

ผลของการปรับปรุงพื้นผิวหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมต่อสีของ ชิ้นงานบูรณะเซอโรโคเนียโมโนลิธิคชนิดโปร่งแสงสูง

ภัทร ประสงค์พลชัย¹ มะลิ พลาบุเวช^{1*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาความแตกต่างของสีเซอโรโคเนียโมโนลิธิคชนิดโปร่งแสงสูงบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมชนิดไทเทเนียมที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการต่าง ๆ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: แบ่งกลุ่มชิ้นเซอโรโคเนีย (สีเอสสอง รูปจาน ความหนา 1.00 มม.) และวัสดุทำหลักยึดรากเทียม (ไทเทเนียม ไทเทเนียมอนโคไซด์ ไทเทเนียมผิวเรียบ ไทเทเนียมผิวเรียบร่วมกับอนโคไซด์) กลุ่มละ 7 ชิ้น ด้วยวิธีสุ่มอย่างง่าย วางชิ้นเซอโรโคเนียบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม วัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์บันทึกค่าด้วยระบบซีไออีดีอี2000 และคำนวณค่าความแตกต่างของสี วิเคราะห์สถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มแบบทูกี ($\alpha = 0.05$)

ผลการทดลอง: วิธีการปรับปรุงพื้นผิวมีผลต่อค่าความแตกต่างของสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแตกต่างของสีที่มากที่สุดคือไทเทเนียมผิวเรียบร่วมกับอนโคไซด์ และน้อยที่สุดคือไทเทเนียมผิวเรียบ อย่างไรก็ตามไทเทเนียมอนโคไซด์ไม่มีความแตกต่างกับไทเทเนียมผิวเรียบและไทเทเนียมผิวเรียบร่วมกับอนโคไซด์

สรุป: สีของไทเทเนียมอนโคไซด์ไม่มีความแตกต่างกับไทเทเนียมผิวเรียบและไทเทเนียมผิวเรียบร่วมกับอนโคไซด์ ดังนั้นการอนโคไซด์หรือการขัดผิวเรียบเพียงอย่างเดียวบนผิววัสดุทำหลักยึดรากเทียมชนิดไทเทเนียมจะส่งผลกระทบต่อสีของเซอโรโคเนียไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: เซอโรโคเนีย หลักยึดรากเทียม อนโคไซด์ ความแตกต่างของสี

วันที่รับ: 29 เมษายน 2568

วันที่แก้ไข: 9 มิถุนายน 2568

วันที่ตอบรับ: 27 มิถุนายน 2568

¹ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110
(*ผู้ติดต่อบทความ)

Effect of Titanium Implant Abutment Surface Treatment Type on the Color Change of High-Translucency Monolithic Zirconia

Pat Prasongpholchai¹ Mali Palanuwech^{1*}

Abstract

Objective: The purpose of this in vitro study is to evaluate the color difference of high-translucent monolithic zirconia (HTMZ) on various surface-treated titanium implant abutments.

Material and Methods: Seven specimens of HTMZ (A2-shade, disc-shape with 1.00 mm in thickness) and surface-treated titanium implant abutment types (Ti, A, P, and PA) were allocated by simple random sampling method. HTMZ specimens were placed over the abutment specimens. Then the spectrophotometer was used for measurements of all specimens, data were recorded as CIEDE2000, and then compared with the control group (Ti) and calculated into color differences (ΔE_{00}). The statistical analysis was performed with ANOVA and Tukey's HSD test ($\alpha = 0.05$).

Results: Surface-treated Ti implant abutment types significantly affected the observed color differences. The lowest and the highest ΔE_{00} were P and PA, respectively. Nevertheless, ΔE_{00} between A and P groups, as well as between A and PA groups revealed no significant difference.

Conclusion: ΔE_{00} of anodized titanium revealed no significant difference to those of polished titanium and polishing followed by anodization. Therefore, either anodization only or polishing only on the titanium implant abutment surface did not affect the color difference of zirconia.

Keywords: Zirconia, Implant abutment, Anodization, Color difference

Received Date: Apr 29, 2025

Revised Date: Jun 9, 2025

Accepted Date: Jun 27, 2025

¹Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, Bangkok, 10110, Thailand.

(*Corresponding author)

บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันการรักษาทดแทนฟันด้วยรากฟันเทียมเป็นหนึ่งในการรักษาที่ได้รับความนิยมและมีอัตราความสำเร็จในการรักษาสูง (1) โดยเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทในงานทันตกรรมรากเทียมมากขึ้น มีส่วนช่วยลดเวลาการทำงาน มีความแม่นยำสูงและยังสร้างความพึงพอใจด้านความสวยงาม (2) หนึ่งในเทคโนโลยีดิจิทัลที่มีความสำคัญต่องานรากเทียมในปัจจุบันคือระบบแคดแคม (CAD/CAM system) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (computer-aided design; CAD) และการสร้างชิ้นงานกายภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (computer-aided manufacturing; CAM) โดยการสร้างชิ้นงานกายภาพด้วยคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 สายงาน คือ การเพิ่มเนื้อวัสดุ (additive) และการลดเนื้อวัสดุ (subtractive) ทั้งนี้การลดเนื้อวัสดุนั้นเป็นสายงานที่นิยมในปัจจุบันซึ่งใช้วิธีการกลึง (milling method) ในการสร้างชิ้นงานโดยเฉพาะหลักยึดไทเทเนียมในงานทันตกรรมรากเทียม (3) งานจากระบบแคดแคมในทางทันตกรรมนั้นมียอดความสำเร็จเทียบเท่ากับกระบวนการแบบดั้งเดิม (conventional technique) (4) รวมถึงมีความแม่นยำที่มากกว่า นอกจากนี้ในงานทันตกรรมรากเทียมยังสามารถใช้ระบบแคดแคมในการออกแบบอีเมอร์เจนท์โปรไฟล์ (emergence profile) ของหลักยึดในการบูรณะขั้นสุดท้าย (final restoration) ช่วยปรับมุมมองระหว่างหลักยึดกับรากเทียม และยังลดขั้นตอนของการขึ้นรูปขึ้นด้วยการเหวี่ยงโลหะซึ่งเป็นวิธีในกระบวนการแบบดั้งเดิม (3)

