



ความสามารถในการปิดสีบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกันของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง

MASKING ABILITY OF MULTILAYERED TRANSLUCENT ZIRCONIA ON VARIOUS
TOOTH-COLORED RESIN SUBSTRATES

ณัฐชนันท์ วิวรรณสมบัติ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

ความสามารถในการปิดสปีนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกันของเซอรโคเนียไคร่ระดับความโปร่ง
แสง



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

MASKING ABILITY OF MULTILAYERED TRANSLUCENT ZIRCONIA ON VARIOUS
TOOTH-COLORED RESIN SUBSTRATES



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

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ความสามารถในการปิดสปีบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกันของเซอรโคเนียได้ระดับความโปร่ง

แสง

ของ

ณัฐชานันท์ วิวรรณสมบัติ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.ณัฐพล กิตติคุณเดชา)

ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิภพ สายแก้ว)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์)

ชื่อเรื่อง	ความสามารถในการปิดสปีนพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้นที่แตกต่างกันของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง
ผู้วิจัย	ณัฐชานันท์ วัชรวิทย์สมบัติ
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ณัฐพล กิตติคุณเดชา

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง (ΔE_{ab}^*) บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้นที่แตกต่างกัน โดยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง และศึกษาชิ้นงานจากดิสก์เซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง สี A1 สองยี่ห้อ ได้แก่ คาทานะ วายเอ็มแอล และ นาเซรา เฟิร์ล เนเซอร์ล โดยกลึงทั้งดิสก์เซอรโคเนียในแนวตั้งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร และนำไปเคลือบเงาผิวและเผากลุ่มละ 10 ชิ้น จากนั้นแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อยตามสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้น 4 สี ได้แก่ ND3, ND5, ND7 และ ND9 โดยยัดเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงเข้ากับเรซินสีเหมือนพื้นด้วยกลีเซอรินเจล และทำการศึกษาในแต่ละบริเวณของชิ้นงานแบ่งเป็น ปลายพื้น กลางพื้น และคอพื้น ทำการวัดค่าสีชิ้นงานในแต่ละบริเวณด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หาค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นโดยเปรียบเทียบกับบล็อกเซอรโคเนียอ้างอิงของเซอรโคเนียแต่ละยี่ห้อ ตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติชาปิโร-วิลค์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลในบางกลุ่มมีการแจกแจงที่ไม่เป็นไปตามแบบปกติ ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการทางสถิติแบบนอนพารามेटริกในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติของครัสคาลและวอลลิสเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า ΔE_{ab}^* ระหว่าง 3 บริเวณของชิ้นงาน ภายใต้สีพื้นหลังเรซินและเซอรโคเนียยี่ห้อเดียวกัน โดยหากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จะทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์โรนี เพื่อระบุว่าบริเวณใดบ้างที่มีความแตกต่างกัน ระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบ Post Hoc ที่ 0.05 และวิเคราะห์ด้วยสถิติทดสอบแมน-วิทนีย ยู เพื่อเปรียบเทียบค่า ΔE_{ab}^* ระหว่างเซอรโคเนีย 2 ยี่ห้อ ภายใต้สีพื้นหลังและบริเวณที่ศึกษาเดียวกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ร่วมกับการแปลผลโดยใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถรับรู้ได้และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสีที่สามารถยอมรับได้ ผลการศึกษาพบว่าสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้นที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงทั้ง 2 ยี่ห้อ และบริเวณที่ใช้ทดสอบชิ้นงานก็มีผลต่อความสามารถในการปิดสีเช่นกัน โดยพบความสามารถในการปิดสีจากน้อยไปมากได้แก่ ปลายพื้น กลางพื้น และคอพื้น ตามลำดับ โดยไม่พบเซอรโคเนียกลุ่มใดเลยที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นน้อยกว่าเกณฑ์คลาดเคลื่อนสีที่สามารถยอมรับได้บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้นสี ND9 และยังพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงมีความสามารถในการปิดสีมากที่สุดในบริเวณคอพื้น กลางพื้น และปลายพื้นตามลำดับ และสีพื้นหลังที่ต่างกันส่งผลต่อความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงทั้ง 2 ยี่ห้ออย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ความสามารถในการปิดสี, เซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง

Title	MASKING ABILITY OF MULTILAYERED TRANSLUCENT ZIRCONIA ON VARIOUS TOOTH-COLORED RESIN SUBSTRATES
Author	NUTCHANUN WIWATSOMBAT
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Dr. Nuttaphon Kittikundecha

This research aimed to investigate the ability of multilayered translucent zirconia to mask color on a resin tooth-colored background of different shades (ΔE_{ab}^*). The study used an experimental research design and examined two brands of multilayered translucent zirconia specimens, in shade A1 color: Katana-YML and Nacera-PN. Both zirconia discs were vertically milled to follow the inciso-cervical progressiveness into rectangular shapes, measuring 10 mm in width, block-height in length and 1 mm in thickness, followed by surface glazing and firing in groups of 10 specimens. These specimens were then divided into four subgroups according to four background resin colors: ND3, ND5, ND7, and ND9. The multilayered translucent zirconia was bonded to the tooth-colored resin background using glycerin gel. Each specimen was evaluated in three areas: the incisal, middle, and cervical. The color measurements were taken in each area using a spectrophotometer. The color change (ΔE_{ab}^*) was then compared to a reference zirconia block of each brand. The Shapiro-Wilk test was used to assess data distribution in each group, at a significance level of 0.05. Some groups showed non-normal distribution; thus, nonparametric methods were applied for analysis. The Kruskal-Wallis test was used to compare ΔE_{ab}^* values among three specimen areas within the same background shade and zirconia brand. When significant differences were found, pairwise comparisons were performed using the Bonferroni correction at a 0.05 significance level. To compare ΔE_{ab}^* values between the two zirconia brands under the same background and area, the Mann-Whitney U test was conducted with a significance level of 0.05. The results were interpreted using the criteria for perceptibility threshold (PT) and acceptability threshold (AT). The study found that the background resin color significantly affected the color masking ability of both brands of multilayered translucent zirconia. Furthermore, the area of the zirconia specimen being tested also influenced the color masking ability. The ability to mask color was lowest at the incisal area and improved progressively in the middle and cervical area, respectively. Notably, no zirconia groups exhibited a color difference below the AT on the ND9 resin background. Therefore, it can be concluded that both brands of multilayered translucent zirconia demonstrated the highest color masking ability in the cervical area, followed by the middle and incisal areas, respectively. Varying background shades significantly affected the masking ability of both multilayered translucent zirconia brands.

Keyword : Masking ability, Multilayered translucent zirconia

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาตลอดการทำ ปริญญานิพนธ์จากอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย อาจารย์ ดร.ทพ.ณัฐพล กิตติคุณเดชา และอาจารย์ ทพ.กตัญญู หลิมไชยกุล ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตลอดจนคณะกรรมการสอบเค้าโครงปริญญานิพนธ์และ คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ทุกท่าน ประกอบกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุน สนับสนุนจากทุนอุดหนุนประเภทเงินรายได้หน่วยงาน สังกัดคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรี นครินทรวิโรฒ ทางผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณดังกล่าวมา ณ ที่นี้

หนึ่งในขั้นตอนการทดลองนั้นได้รับความอนุเคราะห์ทั้งสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ ดำเนินการทดลอง จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รวมถึงแล็บทันตกร รมเอ็กซ่า ซีแลม ที่ได้แนะนำและอำนวยความสะดวกจนสามารถทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้น สมบูรณ์ไปได้ด้วยดี จึงขอกล่าวแสดงความซาบซึ้งในความอนุเคราะห์มา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกล่าวขอบพระคุณครอบครัววิวรรณสมบัติ และทพ.ตรอง บวรรัตนโกศล รวมถึงเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจและการสนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอดจนทำให้ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฐชานันท์ วิวรรณสมบัติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตงานวิจัย	3
ตัวแปรที่ศึกษา	3
กรอบแนวคิดวิจัย	4
สมมติฐานในการวิจัย	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	6
1. เชรามิกทางทันตกรรม	6
1.1 ประเภทเชรามิกทางทันตกรรมที่แบ่งตามองค์ประกอบหลัก	6
1.2 ประเภทเชรามิกทางทันตกรรมที่แบ่งตามเทคนิคการขึ้นรูป	11
2. การพัฒนาคุณสมบัติทางแสงและคุณสมบัติทางกลของเซอร์โคเนียทาง ทันตกรรม	13
3. ปัจจัยที่มีผลต่อสีของเชรามิก	22
4. ระบบสีและการวัดสีทางทันตกรรม	24

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างประชากรในงานวิจัย	27
การทดลองและรวบรวมข้อมูล.....	28
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	28
ขั้นตอนการทดลอง	30
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	37
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	38
ผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียได้ความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana-YML โดยเทียบภายใต้พื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันต่างๆ และเทียบในแต่ละบริเวณของชิ้นงาน	39
ผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียได้ความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera-PN โดยเทียบภายใต้พื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันต่างๆ และเทียบในแต่ละบริเวณของชิ้นงาน	43
การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียได้ระดับความโปร่งแสง (ΔE_{ab}^*) สองยี่ห้อ บริเวณปลายฟัน กลางฟัน และคอฟัน (incisal, middle and cervical area)	47
การประยุกต์ผลการศึกษาให้สอดคล้องกับการแปลผลทางคลินิก.....	50
ผลการวัดค่า L^* , a^* และ b^* ของก้อนเซอร์โคเนียได้ระดับความโปร่งแสงที่ใช้อ้างอิงในแต่ละ บริเวณ	53
ผลการวัดค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE_{ab}^* ของแผ่นพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	55
สรุปผลการวิจัย	55
อภิปรายผลการวิจัย	57
ข้อเสนอแนะ	61
บรรณานุกรม	63
ประวัติผู้เขียน	74

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงชื่อผลิตภัณฑ์บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	29
ตาราง 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณบนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันของ Katana-YML (n = 10) และผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test ระหว่าง 3 บริเวณ	40
ตาราง 3 แสดงผลต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* ระหว่างบริเวณในแต่ละสีพื้นหลัง และผลการทดสอบ Bonferroni ของ Katana-YML	41
ตาราง 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ย ของ ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณบนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันของ Nacera-PN (n = 10) และผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test ระหว่าง 3 บริเวณ	43
ตาราง 5 แสดงผลต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* ระหว่างบริเวณในแต่ละสีพื้นหลัง และผลการทดสอบ Bonferroni ของ Nacera-PN.....	45
ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML และ Nacera-PN บนแต่ละสีพื้นหลัง ในแต่ละบริเวณ และผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอร์โคเนีย 2 ยี่ห้อ	47
ตาราง 7 แสดงค่า L^* , a^* , b^* ของก้อนเซอร์โคเนียไต่ระดับความโปร่งแสงที่ใช้อ้างอิงยี่ห้อ Katana-YML และ Nacera-PN ในแต่ละบริเวณ	53
ตาราง 8 แสดงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE_{ab}^* ของแผ่นพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ	54
ตาราง 9 ผลการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติชาปีโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test).....	69
ตาราง 10 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML และ Nacera-PN บนแต่ละสีพื้นหลัง ในบริเวณปลายฟัน (n = 10) และผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอร์โคเนีย 2 ยี่ห้อ.....	70
ตาราง 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML และ Nacera-PN บนแต่ละสีพื้นหลัง ในบริเวณกลางฟัน (n = 10) และผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอร์โคเนีย 2 ยี่ห้อ.....	71

ตาราง 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัชยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML และ Nacera-PN บนแต่ละสีพื้นหลัง ในบริเวณคอฟัน (n = 10) และผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอรัโคเนีย 2 ยี่ห้อ.....	72
ตาราง 13 แสดงเลขการผลิตของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา	73



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย	4
ภาพประกอบ 2 แสดงมาร์เทินไฮทิก ทรานส์ฟอร์เมอร์ชั้นของเซอร์โคเนียบริสุทธิ์	9
ภาพประกอบ 3 แสดงกระบวนการทรานส์ฟอร์เมอร์ชั้นที่เฟ้นย่นำโดยความเค้น	10
ภาพประกอบ 4 แสดงตัวอย่างดิสก์เซอร์โคเนียโปรงแสงที่จำลองการไล่สีของฟันธรรมชาติ ยี่ห้อ KATANA™ Zirconia UTML, STML, HTML	15
ภาพประกอบ 5 แสดงผลิตภัณฑ์เซอร์โคเนียทางทันตกรรม จำแนกตามปริมาณความเข้มข้นของ ยิตเทรียม	16
ภาพประกอบ 6 แสดงตัวอย่างกรอบฟันเซอร์โคเนียชนิดโมโนลิทิก จากด้านซ้ายสุดไปด้านขวาคือ กรอบฟัน 3Y-HA, 3Y, 4Y และ 5Y	16
ภาพประกอบ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความใส (percentage of translucency) และค่าความแข็งแรงดัดขวาง (flexural strength) ของเซอร์โคเนียทางทันตกรรม	17
ภาพประกอบ 8 การแบ่งประเภทของเซอร์โคเนียทางทันตกรรมตามสารสเดบิลเซอร์อิตเทรียม และคุณสมบัติองค์ประกอบทางเคมีและการจัดเรียงทางกายภาพ	19
ภาพประกอบ 9 การแบ่งชั้นของเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปรงแสงยี่ห้อ Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan	20
ภาพประกอบ 10 การแบ่งชั้นของเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปรงแสงยี่ห้อ Nacera® Pearl Natural Zirconia, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany ที่ความสูงดิสก์ 25 มิลลิเมตร	20
ภาพประกอบ 11 ข้อบ่งใช้ทางคลินิกตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต KATANA™ Zirconia ชนิด UTML, STML, HTML และ YML	21
ภาพประกอบ 12 ภาพแถบสี natural die (ND) material guide	22
ภาพประกอบ 13 แสดงระบบสี CIELAB (CIELAB color space)	25
ภาพประกอบ 14 แสดงชิ้นงานเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปรงแสงหลังการเผาและทำการเคลือบผิวเซรามิกแล้ว ยี่ห้อคาทานะ วายเอ็มแอล (ภาพซ้าย) และนาเซรา เพิร์ล เนเชอรัล (ภาพขวา)	31

