



การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต
และสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม
COMPARISON OF COLOR DIFFERENCES OF LITHIUM DISILICATE CERAMIC
AND SIMULATED GINGIVA ON IMPLANT ABUTMENT MATERIALS

ภาณุพนธ์ วีระนพนันท์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2563

การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต
และสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม



ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

COMPARISON OF COLOR DIFFERENCES OF LITHIUM DISILICATE CERAMIC
AND SIMULATED GINGIVA ON IMPLANT ABUTMENT MATERIALS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Clinical Dentistry)

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2020

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต

และสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

ของ

ภาณุพนธ์ วีระนพนันท์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพญ.มะลิ พลานูเวช)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทพ.วิวิทย์พล ศรีมณีพงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ทพญ.รุ่งทิภา ศรีสุวรรณธา)

ชื่อเรื่อง	การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต และสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม
ผู้วิจัย	ภาณุพนธ์ วีระนพนันท์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพญ. มะลิ พลานูเวช

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อ ศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม นอกจากนี้ การวิจัยยังศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้งต่อค่าความแตกต่างของสีของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม การศึกษาวิจัยดำเนินตามขั้นตอนดังนี้ ในการทดลองแรก 28 ชิ้นทดสอบของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตถูกแบ่งตามความหนาของเซรามิก (1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มม.) แต่ละกลุ่ม (n=7) นำมาทดสอบกับ 7 ชนิดของวัสดุ ประกอบด้วย คอมโพสิตเรซิน (กลุ่มควบคุม), เซอร์โคเนีย, ไทเทเนียม, ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40(สีฟ้า), 50(สีเหลืองอ่อน), 60(สีเหลือง) และ 70(สีชมพู) ในการทดลองที่สอง 28 ชิ้นทดสอบของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตนำมาทดสอบกับไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ (40, 50, 60 และ 70 โวลต์) ซึ่งผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงผิว การปรับปรุงผิวเกิดจากการพ่นอนุภาคลงบนไทเทเนียมด้วยไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้ง ในการทดลองที่สาม 12 ชิ้นทดสอบของวัสดุเหงือกจำลอง (ผลิตจากวัสดุเสริมฐานฟันเทียม) นำมาทดสอบกับชนิดของวัสดุที่แตกต่างกันดังกล่าวในการทดลองแรก ทุกชิ้นทดสอบนำมาวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เพื่อคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ค่าความแตกต่างเทียบกับกลุ่มควบคุม) เพื่อพิจารณา "ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก" วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบความแปรปรวนและสถิติการทดสอบภายหลัง ($p < 0.05$) สำหรับผลการศึกษา ทั้งความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและชนิดของหลักยึดรากเทียมมีอิทธิพลต่อค่าความแตกต่างของสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อความหนาเซรามิก 2.0 และ 2.5 มม.ของเซอร์โคเนียและความหนาเซรามิก 2.5 มม.ของ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก สำหรับวัสดุเหงือกจำลอง ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิกในทุกชนิดของวัสดุทำหลักยึด อย่างไรก็ตาม วัสดุเหงือกจำลองบนเซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุด นอกจากนี้ การปรับปรุงผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้งบนหลักยึดไทเทเนียมมีผลเพิ่มค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ($p < 0.05$) สรุปผลการศึกษา ที่ความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตมากกว่า 2 มม. ของเซอร์โคเนียและเซรามิกมากกว่า 2.5 มม.ของไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก วัสดุเหงือกจำลองบนเซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่น นอกจากนี้ การปรับปรุงผิวด้วยไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้งให้ผลเสียต่อค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิก กลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต

คำสำคัญ : ค่าความแตกต่างของสี,เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต,ไตรโบเคมีคอลซิลิกา โค้ทติ้ง,เหงือกรอบรากเทียม,เซอร์โคเนีย,กระบวนการอะโนไดซ์,ไทเทเนียม,วัสดุทำหลักยึด

Title	COMPARISON OF COLOR DIFFERENCES OF LITHIUM DISILICATE CERAMIC AND SIMULATED GINGIVA ON IMPLANT ABUTMENT MATERIALS
Author	PANUPHON WEERANOPPANANT
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2020
Thesis Advisor	Assistant Professor Mali Palanuwech , Ph.D.

The objectives of this research are to investigate the color differences of lithium disilicate ceramic and simulated gingiva on implant abutment materials. This work also examined the effect of the tribochemical silica coating for titanium surface treatment on color differences. The experiment was conducted as follows: in the first set of experiments, 28 lithium disilicate ceramic specimens were divided by thickness (1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mm). Each group (n=7) was tested with seven different material types: composite (control), zirconia, titanium, 40 V (blue), 50 V (light yellow), 60 V (yellow), and 70 V (pink)-anodized titanium. In another set of experiments, 28 specimens of the lithium disilicate were tested with non-anodized and anodized titanium, whose surfaces could be either untreated or treated with tribochemical silica coating. In the last set of experiments, 12 specimens of simulated gingiva made of soft-liner materials were tested with different material types as mentioned in the first set of experiments. All of the specimens were measured with a spectrophotometer to obtain the color differences (i.e., differences compared to control) to be considered of 'clinical acceptability'. The data were statistically analyzed by ANOVA and a post-hoc test ($p=0.05$). The results of both the thickness of the ceramic and material types had a significant effect on color differences ($p<0.05$). When the ceramic with a thickness of 2.0-2.5 mm were used for zirconia and 2.5 mm for 50 V and 60 V-anodized titanium, and the color differences were below clinical acceptability values. For the simulated gingiva, the color differences were all above clinical acceptability values. However, zirconia had the lowest color differences. Furthermore, the tribochemical silica coating of the titanium-based materials could increase the color differences ($p < 0.05$). In conclusion, lithium disilicate ceramic thickness of more than 2mm of zirconia and more than 2.5 mm of 50 V and 60 V-anodized titanium led to color differences below clinical acceptability values. The simulated gingiva on the zirconia had the lowest color difference. In addition, the surface treatment by tribochemical silica coating had a negative effect on color differences.

Keyword : Color differences, lithium disilicate, Tribochemical silica coating, gingiva around implant, zirconia, anodization, Titanium, implant abutment materials

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพญ.มะลิ พลานุกุเวช ที่กรุณาให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางตรวจแก้ไข ข้อบกพร่อง ตลอดจนงานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคลินิกทันตกรรมบูรณะเพื่อความสวยงามและทันตกรรมรากเทียม คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในงานวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัยและให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงเจ้าหน้าที่ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่อำนวยความสะดวกในการจัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ด้วย

ขอขอบคุณ ดร.นนทวัชร จิรจิตตยากร คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ผู้ให้คำปรึกษาด้านการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิจัยนี้ และขอขอบคุณทพ.ธนโชติ พยุงรัตน์ และทพญ.ละอองดาว อมรวิจิตเวช เพื่อนิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาทันตกรรมคลินิกที่ให้คำปรึกษาในงานวิจัยตลอดมา ตลอดจนเพื่อน พี่ น้อง สาขาวิชาทันตกรรมคลินิกทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจสำหรับผู้วิจัยตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชา พระคุณบิดา มารดาและครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณที่ให้การอบรมสั่งสอนตลอดมา

ภาณุพนธ์ วีระนพนันท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	17
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	17
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	17
ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบพื้นหลัง.....	18

ขั้นตอนการเตรียมขึ้นทดสอบพื้นหลังไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์และการ ปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	20
ขั้นตอนการเตรียมขึ้นทดสอบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต	22
ขั้นตอนการเตรียมขึ้นทดสอบวัสดุเหนือก้ำลอง	23
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	24
การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง	24
การนำขึ้นทดสอบลงแบบกำหนดตำแหน่ง	25
ขั้นตอนการวัดสีขึ้นทดสอบ	26
การวิเคราะห์ข้อมูล	28
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	28
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	29
การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตบนวัสดุทำหลักยึด รากเทียม	29
การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต จากอิทธิพลของ การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม39	
การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหนือก้ำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม44	
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา	51
อภิปรายผลการศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตบนวัสดุทำหลัก ยึดรากเทียม	51
อภิปรายผลการศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต จากอิทธิพลของ การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม59	
อภิปรายผลการศึกษาค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหนือก้ำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม	61
บรรณานุกรม	68

ประวัติผู้เขียน..... 80



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า L^* a^* และ b^* จำแนกตามความหนาของเซรามิกและพื้นที่หลังจากวัสดุทำหลักยึดติด 29	29
ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึด ติด เปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม) 33	33
ตาราง 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึด 35	35
ตาราง 4 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีจำแนกตามชนิดของวัสดุทำหลักยึดเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบที..... 36	36
ตาราง 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า L^* a^* และ b^* จำแนกตามความหนาของเซรามิกและพื้นที่หลังจากวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง..... 39	39
ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง เปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)..... 40	40
ตาราง 7 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบที..... 42	42
ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า L^* a^* และ b^* ของวัสดุเหือกจำลองจำแนกตามวัสดุทำหลักยึดติด 44	44
ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหือกจำลองจำแนกตามวัสดุทำหลักยึด เปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)..... 46	46
ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามวัสดุทำหลักยึด..... 47	47

ตาราง 11 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีจำแนกตามชนิดของวัสดุ
 ทำหลักยึดเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบทูกี้..... 48



สารบัญรูปรภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ชิ้นทดสอบคอมโพสิตเรซิน เส้นผ่าศูนย์กลาง (ก) 11 มิลลิเมตร ความหนา (ข) 2 มิลลิเมตร.....	18
ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างชิ้นทดสอบเซอริโคเนีย	19
ภาพประกอบ 3 เครื่องกลึงโลหะหนักเอ็มโฟว์ ใช้กลึงชิ้นทดสอบเซอริโคเนีย.....	19
ภาพประกอบ 4 ตัวอย่างชิ้นทดสอบไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่ความเข้ม 40, 50, 60 และ 70 โวลต์(ซ้ายไปขวา)	20
ภาพประกอบ 5 การทำอะโนไดซ์บนชิ้นทดสอบไทเทเนียม	21
ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างชิ้นทดสอบไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่ความเข้ม 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้ง(ซ้ายไปขวา).....	22
ภาพประกอบ 7 การปรับปรุงผิวไทเทเนียมด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้ง	22
ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างชิ้นทดสอบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตความหนา 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร(ซ้ายไปขวา)	23
ภาพประกอบ 9 เครื่องกลึงมาสเตอร์มิลล์ เอ็นโฟว์ ใช้กลึงชิ้นทดสอบลิเทียมไดซิลิเกต	23
ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างชิ้นทดสอบวัสดุเหล็กกล้า.....	24
ภาพประกอบ 11 แสดงขั้นตอนการทำวัสดุเหล็กกล้า.....	24
ภาพประกอบ 12 แบบกำหนดตำแหน่งจากยางสีดำ.....	26
ภาพประกอบ 13 กล่องดำปิดสนิทเจาะรูด้านบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรสำหรับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	26
ภาพประกอบ 14 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easyshade V ; Vita, Germany).....	27
ภาพประกอบ 15 แสดงการวัดสีชิ้นทดสอบด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	27

ภาพประกอบ 16 แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ที่ระดับความหนาต่างๆบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)...	30
ภาพประกอบ 17 แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ที่ระดับความหนาต่างๆบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)...	31
ภาพประกอบ 18 แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย b^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ที่ระดับความหนาต่างๆบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)...	31
ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดแต่ละ ชนิด จากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี	38
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึด ไทเทเนียมแต่ละชนิด จากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี.....	43
ภาพประกอบ 21 แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* , a^* และ b^* ของวัสดุเหือก จำลองบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)	45
ภาพประกอบ 22 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีของวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด บนวัสดุเหือกจำลอง	50

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การทดแทนฟันที่สูญเสียไปด้วยการรักษารากเทียม (dental implant) เป็นการรักษาที่ได้รับความนิยมและประสบความสำเร็จในการรักษาสูง⁽¹⁾ ปัจจุบันคนส่วนใหญ่มองถึงปัจจัยเรื่องความสวยงามในการรักษาทางทันตกรรมมากขึ้น การมีส่วนบูรณะของรากเทียมที่ดูน่าพอใจและเหงือกครอบรากเทียมที่กลมกลืนกับเหงือกโดยรอบ เป็นปัจจัยสำคัญในการรักษารากเทียมที่ส่งผลให้การรักษาประสบผลสำเร็จด้านความสวยงาม⁽²⁾

ในส่วนของ การบูรณะ ถึงแม้ว่าการบูรณะโลหะเคลือบกระเบื้อง (Porcelain fused to metal restorations) จะถูกใช้เป็นที่เลือกในการรักษาความสวยงามมาเป็นระยะเวลานาน แต่จากอิทธิพลของโลหะที่บดแสงภายในวัสดุจึงไม่สามารถทำให้สีเหมือนฟันธรรมชาติ ส่งผลให้มีแนวโน้มในการรักษาด้วยการบูรณะเซรามิกล้วน (All ceramic restorations) มากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของเซรามิกเป็นวัสดุบูรณะที่มีความโปร่งแสงเหมือนฟันธรรมชาติ⁽³⁾ โดยเฉพาะเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความใสมากจึงให้ความสวยงามสูงสุดและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสีของการบูรณะเซรามิกล้วน คือ สีพื้นหลังของหลักยึด (stump shade)⁽⁴⁾ ซึ่งวัสดุทำหลักยึด (Abutment) ที่นิยมใช้ในงานทันตกรรมรากเทียมในปัจจุบันแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ กลุ่มเซรามิก (Ceramic) และกลุ่มโลหะ ไทเทเนียม (Titanium) เป็นกลุ่มโลหะที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการทำหลักยึด แต่ไทเทเนียมมีสีเทาของโลหะซึ่งส่งผลเสียต่อการจับคู่สีของการบูรณะเซรามิกล้วนที่มีความโปร่งแสง⁽⁵⁾ นอกจากนี้ วัสดุทำหลักยึดบนรากเทียมยังส่งผลต่อสีของเหงือกครอบรากเทียม จากการศึกษาพบว่าสีพื้นหลังของวัสดุทำหลักยึดทั้ง 2 แบบคือ เซอร์โคเนียและไทเทเนียม ส่งผลต่อความแตกต่างของสีเหงือกที่มีความหนาน้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร โดยเฉพาะในไทเทเนียมที่มีค่าความแตกต่างของสีมากกว่าเซอร์โคเนีย⁽⁶⁾

มีการเสนอแนวคิดในการปรับปรุงสีของไทเทเนียมด้วยกระบวนการอะโนไดซ์ (Anodization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนผิวของไทเทเนียม เพื่อจุดประสงค์ในการปรับปรุงสีของไทเทเนียมที่ส่งผลต่อการบูรณะเซรามิกล้วนและเหงือกครอบรากเทียม⁽⁷⁾ อย่างไรก็ตาม วิธีการปรับปรุงพื้นผิว (surface treatment) ของโลหะซึ่งอาศัยวิธีทางกลด้วยการเพิ่มความขรุขระบนพื้นผิว และวิธีทางเคมีด้วยการเพิ่มการยึดติดของอนุภาคซิลิกา (Silica) กับสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) ในการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง (Tribochemical silica coating) เพื่อเพิ่มการยึดติดกับซีเมนต์ที่ใช้ยึดส่วนบูรณะเป็นกระบวนการ

ที่เกิดบนผิวของไทเทเนียมเช่นเดียวกับกระบวนการอะโนไดซ์⁽⁶⁾ จึงอาจส่งผลกระทบต่อความแตกต่างของสีบนไทเทเนียมที่เป็นวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์

ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับค่าความแตกต่างของสีของเซรามิก และสีของเหงือกบนหลักยึดไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์และการปรับปรุงพื้นผิว ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาความแตกต่างของสีในเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต และสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่แตกต่างกันทั้งชนิดและกระบวนการบนผิวของวัสดุ เพื่อเป็นแนวทางให้ทันตแพทย์เลือกใช้วัสดุบูรณะและวัสดุทำหลักยึดในงานรากเทียมได้อย่างสวยงามและเหมาะสมที่สุด

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของสี (Color differences) ระหว่างเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนา 4 ระดับบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด
2. เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต จากอิทธิพลของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม
3. เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด

ความสำคัญของการวิจัย

สีของวัสดุบูรณะและสีของเหงือกโดยรอบรากเทียม เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การรักษาประสบผลสำเร็จด้านความสวยงาม การศึกษาสีของวัสดุบูรณะเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและสีของเหงือกบนวัสดุหลักยึดรากเทียมที่ต่างชนิดและกระบวนการบนผิวของวัสดุ จะเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญในการเลือกใช้วัสดุบูรณะและวัสดุทำหลักยึดในการรักษารากเทียมให้ประสบผลสำเร็จทั้งในด้านการใช้งานและความสวยงามสูงสุด

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

ศึกษาผลของความหนาเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมแต่ละชนิดในด้านความสวยงาม

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ชนิดและกระบวนการบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความแตกต่างของสี

นิยามศัพท์เฉพาะ

ค่าความแตกต่างของสี (Color differences/ ΔE) หมายถึง ค่าบ่งบอกขนาดของความแตกต่างระหว่างสี 2 สีภายใต้สภาวะจำเพาะ ΔE สามารถหาได้จากสูตรทางคณิตศาสตร์ซึ่งคำนวณจากความเข้มและความสว่างของสี ตามระบบซีไอแอลป์ (CIELAB)

เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate ceramic) หมายถึง วัสดุเซรามิกที่มีองค์ประกอบของซิลิกาเป็นลักษณะร่างแหล้อมรอบด้วยผลึกลิเทียมไดซิลิเกต

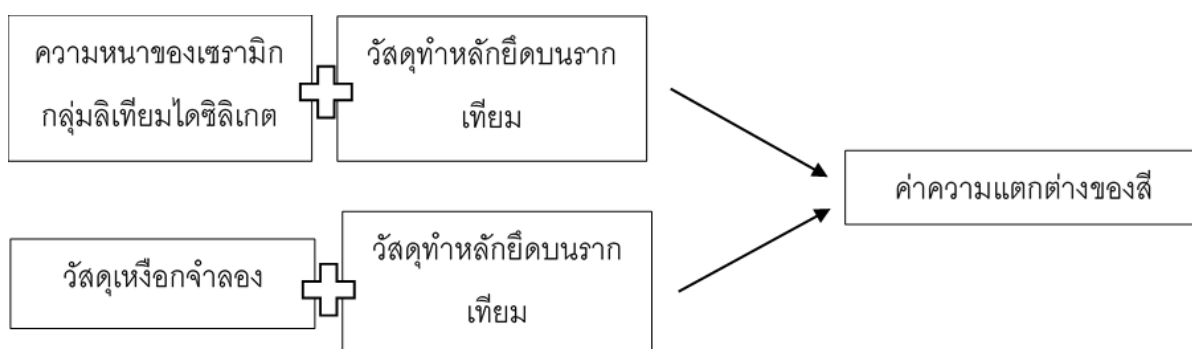
วัสดุเหงือกจำลอง (simulated gingiva) หมายถึง วัสดุทางทันตกรรมที่ใช้ในการทดลองด้านสีของเหงือก

กระบวนการอะโนไดซ์ (Electrochemical anodization) หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนสีโลหะภายใต้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ผ่านกระแสไฟฟ้าที่ความเข้มระดับต่างๆ

ไอพีเอส อีแมก แคด (IPS e.max CAD) หมายถึง ชื่อทางการค้าของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ของบริษัทไอวอคลาร์ วิวาเด็นท์ (Ivoclar vivadent) ลักษณะเป็นบล็อก กลิ้งขึ้นรูปขึ้นงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์

การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง (Tribochemical silica coating) หมายถึง กระบวนการกระตุ้นผิวของโลหะด้วยการพ่นอนุภาคเพื่อเปลี่ยนแปลงสภาพผิวของวัสดุ เพื่อสร้างการยึดติดกับเรซิน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



สมมติฐานของการวิจัย

1.สมมติฐานของการบูรณะ

H_0 = วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตแต่ละความหนาไม่แตกต่างกัน

H_1 = วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตแต่ละความหนาแตกต่างกัน

2.สมมติฐานของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง

H_0 = การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งบนไทเทเนียมให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตไม่แตกต่างกับ การไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง

H_1 = การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งบนไทเทเนียมให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตแตกต่างกับ การไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง

3.สมมติฐานของวัสดุเหงือกจำลอง

H_0 = วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุเหงือกจำลองไม่แตกต่างกัน

H_1 = วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุเหงือกจำลองแตกต่างกัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสูญเสียฟันส่งผลกระทบต่อสภาพจิตใจและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย โดยเฉพาะด้านสุขภาพ บุคลิกภาพและภาวะโภชนาการ ความต้องการในการรักษาทั้งด้านความสวยงามและการใช้งานจึงเป็นสิ่งที่ทันตแพทย์ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งสำคัญในการทดแทนฟันที่สูญเสียไป^(9, 10)

ในอดีตฟันเทียมติดแน่นรองรับด้วยฟันธรรมชาติ (tooth-supported fixed dental prostheses) เป็นการรักษามาตรฐานที่ได้รับความนิยมของการทดแทนฟันที่สูญเสียไป โดยอัตราการรอดของการรักษาสูงถึงร้อยละ 90 ใน 10 ปีและร้อยละ 75 ใน 15 ปี⁽¹¹⁾ อย่างไรก็ตาม การบรรลุวัตถุประสงค์ในการรักษาทั้งด้านความสวยงามและการใช้งาน จึงจำเป็นต้องสูญเสียเนื้อฟันมากและอาจส่งผลให้มีภาวะแทรกซ้อนเกิดขึ้น ภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นมากที่สุดได้แก่ ฟันผุ โดยอัตราการเกิดฟันผุในฟันเทียมติดแน่นเกิดขึ้นที่ฟันหลักยึด (Abutments) สูงถึงร้อยละ 9.5 หลังจากใส่ฟัน 10 ปี และอาจนำไปสู่การสูญเสียการยึดอยู่ของฟันหลักยึดในฟันเทียมติดแน่น ซึ่งอาจส่งผลให้ฟันหลักยึดดังกล่าวไม่สามารถบูรณะใหม่ได้ นำไปสู่ความล้มเหลวในการรักษา⁽¹²⁾

รากเทียม (dental implant) เป็นทางเลือกในการรักษาที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา รากเทียมมีความก้าวหน้าอย่างมากด้วยผลสำเร็จของการรักษาในหลายการศึกษา Charyeva และคณะ⁽¹³⁾ รายงานผลการศึกษารากเทียมจากการติดตามผลการรักษาเป็นเวลา 6 ปีพบว่า อัตราการรอดสูงถึงร้อยละ 96 และมีอัตราความสำเร็จร้อยละ 94.3 สอดคล้องกับการศึกษาของ Sherif และคณะ⁽¹⁴⁾ ซึ่งรายงานอัตราการรอดของรากเทียมที่ร้อยละ 96.4 ในระยะเวลา 5 ปีของการติดตามผลการรักษาในรากเทียม 214 ซี่ นอกจากนี้ในปี 2019 มีรายงานผลการศึกษากการวิเคราะห์แบบเป็นระบบ (Systematic review) ในการศึกษาของ Howe และคณะ⁽¹⁾ จากการทบทวนวรรณกรรม 18 บทความ พบว่า อัตราการรอดของรากเทียมใน 10 ปีสูงถึงร้อยละ 96.4

ในปี 2007 Pjetursson และคณะ⁽¹⁵⁾ ได้ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการรอดของการรักษาจากการวิเคราะห์แบบอภิมาน (Meta-analysis) ระหว่างฟันเทียมติดแน่นรองรับด้วยฟันธรรมชาติ (tooth-supported fixed dental prostheses) และครอบฟันซี่เดี่ยวรองรับด้วยรากเทียม (implant-supported single crowns) พบว่า ครอบฟันซี่เดี่ยวรองรับด้วยรากเทียมมีอัตราการรอดร้อยละ 94.5 และร้อยละ 89.4 ซึ่งสูงกว่าฟันเทียมติดแน่นรองรับด้วยฟันธรรมชาติที่มีอัตราการรอดร้อยละ 93.8 และร้อยละ 89.2 ในระยะเวลา 5 และ 10 ปีตามลำดับ

ความสวยงามของรากเทียมเป็นสิ่งที่ทำให้การรักษาประสบผลสำเร็จ สิ่งที่ทำให้รากเทียมมีความสวยงามประกอบด้วยการบูรณะที่ดูน่าพอใจและอวัยวะปริทันต์ที่มีสุขภาพดี มีความกลมกลืนกับบริเวณข้างเคียง⁽¹⁶⁾ การบรรลุวัตถุประสงค์ด้านความสวยงามในรากเทียมเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างมากสำหรับทันตแพทย์ โดยเฉพาะในบริเวณฟันหน้าบนซึ่งต้องการความสวยงามสูงสุด จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาตั้งแต่ก่อนการรักษาถึงโครงสร้างและรูปร่างของกระดูกเบ้าฟัน ตำแหน่งของรากเทียม ความสัมพันธ์กับริมฝีปากและชนิดของอวัยวะปริทันต์ ประกอบกับการวางแผนการรักษาด้วยการแต่งสีฟันเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ในลักษณะสามมิติและเป็นแนวทางในการผ่าตัดฝังรากเทียมต่อไป ระหว่างการผ่าตัดฝังรากเทียมต้องคำนึงถึงตำแหน่งและระยะเวลาการยึดติดกับกระดูกของรากเทียม และในขั้นตอนการบูรณะ ส่วนบูรณะของรากเทียมที่ดีควรมีลักษณะเคี้ยว ความใสและสีที่สอดคล้องไปกับฟันข้างเคียง⁽¹⁷⁾