หลักยึดรากเทียม (implant abutment) จัดเป็นองค์ประกอบสำคัญของงานทันตกรรมรากเทียม ปัจจุบันมีการใช้วัสดุทำหลักยึดที่หลากหลาย เช่น เซอร์โคเนีย และโลหะไทเทเนียม โดยโลหะไทเทเนียมเป็นหนึ่งในวัสดุทำหลักยึดที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน (5) และเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อทางชีวภาพ (6) โลหะไทเทเนียมในงานทันตกรรมนั้นมีหลากหลายชนิดสามารถแบ่งได้ตามองค์ประกอบทางเคมี ทั้งนี้โลหะผสมไทเทเนียมเกรด 5 (Ti-6Al-4V) จัดว่าเป็นโลหะไทเทเนียมที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานทันตกรรมรากเทียมเนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทาง

กายภาพที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (commercially pure titanium) (7,8) ความก้าวหน้าของงานทันตกรรมรากเทียมในปัจจุบันมีการใช้เรซินซีเมนต์ในการยึดชิ้นงานบูรณะมากขึ้น พบว่าการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมนั้นอาจยังมีการยึดติดที่ไม่ดีเพียงพอ (9,10) จึงมีแนวคิดเรื่องการปรับปรุงพื้นผิวหลักยึดไทเทเนียมในงานทันตกรรมรากเทียมเพื่อให้เกิดการยึดติดกับซีเมนต์ดีขึ้น เช่นการพ่นทราย (sandblasting) การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) และการใช้เลเซอร์ (laser etching) (11) นอกจากนี้อีกหนึ่งปัญหาหลักที่พบได้คือสีเทาของหลักยึดไทเทเนียมเกิดการสะท้อนผ่านขอบเหงือก โดยเฉพาะในบริเวณที่มีไบโอไทป์บาง (thin biotype) รวมถึงสะท้อนผ่านวัสดุบูรณะเซรามิกออกมา (12,13) ซึ่งส่งผลต่อความสวยงามและความสำเร็จในงานทันตกรรมรากเทียม

ดังที่กล่าวมาข้างต้น มีหลายการศึกษาที่ได้ทำการทดลองด้วยปัจจัยแตกต่างกันเพื่อลดการสะท้อนสีเทาของไทเทเนียมลง เช่นการศึกษาชนิดและความหนาของวัสดุบูรณะเซรามิก สีของซีเมนต์ทันตกรรม รวมถึงการปรับปรุงสีพื้นผิวหลักยึดไทเทเนียมด้วยวิธีการต่าง ๆ (5,14-18) โดยการปรับปรุงสีพื้นผิวหลักยึดไทเทเนียมนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การเคลือบไทเทเนียมไนไตรด์ (titanium nitride coating) (16) การอโนไดซ์ (anodization) (14,15,17) การออกซิเดชันด้วยความร้อน (thermal oxidation) (18) ซึ่งแต่ละวิธีการจะให้คุณลักษณะทางคลินิกที่แตกต่างกันออกไป

การอโนไดซ์เป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงพื้นผิวที่สร้างชั้นออกไซด์บนพื้นผิวของโลหะ ซึ่งชั้นออกไซด์มีความหนาตั้งแต่ 30 ถึง 150 นาโนเมตร (19) และในกระบวนการอโนไดซ์สามารถปรับเปลี่ยนการแสดงผลของสีพื้นผิวโลหะได้ ขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ (20) โดยพื้นผิวของอโนไดซ์มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี (21) รวมถึงยังคงความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อทางชีวภาพไว้ (20) นอกจากนี้การอโนไดซ์ยังให้ความสวยงามบริเวณเหงือกครอบรากเทียมได้ดีกว่าไทเทเนียมที่ไม่ได้ผ่านการอโนไดซ์ (22) จากการศึกษาของ

Khorshidi S และคณะ ในปี ค.ศ. 2024 ได้เปรียบเทียบสีของลิเทียมไดซิลิเกตบนหลักยึดระหว่างกลุ่มไทเทเนียมที่ไม่ได้ผ่านการอโนไดซ์กับกลุ่มไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์สีเหลืองทอง และใช้หลักยึดไฮบริดเซอร์โคเนียเป็นกลุ่มควบคุม พบว่าการอโนไดซ์นั้นให้ผลดี โดยกลุ่มไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์มีความแตกต่างของสีน้อยกว่ากลุ่มไทเทเนียมที่ไม่ได้ผ่านการอโนไดซ์ (23) รวมถึงการศึกษาของ Weeranoppanant P และคณะ ในปี ค.ศ. 2023 พบว่าไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์สีเหลืองให้ค่าสีที่ดีกว่าไทเทเนียมที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว (14)