ภาพประกอบ 15 แสดงแม่พิมพ์โลหะไว้ส่นิมสำหรับทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน	32
ภาพประกอบ 16 แสดงการนำวัสดุเรซินสีเหมือนฟันอุดลงไปแบบพิมพ์ และทับด้วย glass slab	32
ภาพประกอบ 17 แสดงแผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5, ND7 และ ND9 (จากซ้ายไปขวา).....	33
ภาพประกอบ 18 แสดงเครื่องช่วยออกแบบงานทันตกรรมประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
ภาพประกอบ 19 แสดงบล็อกเซอร์โคเนียยี่ห้อมาแทนะ วายเอ็มแอล ที่ใช้อ้างอิง	35
ภาพประกอบ 20 แสดงบล็อกเซอร์โคเนียยี่ห้อมาแทนะ เฟอร์ล เนเซอร์ล ที่ใช้อ้างอิง	35
ภาพประกอบ 21 ภาพจำลองการวัดชิ้นงานละ 3 ตำแหน่ง ไล่จากบนลงล่างในแนวตั้ง แทนตำแหน่ง ปลายฟัน กลางฟัน และคอฟัน โดยจุดที่วัดอยู่กึ่งกลางชิ้นงานในแนวนอน.....	36
ภาพประกอบ 22 แสดงค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียไล่ระดับความ โปร่งแสง 2 ยี่ห้อที่บริเวณปลายฟันเมื่อเทียบกับระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT)	50
ภาพประกอบ 23 แสดงค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียไล่ระดับความ โปร่งแสง 2 ยี่ห้อที่บริเวณกลางฟันเมื่อเทียบกับระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT)	51
ภาพประกอบ 24 แสดงค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียไล่ระดับความ โปร่งแสง 2 ยี่ห้อที่บริเวณคอฟันเมื่อเทียบกับระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT).....	52

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในปัจจุบันวัสดุเซรามิกเป็นที่นิยมในการใช้บูรณะทั้งฟันหน้า และฟันหลัง เนื่องด้วยเหตุผลทางคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ ได้แก่ ให้ความสวยงามที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ, คุณสมบัติทางแสง (optical properties), ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility), ความเสถียรของสี (color stability) และ ความทนต่อการเสียดสี (wear resistance)(1)

โดยความต้องการของผู้ป่วยในปัจจุบันมีความคาดหวังในเรื่องความสวยงามเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้วัสดุบูรณะชนิดโลหะเคลือบพอร์ซเลน (porcelain fused to metal) ถูกเลือกใช้น้อยลง เนื่องจากมีข้อจำกัดในแง่การขาดความใส (translucency) ของวัสดุ(2) และการเห็นสีของส่วนผสมโลหะ(1) ดังนั้นหากมุ่งเน้นผลในเรื่องการบูรณะเพื่อความสวยงาม จะถือว่าวัสดุกลุ่มเซรามิกถือเป็นวัสดุทางเลือก (material of choice) เนื่องจากสามารถลอกเลียนและจำลองลักษณะคล้ายฟันธรรมชาติได้อย่างดีเยี่ยม(3) จึงเกิดการพัฒนาวัดุชนิดเซรามิกล้วน (all ceramic) ขึ้นมา และยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน เพื่อตอบสนองความต้องการในเรื่องความสวยงามของผู้ป่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบูรณะบริเวณฟันหน้า(4)

วัสดุชนิดเซรามิกล้วนชนิดหนึ่งที่ทางทันตกรรมนิยมใช้ในปัจจุบันคือออกไซด์เซรามิกชนิดที่มีเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบหลัก (zirconia based ceramic) โดยจัดเป็นโพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (polycrystalline ceramic)(5) ซึ่งมีความโดดเด่นในคุณสมบัติเรื่องความแข็งแรงเชิงกล (mechanical strength) และความต้านทานการแตกหัก (fracture resistance) เนื่องจากมีกลไกทรานส์ฟอร์เมชัน ทัฟเทนิง (transformation-toughening)(6) แต่เซรามิกชนิดเซอร์โคเนียแบบดั้งเดิม (conventional zirconia) นั้นมีข้อด้อยคือ มีความขุ่นและทึบแสง(7) ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง (translucent zirconia) ขึ้นมา โดยพัฒนาจากการปรับส่วนประกอบทางเคมี (chemical composition), ขนาดผลึก (crystal size) และการกระจายตัวของเฟส (phase distribution) จากเซอร์โคเนียแบบดั้งเดิม เพื่อมุ่งเน้นพัฒนาให้มีคุณสมบัติทางแสง (optical properties) ของเซรามิกชนิดเซอร์โคเนียที่ดีขึ้น(8)

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเซอร์โคเนียหลายชั้น (multilayered translucent zirconia) ขึ้นมา โดยมีการไล่ระดับของส่วนประกอบทางเคมีในแต่ละชั้น เพื่อตอบสนองทั้งเรื่องความสวยงามและความแข็งแรงภายในหนึ่งชิ้นงาน โดยวัสดุชนิดนี้ส่วนบนของแผ่นเซอร์โคเนีย (zirconia disc) ซึ่งแทนส่วนปลายฟัน (incisal) จะมีความใสมากกว่า และในส่วนล่างของแผ่น

เซอรโคเนียซึ่งแทนส่วนคอฟัน (cervical) จะมีความใสที่น้อยกว่า โดยความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีในแต่ละชั้นนั้นนอกจากจะส่งผลต่อความใส ความสวยงามแล้ว ยังส่งผลต่อความแข็งแรงในแต่ละชั้นด้วยเช่นกัน(9)

การบูรณะฟันด้วยวัสดุกลุ่มเซรามิกล้วนควรคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อสีของชิ้นงานเซรามิก ได้แก่ สีของเนื้อฟันธรรมชาติที่เป็นฟันหลัก (abutment tooth) ที่อยู่ด้านใต้ หากมีสีเข้มเนื่องจากได้รับการรักษาคอนโรกฟัน (root canal treatment) ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่ทำลายเรื่องความสวยงามในการบูรณะฟันหน้าสำหรับทันตแพทย์ เนื่องจากหากจะบูรณะต้องพิจารณาเลือกใช้วัสดุเซรามิกที่มีคุณสมบัติทางแสงเหมาะสม และมีความหนาที่เพียงพอในการปิดสีฟันหลัก(10) โดยเฉพาะบริเวณคอฟันซึ่งอาจจะท่อนสีเงาดำผ่านชิ้นงานเซรามิกขึ้นมาได้(11) รวมถึงการเลือกสารยึดติดที่ใช้ยึดชิ้นงาน ซึ่งสารยึดติดประเภทเรซินซีเมนต์ (resin cement) มีหลายสีให้เลือกใช้ โดยสีของสารยึดติดสามารถส่งผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะกลุ่มเซรามิกล้วนภายหลังการยึดติด(11) ความหนาของเซรามิกก็ส่งผลต่อความใสโดยรวมของวัสดุบูรณะกลุ่มเซรามิกล้วน(11) อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Sethakamnerd P. และคณะในปี 2017(12) พบว่าความหนาของเซรามิกนั้นส่งผลต่อความสามารถในการปิดสี (masking ability) บนพื้นหลัง ทั้งนี้ความใส (translucency) ของชิ้นงานเซรามิกยังส่งผลต่อสีของชิ้นงานภายหลังการยึดติดบนเนื้อฟันที่มีสีเข้มเช่นกัน(13)

วิธีสากลที่นิยมใช้ศึกษาความสามารถในการปิดสี (masking ability) ของวัสดุบูรณะทางทันตกรรมได้จากการคำนวณค่าความแตกต่างของสี (color difference, ΔE) ซึ่งได้จากสมการ CIELAB (ΔE^*_{ab}) โดยศึกษาจากการวางวัสดุบูรณะลงบนพื้นหลังที่มีสีแตกต่างกัน(14)

จากการศึกษาของ Manziuc และคณะในปี 2021(7) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการปิดสีของวัสดุเซอรโคเนียโปร่งแสง และพบว่าความหนาของวัสดุและสีของพื้นหลังที่ต่างกันมีผลต่อผลลัพธ์ในการปิดสี และการศึกษาของ Park และคณะในปี 2022(8) ที่ศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียโปร่งแสงชนิดต่างๆ เทียบกับเซรามิกชนิดดิเทียมไดซิลิเกตพบว่า วัสดุทั้งสองชนิดที่ความหนา 0.8 และ 1.5 มิลลิเมตร ไม่สามารถปิดสีของเรซินสีเหมือนฟันเฉด ND (natural die) 9 ได้ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงในแต่ละบริเวณของเซรามิก เมื่อนำไปยึดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันในระดับความเข้มสีต่างๆ และยังไม่มีย่อแนะการใช้งานทางคลินิกที่แน่ชัด ในแง่ของความสามารถในการปิดสีของเซรามิกชนิดนี้ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยในครั้งนี้คือ เพื่อศึกษาความสามารถในการปิดสีบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่มีระดับความเข้มสีแตกต่างกันของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ความหนาเดียวกัน จำนวน 2 ยี่ห้อ บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน

ความสำคัญของการวิจัย

การศึกษานี้ต้องการทดสอบความสามารถในการปิดสีของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อที่ความหนาเดียวกันบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ซึ่งเป็นตัวแทนสีฟันหลักของผู้ป่วยที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้ทางคลินิก และเป็นแนวทางในการวางแผนบูรณะฟันหน้าด้วยวัสดุเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สวยงามและมีความแข็งแรง สามารถใช้งานได้ดีและผู้ป่วยพึงพอใจมากที่สุด

ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research) โดยนำเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อ ได้แก่ คาทานะ วายเอ็มแอล (Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) สี A1 และนาเซรา เพิร์ล เนเชอรัล (Nacera® Pearl Natural Zirconia, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany) สี A1 ที่มีความหนาเดียวกัน คือ 1.0 (± 0.1) มิลลิเมตร มายึดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่มีความเข้มสีแตกต่างกัน ได้แก่ สี ND3, ND5, ND7 และ ND9 (IPS® natural die material, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ด้วยก๊ลิเซอรินเจล (KY® jelly personal lubricant) เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็น

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ

- 1.1 พื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน ได้แก่ สี ND3, ND5, ND7 และ ND9
- 1.2 ยี่ห้อของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง ได้แก่ คาทานะ วายเอ็มแอล (Katana™ YML) และ นาเซรา เพิร์ล เนเชอรัล (Nacera® Pearl Natural)
- 1.3 บริเวณของชิ้นงานเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง ได้แก่ ปลายฟัน, กลางฟัน และ คอฟัน

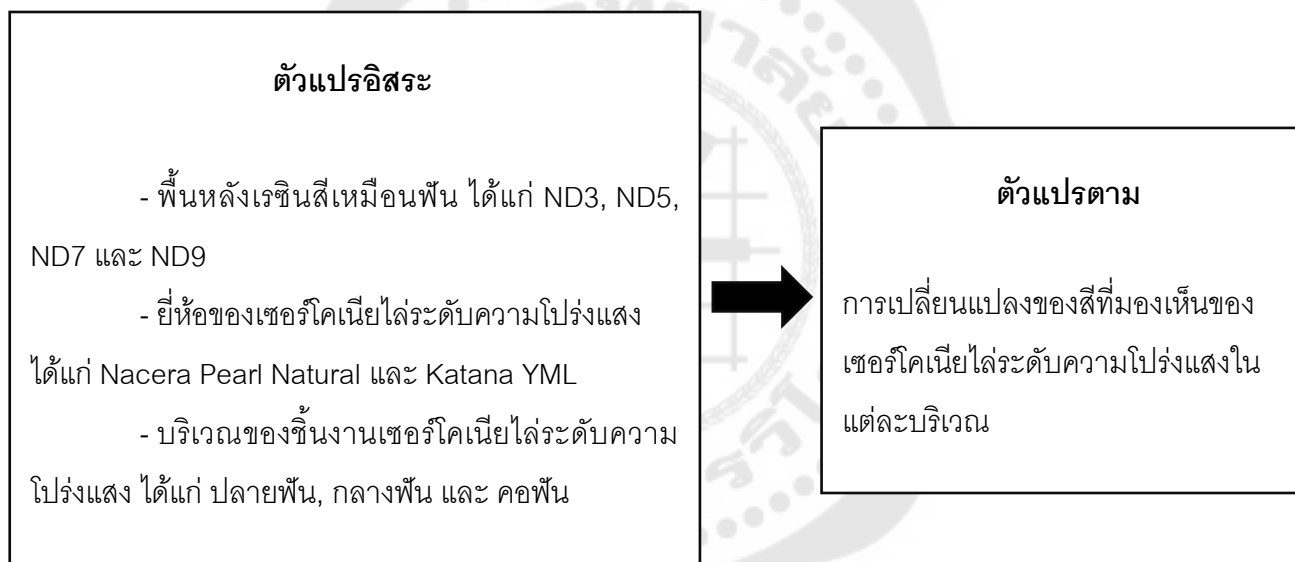
2. ตัวแปรตาม

การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอริโคเนียไ้ระดับความโปร่งแสงในแต่ละบริเวณ

3. ตัวแปรควบคุม

- 3.1 ขนาดและความหนาของชิ้นงานเซอริโคเนีย
- 3.2 ความหนาของแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน
- 3.3 ความหนาของชั้นกลีเซอรินเจลที่ใช้จำลองการยึดติด
- 3.4 ตำแหน่งหัววัดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
- 3.5 สิ่งแวดล้อมขณะทำการวัดสีชิ้นงาน

กรอบแนวคิดวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

H_0 : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นระหว่างเซอโคเนียไ้ระดับความโปร่งแสงสองยี่ห้อ
ในแต่ละบริเวณไม่แตกต่างกันภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกัน

H_a : การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นระหว่างเซอโคเนียไ้ระดับความโปร่งแสงสองยี่ห้อ
ในแต่ละบริเวณแตกต่างกันภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกัน



บทที่ 2

บททวนวรรณกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เซรามิกทางทันตกรรม
2. การพัฒนาคุณสมบัติทางแสงและคุณสมบัติทางกลของเซอโรโคเนียทางทันตกรรม
3. ปัจจัยที่มีผลต่อสีของเซรามิก
4. ระบบสีและการวัดสีทางทันตกรรม