สำหรับเกณฑ์การประเมินความสวยงามของรากเทียมในทางคลินิกที่แม่นยำและใช้งานง่ายที่สุด ได้แก่ คะแนนความสวยงามสีขาวและสีชมพู (white and pink esthetic score)⁽¹⁶⁾ ของ Belser และคณะ⁽¹⁸⁾ ในปี 2009 เกณฑ์ดังกล่าวได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนอวัยวะปริทันต์รอบรากเทียมหรือคะแนนความสวยงามสีชมพู และส่วนบูรณะบนรากเทียมหรือคะแนนความสวยงามสีขาว แต่ละส่วนของคะแนนความสวยงาม จะแบ่งเกณฑ์ประเมินออกเป็น 5 หัวข้อ โดยแต่ละหัวข้อมีคะแนนประเมิน 3 ระดับคือ 0, 1, 2 คะแนนสูงสุดคือ 10 คะแนนและคะแนนที่ยอมรับได้ในทางคลินิกคือ 6 คะแนน

การบูรณะบนรากเทียมที่ดีจะให้ลักษณะและสีเหมือนฟันธรรมชาติ ลักษณะฟันธรรมชาติโดยทั่วไปจะมีความโปร่งแสง (translucency) มากที่บริเวณปลายฟันและน้อยลงที่บริเวณคอฟัน จากอิทธิพลของการเรียงตัวในชั้นเคลือบฟัน เมื่ออายุมากขึ้นความโปร่งแสงของฟันจะลดลงจากการสึกของชั้นเคลือบฟันจากการใช้งาน⁽¹⁹⁾ วัสดุทางทันตกรรมที่ใช้ในการบูรณะจึงควรมีลักษณะที่ลอกเลียนความโปร่งแสงในฟันธรรมชาติ รวมถึงต้องมีสมบัติเชิงกายภาพที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในช่องปาก ถึงแม้ว่าโลหะเคลือบกระเบื้องจะเป็นวัสดุที่มีรายงานความสำเร็จในการรักษาสูงถึงร้อยละ 94 ใน 10 ปี⁽²⁰⁾ แต่ข้อจำกัดของวัสดุในเรื่องความเข้ากันได้เชิงชีวภาพและคุณลักษณะด้านแสงจึงเป็นปัญหาสำคัญในการบูรณะทางทันตกรรม รายงานของ Brune⁽²¹⁾ บ่งชี้ถึงส่วนประกอบของโลหะในครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องอาจมีความเข้มข้นของโลหะที่สูงขึ้นในบริเวณติดกับเนื้อเยื่อเหงือกและไม่สามารถเจือจางได้ด้วยน้ำลาย มากกว่านั้น โลหะเคลือบกระเบื้องไม่สามารถให้การกระจายของแสงที่ตกกระทบได้อย่างเหมาะสมเมื่อทำการบูรณะ⁽²²⁾ การบูรณะเซรามิกล้วนจึงมีแนวโน้มการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น ทั้งคุณสมบัติความเข้ากันได้กับ

อวัยวะปริทันต์และความสวยงามเหมือนฟันธรรมชาติ รวมถึงความแนบสนิทของขอบวัสดุบูรณะที่ใกล้เคียงกับการบูรณะโลหะเคลือบกระเบื้อง^(23, 24)

ความสวยงามของการบูรณะเซรามิกล้วนเกิดจากคุณสมบัติของวัสดุที่มีความโปร่งแสงและกลไกการกระจายแสงภายในวัสดุที่ทำให้แสงบางส่วนสะท้อนออกมา ส่งผลทำให้วัสดุเซรามิกดูเสมือนฟันธรรมชาติมากยิ่งขึ้น⁽²⁵⁾ หลักการดังกล่าวถูกนำไปประยุกต์ใช้กับครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องในการศึกษาของ Gettelman และคณะ⁽²⁶⁾ พบว่า เมื่อใช้ทองเคลือบบนโลหะที่ปกคลุมด้วยเซรามิกจะส่งผลให้ค่าผลรวมการสะท้อนแสงของวัสดุเพิ่มมากขึ้นและปริมาณการใช้พอร์ซเลนทึบแสง (opaque porcelain) เพื่อปกปิดสีโลหะลดลงถึงร้อยละ 40-60 ทำให้สามารถลดการรบกวนสำหรับความหนาของวัสดุลงได้ อย่างไรก็ตาม โลหะมีคุณสมบัติที่ไม่สามารถทำให้แสงผ่านได้จึงทำให้ส่วนบูรณะดูทึบแสงและอาจเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุเซรามิกที่เคลือบอยู่บนโลหะ ส่งผลให้วัสดุบูรณะมีความสวยงามลดลง⁽²⁷⁾

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการรอดของ ครอบฟันเซรามิกล้วนกับครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องพบว่าอัตราการรอดใกล้เคียงกันในบริเวณฟันหน้า ส่วนบริเวณฟันหลัง ครอบฟันเซรามิกล้วนมีอัตราการรอดที่ใกล้เคียงหรือน้อยกว่า ครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องขึ้นกับชนิดของเซรามิก โดยเซรามิกกลุ่มอินซีแรม (Inceram) และเซรามิกกลุ่มแก้ว (glass-ceramic) เป็นเซรามิกที่มีอัตราการรอดต่ำกว่าครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง และสาเหตุหลักของความล้มเหลวในครอบฟันเซรามิกล้วนคือ การแตกหัก^(28, 29) ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของวัสดุที่มีความแข็งแรงยืดหยุ่นต่ำ⁽³⁰⁾ ดังนั้น การเลือกผู้ป่วยให้เหมาะสมกับการใช้งานของวัสดุเป็นสิ่งที่ทันตแพทย์ต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีการทำงานของระบบบดเคี้ยวบนหน้าที่อย่างรุนแรง (severe parafunction) ควรหลีกเลี่ยงการทำครอบฟันเซรามิกล้วน⁽³¹⁾

ในปัจจุบัน วัสดุเซรามิกมีการพัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานทางทันตกรรมโดยการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลด้วยการเติมผลึกลงในวัสดุประมาณร้อยละ 35-99 ซึ่งปริมาณส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลึกที่เพิ่มมากขึ้นนำมาซึ่งความทึบแสงของวัสดุซึ่งเป็นที่ไม่ต้องการให้เกิดในวัสดุเซรามิก⁽³²⁾ โครงสร้างของเซรามิกที่มีสมบัติทางกลสูงทั้งความแข็งแรง ความแข็งผิวและการต้านทานการสึกกร่อน เป็นคุณสมบัติของเซรามิกที่ถูกเลือกใช้เพื่อทดแทนการใช้โลหะในการบูรณะ เซอร์โคเนีย อะลูมินาและลิเทียมไดซิลิเกตเป็นเซรามิกหลักของเซรามิกที่มีคุณสมบัติทางกลสูง⁽³³⁾ ในบทความนี้จะกล่าวถึงเซรามิกที่ได้รับความนิยมและมีการศึกษาสนับสนุน 2 ชนิด ได้แก่ เซอร์โคเนีย (Zirconia) และลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate)

เซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกมอนอคลินิก (monoclinic) ที่อุณหภูมิห้อง และเปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกเทตระโกนอล (tetragonal) และผลึกลูกบาศก์ (cubic) เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น การปรับปรุงโครงสร้างด้วยการเติมอิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide) ลงในวัสดุทำให้โครงสร้างแบบเทตระโกนอล (tetragonal) สามารถคงสภาพได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เปลี่ยนกลับเป็นโครงสร้างผลึกมอนอคลินิก โครงสร้างผลึกเทตระโกนอลเป็นโครงสร้างที่มีความหนาแน่นสูง จึงส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงมาก⁽³³⁾ แต่เซอร์โคเนียในลักษณะเค้ารูปเต็ม (full contour) ให้ความสวยงามในระดับปานกลางจากความโปร่งแสงที่ลดลงของวัสดุ จึงมีการนำเซอร์โคเนียมาทำในลักษณะวัสดุพื้นฐานคล้ายกับโลหะในการบูรณะโลหะเคลือบกระเบื้อง แต่พบว่ามีความล้มเหลวของการรักษาเกิดขึ้น⁽³⁴⁾ สาเหตุหลักของความล้มเหลวได้แก่ การแตกของวัสดุหุ้มชั้นนอก (veneering material fracture) การสูญเสียการยึดอยู่ (loss of retention) และปัญหาทางชีวภาพเกี่ยวกับคลองรากฟันจากการกร่อนเนื้อฟันเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับเซอร์โคเนีย⁽³⁵⁾

ลิเทียมไดซิลิเกตเป็นวัสดุที่มีความใสมากกว่าและมีสมบัติทางกลต่ำกว่าเซอร์โคเนีย จัดอยู่ในเซรามิกกลุ่มแก้วที่มีการเติมผลึกแก้วลงในวัสดุมากกว่าร้อยละ 50 ทำให้มีคุณสมบัติเด่นในด้านความสวยงาม ความแข็งแรงและความทนทานต่อการแตกหักที่ดี คุณสมบัติดังกล่าวทำให้ลิเทียมไดซิลิเกตเป็นที่นิยมในการใช้งานมากขึ้น^(36, 37) สำหรับความหนาที่เหมาะสมของลิเทียมไดซิลิเกตในการบูรณะเซรามิกล้วนในด้านบดเคี้ยว คือมากกว่า 1.5 มิลลิเมตร แต่จากการศึกษาของ Bakeman และคณะ พบว่า ความหนาของลิเทียมไดซิลิเกต 1 มิลลิเมตร เพียงพอต่อการต้านทานการแตกหักเมื่อวัสดุมีการยึดติดที่ดีกับเนื้อฟันภายใน และความหนาของวัสดุลิเทียมไดซิลิเกตมีอิทธิพลน้อยกับความแข็งแรงยึดหยุ่นโดยรวมของวัสดุ ดังนั้น จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความหนาของลิเทียมไดซิลิเกตในระดับ 1 มิลลิเมตรในบริเวณที่มีการกรอแต่งด้านบดเคี้ยว น้อยเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในทางคลินิก อย่างไรก็ตาม การกรอแต่งให้มีความหนาเพียงพอกับความสวยงามและการใช้งานยังเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการใช้ลิเทียมไดซิลิเกตในการบูรณะเซรามิกล้วน เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีของวัสดุ⁽³⁸⁾

ไอพีเอส อีแมก (IPS e.max) เป็นวัสดุลิเทียมไดซิลิเกตที่ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้ลิขสิทธิ์ของบริษัทไอวอคลาร์ วิวาเด็นท์ (Ivoclar Vivadent) สามารถขึ้นรูปได้ทั้งแบบอัด (Pressable version) และแบบระบบแคดแคม (CAD/CAM machining) เป็นลักษณะชิ้นงานเดี่ยว (monolithic form) ที่สามารถให้ความต้านทานต่อการแตกหักสูงร่วมกับความสวยงามสูงสุด มากกว่านั้นรายงานอัตราการอยู่รอดที่สูงถึงร้อยละ 94.69 ในครอบฟันและร้อยละ 90.58 ในสะพานฟันจากการติดตาม

ผลการรักษาทางคลินิก 3 ปี จึงทำให้ไอพีเอส อีแมกถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางทันตกรรม
(35, 39)

ถึงแม้ว่าเซรามิกจะเป็นวัสดุที่มีข้อดีด้านความสวยงาม แต่เมื่อวัสดุเซรามิกถูกนำมาใช้กับเนื้อฟันหรือเดือยฟันที่มีสีเข้ม หรือหลักยึดที่ประกอบด้วยโลหะย่อมส่งผลให้ความสวยงามของการบูรณะลดลงเช่นเดียวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการบูรณะโลหะเคลือบกระเบื้อง^(40, 41) ในการศึกษาของ Camacho และคณะ⁽⁴²⁾ พบว่า ความหนาของเซรามิก 6 ชนิดที่ใช้ในการศึกษาที่ระดับ 2 มิลลิเมตรรวมกับการใช้วัสดุยึดติดแบบทึบแสงสามารถปกปิดสีพื้นหลังดำได้ดีกว่า ตัวอย่างที่มีความหนาน้อยกว่าและการใช้วัสดุยึดติดแบบไม่ทึบแสง การศึกษาของ Vichi และคณะ⁽⁴³⁾ ทำการศึกษาในเซรามิกกลุ่มแก้วอีเอ็มเพรส (IPS-Empress) พบว่า ความหนาของเซรามิกที่ระดับ 2 มิลลิเมตรจะทำให้อิทธิพลของสีพื้นหลังที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุเซรามิก แต่ที่ระดับความหนา 1.5 และ 1.0 มิลลิเมตร สีของพื้นหลังอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีบนวัสดุเซรามิกจนทำให้เกิดการไม่ยอมรับในทางคลินิก และในการศึกษาเดียวกันบ่งชี้ว่า ความหนาและสีของวัสดุยึดติดอาจมีอิทธิพลน้อยต่อสีสุดท้ายของวัสดุเซรามิก นอกจากนี้ในการศึกษาของ Chalernpol และ Porak⁽⁴⁴⁾ บ่งชี้ว่า ชนิดของเซรามิก ความหนาและสีพื้นหลังของวัสดุมีความสัมพันธ์อย่างมากกับความสามารถในการปกปิดสีของวัสดุ โดยความหนาที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้การปกปิดสีพื้นหลังได้ดีมากยิ่งขึ้น และจากการศึกษาของ Czigola และคณะ⁽⁴⁾ บ่งชี้ว่า สีของพื้นหลัง ความหนาของเซรามิก ความโปร่งแสงของวัสดุและสีของซีเมนต์มีอิทธิพลต่อสีของเซรามิก กลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตในระบบแคดแคม และจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุเซรามิกที่มีความโปร่งแสงสูง (High translucent) จะจำกัดอิทธิพลในการปกปิดสีพื้นหลังแม้จะเพิ่มความหนาของวัสดุให้มากขึ้น จากผลการศึกษาที่กล่าวมาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อสีของการบูรณะเซรามิกล้วนประกอบด้วยหลายปัจจัยรวมกัน การเพิ่มความหนาของเซรามิก การเลือกใช้วัสดุยึดติด รวมถึงการใช้ระบบของเซรามิกตามข้อบ่งชี้จึงเป็นแนวทางในการปกปิดสีพื้นหลังของหลักยึดที่มีสีเข้มในการบูรณะเซรามิกล้วน

หลักยึดบนรากเทียมเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อความสวยงามของการบูรณะเซรามิกล้วน หลักยึดเป็นส่วนประกอบของรากเทียมที่รองรับหรือยึดติดกับส่วนบูรณะ⁽⁴⁵⁾ วัสดุทำหลักยึดที่ดีต้องมีความเข้ากันได้เชิงชีวภาพกับเนื้อเยื่อรอบหลักยึดของรากเทียม คือมีการผนึกของเยื่อเมือก (Mucosal seal) เพื่อป้องกันการผ่านทะลุของเชื้อแบคทีเรียไปสู่กระดูกเบ้าฟันรอบรากเทียม ซึ่งในพันธุกรรมชาติลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะของเอ็นยึดปริทันต์ระหว่างกระดูกเบ้าฟันกับผิวรากฟันธรรมชาติ เรียกว่า ความกว้างทางชีวภาพ (Biologic width) นอกจากนี้วัสดุทำหลักยึดควรมี

คุณสมบัติด้านสุขอนามัยที่ดี คือ สามารถลดปริมาณการยึดติดของคราบจุลินทรีย์กับผิววัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽⁴⁶⁾

สำหรับวัสดุทำหลักยึดบนรากเทียมที่นิยมใช้ได้แก่ ไทเทเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม(stainless steel) โลหะผสมทอง (cast gold) เซอร์โคเนียและโพลีเอเทอร์ อีเทอร์ คีโตน (polyether ether ketone/PEEK)⁽⁴⁶⁾ ในบทความนี้จะขอกล่าวถึงวัสดุที่นิยมใช้และมีการศึกษาสนับสนุน 2 ชนิด ได้แก่ ไทเทเนียมและเซอร์โคเนีย

ไทเทเนียมเป็นธาตุที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวในด้านความแข็งแรง น้ำหนักเบาและความเข้ากันได้เชิงชีวภาพ หลักยึดไทเทเนียมถูกผลิตทั้งในรูปของโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสมไทเทเนียม⁽⁴⁶⁾ ข้อดีของหลักยึดไทเทเนียมคือ มีความเข้ากันได้เชิงชีวภาพ การสึกกร่อนต่ำและความต้านทานต่อการแตกหักสูง⁽⁴⁷⁾ แต่การใช้โลหะไทเทเนียมในหลักยึดอาจส่งผลให้การจับคู่อึดของวัสดุแกนเซรามิกที่มีความใสทำได้ยากมากยิ่งขึ้น และเกิดสีเทาของโลหะบริเวณอวัยวะปริทันต์รอบรากเทียม โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยที่มีเหงือกบาง^(5, 6)

เซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่ถูกพัฒนาให้มีความแข็งแรงสูงและมีความเข้ากันได้เชิงชีวภาพ จนสามารถนำมาใช้ในเครื่องมือทางการแพทย์และหลักยึดบนรากเทียม เซอร์โคเนียเป็นเซรามิกที่มีสีขาวจึงอาจช่วยให้การจับคู่อึดกับวัสดุบุรณะเซรามิกล้วน และสีของอวัยวะปริทันต์มีความกลมกลืนมากขึ้น^(46, 48, 49) เหมาะสมกับบริเวณฟันหน้าที่ต้องการความสวยงามโดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยที่มีลักษณะเหงือกบาง แต่การนำเซอร์โคเนียมาใช้ทำหลักยึดมีข้อเสียคือ เกิดการสึกของผิวด้านในบริเวณข้อต่อของรากเทียม จากความแตกต่างของความต้านทานการสึกกร่อนระหว่างเซอร์โคเนียและไทเทเนียมที่เป็นวัสดุในรากเทียม จึงมีการนำเซอร์โคเนียมาทำหลักยึดทับหลักยึดไทเทเนียมที่เชื่อมต่อกับรากเทียมหรือหลักยึดเซอร์โคเนียแบบ 2 ชั้น แต่พบว่ามีความล้มเหลวจากการแตกของวัสดุเซอร์โคเนียและปัญหาของการยึดติดระหว่างวัสดุเซอร์โคเนียและไทเทเนียม โดยเกือบทั้งหมดเกิดที่บริเวณฟันกราม^(46, 50, 51)

Rimondi และคณะ⁽⁵²⁾ ศึกษาเปรียบเทียบการสะสมของแบคทีเรียบนเซอร์โคเนียและไทเทเนียม สรุปได้ว่า เซอร์โคเนียมีการสะสมของแบคทีเรียน้อยกว่าไทเทเนียม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Scarano และคณะ⁽⁵³⁾ ในปี 2004 ที่บ่งชี้ว่า เซอร์โคเนียมีคุณสมบัติด้านสุขอนามัยดีกว่าไทเทเนียม จากเหตุผลในการศึกษาของ Poortinga และคณะ⁽⁵⁴⁾ อธิบายว่า สภาพนำอิเล็กทรอนิกส์ของวัสดุที่ส่งผลให้แบคทีเรียมีการจ่ายอิเล็กตรอนให้กับสารตั้งต้นมากกว่าการรับอิเล็กตรอนของแบคทีเรียจึงทำให้ลดการยึดติดของแบคทีเรียบนเซอร์โคเนีย ส่งผลให้เซอร์โคเนียมีจำนวนแบคทีเรียและการอักเสบลดลง

จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการบ่งชี้ถึง ความสัมพันธ์ระหว่างสีของวัสดุบูรณะบนรากเทียม ความหนาของเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) และการเปลี่ยนสีของเนื้อเยื่อ จากการทดลองกับวัสดุไทเทเนียมและเซอริโคเนียซึ่งได้รับและไม่ได้รับการเคลือบด้วยเซรามิกสีเหมือนฟัน (tooth-colored veneering ceramic) บนชิ้นส่วนเนื้อเยื่ออ่อนในขากรรไกรบนของหนูที่ความหนา 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าไทเทเนียมที่ไม่ได้รับการเคลือบก่อให้เกิดการเปลี่ยนสีของเนื้อเยื่อในทุกความหนาของเนื้อเยื่ออ่อนและชัดเจนในเนื้อเยื่อบาง ในขณะที่การเคลือบไทเทเนียมด้วยเซรามิกสีเหมือนฟันสามารถลดผลกระทบของการเปลี่ยนสีให้ลดลง และเซอริโคเนียมีการเปลี่ยนสีของเนื้อเยื่อต่ำกว่าไทเทเนียมในทุกตัวอย่างการทดลองโดยเฉพาะความหนาของเนื้อเยื่อน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร และจากการทดลองพบว่า ชิ้นส่วนเนื้อเยื่ออ่อนในขากรรไกรบนของหนูไม่สามารถทดแทนสีของอวัยวะปริทันต์ได้ เนื่องจากเนื้อเยื่ออ่อนมีสีซีดจากการขาดเลือดหล่อเลี้ยงก่อนนำมาใช้ในการทดลอง⁽⁵⁵⁾

จากมุมมองด้านความสวยงาม กรณีที่ผู้ป่วยมีลักษณะเหงือกบางร่วมกับความต้องการด้านความสวยงามสูงสุด ทางเลือกในการบูรณะบนรากเทียมเป็นไปได้ 2 ทางเลือก คือ เลือกใช้หลักยึดเซรามิกร่วมกับการบูรณะเซรามิกล้วน หรือ การรักษาปริทันต์วิทยาด้วยการปลูกเนื้อเยื่ออ่อนให้ได้ความหนามากกว่า 2 มิลลิเมตร เนื่องจากความหนาในระดับนี้ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนสีของเนื้อเยื่ออ่อนในทุกวัสดุบูรณะ อย่างไรก็ตามการเลือกใช้หลักยึดบนรากเทียมไม่ได้คำนึงถึงความสวยงามเพียงอย่างเดียว ความแข็งแรงเป็นอีกสิ่งที่ต้องตระหนักเป็นสำคัญเพื่อผลการรักษาในระยะยาวที่มีประสิทธิภาพ⁽⁵⁶⁾ ไทเทเนียมมีคุณสมบัติเป็นหลักยึดที่แข็งแรงกว่าเซอริโคเนีย⁽⁵⁷⁾ แต่การใช้หลักยึดไทเทเนียมในบริเวณที่ต้องการความสวยงามสูงเป็นปัญหาสำคัญที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น

แนวคิดในการปรับปรุงสีของโลหะไทเทเนียมพัฒนาจากการเคลือบฟิล์มบางปกปิดสีบนโลหะเพื่อลดอิทธิพลของสีในวัสดุ การเคลือบโลหะด้วยไทเทเนียมไนไตรด์ (Titanium nitride) เป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงสีของไทเทเนียมที่มีการใช้ในปัจจุบัน เพื่อให้เกิดสีของบนผิวของไทเทเนียมผ่านกระบวนการรวมตัวของไทเทเนียมและไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นไทเทเนียมไนไตรด์ จากนั้นจึงสร้างพันธะกับผิวของไทเทเนียมที่เป็นหลักยึดบนรากเทียม การศึกษาถึงความเข้ากันได้เชิงชีวภาพของไทเทเนียมไนไตรด์บ่งชี้ว่า ไทเทเนียมไนไตรด์เหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับเครื่องมือทางการแพทย์ซึ่งสัมผัสกับกระดูก ผิวหนัง เนื้อเยื่อหรือเลือด นอกจากนี้การเกิดสีทองของไทเทเนียมไนไตรด์บนผิวของไทเทเนียมยังช่วยลดการเปลี่ยนสีของเนื้อเยื่อรอบรากเทียมจากการใช้หลักยึดโลหะในผู้ป่วยที่มีลักษณะเหงือกบาง⁽⁴⁶⁾

กระบวนการอะโนไดซ์ เป็นอีกกระบวนการเปลี่ยนสีของไทเทเนียมออกไซด์ (Titanium oxide) ที่เกาะอยู่บนผิวของไทเทเนียม ผ่านวงจรไฟฟ้าที่มีขั้วบวกยึดติดกับไทเทเนียมซึ่งจุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ที่มีสภาพเป็นกรด จากนั้นผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เกิดการสะสมของอิเล็กตรอน (electron) บนผิวของไทเทเนียม เกิดเป็นสีตามกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ ปัจจัยในการทำให้เกิดสีในระดับต่างๆเกิดจากความต่างศักย์ของสารตั้งต้นในขั้วบวกและขั้วลบของวงจรไฟฟ้า รวมถึงสารละลายอิเล็กโทรไลต์และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านในวงจร กระบวนการอะโนไดซ์เป็นกระบวนการปรับปรุงสีที่ปราศจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวของวัสดุ รวมทั้งคงสภาพความเข้ากันได้เชิงชีวภาพของวัสดุไว้ นอกจากนี้ กระบวนการดังกล่าวยังมีข้อดีคือ ราคาไม่แพง รวดเร็วและทำได้ง่าย จึงสามารถนำมาใช้ในทางคลินิกเพื่อวัตถุประสงค์ด้านความสวยงามของส่วนบูรณะและอวัยวะปริทันต์⁽⁷⁾