การขัดเรียบผิวไทเทเนียมเป็นอีกหนึ่งวิธีการปรับปรุงพื้นผิวหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่น่าสนใจ หลายการศึกษาพบว่าไทเทเนียมที่มีผิวเรียบกว่าจะมีค่าความแตกต่างของสีที่น้อยกว่าไทเทเนียมที่มีผิวหยาบกว่า เช่นการศึกษาของ Sirawuttipong C และคณะ ในปี ค.ศ. 2024 พบว่าเซอร์โคเนียที่หนา 1 มิลลิเมตรร่วมกับซีเมนต์สีโสมบนหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์เพียงอย่างเดียว มีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านการพ่นทรายและอโนไดซ์ที่ 50 โวลต์ (17) รวมถึงการศึกษาของ Liu X และคณะ ในปี ค.ศ. 2020 พบว่าลิเทียมไดซิลิเกตร่วมกับซีเมนต์สีโสมบนหลักยึดกลุ่มไทเทเนียมที่ไม่ได้พ่นทรายมีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่ากลุ่มไทเทเนียมที่พ่นทราย (24) และการศึกษาของ Seydaliyeva A และคณะ ในปี ค.ศ. 2022 ได้ทดลองใช้ไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์ ไทเทเนียมที่ผ่านการพ่นทรายและอโนไดซ์ ไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการใช้กรดกัดผิวและอโนไดซ์เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมคือไทเทเนียมที่ผ่านการพ่นทราย พบว่ากลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์นั้นให้ค่าความสว่างมากที่สุด รวมถึงมีสีผิว (hue) ออกแดงและเหลืองมากกว่ากลุ่มไทเทเนียมที่ผ่านการพ่นทรายและอโนไดซ์ (25) อย่างไรก็ตาม การที่มีความหยาบผิวน้อยลงนั้นจะส่งผลต่อการยึดติดระหว่างหลักยึดไทเทเนียมกับเซรามิกด้วยเรซินซีเมนต์น้อยลงตามมาด้วย (26-28) จากการศึกษาของ Amornwicheitwech L และคณะ ในปี ค.ศ. 2022 พบว่ากลุ่มไทเทเนียมที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวมีค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อ (shear bond strength) ต่ำกว่ากลุ่ม

ไทเทเนียมที่ผ่านการพ่นทราย แต่มีค่าสูงกว่ากลุ่มไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ อย่างไรก็ตามทุกกลุ่มมีความแข็งแรงพันธะเนื้ออยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทั้งหมด โดยอ้างอิงจากการมีค่าความแข็งแรงพันธะเนื้อสูงกว่าพันธะธรรมชาติ (27) อีกทั้งในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาที่ทดลองเรื่องความแตกต่างของสีเซรามิกบนหลักยึดระหว่างไทเทเนียมที่ขัดผิวเรียบกับไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ จึงเป็นที่มาของกลุ่มทดลองในการศึกษาครั้งนี้

เซอร์โคเนียจัดเป็นหนึ่งในวัสดุเซรามิกในการบูรณะทางทันตกรรม มีคุณสมบัติเด่นในการต้านทานการแตกหักสูงกว่าเซรามิกชนิดอื่น โดยสามารถต้านทานต่อการสึกและต้านทานต่อความล้าได้ดี (29) ปัจจุบันพบว่าเซอร์โคเนียมีอัตราความสำเร็จทางคลินิกที่สูงถึง 98 เปอร์เซ็นต์ภายหลังการบูรณะ 5 ปี (30) นอกจากนี้เทคโนโลยีดิจิทัลระบบแคดแคมในปัจจุบันได้นำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานต่าง ๆ ในวัสดุกลุ่มเซอร์โคเนียโดยเฉพาะอย่างยิ่งเซอร์โคเนียแบบโมโนลิธิค ซึ่งเซอร์โคเนียแบบโมโนลิธิคในปัจจุบันมีการเพิ่มปริมาณอิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide) มากขึ้น ส่งผลให้มีความใสยิ่งขึ้น จึงนิยมขึ้นรูปชิ้นงานบูรณะแบบทั้งชิ้น (full contour) เนื่องจากให้ความสวยงามที่เพียงพอ (31) โดยอาจไม่จำเป็นต้องทำเป็นโครงเซอร์โคเนีย (zirconia substructure) เพื่อรองรับการวีเนียร์ (veneer technique) ด้วยเซรามิกชนิดอื่นที่ให้ความสวยงาม ซึ่งวิธีการวีเนียร์ทับโครงเซอร์โคเนียนั้นเสี่ยงต่อการบิ่นหรือแตกหักภายหลังจากใช้งานได้ (32) อีกทั้งความก้าวหน้าในเทคโนโลยีแคดแคม ทำให้การบูรณะด้วยเซอร์โคเนียโมโนลิธิคกลายเป็นวัสดุบูรณะที่ได้รับการยอมรับอย่างดีในกรณีของการใส่ฟันเทียมชนิดติดแน่นที่มีความต้องการทั้งความแข็งแรงและความสวยงามสูง (33)

วิธีการวัดความแตกต่างของสีนั้นถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ในอดีตระบบการวัดสีแบบซีไอแอลเอบี (CIE Lab) ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานทันตกรรม (34) แต่ปัจจุบันพบว่าระบบวัดสีซีไอดีอี 2000 (CIEDE2000) มีความแม่นยำที่สูงกว่าระบบสีซีไอแอลเอบี (34-36) เนื่องจากระบบซีไอดีอี 2000 สามารถสะท้อนการรับรู้

การเปลี่ยนแปลงของสีในมนุษย์ได้ดีกว่า (34-37) นอกจากนี้การวัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีความแม่นยำมากกว่าการวัดสีด้วยตา (38) ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ระบบการวัดสีซีไออีดีอี2000 ร่วมกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของสีวัสดุเซรามิกเคลือบที่มีพื้นหลังเป็นหลักยึดไทเทเนียมที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการอโนไดซ์สีเหลืองกับการขัดผิวเรียบ โดยมีสมมติฐานว่างคือวิธีการปรับปรุงพื้นผิวหลักยึดไทเทเนียมให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกเคลือบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ (Material and Methods)

1. การคำนวณขนาดกลุ่มทดลอง (Sample size calculation)

คำนวณหาขนาดกลุ่มทดลองด้วยโปรแกรมคำนวณกลุ่มตัวอย่าง (G*Power 3.1.9.7, Christian-Albrechts-University, Kiel, Germany) โดยอ้างอิงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการศึกษาที่ผ่านมา (39) พบว่าคำนวณได้ขนาดกลุ่มทดลองอย่างน้อยกลุ่มละ 3 ชิ้นต่อกลุ่ม ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงใช้ขนาดกลุ่มทดลองกลุ่มละ 7 ชิ้น