1. เซรามิกทางทันตกรรม

ในทางทันตกรรมมักใช้คำว่า “เซรามิก” และ “พอร์ซเลน” ในความหมายเดียวกัน ซึ่งคำว่า “เซรามิก” มีรากฐานมาจากภาษากรีกว่า “*keramos*” มีความหมายว่า สิ่งที่ถูกเผา เช่น เครื่องถ้วยชาม ส่วนคำว่า “พอร์ซเลน” เดิมมีรากฐานมาจากภาษาอิตาลีคำว่า “*porcellana*” แปลว่า เปลือกหอยควาวรี (cowrie shell) ซึ่งยุคนั้นพบว่าคล้ายคลึงกับพอร์ซเลนจากประเทศจีนในศตวรรษที่ 13 ที่มีความแข็งแรงแต่มีความบางและใส(15)

เซรามิกเป็นสารประกอบของธาตุโลหะ เช่น อะลูมิเนียม (aluminum), แคลเซียม (calcium), ลิเทียม (lithium), แมกนีเซียม (magnesium), โพแทสเซียม (potassium), โซเดียม (sodium), ดีบุก (tin), ไทเทเนียม (titanium) และเซอโรโคเนียม (zirconium) ร่วมกับธาตุอโลหะ เช่น ซิลิคอน (silicon), ฟลูออรีน (fluorine), โบรอน (boron), ออกซิเจน (oxygen)(15) ในขณะที่พอร์ซเลนจัดเป็นเซรามิกที่ประกอบไปด้วยกลาสเมทริกซ์เฟส (glass-matrix phase) และคริสตัลลีนเฟส (crystalline phase)(15) ดังนั้นแท้จริงแล้วกล่าวได้ว่าพอร์ซเลนทุกชนิดจัดเป็นเซรามิก แต่เซรามิกบางชนิดไม่ใช่พอร์ซเลน เช่น เซอโรโคเนียทางทันตกรรมที่ไม่มีกลาสเมทริกซ์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเซอโรโคเนียไม่ใช่พอร์ซเลน(15)

1.1 ประเภทเซรามิกทางทันตกรรมที่แบ่งตามองค์ประกอบหลัก

เซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุบูรณะทางทันตกรรมได้พัฒนาคุณสมบัติในด้านต่างๆมาอย่างต่อเนื่อง โดยจำแนกด้วยลักษณะสำคัญได้ 2 แบบ คือ แบ่งประเภทตามองค์ประกอบหลักทางเคมี (main chemical composition) และเทคนิคการขึ้นรูป (manufacturing technique)(1)

โดยจากการศึกษาของ Gracis และคณะในปี 2015(5) ได้แบ่งประเภทของเซรามิกตามองค์ประกอบหลัก ดังนี้

1.1.1 กลาสเมทริกซ์เซรามิก (glass-matrix ceramics)

จัดเป็นเซรามิกชนิดสารประกอบอนินทรีย์อโลหะที่มีโครงสร้างอสัณฐานหรือโครงสร้างแก้ว แบ่งได้เป็น 3 ประเภทย่อย ได้แก่

1.1.1.1 เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) เป็นเซรามิกชนิดดั้งเดิมที่มี 3 องค์ประกอบพื้นฐานหลัก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ (feldspar) ควอตซ์ (quartz) และเคโอลิน (kaolin) โดยปัจจุบันนิยมใช้งานเป็นวัสดุวีเนียร์ (veneer) ปิดทับสีโลหะในครอบฟันชนิดโลหะเคลือบพอร์ซเลน (porcelain fused to metal crown) หรือนำมาวีเนียร์บนเซรามิกชนิดที่มีความแข็งแรงสูง(5) และยังได้มีการเติมส่วนประกอบออกไซด์ของโลหะ (metal oxide) บางตัวเพื่อเพิ่มคุณสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) เพื่อเพิ่มความสวยงามและลอกเลียนแบบฟันธรรมชาติ พบว่าเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนมีความใสและให้ความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากที่สุด แต่มักพบปัญหาการแตกหักเนื่องจากวัสดุมีความแข็งแรงต่ำ(16)

1.1.1.2 เซรามิกสังเคราะห์ (synthetic) พัฒนาขึ้นเนื่องจากต้องการพึงพาทรัพยากรจากธรรมชาติน้อยลง โดยส่วนประกอบจะแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิต ซึ่งที่พบส่วนใหญ่จะเป็น ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide, SiO_2), โพแทสเซียมออกไซด์ (potassium oxide, K_2O_3), โซเดียมออกไซด์ (sodium oxide, Na_2O) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminum oxide, Al_2O_3) และจัดเป็นเซรามิกที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างผลึกมากขึ้น ตัวอย่างเช่น กลาสเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ (leucite-reinforced), ลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate), ฟลูออโรอะพาไทต์เบส (fluorapatite- based)(5)

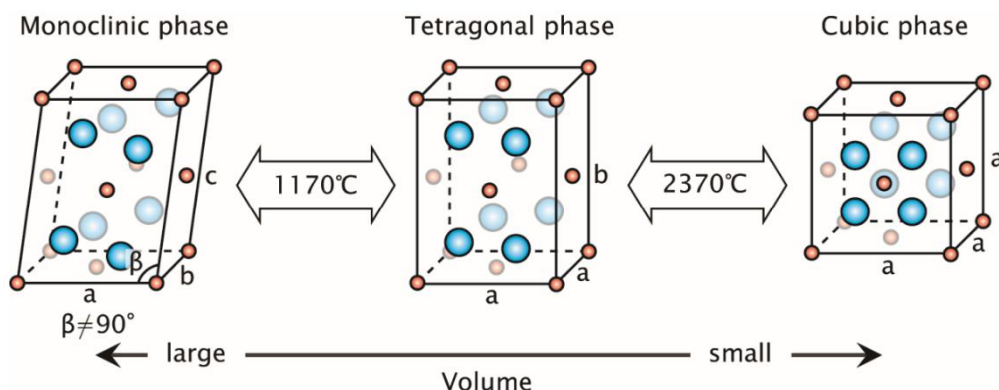
1.1.1.3 กลาสอินฟิวเตรท (glass-infiltrated) โดยส่วนโครงสร้างผลึกซึ่งถูกแทรกด้วยแลนทานัมกลาส (lanthanum glass) ได้แก่ อะลูมินา, อะลูมินาและแมกนีเซียม, อะลูมินาและเซอร์โคเนีย แต่พบว่ามีข้อจำกัดเรื่องมีสีทึบ จึงมักนำมาใช้ทำแกนแล้ววีเนียร์ด้วยเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน แต่ปัจจุบันมีการใช้งานทางทันตกรรมน้อยลง เนื่องจากมีการพัฒนาเซรามิกที่มีความสวยงามและแข็งแรงมาทดแทน(16) เช่น ลิเทียมไดซิลิเกต และเซอร์โคเนีย(5)

1.1.2 โพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (polycrystalline ceramics) หรือเซรามิกประเภทพหุผลึก

มีโครงสร้างผลึกเป็นองค์ประกอบหลัก และไม่มีโครงสร้างออสถุเนียนหรือโครงสร้างแก้ว จึงทำให้เซรามิกชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง แต่มีข้อจำกัดเรื่องความใส โดยวัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่

1.1.2.1 อะลูมินา (alumina) เซรามิกชนิดนี้มีส่วนประกอบเป็นอะลูมินัมออกไซด์สูงถึงร้อยละ 99.5 ทำให้มีความแข็งแรงสูง นิยมใช้ทำเป็นแกนเซรามิก แต่หลังการใช้งานมักพบการแตกหักของส่วนแกน จึงนำไปสู่การพัฒนาคุณสมบัติอื่นๆ เช่น กระบวนการทรานส์ฟอร์มเมชันทไฟเฟนนิ่ง (transformation toughening) ที่พบในเซรามิกชนิดเซอร์โคเนีย จึงทำให้เซรามิกชนิดอะลูมินาถูกนำมาใช้น้อยลง(5)

1.1.2.2 สเตบิลไลซ์เซอร์โคเนีย (stabilized zirconia) เซรามิกชนิดนี้มีโครงสร้างผลึกเป็นส่วนใหญ่ มีโครงสร้างออสถุเนียนหรือโครงสร้างแก้วน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย จึงทำให้มีความแข็งแรงสูง โดยเซอร์โคเนียบริสุทธิ์ (pure zirconia) มีคุณสมบัติเป็นพหุสัณฐาน (polymorph) หมายความว่า รูปร่างผลึกของเซอร์โคเนียสามารถจัดเรียงตัวได้หลายรูปแบบ โดยที่อุณหภูมิห้องจะมีผลึกแบบโมโนคลินิก (monoclinic) และเมื่อให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 1,170 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนผลึกเป็นแบบเตตราโกนอล (tetragonal) และเมื่อให้ความร้อนต่อไปจนถึง 2,370 องศาเซลเซียส ผลึกจะเปลี่ยนเป็นรูปคิวบิก (cubic)(5) และหากปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ผลึกของเซอร์โคเนียจะเปลี่ยนกลับจากคิวบิก เป็นเตตราโกนอล และโมโนคลินิกตามลำดับ เรียกการเปลี่ยนรูปร่างผลึกดังกล่าวว่า มาร์เทนไซต์ิก ทรานส์ฟอร์มเมชัน (martensitic transformation) คือการเปลี่ยนรูปร่างโดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิม(16)



ภาพประกอบ 2 แสดงมาร์เทนไซต์ิก ทรานส์ฟอร์มเมชันของเซอร์โคเนียบริสุทธิ์

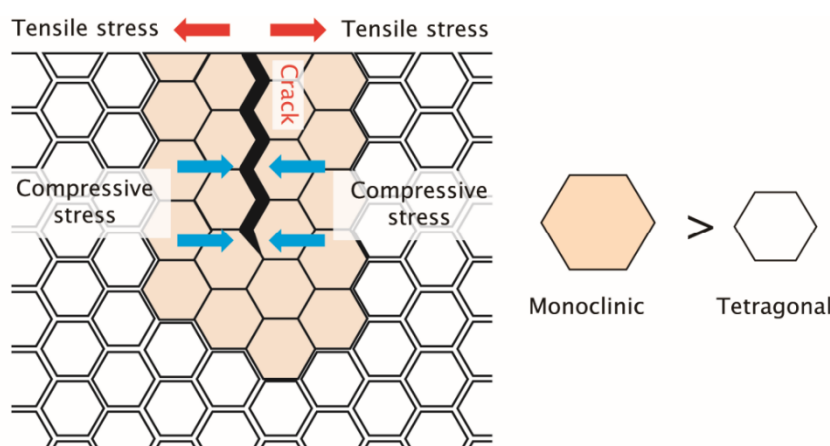
ที่ ม ๑ : Nakamura K. Mechanical and microstructural properties of monolithic zirconia2015.

ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกขณะที่เย็นตัวลงสู่อุณหภูมิห้อง ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของปริมาตร (volume expansion) ของโครงสร้างผลึก เนื่องจากผลึกแบบโมโนคลินิกมีปริมาตรมากกว่าเททราโกนอลและคิวบิก ร้อยละ 3.0-4.0 และ 8.0-9.0 ตามลำดับ(16) ทำให้เกิดความเครียด (stress) ในตัววัสดุ จนสุดท้ายสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดรอยร้าว (cracking) ในตัววัสดุได้ จึงทำให้เซอร์โคเนียบริสุทธิ์มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานทางทันตกรรม (6)

ต่อมาได้พัฒนาโดยการใส่สารคงสภาพหรือสารสเตบิไลเซอร์ (stabilizer) ซึ่งเป็นสารออกไซด์ของโลหะ (metal oxides) เช่น แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide, CaO), แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide, MgO), ซีเรียมออกไซด์ (cerium oxide, CeO₂) และ อิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide, Y₂O₃) เข้าไปในเซอร์โคเนียบริสุทธิ์เพื่อคงรูปผลึกเททราโกนอลและ/หรือ คิวบิก ไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยเซอร์โคเนียทางทันตกรรมนิยมใช้สารสเตบิไลเซอร์เป็นอิตเทรียมออกไซด์ ซึ่งเมื่อใส่ร้อยละ 3 โดยโมลอิตเทรียมออกไซด์ เซอร์โคเนียจะอยู่ในสภาวะกึ่งเสถียร (metastable) ในรูปผลึกเททราโกนอล ซึ่งจะถูกเรียกว่า สามวาเย-ทีแซดพี หรือ อิตเทรียมเททราโกนอล เซอร์โคเนีย พอลิคริสทอลล์ (3Y-TZP, 3Y-HA) ซึ่งจัดเป็นเซอร์โคเนียชนิดแรกที่น่าไปใช้งานทางทันตกรรมได้(6)

ปัจจัยที่ทำให้เซอร์โคเนียมีความแข็งแรงสูงคือ มีกระบวนการทรานส์ฟอร์มเมชันที่เฟนนิ่งที่เหนี่ยวนำโดยความเค้น (stress-induced transformation toughening) โดยเมื่อมี

แรงมากระทำจะเกิดความเค้นที่ปลายรอยร้าว กระตุ้นให้รูปผลึกเททราโกนอลเปลี่ยนไปเป็นโมโนคลินิก ร่วมกับการมีปริมาตรที่เพิ่มขึ้น จึงเกิดเป็นความเค้นแรงอัด (compressive stress) รอบๆ รอยร้าว ส่งผลให้หยุดการขยายตัวของรอยร้าว (crack propagation) ได้(6)



ภาพประกอบ 3 แสดงกระบวนการทรานส์ฟอร์มชันที่เฟ่นึงที่เหนียวนำโดยความเค้น

ที่ ม ๑ : Nakamura, K. (2015). Mechanical and microstructural properties of monolithic zirconia.

