

- Ozcan M, Hammerle C. Titanium as a Reconstruction and Implant Material in Dentistry: Advantages and Pitfalls. *Materials*. 2012;5(9):1528-45.
- Prasad S, Ehrensberger M, Gibson MP, Kim H, Monaco EA. Biomaterial properties of titanium in dentistry. *J Oral Biosci*. 2015;57(4):192-9.
- The Glossary of Prosthodontic Terms: Ninth Edition. *J Prosthet Dent*. 2017;117(5S):e1-105. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.12.001.
- Jung RE, Hammerle CHF, Attin T, Schmidlin P. In vitro color changes of soft tissue caused by restorative materials. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2007;27(3):251-7.
- Kim A, Campbell SD, Viana MA, Knoernschild KL. Abutment Material Effect on Peri-implant Soft Tissue Color and Perceived Esthetics. *J Prosthodont*. 2016;25(8):634-40.
- Linkevicius T, Vaitelis J. The effect of zirconia or titanium as abutment material on soft peri-implant tissues: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res*. 2015;26 (Suppl 11):139-47.
- Delben JA, Barao VA, Ferreira MB, da Silva NR, Thompson VP, Assuncao WG. Influence of abutment-to-fixture design on reliability and failure mode of all-ceramic crown systems. *Dent Mater*. 2014;30(4):408-16.
- Stimmelmayer M, Edelhoff D, Guth JF, Erdelt K, Happe A, Beuer F. Wear at the titanium-titanium and the titanium-zirconia implant-abutment interface: a comparative in vitro study. *Dent Mater*. 2012;28(12):1215-20.
- Gehrke P, Alius J, Fischer C, Erdelt KJ, Beuer F. Retentive strength of two-piece CAD/CAM zirconia implant abutments. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2014;16(6):920-5.
- Lin WS, Harris BT, Zandinejad A, Martin WC, Morton D. Use of prefabricated titanium abutments and customized anatomic lithium disilicate structures for cement-retained implant restorations in the esthetic zone. *J Prosthet Dent*. 2014;111(3):181-5.
- Elsayed A, Wille S, Al-Akhali M, Kern M. Effect of fatigue loading on the fracture strength and failure mode of lithium disilicate and zirconia implant abutments. *Clin Oral Implants Res*. 2018;29(1):20-7.
- Fonseca RG, Haneda IG, Almeida-Junior AA, de Oliveira Abi-Rached F, Adabo GL. Efficacy of air-abrasion technique and additional surface treatment at titanium/resin cement interface. *J Adhes Dent*. 2012;14(5):453-9.
- Wadhvani C, Chung KH. Bond strength and interactions of machined titanium-based alloy with dental cements. *J Prosthet Dent*. 2015;114(5):660-5.