2. การเตรียมชิ้นทดสอบเซรามิก (Fabrication of ceramic specimens)

สร้างชิ้นทดสอบเซรามิกเซรามิกเคลือบโมโนลิธิคชนิดโปร่งแสงสูง (Cercon, High translucent, Dentsply Sirona, North Carolina, USA) รูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยมเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 7 ชิ้น ความหนา 1 มิลลิเมตร

ออกแบบรูปทรงของชิ้นทดสอบในระบบคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Tinkercad, Autodesk, California, USA) ดำเนินการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึง (VHF S2 Impression, Camfacture AG, Ammerbuch, Germany) จากนั้นทำการเคลือบ (glaze) 1 ด้าน ของชิ้นทดสอบเซรามิกเคลือบโมโนลิธิคในเตาเผาสุญญากาศ (Multimat NTX, DeguDent GmbH, Hanau, Germany) ตามคำแนะนำของบริษัท

ผู้ผลิต ตรวจสอบความหนาของชิ้นทดสอบภายหลังการขัดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิทัล (TMT321506 Digital Measuring Caliper IP54, Total, Kaohsiung City, China) จากนั้นทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิก (Sonorex digitec DT 31 H, Bandelin, Berlin, Germany) ในน้ำปราศจากอ็อกซิเจน (deionized water) เป็นเวลา 5 นาที แล้วเป่าให้แห้งด้วยลมปราศจากน้ำมันภายใต้อุณหภูมิห้อง

3. การเตรียมชิ้นทดสอบวัสดุหลักยึดรากเทียม (Fabrication of implant abutment material)

สร้างชิ้นทดสอบวัสดุหลักยึดรากเทียมประกอบด้วย ชิ้นทดสอบไทเทเนียม (กลุ่มควบคุม), ไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ (A), ไทเทเนียมผิวเรียบ (P), ไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์ (PA) รูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร

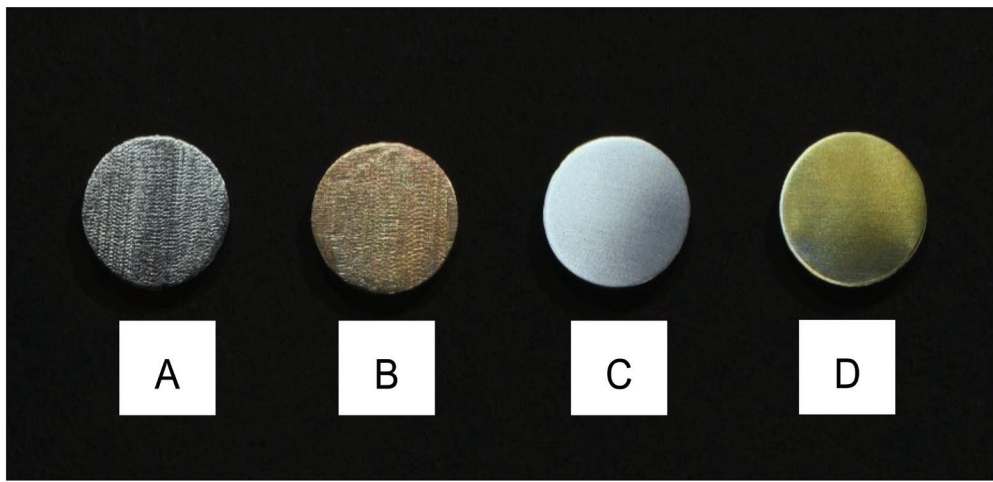
ออกแบบรูปทรงของชิ้นทดสอบไทเทเนียมในระบบคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ ดำเนินการกลึงด้วยเครื่องกลึงโลหะหนัก (M4 Wet Heavy Metal Milling Unit, Zirkonzahn, South Tyrol, Italy) จำนวนทั้งหมด 28 ชิ้น จากนั้นแบ่งชิ้นทดสอบไทเทเนียมจำนวน 7 ชิ้น ซึ่งจะกำหนดให้เป็นกลุ่มควบคุม ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิกในน้ำปราศจากอ็อกซิเจนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเป่าให้แห้งด้วยลมปราศจากน้ำมัน ภายใต้อุณหภูมิห้อง

นำชิ้นทดสอบไทเทเนียม จำนวน 14 ชิ้น มาขัดพื้นผิวเรียบด้วยกระดาษทรายน้ำที่ความละเอียด 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ จากนั้นขัดบนผ้าสักหลาดร่วมกับการใช้น้ำยาขัดผสมผงกากเพชรขนาดอนุภาค 3 และ 1 ไมโครเมตร ด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 วินาที ภายใต้การหล่อเย็นบนเครื่องขัดเรียบ (NANO-1000S, Pace technologies, Arizona, USA) จากนั้นทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิกในน้ำปราศจากอ็อกซิเจนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเป่าให้แห้งด้วยลมปราศจากน้ำมันภายใต้อุณหภูมิห้อง

นำชิ้นทดสอบไทเทเนียม จำนวน 7 ชิ้น และชิ้นทดสอบไทเทเนียมที่ผ่านการขัดผิวเรียบ จำนวน 7 ชิ้น มาผ่านการอโนไดซ์ภายใต้อุณหภูมิห้องโดยใช้สารละลาย

โซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 15 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทำการยัดขึ้นทดสอบเข้ากับขั้วบวกและยึดแผ่นโลหะสแตนเลสขนาด 3x6 ตารางเซนติเมตร เข้ากับขั้วลบ จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าผ่านเครื่องอโนไดซ์ (KPS1203D Switching DC Power Supply, Shenzhen Wanptek Electronic, Guangdong,

China) โดยตั้งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไว้ที่ระดับ 50 โวลต์ แล้วทำการจุ่มในสารละลายให้ครบวงจรไฟฟ้าเป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นทำความสะอาดขึ้นทดสอบด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิกในน้ำปราศจากอ็อกซิเจนเป็นเวลา 10 นาที แล้วเป่าให้แห้งด้วยลมปราศจากน้ำมันภายใต้อุณหภูมิห้อง เก็บรักษาไว้ในภาชนะป้องกันความชื้นเพื่อการทดสอบ



รูปที่ 1 ชิ้นทดสอบวัสดุหลักยึดรากเทียม (A) ไทเทเนียม (B) ไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ (C) ไทเทเนียมผิวเรียบ และ (D) ไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์

Fig 1. Implant abutment material specimens (A) Titanium, (B) Anodized titanium, (C) Polished titanium, and (D) Polishing followed by anodization titanium.