1.1.2.3 เซอร์โคเนียที่ฟแทนอะลูมินา (zirconia toughened alumina, ZTA) และ อะลูมินาที่ฟแทนเซอร์โคเนีย (alumina toughened zirconia, ATZ) เป็นการผสมกันระหว่างเซอร์โคเนียและอะลูมินาในระดับไมโครหรือนาโนเพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดย ZTA คือเซอร์โคเนียที่ถูกเติมเข้าไปในอะลูมินา และ ATZ คืออะลูมินาที่ถูกเติมเข้าไปในเซอร์โคเนีย

1.1.3 เรซินเมทริกซ์เซรามิก (resin-matrix ceramics) หรือไฮบริดเซรามิก (hybrid ceramic)

ประกอบไปด้วยเมทริกซ์อินทรีย์ (organic matrix) ร่วมกับการผสมของอนุภาคเซรามิก (ceramic particles) โดยพัฒนาเพื่อลอกเลียนแบบมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของเนื้อฟัน (modulus of elasticity of dentin) ซึ่งทำได้ดีกว่าวัสดุเซรามิกเพียงอย่างเดียว และเพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานที่ง่ายขึ้น รวมถึงทำให้มีคุณสมบัติที่สามารถซ่อมแซมด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตได้(5) วัสดุในกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1.1.3.1 เรซินนาโนเซรามิก (resin nanoceramic) ประกอบด้วยเรซินเมทริกซ์ที่ผ่านการบ่มตัวแล้ว (cured resin matrix) และอนุภาคนาโนเซรามิกประมาณร้อยละ 80 โดยมวล

1.1.3.2 กلاسเซรามิกที่มีการแทรกตัวของเรซินในเมทริกซ์ (glass ceramic in a resin interpenetrating matrix) ประกอบด้วย 2 เน็ตเวิร์กคือ เฟลสปาติกเซรามิกเน็ตเวิร์ก (feldspathic ceramic network) ร่วมกับโพลิเมอร์เน็ตเวิร์ก (polymer network) โดยบริษัทผู้ผลิตมักเรียกเซรามิกชนิดนี้ว่าไฮบริดเซรามิก (hybrid ceramic)

1.1.3.3 เซอร์โคเนีย-ซิลิกาที่มีการแทรกตัวของเรซินในเมทริกซ์ (zirconia-silica ceramic in a resin interpenetrating matrix) ประกอบด้วยผลึกเซอร์โคเนีย-ซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งถูกฝังอยู่ในโพลิเมอร์เมทริกซ์ (polymer matrix)

1.2 ประเภทเซรามิกทางทันตกรรมที่แบ่งตามเทคนิคการขึ้นรูป

โดยจากการศึกษาของ Warreth และคณะในปี 2020(3) ได้แบ่งประเภทของเซรามิกตามเทคนิคการขึ้นรูป (fabrication technique) เป็น 5 ประเภทหลัก ดังนี้

1.2.1 วิธีดั้งเดิม หรือวิธีซ้อนทับ (stacking and sintering)

คือการนำผงเซรามิกผสมในน้ำ หรือน้ำผสมกลีเซอรินให้มีลักษณะข้นหนืดแต่งเป็นรูปร่างต่างๆได้ ซึ่งมักทำทับลงบนแผ่นแพลทินัม (platinum foil), ดายที่ทำจากวัสดุทนความร้อน (refractory die) หรือโครงโลหะ (metal coping) แล้วแต่งให้ได้รูปร่างชิ้นงานที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการนำของเหลวส่วนเกินออกด้วยการสั่นหรือการเคาะ แล้วจึงซับของเหลวส่วนเกินออก เมื่อได้รูปร่างที่ต้องการแล้วจึงนำไปให้ความร้อนสูงเพื่อให้อนุภาคเซรามิกชิดเข้าหากัน(3)

1.2.2 วิธีการอัดด้วยความร้อน (heat/hot pressing technique, lost-wax technique)

จะใช้หลักการคล้ายวิธีลอสต์แว็กซ์เทคนิค (lost-wax technique) คือแต่งรูปร่างฟันด้วยแว็กซ์ แล้วนำไปลงในวัสดุอินเวสเมนต์ (investment) ซึ่งเป็นวัสดุทนความร้อน หลังจากนั้นจะกำจัดแว็กซ์ด้วยความร้อนแล้วจะได้เป็นเบ้าหล่อชิ้นงานในอินเวสเมนต์ หลังจากนั้นจะนำก้อนเซรามิก (ceramic ingot) มาให้ความร้อนแล้วอัดเข้าไปในเบ้าหล่อภายใต้อุณหภูมิสูง

1.2.3 วิธีการหล่อน้ำดินเหลวลงในแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์ร่วมกับวิธีการแทรกซึมกาส (slip-casting and the glass infiltration/infusion method)

คือการใส่เซรามิกสเลอรี (ceramic slurry) ซึ่งเป็นผงเซรามิกผสมกับของเหลวในแม่แบบ (mold) ที่ทนความร้อน โดยจะมีการดูดน้ำจากเซรามิกสเลอรีออกด้วยคาปิลลารีแอ็กชัน (capillary action) ซึ่งจะให้อนุภาคเซรามิกอัดแน่นยิ่งขึ้น

1.2.4 วิธีอัดแบบแห้ง (dry-pressing method)

เป็นวิธีที่ใช้สำหรับโพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (อะลูมินา หรือ เซอร์โคเนีย) ซึ่งได้จากการพิมพ์ชิ้นงานในปาก แล้วนำมาทำตายที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริงประมาณร้อยละ 12-20 ในคอมพิวเตอร์ เพื่อชดเชยการหดตัวของเซรามิกหลังทำการเผา โดยจะขึ้นรูปโดยใช้ผงเซรามิกที่ไม่มีความชื้น หรือมีความชื้นเพียงเล็กน้อย

1.2.5 วิธีแคดแคม (CAD/CAM, computer-aided design-computer-aided manufacturing)

คือการออกแบบและขึ้นรูปชิ้นงานด้วยซอฟต์แวร์ผ่านคอมพิวเตอร์ ซึ่งเข้ามามีบทบาทสำคัญทางทันตกรรมเป็นอย่างมาก โดยการพิมพ์ชิ้นงานแบบดิจิทัล (digital impression) ผ่านการสแกนในช่องปาก (intraoral scanning) เป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำสูงเนื่องจากเป็นการออกแบบรูปร่างฟันผ่านคอมพิวเตอร์ที่มีความละเอียดสูง ก่อนที่จะถ่ายทอดสู่เครื่องกลึง (milling machine) แต่ข้อเสียของการขึ้นรูปวิธีนี้คือ มีค่าใช้จ่ายต้นทุนและการดูแลเครื่องมือที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ ซึ่งการใช้วิธีแคดแคมทางทันตกรรมจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การพิมพ์ชิ้นงานด้วยระบบดิจิทัลจากการสแกนในช่องปากโดยตรง หรือหากใช้การพิมพ์ปากแบบดั้งเดิม ก็สามารถนำแบบปูนหล่อฟัน (stone replica) มาสแกนสามมิติเพื่อแปลงให้เป็น digital impression ได้

2. การออกแบบชิ้นงานผ่านระบบคอมพิวเตอร์

3. การขึ้นรูปชิ้นงานโดยเครื่องกลึง (milling machine) ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยวิธีแคดแคม (CAD/CAM) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อย ได้แก่

- 1.2.5.1 ซอฟต์แมชชีนนิ่ง (soft-machining) เป็นการนำโพลีคริสตัลไลน์เซรามิกที่ผ่านการเผาบางส่วน (partially sintered polycrystalline ceramics) มากลึงชิ้นงาน โดยต้องมีการทำขนาดชิ้นงานหลังกลึงให้ใหญ่กว่าชิ้นงานจริง เพื่อชดเชยการหดตัวของเซรามิกภายหลังกระบวนการเผา

- 1.2.5.2 ฮาร์ดแมชชีนนิ่ง (hard-machining) เป็นการนำก้อนเซรามิกที่ผ่านการเผาแบบเต็มที่แล้ว (fully sintered state) มากลึงชิ้นงาน โดยวิธีนี้สามารถกลึงชิ้นงานให้มีขนาดเท่าที่ต้องการได้เลย เพราะไม่ต้องชดเชยการหดตัวของเซรามิก เนื่องจากทำการเผาชิ้นงานก่อนกลึงเรียบร้อยแล้ว

โดยนอกจากนี้ จากการศึกษาของ Warreth และคณะในปี 2020(3) ได้สรุปการใช้งานวัสดุชนิดเซรามิกแล้วนอกเป็น 2 แบบ ได้แก่ วัสดุบูรณะแบบไบเลเยอร์ (bi-layered restoration) คือ ใช้เซรามิกชนิดหนึ่งเป็นส่วนประกอบของแกนกลาง แล้วพอกทับด้วยเซรามิกอีก

ชนิดที่มีความใสและสวยงาม ส่วนวัสดุบูรณะแบบโมโนลิทิก (monolithic restoration) คือ ทำวัสดุเป็นชิ้นเดียว ชิ้นเดียว และอาจทำการระบายสี (staining) บนชิ้นงานเพื่อเพิ่มรายละเอียดเรื่องสีและความสวยงาม

โดยทั่วไปแล้ววัสดุบูรณะแบบโมโนลิทิกจะให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า แต่อาจมีข้อจำกัดเรื่องความสวยงาม จึงนิยมใช้บูรณะฟันหลัง ในทางตรงกันข้าม วัสดุบูรณะแบบไบเลเยอร์จะให้ผลลัพธ์เรื่องความสวยงามที่ดีกว่า แต่มักจะพบปัญหาเรื่องการแตกหักของเซรามิกที่มาพอกเนื่องจากมีความแข็งแรงต่ำ(3)

2. การพัฒนาคุณสมบัติทางแสงและคุณสมบัติทางกลของเซอโรโคเนียทางทันตกรรม

เซอโรโคเนียเป็นวัสดุที่มีจุดเด่นเรื่องคุณสมบัติเชิงกล และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดี แต่เนื่องจากเซอโรโคเนียมีความทึบแสงสูง จากการมีสิ่งเจือปนในเซรามิก, ความบกพร่องของโครงสร้าง (structural defect) และมีปริมาณอะลูมินาเจือปนที่สูงเกินไป(16) จึงทำให้คุณสมบัติในเรื่องความสวยงามยังเป็นจุดด้อยของเซอโรโคเนียอยู่ โดยหากทำการบูรณะเป็นชนิดไบเลเยอร์เพื่อให้เกิดความสวยงามโดยการพอกด้วยพอร์ซเลน หลังการใช้งานมักพบความล้มเหลวทางคลินิกคือการแตกหักของพอร์ซเลน โดยพบอัตราการเกิดรอยป๊ออยู่ที่ร้อยละ 0-54 สาเหตุเกิดได้ทั้งแบบ adhesive failure เกิดจากพันธะการเชื่อมระหว่างเซอโรโคเนียและพอร์ซเลนที่ไม่แข็งแรงพอ หรือ cohesive failure เกิดจากการแตกหักภายในตัวพอร์ซเลนเอง (17)

เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องความสวยงามของเซอโรโคเนียในแง่ของคุณสมบัติทางแสงที่ยังไม่ดีพอ จึงนำไปสู่การพัฒนาเป็นเซอโรโคเนียโปร่งแสง (translucent zirconia) ขึ้น โดยเซรามิก ชนิดนี้จะมีค่ากำลังแรงดัดขวางลดลง อยู่ที่ประมาณ 650-800 เมกะปาสคาล(16) ซึ่งไม่สามารถใช้บูรณะเป็นสะพานฟันขนาดยาวบริเวณฟันหลังได้

2.1 การพัฒนาเซอโรโคเนียให้มีความโปร่งแสง

ความทึบของเซอโรโคเนียนั้นเกิดจากการที่ผลึกเซอโรโคเนียมีขนาดประมาณ $0.4 \mu\text{m}$ โดยหากเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นแสงจะอยู่ที่ $0.1\text{-}0.7 \mu\text{m}$ ซึ่งมีดัชนีการหักเหของแสง (refractive index) ที่ต่างกัน รวมถึงมีการจัดตัวรูปร่างผลึกในหลายรูปแบบ ทั้งโมโนคลินิก, เททรานอล และคิวบิกเฟส ซึ่งล้วนทำให้ดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน โดยปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดแสงกระเจิงมากกว่าแสงทะลุผ่านตัววัสดุไป จึงทำให้เห็นเป็นความทึบของวัสดุออกมา(17) และได้มีการพัฒนาให้เซอโรโคเนียมีความใสมากขึ้นด้วยวิธีการ ดังนี้

2.1.1 ลดขนาดผลึกลง เพราะอนุภาคที่เล็กกว่าความยาวคลื่นแสงจะทำให้แสงเดินทางผ่านได้(16) จึงส่งผลให้เซรามิกมีความใสมากขึ้น(17)

2.1.2 ลดปริมาณสิ่งเจือปนลง คือลดปริมาณอะลูมินาในเซอร์โคเนีย

2.1.3 เพิ่มปริมาณสารสเตบิลเซอร์โคเนียเตรียม เพื่อคงผลึกแบบคิวบิกให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ณ อุณหภูมิห้อง โดยเพิ่มปริมาณยิตเรียมเป็นร้อยละ 4-5 โมล นั่นคือ 4% mol yttria partially stabilized zirconia (4Y-PSZ) หรือ 5 % mol yttria partially stabilized zirconia (5Y-PSZ) เรียกเซรามิกเหล่านี้ว่าเซอร์โคเนียโปร่งแสง ซึ่งสามารถนำมาใช้บุรณะฟันหน้าเพื่อความสวยงามได้มากขึ้น(18) โดยผลึกคิวบิกที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดคุณสมบัติของแสงที่เหมือนกันทุกทิศทาง (optical isotropy) ดังนั้นจึงทำให้ดัชนีการหักเหของแสงเท่ากันในทุกทิศทาง ส่งผลให้แสงเกิดการกระเจิงบริเวณขอบเขตของผลึกน้อยลง และทำให้แสงส่องผ่านวัสดุได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะส่งผลเสียต่อคุณสมบัติเชิงกล เนื่องจากไปลดความสามารถในการเกิดกระบวนการทรานส์ฟอร์เมชันทัฟเฟนนิ่ง ซึ่งจะไม่สามารถนำไปใช้บุรณะเป็นสะพานฟันขนาดยาวบริเวณฟันหลัง หรือบริเวณที่รับแรงบดเคี้ยวมากได้(17)