14. Abi-Rached Fde O, Fonseca RG, Haneda IG, de Almeida-Junior AA, Adabo GL. The effect of different surface treatments on the shear bond strength of luting cements to titanium. *J Prosthet Dent.* 2012;108(6):370-6.
15. Cresti S, Itri A, Rebaudi A, Diaspro A, Salerno M. Microstructure of titanium-cement-lithium disilicate interface in CAD-CAM dental implant crowns: a three-dimensional profilometric analysis. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17 (Suppl 1):e97-e106. doi: 10.1111/cid.12133.
16. Wadhvani C, Chung KH. In-office technique for selectively etching titanium abutments to improve bonding for interim implant prostheses. *J Prosthet Dent.* 2016;115(3):271-3.
17. Nakhaei M, Bozorgmehr N, Rajati Haghi H, Bagheri H, Rangrazi A. The Evaluation of Microshear Bond Strength of Resin Cements to Titanium Using Different Surface Treatment Methods: An In Vitro Study. *Biomimetics (Basel).* 2022;7(1):1-8.
18. Karaokutan I, Ozel GS. Effect of surface treatment and luting agent type on shear bond strength of titanium to ceramic materials. *J Adv Prosthodont.* 2022;14(2):78-87.
19. Pitta J, Burkhardt F, Mekki M, Fehmer V, Mojon P, Sailer I. Effect of airborne-particle abrasion of a titanium base abutment on the stability of the bonded interface and retention forces of crowns after artificial aging. *J Prosthet Dent.* 2021;126(2):214-21.
20. Elsharkawy SM, Shakal MA, Elshahawy WM. Effect of various surface treatments of implant abutment and metal cope fitting surface on their bond strength to provisional resin cement. *Tanta Dental Journal.* 2015;12(4):235-40.
21. Watanabe T, Ino S, Okada S, Katsumata Y, Hamano N, Hojo S, et al. Influence of simplified silica coating method on the bonding strength of resin cement to dental alloy. *Dent Mater J.* 2008;27(1):16-20.
22. Moon JE, Kim SH, Lee JB, Han JS, Yeo IS, Ha SR. Effects of airborne-particle abrasion protocol choice on the surface characteristics of monolithic zirconia materials and the shear bond strength of resin cement. *Ceram Int.* 2016;42(1): 1552-62.
23. Yoshida T, Terashima N, Niuro T, Nagasawa S, Ito M, Yagasaki H, et al. Bond strength of resin cements to H2O2-treated titanium plates. *Dent Mater.* 2005;21(12):1087-97.
24. Ozyetim EB, Ozdemir Z, Basim GB, Bayraktar G. Effect of Different Surface Treatments on Retention of Cement-Retained, Implant-Supported Crowns. *Int J Prosthodont.* 2023; 36(1):49-58.
25. Tengvall P, Elwing H, Sjoqvist L, Lundstrom I. Interaction between hydrogen peroxide and titanium: a possible role in the biocompatibility of titanium. *Biomaterials.* 1989; 10(2):118-20.
26. Pan J, Thierry D, Leygraf C. Electrochemical and XPS studies of titanium for biomaterial applications with respect to the effect of hydrogen peroxide. *J Biomed Mater Res.* 1994;28(1):113-22.
27. Pan J, Liao H, Leygraf C, Thierry D, Li J. Variation of oxide films on titanium induced by osteoblast-like cell culture and the influence of an H2O2 pretreatment. *J Biomed Mater Res.* 1989;40(2):244-56.

28. Elsaka SE, Swain MV. Effect of surface treatments on the adhesion of self-adhesive resin cements to titanium. *J Adhes Dent*. 2013; 15(1):65-71.
29. Guo J, Padilla RJ, Ambrose W, De Kok IJ, Cooper LF. The effect of hydrofluoric acid treatment of TiO<sub>2</sub> grit blasted titanium implants on adherent osteoblast gene expression in vitro and in vivo. *Biomaterials*. 2007;28(36):5418-25.
30. Zahran R, Rosales Leal JI, Rodriguez Valverde MA, Cabrerizo Vilchez MA. Effect of Hydrofluoric Acid Etching Time on Titanium Topography, Chemistry, Wettability, and Cell Adhesion. *PLoS One*. 2016;11(11):1-12.
31. Guilherme N, Wadhvani C, Zheng C, Chung KH. Effect of surface treatments on titanium alloy bonding to lithium disilicate glass-ceramics. *J Prosthet Dent*. 2016;116(5):797-802.
32. Alkhadashi A, Guven MC, Erol F, Yildirim G. The Effect of Different Combinations of Surface Treatments and Bonding Agents on the Shear Bond Strength Between Titanium Alloy and Lithium Disilicate Glass-Ceramic. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2020;40(2):271-6.
33. Liu X, Chu P, Ding C. Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications. *Mater Sci Eng R Rep*. 2004;47(3-4):49-121.
34. Wang T, Wang L, Lu Q, Fan Z. Changes in the esthetic, physical, and biological properties of a titanium alloy abutment treated by anodic oxidation. *J Prosthet Dent*. 2019;121(1):156-65.
35. Mussano F, Genova T, Laurenti M, Zicola E, Munaron L, Rivolo P, et al. Early Response of Fibroblasts and Epithelial Cells to Pink-Shaded Anodized Dental Implant Abutments: An In Vitro Study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2018;33(3):571-9.
36. Wadhvani CPK, Schoenbaum T, King KE, Chung K-H. Techniques to Optimize Color Esthetics, Bonding, and Peri-implant Tissue Health With Titanium Implant Abutments. *Compend Contin Educ Dent*. 2018;39(2):110-9.
37. Coskun ME, Akar T, Cirak BB. Searching the effect of anodization process as a surface treatment. *Cumhur Dent J*. 2018;21(4):298-303.
38. Dunn D, Raghavan S. Formation and characterization of anodized layers on CP Ti and Ti-6Al-4V biomaterials. *Surf Coat Technol*. 1992;50(3):223-32.
39. Jarosz M, Grudzien J, Kapusta-Kolodziej J, Chudecka A, Soltys M, Sulka GD. Anodization of titanium alloys for biomedical applications. *Nanostructured Anodic Metal Oxides: Synthesis and Applications*: Elsevier; 2020. p. 211-75.
40. Park Y-J, Shin K-H, Song H-J. Effects of anodizing conditions on bond strength of anodically oxidized film to titanium substrate. *Appl Surf Sci*. 2007;253(14):6013-8.
41. Minhas B, Dino S, Zuo Y, Qian H, Zhao X. Improvement of Corrosion Resistance of TiO<sub>2</sub> Layers in Strong Acidic Solutions by Anodizing and Thermal Oxidation Treatment. *Materials (Basel)*. 2021;14(5):1-13.
42. Diamanti MV, Del Curto B, Pedferri M. Anodic oxidation of titanium: from technical aspects to biomedical applications. *J Appl Biomater Biomech*. 2011;9(1):55-69.
43. Amornwichtwech L, Palanuwech M. Shear Bond Strength of Lithium Disilicate Bonded with Various Surface-Treated Titanium. *Int J Dent*. 2022;2022:4406703. doi: 10.1155/2022/4406703.