กระบวนการอะโนไดซ์บนผิวของโลหะไทเทเนียมมีการเพิ่มความหนาของชั้นโลหะออกไซด์ในช่วงความหนาระหว่าง 30-150 นาโนเมตร⁽⁵⁸⁾ ขึ้นกับปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการทำอะโนไดซ์ เช่น กระแสไฟฟ้า องค์ประกอบของสารละลาย อุณหภูมิและชนิดของวงจรไฟฟ้า โดยชั้นของโลหะออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติในการป้องกันการสึกกร่อน ลดการจ่ายประจุไฟฟ้า และทำให้เกิดรูปพรุนบนผิวของไทเทเนียม⁽⁵⁹⁾ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มการยึดติดของส่วนบูรณะบนวัสดุทำหลักยึดเมื่อใช้ซีเมนต์กลุ่มเรซินอาจทำได้โดยการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุทำหลักยึดนั้น

การปรับปรุงพื้นผิวของโลหะสามารถทำได้ในหลากหลายรูปแบบ การพ่นทรายด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นกระบวนการที่มีการใช้อย่างแพร่หลายที่สุดในกรณีที่ใช้ซีเมนต์ผสมสารยึดติด (Adhesive cement) แต่ในกรณีที่ใช้ซีเมนต์ไม่ผสมสารยึดติด (Non-adhesive cement) จำเป็นจะต้องได้รับการปรับปรุงพื้นผิวทั้งในรูปแบบทางกลและทางเคมี เพื่อเพิ่มการยึดติดจากผิวที่ขรุขระในทางกลและเพิ่มสารยึดติดระหว่างผิวของโลหะกับเรซินในทางเคมี หนึ่งในกระบวนการที่รวมวิธีทางกลและวิธีทางเคมีในการปรับปรุงพื้นผิวของโลหะ คือ วิธีไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง (Tribochemical silica coating) ซึ่งเป็นวิธีปรับสภาพผิวด้วยซิลิกา (Silica) โดยใช้พลังงานกล (mechanical energy) เพื่อให้เกิดพันธะเคมีร่วมกับการใช้สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) เพื่อเพิ่มการยึดติด สำหรับยี่ห้อทางการค้าที่มีจำหน่ายในปัจจุบันคือ โคเจท (Cojet, 3M ESPE, USA) และโรคาเทค (Rocatec, 3M ESPE USA) อย่างไรก็ตาม ไทเทเนียมซึ่งเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ทำหลักยึด จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงพื้นผิวทั้งวิธีทางกลและวิธีทางเคมี ดังนั้น วิธีไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งจึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงพื้นผิวที่เหมาะสมของไทเทเนียม⁽⁶⁰⁾

ในปัจจุบัน ไม่มีผลการศึกษาแน่ชัดถึงผลของการปรับปรุงพื้นผิวไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ แต่จากการศึกษาผลของความแข็งแรงเฉือนระหว่างไทเทเนียมกับซีเมนต์ผสมสารยึดติด พบว่า วิธีไตรโบเคมีคอลในห้องปฏิบัติการหรือโรคาค์เทค ให้ค่าความแข็งแรงเฉือนสูงสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองอื่นซึ่งประกอบด้วย วิธีไตรโบเคมีคอลในทางคลินิกหรือโคเจท วิธีการกัดและวิธีเลเซอร์ โดยวิธีไตรโบเคมีคอลในทางคลินิกหรือโคเจทและวิธีการกัดเป็นวิธีที่ให้ค่าความแข็งแรงเฉือนรองลงมาและทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม วิธีไตรโบเคมีคอลในทางคลินิกหรือโคเจทมีข้อดี คือ เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสะดวกในการใช้งานในทางคลินิกมากกว่าวิธีอื่น⁽⁶⁰⁾ นอกจากนี้ จากรายงานการศึกษาถึงผลของการเป่าทรายด้วยอนุภาคซิลิกาบนพื้นผิวของไทเทเนียม พบว่า อนุภาคดังกล่าวสามารถทำให้เกิดความลึกบนผิวของไทเทเนียมที่ระดับ 8.1-12.6 ไมโครเมตร และไม่มี ความแตกต่างกันของความลึกจากปัจจัยด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค⁽⁶¹⁾ อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่กล่าวมาเป็นการศึกษาบนผิวไทเทเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการบนพื้นผิว แต่ในด้านของความสวยงาม การปรับปรุงสีของไทเทเนียมด้วยวิธีการไฟฟ้าเคมีอะโนไดซ์เป็นแนวทางที่ยังขาดการศึกษา ถึงผลกระทบหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการต่างๆ ดังนั้น การศึกษาเพิ่มเติมในด้านคุณสมบัติเชิงกายภาพเป็นสิ่งที่ควรได้รับการศึกษาต่อไป

ในการศึกษาเกี่ยวกับสีของอวัยวะปริทันต์รอบรากเทียม มีการศึกษาหลากหลายทั้งในห้องปฏิบัติการและทางคลินิก จากการศึกษาของ Park และคณะ⁽⁶²⁾ เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีของเนื้อเยื่ออ่อนรอบรากเทียมกับพื้นธรรมชาติในทางคลินิก พบว่า ในตำแหน่ง 1 มิลลิเมตร ต่ำจากขอบเหงือกมีค่าความแตกต่างของสีของเนื้อเยื่ออ่อนรอบรากเทียมมากที่สุดและลดลงเมื่อตำแหน่งของเนื้อเยื่ออ่อนอยู่ห่างจากขอบเหงือกมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม นอกจากตำแหน่งของเนื้อเยื่ออ่อน ค่าความแตกต่างของสีขึ้นกับความหนาของเนื้อเยื่อในบริเวณนั้นด้วย โดยเนื้อเยื่อที่มีลักษณะบางจะให้ค่าความแตกต่างของสีมากกว่าเนื้อเยื่อที่มีลักษณะหนา นอกจากนี้ ไทเทเนียมยังเป็นวัสดุทำหลักยึดที่ให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าเซอร์โคเนียและทองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁽⁶³⁾ และจากการศึกษาของ Ishikawa-Nagai และคณะ⁽⁶⁴⁾ ในการเปรียบเทียบสีในเนื้อเยื่ออ่อนบริเวณส่วนคอของรากเทียมพบว่า สีชมพูอ่อนให้ค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นธรรมชาติ ในขณะที่สีม่วงให้ค่าความแตกต่างของสีมากที่สุดเนื่องจากองค์ประกอบของสีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในความทึบของแสงและความเข้มของสีมากกว่าสีอื่นที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับการประเมินความหนาของเหงือกที่มีความแม่นยำ ได้รับการยอมรับและปฏิบัติได้จริงในปัจจุบัน คือ การใช้เครื่องมือตรวจปริทันต์ (Periodontal probe) เพื่อดูความหนาของเหงือกในผู้ป่วยผ่านการมองแถบสีของเครื่องมือตรวจปริทันต์ โดยที่ระดับความหนาของเหงือกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 มิลลิเมตรหรือลักษณะเหงือกบาง (thin biotype) จะสามารถมองเห็นแถบสีบนเครื่องมือตรวจปริทันต์ ในขณะที่ความหนามากกว่า 1 มิลลิเมตรหรือลักษณะเหงือกหนา (thick biotype) จะไม่สามารถมองเห็นแถบสีบนเครื่องมือตรวจปริทันต์ นอกจากนี้ การประเมินด้วยวิธีการใช้เครื่องมือตรวจปริทันต์ยังเป็นวิธีการที่เชื่อถือได้ และเพียงพอมากกว่าการประเมินด้วยสายตาเพียงอย่างเดียว⁽⁶⁵⁾

ในปัจจุบัน วัสดุทางทันตกรรมที่ลอกเลียนส่วนเนื้อเยื่ออ่อนของเหงือกยังมีความไม่สัมพันธ์ของสีและความสวยงามเมื่อเปรียบเทียบกับเหงือกจริงในพันธุกรรมชาติ จากรายงานการศึกษาของ Samast และคณะ⁽⁶⁶⁾ กล่าวว่า วัสดุทางทันตกรรมที่ลอกเลียนส่วนเนื้อเยื่ออ่อนของเหงือกที่หลากหลาย อาทิเช่น เรซินคอมโพสิต (Resin composite) และเซรามิกยังจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาในด้านสีและความสวยงามให้เหงือกจำลองมากยิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ การใช้วัสดุทางทันตกรรมที่มีสีคงที่และสามารถเป็นตัวแทนของเหงือกที่มีลักษณะบาง เป็นวัตถุประสงค์สำคัญในการหาวัสดุทางทันตกรรมที่นำมาใช้เป็นวัสดุเหงือกจำลองในการทดลองกับวัสดุทำหลักยึดบนรากเทียม ผู้วิจัยสนใจที่จะใช้วัสดุซอฟต์แวร์ไฮเนออร์ ยี่ห้อซอฟท์ไลน์เมดิอัม (Softliner tough Medium, Tokuyama, Japan) ซึ่งเป็นวัสดุกลุ่มซิลิโคนแบบเติมที่มีรายงานการศึกษาถึงความคงที่ของสีหลังการใช้งาน⁽⁶⁷⁾ อีกทั้งในการทดลองของวิจัย เพื่อทดสอบความโปร่งแสงของวัสดุผ่านการใช้เครื่องมือตรวจปริทันต์ พบว่า วัสดุดังกล่าวให้ความโปร่งแสงที่มองเห็นแถบสีของเครื่องมือตรวจปริทันต์ ในระดับความหนาที่ใกล้เคียงเหงือกจริงในพันธุกรรมชาติ

สีของวัสดุบูรณะ เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความสวยงามของการบูรณะในทางทันตกรรม มาตรฐานการวัดสีที่นิยมทางทันตกรรมในปัจจุบันได้แก่ ซีไอแอลป์ (CIELAB) ซึ่งใช้สูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์เป็นตัวแทนของการวัดสีในแต่ละระดับ รวมถึงใช้คำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE : color differences) จากปัจจัยที่มีผลต่อการรับรู้สีที่เปลี่ยนแปลงไป ซีไอแอลป์เป็นช่วงของสีในแบบ 3 มิติซึ่งประกอบด้วย ความสว่าง (L^* :lightness(value)) ค่าสีเขียวแดง (a^* :green-red chromatic coordinate) และค่าสีน้ำเงินเหลือง (b^* :blue-yellow chromatic coordinate) แต่ละค่าสีมีช่วงระหว่างค่าบวกและค่าลบ โดยความสว่างมากจะมีค่าเป็นบวกและความสว่างน้อยมีค่าเป็นลบ สีแดงมีค่าเป็นบวกและสีเขียวมีค่าเป็นลบ สีเหลืองมีค่าเป็นบวกและสีน้ำเงินมีค่าเป็นลบ

ตามลำดับ ค่าความแตกต่างของสีระหว่างสี 2 สีสามารถคำนวณได้จากสูตรคณิตศาสตร์ที่รวมแต่ ละค่าในระบบซีไออีแอลไปไว้ ค่าความแตกต่างของสีเป็นตัวบ่งชี้สำคัญถึงความถูกต้องของสีระหว่าง ส่วนบูรณะทางทันตกรรมและฟันธรรมชาติข้างเคียง วิธีการในการแปลผลของค่าความแตกต่าง ของสีอาศัยขีดแบ่งระดับสายตา (visual threshold) โดยเฉพาะขีดแบ่งการรับรู้ 50:50% (50:50% perceptibility threshold) และขีดแบ่งการยอมรับ 50:50% (50:50% acceptability threshold)⁽⁵⁶⁾ จากการศึกษาของ Paravina และคณะในปี 2015⁽⁶⁸⁾ พบว่า ขีดแบ่งการรับรู้ 50:50% ของผู้สังเกต 175 คนจากหลากหลายอาชีพในสาขาทันตกรรม ตรงกับค่าความแตกต่างของสีที่ 1.2 ในขณะที่ ขีดแบ่งการยอมรับ 50:50% ตรงกับค่าความแตกต่างของสีที่ 2.7 ตามระบบซีไออีแอลเมื่อใช้วัสดุ เซรามิกเป็นตัวแทนของฟันธรรมชาติ และจากการศึกษาของ Perez และคณะ⁽⁶⁹⁾ ซึ่งศึกษาในผู้ สังเกต 30 คน (ทันตแพทย์ 15 คน, บุคคลทั่วไป 15 คน) จากการศึกษาผ่านภาพจำลองเสมือน หนึ่งจอ พบว่า ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิกในเหงือกมนุษย์ คือ 3.7 ($\Delta E_{ab} < 3.7$)

สำหรับเครื่องมือในการวัดสีที่น่าเชื่อถือ แม่นยำและมีประโยชน์ทางทันตกรรมในปัจจุบัน ได้แก่ เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สามารถวัด คลื่นแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุในหลายตำแหน่ง และแสดงผลออกมาในรูปของข้อมูลสีเชิง สเปกตรัม (spectral color data)⁽⁵⁶⁾ เมื่อเปรียบเทียบกับการประเมินสีด้วยสายตา พบว่า เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์สามารถจับคู่สีได้ถูกต้องถึงร้อยละ 83.3 ของกรณีศึกษาทั้งหมด ในขณะที่ การประเมินด้วยสายตาสามารถจับคู่สีได้ถูกต้องเพียงร้อยละ 26.6 ของกรณีศึกษาทั้งหมด และ เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีจากแถบสีที่ได้รับการประเมินสีด้วยสายตา และเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์เปรียบเทียบกับฟันธรรมชาติ พบว่า การประเมินสีด้วยสายตา มีค่าความ แตกต่างของสีระหว่างแถบสีที่เลือกกับฟันธรรมชาติสูงกว่า เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ถึงร้อยละ 93.3 จากกรณีศึกษาทั้งหมด และจากการศึกษาในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อ อีซีเชด (Easyshade, VITA, Germany) พบว่า ความแม่นยำในการวัดผลของเครื่องวัด อีซีเชด สูงถึงร้อย ละ 90 ในขณะที่การประเมินด้วยสายตาให้ความแม่นยำเพียงร้อยละ 50⁽⁷⁰⁾

ตัวกลางในการวัดสีเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการวัดสีในงานวิจัย ในทางคลินิกตัวกลาง ระหว่างวัสดุบูรณะและหลักยึดคือ ซีเมนต์ (cement) แต่ในการวิจัยในห้องปฏิบัติการด้านสีของ วัสดุ การใช้เฉพาะซีเมนต์เป็นตัวกลางระหว่างวัสดุอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในวัสดุที่ วัดได้ ดังนั้น ในการศึกษาของ Ceylan และคณะ⁽⁷¹⁾ แนะนำให้ใช้ สารละลายกลีเซอรอล (glycerol solutions) เพื่อเพิ่มการหักเหของแสงจากวัสดุหนึ่งไปอีกรวัสดุหนึ่งในการวิจัยวัสดุทางทันตกรรม เนื่องจากสารละลายกลีเซอรอลมีค่าการหักเหของแสงใกล้เคียงกับส่วนเคลือบฟัน และเนื้อฟันใน

พันธธรรมชาติ อีกรหัสารละลยดงกล่าวเป็นสาร์ละลยไม่มีสัจจสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์
ทางสึในวัสดุทางทันตกรรม



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

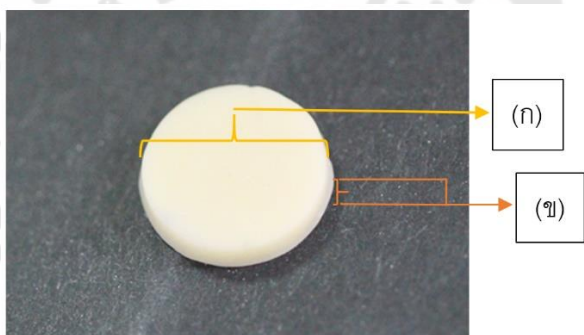
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. คอมโพสิตเรซิน (Filtek Z350XT; 3M ESPE, USA) สีเนื้อฟันเอสสอง (Dentin, A2)
2. ชั้นทดสอบเซอร์โคเนีย (Zirkon Translucent, Zirkozahn, Italy)
3. ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียม (Titanium grade 5, Baoji Seabird Metal Material, China)
4. ชั้นทดสอบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต (IPS e.max CAD medium translucency; Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein)
5. วัสดุเสริมฐานฟันเทียม (Softliner tough medium, Tokuyama, Japan)
6. สารละลายกลีเซอริน
7. กล้องดำและยางสีดำกำหนดตำแหน่ง
8. แม่พิมพ์สร้างชั้นทดสอบ
9. แผ่นกระจกสไลด์
10. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easysshade V ; Vita, Germany)
11. เครื่องฉายแสงแบบแอลอีดี (LED P-Pen, Vector, USA)
12. โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Tinkercad, Autodesk, USA)
13. เครื่องกลึงโลหะหนักเอ็มโฟว์ (M4 Wet Heavy Metal Milling Unit, Zirkozahn, Italy)
14. เครื่องตัดความเร็วต่ำ (Isomet1000, Buehler, USA)
15. เครื่องขัดเรียบ (Phoenix Beta, Buehler, USA)
16. เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Biosonic UC125H, Caltene/Whaldent, USA)
17. อุปกรณ์จ่ายไฟ (KPS1203D, Wanptek, China)
18. สารซิลิกาโคเจ็ต (Cojet, 3M ESPE, USA)
19. เครื่องพ่นทรายในคลินิก (Micro etcher II, Danville, USA)
20. เครื่องวัด (Calipretto S, Renfert, Germany)
21. เตาเผาสุญญากาศ (Programmat P300, Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein)
22. เครื่องมือตรวจปริทันต์ (Metal probe, Hu-Friedy, USA)

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบพื้นหลัง

1. ชิ้นทดสอบคอมโพสิตเรซิน (Filtek Z350XT; 3M ESPE, USA) สีเนื้อฟันเอสสอง (Dentin, A2) รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ระดับความหนา 2 มิลลิเมตร (ภาพประกอบ 1) จำนวน 1 ชิ้น (กลุ่มควบคุม)

อุดคอมโพสิตเรซินในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ อุดแบบเป็นชั้น (Incremental layering technique) เพื่อลดการหดตัวของคอมโพสิตเรซิน จากนั้นปิดทับด้วยแผ่นกระจกสไลด์แล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแบบแอลอีดี (LED P-Pen, Vector, USA) ที่ผ่านการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) รูปแบบความเข้มแสงจากน้อยไปมาก (soft strat mode) ชั้นละ 20 วินาที ที่ความเข้มแสง 750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



ภาพประกอบ 1 ชิ้นทดสอบคอมโพสิตเรซิน เส้นผ่าศูนย์กลาง (ก) 11 มิลลิเมตร ความหนา (ข) 2 มิลลิเมตร

2. ชิ้นทดสอบเซอร์โคเนีย (Zirkon Translucent, Zirkonzahn, Italy) รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ระดับความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 7 ชิ้น (ภาพประกอบ 2)

ออกแบบรูปทรงของชิ้นทดสอบในระบบคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Tinkercad, Autodesk, USA) ดำเนินการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึงโลหะหนักเอ็มโฟว์ (M4 Wet Heavy Metal Milling Unit, Zirkonzahn, Italy) (ภาพประกอบ 3)



ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างชิ้นทดสอบเซอร์โคเนีย



ภาพประกอบ 3 เครื่องกลึงโลหะหนักเอ็มโพว์ ใช้กลึงชิ้นทดสอบเซอร์โคเนีย

3. ชิ้นทดสอบโลหะไทเทเนียม (Titanium grade 5, Baoji Seabird Metal Material, China) รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ระดับความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 70 ชิ้น (ภาพประกอบ 4)

ไทเทเนียมเกรด 5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร ตัดด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ (Isomet1000, Buehler, USA) ความหนาชิ้นละ 2 มิลลิเมตร จำนวน 70 ชิ้น

4. นำชิ้นทดสอบในข้อ 1.-3. มาขัดพื้นผิวภายใต้การหล่อเย็นที่ความละเอียด 600, 800, 1000 และ 1200 ของกระดาษทรายน้ำด้วยเครื่องขัดเรียบ (Phoenix Beta, Buehler, USA) ด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิก (Biosonic UC125H, Caltene/Whaldent, USA) ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง

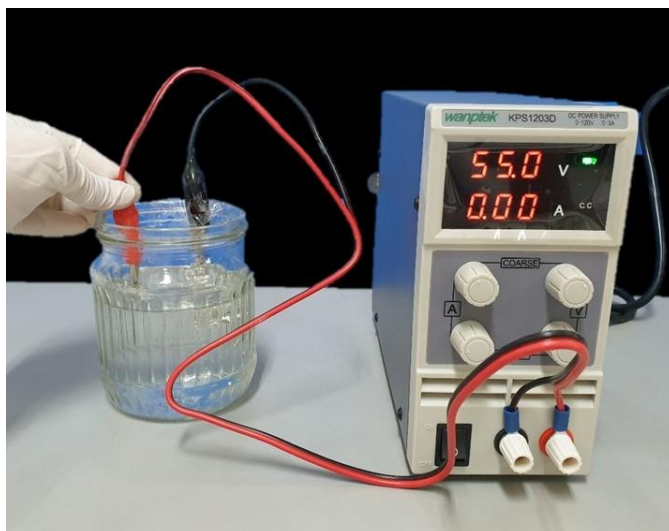
ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบพื้นหลังไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์และการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอลล ซิลิกาโคทติ้ง

1. ชิ้นทดสอบโลหะไทเทเนียม (Titanium grade 5, Baoji Seabird Metal Material, China) ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์เพื่อให้เกิดสีบนชิ้นโลหะทดสอบ รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ระดับความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 56 ชิ้น (ภาพประกอบ 4)

นำชิ้นทดสอบโลหะที่ผ่านกระบวนการขัดแต่งและทำความสะอาดจำนวน 56 ชิ้น มาผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง โดยใช้สารละลายไฮเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.96 โดยมวล เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ยึดชิ้นทดสอบโลหะไทเทเนียมเข้ากับขั้วบวกและยึดแผ่นโลหะสแตนเลสขนาด 3x6 เซนติเมตรเข้ากับขั้วลบของวงจรไฟฟ้า ให้กระแสไฟฟ้าผ่านวงจรไฟฟ้าจากอุปกรณ์จ่ายไฟ (KPS1203D, Wanptek, China) ที่ความเข้ม 40, 50, 60 และ 70 โวลต์อย่างละ 14 ชิ้น เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นทำความสะอาดชิ้นทดสอบด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง เก็บรักษาไว้ในกล่องกันความชื้นจนกว่าจะนำมาทำการวิเคราะห์หรือปรับปรุงผิว (ภาพประกอบ 5)



ภาพประกอบ 4 ตัวอย่างชิ้นทดสอบไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่ความเข้ม 40, 50, 60 และ 70 โวลต์(ซ้ายไปขวา)



ภาพประกอบ 5 การทำอะโนไดซ์บนชั้นทดสอบไทเทเนียม

2. ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียม (Titan5, Zirkozahn, Italy) ปรับปรุงผิวของชั้นทดสอบด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ระดับความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 7 ชั้น และชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ระดับความหนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 28 ชั้น (ความเข้ม 40, 50, 60 และ 70 โวลต์อย่างละ 7 ชั้น) ปรับปรุงผิวของชั้นทดสอบด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง (ภาพประกอบ 6)

นำชั้นทดสอบโลหะที่ผ่านกระบวนการขัดแต่งและทำความสะอาด จำนวน 7 ชั้น และชั้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ จำนวน 28 ชั้น (ความเข้ม 40, 50, 60 และ 70 โวลต์อย่างละ 2 ชั้น) มาผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการอัดสารซิลิกาโคเจ็ต (Cojet, 3M ESPE, USA) ด้วยเครื่องพ่นทรายในคลินิก (Micro etcher II, Danville, USA) ที่ความดัน 2 บาร์ ระยะห่างจากชั้นทดสอบ 10 มิลลิเมตร เป็นเวลา 15 วินาที เมื่อพ่นทรายเสร็จนำชั้นทดสอบเป่าอนุภาคซิลิกาส่วนเกินออกด้วยกระบอกฉีดลมที่ความห่างชั้นทดสอบ 10 มิลลิเมตร (ภาพประกอบ 7)



ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างชิ้นทดสอบไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่ความเข้ม 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้ง(ซ้ายไปขวา)



ภาพประกอบ 7 การปรับปรุงผิวไทเทเนียมด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้ง

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต

1. ชิ้นทดสอบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต (IPS e.max CAD medium translucency; Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein) รูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยม (A1) เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร จำนวน 28 ชิ้น แบ่งชิ้นทดสอบเป็น 4 กลุ่มที่ระดับความหนา 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร กลุ่มละ 7 ชิ้น (ภาพประกอบ 8)

ออกแบบรูปทรงของชิ้นทดสอบในระบบคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ (Tinkercad, Autodesk, USA) ดำเนินการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึงมาสเตอร์มิลล์ เอ็นโพรว์ (MasterMill N4, VHF, Germany) (ภาพประกอบ 9)



ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างชิ้นทดสอบเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซลิเกตความหนา 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร(ซ้ายไปขวา)



ภาพประกอบ 9 เครื่องกลึงมาสเตอร์มิลล์ เอ็นไฟว์ ใช้กลึงชิ้นทดสอบลิเทียมไดซลิเกต

2. นำชิ้นทดสอบมาขัดพื้นผิว 1 ด้านภายใต้การหล่อเย็นที่ความละเอียด 600, 800, 1000 และ 1200 ของกระดาษทรายน้ำด้วยเครื่องขัดเรียบ (Phoenix Beta, Buehler, USA) ด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 วินาที ตรวจสอบความหนาของชิ้นทดสอบหลังการขัดด้วยเครื่องวัด (Calipretto S, Renfert, Germany) จากนั้นนำไปเผาเพื่อให้เกิดการตกผลึกในเตาเผาสุญญากาศตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (Programmat P300, Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein) ชิ้นทดสอบดังกล่าวไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว (glazing) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นทดสอบ

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบวัสดุเหือกจำลอง

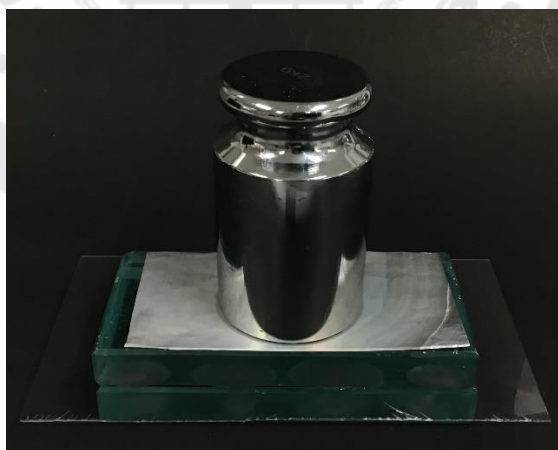
1. ชิ้นทดสอบวัสดุเหือกจำลองทำจากวัสดุเสริมฐานพื้นเทียม (Softliner tough medium, Tokuyama, Japan) รูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 12 ชิ้น (ภาพประกอบ 10)

ฉีดวัสดุเสริมฐานฟันเทียมชนิดปานกลางลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ จากนั้นปิดทับด้วยแผ่นกระจกใสแล้วนำลูกตุ้มเหล็กหนัก 1 กิโลกรัมวางบนแผ่นโลหะที่วางทับกระจกใสทิ้งไว้จนวัสดุแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาทีตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เมื่อวัสดุแข็งตัวแล้วกำจัดส่วนเกินของวัสดุออก (ภาพประกอบ 11)

2. นำชิ้นทดสอบวัสดุเหล็กจำลองมาตรวจสอบความหนาของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องวัด (Calipretto S, Renfert, Germany) แล้วตรวจสอบการมองเห็นแถบสีผ่านเครื่องมือตรวจปริทันต์ (Metal probe, Hu-Friedy, USA)



ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างชิ้นทดสอบวัสดุเหล็กจำลอง



ภาพประกอบ 11 แสดงขั้นตอนการทำวัสดุเหล็กจำลอง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

1. การแบ่งกลุ่มตัวอย่างการทดสอบด้วยลิเทียมไดซิลิเกต

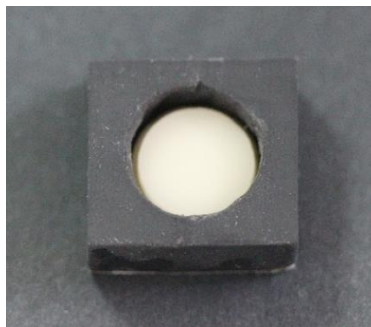
ชั้นทดสอบลิเทียมไดซลิเกต 28 ชั้น แบ่งตามระดับความหนาของชั้นทดสอบ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร กลุ่มละ 7 ชั้น แต่ละระดับความหนาถูกสุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) นำไปทดสอบกับชั้นทดสอบเรซินคอมโพสิต (กลุ่มควบคุม) ชั้นทดสอบเซอร์โคเนีย ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียม ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ความเข้มไฟฟ้า 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียมที่ปรับปรุงผิวของชั้นทดสอบด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง และชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ความเข้มไฟฟ้า 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ที่ปรับปรุงผิวของชั้นทดสอบด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง

2. การแบ่งกลุ่มตัวอย่างการทดสอบด้วยวัสดุเหงือกจำลอง

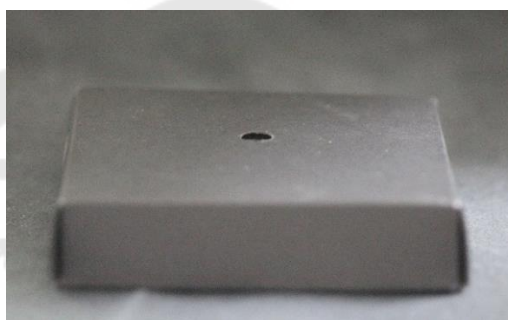
ชั้นทดสอบวัสดุเหงือกจำลอง 12 ชั้น ทำการสุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) นำไปทดสอบกับชั้นทดสอบเรซินคอมโพสิต (กลุ่มควบคุม) ชั้นทดสอบเซอร์โคเนีย ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียม ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ความเข้มไฟฟ้า 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ ชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียมที่ปรับปรุงผิวของชั้นทดสอบด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง และชั้นทดสอบโลหะไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่ความเข้มไฟฟ้า 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ที่ปรับปรุงผิวของชั้นทดสอบด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง

การนำชั้นทดสอบลงแบบกำหนดตำแหน่ง

ใส่ชั้นทดสอบพื้นหลังลงแบบกำหนดตำแหน่งจากยางสีดำ (ภาพประกอบ 12) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร ลึก 5 มิลลิเมตร หยดสารละลายเกลือรีนจำนวน 3 หยดลงบนชั้นทดสอบพื้นหลัง แล้วปิดทับด้วยชั้นทดสอบลิเทียมไดซลิเกตด้านไม่ขัดพื้นผิวหรือวัสดุเหงือกจำลอง ตามการแบ่งกลุ่มตัวอย่างการทดสอบด้วยลิเทียมไดซลิเกตและวัสดุเหงือกจำลอง ตามลำดับ ใส่ลงกล่องดำปิดสนิทที่เจาะรูด้านบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (ภาพประกอบ 13) สำหรับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



ภาพประกอบ 12 แบบกำหนดตำแหน่งจากยางสีดำ



ภาพประกอบ 13 ก่องดำปิดสนิทเจาะรูด้านบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรสำหรับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ขั้นตอนการวัดสีชั้นทดสอบ

1. ใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easyshade V ; Vita, Germany) (ภาพประกอบ 14) ก่อนการใช้งานทำการสอบเทียบเครื่องมือ ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต จากนั้นวัดสีชั้นทดสอบโดยให้ปลายของเครื่องมือสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แนบสนิทกับชั้นทดสอบในตำแหน่งกึ่งกลางของชั้นทดสอบ แล้วทำการวัดสีจำนวน 3 ครั้งต่อชั้นทดสอบ เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แสดงผลออกมาในรูปแบบของค่า L^* a^* และ b^* บันทึกค่าที่ได้ตารางบันทึกข้อมูล (ภาพประกอบ 15)



ภาพประกอบ 14 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Vita Easshade V ; Vita, Germany)



ภาพประกอบ 15 แสดงการวัดสีขึ้นทดสอบด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2. ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง
คำนวณจากสูตร

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

โดย (ΔL) คือ ความแตกต่างระหว่าง L^* ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

(Δa) คือ ความแตกต่างระหว่าง a^* ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

(Δb) คือ ความแตกต่างระหว่าง b^* ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

สำหรับค่าความแตกต่างของสีในวัสดุเทียมไดซิลิเกตใช้ค่าความแตกต่างของสีที่น้อยกว่า 2.7 เป็นค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก (Paravina และคณะ, 2015) และสำหรับค่าความแตกต่างของสีในวัสดุเหล็กจาลองใช้ค่าความแตกต่างของสีที่น้อยกว่า 3.7 เป็นค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก (Perez และคณะ, 2019)

การวิเคราะห์ข้อมูล

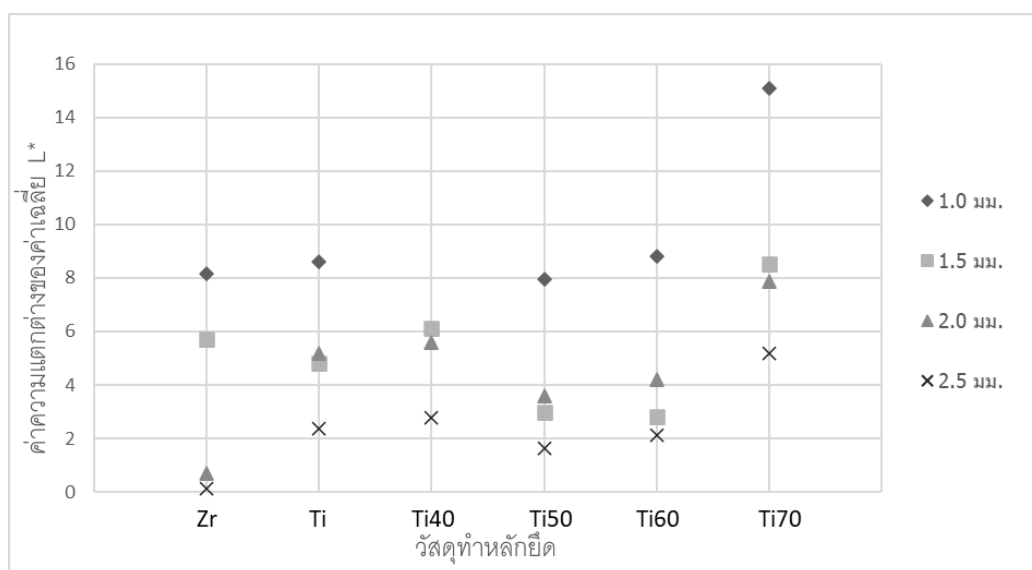
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1.การวิเคราะห์ทางสถิติผ่านโปรแกรมเอสพีเอสเอส (IBM SPSS statistics version 21.0; SPSS Inc.) โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) ช่วงความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 ($p\text{-value}<0.05$) ในการทดสอบสมมุติฐานของวัสดุบูรณะ ซึ่งมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวคือ ความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึด

2.การวิเคราะห์ทางสถิติผ่านโปรแกรมเอสพีเอสเอส โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ทดสอบภายหลัง (Post Hoc Test) ด้วยวิธีทดสอบทูเก้ (Tukey's test) ช่วงความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 ($p\text{-value}<0.05$) ในการทดสอบสมมุติฐานของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกา โคทติ้ง โดยการทดสอบค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่

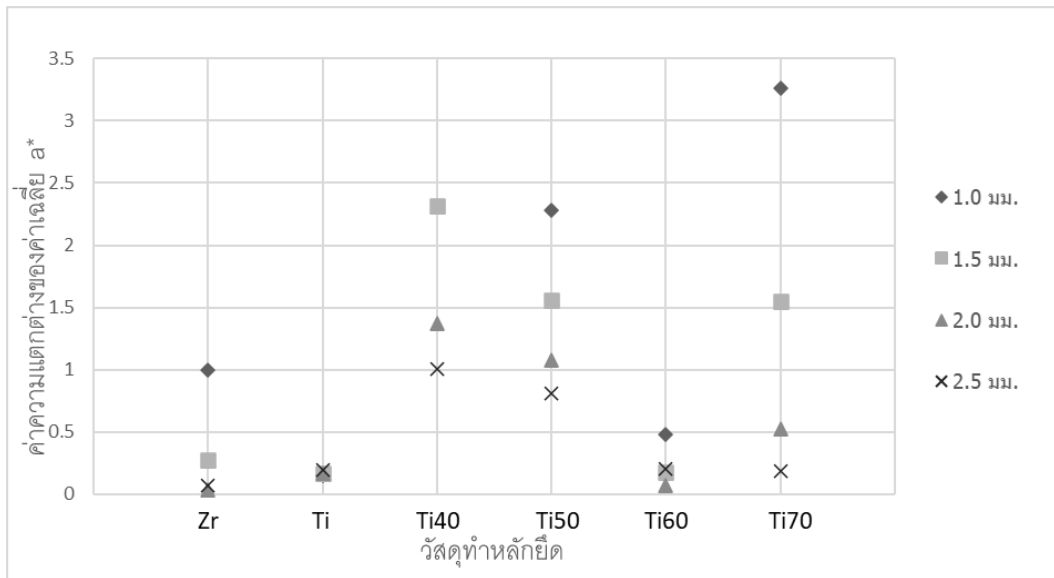
3.การวิเคราะห์ทางสถิติผ่านโปรแกรมเอสพีเอสเอส โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ช่วงความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 ($p\text{-value}<0.05$) ในการทดสอบสมมุติฐานของวัสดุเหล็กจาลอง ซึ่งมีตัวแปรอิสระ 1 ตัวคือ วัสดุทำหลักยึด

ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน L^* , a^* และ b^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต บนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม จำแนกตามความหนาของเซรามิกและพื้นหลังจากวัสดุทำหลักยึดรากเทียมปรากฏในตาราง 1 ไม่มีข้อมูลของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน L^* , a^* และ b^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตความหนา 1 มิลลิเมตรบนไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ เนื่องจากค่าสีในกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวไม่สามารถอ่านค่าได้จากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

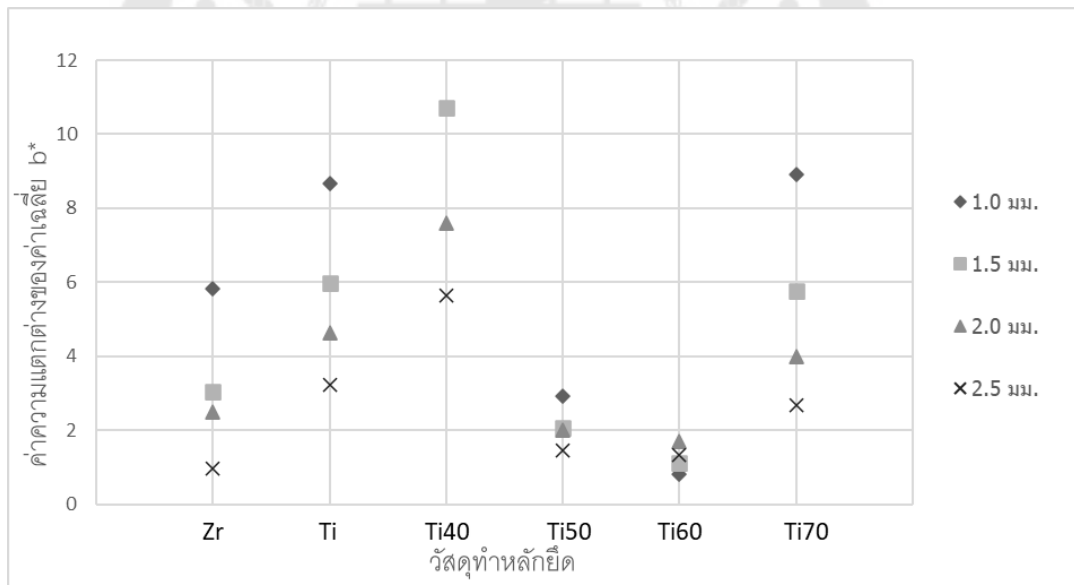


ภาพประกอบ 16 แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ที่ระดับความหนาต่างๆบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)

(Zr: เซอร์โคเนีย, Ti: ไทเทเนียม, Ti40: ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์, Ti50: ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์, Ti60: ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ และ Ti70: ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์)



ภาพประกอบ 17 แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ที่ระดับความหนาต่างๆบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)



ภาพประกอบ 18 แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย b^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ที่ระดับความหนาต่างๆบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)

จากตาราง 1 นำข้อมูลมาหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ L^* , a^* และ b^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ระดับความหนาต่างๆ บนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม) ได้ตั้งแผนภูมิในภาพประกอบ 16-18

แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 1.0 มิลลิเมตร ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* ของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ให้ค่าต่ำสุด รองลงมาคือ เซอร์โคเนีย ,ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 1.5 มิลลิเมตร วัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* ต่ำสุด รองลงมาคือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* ของเซอร์โคเนียลดลงจากความหนาเซรามิก 1.5 มิลลิเมตรถึง 2 มิลลิเมตรมากที่สุดในทุกกลุ่มตัวอย่างที่ระดับความหนาเดียวกัน และส่งผลให้วัสดุทำหลักยึดเซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* ต่ำสุดที่ระดับความหนาดังกล่าว รองลงมาคือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ในขณะที่ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* สูงสุดในทุกระดับความหนาของเซรามิก

แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* ของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมให้ค่าต่ำสุด รองลงมาคือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ,ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 2.0 มิลลิเมตร วัสดุทำหลักยึดเซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* ต่ำสุด รองลงมาคือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ และที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 2.5 มิลลิเมตร วัสดุทำหลักยึดเซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* ต่ำสุด รองลงมาคือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ ในขณะที่ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* สูงสุดที่ระดับความหนาของเซรามิก 1.0 มิลลิเมตร และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* สูงสุดที่ระดับความหนาของเซรามิก 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร

แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย b^* แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย b^* ของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ให้ค่าต่ำสุด รองลงมาคือ ไทเทเนียมผ่าน

กระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ เฉพาะระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 2.5 มิลลิเมตรเท่านั้นที่วัสดุทำหลักยึดเซอริโคเนียให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย b^* ต่ำสุด รองลงมาคือ โทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ในขณะที่โทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย b^* สูงสุดที่ระดับความหนาของเซรามิก 1.0 มิลลิเมตร และโทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย b^* สูงสุดที่ระดับความหนาของเซรามิก 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึด เปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)

ความหนาของเซรามิก (มม.)	1.0	1.5	2.0	2.5	Estimate mean
วัสดุทำหลักยึด					
เซอริโคเนีย	10.08±0.51	6.51±0.44	2.64±0.36*	1.07±0.07*	5.08
โทเทเนียม	12.21±0.17	7.68±0.11	6.96±0.30	4.01±0.14	7.71
โทเทเนียมผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์ 40 โวลต์	N/A	12.56±0.23	9.53±0.11	6.38±0.09	9.49 ^a
โทเทเนียมผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์ 50 โวลต์	8.79±0.20	3.96±0.24	4.29±0.16	2.37±0.25*	4.86
โทเทเนียมผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์ 60 โวลต์	8.87±0.26	3.08±0.43	4.56±0.18	2.53±0.22*	4.76
โทเทเนียมผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์ 70 โวลต์	17.83±0.56	10.41±0.13	8.85±0.13	5.82±0.18	10.73
Estimate mean	11.56	7.37	6.14	3.70	

* ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก (น้อยกว่า 2.7)

a คำนวณจากการปรับเปลี่ยนค่าเฉลี่ยขอบเขตของประชากร

จากการคำนวณทางสูตรคำนวณหาความแตกต่างของสีโดยใช้ค่า L^* , a^* และ b^* เปรียบเทียบกับค่า L^* , a^* และ b^* ในคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม) ได้ค่าความแตกต่างของสีของ

วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด มีค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสี จำแนกตามความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึด ดังตาราง 2

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตหนา 1.0 มิลลิเมตร มีค่า ตั้งแต่ 8.79 ถึง 17.83 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ เซอร์โคเนีย ไทเทเนียม และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ตามลำดับ ไม่มีข้อมูลในกลุ่มไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตหนา 1.5 มิลลิเมตร มีค่า ตั้งแต่ 3.08 ถึง 12.56 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ เซอร์โคเนีย ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตหนา 2.0 มิลลิเมตร มีค่า ตั้งแต่ 2.64 ถึง 9.53 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ เซอร์โคเนีย ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตหนา 2.5 มิลลิเมตร มีค่า ตั้งแต่ 1.07 ถึง 6.38 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ เซอร์โคเนีย ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ ตามลำดับ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตบน วัสดุทำหลักยึดรากเทียม จำแนกตามความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึด กับค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิกที่ 2.7 (Paravina และคณะ ,2015) พบว่า ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 2.0 มิลลิเมตร เฉพาะเซอร์โคเนีย (2.64 ± 0.36) เท่านั้นที่มีค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก และที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต 2.5 มิลลิเมตร เซอร์โคเนีย (1.07 ± 0.07) ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ (2.37 ± 0.25) และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ (2.53 ± 0.22) มีค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก

ตาราง 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึด

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
ความหนาของเซรามิก	3	1426.77	475.59	6390.52	.000*
วัสดุทำหลักยึด	5	1112.08	222.42	2988.60	.000*
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิก และวัสดุทำหลักยึด	14	170.93	12.21	164.06	.000*
ความคลาดเคลื่อน	138	10.27	0.07		
รวม	161	10404.08			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตาราง 3 พบว่า อิทธิพลของความหนาของเซรามิก ชนิดของวัสดุทำหลักยึด และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดต่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 4 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีจำแนกตามชนิดของวัสดุ
ทำหลักยึดเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบทูกี้

วัสดุทำหลักยึด	วัสดุทำหลักยึด	ผลต่าง ของ ค่าเฉลี่ย	SE	P
เซอริโคเนีย	ไทเทเนียม	-2.63*	0.07	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	-4.41*	0.08	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	0.22*	0.07	0.03
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	0.32*	0.07	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-5.65*	0.07	0
ไทเทเนียม	เซอริโคเนีย	2.63*	0.07	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	-1.78*	0.08	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	2.86*	0.07	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	2.95*	0.07	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-3.02*	0.07	0
ไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะ	เซอริโคเนีย	4.41*	0.08	0
	ไทเทเนียม	1.78*	0.08	0
โนไดซ์ 40 โวลต์	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	4.64*	0.08	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	4.73*	0.08	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-1.23*	0.08	0

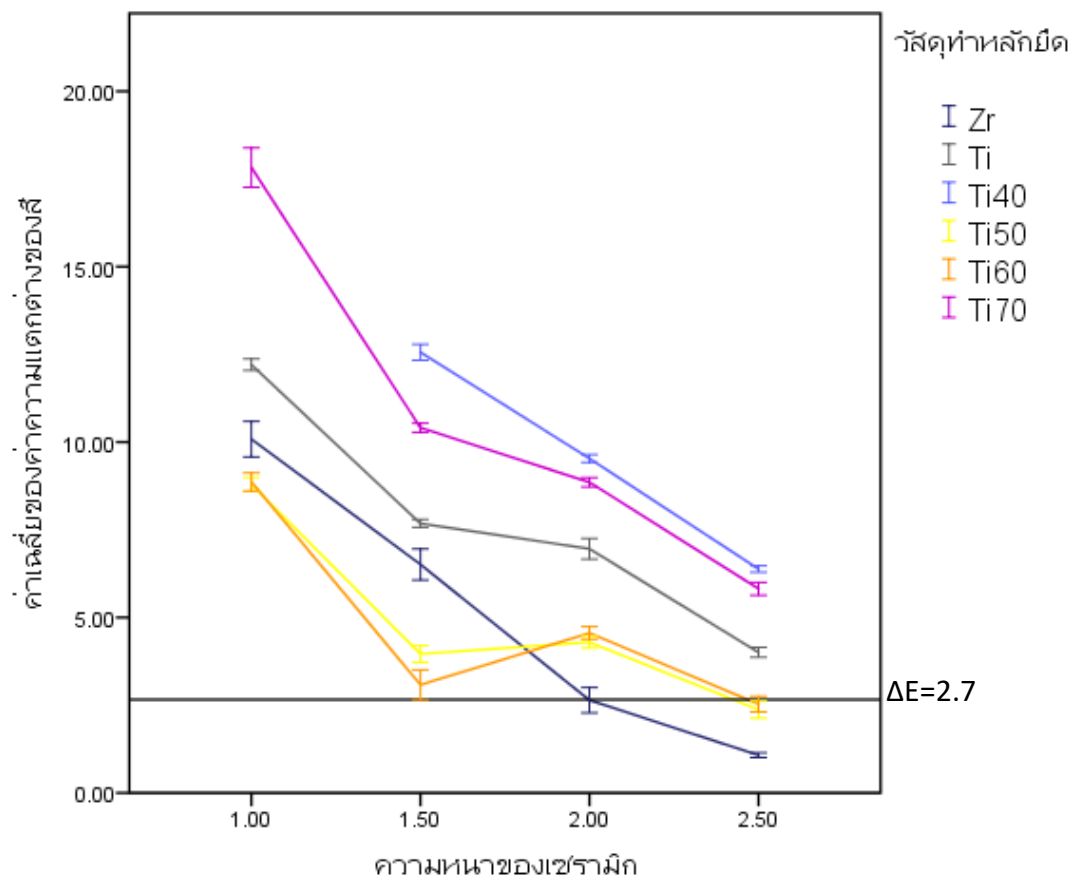
* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 4 (ต่อ)

วัสดุทำหลักยึด	วัสดุทำหลักยึด	ผลต่าง ของ ค่าเฉลี่ย	SE	P
ไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะ โนไดซ์ 50 โวลต์	เซอริโคเนีย ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	-0.22* -2.86* -4.64*	0.07 0.07 0.08	0.03 0 0
โวลต์	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	0.10 -5.87*	0.07 0.07	0.77 0
ไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะ โนไดซ์ 60 โวลต์	เซอริโคเนีย ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-0.32* -2.95* -4.73* -0.10 -5.97*	0.07 0.07 0.08 0.07 0.07	0 0 0 0.77 0
ไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะ โนไดซ์ 70 โวลต์	เซอริโคเนีย ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	5.65* 3.02* 1.24* 5.87* 5.97*	0.07 0.07 0.08 0.07 0.07	0 0 0 0 0

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 4 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีจำแนกตามชนิดของวัสดุทำหลักยึดเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบทุกคู่ พบว่า เฉพาะกลุ่มทดสอบไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์และ 60 โวลต์เท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในขณะที่กลุ่มทดสอบอื่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มทดสอบ ดังนี้ เซอริโคเนีย ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์



*ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ ± 1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (1S.D.)

ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด จากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี

การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซลิเกต จากอิทธิพลของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม

ตาราง 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า L^* a^* และ b^* จำแนกตามความหนาของเซรามิกและพื้นหลังจากวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง

ความหนาของ เซรามิก(มม.)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน($\bar{X}\pm S.D.$)											
	1.0			1.5			2.0			2.5		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
พื้นหลัง												
คอมโพสิตเรซิน (ตัวควบคุม)	84.05±0.49	-1.14±0.10	16.42±0.29	83.95±0.63	-1.41±0.09	15.08±0.30	85.79±0.88	-1.56±0.08	14.66±0.39	84.49±0.20	-1.68±0.10	14.19±0.32
ไทเทเนียม+ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	65.90±0.72	-3.02±0.07	5.39±0.26	74.10±0.80	-3.04±0.12	7.79±0.46	77.93±0.33	-2.85±0.13	9.63±0.42	80.05±0.57	-2.66±0.08	10.95±0.32
ไทเทเนียม,อะโน ไดซ์40โวลต์+ ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	65.70±0.46	-3.40±0.12	4.53±0.20	74.08±0.59	-3.24±0.11	7.31±0.35	78.15±0.61	-3.04±0.15	9.22±0.56	80.04±0.54	-2.80±0.11	10.58±0.36
ไทเทเนียม,อะโน ไดซ์50โวลต์+ ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	65.3±0.53	-3.26±0.04	4.88±0.25	74.07±0.63	-3.22±0.11	7.36±0.33	78.08±0.47	-3.02±0.09	9.23±0.37	80.11±0.36	-2.80±0.13	10.60±0.43
ไทเทเนียม,อะโน ไดซ์60โวลต์+ ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	66.57±0.45	-3.09±0.09	5.64±0.32	74.89±0.65	-3.08±0.10	7.88±0.40	78.43±0.52	-2.90±0.14	9.17±1.24	80.69±0.53	-2.72±0.11	10.89±0.35
ไทเทเนียม,อะโน ไดซ์70โวลต์+ ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	66.29±0.52	-3.00±0.19	5.14±0.32	75.05±0.67	-3.03±0.12	7.67±0.32	78.74±0.64	-2.90±0.10	9.52±0.40	80.78±0.33	-2.70±0.11	10.86±0.37

ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน L^* , a^* และ b^* ของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตบนวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง จำแนกตามความหนาของเซรามิกและพื้นหลังจากวัสดุทำหลักยึดรากเทียมปรากฏในตาราง 5

ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีจำแนกตามความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง เปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)

ความหนาของเซรามิก (มม.)	1.0	1.5	2.0	2.5	Estimate mean
วัสดุทำหลักยึด					
ไทเทเนียม,ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	21.32±0.75	12.37±0.91	9.43±0.49	5.59±0.64	12.17
ไทเทเนียมผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์ 40 โวลต์,ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	21.99±0.35	12.70±0.59	9.51±0.72	5.85±0.63	12.51
ไทเทเนียมผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์ 50 โวลต์,ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	22.12±0.58	12.67±0.69	9.54±0.55	5.77±0.54	12.53
ไทเทเนียมผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์ 60 โวลต์,ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	20.64±0.48	11.70±0.72	9.36±1.10	5.15±0.62	11.71
ไทเทเนียมผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์ 70 โวลต์,ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	21.13±0.60	11.71±0.63	8.83±0.62	5.09±0.49	11.69

* ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก (น้อยกว่า 2.7)

จากการคำนวณทางสูตรคำนวณหาความแตกต่างของสีโดยใช้ค่า L^* , a^* และ b^* เปรียบเทียบกับค่า L^* , a^* และ b^* ในคอมโพสิตเรซิน (ตัวควบคุม) ได้ค่าความแตกต่างของสีของ

วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด มีค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสี จำแนกตามความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตและวัสดุทำหลักยึด ดังตาราง 6

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตหนา 1.0 มิลลิเมตร มีค่า ตั้งแต่ 20.64 ถึง 22.12 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ ไทเทเนียม และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตหนา 1.5 มิลลิเมตร มีค่า ตั้งแต่ 11.70 ถึง 12.70 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตหนา 2.0 มิลลิเมตร มีค่า ตั้งแต่ 8.83 ถึง 9.54 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตหนา 2.5 มิลลิเมตร มีค่า ตั้งแต่ 5.09 ถึง 5.85 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ ตามลำดับ

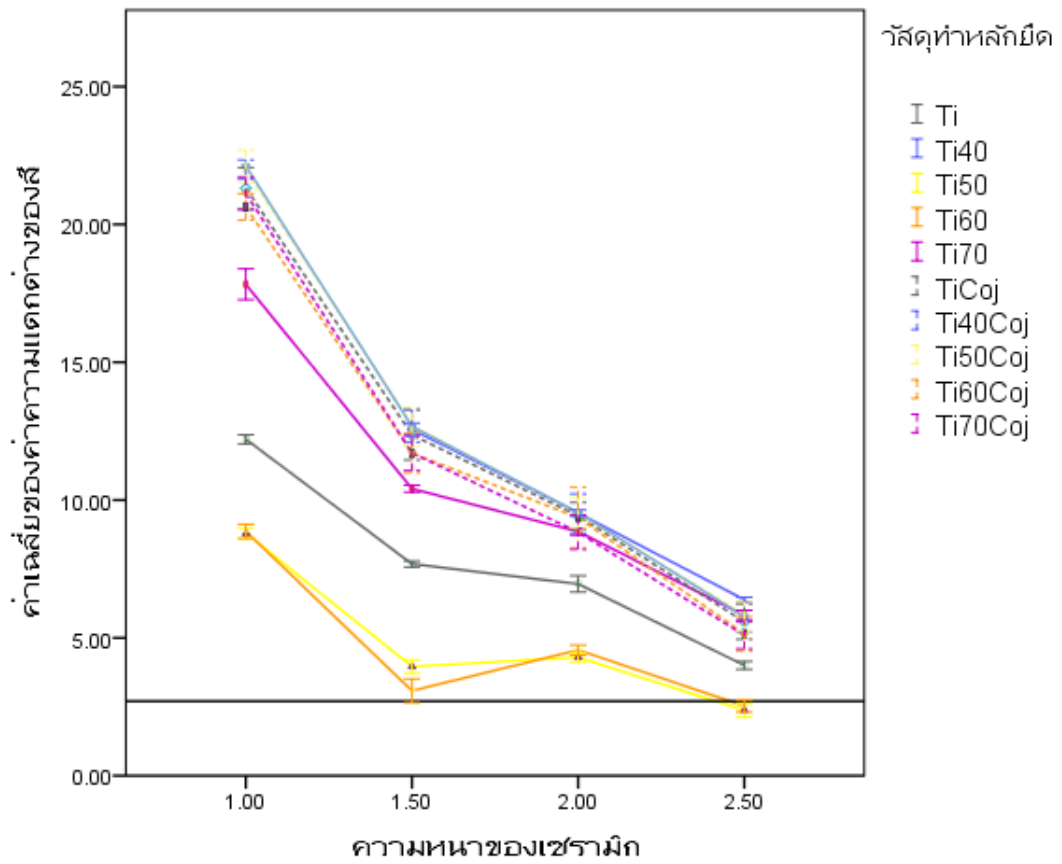
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตบน วัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง จำแนกตามความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึด กับค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก ที่ 2.7 (Paravina และคณะ ,2015) พบว่า ไม่มีกลุ่มตัวอย่างมีค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก

ตาราง 7 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของวัสดุทำหลักยึด
ไทเทเนียมที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งเป็นรายคู่
ด้วยวิธีทดสอบทูที

วัสดุทำหลักยึด	วัสดุทำหลักยึด	ผลต่าง ของ ค่าเฉลี่ย	SE	P
ไทเทเนียม	ไทเทเนียม+ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	-4.46*	0.13	0
ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์, ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	-3.02*	0.14	0
ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์, ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	-7.67*	0.13	0
ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์, ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	-6.95*	0.13	0
ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์, ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง	-0.96*	0.13	0

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 7 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีของไทเทเนียมที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งเป็นรายคู่ด้วยวิธีทดสอบทูที พบว่า ทุกกลุ่มตัวอย่างของไทเทเนียมที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง แตกต่างกับกลุ่มตัวอย่างของไทเทเนียมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



*ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ ± 1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (1S.D.)

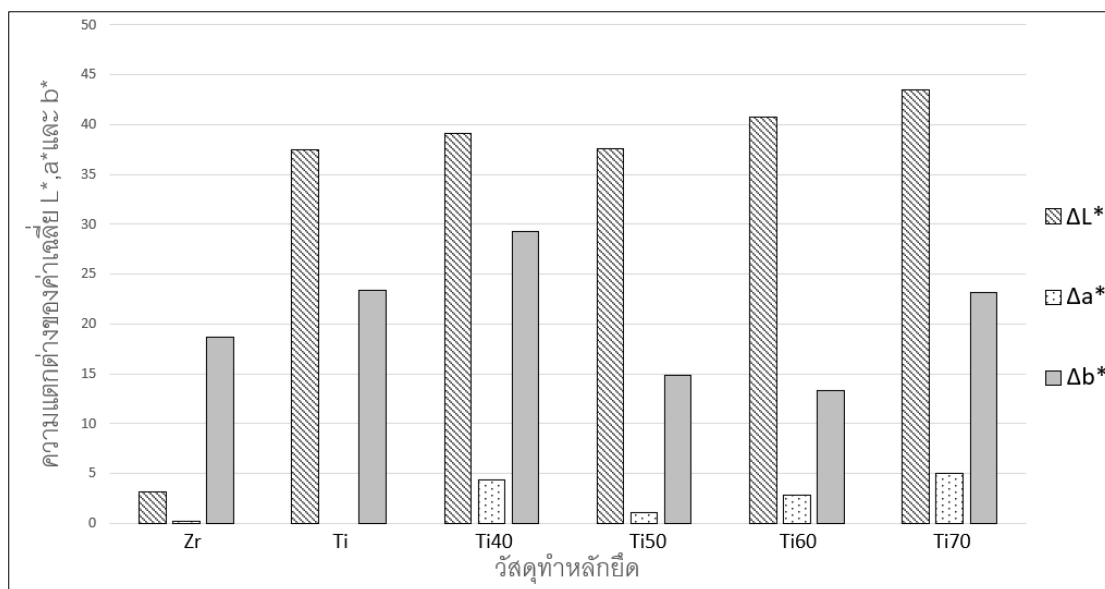
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเซรามิกและวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมแต่ละชนิด จากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี

การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเห็งอกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า L^* , a^* และ b^* ของวัสดุเห็งอกจำลองจำแนกตามวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

วัสดุทำหลักยึด	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน($\bar{X} \pm S.D.$)						
	คอมโพสิตเรซิน (ตัวควบคุม)	เซอรโคเนีย	ไทเทเนียม	ไทเทเนียม, อะโนไดซ์ 40 โวลต์	ไทเทเนียม, อะโนไดซ์ 50 โวลต์	ไทเทเนียม, อะโนไดซ์ 60 โวลต์	ไทเทเนียม, อะโนไดซ์ 70 โวลต์
L^*	72.25±0.61	75.43±0.91	34.82±1.32	33.13±1.32	34.70±1.29	31.55±1.19	28.81±1.17
a^*	2.13±0.50	2.38±0.52	2.13±0.37	-2.23±0.24	1.07±0.41	4.95±0.53	7.10±0.53
b^*	31.85±0.37	13.21±0.20	8.45±0.35	2.61±0.44	16.96±1.60	18.57±1.04	8.72±1.64

ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน L^* , a^* และ b^* ของวัสดุเห็งอกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม จำแนกตามวัสดุทำหลักยึดรากเทียมปรากฏในตาราง 8



ภาพประกอบ 21 แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* , a^* และ b^* ของวัสดุเหล็ก
จำลองบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)

จากตาราง 8 นำข้อมูลมาหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ L^* , a^* และ b^* ของวัสดุ
เหล็กจำลองบนวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม) ได้ตั้ง
แผนภูมิในภาพประกอบ 21

แผนภูมิแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* , a^* และ b^* แสดงให้เห็นว่า ค่าความ
แตกต่างของค่าเฉลี่ย L^* ต่ำสุด คือ เซอร์โคเนีย รองลงมาคือ ไทเทเนียม ในขณะที่ค่าความแตกต่าง
ของค่าเฉลี่ย L^* สูงสุด คือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ รองลงมาคือ ไทเทเนียม
ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* ต่ำสุด คือ ไทเทเนียม
รองลงมาคือ เซอร์โคเนีย ในขณะที่ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย a^* สูงสุด คือ ไทเทเนียมผ่าน
กระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ รองลงมาคือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ และ
ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย b^* ต่ำสุด คือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์
รองลงมาคือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ในขณะที่ค่าความแตกต่างของ
ค่าเฉลี่ย b^* สูงสุด คือ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์ รองลงมาคือ ไทเทเนียม

ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหงือกจำลอง จำแนกตามวัสดุทำหลักยึด เปรียบเทียบกับคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม)

วัสดุทำหลักยึด	ค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหงือกจำลอง($\bar{X} \pm S.D.$)
เซอริโคเนีย	18.94 \pm 0.24
ไทเทเนียม	44.15 \pm 1.23
ไทเทเนียม,อะโนไดซ์ 40 โวลต์	49.07 \pm 1.24
ไทเทเนียม,อะโนไดซ์ 50 โวลต์	40.44 \pm 1.59
ไทเทเนียม,อะโนไดซ์ 60 โวลต์	42.94 \pm 1.20
ไทเทเนียม,อะโนไดซ์ 70 โวลต์	49.54 \pm 1.41
Estimate mean	40.85

* ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก (น้อยกว่า 3.7)

จากการคำนวณทางสูตรคำนวณหาความแตกต่างของสีโดยใช้ค่า L^* , a^* และ b^* เปรียบเทียบกับค่า L^* , a^* และ b^* ในคอมโพสิตเรซิน(ตัวควบคุม) ได้ค่าความแตกต่างของสีของวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด มีค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแตกต่างของสี จำแนกตามวัสดุทำหลักยึด ดังตาราง 9

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของวัสดุเหงือกจำลอง มีค่าตั้งแต่ 18.94 ถึง 49.54 เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ เซอริโคเนีย ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ ตามลำดับ

ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามวัสดุทำหลักยึด

แหล่งของความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
วัสดุทำหลักยึด	5	7661.63	1532.33	1012.58	0.00*
ภายในกลุ่มการศึกษา	66	99.88	1.51		
รวม	71	7761.51			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตาราง 10 พบว่า อิทธิพลของชนิดของวัสดุทำหลักยึด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



ตาราง 11 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีจำแนกตามชนิดของวัสดุ
ทำหลักยึดเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบทูกี้

วัสดุทำหลักยึด	วัสดุทำหลักยึด	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	SE	P
เซอริโคเนีย	ไทเทเนียม	-25.21*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	-30.13*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	-21.50*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	-24.00*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-30.60*	0.50	0
ไทเทเนียม	เซอริโคเนีย	25.21*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	-4.92*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	3.71*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	1.21	0.50	0.17
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-5.39*	0.50	0
ไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะ	เซอริโคเนีย	30.13*	0.50	0
	ไทเทเนียม	4.92*	0.50	0
โนไดซ์ 40 โวลต์	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	8.64*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	6.14*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-0.46	0.50	0.94

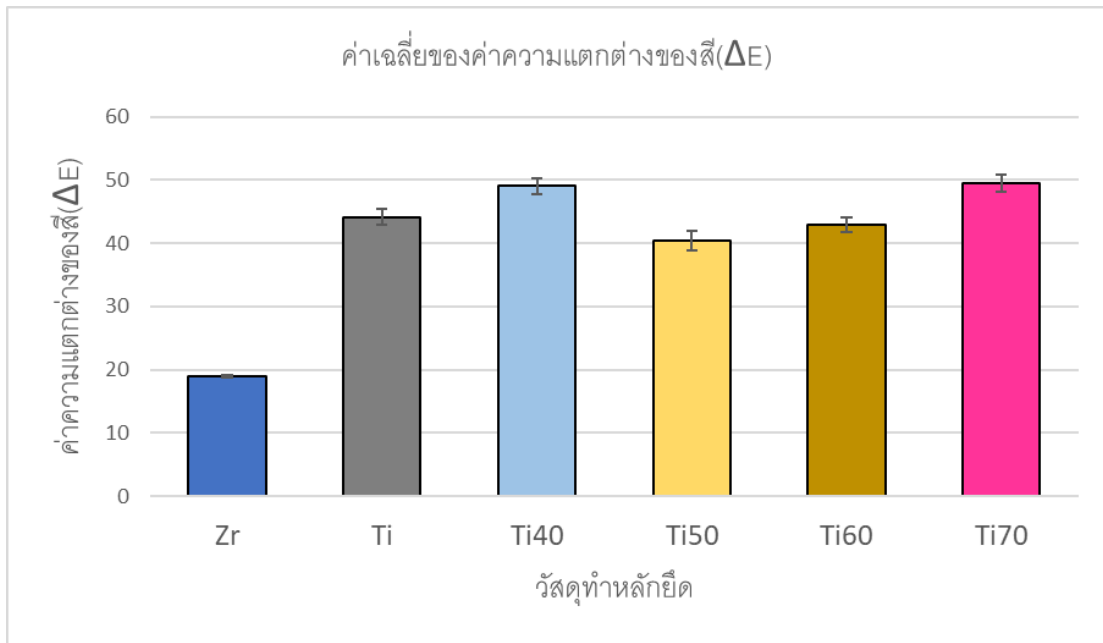
* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 11 (ต่อ)

วัสดุทำหลักยึด	วัสดุทำหลักยึด	ผลต่างของ ค่าเฉลี่ย	SE	P
ไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะ โนไดซ์ 50 โวลต์	เซอริโคเนีย	21.50*	0.50	0
	ไทเทเนียม	-3.71*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	-8.64*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	-2.50*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-9.10*	0.50	0
ไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะ โนไดซ์ 60 โวลต์	เซอริโคเนีย	24.00*	0.50	0
	ไทเทเนียม	-1.21	0.50	0.17
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	-6.14*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	2.50*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์	-6.60*	0.50	0
ไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะ โนไดซ์ 70 โวลต์	เซอริโคเนีย	30.60*	0.50	0
	ไทเทเนียม	5.39*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์	0.46	0.50	0.94
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์	9.10*	0.50	0
	ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์	6.60*	0.50	0

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 11 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสีจำแนกตามชนิดของวัสดุทำหลักยึดเป็นรายคู่ ด้วยวิธีทดสอบทูกี้ พบว่า กลุ่มทดสอบไทเทเนียมกับไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ และไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 กับ 70 โวลต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในขณะที่กลุ่มทดสอบอื่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มทดสอบ ดังนี้ เซอริโคเนีย ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์



ภาพประกอบ 22 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของสีของวัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิด
บนวัสดุเชิงเอกจำลอง

บทที่ 5

อภิปรายผลการศึกษา

อภิปรายผลการศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

หนึ่งในวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ความหนา 4 ระดับบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมแต่ละชนิด จากการศึกษาพบว่า วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความแตกต่างของสีที่แตกต่างกันเกิดจากอิทธิพลของวัสดุทำหลักยึด ความหนาของเซรามิก และปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัสดุทำหลักยึดและความหนาของเซรามิก ปฏิเสธสมมุติฐานว่าง (The null hypothesis) ซึ่งถือว่า วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตแต่ละความหนาไม่แตกต่างกัน

จากอดีตถึงปัจจุบัน วัสดุบูรณะถูกพัฒนาให้มีความสวยงามเหมือนฟันธรรมชาติ แต่การจำลองความสวยงามและลักษณะของฟันธรรมชาตินั้นต้องอาศัยกระบวนการที่ยากทั้งทางคลินิกและห้องปฏิบัติการ เนื่องจากสีและลักษณะของฟันเกิดจากอิทธิพลของหลายปัจจัย เช่น แหล่งกำเนิดแสง ความไวในการรับรู้ของผู้สังเกต ลักษณะของแสงที่ตกกระทบบนฟัน: การดูดซับ การสะท้อนและการส่องผ่านของแสง เป็นต้น⁽⁷²⁾ ดังนั้น การสร้างวัสดุบูรณะให้มีความเหมือนธรรมชาติไม่เพียงแต่ลอกเลียนสี ความสว่างหรือความเข้มสีเท่านั้น แต่วัสดุบูรณะต้องสามารถจำลองลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นให้เหมือนฟันธรรมชาติอีกด้วย

ลักษณะของแสงที่ตกกระทบบนฟันธรรมชาติสามารถวิเคราะห์ตามโครงสร้างดังนี้ ชั้นเคลือบฟัน (enamel) เป็นโครงสร้างที่มีความโปร่งแสงสูงถึง 70% ของแสงที่ส่องผ่านเคลือบฟันที่ความหนา 1 มิลลิเมตร ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากชั้นเคลือบฟันประกอบด้วย โครงสร้างของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ถึง 97% ในขณะที่เนื้อฟัน (dentin) ประกอบด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์ 70% ดังนั้น เนื้อฟันจึงมีความโปร่งแสงน้อยกว่าชั้นเคลือบฟัน โดยประมาณ 30% ของแสงเท่านั้น จะสามารถผ่านชั้นเนื้อฟันที่ความหนา 1 มิลลิเมตร ในฟันธรรมชาติ เมื่อแสงตกกระทบลงบนฟัน แสงบางส่วนจะสะท้อนที่ผิวของชั้นเคลือบฟันสร้างความแวววาวเกิดขึ้น แสงส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังชั้นเนื้อฟัน ก่อให้เกิดการกระจายและการกระเจิงของแสงบางส่วนในชั้นดังกล่าว ซึ่งเกิดจากโครงสร้างขนาดเล็กของไฮดรอกซีอะพาไทต์ในชั้นเคลือบฟัน และเมื่อแสงถูกส่งผ่านไปถึงชั้นเนื้อฟันจะทำให้เกิดทั้งการกระเจิงของแสงและสะท้อนกลับสู่ชั้นเคลือบฟันอีกครั้ง

ในชั้นเนื้อฟัน ทำให้ฟันมีลักษณะกึ่งโปร่งแสง (semi-transparent)⁽⁷³⁾ ดังนั้น ชั้นเนื้อฟันจึงเป็นแหล่งกำเนิดของสีในฟันธรรมชาติ จากการสะท้อนของแสงของชั้นเนื้อฟันที่ถูกส่องผ่านจากชั้นเคลือบฟัน⁽⁷⁴⁾ ปรัชการณดังกล่าว ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาวัสดุทางทันตกรรม โดยเฉพาะวัสดุกลุ่มเซรามิกซึ่งมีความโปร่งแสงที่หลากหลาย ขึ้นกับการเติมวัสดุที่บดลงในเมทริกซ์ (Matrix) ของวัสดุ ในปริมาณและขนาดที่เหมาะสมต่อการจำลองฟันธรรมชาติที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน

ความโปร่งแสงเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญในการจับคู่สี ความโปร่งแสงในเซรามิกทางทันตกรรมขึ้นกับความหนาของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงและการดูดซับของแสง ขนาดอนุภาคและรงควัตถุสีของวัสดุ⁽⁷⁵⁾ เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตเป็นวัสดุที่มีความโดดเด่นในด้านความโปร่งแสง ความโปร่งแสงสูงให้ความสวยงามเสมือนชั้นเคลือบฟันในฟันธรรมชาติที่มีความโปร่งแสงสูง แต่ความโปร่งแสงของวัสดุอาจส่งผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะจากพื้นหลังของวัสดุจากการศึกษาของ Al Ben Ali และคณะ⁽⁷⁶⁾ กล่าวว่า ความโปร่งแสงและพื้นหลังของวัสดุมีอิทธิพลต่อค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตระบบแคดแคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และวัสดุที่มีความโปร่งแสงมาก (High translucency) และพื้นหลังสีเข้ม (ND4) มีค่าความแตกต่างของสีมากกว่ากลุ่มทดลองอื่นที่มีความโปร่งแสงต่ำ (Low translucency) และพื้นหลังสีอ่อน (ND1-3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Czigola และคณะ⁽⁴⁾ ซึ่งบ่งชี้ว่า ความโปร่งแสงของวัสดุมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตระบบแคดแคม นอกจากนี้ ในการศึกษาที่ยังบ่งชี้ว่า ถึงแม้การเพิ่มความหนาของวัสดุจะช่วยลดอิทธิพลของความโปร่งแสง แต่ไม่สามารถกำจัดอิทธิพลของพื้นหลังที่มีสีเข้มในกลุ่มเซรามิกที่มีความโปร่งแสงสูงได้ ในการศึกษาปัจจุบันจึงเลือกใช้เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ชนิดความโปร่งแสงปานกลาง (Medium translucency) ในการทดสอบ เพื่อหวังผลในการบดบังสีของพื้นหลังวัสดุและบรรลุความสวยงามสูงสุดในการบูรณะ