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบเซอร์โคเนีย

Fig 2. Zirconia specimen

4. การทดสอบวัดสี (Spectrometric analysis) ทำการสอบเทียบ (calibration) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Ultrascan Pro, Hunterlab, Virginia, USA) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตก่อนเริ่มวัดสี หลังจากนั้นทำการวัดสีโดยนำชิ้นทดสอบวัสดุหลักยี่ด รากเทียมลงแบบกำหนดตำแหน่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ลึก 6 มิลลิเมตร หยดสารละลายกลีเซอริน สีใสจำนวน 3 หยด ลงบนชิ้นทดสอบวัสดุหลักยี่ด รากเทียมแล้วปิดทับด้วยชิ้นทดสอบเชอร์โคเนีย โดยนำ ด้านที่ไม่ได้เคลือบของชิ้นทดสอบเชอร์โคเนียเข้าหาชิ้น ทดสอบวัสดุหลักยี่ดรากเทียม จากนั้นนำไปวางบนแท่น วางสำหรับวัดสีของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยนำ ด้านเคลือบของชิ้นทดสอบเชอร์โคเนียเข้าหาช่องวัดสี

ของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และกำหนดให้จุด กึ่งกลางของชิ้นทดสอบตรงกับจุดกึ่งกลางของช่องวัดสี ของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นคลุมทับด้วย กล่องดำเพื่อป้องกันแสงรบกวน แล้วทำการบันทึกค่า โดยวัดสีที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ 1 จุดและวัดสีซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นทดสอบกลุ่มถัดไป ด้วยวิธีการเดียวกัน โดยเปลี่ยนชิ้นทดสอบเชอร์โคเนีย และชิ้นทดสอบวัสดุหลักยี่ดรากเทียมตามการปรับปรุง พื้นผิวด้วยวิธีส้อมอย่างง่าย ซึ่งการวัดสีทำโดยผู้ทดสอบ หนึ่งท่าน จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณเปรียบเทียบ ค่าความแตกต่างของสีด้วยระบบซีไออีดีอี2000 โดยมีสมการค่าความแตกต่างของสี (ΔE_{00}) ดังนี้

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)}$$

ΔE_{00} คือค่าความแตกต่างของสี ระบบซีไออีดีอี2000

$\Delta L'$ คือค่าความแตกต่างของความส่องสว่าง (luminosity)

$\Delta C'$ คือค่าความแตกต่างของโครมา (chroma)

$\Delta H'$ คือค่าความแตกต่างของฮิว

K_L คือค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของความส่องสว่าง

K_C คือค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของโครมา

K_H คือค่าปัจจัยพารามิเตอร์ของฮิว

S_L คือค่าน้ำหนักของความส่องสว่าง

S_C คือค่าน้ำหนักของโครมา

S_H คือค่าน้ำหนักของฮิว

กำหนดค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ยอมรับ ได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold; PT) ที่ระดับ 0.8 และค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ยอมรับ ได้ทางคลินิก (acceptability threshold; AT) ที่ระดับ 1.8 ของระบบซีไออีดีอี2000 อ้างอิงจากการศึกษาของ Paravina RD และคณะ ในปี ค.ศ. 2015 (37)

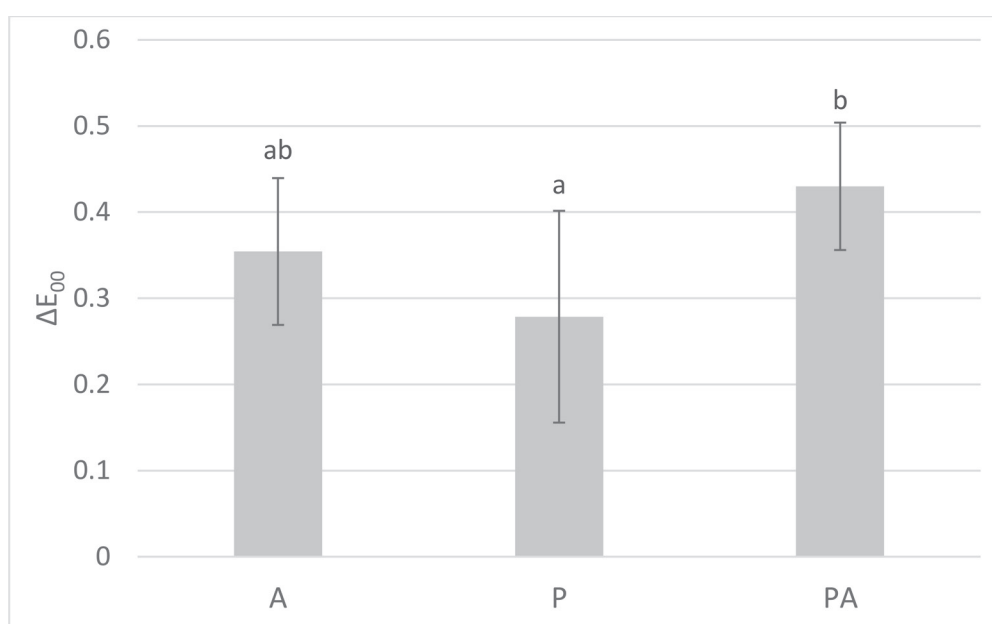
5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical analyses)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะพิจารณา การแจกแจงปกติด้วยการทดสอบของชาปิโร-วิลด์ (Shapiro-Wilk test) จากนั้นทดสอบความแปรปรวน ทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อทดสอบอิทธิพล ของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวหลักยี่ดรากเทียมและทดสอบ

ความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วยวิธีทดสอบของทูเก้ (Tukey's multiple comparison) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งจะคำนวณค่าทางสถิติด้วยโปรแกรมคำนวณสถิติ (SPSS 23.0 V, IBM, New York, USA)

ผลการทดลอง (Results)

จากการทดลอง 21 ชิ้นทดสอบ มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความแตกต่างของสีของเซอรโคเนียบนพื้นผิววัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อคำนวณสถิติความแปรปรวนแบบทางเดียวพบว่ามีความแตกต่างระหว่างกลุ่มของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสี (ΔE_{00}) ในแต่ละวิธีการปรับปรุงพื้นผิววัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม; ไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ (A), ไทเทเนียมผิวเรียบ (P), ไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์ (PA) (ดรชเนิบน์ที่เป็นตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$)

Fig 3. The mean and standard deviation of color difference values (ΔE_{00}) in each experimental group of titanium abutment surface treatment; Anodized titanium (A), Polished titanium (P), Polishing followed by anodization titanium (PA) (superscript lowercase letters indicate statistically significant differences of mean color difference value, $p < 0.05$)

โดยวิธีการปรับปรุงพื้นผิววัสดุทำหลักยึดรากเทียมไทเทเนียมที่มีค่าความแตกต่างของสีมากที่สุดคือกลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์ (PA) แต่กลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบ (P) มีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุดและใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมากที่สุด

เมื่อพิจารณาความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วยวิธีทดสอบของทูกีพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าความแตกต่างของสี อันได้แก่ระหว่างกลุ่มไทเทเนียม

ที่ผ่านการอโนไดซ์ (A) กับกลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบ (P) และระหว่างกลุ่มไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ (A) กับกลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์ (PA) และพบว่ากลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์ (PA) มีค่าความแตกต่างของสีมากกว่ากลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบ (P) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสี (ΔE_{00}) และช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ในแต่ละวิธีการปรับปรุงพื้นผิววัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม

Table 1. Mean and 95% confidence intervals of color difference values (ΔE_{00}) in each experimental group of titanium abutment surface treatment.

	การปรับปรุงพื้นผิววัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม		
	A	P	PA
ΔE_{00}	0.35 ^{ab} (0.28-0.43)	0.28 ^b (0.16-0.39)	0.43 ^a (0.36-0.50)

หมายเหตุ: ดรรชนีบนที่เป็นตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Note: Superscript lowercase letters indicate statistically significant differences of mean color difference value ($p < 0.05$).

บทวิจารณ์ (Discussion)

การศึกษาในครั้งนี้พบว่าวิธีการปรับปรุงพื้นผิวหลักยึดไทเทเนียมให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซอร์โคเนียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงปฏิเสธสมมติฐานว่าง

เมื่ออ้างอิงจากค่าความแตกต่างของสีในระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (37) ที่ระดับ 0.8 พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่า 0.8 ได้แก่กลุ่มไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ กลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบและกลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอยู่ในระดับที่ตามนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้

จากการศึกษาก่อนหน้านี้ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวหลักยึดไทเทเนียมหลายวิธีเพื่อพัฒนาให้สีของหลักยึด

ดีมากขึ้น แต่ยังไม่มีการศึกษาที่ได้ทำการขัดเรียบพื้นผิวเรียบมันด้วยความละเอียดสูง ดังนั้นการศึกษาค้นคว้านี้แสดงให้เห็นถึงผลของการขัดผิวเรียบมันจนได้ผิวมีลักษณะมันวาว (glossy polishing) โดยผลของการศึกษาค้นคว้านี้พบว่าสีของกลุ่มไทเทเนียมผิวเรียบไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ ซึ่งได้อ้างอิงวิธีการขัดผิวเรียบจากการศึกษาของ Seydaliyeva A และคณะ ในปี ค.ศ. 2022 โดยการขัดพื้นผิวไทเทเนียมด้วยความละเอียดสูงนั้นได้ทำการขัดด้วยผ้าสักหลาดบนเครื่องขัดเรียบร่วมกับน้ำยาขัดผสมผงกากเพชรขนาดอนุภาค 3 ไมโครเมตร แล้วตามด้วย 1 ไมโครเมตร ซึ่งจากการศึกษานี้ได้พบว่าไทเทเนียมผิวเรียบที่ผ่านการอโนไดซ์มีค่าความสว่างมากที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบกับไทเทเนียมกลุ่มพ่นทรายที่ผ่าน

การอโนไดซ์ก็พบว่าสีสีออกแดงและเหลืองที่มากกว่า รวมถึงมีความเข้ม (chroma) ที่มากกว่า อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มไทเทเนียมที่ขัดผิวเรียบกับไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์เพียงอย่างเดียว (25)