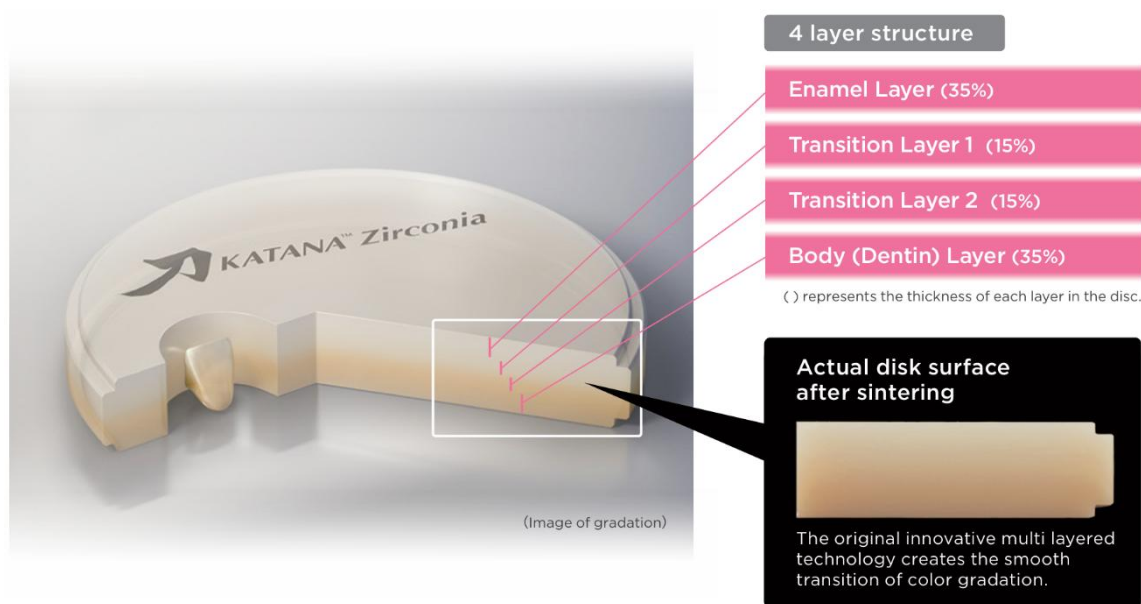
การพัฒนาเซอร์โคเนียโปร่งแสงเริ่มต้นในปี 2011 จาก 3Y-TZP ที่ลดปริมาณอะลูมินาให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้เป็นครอบฟันหลังชนิดโมโนลิทิก เนื่องจากไม่ต้องการความสวยงามมากนัก จึงมีข้อดีในการลดความเสี่ยงของการแตกหักบริเวณส่วนของพอร์ซเลนที่มาพอก และมีการกรอแต่งเนื้อฟัน (tooth preparation) ที่น้อยลงเนื่องจากไม่ต้องกรอแต่งเนื้อฟันที่สำหรับพอร์ซเลนที่มาพอก(19) และสามารถใช้ในบริเวณที่รับแรงบดเคี้ยวสูงได้ เช่น กรณีผู้ป่วยมีอุปนิสัยการทำงานนอกหน้าที่ภายในช่องปาก (oral parafunctional habits)(17)

ต่อมาในปี 2014 เกิดการพัฒนาเป็น 5% mol yttria partially stabilized zirconia (5Y-PSZ) โดยนิยมใช้เป็นครอบฟันหน้าชนิดโมโนลิทิกเนื่องจากมีความใสสูง จากการที่มีปริมาณผลึกคิวบิกสูง และมีผลึกเททราโกนอลต่ำ ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลง เนื่องจากเกิดกระบวนการทรานส์ฟอร์เมชันทัฟเฟนนิ่งได้น้อยลง เพราะมีปริมาณผลึกเททราโกนอลต่ำ(19)

ในปี 2016 เกิดการพัฒนาเป็น 4% mol yttria partially stabilized zirconia (4Y-PSZ) ซึ่งคุณสมบัติอยู่ตรงกลางระหว่าง 3Y-TZP และ 5Y-PSZ(19)

ต่อมาในปี 2017 เกิดการพัฒนาเป็น 6% mol yttria partially stabilized zirconia (6Y-PSZ) ซึ่งมีความใสมากขึ้น และขณะเดียวกันได้เริ่มมีการผลิตดิสก์ (disc) เซอร์โคเนียโปร่งแสงที่จำลองการไล่สีของฟันธรรมชาติ โดยไล่สีเลียนแบบตำแหน่งปลายฟัน (เคลือบฟัน), ช่่วงเปลี่ยนถ่ายชั้น (transition layer) และตัวฟันหรือ body (เนื้อฟัน) เรียกว่า multilayered zirconia disc

(19) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เซรามิก KATANA™ Zirconia UTML (ultra translucent multilayered), STML (super translucent multilayered), HTML (high translucent multilayered) Plus (Kuraray Noritake Dental Inc.)



ภาพประกอบ 4 แสดงตัวอย่างดิสก์เซรามิกเนื้อโปร่งแสงที่จำลองการไล่สีของฟันธรรมชาติ ยี่ห้อ KATANA™ Zirconia UTML, STML, HTML

ที่มา : Katana™ Zirconia multi-layered zirconia disc series, technical guide. Kuraray Noritake Dental Inc.

3Y-ZP	4Y-TZP	5Y-TZP
IPS e.max® ZirCad LT and MO (Ivoclar Vivadent) ivoclarvivadent.com (accessed on 22 December 2021)	IPS e.max ZirCAD MT (Ivoclar Vivadent) ivoclarvivadent.com (accessed on 22 December 2021)	Cercon® XT, Dentsply Sirona, dentsplysirona.com (accessed on 22 December 2021)
BruxZir® (Glidewell Laboratories) glidewelldental.com (accessed on 22 December 2021)	KATANA™ ST/STML (Kurary Noritake) KATANAZir.com (accessed on 22 December 2021)	BruxZir Anterior (Glidewell Laboratories) glidewelldental.com (accessed on 22 December 2021)
KATANA™ HT (Kuraray Noritake) KATANAZir.com (accessed on 22 December 2021)		KATANA™ UT/UTML (Kurary Noritake) KATANAZir.com (accessed on 22 December 2021)
Lava™ Plus, 3M ESPE	Zpex® 4, Kraun, (Tosoh) kraun.eu (accessed on 22 December 2021)	Lava Esthetic, 3M ESPE
Zpex 3Y (Tosoh)	Zenostar MT (Wieland Dental)	Zpex Smile (Tosoh)
Zenostar MO (Wieland Dental)		Prettue Zir (Zirconzhan)

ภาพประกอบ 5 แสดงผลิตภัณฑ์เซอริโคเนียทางทันตกรรม จำแนกตามปริมาณความเข้มข้นของ
ยิตเทรียม

ที่มา : Alqutaibi, A. Y., Ghulam, O., Krsoum, M., Binmahmoud, S., Taher, H.,
Elmalky, W., & Zafar, M. S. (2022). Revolution of Current Dental Zirconia: A
Comprehensive Review. Molecules, 27(20)

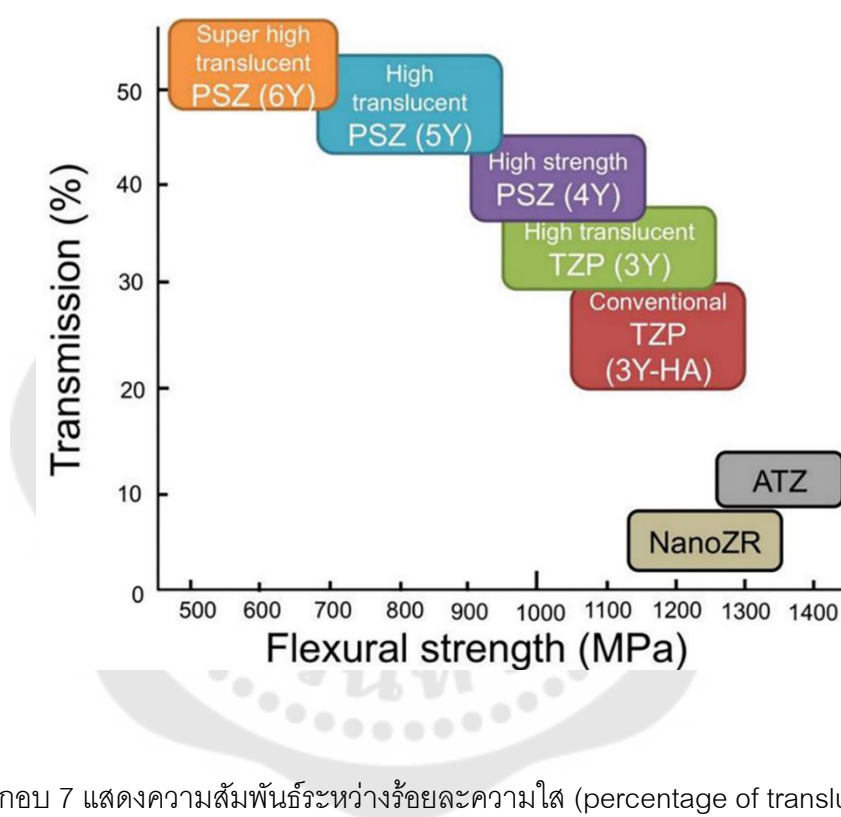


ภาพประกอบ 6 แสดงตัวอย่างครอบฟันเซอริโคเนียชนิดโมโนลิทิก จากด้านซ้ายสุดไปด้านขวาคือ
ครอบฟัน 3Y-HA, 3Y, 4Y และ 5Y

ที่มา: Ban S. Classification and Properties of Dental Zirconia as Implant Fixtures
and Superstructures. Materials (Basel). 2021;14(17).(21)

และในปี 2016 เกิดการพัฒนาเป็นโพลีโครมาติก (polychromatic) หรือการไล่สี และมีส่วนผสมเป็นแบบไฮบริด (hybrid composition) ซึ่งมีทั้ง 3Y และ 5Y โดยเรียงตัวเป็นชั้นอยู่ในหนึ่งวัสดุ (21) ซึ่งจะเรียกวัสดุชนิดนี้ว่า เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง (multilayered translucent zirconia)

ในปี 2018-2019 มีการผลิตเซอร์โคเนียชนิด 4Y ที่เป็นโพลีโครมาติก มัลติเลเยอร์ (polychromatic multilayered) ขึ้นมาเช่นกัน(21)



ภาพประกอบ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความใส (percentage of translucency) และค่าความแข็งแรงดัดขวาง (flexural strength) ของเซอร์โคเนียทางทันตกรรม

ที่มา: Ban S. Classification and Properties of Dental Zirconia as Implant Fixtures and Superstructures. Materials (Basel). 2021;14(17).(21)

จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อเซอร์โคเนียมีความใสมากขึ้น จะมีความแข็งแรงน้อยลง ซึ่งสองคุณสมบัตินี้มีความสำคัญในการเลือกวัสดุไปใช้บูรณะตามข้อบ่งชี้ทางคลินิก (clinical indication) โดยจะกล่าวต่อไป

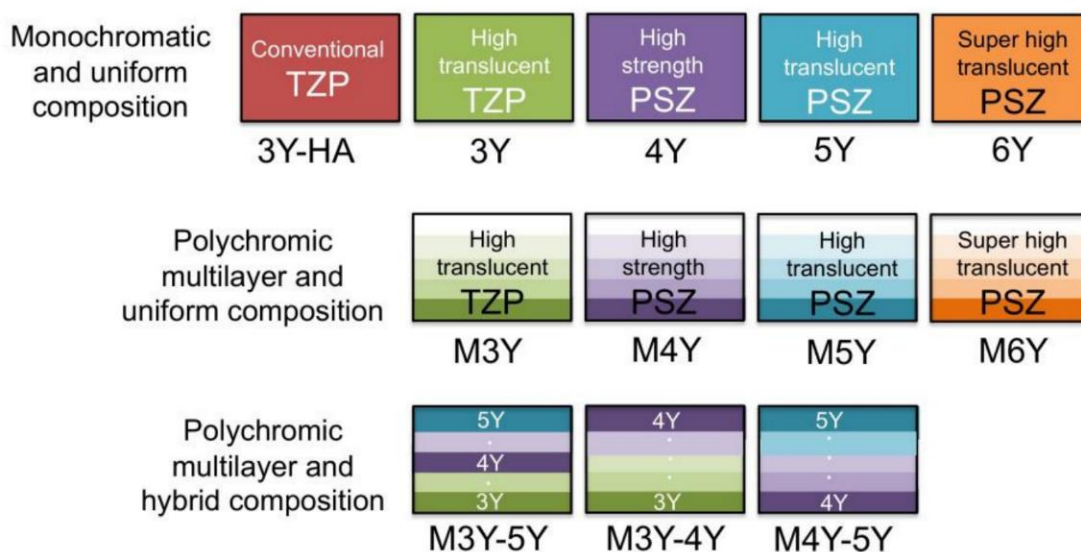
2.2 คุณสมบัติเชิงกลของเซอรโคเนียทางทันตกรรม

ดังที่กล่าวข้างต้น เมื่อเพิ่มปริมาณยิตเทรียมมากขึ้น จะทำให้มีผลลึกลับมากขึ้น ส่งผลให้มีความใสมากขึ้น แต่ความแข็งแรงจะลดลงเนื่องจากมีปริมาณผลึกเททราโกนอลน้อยลง ซึ่งเป็นผลึกที่ให้ความแข็งแรงในเนื้อเซรามิก โดยหากเทียบระหว่างเซอรโคเนียโปรงแสงชนิด 5Y-PSZ กับเซอรโคเนียชนิด 3Y-TZP ในเรื่องความใส พบว่าชนิด 5Y-PSZ ให้ความใสมากกว่า ประมาณร้อยละ 20-25 แต่หากเปรียบเทียบค่ากำลังแรงดัดขวางระหว่างเซรามิกสองชนิดนี้ พบว่าชนิด 5Y-PSZ มีค่ากำลังแรงดัดขวางน้อยกว่า 3Y-TZP ประมาณร้อยละ 40-50(21)

ดังนั้นข้อบ่งชี้ในการใช้งานเซอรโคเนียทางทันตกรรมแต่ละชนิดจึงต่างกัน โดยมีข้อแนะนำการใช้งานทางคลินิกคือ เซอรโคเนียชนิด 3Y-TZP ซึ่งให้ความแข็งแรงสูงแต่ความใสต่ำ สามารถใช้บูรณะเป็นสะพานฟันขนาดยาว (long-span bridges) แต่ไม่สามารถใช้บูรณะเป็นครอบฟันหน้าได้ ส่วนเซอรโคเนียชนิด 5Y-PSZ ซึ่งมีความใสสูงแต่มีความแข็งแรงต่ำนั้น ไม่สามารถใช้บูรณะเป็นสะพานฟันขนาดยาวได้ แต่ใช้ทำครอบฟันหน้าได้ และชนิด 4Y-PSZ สามารถบูรณะครอบฟันหน้าและครอบฟันหลัง รวมถึงใช้ทำสะพานฟันได้ เนื่องจากมีความใสและความแข็งแรงที่เพียงพอ(21)