ในปัจจุบัน หลายการศึกษาต่างให้ระดับค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิกแตกต่างกันและยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัด จากการศึกษาของ Johnston และ Kao⁽⁷⁷⁾ ในการศึกษาค่าความแตกต่างของสีบนคอมพิวเตอร์เรซินวีเนียร์ในทางคลินิก ผ่านการทดสอบของผู้ทดสอบ 3 คน เปรียบเทียบกับค่าจากเครื่องวัดสี (colorimeter) พบว่า ค่าความแตกต่างของสีของสีที่กลมกลืนและไม่กลมกลืน (match & mismatch) มีค่าเท่ากับ 3.7 และ 6.8 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การศึกษาดังกล่าวไม่ได้บ่งชี้ถึงค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก อีกทั้งการศึกษาดังกล่าว ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างการวัดสีด้วยตาและการวัดสีด้วยเครื่องมือ ในการศึกษาของ Ghinea และคณะ⁽⁷⁸⁾ ซึ่งทำการทดสอบหาค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้

ในทางคลินิกของวัสดุกลุ่มเซรามิกในทางทันตกรรม พบว่า ที่ระดับความแตกต่างของสี 3.46 เป็นระดับค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิกจากผู้ทดสอบ 13 คนและ 105 คู่ของแผ่นเซรามิกที่ใช้ในการทดลอง อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบในการศึกษาดังกล่าวไม่เพียงพอต่อการทดสอบค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก จากการทบทวนวรรณกรรมของ Paravina และคณะในปี 2019⁽⁷⁹⁾ บ่งชี้ว่า จำนวนผู้ทดสอบในการประเมินค่าความแตกต่างของสีที่รับรู้ได้และยอมรับได้ในทางคลินิกควรมีอย่างน้อย 20 คนและหากผู้ทดสอบมาจากหลากหลายอาชีพ ควรแบ่งผู้ทดสอบเป็นกลุ่มละ 20 คนขึ้นไป ในการศึกษาของ Alghazali และคณะ⁽⁸⁰⁾ จากการศึกษา ระดับค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิกในพื้นที่เย็บอะคริลิก ในผู้ทดสอบ 80 คน พบว่า ค่าความแตกต่างของสีน้อยกว่า 4.2 เป็นระดับยอมรับได้ในทางคลินิก แต่ข้อจำกัดหนึ่งของค่าความแตกต่างของสีบนพื้นเย็บอะคริลิก เกิดจากวัสดุไม่สามารถจำลองความแตกต่างของสีที่เกิดจากความโปร่งแสง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของแสงที่เกิดขึ้นบนพื้นธรรมชาติจึงอาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษา ในการศึกษาปัจจุบันใช้ระดับค่าความแตกต่างของสีที่ระดับน้อยกว่า 2.7 เป็นค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิกของการทำวัสดุบูรณะ อ้างอิงจากการศึกษาของ Paravina และคณะในปี 2015⁽⁶⁸⁾ ซึ่งทำการทดลองในผู้สังเกตจากหลากหลายอาชีพและเชื้อชาติจำนวน 175 คนใน 5 กลุ่มอาชีพ กลุ่มอาชีพละ 35 คนจากการสังเกตสีของวัสดุเซรามิกที่ระดับความเข้มสีต่างกันจำนวน 60 คู่ และควบคุมการศึกษาตามมาตรฐาน ISO/TR 28642 ว่าด้วยแนวทางในการวัดสีทางทันตกรรม เช่นเดียวกับการศึกษาปัจจุบัน

จากผลการทดลองในการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างของสีบนเซรามิก กลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตที่ระดับความหนา 1.0 ถึง 2.5 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยรวมโดยประมาณของความแตกต่างของสีลดลงจากความหนาน้อยไปมาก และที่ความหนาของเซรามิก 2.5 มิลลิเมตรมีค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุดในทุกความหนาของแต่ละกลุ่มการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษาที่บ่งชี้ถึงอิทธิพลของความหนาเซรามิกที่มีผลต่อค่าความแตกต่างของสี ดังการศึกษาของ Chaiyabutr และคณะ⁽⁸¹⁾ ที่บ่งชี้ว่า ความหนาของเซรามิกมีอิทธิพลต่อค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดความโปร่งแสงต่ำ (low translucency) แบบระบบแคดแคม โดยค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีลดลงเมื่อความหนาของเซรามิกมากขึ้นในหลายกลุ่มการทดลอง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pires และคณะ⁽⁸²⁾ ที่บ่งชี้ว่า อิทธิพลของความหนาเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตแบบอัดส่งผลต่อค่าความแตกต่างของสีของวัสดุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากปัจจัยเรื่องความหนาเซรามิกต่อค่าความแตกต่างของสีอธิบายด้วยความโปร่งแสงของวัสดุ ในการศึกษาของ Heffernan และคณะ⁽⁴⁰⁾ ซึ่งศึกษาความโปร่งแสงสัมพัทธ์ (Relative

translucency) ในวัสดุเซรามิก 6 ชนิด พบว่า ความหนาของวัสดุมีความสัมพันธ์กับความโปร่งแสงของวัสดุเซรามิก ความโปร่งแสงของวัสดุลดลงหรือทึบแสงมากขึ้น เมื่อความหนาของเซรามิกมากขึ้นตามปริมาณของโครงสร้างผลึกในวัสดุที่มากขึ้น นอกจากนี้ ความทึบแสงของวัสดุที่มากขึ้นยังส่งผลต่อการบดบังสีพื้นหลังของวัสดุที่มากขึ้นด้วย

ถึงแม้ว่าการเพิ่มความหนาของวัสดุเซรามิกจะส่งผลต่อการบดบังสีพื้นหลัง^(4, 81, 82) แต่จากการศึกษาปัจจุบันพบว่า การเพิ่มความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดความโปร่งแสงปานกลาง (Medium translucency) ไม่สามารถจำกัดอิทธิพลของสีพื้นหลังได้ ถึงแม้ว่าจะเพิ่มความหนาของเซรามิกถึง 2.5 มิลลิเมตร ในกลุ่มไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์และ 70 โวลต์ยังคงมีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} > 2.7$) อย่างไรก็ตาม ที่ระดับความหนาของเซรามิก 2 มิลลิเมตร พบว่า เฉพาะเซอร์โคเนียเท่านั้น ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} < 2.7$) และต่ำที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษาที่ระดับความหนาเซรามิก 2.5 มิลลิเมตร สนับสนุนการศึกษาในอดีตของ Dede และคณะ⁽⁵⁾ ในการศึกษาอิทธิพลของวัสดุทำหลักยึดรากเทียม 3 ชนิดคือ เซอร์โคเนีย ทองพัลเลเดียมและไทเทเนียมต่อสีของวัสดุเซรามิก 3 ชนิดคือ ลิเทียมไดซิลิเกต อะลูมินาและเซอร์โคเนีย พบว่า วัสดุทำหลักยึดเซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่ให้ค่าความแตกต่างของสีดีที่สุดในทุกระบบของเซรามิก และให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{00} < 2.25$) ในทุกตัวอย่างเซรามิกที่ใช้ทดสอบในการศึกษา นอกจากนี้ในการศึกษาของ Dede และคณะ⁽⁸³⁾ จากการศึกษาในกลุ่มเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกต ยี่ห้อไอพีเอส อีแมกแบบอัด ชนิดทึบแสงปานกลาง (Medium opacity) ที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตร พบว่า เซอร์โคเนีย ให้ค่าความแตกต่างของสีที่ดีที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษาซึ่งประกอบด้วย ไทเทเนียมและทองพัลเลเดียม ในทุกสีของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบซึ่งประกอบด้วย สีโปร่งแสง สีมาตรฐานและสีขาวทึบ (Translucent, Universal and White opaque shade) และให้ค่าความแตกต่างของสีโดยเฉลี่ยต่ำกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} < 3$)

หนึ่งในองค์ประกอบซึ่งทำให้เซอร์โคเนียมีคุณสมบัติเด่นในการจับคู่สี คือ คุณสมบัติด้านแสงของวัสดุ จากค่า L^* ในการศึกษาปัจจุบัน ซึ่งพบว่า เซอร์โคเนียมีค่า L^* สูงกว่าทุกกลุ่มการศึกษาและกลุ่มควบคุมในทุกความหนาของเซรามิก ในขณะที่ทุกกลุ่มการศึกษาของไทเทเนียมและไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์มีค่า L^* ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมในทุกความหนาของเซรามิก ปรัชการณดังกล่าวอธิบายด้วย คุณสมบัติด้านแสงของเซอร์โคเนียที่มีลักษณะยอมให้แสงผ่านได้บางส่วน หรือ กึ่งโปร่งแสง (Semi-translucent) เช่นเดียวกับปรากฏการณ์ด้านแสงในเนื้อฟัน

ของพันธกรรมชาติ^(40, 83, 84) จากการศึกษาของ Pecho และคณะ⁽⁸⁴⁾ บ่งชี้ว่า ในแง่ของความโปร่งแสง เซอร์โคเนียและชิ้นส่วนเนื้อฟันตัดกลางบนของมนุษย์ ไม่มีความแตกต่างกันในตัวแปรด้านความโปร่งแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.0012$) แต่มีความแตกต่างกันในแง่ของสีระหว่างสีของเซอร์โคเนียและชิ้นส่วนเนื้อฟันตัดกลางบนของมนุษย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.0012$) ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาในแง่ของสีของวัสดุต่อไป และจากการศึกษาพฤติกรรมของสเปกตรัมในเซอร์โคเนียที่มีสีเหมือนฟันและสีขาวในการศึกษาข้างต้น พบว่า เซอร์โคเนียให้ค่า L^* สูงกว่าเนื้อฟันตัดกลางบนของมนุษย์ สอดคล้องกับผลการศึกษาในกลุ่มควบคุมของการศึกษาปัจจุบัน ปรากฏการณ์ด้านแสงของเซอร์โคเนียเป็นประโยชน์ในการบูรณะ โดยเฉพาะการบูรณะที่ใช้เซอร์โคเนียเป็นแกนวัสดุ (Core materials) ซึ่งเคลือบไว้ด้วยวัสดุที่มีความโปร่งแสงมากกว่า เนื่องจากปรากฏการณ์ด้านแสงของเซอร์โคเนียสามารถลดความโปร่งแสงของเนื้อฟันธรรมชาติที่ถูกหุ้มด้วยชั้นเคลือบฟันที่มีความโปร่งแสงมากกว่าได้^(72, 84)

อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติบางประการของเซอร์โคเนีย ดังเช่น คุณสมบัติด้านการยึดติด ความล้มเหลวจากการแตกหักของวัสดุ ทำให้เซอร์โคเนียมีข้อจำกัดในการใช้งานบางประการ^(46, 50, 51) ไทเทเนียมเป็นวัสดุทำหลักยึดรากเทียมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ข้อเสียสำคัญของไทเทเนียม คือ ปัญหาด้านความสวยงามจากความทึบและสีเทาของโลหะไทเทเนียม^(5, 83) สอดคล้องกับผลการศึกษาในปัจจุบันที่พบว่า กลุ่มไทเทเนียม ในทุกระดับความหนาของเซรามิก ให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} > 2.7$) การปรับปรุงสีของไทเทเนียมด้วยกระบวนการอะโนไดซ์จึงเป็นหนึ่งวิธีแก้ปัญหาของวัสดุ⁽⁷⁾ อย่างไรก็ตาม สีของไทเทเนียมจากกระบวนการอะโนไดซ์ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น กระแสไฟฟ้า องค์ประกอบของสารละลาย อุณหภูมิ ชนิดของวงจรไฟฟ้า เป็นต้น⁽⁵⁹⁾ กระแสไฟฟ้า เป็นปัจจัยควบคุมที่มีความแม่นยำมากที่สุดในการกำหนดสีบนไทเทเนียม⁽⁸⁵⁾ และถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรในการศึกษาปัจจุบัน จากผลการศึกษาปัจจุบัน พบว่า ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ ซึ่งให้สีเหลือง ให้ค่าความแตกต่างของสีดีกว่าไทเทเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ และที่ระดับความหนาของเซรามิก 2.5 มิลลิเมตร ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ยังให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} < 2.7$)

ในปัจจุบัน การศึกษาเกี่ยวกับสีของเซรามิกบนหลักยึดไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ยังมีจำกัด แต่มีการศึกษาเกี่ยวกับสีของเซรามิกบนโลหะเจือทองหรือหลักยึดสีเหลืองทองในหลายการศึกษา^(4, 5, 86-88) ซึ่งอาจเปรียบเทียบกับสีเหลืองของไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ในการศึกษาปัจจุบัน จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมของ Stevenson และคณะ⁽⁸⁸⁾

บ่งชี้ว่า สีเหลืองของวัสดุกลุ่มทองหรือโลหะเจือทอง เป็นโลหะที่ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษาซึ่งประกอบด้วย นิกเกิลโครเมียมและเงินพัลเลเดียม ความแตกต่างของสีในวัสดุเซรามิกที่มีพื้นหลังเป็นวัสดุกลุ่มทองเกิดจากค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าโลหะอื่น คือ นิกเกิลโครเมียม^(89, 90) และเงินพัลเลเดียม^(91, 92) ความสว่างที่มากขึ้นของวัสดุกลุ่มทองจากโลหะอื่น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaiyabutr และคณะ⁽⁸¹⁾ ที่บ่งชี้ว่า พื้นหลังที่มีความสว่างมากกว่า จะให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าพื้นหลังที่มีความสว่างน้อยกว่า นอกจากนี้วัสดุกลุ่มทองยังให้ค่าสีน้ำเงินเหลือง (b^*) ไปในทางสีเหลืองมากกว่าโลหะพื้นฐาน (Base metal)^(90, 92) และเงินพัลเลเดียม⁽⁹¹⁾ ในขณะที่ค่าสีเขียวแดง (a^*) มีค่าที่เข้าใกล้ศูนย์ และไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มโลหะ⁽⁸⁸⁾ ความสว่างและสีของวัสดุกลุ่มทองเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้วัสดุกลุ่มทองสามารถลอกเลียนสีของฟันธรรมชาติที่เกิดจากเนื้อฟันภายใต้ชั้นเคลือบฟันเป็นหลักและมีสีเหลืองจากโครงสร้างภายใน⁽⁷⁴⁾ ดังนั้น การใช้วัสดุกลุ่มทองเป็นหลักยึดหรือแกนของวัสดุจึงอาจส่งเสริมคุณสมบัติของสีบนเซรามิกที่ใช้ในการบูรณะ

จากการศึกษาของ Czigola และคณะ⁽⁴⁾ ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการบูรณะของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต พบว่า กลุ่มทดสอบโลหะเจือทองในการศึกษาให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่ากลุ่มโลหะโคบอลต์โครเมียม (Cobalt-Chromium) ซึ่งมีสีเทาและให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าเซอร์โคเนีย อย่างไรก็ตาม แม้จะเพิ่มความหนาเซรามิกถึง 1.5 มิลลิเมตรหรือใช้วัสดุที่มีความโปร่งแสงต่ำ (Low translucency) ค่าความแตกต่างของสีของโลหะเจือทองยังคงสูงกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{00} < 1.8$) โดยใช้โลหะเจือเคลือบสีทองเป็นตัวแทนกลุ่มทดสอบโลหะเจือทอง การศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dede และคณะ⁽⁵⁾ ที่บ่งชี้ว่า โลหะทองพัลเลเดียม ให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าเซอร์โคเนียและต่ำกว่าไทเทเนียมซึ่งมีสีเทาในทุกชนิดของเซรามิกที่ใช้ทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต อะลูมินาและเซอร์โคเนีย นอกจากนี้ ในการศึกษาบ่งชี้ว่า โลหะทองพัลเลเดียมซึ่งเป็นวัสดุทำหลักยึดรากเทียม ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{00} < 2.25$) ในทุกเซรามิกที่ใช้ในการทดสอบ และในเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ไทเทเนียมเป็นหลักยึดชนิดเดียวที่ให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{00} < 2.25$) บ่งชี้ประสิทธิภาพของโลหะเจือทองในการจับคู่สีของเซรามิก สอดคล้องกับผลการศึกษาปัจจุบัน ซึ่งพบว่า ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ซึ่งให้สีเหลืองเสมือนวัสดุกลุ่มทอง ให้ประสิทธิภาพในการจับคู่สีดีกว่าไทเทเนียมไม่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ แต่แตกต่างในผลการศึกษาเปรียบเทียบกับเซอร์โคเนีย ซึ่งจากการศึกษาปัจจุบัน พบว่า ที่ความหนาเซรามิกน้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร

ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าเซอร์โคเนีย แต่ที่ระดับความหนาเซรามิกมากกว่า 2.0 มิลลิเมตร เซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์

หลักฐานในอดีตยืนยันผลการศึกษาซึ่งบ่งชี้ว่า เซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าวัสดุกลุ่มโลหะ จากปรากฏการณ์ด้านแสงและคุณสมบัติกึ่งโปร่งแสงของเซอร์โคเนียซึ่งให้ความสว่างของเซรามิกมากกว่าเซรามิกบนวัสดุกลุ่มโลหะ เนื่องจากวัสดุกลุ่มโลหะมีคุณสมบัติในการดูดซับ และลดการส่องผ่านของแสง ทำให้วัสดุกลุ่มโลหะมีความทึบแสงและแสดงผลในค่า L^* หรือค่าความสว่างที่น้อยกว่ากลุ่มเซอร์โคเนีย ปรากฏการณ์ของแสงในวัสดุกลุ่มโลหะเป็นปรากฏการณ์ที่แตกต่างจากพันธธรรมชาติ และเป็นปัจจัยที่ทำให้วัสดุกลุ่มโลหะมีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าเซอร์โคเนีย^(5, 30, 48) แต่จากผลการศึกษาปัจจุบัน พบว่า ที่ระดับความหนาน้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าเซอร์โคเนีย ปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจอธิบายด้วย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านความหนาของเซรามิก และปัจจัยด้านสีของหลักยึด ในปัจจัยด้านความหนาของเซรามิก จากการศึกษาของ Volpato และคณะ⁽²⁷⁾ บ่งชี้ถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความหนาของเซรามิกในกลุ่มลูไซต์เสริมกำลังแบบอัด (Leucite-reinforced pressed ceramic) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความโปร่งแสงว่า ที่ระดับความหนาน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร อิทธิพลจากพื้นหลังจะมีอิทธิพลมากกว่าความหนาของเซรามิก จากโครงสร้างผลึกในวัสดุที่มีปริมาณน้อยจึงส่งเสริมการส่องผ่านของแสงไปยังพื้นหลังของวัสดุเซรามิก ในขณะที่ความหนาของเซรามิกมากกว่า 2 มิลลิเมตร อิทธิพลของพื้นหลังจะลดลงและเพิ่มอิทธิพลของความหนาเซรามิกที่มีความทึบของวัสดุมากขึ้น ทำให้ที่ความหนามากกว่า 2 มิลลิเมตร พฤติกรรมของแสงจะใกล้เคียงกันแม้เพิ่มความหนามากขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการศึกษาปัจจุบันที่ใช้เซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งมีโครงสร้างผลึกที่เพิ่มขึ้นตามความหนาของเซรามิกดังการศึกษาในอดีต⁽⁴⁰⁾ ปรากฏการณ์ดังกล่าวสอดคล้องกับปัจจัยด้านสีของหลักยึดจากการศึกษาที่บ่งชี้ถึง คุณสมบัติด้านสีของเซอร์โคเนียที่มีสีขาวยแตกต่างจากเนื้อพันธธรรมชาติและเป็นอุปสรรคในการจับคู่สีของเซรามิก⁽⁸⁴⁾ หากวิเคราะห์ในแง่ของสีจากการศึกษาของ Niu และคณะ⁽⁸⁶⁾ ซึ่งศึกษาเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตแบบแคดแคม ชนิดโปร่งแสงต่ำ บนพื้นหลัง 3 ชนิด คือ โลหะทอง เงินพัลเลเดียมและคอมโพสิตเรซินสีขาวยทึบ พบว่า คอมโพสิตเรซินสีขาวยทึบให้ค่าความแตกต่างของสีสูงที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษา ขณะที่ โลหะทองให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษาและต่ำกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} < 2.6$) ที่ความหนา 1.5 และ 2.0 มิลลิเมตร ถึงแม้ว่าคอมโพสิตเรซินสีขาวยทึบในการศึกษาดังกล่าวจะมีความแตกต่างกับ

เซอร์โคเนียในการศึกษาปัจจุบันในแง่ขององค์ประกอบและโครงสร้างภายในวัสดุ แต่ในแง่ของสีคอมโพสิตเรซินสีขาวที่บดสามารถยืนยันผลการศึกษาด้านสีของเซอร์โคเนียจากการศึกษาก่อนหน้าที่บ่งชี้ว่า เซอร์โคเนียมีคุณสมบัติด้านความโปร่งแสงใกล้เคียงเนื้อฟันธรรมชาติ แต่มีสีที่แตกต่างกับเนื้อฟันธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.0012$) และจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาคุณสมบัติดังกล่าวต่อไป⁽⁸⁴⁾ อย่างไรก็ตาม ไม่มีการศึกษายืนยันถึงผลการศึกษาด้านสีของโลหะสีเหลืองเปรียบเทียบกับเนื้อฟันธรรมชาติ แต่สีเหลืองของเนื้อฟันธรรมชาติ⁽⁷⁴⁾ อาจมีความสอดคล้องกับสีของโลหะสีเหลืองเช่นเดียวกับไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ และหากอิทธิพลจากพื้นหลังมีอิทธิพลมากกว่าความหนาของเซรามิกที่ความหนาน้อย ความเป็นไปได้ที่สีของไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์จะให้สีที่ดีกว่าเซอร์โคเนีย ถึงแม้จะมีคุณสมบัติด้านแสงด้อยกว่า ดังแสดงออกมาในผลการศึกษาปัจจุบันที่พบว่า ค่า b^* หรือค่าสีน้ำเงินเหลืองของไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์มีค่าต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่นในหลายความหนาของเซรามิก

ในการศึกษาปัจจุบันยังจำกัดเฉพาะการศึกษาด้านสีของไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่ความเข้มไฟฟ้า 4 ระดับเท่านั้น แต่กระบวนการอะโนไดซ์ที่แตกต่างในหลายปัจจัยยังส่งผลต่อสีที่แตกต่างกัน ดังนั้น การศึกษาในอนาคตจึงอาจปรับปรุงสีของไทเทเนียมให้มีความใกล้เคียงกับธรรมชาติได้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังต้องศึกษาคูสมบัติในด้านอื่น เช่น การยึดติด ความเข้ากันได้เชิงชีวภาพ การสึกกร่อน เป็นต้น นอกจากนี้ ในการศึกษาที่ใช้ตัวกลางเป็นสารละลายกลีเซอริน และศึกษาเฉพาะเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตชนิดความโปร่งแสงปานกลาง สีเอหนึ่งเท่านั้น แต่จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ความโปร่งแสงของวัสดุ สีของวัสดุและซีเมนต์ที่ใช้ยึดติดต่างมีอิทธิพลต่อสีสุดท้ายของการบูรณะเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ดังนั้น นอกจากปัจจัยของความหนาเซรามิกและพื้นหลังของวัสดุ การศึกษาในปัจจุบันยังต้องได้รับการศึกษาต่อไป และทันตแพทย์ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นในการบูรณะเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต เพื่อให้สีสุดท้ายของวัสดุมีความใกล้เคียงธรรมชาติสูงสุด

ในด้านของความสวยงาม จากขอบเขตของการศึกษานี้แนะนำว่า วัสดุทำหลักยึด เซอร์โคเนีย ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ชนิดโปร่งแสงปานกลาง 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร และวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์และ 60 โวลต์ ที่ระดับความหนาของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ชนิดโปร่งแสงปานกลาง 2.5 มิลลิเมตรเป็นวัสดุทำหลักยึดที่ให้สีสุดท้ายของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ชนิดโปร่งแสงปานกลางต่ำกว่าระดับยอมรับได้ในทางคลินิก ($p<0.05$)

อภิปรายผลการศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต จากอิทธิพลของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม

หนึ่งในวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตจากอิทธิพลของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม ในการศึกษาปัจจุบัน พบว่า การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งบนไทเทเนียมให้ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตแตกต่างกับการไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งในทุกกลุ่มการศึกษาของวัสดุทำหลักยึดไทเทเนียม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปฏิเสธสมมุติฐานว่าง (The null hypothesis) ข้อที่ว่า การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้งบนไทเทเนียมให้ค่าความแตกต่างของสีของเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตไม่แตกต่างกับ การไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโคทติ้ง