44. Larsson Wexell C, Thomsen P, Aronsson BO, Tengvall P, Rodahl M, Lausmaa J, et al. Bone response to surface-modified titanium implants: studies on the early tissue response to implants with different surface characteristics. *Int J Biomater.* 2013;2013:1-10. doi: 10.1155/2013/412482.
45. Duske K, Koban I, Kindel E, Schroder K, Nebe B, Holtfreter B, et al. Atmospheric plasma enhances wettability and cell spreading on dental implant metals. *J Clin Periodontol.* 2012;39(4):400-7.
46. Foest R, Kindel E, Ohl A, Stieber M, Weltmann KD. Non-thermal atmospheric pressure discharges for surface modification. *Plasma Phys Control Fusion.* 2005;47(12B):B525-B36.
47. Degirmenci K, Saridag S. Effect of different surface treatments on the shear bond strength of luting cements used with implant-supported prosthesis: An in vitro study. *J Adv Prosthodont.* 2020;12(2):75-82.
48. El-Helbawy NG, El-Hatery AA, Ahmed MH. Comparison of Oxygen Plasma Treatment and Sandblasting of Titanium Implant-Abutment Surface on Bond Strength and Surface Topography. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2016;31(3):555-62.
49. Wang L, Wang W, Zhao H, Liu Y, Liu J, Bai N. Bioactive Effects of Low-Temperature Argon-Oxygen Plasma on a Titanium Implant Surface. *ACS Omega.* 2020;5(8):3996-4003.
50. Kim J-T, Cho S-A. The effects of laser etching on shear bond strength at the titanium ceramic interface. *J Prosthet Dent.* 2009;101(2):101-6.
51. Gurgan S, Alpaslan T, Kiremitci A, Cakir FY, Yazici E, Gorucu J. Effect of different adhesive systems and laser treatment on the shear bond strength of bleached enamel. *J Dent.* 2009;37(7):527-34.
52. Gaggi A, Schultes G, Muller WD, Karcher H. Scanning electron microscopical analysis of laser-treated titanium implant surfaces-a comparative study. *Biomaterials.* 2000;21(10):1067-73.
53. Cho SA, Jung SK. A removal torque of the laser-treated titanium implants in rabbit tibia. *Biomaterials.* 2003;24(26):4859-63.
54. Kurt M, Kulunk T, Ural C, Kulunk S, Danisman S, Savas S. The effect of different surface treatments on cement-retained implant-supported restorations. *J Oral Implantol.* 2013; 39(1):44-51.
55. Turker N, Ozarslan MM, Buyukkapan US, Basar EK. Effect of Different Surface Treatments Applied to Short Zirconia and Titanium Abutments. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2020; 35(5):948-54.
56. Akin H, Guney U. Effect of various surface treatments on the retention properties of titanium to implant restorative cement. *Lasers Med Sci.* 2012;27(6):1183-7.

**ติดต่อขอความ :**

ผศ.ทพ.ดร.พิสัยศิษฐ์ ชัยจรีนนท์

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ : 053 944 438

อีเมลล์ : pisaisit.c@cmu.ac.th

**Corresponding author:**

Asst. Prof. Dr.Pisaisit Chaijareenont

Department of Prosthodontics, Faculty of  
Dentistry, Chiang Mai University, Mueang

District, Chiang Mai 50200, Thailand

Tel: (665) 394 4438

E-mail: pisaisit.c@cmu.ac.th