ในส่วนของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปรงแสง เช่น M3Y-5Y (multilayered 3Y-5Y) วัสดุชนิดนี้จะพบว่าส่วนบนของแผ่นเซอรโคเนีย (zirconia disc) ซึ่งแทนส่วนปลายฟันจะมีความใสมากกว่า เนื่องจากมีส่วนประกอบเป็น 5Y และในส่วนล่างของแผ่นเซอรโคเนียซึ่งแทนส่วนคอฟันจะมีความใสที่น้อยกว่า เนื่องจากมีส่วนประกอบเป็น 3Y ซึ่งความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีในแต่ละชั้นนี้ นอกจากจะส่งผลต่อความใส ความสวยงามแล้ว ยังส่งผลต่อความแข็งแรงในแต่ละชั้นด้วยเช่นกัน(9) ซึ่งบริเวณที่ใสกว่าจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า ดังนั้นข้อบ่งชี้ทางคลินิกจะยึดตามข้อบ่งชี้ของบริเวณที่ใสที่สุดของแผ่นเซอรโคเนียนั้นๆ(21) ตัวอย่างเซอรโคเนียไล่ระดับความโปรงแสง ได้แก่ คาทานะ วายเอ็มแอล (Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) และนาเซรา เพิร์ล เนเชอรัล (Nacera® Pearl Natural Zirconia, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany)

โดย Ban S. และคณะในปี 2021(21) ได้จำแนกประเภทเซอรโคเนียทางทันตกรรม โดยแบ่งตามประเภทสารสเดบิลไลเซอร์ยิตเทรียม รวมถึงคุณสมบัติองค์ประกอบทางเคมีและการจัดเรียงทางกายภาพ โดยแบ่งทั้งหมดเป็น 12 ชนิด ดังภาพประกอบ 8



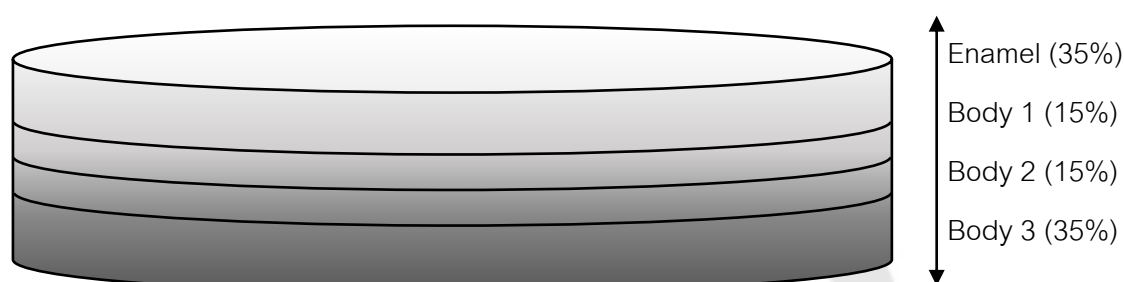
ภาพประกอบ 8 การแบ่งประเภทของเซอรโคเนียทางทันตกรรมตามสารสเตปิลเซอรอิตเทียม และคุณสมบัติองค์ประกอบทางเคมีและการจัดเรียงทางกายภาพ

ที่มา: Ban S. Classification and Properties of Dental Zirconia as Implant Fixtures and Superstructures. Materials (Basel). 2021;14(17).(21)

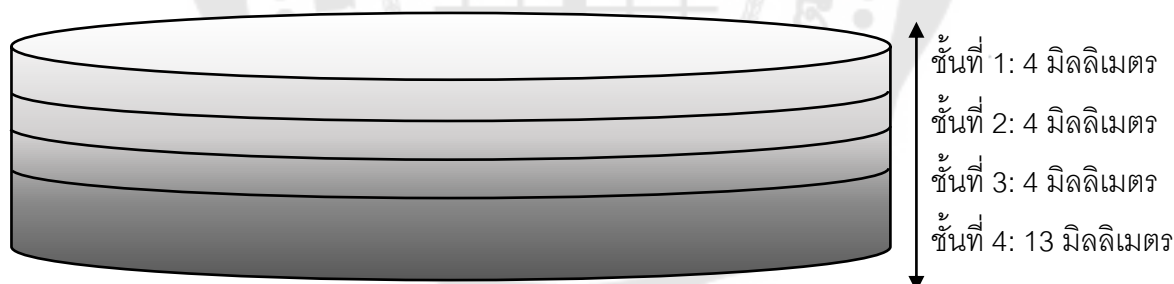
จากภาพจะแบ่งเซอรโคเนียออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ได้แก่

1. โมโนโครมาติก และยูนิฟอร์ม คอมโพสิชัน (monochromatic and uniform composition) กล่าวคือทั้งดิสก์เซอรโคเนียมีเพียงสีเดียว และมีสารสเตปิลเซอรอิตเทียมชนิดเดียว โดยจำแนกชนิดตามร้อยละของสารสเตปิลเซอรอิตเทียม
2. โพลีโครมิก มัลติเลเยอร์ และยูนิฟอร์ม คอมโพสิชัน (polychromatic multilayer and uniform composition) กล่าวคือทั้งดิสก์เซอรโคเนียมีสารสเตปิลเซอรอิตเทียมชนิดเดียว แต่มีการไล่เฉดสีจากบนลงล่างดิสก์เพื่อออกเลียนลักษณะทางแสงของฟันธรรมชาติ
3. โพลีโครมิก มัลติเลเยอร์ และไฮบริด คอมโพสิชัน (polychromatic multilayer and hybrid composition) กล่าวคือทั้งดิสก์เซอรโคเนียมีการไล่ทั้งเฉดสีและปริมาณสารสเตปิลเซอรอิตเทียมโดยมีตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป และจะเรียกเซอรโคเนียชนิดนี้ว่า เซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง (multilayered translucent zirconia)

ตัวอย่างเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง ได้แก่ คาทานะ วายเอ็มแอล (Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) ซึ่งได้ส่วนประกอบทางเคมีจากปลายฟัน คือ 5Y คอพื้นคือ 3Y ตามลำดับ และนาเซรา เพิร์ล เนเชอรัล (Nacera® Pearl Natural Zirconia, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany) ซึ่งได้ส่วนประกอบทางเคมีจากปลายฟันคือ 6Y คอพื้นคือ 3Y ตามลำดับ

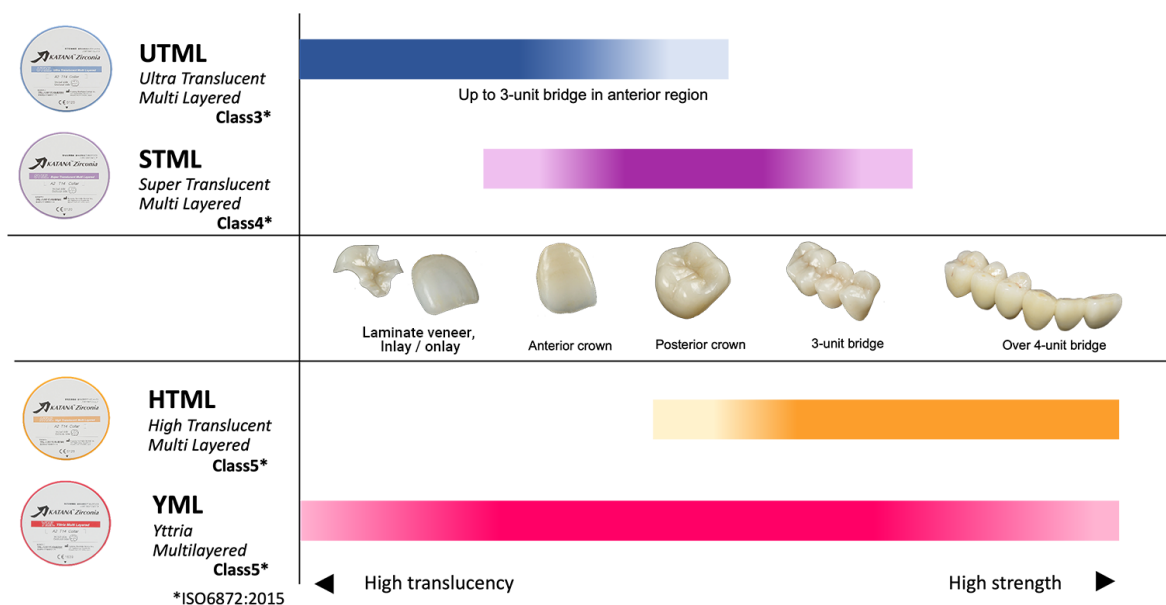


ภาพประกอบ 9 การแบ่งชั้นของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan



ภาพประกอบ 10 การแบ่งชั้นของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera® Pearl Natural Zirconia, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany ที่ความสูงดิสก์ 25 มิลลิเมตร

ตัวอย่างข้อบ่งใช้ทางคลินิกตามบริษัทผู้ผลิตของ KATANA™ Zirconia ชนิด UTML (ultra translucent multilayered), STML (super translucent multilayered), HTML (high translucent multilayered) Plus และ YML (Kuraray Noritake Dental Inc.) และดัง ดัง ภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ขอบ่งใช้ทางคลินิกตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต KATANA™ Zirconia ชนิด
UTML, STML, HTML และ YML

ที่มา : Katana™ Zirconia multi-layered zirconia disc series, technical guide.

Kuraray Noritake Dental Inc.

จากภาพจะเห็นว่าเซอรโคเนียได้ระดับความโปร่งแสง YML สามารถนำไปบูรณะฟันได้
ทุกชนิด ซึ่งเป็นข้อดีของวัสดุชนิดนี้เนื่องจากมีการได้ระดับความแข็งแรงและความโปร่งแสงในตัว
วัสดุ ซึ่งเราสามารถเลือกได้ว่าจะนำบริเวณใดของวัสดุไปใช้ตามข้อบ่งชี้ทางคลินิก ซึ่งสามารถ
กำหนดได้ในขั้นตอน CAD/CAM โดยเลื่อนขึ้นหรือลงไปในบริเวณของดิสก์ที่ต้องการ โดยหากวัสดุ
บูรณะต้องการความใสมาก จะทำการ CAD ขึ้นงานให้อยู่ในส่วนขอบของบริเวณปลายฟัน หรือหาก
ต้องการความทึบเพื่อปิดสีฟันหลักหรือต้องการให้วัสดุมีความแข็งแรงสูง ก็ทำการ CAD ขึ้นงาน
ให้อยู่ในบริเวณส่วนคอฟันเป็นหลัก

3. ปัจจัยที่มีผลต่อสีของเซรามิก

มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะ โดยเป็นผลต่อปฏิกิริยาทางแสง (optical interaction) ระหว่างสีพื้นหลังของฟันหลัก, สีและความหนาของซีเมนต์ที่ใช้ยึด, ความหนา สีและความใสของเซรามิก รวมถึงการเคลือบเงา (glazing) ล้วนส่งผลต่อสีสุดท้าย (final color) ของวัสดุบูรณะประเภทเซรามิกล้วน(7)

3.1 สีพื้นหลังของฟันหลัก

สีฟันธรรมชาตินั้นถูกกำหนดด้วยคุณสมบัติทางแสงของเคลือบฟัน (enamel) และเนื้อฟัน (dentin) ซึ่งนับเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับทันตแพทย์ที่จะเลียนแบบสีฟันออกมาให้เหมือนสีของฟันธรรมชาติ(22) ซึ่งเมื่อบูรณะครอบฟันในฟันที่รักษาคงารากฟันเสร็จแล้ว อาจเจอเนื้อฟันที่มีสีเข้มขึ้น ที่สามารถส่งผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะเซรามิกล้วน(23) คืออาจจะเห็นเงา ดำสะท้อนผ่านเซรามิกขึ้นมาโดยเฉพาะส่วนคอฟัน(22) โดยมีแถบสีที่ใช้อ้างอิงสีของเนื้อฟันธรรมชาติภายหลังการกรอแต่งฟัน (tooth preparation) และเป็นสื่อกลางในการสื่อสารระหว่างทันตแพทย์และช่างทันตกรรม เพื่อสร้างชิ้นงานให้ออกมาตามสีและคุณสมบัติที่ต้องการ(24) โดยแถบสีที่นิยมใช้เลือกสีของฟันหลักคือ natural die (ND) material guide (Ivoclar Vivadent AG) ซึ่งมีสีอ่อนที่สุดไล่ไปหาสีเข้มสุด ได้แก่ ND1 จนถึง ND9 โดยจากการศึกษาของ Chaiyabutr, Y. และคณะในปี 2011(11) กล่าวว่า ND1 คือสีที่มีความใสสูง (high-translucency color), ND3 คือสีอ่อน (light color), ND5 คือสีอ่อนปานกลาง (medium-light color), ND7 คือสีเข้มปานกลาง (medium-dark color) และ ND9 คือสีเข้ม (dark color)



ภาพประกอบ 12 ภาพแถบสี natural die (ND) material guide

ที่มา: Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein

3.2 เซรามิก

ปัจจัยของเซรามิกได้แก่ ความใสของเซรามิก ซึ่งนับเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของวัสดุบูรณะทางทันตกรรมที่ให้ความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากที่สุด โดยความใสคือคุณสมบัติของวัสดุที่ยอมให้แสงผ่านตัวมันเอง(7)

เซรามิกทางทันตกรรมในท้องตลาดแต่ละชนิดมีหลายความใสให้เลือกใช้ ซึ่งความใสขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย รวมถึงความหนาของเซรามิกที่ส่งผลต่อความใสได้เช่นกัน(7) และความหนาของเซรามิกยังส่งผลต่อความสามารถในการปิดสีฟันหลัง โดยมีการศึกษาของ Vichi, A. และคณะในปี 2016(25) พบว่าเมื่อเซอรเเนียโปรงแสงมีความบางลง ส่งผลทำให้ความสามารถในการปิดสีลดลง โดยสีของเซรามิกในท้องตลาดมีให้เลือกหลายเฉดสี และพบว่าเซรามิกสี A1 (VITA classical shade) เป็นสีที่ถูกเลือกมาเป็นวัสดุบูรณะชนิดเซรามิกจำนวนมากที่สุด(22)

อีกหนึ่งปัจจัยคือการเคลือบเงาเซรามิก (glazing) เป็นขั้นตอนการทำงานที่มีวัตถุประสงค์ปรับให้วัสดุเซรามิกมีความสวยงามมากยิ่งขึ้น กล่าวคือมีความเงาวาว เพื่อให้สีและความใสของเซรามิกคงทน และลดการสึกของคู่สบเมื่อผ่านการใช้งานไปแล้ว(7) โดยการศึกษาของ Manziuc และคณะในปี 2021(7) พบว่าเซอรเเนียโปรงแสงมีความสามารถในการปิดสีดีขึ้นภายหลังการเคลือบเงา