ไทเทเนียม เป็นวัสดุที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานทันตกรรมรากเทียม หนึ่งในข้อดีของไทเทเนียมซึ่งใช้ในการรักษา คือ ความเข้ากันได้เชิงชีวภาพ คุณสมบัติดังกล่าวเกิดจากชั้นออกไซด์ที่มีความหนาประมาณ 1.5-10 นาโนเมตรบนผิวของไทเทเนียม (Oxide layer; TiO_2) ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติในอุณหภูมิห้อง⁽⁹³⁾ แต่ชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีความเปราะบาง⁽⁹⁴⁾ ดังนั้น จึงมีการศึกษาเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของไทเทเนียมด้วยการเพิ่มชั้นออกไซด์ หนึ่งในวิธีการเพิ่มชั้นออกไซด์ คือ กระบวนการอะโนไดซ์บนผิวไทเทเนียม โดยความหนาของชั้นออกไซด์จากกระบวนการอะโนไดซ์บนพื้นผิวของไทเทเนียม สามารถเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยแวดล้อมในการเกิดปฏิกิริยา เช่น ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ขนาดของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ อัตราส่วนพื้นที่ผิวของขั้วบวกขั้วลบ เป็นต้น⁽⁹⁵⁾ หนึ่งในปัจจัยที่ควบคุมได้และมีการแปรผันตรงกับความหนาของชั้นออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น คือ การเพิ่มขนาดกระแสไฟฟ้า โดยการเพิ่มขนาดของกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มชั้นออกไซด์ 1.5-3 นาโนเมตรต่อโวลต์ ขึ้นกับปัจจัยแวดล้อมอื่นในกระบวนการ^(96, 97) นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของชั้นออกไซด์บนผิวไทเทเนียมยังส่งผลให้เกิดสีบนพื้นผิวของไทเทเนียม โดยสีที่เกิดขึ้นเกิดจากแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของชั้นออกไซด์ ในขณะที่แสงบางส่วนตกกระทบบนพื้นผิวของโลหะซึ่งอยู่ใต้ชั้นออกไซด์ การกระทบกันของแสงทั้ง 2 ชั้นก่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแสงที่มองเห็นได้บนพื้นผิวของไทเทเนียม และแปรเปลี่ยนตามความหนาของชั้นออกไซด์⁽⁹⁸⁾ ในการศึกษาปัจจุบัน พบว่า ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ก่อให้เกิดสีฟ้า เหลืองอ่อน เหลืองและชมพู ตามลำดับ แต่สีที่เกิดขึ้นไม่สามารถบ่งชี้ความหนาของชั้นออกไซด์ อีกทั้งยังไม่มีข้อมูลของการศึกษากระบวนการอะโนไดซ์ที่ควบคุมตัวแปรใน

การศึกษาเหมือนการศึกษาปัจจุบัน แต่จากการศึกษาของ Kuromoto และคณะ⁽⁹³⁾ พบว่า ความหนาของชั้นโลหะออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการอะโนไดซ์ที่ความเข้มไฟฟ้า 50 โวลต์มีความหนาเฉลี่ย 61.25 ± 15.71 นาโนเมตร เมื่อใช้ 1.4 โมลาร์ของกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, H_3PO_4) เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์และใช้ทองคำขาวเป็นขั้วตรงข้ามของกระแสไฟฟ้า ความหนาของชั้นออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และอาจเพิ่มมากขึ้นถึง 1,700 นาโนเมตรที่ความเข้ม 250 โวลต์ ใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Kim และคณะ⁽⁹⁴⁾ ซึ่งพบความหนาของชั้นออกไซด์ 1,500 นาโนเมตร จากความเข้มไฟฟ้า 270 โวลต์ในสารละลายแคลเซียมอะซิเตต (Calcium acetate) 0.15 โมลาร์ และแคลเซียมกลีเซอโรฟอสเฟต (Calcium glycerophosphate) 0.02 โมลาร์

ในแง่ของการใช้งาน การปรับปรุงผิวไทเทเนียมด้วยการพ่นอนุภาคลงบนพื้นผิว เพื่อก่อให้เกิดลักษณะขรุขระซึ่งส่งเสริมการยึดติดกับเรซินซีเมนต์ เป็นวิธีที่มีการศึกษาบ้างซึ่งถึงประสิทธิภาพในการใช้งาน⁽⁹⁹⁾ หนึ่งในกระบวนการปรับปรุงผิวไทเทเนียมด้วยการพ่นอนุภาค คือการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาไค้ที่ตั้ง การปรับปรุงพื้นผิวของไทเทเนียมด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาไค้ที่ตั้ง เป็นวิธีการพ่นอนุภาคอะลูมินาซึ่งเคลือบด้วยซิลิกา ลงบนพื้นผิวเพื่อให้เกิดการยึดติดทางกล จากความขรุขระของพื้นผิวซึ่งเกิดจากการพ่นอนุภาค และทางเคมีจากพันธะเคมีบนซิลิกาที่เข้าร่วมกับสารคู่ควบไฮเลน⁽¹⁰⁰⁾ โคเจท (Cojet) เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ทางการค้าของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาไค้ที่ตั้ง ซึ่งใช้ขนาดอนุภาค 30 นาโนเมตร โดยจากผลการศึกษาของ Pitta และคณะ⁽⁹⁹⁾ พบว่า เมื่อพ่นอนุภาคของระบบโคเจทลงบนพื้นผิวของหลักยึดพื้นฐานไทเทเนียม (Ti-based abutment) มีผลให้พื้นผิวของไทเทเนียมเกิดความขรุขระโดยประมาณ (Ra) 0.45 ± 0.02 ไมโครเมตร และทำให้เกิดจุดลึกสุดของความขรุขระ (Rz) 3.42 ± 0.22 ไมโครเมตร

จากความหนาของชั้นโลหะออกไซด์ และความขรุขระจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาไค้ที่ตั้ง สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการศึกษาปัจจุบันที่พบว่า ค่าความแตกต่างของสีบนเซรามิกกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตบนหลักยึดไทเทเนียมที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาไค้ที่ตั้งแตกต่างกับการไม่ปรับปรุงพื้นผิว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการศึกษา เนื่องจากความขรุขระจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการไตรโบเคมีคอล ซิลิกาไค้ที่ตั้งมีความหนามากกว่าความหนาของชั้นออกไซด์บนพื้นผิวไทเทเนียม ทำให้ชั้นออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีมีการหลุดลอกไป จึงทำให้สีระหว่างกลุ่มการศึกษามีความใกล้เคียงกันจากสีของ

ไทเทเนียมใต้ชั้นออกไซด์ ร่วมกับสารตั้งต้นซึ่งอยู่ในอนุภาคที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการ ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้ง

ในปัจจุบันการศึกษาถึงความแตกต่างของสีของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการ ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้งร่วมกับปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีอะโนไดซ์บนพื้นผิวไทเทเนียมยังจำกัด และจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการยึดติดของการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีดังกล่าว ดังนั้นในการเลือกใช้หลักยึดไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ร่วมกับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ยังต้องอาศัยการศึกษาในอนาคตต่อไป

ในด้านของความสวยงาม จากขอบเขตของการศึกษานี้แนะนำว่า ไม่ควรปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการ ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้งบนไทเทเนียมและไทเทเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ เพื่อปรับปรุงสี เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีการ ไตรโบเคมีคอล ซิลิกาโค้ทติ้งให้ค่าความแตกต่างของสีมากกว่าการไม่ปรับปรุงพื้นผิว ส่งผลให้วัสดุบูรณะมีความแตกต่างจากฟันธรรมชาติมากขึ้น

อภิปรายผลการศึกษาค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม

หนึ่งในวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การศึกษาค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียม จากผลการศึกษา พบว่า ค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหงือกจำลองบนวัสดุทำหลักยึดรากเทียมแต่ละชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นไทเทเนียมกับไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 60 โวลต์ และ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 40 โวลต์กับ 70 โวลต์ ปฏิเสธสมมุติฐานว่าง (The null hypothesis) ข้อที่ว่า วัสดุทำหลักยึดแต่ละชนิดให้ค่าความแตกต่างของสีบนวัสดุเหงือกจำลองไม่แตกต่างกัน

ในแง่ของความสวยงาม อวัยวะปริทันต์รอบรากเทียมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยส่งเสริมความสวยงามของการบูรณะ สำหรับเกณฑ์ความสวยงามของ Belser และคณะ⁽¹⁸⁾ ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์ความสวยงามของอวัยวะปริทันต์รอบรากเทียมและวัสดุบูรณะ สีของเนื้อเยื่ออ่อนเป็นหนึ่งในเกณฑ์ของความสวยงามของอวัยวะปริทันต์ แต่สีเทาของไทเทเนียมซึ่งถูกใช้เป็นหลักยึดรากเทียมส่งผลเสียต่อสีของอวัยวะปริทันต์โดยรอบ โดยเฉพาะกลุ่มผู้ป่วยที่มีลักษณะเหงือกบาง^(6, 63)

¹⁰¹⁾ ในปัจจุบัน การปรับปรุงสีของไทเทเนียมมีหลายกระบวนการ อาทิเช่น การออกซิเดชันด้วยอุณหภูมิ (Thermal oxidation) การออกซิเดชันด้วยสารเคมี (Chemical oxidation) การเคลือบโลหะด้วยไทเทเนียมไนไตรด์ (Titanium nitride) และการอะโนไดซ์ (Anodic oxidation) แต่การ

ออกซิเดชันด้วยอุณหภูมิควบคุมการเกิดสีและทำซ้ำได้ยาก⁽¹⁰²⁾ ขณะที่การออกซิเดชันด้วยสารเคมีไม่มีความคงทน⁽¹⁰³⁾ และการเคลือบโลหะด้วยไทเทเนียมไนไตรด์อาจทำให้เกิดการแพ้ในผู้ป่วยบางราย⁽¹⁰⁴⁾ การปรับปรุงสีของไทเทเนียมด้วยการอะโนไดซ์ช่วยส่งเสริมความต้านทานต่อการสีกร่อนจากการเพิ่มขึ้นออกไซด์⁽¹⁰⁵⁾ สามารถควบคุมและทำซ้ำได้⁽⁸⁵⁾ จึงเป็นกระบวนการที่เหมาะสมในการปรับปรุงสีของไทเทเนียม

ในปัจจุบัน ค่าความแตกต่างของสีของเหงือกที่รับรู้ได้และยอมรับได้ในทางคลินิกยังมีข้อมูลจำกัด หลายการศึกษาอ้างอิงข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมของ Khashaya และคณะ⁽¹⁰⁶⁾ ซึ่งรายงานว่ ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิกที่ใช้ในงานทันตกรรมมีค่าที่ 3.7 แต่ค่าดังกล่าวเป็นค่ามาตรฐานที่ไม่ได้เฉพาะเจาะจงที่ค่าความแตกต่างของสีของเหงือก หนึ่งในการศึกษาที่ศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเหงือกของ Ren และคณะ⁽¹⁰⁷⁾ พบว่า ค่าความแตกต่างของสีที่รับรู้ได้ของเหงือกในกลุ่มตัวอย่าง 50% มีค่าที่ 2.1 ในขณะที่ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิกในกลุ่มตัวอย่าง 50% มีค่าที่ 4.6 อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมการของค่าความแตกต่างของสีเท่านั้น ไม่ได้มุ่งเน้นในการศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเหงือกที่เป็นมาตรฐาน อีกทั้งการศึกษาดังกล่าวใช้วัสดุทำฐานฟันเทียมชนิดอะคริลิกเรซิน (denture base acrylic resin) เป็นหินทดสอบซึ่งมีความแตกต่างกับเหงือกของมนุษย์จึงไม่สามารถใช้ค่าความแตกต่างของสีดังกล่าวมาเป็นค่ามาตรฐาน แต่จากการศึกษาของ Sailer และคณะ⁽¹⁰⁸⁾ ในการศึกษาชี้แจงจำกัดการรับรู้ของค่าความแตกต่างของสีของเหงือกในกลุ่มผู้สังเกต ซึ่งประกอบด้วย ทันตแพทย์ ช่างทันตกรรม และบุคคลทั่วไป โดยใช้ภาพจำลองเสมือนเหงือกที่แตกต่างกันในการทดสอบ พบว่า ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของสีของเหงือกที่รับรู้ได้คือ 3.1 ± 1.5 แต่การศึกษาดังกล่าวไม่ได้บ่งชี้ถึงค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิกและการลอกเลียนสีของเหงือกเพื่อให้สอดคล้องกับค่าความแตกต่างของสีของเหงือกที่รับรู้ได้ อาศัยค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานาน และเกินความจำเป็นสำหรับการศึกษาวัดทางทันตกรรม จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมิน⁽⁵⁶⁾ และจากการศึกษาของ Perez และคณะ⁽⁶⁹⁾ ซึ่งศึกษาในผู้สังเกต 30 คน (ทันตแพทย์ 15 คน, บุคคลทั่วไป 15 คน) จากการศึกษารูปภาพจำลองเสมือนเหงือกซึ่งจำลองจากเหงือกสุขภาพดีของบุคคลซึ่งแตกต่างด้วยเชื้อชาติ อายุและเพศ พบว่า ค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิก คือ น้อยกว่า 3.7 ($\Delta E_{ab} < 3.7$) อย่างไรก็ตาม การศึกษาบนภาพจำลองเสมือนเหงือกยังไม่มีการศึกษารับรองถึงประสิทธิภาพในการประเมินสีของเหงือกมนุษย์ แต่จากการศึกษาค่าความแตกต่างของสีของเหงือกที่ยอมรับได้ทางคลินิกที่มีจำกัด ในการศึกษาปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงใช้ค่าความแตกต่างของสีที่น้อยกว่า 3.7 เป็นค่าความ

แตกต่างของสีที่ยอมรับได้ทางคลินิกของสีของเหงือก ตามการศึกษาของ Perez และคณะ เนื่องจากการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาที่ตรงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาในปัจจุบันและสามารถแปลผลเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในทางคลินิก

หนึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับสีของเหงือกมนุษย์ คือ การศึกษาของ Gómez-Polo และคณะ⁽¹⁰⁹⁾ ที่ทำการศึกษาสีของเหงือกจากปัจจัยด้านตำแหน่งของเหงือกในฟันตัดซี่กลาง ปัจจัยด้านประวัติทางสังคมและพฤติกรรม ในกลุ่มตัวอย่างในประเทศสเปน พบว่า สีของเหงือกมีความแตกต่างกันในปัจจัยด้านเพศ และตำแหน่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยช่วงของค่า L^* , a^* และ b^* ในระบบ CIELab จากการศึกษามีค่าระหว่าง 28.3-65.4, 11.1-37.2 และ 6.9-25.2 ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า L^* , a^* และ b^* ในการศึกษาปัจจุบัน พบว่า ค่า L^* , a^* และ b^* ในกลุ่มควบคุมของการศึกษาปัจจุบันแตกต่างจากช่วงค่า L^* , a^* และ b^* ในการศึกษาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม สีของเหงือกมีช่วงสีที่หลากหลายในหลายปัจจัย จากการศึกษาของ Paravina และ Power⁽¹¹⁰⁾ บ่งชี้ว่า ช่วงสีของเหงือกมีช่วงสีที่มากกว่าพันธุกรรมชาติ และยากที่จะสร้างสีที่มีความแม่นยำเหมือนเหงือกธรรมชาติ นอกจากนี้ หนึ่งในข้อจำกัดของการวัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์บนเหงือกธรรมชาติอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดสีที่ขาดพื้นที่บริเวณขอบของตัวอย่าง จากพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบของเหงือกธรรมชาติ⁽¹⁰⁹⁾ ดังนั้น ในการศึกษาปัจจุบันซึ่งเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการจึงเลือกใช้วัสดุที่มีสีเหมือนเหงือกเป็นปัจจัยควบคุม เพื่อศึกษาอิทธิพลของสีพื้นหลังจากวัสดุทำหลักยึดตรากเทียม

ในอดีตมีการศึกษาถึงวัสดุที่ถูกนำมาใช้เพื่อทดแทนสีของเหงือก จากการศึกษานี้ของ Sarmast และคณะ⁽⁶⁶⁾ ซึ่งศึกษาแถบเทียบสีเหงือก วัสดุกลุ่มเรซินคอมโพสิตและวัสดุกลุ่มเซรามิกเทียบกับฐานข้อมูลของสีเหงือกธรรมชาติ พบว่า แถบเทียบสีเหงือกและวัสดุในทางทันตกรรมยังมีค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E^* > 4.6$) และจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาเพื่อให้ได้ความสวยงามสูงสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Valente และคณะ⁽¹¹¹⁾ ที่ศึกษาสีของเซรามิกเคลือบสีชมพูในระดับสีต่างกัน 10 สีเปรียบเทียบกับสีเหงือกธรรมชาติ พบว่า มีค่าความแตกต่างของสีมากกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} < 3.1$) ในทุกระดับสี อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมซึ่งเป็นเซรามิกสีขาว พบว่า เซรามิกสีเหงือกทุกสีในการศึกษาให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าตัวควบคุม แสดงให้เห็นว่าถึงแม้สีของเซรามิกจะมากกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก แต่สีเหงือกของเซรามิกยังให้สีที่ดีกว่าเซรามิกทั่วไป ดังนั้น ในการศึกษาปัจจุบันจึงเลือกใช้วัสดุที่สามารถนำมาใช้ในการทดแทนสีของเหงือกธรรมชาติ โดยมุ่งเน้นการศึกษาเฉพาะเหงือกที่มีลักษณะเหงือกบาง

(Thin biotype) ซึ่งจะต้องมีความโปร่งแสงเสมือนเหงือกธรรมชาติที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร วัสดุซอพท์ไคเนออร์ยีหรือซอพท์ไคเนออร์ทัฟ (Softliner tough Medium, Tokuyama, Japan) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติตามปัจจัยดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วัสดุซอพท์ไคเนออร์ยีหรือซอพท์ไคเนออร์ทัฟ เป็นวัสดุเหงือกจำลองในงานวิจัย อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาปัจจุบัน แสดงให้เห็นว่า ค่าสีที่วัดได้จากวัสดุเหงือกจำลองยังแตกต่างจากค่าสีของเหงือกธรรมชาติจากการศึกษาในอดีต^(66, 109, 111, 112) ยืนยันผลการศึกษาในอดีต⁽⁶⁶⁾ ข้อที่ว่า ในปัจจุบันยังไม่มีวัสดุทางทันตกรรมใดที่ลอกเลียนสีของเหงือกธรรมชาติได้อย่างสมบูรณ์

จากผลการศึกษาในปัจจุบัน พบว่า ไม่มีวัสดุทำหลักยึดชนิดใดให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} < 3.7$) และเซอร์โคเนีย เป็นวัสดุทำหลักยึดที่ให้ค่าความแตกต่างของสีดีที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษา สอดคล้องกับการศึกษาในอดีตที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของเซอร์โคเนีย ในแง่ของความสวยงามของอวัยวะปริทันต์โดยรอบรากเทียม^(63, 101, 113) ดังการศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Wang และคณะ⁽¹⁰¹⁾ ที่พบว่า เซอร์โคเนียเป็นวัสดุทำหลักยึดที่ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย ไทเทเนียมและไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์สีเหลืองและสีชมพู อย่างไรก็ตาม ไม่มีหลักยึดใดให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E_{ab} < 3.7$) จากการทดสอบหลักยึดในเนื้อเยื่ออ่อนของหนู แต่การศึกษาในเนื้อเยื่ออ่อนของหมูปยังมีข้อจำกัดที่แตกต่างจากเหงือกของมนุษย์ อีกทั้งการศึกษาในเนื้อเยื่ออ่อนของหมูอาจมีสีซีดจากการขาดเลือดหล่อเลี้ยงก่อนนำมาใช้ในการทดลอง^(55, 101, 114) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาในทางคลินิก จากการศึกษาของ Bressan และคณะ⁽⁶³⁾ ในการศึกษาสีของเหงือกรอบรากเทียมบนหลักยึดจากโลหะทอง ไทเทเนียม และเซอร์โคเนียเปรียบเทียบกับสีของเหงือกรอบฟันธรรมชาติ พบว่า เซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุด รองลงมาคือโลหะทองและไทเทเนียม ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่า L^* , a^* และ b^* จากการศึกษาดังกล่าว พบว่า เซอร์โคเนียมีค่า L^* และ b^* ซึ่งเป็นตัวแทนของความสว่างและสีน้ำเงินเหลือง ใกล้เคียงกับเหงือกรอบฟันธรรมชาติมากกว่าโลหะทองและไทเทเนียม ในขณะที่ค่า a^* ซึ่งเป็นตัวแทนของสีเขียวแดง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 3 วัสดุ นอกจากนี้ การศึกษาทางคลินิกของ Kim และคณะ⁽¹¹³⁾ ที่ศึกษาหลักยึด 3 ชนิด คือ เซอร์โคเนีย ไทเทเนียมและไทเทเนียมสีทอง (Gold-hued titanium) พบว่า เซอร์โคเนียให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษา แต่ไม่ต่ำกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก ($\Delta E^* < 3.7$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่า L^* , a^* และ b^* กับเหงือกรอบฟันธรรมชาติ พบว่า เซอร์โคเนียยังให้ค่า L^* , a^* และ

b* ใกล้เคียงกับเหงือกครอบฟันธรรมชาติที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษา อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาในเนื้อเยื่ออ่อนของหมูของ Sala และคณะ⁽¹¹⁴⁾ กล่าวว่า ถึงแม้เซอร์โคเนียซึ่งมีสีขาวจะให้ค่าความแตกต่างของสีดีกว่าไทเทเนียม แต่ค่าความแตกต่างของสีของเซอร์โคเนียยังไม่เพียงพอต่อการกำจัดความแตกต่างของสี เพื่อให้สีของเหงือกเสมือนฟันธรรมชาติ การปรับปรุงสีของหลักยึดทั้งเซอร์โคเนียและไทเทเนียม จึงเป็นแนวทางในการลดค่าความแตกต่างของสีของอวัยวะปริทันต์รอบรากเทียม ในการศึกษาดังกล่าวยังบ่งชี้ว่า ในกลุ่มการศึกษาซึ่งปรับปรุงสีของไทเทเนียมและเซอร์โคเนีย (ไทเทเนียมสีทอง (Titanium gold-plated), เซอร์โคเนียสีเอซี (VC A4-shaded zirconia) และฟลูออเรสเซนต์เซอร์โคเนีย (Fluorescent white zirconia)) ให้ค่าความแตกต่างของสีดีกว่าไทเทเนียมและเซอร์โคเนียสีขาวที่ไม่ปรับปรุงสี การศึกษาดังกล่าวสนับสนุนการศึกษาของ Ishikawa-Nagai และคณะ⁽⁶⁴⁾ ในการศึกษาค่าความแตกต่างของสีจากแผ่นสีในอวัยวะปริทันต์ของมนุษย์ซึ่งบ่งชี้ว่า แผ่นสีขาวให้ค่าความแตกต่างของสีซึ่งเป็นผลเสียต่อสีของอวัยวะปริทันต์ โดยค่าความแตกต่างของสีในแผ่นสีขาวเกิดจากค่าความแตกต่างของค่าความสว่างหรือ L^* (ΔL^*) ที่มากกว่ากลุ่มศึกษาอื่น ส่งผลให้อวัยวะปริทันต์มีความสว่างมากกว่าอวัยวะปริทันต์ครอบฟันธรรมชาติ ซึ่งความสว่างส่งผลเสียต่อการรับรู้จากการมองเห็นของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ขัดแย้งกับหลายการศึกษาที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของหลักยึดเซอร์โคเนียสีขาว^(63, 101, 113) รวมถึงผลการศึกษาปัจจุบัน แต่จากการศึกษาของ Ishikawa-Nagai และคณะ⁽⁶⁴⁾ กล่าวว่า แผ่นสีขาวและเซอร์โคเนียมีความแตกต่างในปัจจัยด้านแสง เซอร์โคเนียเป็นวัสดุที่ยอมให้แสงผ่านได้บางส่วนซึ่งแตกต่างจากแผ่นสีขาวซึ่งใช้ในการทดลอง และความสว่างซึ่งเป็นผลจากคุณสมบัติของแสงสามารถรับรู้ได้รวดเร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงของสีในการรับรู้ของสายตามนุษย์ ในการศึกษาปัจจุบัน พบว่า เซอร์โคเนียเป็นหลักยึดที่ให้ค่าความแตกต่างของค่าความสว่างหรือ L^* (ΔL^*) ต่ำที่สุดในทุกกลุ่มการศึกษา ในขณะที่ค่าความแตกต่างของค่าสีเขียวแดงหรือ a^* (Δa^*) และค่าสีน้ำเงินเหลืองหรือ b^* (Δb^*) มีค่าอยู่ระหว่างกลุ่มการศึกษาอื่น ซึ่งบ่งชี้ถึงคุณสมบัติด้านแสงของเซอร์โคเนีย และสอดคล้องกับการศึกษาของ Pecho และคณะ⁽⁶⁴⁾ ที่บ่งชี้ถึงคุณสมบัติด้านแสงของเซอร์โคเนียที่มีความใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติ แต่มีสีที่แตกต่างกับเนื้อฟันธรรมชาติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.0012$)