การศึกษาค้างนี้ยังเป็นการยืนยันผลของการปรับปรุงพื้นผิวหลักยึดไทเทเนียมว่าการอโนไดซ์นั้นให้ผลที่ไม่แตกต่างจากกลุ่มไทเทเนียมที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว โดยอ้างอิงจากค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้โดยประสาธัมผัสที่ระดับ 0.8 (37) ซึ่งไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับหลายการศึกษา เช่นการศึกษาของ Sirawuttipong C และคณะ ในปี ค.ศ. 2024 พบว่า เซอร์โคเนียโมโนลิธิคชนิดโปร่งแสงสูงที่หนา 1 มิลลิเมตร ร่วมกับซีเมนต์สีโสมบนหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์เพียงอย่างเดียวมีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่าหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านการพ่นทรายและอโนไดซ์ที่ 50 โวลต์ (17) และการศึกษาของ Weeranoppanant P และคณะ ในปี ค.ศ. 2023 พบว่าลิเทียมไดซิลิเกตชนิดความโปร่งแสงปานกลางบนหลักยึดกลุ่มไทเทเนียมที่อโนไดซ์สีเหลืองมีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่ากลุ่มไทเทเนียมที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว (14) นอกจากนี้ การศึกษาของ Çeken A และคณะ ในปี ค.ศ. 2023 พบว่าเมื่อใช้เซอร์โคเนียโมโนลิธิคชนิดโปร่งแสงต่ำร่วมกับซีเมนต์สีโสมบนหลักยึดกลุ่มไทเทเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์สีเหลืองมีค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่ากลุ่มไทเทเนียมที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว (40) รวมถึงให้ผลที่แตกต่างจากการศึกษาของ Phayoongrat T และคณะ ในปี ค.ศ. 2023 ซึ่งพบว่าลิเทียมไดซิลิเกตชนิดโปร่งแสงปานกลางบนหลักยึดกลุ่มไทเทเนียมที่อโนไดซ์มีค่าความแตกต่างของสีแตกต่างกับกลุ่มไทเทเนียมที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว (15)

ด้วยเทคโนโลยีระบบการวัดสีซีไออีดีอี2000 ที่ใช้ในปัจจุบันและระบบการออกแบบและสร้างชิ้นงานทางทันตกรรมที่ทันสมัยได้ยืนยันว่าการทำอโนไดซ์อย่างเดียวนั้นเพียงพอและนำไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิกได้จริง สามารถช่วยลดขั้นตอนการขัดผิวเรียบของหลักยึดภายหลังจากการกลึง ดังนั้นการศึกษา

ครั้งต่อไปหากจะศึกษาเรื่องผลของการขัดเรียบพื้นผิวไทเทเนียม ก็ควรวัดค่าความหยาบผิว (roughness average; Ra, surface area; Sa) เพิ่มเติมร่วมด้วย และใช้วัสดุทดสอบพื้นหลังที่มีความใกล้เคียงกับสีฟันธรรมชาติมากขึ้น เช่น คอมโพสิตเรซิน (composite resin) เซรามิกแบบแท่ง (ingot ceramic) หรือฟันธรรมชาติ แล้วทำการเปรียบเทียบสีเซรามิกบนหลักยึดรากเทียมที่ปรับปรุงพื้นผิวแบบต่าง ๆ รวมถึงการใช้ซีเมนต์ในงานทันตกรรมในการปิดสีของหลักยึด เพื่อพัฒนาให้เกิดความสวยงามสูงสุดในงานทันตกรรมความสวยงามต่อไป

การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความโปร่งแสงของเซรามิก ความหนาของเซรามิก รูปร่างของชิ้นทดสอบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแตกต่างของสี จึงเหมาะแก่การพิจารณาเพื่อศึกษาในอนาคตต่อไป

บทสรุป (Conclusion)

สีของการอโนไดซ์ไม่มีความแตกต่างกับการขัดผิวเรียบและการขัดผิวเรียบร่วมกับอโนไดซ์ ดังนั้นการอโนไดซ์หรือการขัดผิวเรียบเพียงอย่างเดียวบนผิวหลักยึดรากเทียมชนิดไทเทเนียมจะส่งผลกระทบต่อสีของเซอร์โคเนียไม่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการประจำคณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างราบรื่น

การขัดแย้งแห่งส่วนประโยชน์ส่วนบุคคลและผลประโยชน์ส่วนรวม (Conflicts of interest)

การศึกษานี้ทางคณะผู้วิจัยมิได้มีผลประโยชน์ทับซ้อนหรือได้รับการสนับสนุนจากทางภาคเอกชนแต่อย่างใด

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Howe MS, Keys W, Richards D. Long-term (10-year) dental implant survival: a systematic review and sensitivity meta-analysis. *J Dent.* 2019; 84:9-21.
2. Orsini G, Tosco V, Monterubbianesi R, Orilisi G, Putignano A. A new era in restorative dentistry. The first out-standing 50 years of “università politecnica delle marche” research achievements in life sciences. Switzerland: Springer International Publishing; 2020. p.319–34.
3. Fuster-Torres MA, Albalat-Estela S, Alcañiz-Raya M, Peñarrocha-Diogo M. CAD/ CAM dental systems in implant dentistry: update. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2009;14(3):E141-5.
4. Kapos T, Evans C. CAD/CAM technology for implant abutments, crowns, and superstructures. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29(Suppl): 117-36.
5. 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.
6. Laleman I, Lambert F. Implant connection and abutment selection as a predisposing and/ or precipitating factor for peri-implant diseases: A review [published correction appears in *Clin Implant Dent Relat Res.* 2023 Oct;25(5):984.]. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2023;25(4):723-33.
7. Niinomi M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2008;1(1):30-42.
8. Jorge JR, Barão VA, Delben JA, Faverani LP, Queiroz TP, Assunção WG. Titanium in dentistry: historical development, state of the art and future perspectives. *J Indian Prosthodont Soc.* 2013; 13(2):71-7.
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.
10. 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):e97-106.
11. Pakamma S, Kuntiyaratana T, Yavirach A, Rungsyakull P, Chaijareenont P. Improvement properties of titanium and titanium alloy surface with anodization: literature review. *SWU Dent J.* 2024;17(1):151-67.
12. Wadhvani CPK, Schoenbaum T, King KE, Chung KH. Techniques to optimize color esthetics, bonding, and peri-implant tissue health with titanium implant abutments. *Compend Contin Educ Dent.* 2018;39(2):110-9.
13. Sala L, Bascones-Martínez A, Carrillo-de-Albornoz A. Impact of abutment material on peri-implant soft tissue color. An in vitro study. *Clin Oral Investig.* 2017;21(7):2221-33.
14. Weeranoppanant P, Palanuwech M. Effects of ceramic thickness and titanium anodization on esthetic outcomes of lithium disilicate ceramic over titanium alloys. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2023;31(1):40-9.
15. Phayoongrat T, Palanuwech M. Effect of thickness of lithium disilicate, cement color and implant abutment materials to final restoration color. *SWU Dent J.* 2023;16(1):148-63.
16. Lim HP, Lee KM, Koh YI, Park SW. Allergic contact stomatitis caused by a titanium nitride-coated implant abutment: a clinical report. *J Prosthet Dent.* 2012;108(4):209-13.