3.3 สีและความหนาของซีเมนต์ที่ใช้ยึด

เนื่องจากสีฟันหลักเป็นสิ่งที่ทันตแพทย์ไม่สามารถควบคุมหรือทำการปรับเปลี่ยนได้ นอกจากปัจจัยเรื่องชนิดและความหนาของเซรามิกที่ส่งผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะแล้ว ปัจจัยเรื่องสีและความหนาของซีเมนต์ก็ส่งผลต่อสีของวัสดุบูรณะเช่นกัน

โดยพบว่าเรซินซีเมนต์สีใส (clear shade) ส่งผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะน้อยที่สุด ดังนั้นจึงมักใช้ในกรณีที่สีของวัสดุบูรณะเป็นสีที่ต้องการอยู่เดิมแล้ว แต่มีการศึกษาของ Dede และคณะในปี 2017(26) พบว่าเรซินซีเมนต์สีเดียวกันจากต่างบริษัทผู้ผลิต ให้ผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะเซรามิกลิเทียมไดซิลิเกตที่ต่างกัน นอกจากนี้เรซินซีเมนต์สีทึบ (opaque shade) นั้นส่งผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุมากที่สุด แต่ให้ความสามารถในการปิดสีสูง(27)

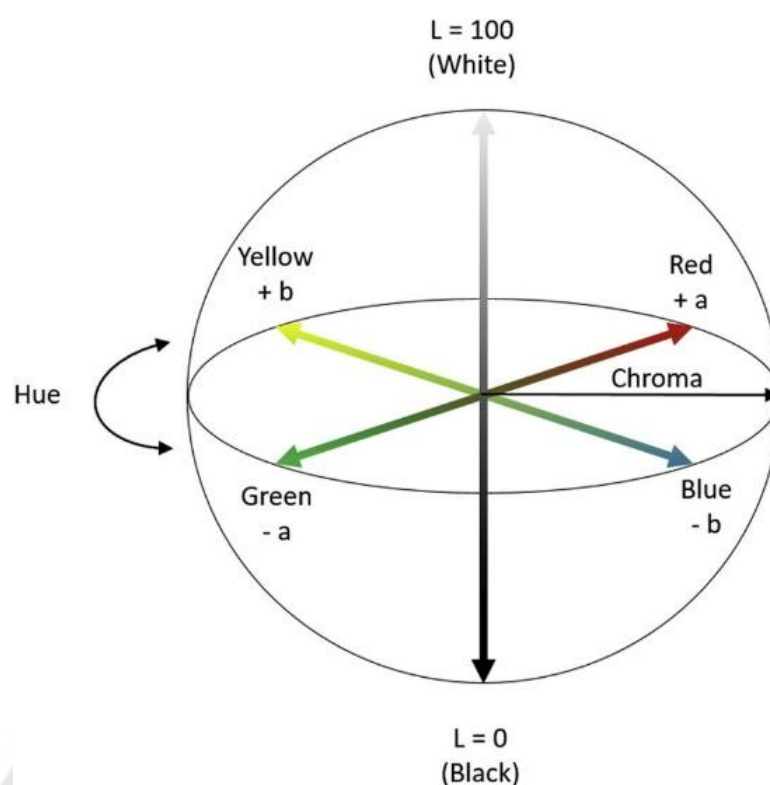
ในเรื่องความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ส่งผลต่อสีวัสดุบูรณะนั้น ยังมีการศึกษาที่ไม่มากนัก แต่การศึกษาของ Vichi และคณะในปี 2000(28) พบว่าความหนาของชั้นซีเมนต์มีผลต่อสีสุดท้ายของวัสดุบูรณะชนิดลิเทียมไดซิลิเกตเพียงเล็กน้อย

4. ระบบสีและการวัดสีทางทันตกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าวิธีที่นิยมใช้ศึกษาความสามารถในการปิดสีของวัสดุบูรณะทางทันตกรรมมีหลายวิธีได้แก่ การหาความแตกต่างของสี (color difference, ΔE), ค่าดัชนีความโปร่งแสง (translucency parameter, TP) และอัตราส่วนเปรียบเทียบ (contrast ratio, CR)(14)

โดยคณะกรรมการระหว่างประเทศเกี่ยวกับความสว่าง หรือ The international commission on Illumination (CIE – Commission International de l'Eclairage) ซึ่งมีหน้าที่พัฒนาเกี่ยวกับวิธีการศึกษาในเรื่องสีทางวิทยาศาสตร์ได้แนะนำระบบสี CIELAB (CIELAB color space) ซึ่งใช้อธิบายระบบสีสามมิติ การวัดด้วยวิธีนี้จะแสดงค่าออกเป็นตัวเลขซึ่งจะนำตัวเลขมาคำนวณ โดยอาศัยค่าตัวเลขจากสามแกน คือ(16)

- 1.) แกน L^* แสดงความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว
- 2.) แกน a^* จะแสดงแกนสี โดยค่า $-a^*$ คือค่าสีเขียว (greenness) จนถึงค่า $+a^*$ คือค่าสีแดง (redness)
- 3.) แกน b^* จะแสดงแกนสี โดยค่า $-b^*$ คือค่าสีน้ำเงิน (blueness) จนถึงค่า $+b^*$ คือค่าสีเหลือง (yellowness)



ภาพประกอบ 13 แสดงระบบสี CIELAB (CIELAB color space)

ที่มา : Ly, B., Dyer, E., Feig, J., Chien, A., & Bino, S. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *The Journal of investigative dermatology*, 140, 3-12.e11. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003> (29)

การหาค่าความแตกต่างของสีระหว่างวัสดุสองชนิด หรือวัสดุเดิมแต่ประเมินสองครั้ง สามารถหาได้จากค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

โดยวัดค่า L_1 , a_1 และ b_1 จากสีของจุดที่ 1 และวัดค่า L_2 , a_2 และ b_2 จากสีของจุดที่ 2 แล้วจึงนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE_{ab}^*) ระหว่างสองจุด จากนั้นนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่ม แล้วนำมาแปลผลทางคลินิก โดยเกณฑ์สำหรับประเมินความต่างของสีคือ ระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility)

threshold, PT) และระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT) โดยทางทันตกรรมจะใช้เกณฑ์ร้อยละ 50:50 PT และ 50:50 AT เป็นตัวเปรียบเทียบเพื่อแปลผลเป็นระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัสและยอมรับได้ทางคลินิก จากการศึกษาของ Paravina และคณะในปี 2015(30) พบว่าจากเกณฑ์ร้อยละ 50:50 PT หาก ΔE_{ab}^* มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.2 จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส หรือสามารถแยกความแตกต่างของสีได้ด้วยสายตามนุษย์ และจากเกณฑ์ร้อยละ 50:50 AT หาก ΔE_{ab}^* มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.7 แปลว่า การเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก ซึ่งเกณฑ์นี้จะมีค่าที่ใช้เทียบแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา และยังไม่มีค่าที่กำหนดแน่ชัดในการนำไปแปลผลการศึกษาความต่างของสีทางทันตกรรม(27)

4.1 เครื่องวัดสีทางทันตกรรม

เครื่องมือวัดสีทางทันตกรรมที่แม่นยำมากที่สุดคือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะวัดปริมาณพลังงานแสงที่ถูกสะท้อนกลับออกมาจากวัตถุแล้วให้ค่าที่เกี่ยวข้องกัน 3 ค่าออกมา ได้แก่ ค่า L^* , a^* และ b^* ซึ่งสอดคล้องกับระบบสี CIELAB (CIELAB color space)(13) ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว

โดยการศึกษาของ Paul และคณะ ในปี 2002(31) พบว่าเมื่อใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์วัดสี จะมีความแม่นยำกว่าการวัดสีด้วยสายตาร้อยละ 33 และให้ความแม่นยำในการวัดสีซ้ำถึงร้อยละ 83.3

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตามขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. การทดลองและรวบรวมข้อมูล
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างประชากรในงานวิจัย

ประชากร

1. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง คาทานะ วายเอ็มแอล (Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) สี A1 ซึ่งผู้วิจัยกำหนดคำย่อแทนด้วยคำว่า “Katana-YML”
2. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง นาเซรา เพิร์ล เนเชอรัล (Nacera® Pearl Natural Zirconia, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany) สี A1 ซึ่งผู้วิจัยกำหนดคำย่อแทนด้วยคำว่า “Nacera-PN”

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 20 ชิ้น แบ่งเป็น 2 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 10 ชิ้น ดังนี้

1. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง คาทานะ วายเอ็มแอล (Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) สี A1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร
2. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง นาเซรา เพิร์ล เนเชอรัล (Nacera® Pearl Natural Zirconia, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany) สี A1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร

การทดลองเพื่อหาค่าความแตกต่างของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง

หลังจากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยทุกชิ้นจะนำไปยัดบนแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน (Light-curing IPS® natural die material, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทั้ง 4 สี ด้วยก๊ลิเซอรินเจล (KY® jelly) ดังนี้

1. แผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND3
2. แผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND5
3. แผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND7
4. แผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND9

การทดลองและรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง คาทานะ วายเอ็มแอล สี A1 (Katana™ Zirconia YML shade A1, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)
2. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง นาเซรา เพิร์ล เนเชอรัล สี A1 (Nacera® Pearl Natural Zirconia shade A1, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany)
3. กลี่ เซอรีน เจล (KY® jelly personal lubricant, Reckitt Benckiser Healthcare Manufacturing (Thailand) Ltd., Samutprakarn, Thailand)
4. วัสดุเรซินสีเหมือนฟันชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Light-curing IPS® natural die material, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) สี ND3, ND5, ND7 และ ND9
5. ดิจิทัลคาลิเปอร์ (digital caliper)
6. ผงและสารเหลวสำหรับเคลือบผิวเซรามิก (IPS E.max® Ceram glaze powder & glaze and stain liquid allround, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
7. เตาเผาเซรามิก (Programat P310 furnace, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
8. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (VITA Easyshade® V, Vita Zahnfabrik, Germany)
9. แม่พิมพ์โลหะสำหรับทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน
10. ตุ่มโลหะน้ำหนัก 1 กิโลกรัม
11. เครื่องช่วยออกแบบงานทันตกรรมประดิษฐ์ (dental surveyor) ยี่ห้อ Ney® surveyor (DENSPLY international, Inc.)
12. แท่งเหล็กทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร ยาว 81.8 มิลลิเมตร ที่มีปลายด้านหนึ่งขนาดพอดีกับบริเวณที่สวม surveying tool คือเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.74 มิลลิเมตร และยาว 25.67 มิลลิเมตร
13. แท่งเหล็กทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 10.35x21.00 มิลลิเมตร สำหรับกระจายน้ำหนักลงบนชิ้นงาน

14. กล่องทึบสีดำสำหรับใช้วัดค่าสี
15. เครื่องฉายแสงแอลอีดี (Bluephase, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
16. กระดาษทรายเบอร์ 600
17. ไมโครบรัช
18. ใบขัดกระดาษทราย (Soft-Lex™ Pop-On Disc, 3M ESPE Dental Products, Seefeld, Germany)

ตาราง 1 แสดงชื่อผลิตภัณฑ์บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบ
Katana™ Zirconia YML	Kuraray Noritake Dental Inc.	- Zirconium dioxide (ZrO_2) & Hafnium oxide (HfO_2) 87–95 % - Yttrium oxide (Y_2O_3) 5-10% - Other oxides and pigments 0-2%
Nacera® Pearl Natural Zirconia	Doceram Medical Ceramics GmbH	- Zirconium dioxide (ZrO_2) & Hafnium oxide (HfO_2) & Yttrium oxide (Y_2O_3) ≥ 99.0 - $Y_2O_3 < 9$ - $Al_2O_3 \leq 0,1$ - Other oxides < 1
KY® jelly	Reckitt Benckiser Healthcare Manufacturing (Thailand) Ltd.	Aqua, Glycerin, Hydroxyethylcellulose, Gluconolactone, Methylparaben, Sodium Hydroxide, Chlorhexidine Digluconate

ตาราง 1 (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบ
IPS® Natural die material	Ivoclar Vivadent	Polyesterurethanedimethacrylate, silicon dioxide, paraffin oil, copolymer, initiators, stabilizers and pigments
IPS E.max® Ceram glaze powder & glaze and stain liquid allround	Ivoclar Vivadent	Powder: Silicon Dioxide (SiO ₂), Aluminum Oxide (Al ₂ O ₃), Potassium Oxide (K ₂ O) & Sodium Oxide (Na ₂ O), Lithium Oxide (Li ₂ O), Zirconium Oxide (ZrO ₂), Boron Oxide (B ₂ O ₃) and other trace oxides Liquid: Butanediol and Pentanediol
Sof-Lex™ Pop On Disc	3M ESPE Dental Products, Seefeld, Germany	Multi-grit aluminum oxide abrasive discs

ขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมแผ่นเซอโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง

1.1 ขึ้นรูปเซอโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง คาทานะ วายเอ็มแอล (Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) สี A1 ใช้ดิสก์ที่มีความสูง 22 มิลลิเมตร โดยจะออกแบบการกลึงทุกชั้นของเซอโคเนียในแนวตั้งรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกลึงขัดเซอโคเนียให้เรียบโดยการหดตัวหลังการเผา โดยคำนวณจากการหดตัว (shrinkage factor) เท่ากับ 1.224 ที่ระบุโดยบริษัทผู้ผลิต ให้มีขนาดสุดท้ายของชิ้นงานกว้าง 10.0 มิลลิเมตร หนา 1.0 ± 0.1 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นงานที่กลึงแล้วไปขัดส่วนเกินของสปรู (sprue) ออกด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ให้มีพื้นผิวที่เรียบเสมอกับชิ้นงานบริเวณอื่น แล้วนำไปเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต หลังขึ้นชิ้นงานตรวจสอบความหนาที่ต้องการด้วยดิจิตอลคาลิเปอร์ และนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบเซรามิกบน

ด้านใดด้านหนึ่งของชิ้นงานทั่วทั้งแผ่นเป็นฟิล์มบางๆ และนำไปเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอีกครั้ง