สำหรับไทเทเนียม จากการศึกษาในอดีตยืนยันผลการศึกษาในปัจจุบันที่บ่งชี้ว่าไทเทเนียมให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าเซอร์โคเนีย^(63, 101, 113) แต่จากการปรับปรุงสีของไทเทเนียมด้วยกระบวนการอะโนไดซ์ พบว่า เฉพาะไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ซึ่งให้สีเหลืองเท่านั้นที่ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าไทเทเนียมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว และมีเฉพาะ

ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์ที่แตกต่างกับไทเทเนียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Wang และคณะ⁽¹⁰¹⁾ ที่บ่งชี้ว่า ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์สีเหลืองให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าไทเทเนียมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว แต่ค่าความแตกต่างของสีของไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์สีเหลืองยังมากกว่าเซอร์โคเนีย และสูงกว่าค่าความแตกต่างของสีที่ยอมรับได้ในทางคลินิก เช่นเดียวกับผลการศึกษาทางคลินิกของ Wang และคณะ⁽¹¹⁵⁾ ที่บ่งชี้ถึงคุณสมบัติของไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์สีเหลืองที่ให้ค่าความแตกต่างของสีรอบอวัยวะปริทันต์ของรากเทียม ต่ำกว่าไทเทเนียมที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว และสูงกว่าเซอร์โคเนีย นอกจากนี้ในการศึกษาดังกล่าวยังจำแนกค่าความแตกต่างของสีตามค่า L^* , a^* และ b^* พบว่า ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์สีเหลืองให้ค่าความแตกต่างของค่าสีน้ำเงินเหลืองหรือ b^* (Δb^*) เมื่อเทียบกับอวัยวะปริทันต์รอบฟันธรรมชาติ ต่ำกว่ากลุ่มอื่นในการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย ไทเทเนียม ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์สีชมพูและเซอร์โคเนีย สอดคล้องกับผลการศึกษาปัจจุบันซึ่งพบว่า ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 50 และ 60 โวลต์ให้ค่าความแตกต่างของค่าสีน้ำเงินเหลืองหรือ b^* (Δb^*) ต่ำกว่าทุกกลุ่มการศึกษาเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จึงมีความเป็นไปได้ที่สีเหลืองจากกระบวนการอะโนไดซ์บนไทเทเนียมจะสอดคล้องกับสีของรากฟันธรรมชาติซึ่งอยู่ภายใต้อวัยวะปริทันต์

ถึงแม้ว่าการศึกษาในอดีตจะยืนยันผลการศึกษาของไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์สีชมพูที่ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำกว่าไทเทเนียมไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ดังการศึกษาในห้องปฏิบัติการและทางคลินิกของ Wang และคณะ^(101, 115) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในแผ่นสีในอวัยวะปริทันต์มนุษย์ของ Ishikawa-Nagai และคณะ⁽⁶⁴⁾ ที่บ่งชี้ว่า สีชมพูอ่อนเป็นสีที่ให้ค่าความแตกต่างของสีต่ำที่สุดในทุกสีของการศึกษา แต่จากผลการศึกษาในปัจจุบันพบว่า ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ 70 โวลต์ซึ่งให้สีชมพู ให้ค่าความแตกต่างของสีสูงกว่าไทเทเนียมไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ผลการศึกษาที่แตกต่างกันอาจเกิดจากปัจจัยในการควบคุมสีของกระบวนการอะโนไดซ์ และจากปัจจัยของตัวควบคุมซึ่งในการศึกษาปัจจุบันใช้วัสดุเหลืองจำลอง ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ต่อสีของอวัยวะปริทันต์รอบรากเทียม จำเป็นต้องได้รับการศึกษายืนยันต่อไป

ในการศึกษาปัจจุบันเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้วัสดุเหลืองจำลองซึ่งมีความคลาดเคลื่อนดังที่กล่าวข้างต้น นอกจากนี้ ไทเทเนียมผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ในการศึกษาปัจจุบันยังจำกัดที่ความเข้มไฟฟ้า 4 ระดับ อีกทั้งยังมีหลักยึดรากเทียมอื่นซึ่งอาจมีประสิทธิภาพในด้านของความสวยงามของอวัยวะปริทันต์ ดังนั้น ในมุมมองด้านความสวยงาม การศึกษาเพิ่มเติม

ถึงชนิดและรูปแบบของหลักยึด กระบวนการอะโนไดซ์บนไทเทเนียมที่ระดับสีอื่นและการศึกษา ยืนยันในห้องปฏิบัติการและทางคลินิก เป็นปัจจัยที่จำเป็นต้องได้รับการศึกษาต่อไป อย่างไรก็ตาม นอกจากมุมมองด้านความสวยงาม คุณสมบัติอื่น เช่น ความเข้ากันได้เชิงชีวภาพ การต้านทาน การสึกกร่อน เป็นต้น จำเป็นต้องได้รับการศึกษาและพัฒนาต่อไป เพื่อให้บรรลุเป้าหมายสูงสุดทั้ง ความสวยงามและการใช้งานในการรักษารากฟันเทียม

จากข้อจำกัดในการศึกษาปัจจุบันในห้องปฏิบัติการ พบว่า เซอร์โคเนีย เป็นวัสดุทำหลัก ยึดรากฟันเทียมที่ให้ค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหลืองจําลองต่ำที่สุด และไทเทเนียมผ่าน กระบวนการอะโนไดซ์ 50 โวลต์สีเหลืองให้ค่าความแตกต่างของสีของวัสดุเหลืองจําลองต่ำกว่า ไทเทเนียมไม่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์



บรรณานุกรม

1. Howe MS, Keys W, Richards D. Long-term (10-year) dental implant survival: A systematic review and sensitivity meta-analysis. *Journal of dentistry*. 2019;84:9-21.
2. Li X, Wu B, Cheng X, Li Y, Xie X, Deng F. Esthetic evaluation of implant-supported single crowns: the implant restoration esthetic index and patient perception. *Journal of Prosthodontics*. 2019;28(1):51-8.
3. Zarone F, Russo S, Sorrentino R. From porcelain-fused-to-metal to zirconia: clinical and experimental considerations. *Dental materials*. 2011;27(1):83-96.
4. Czigola A, Abram E, Kovacs ZI, Marton K, Hermann P, Borbely J. Effects of substrate, ceramic thickness, translucency, and cement shade on the color of CAD/CAM lithium-disilicate crowns. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2019;31(5):457-64.
5. Dede DÖ, Armağancı A, Ceylan G, Celik E, Cankaya S, Yilmaz B. Influence of implant abutment material on the color of different ceramic crown systems. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2016;116(5):764-9.
6. Lee A, Fu J-H, Wang H-L. Soft tissue biotype affects implant success. *Implant dentistry*. 2011;20(3):38-47.
7. Wadhvani CP, O'Brien R, Kattadiyil MT, Chung K-H. Laboratory technique for coloring titanium abutments to improve esthetics. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2016;115(4):409-11.
8. de Oliveira Abi-Rached F, Fonseca RG, Haneda IG, de Almeida-Júnior AA, Adabo GL. The effect of different surface treatments on the shear bond strength of luting cements to titanium. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2012;108(6):370-6.
9. Saintrain MVdL, de Souza EHA. Impact of tooth loss on the quality of life. *Gerodontology*. 2012;29(2):632-6.
10. Amjad F, Aziz S. TRENDS AWARENESS AND ATTITUDES OF PATIENTS TOWARDS REPLACEMENT OF MISSING TEETH AT UNIVERSITY COLLEGE OF DENTISTRY. *Pakistan Oral and Dental Journal*. 2014;34(1):190-3.
11. Salinas TJ, Block MS, Sadan A. Fixed partial denture or single-tooth implant

restoration? Statistical considerations for sequencing and treatment. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 2004;62:2-16.

12. Tan K, Pjetursson BE, Lang NP, Chan ES. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years: III. Conventional FPDs. *Clinical oral implants research*. 2004;15(6):654-66.
13. Charyeva O, Altynbekov K, Zhartybaev R, Sabdanieliev A. Long-term dental implant success and survival--a clinical study after an observation period up to 6 years. *Swedish dental journal*. 2012;36(1):1-6.
14. Sherif S, Susarla SM, Hwang J-W, Weber H-P, Wright RF. Clinician-and patient-reported long-term evaluation of screw-and cement-retained implant restorations: a 5-year prospective study. *Clinical oral investigations*. 2011;15(6):993-9.
15. Pjetursson BE, Brägger U, Lang NP, Zwahlen M. Comparison of survival and complication rates of tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs). *Clinical oral implants research*. 2007;18:97-113.
16. Tettamanti S, Millen C, Gavric J, Buser D, Belser UC, Brägger U, et al. Esthetic evaluation of implant crowns and peri-implant soft tissue in the anterior maxilla: Comparison and reproducibility of three different indices. *Clinical implant dentistry and related research*. 2016;18(3):517-26.
17. Délben JA, Goiato MC, Gennari-Filho H, Gonçalves Assunção W, dos Santos DM. Esthetics in implant-supported prostheses: a literature review. *Journal of Oral Implantology*. 2012;38(6):718-22.
18. Belser UC, Grütter L, Vailati F, Bornstein MM, Weber HP, Buser D. Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: a cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2-to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *Journal of periodontology*. 2009;80(1):140-51.
19. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2000;83(4):418-23.
20. Walton TR. A 10-year longitudinal study of fixed prosthodontics: clinical characteristics and outcome of single-unit metal-ceramic crowns. *International Journal of*

Prosthodontics. 1999;12(6):519-26.

21. Brune D. Metal release from dental biomaterials. *Biomaterials*. 1986;7(3):163-75.
22. Fradeani M, Redemagni M. An 11-year clinical evaluation of leucite-reinforced glass-ceramic crowns: A retrospective study. *Quintessence international*. 2002;33(7):503-10.
23. Odén A, Andersson M, Krystek-Ondracek I, Magnusson D. Five-year clinical evaluation of Procera AllCeram crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1998;80(4):450-6.
24. Yeo I-S, Yang J-H, Lee J-B. In vitro marginal fit of three all-ceramic crown systems. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2003;90(5):459-64.
25. Brodbelt R, O'brien W, Fan P. Translucency of dental porcelains. *Journal of Dental Research*. 1980;59(1):70-5.
26. Herzberg TW, Gettleman L, Webber RL, Moffa JP. Effect of metal surface treatment on the masking power of opaque porcelain. *Journal of dental research*. 1972;51(2):468-72.
27. Volpato CÂM, Monteiro Jr S, de Andrada MC, Fredel MC, Petter CO. Optical influence of the type of illuminant, substrates and thickness of ceramic materials. *Dental materials*. 2009;25(1):87-93.
28. Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M, Hämmerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: single crowns. *Clinical oral implants research*. 2007;18:73-85.
29. Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dental Materials*. 2015;31(6):603-23.
30. Powers JM, Wataha JC. *Dental Materials : Properties and Manipulation*: Elsevier Health Sciences; 2015.
31. Beier US, Kapferer I, Dumfahrt H. Clinical long-term evaluation and failure characteristics of 1,335 all-ceramic restorations. *International Journal of Prosthodontics*.

2012;25(1):70-8.

32. Denry I, Holloway JA. Ceramics for dental applications: a review. *Materials*. 2010;3(1):351-68.

33. Shen J. *Advanced ceramics for dentistry*: Butterworth-Heinemann; 2013.

34. Christensen GJ. The all-ceramic restoration dilemma: where are we? *The Journal of the American Dental Association*. 2011;142(6):668-71.

35. Larsson C, Wennerberg A. The clinical success of zirconia-based crowns: a systematic review. *International Journal of Prosthodontics*. 2014;27(1):33-43.

36. Pieger S, Salman A, Bidra AS. Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2014;112(1):22-30.

37. McLaren EA, Figueira J. Updating classifications of ceramic dental materials: a guide to material selection. *Compendium*. 2015;36(6):739-43.

38. Bakeman E, Rego N, Chaiyabutr Y, Kois J. Influence of ceramic thickness and ceramic materials on fracture resistance of posterior partial coverage restorations. *Operative dentistry*. 2015;40(2):211-7.

39. Brandt S, Winter A, Lauer H-C, Kollmar F, Portscher-Kim S-J, Romanos GE. IPS e.max for All-Ceramic Restorations: Clinical Survival and Success Rates of Full-Coverage Crowns and Fixed Partial Dentures. *Materials*. 2019;12(3):462.

40. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: core materials. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2002;88(1):4-9.

41. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: core and veneer materials. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2002;88(1):10-5.

42. de Azevedo Cubas GB, Camacho GB, Demarco FF, Pereira-Cenci T. The effect of luting agents and ceramic thickness on the color variation of different ceramics against a chromatic background. *European journal of dentistry*. 2011;5(03):245-52.

43. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the

- masking of various types of opaque posts. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2000;83(4):412-7.
44. Leevailoj C, Sethakamnerd P. Masking ability of lithium disilicate and high translucent zirconia with liner on coloured substrates. *IP Ann Prosthodont Restorative Dent*. 2017;3:94-100.
45. Ferro KJ, Morgano SM, Driscoll CF, Freilich MA, Guckes AD, Knoernschild KL, et al. *The Glossary of Prosthodontic Terms*.
46. Shafie HR. *Clinical and laboratory manual of dental implant abutments*: John Wiley & Sons; 2014.
47. Lee J-H, Park J-M, Park E-J, Koak J-Y, Kim S-K, Heo S-J. Comparison of Customized Abutments Made from Titanium and a Machinable Precious Alloy. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2016;31(1):92-100.
48. Ferrari M, Carrabba M, Vichi A, Goracci C, Cagidiaco MC. Influence of Abutment Color and Mucosal Thickness on Soft Tissue Color. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2017;32(2):393-9.
49. Nakamura K, Kanno T, Milleding P, Örtengren U. Zirconia as a dental implant abutment material: a systematic review. *International Journal of Prosthodontics*. 2010;23(4):299-309.
50. Stimmelmayer M, Edelhoff D, Güth J-F, Erdelt K, Happe A, Beuer F. Wear at the titanium–titanium and the titanium–zirconia implant–abutment interface: A comparative in vitro study. *Dental Materials*. 2012;28(12):1215-20.
51. Lin Y-T, Shen Y-F, Wei P-C, Hsu K-W. Clinical evaluation of two-piece zirconia abutments with bonded titanium inserts for implant-supported restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2019:1-6.
52. Rimondini L, Cerroni L, Carrassi A, Torriceni P. Bacterial colonization of zirconia ceramic surfaces: an in vitro and in vivo study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2002;17(6):793-8.
53. Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A. Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: an in vivo human study. *Journal of*

periodontology. 2004;75(2):292-6.

54. Poortinga A, Bos R, Busscher H. Measurement of charge transfer during bacterial adhesion to an indium tin oxide surface in a parallel plate flow chamber. *Journal of microbiological methods*. 1999;38(3):183-9.

55. Jung RE, Sailer I, Hammerle C, Attin T, Schmidlin P. In vitro color changes of soft tissues caused by restorative materials. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*. 2007;27(3):251.

56. Chu SJ, Paravina RD, Sailer I, Mieszko AJ. *Color in dentistry: a clinical guide to predictable esthetics*: Quintessence Publishing Hanover Park (IL); 2017.

57. Leutert CR, Stawarczyk B, Truninger TC, Hämmerle CH, Sailer I. Bending moments and types of failure of zirconia and titanium abutments with internal implant-abutment connections: a laboratory study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2012;27(3):505-12.

58. 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.

59. Lausmaa J. Mechanical, thermal, chemical and electrochemical surface treatment of titanium. *Titanium in medicine*: Springer; 2001. p. 231-66.

60. Kılıçarslan MA, Özkan P, Mumcu E, Deniz ŞT. Efficacy of uncommon surface treatment methods on titanium in order to improve bond strengths for adhesive cementation. *Journal of adhesion science and Technology*. 2016;30(21):2345-56.

61. Al Jabbari YS, Zinelis S, Eliades G. Effect of sandblasting conditions on alumina retention in representative dental alloys. *Dental materials journal*. 2012;31(2):249.

62. Park SE, Da Silva JD, Weber HP, Ishikawa-Nagai S. Optical phenomenon of peri-implant soft tissue. Part I. Spectrophotometric assessment of natural tooth gingiva and peri-implant mucosa. *Clinical oral implants research*. 2007;18(5):569-74.

63. Bressan E, Paniz G, Lops D, Corazza B, Romeo E, Favero G. Influence of abutment material on the gingival color of implant-supported all-ceramic restorations: a prospective multicenter study. *Clinical oral implants research*. 2011;22(6):631-7.

64. Ishikawa-Nagai S, Da Silva J, Weber H, Park S. Optical phenomenon of peri-implant soft tissue. Part II. Preferred implant neck color to improve soft tissue esthetics. *Clinical oral implants research*. 2007;18(5):575-80.
65. Kan JY, Morimoto T, Rungcharassaeng K, Roe P, Smith DH. Gingival biotype assessment in the esthetic zone: visual versus direct measurement. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*. 2010;30(3):237-43.
66. Sarmast ND, Angelov N, Ghinea R, Powers JM, Paravina RD. Color Compatibility of Gingival Shade Guides and Gingiva-Colored Dental Materials with Healthy Human Gingiva. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*. 2018;38(3):397-403.
67. Palasuk J, Kaewkumnerd D, Sangchanpakdee K, Saengkhiaiw T, Yuthavong S, Jittapiromsak N. Effect of Denture Cleaning Solutions on Water Sorption, Solubility and Color Stability of Resilient Liners. *Journal of International Dental and Medical Research*. 2019;12(1):12-8.
68. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2015;27:1-9.
69. Perez MM, Ghinea R, Herrera LJ, Carrillo F, Ionescu AM, Paravina RD. Color difference thresholds for computer-simulated human Gingiva. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2018;30(2):E24-E30.
70. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle C. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *Journal of dental research*. 2002;81(8):578-82.
71. Ceylan G, Dede DÖ, Külünk Ş, Öngöz Dede F. Effects of refractive index solutions on the color of different luting cements. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2013;71(1):88-91.
72. Raptis NV, Michalakis KX, Hirayama H. Optical behavior of current ceramic systems. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*. 2006;26(1).
73. JW ML. The art and science of dental ceramics. *Oper Dent*. 1991;16:149-56.
74. Y. N. Analysis of natural tooth color *Shinkai Tenbo*. 1975;46:527-32.
75. Florencio Jr S. Systematic Evaluation of Fluorescence in CAD/CAM Ceramic

Materials 2017.

76. Al Ben Ali A, Kang K, Finkelman MD, Zandparsa R, Hirayama H. The effect of variations in translucency and background on color differences in CAD/CAM lithium disilicate glass ceramics. *Journal of Prosthodontics*. 2014;23(3):213-20.
77. Johnston W, Kao E. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *Journal of dental research*. 1989;68(5):819-22.
78. Ghinea R, Pérez MM, Herrera LJ, Rivas MJ, Yebra A, Paravina RD. Color difference thresholds in dental ceramics. *Journal of dentistry*. 2010;38:e57-e64.
79. Paravina RD, Pérez MM, Ghinea R. Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: a comprehensive review of clinical and research applications. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2019;31(2):103-12.
80. Alghazali N, Burnside G, Moallem M, Smith P, Preston A, Jarad FD. Assessment of perceptibility and acceptability of color difference of denture teeth. *Journal of dentistry*. 2012;40:e10-e7.
81. Chaiyabutr Y, Kois JC, LeBeau D, Nunokawa G. Effect of abutment tooth color, cement color, and ceramic thickness on the resulting optical color of a CAD/CAM glass-ceramic lithium disilicate-reinforced crown. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2011;105(2):83-90.
82. Pires LA, Novais PM, Araújo VD, Pegoraro LF. Effects of the type and thickness of ceramic, substrate, and cement on the optical color of a lithium disilicate ceramic. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2017;117(1):144-9.
83. Dede DÖ, Armaganci A, Ceylan G, Çankaya S, Çelik E. Influence of abutment material and luting cements color on the final color of all ceramics. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2013;71(6):1570-8.
84. Pecho OE, Ghinea R, Ionescu AM, de la Cruz Cardona J, Paravina RD, del Mar Pérez M. Color and translucency of zirconia ceramics, human dentine and bovine dentine. *Journal of dentistry*. 2012;40:e34-e40.
85. Gaul E. Coloring titanium and related metals by electrochemical oxidation. *Journal of chemical education*. 1993;70(3):176.

86. Niu E, Agustin M, Douglas RD. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: effects of foundation restoration. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2013;110(6):501-9.
87. Nakamura T, Saito O, Fuyikawa J, Ishigaki S. Influence of abutment substrate and ceramic thickness on the colour of heat-pressed ceramic crowns. *Journal of oral rehabilitation*. 2002;29(9):805-9.
88. Stevenson B, Ibbetson R. The effect of the substructure on the colour of samples/restorations veneered with ceramic: a literature review. *Journal of dentistry*. 2010;38(5):361-8.
89. Hammad IA, Stein RS. A qualitative study for the bond and color of ceramometals. Part II. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1991;65(2):169-79.
90. Terada Y, Maeyama S, Hirayasu R. The influence of different thicknesses of dentin porcelain on the color reflected from thin opaque porcelain fused to metal. *International journal of prosthodontics*. 1989;2(4).
91. Brewer J, Akers C, Garlapo D, Sorensen S. Spectrometric analysis of the influence of metal substrates on the color of metal-ceramic restorations. *Journal of dental research*. 1985;64(1):74-7.
92. Kourtis SG, Tripodakis A-P, Doukoudakis AA. Spectrophotometric evaluation of the optical influence of different metal alloys and porcelains in the metal-ceramic complex. *The journal of prosthetic Dentistry*. 2004;92(5):477-85.
93. Kuromoto NK, Simão RA, Soares GA. Titanium oxide films produced on commercially pure titanium by anodic oxidation with different voltages. *Materials Characterization*. 2007;58(2):114-21.
94. Kim K, Lee B-A, Piao X-H, Chung H-J, Kim Y-J. Surface characteristics and bioactivity of an anodized titanium surface. *Journal of periodontal & implant science*. 2013;43(4):198.
95. Sul Y-T, Johansson CB, Jeong Y, Albrektsson T. The electrochemical oxide growth behaviour on titanium in acid and alkaline electrolytes. *Medical engineering & physics*. 2001;23(5):329-46.

96. Shibata T, Zhu Y-C. The effect of film formation conditions on the structure and composition of anodic oxide films on titanium. *Corrosion Science*. 1995;37(2):253-70.
97. Liu X, Chu PK, Ding C. Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports*. 2004;47(3-4):49-121.
98. Diamanti MV, Del Curto B, Pedferri M. Anodic oxidation of titanium: from technical aspects to biomedical applications. *Journal of Applied Biomaterials and Biomechanics*. 2011;9(1):55-69.
99. 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. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020.
100. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dental materials*. 2018;34(1):13-28.
101. 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. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2019;121(1):156-65.
102. 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.
103. Tu Z, Zhu Y, Li N, Hu H, Cao L. Applications and Advances on surface treatment for titanium and titanium alloy. *Surface Technology*. 2009;6.
104. Lim H-P, Lee K-M, Koh Y-I, Park S-W. Allergic contact stomatitis caused by a titanium nitride-coated implant abutment: a clinical report. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2012;108(4):209-13.
105. Charrière R, Lacaille G, Pedferri MP, Faucheu J, Delafosse D. Characterization of the gonioapparent character of colored anodized titanium surfaces. *Color Research & Application*. 2015;40(5):483-90.
106. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. *Journal of dentistry*. 2014;42(6):637-44.

107. Ren J, Lin H, Huang Q, Zheng G. Determining color difference thresholds in denture base acrylic resin. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2015;114(5):702-8.
108. Sailer I, Fehmer V, Ioannidis A, Hämmerle C, Thoma DS. Threshold value for the perception of color changes of human gingiva. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2014;34(6):757-62.
109. Gómez-Polo C, Montero J, Gómez-Polo M, Casado AMM. Clinical study on natural gingival color. *Odontology*. 2019;107(1):80-9.
110. Paravina RD, Powers JM. *Esthetic Color Training in Dentistry*. StLouis: Elsevier. 2004.
111. Valente NA, Sailer I, Fehmer V, Thoma DS. Color differences between pink veneering ceramics and the human gingiva. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2018;38(Suppl):s59-s65.
112. Ho DK, Ghinea R, Herrera LJ, Angelov N, Paravina RD. Color range and color distribution of healthy human gingiva: a prospective clinical study. *Scientific reports*. 2015;5(1):1-7.
113. Kim A, Campbell SD, Viana MA, Knoernschild KL. Abutment material effect on peri-implant soft tissue color and perceived esthetics. *Journal of Prosthodontics*. 2016;25(8):634-40.
114. Sala L, Bascones-Martínez A, Carrillo-de-Albornoz A. Impact of abutment material on peri-implant soft tissue color. An in vitro study. *Clinical oral investigations*. 2017;21(7):2221-33.
115. 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. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2021;125(3):445-52.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภาณุพนธ์ วีระนพนันท์
วัน เดือน ปี เกิด	10 กรกฎาคม 2535
สถานที่เกิด	สุพรรณบุรี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จาก มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ.2563 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมคลินิก จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