17. Sirawuttipong C, Palanuwech M. Effect of zirconia thickness, cement color, and titanium implant abutment surface treatment type on the esthetic outcomes of high-translucency monolithic zirconia. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2024;39(5):765-75.
18. Liu J, Alfantazi A, Asselin E. A new method to improve the corrosion resistance of titanium for hydrometallurgical applications. *Applied Surface Science*. 2015;332:480-7.
19. Jaeggi C, Kern P, Michler J, Zehnder T, Siegenthaler H, Anodic thin films on titanium used as masks for surface micropatterning of biomedical devices. *Surface and Coatings Technology*. 2005;200(5-6):1913-9.
20. Wadhvani CP, O'Brien R, Kattadiyil MT, Chung KH. Laboratory technique for coloring titanium abutments to improve esthetics. *J Prosthet Dent*. 2016;115(4):409-11.
21. Minhas B, Dino S, Zuo Y, Qian H, Zhao X. Improvement of corrosion resistance of TiO₂ layers in strong acidic solutions by anodizing and thermal oxidation treatment. *Materials*. 2021;14(5):1188.
22. Wang T, Wang L, Lu Q, Fan Z. Influence of anodized titanium abutments on the esthetics of the peri-implant soft tissue: a clinical study. *J Prosthet Dent*. 2021;125(3):445-52.
23. Khorshidi S, Zarbakhsh A, Lawaf S, Golalipour S, Sayyari M, Nahavandi AM. In vitro effect of anodization of titanium abutments on color parameters and color difference of lithium disilicate all-ceramic crowns. *Clin Exp Dent Res*. 2024;10(5):e70002.
24. Liu X, Fehmer V, Sailer I, Mojon P, Liu F, Pjetursson BE. Influence of different cements on the color outcomes of titanium-based lithium disilicate all-ceramic crowns and peri-implant soft tissue. *Int J Prosthodont*. 2020;33(1):63-73.
25. Seydaliyeva A, Rues S, Evagorou Z, et al. Predictability and outcome of titanium color after different surface modifications and anodic oxidation. *Dent Mater J*. 2022;41(6):930-6.
26. 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.
27. Amornwichitwech L, Palanuwech M. shear bond strength of lithium disilicate bonded with various surface-treated titanium. *Int J Dent*. 2022;2022:4406703.
28. Palanuwech, M. Implant-supported prosthesis and its retention. 1sted. CU E-Book; 2025.
29. Chopra D, Guo T, Gulati K, Ivanovski S. Load, unload and repeat: understanding the mechanical characteristics of zirconia in dentistry. *Dent Mater*. 2024;40(1):e1-17.
30. Solá-Ruiz MF, Baixauli-López M, Roig-Vanaclocha A, Amengual-Lorenzo J, Agustín-Panadero R. Prospective study of monolithic zirconia crowns: clinical behavior and survival rate at a 5-year follow-up. *J Prosthodont Res*. 2021;65(3):284-90.
31. Lohbauer U, Belli R. Chemistry and microstructure. *Dental ceramics*. Springer; 2022. p.33-7.
32. Diniz AC, Nascimento RM, Souza JC, Henriques BB, Carreiro AF. Fracture and shear bond strength analyses of different dental veneering ceramics to zirconia. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2014;38:79-84.

33. Kontonasaki E, Giasimakopoulos P, Rigos AE. Strength and aging resistance of monolithic zirconia: an update to current knowledge. *Jpn Dent Sci Rev.* 2020;56(1):1-23.

34. Pecho OE, Ghinea R, Alessandretti R, Pérez MM, Della Bona A. Visual and instrumental shade matching using CIELAB and CIEDE2000 color difference formulas. *Dent Mater.* 2016;32(1):82-92.

35. Gómez-Polo C, Portillo Muñoz M, Lorenzo Luengo MC, Vicente P, Galindo P, Martín Casado AM. Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas. *J Prosthet Dent.* 2016;115(1):65-70.

36. Salas M, Lucena C, Herrera LJ, Yebra A, Della Bona A, Pérez MM. Translucency thresholds for dental materials. *Dent Mater.* 2018;34(8):1168-74.

37. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, et al. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent.* 2015;27(Suppl 1):S1-9.

38. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res.* 2002;81(8):578-82.

39. Plengsombut K, Palanuwech M. Effect of Cement and Abutment Colors on Esthetic Outcomes of Highly Translucent Multilayered Monolithic Zirconia crowns. *SWU Dent J.* 2024;17(1):23-36.

40. Çeken A, Kılınç H, Turgut S. Effect of abutment types and resin cements on the esthetics of implant-supported restorations. *J Adv Prosthodont.* 2023;15(3):114-25.

ติดต่อทความ :

ผศ.ดร.ทพญ.มะลิ พลานูเวช

ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

114 ถนนสุขุมวิท 23 กรุงเทพมหานคร 10110

โทรศัพท์ : 02 649 5000 ต่อ 15112

อีเมล : mali@g.swu.ac.th

Corresponding author:

Asst. Prof. Mali Palanuwech

Department of Conservative Dentistry and
Prosthodontics, Faculty of Dentistry,

Srinakharinwirot University, 114 Sukhumvit
23 Road, Bangkok, 10110, Thailand.

Tel: (662) 649 5000 ext. 15112

E-mail: mali@g.swu.ac.th