1.2 ขึ้นรูปเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงนาเซรา เพิร์ล เนเซอร์ล (Nacera® Pearl Natural Zirconia shade A1, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany) สี A1 ใช้ดิสก์ที่มีความสูง 25 มิลลิเมตร โดยจะออกแบบการกลึงทุกชั้นของเซอร์โคเนียในแนวตั้งรูปรางสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกลึงเต็มความสูงของดิสก์และขัดเซกการหดตัวหลังการเผา โดยคำนวณจากการหดตัว (shrinkage factor) เท่ากับ 1.234 ที่ระบุโดยบริษัทผู้ผลิต ให้มีขนาดสุดท้ายของชิ้นงานกว้าง 10.0 มิลลิเมตร หนา 1.0 ± 0.1 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นงานที่กลึงแล้วไปขัดส่วนเกินของสปรู (sprue) ออกด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ให้มีพื้นผิวที่เรียบเสมอกับชิ้นงานบริเวณอื่น แล้วนำไปเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต หลังขึ้นชิ้นงานตรวจสอบความหนาที่ต้องการด้วยดิจิตอลคาลิเปอร์ และนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบเซรามิกบนด้านใดด้านหนึ่งของชิ้นงานทั่วทั้งแผ่นเป็นฟิล์มบางๆ และนำไปเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอีกครั้ง



ภาพประกอบ 14 แสดงชิ้นงานเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงหลังการเผาและทำการเคลือบผิวเซรามิกแล้ว ยี่ห้อคาทานะ วายเอ็มแอล (ภาพซ้าย) และนาเซรา เพิร์ล เนเซอร์ล (ภาพขวา)

2. การเตรียมแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน

2.1 วัสดุเรซินสีเหมือนฟันชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light-curing IPS® natural die material, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ใช้แทนเนื้อฟันสีต่างๆ โดยสีที่เลือกใช้ได้แก่ ND3, ND5, ND7 และ ND9 เป็นตัวแทนของสีอ่อน (light color), สีอ่อนปานกลาง (medium-light), สีเข้มปานกลาง (medium-dark color) และสีเข้ม (dark) ตามลำดับ

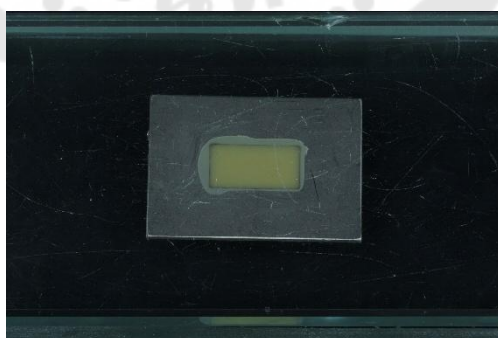
2.2 เตรียมแม่พิมพ์ชิ้นงานทำจากโลหะไร้สนิมสำหรับทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน มีหลุมตรงกลางที่กลึงเจาะทะลุเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 10x10 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร โดย

ทาปิโตรเลียมเจลลี่ (petroleum jelly) บนโลหะที่เป็นผิวสัมผัสด้านในของหลุมก่อนใส่วัสดุเรซินสีเหมือนฟันลงไป



ภาพประกอบ 15 แสดงแม่พิมพ์โลหะไร้สนิมสำหรับทำแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน

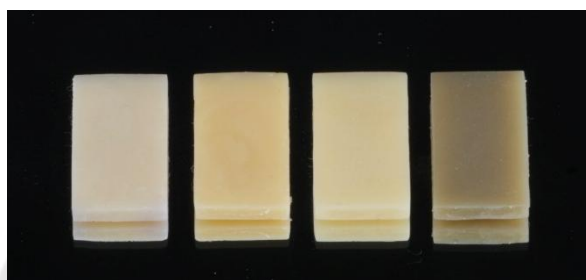
2.3 นำวัสดุเรซินสีเหมือนฟันอุดลงไปแบบพิมพ์ให้เต็มโดยใช้ hand instruments และใช้ glass slab ทับด้านบนออกแรงให้เรซินเรียบ แล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแอลอีดี (Bluephase, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยฉายแสงแบบซ้อนทับกันบนแผ่นเรซิน 3 บริเวณ บริเวณละ 40 วินาที นำแผ่นเรซินออกมาและฉายแสงเพื่อให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) โดยสมบูรณ์รอบด้าน ด้านละ 40 วินาที โดยตรวจสอบเครื่องฉายแสงด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ทุกครั้งก่อนเปลี่ยนชิ้นงาน



ภาพประกอบ 16 แสดงการนำวัสดุเรซินสีเหมือนฟันอุดลงไปแบบพิมพ์ และทับด้วย glass slab

2.4 นำแผ่นเรซินที่ได้มาขัดแต่งขอบส่วนเกินด้วยใบขัดกระดาษทราย (Sof-Lex™ Pop-On Disc, 3M ESPE) ขนาดกลมใหญ่ความหยาบสูงสุด และวัดตรวจสอบความหนาที่ต้องการคือ 2 มิลลิเมตร ด้วยดิจิทัลดาลิเปอร์

2.5 นำแผ่นเรซินที่ได้ไปทำความสะอาดโดยการแช่ในเครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 5 นาที แล้วเป่าให้แห้งด้วยหัวฉีดน้ำและลม (triple syringe)



ภาพประกอบ 17 แสดงแผ่นเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5, ND7 และ ND9 (จากซ้ายไปขวา)

3. การยัดแผ่นเซอโคเนียเข้ากับแผ่นเรซินเหมือนฟัน

ทำการบีบกลีเซอรินเจลลงบนแผ่นเรซินสีเหมือนฟันที่เตรียมไว้ปริมาณเท่าเม็ดถั่วเขียว จากนั้นนำแผ่นเซอโคเนียไถระดับความโปร่งแสงที่เตรียมไว้วางทับลงไปบนกลีเซอรินเจล โดยหันด้านที่ไม่ได้เคลือบผิวเซรามิกเข้าหากลิเซอรินเจล และให้ขอบด้านบน (บริเวณปลายฟัน) ของชิ้นงานเซอโคเนีย ชิดขอบบนสุดของแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน จากนั้นนำชิ้นงานไปวางบนแท่นในเครื่องช่วยออกแบบงานทันตกรรมประดิษฐ์ (dental surveyor) และนำตุ้มโลหะน้ำหนัก 1 กิโลกรัมมาสวมลงบนปลายด้านบนของเซอร์เวย์อาร์ม (surveying arm) เพื่อถ่วงและควบคุมทิศทางของน้ำหนักลงบนจุดศูนย์กลางชิ้นงานผ่านแท่งเหล็กที่สวมในบริเวณของ surveying tool จากนั้นกำจัดกลีเซอรินเจลส่วนเกินด้วยไมโครบรัช และกดน้ำหนักไว้เป็นระยะเวลา 5 นาที เมื่อครบ 5 นาทีจึงนำชิ้นงานออกมา

โดยทำการวัดความหนาของชิ้นงาน กล่าวคือความหนาของแผ่นเรซินสีเหมือนฟัน รวมกับความหนาของเซอโคเนียก่อนและหลังการยัดด้วยกลีเซอรินเจล ให้มีความต่างอยู่ที่ 0.1 มิลลิเมตร (100 μm) เพื่อเป็นการควบคุมความหนาของชิ้นกลีเซอรินเจลในการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำไปวัดค่าสี โดยหลังจากทำการวัดค่าสีแล้วทำการนำแผ่นเซอโคเนียและแผ่นเรซินสีเหมือนฟันไปล้างน้ำให้สะอาดและเป่าให้แห้งก่อนนำไปวัดค่าสีในครั้งต่อไป



ภาพประกอบ 18 แสดงเครื่องช่วยออกแบบงานทันตกรรมประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง

4. การทดลองวัดความแตกต่างของสี

1. การเตรียมบล็อกเซอรโคเนียอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบค่าสี

1.1 ทำการขึ้นรูปเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง คาทานะ วายเอ็มแอล (Katana™ Zirconia YML, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) สี A1 ใช้ดิสก์ที่มีความสูง 22 มิลลิเมตร โดยจะออกแบบการกลึงทุกชั้นของเซอรโคเนียในแนวตั้งรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกลึงเต็มความสูงของดิสก์และขัดเชยการหดตัวหลังการเผา โดยคำนวณจากค่าการหดตัว (shrinkage factor) เท่ากับ 1.224 ที่ระบุโดยบริษัทผู้ผลิต ให้มีขนาดสุดท้ายของชิ้นงานกว้าง 10.0 มิลลิเมตรหนา 10.0 ± 0.1 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต หลังขึ้นชิ้นงานตรวจสอบความหนาที่ต้องการด้วยดิจิทัลดาลิปเปอร์ และนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบเซรามิกบนด้านใดด้านหนึ่งของชิ้นงานทั่วทั้งแผ่นเป็นฟิล์มบางๆ และนำไปเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอีกครั้ง



ภาพประกอบ 19 แสดงบล็อกเซอร์โคเนียสีห่อคาทอนะ วายเอ็มแอล ที่ใช้อ้างอิง

1.2 ทำการขึ้นรูปเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงนาเซรา เฟิร์ล เนเซอร์ล (Nacera[®] Pearl Natural Zirconia shade A1, Doceram Medical Ceramics GmbH, Germany) สี A1 ใช้ดิสก์ที่มีความสูง 25 มิลลิเมตร โดยจะออกแบบการกลึงทุกชั้นของเซอร์โคเนียในแนวตั้งรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกลึงเต็มความสูงของดิสก์และชดเชยการหดตัวหลังการเผา โดยคำนวณจากค่าการหดตัว (shrinkage factor) เท่ากับ 1.234 ที่ระบุโดยบริษัทผู้ผลิต ให้มีขนาดสุดท้ายของชิ้นงานกว้าง 10.0 มิลลิเมตร หนา 10.0 ± 0.1 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต หลังขึ้นชิ้นงานตรวจสอบความหนาที่ต้องการด้วยดิจิทัลดาลิเปอร์ และนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบเซรามิกบนด้านใดด้านหนึ่งของชิ้นงานทั่วทั้งแผ่นเป็นฟิล์มบางๆ และนำไปเผาตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอีกครั้ง

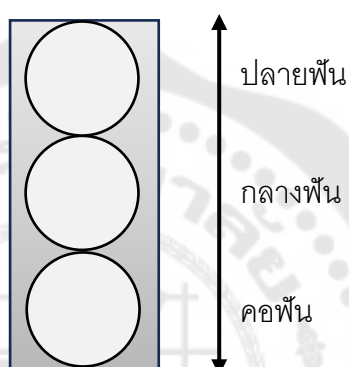


ภาพประกอบ 20 แสดงบล็อกเซอร์โคเนียสีห่อนาเซรา เฟิร์ล เนเซอร์ล ที่ใช้อ้างอิง

2. การวัดค่าสีชิ้นงาน

จะทำการวัดค่าสีในห้องมืดสนิท โดยมีพื้นฐานบนกล่องสีดำลักษณะผิวด้าน (matte surface) เพื่อควบคุมตำแหน่งของชิ้นงานขณะวัด จะวัดชิ้นงานในแนวตั้ง ชั้นละ 3 จุด ได้แก่ ปลายพื้น กลางพื้น และคอปพื้น และวัดตามบริเวณที่ต้องการศึกษา โดยที่ข้างพื้นฐานทั้งสอง

ข้างจะมีเครื่องหมายกำหนดตำแหน่งปลายหัววัดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในแต่ละบริเวณที่ต้องการวัด ซึ่งคำนวณจากขนาดความสูงของชิ้นงานหารด้วยขนาดปลายหัววัดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์คือ 6 มิลลิเมตร เนื่องจากชิ้นงานของเซอร์โคเนียไคร้ระดับความโป่งแสงทั้ง 2 ยี่ห้อมีความสูงหลังเผาที่ไม่เท่ากัน และในแนวนอนจะวัดบริเวณจุดศูนย์กลางของชิ้นงานเสมอ โดยวัดชิ้นงานละ 3 ครั้งเพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ย และทำการปรับเทียบหัววัด (calibrate) ทุกครั้งก่อนใช้งาน โดยจะนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดไปเทียบกับค่าสที่วัดได้จากบล็อกเซรามิกอ้างอิง ซึ่งวัดชิ้นงานละ 3 จุด 3 ครั้ง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ยเช่นกัน



ภาพประกอบ 21 ภาพจำลองการวัดชิ้นงานละ 3 ตำแหน่ง ไล่จากบนลงล่างในแนวตั้ง แทนตำแหน่งปลายพื้น กลางพื้น และคอปพื้น โดยจุดที่วัดอยู่กึ่งกลางชิ้นงานในแนวนอน

3.2 คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสี ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณของชิ้นงาน ได้แก่ ปลายพื้น กลางพื้น และคอปพื้น จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของสีที่วัดได้บนบล็อกเซรามิกอ้างอิง และเซอร์โคเนียหลังยี้ดกับแผ่นเรซินสีเหมือนพื้นด้วยกลีเซอรินเจล ดังสมการ

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ทำการทดสอบด้วยสถิติชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) เนื่องจากจำนวนตัวอย่างมีขนาดเล็กกว่า 50 ขึ้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลในบางกลุ่มมีการแจกแจงที่ไม่เป็นไปตามแบบปกติ ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการทางสถิติแบบนอนพารามेटริก (nonparametric statistics) ในการวิเคราะห์ข้อมูลหลัก

สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า ΔE_{ab}^* ระหว่าง 3 บริเวณของชิ้นงานภายใต้สีพื้นหลังเรซินและเซอโคเนียสีเหลืองเดียวกัน ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติของครัสคาลและวอลลิส (The Kruskal-Wallis One-Way Analysis of Variance by Ranks Test) โดยหากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จะดำเนินการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ (Post Hoc Test) ด้วยวิธีบอนเฟอโรน (Bonferroni Test) เพื่อระบุว่าบริเวณใดบ้างที่มีความแตกต่างกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบ Post Hoc ที่ 0.05

นอกจากนี้ เพื่อเปรียบเทียบค่า ΔE_{ab}^* ระหว่างเซอโคเนีย 2 สีเหลือง ภายใต้สีพื้นหลังและบริเวณที่ศึกษาเดียวกัน ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติทดสอบแมน-วิทนี ยู (Mann-Whitney U Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ทั้งนี้การคำนวณทางสถิติจะใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอสเวอร์ชัน 26 (SPSS. statistics 26, IBM®) กำหนดให้ค่า ΔE_{ab}^* ที่ 1.2 เป็นค่าที่สามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงของสีได้ (perceptibility threshold, PT) และ ΔE_{ab}^* ที่ 2.7 เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ (acceptability threshold, AT)

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการตามระเบียบวิธีที่ได้วางแผนไว้ และสามารถทราบถึงความสามารถในการปิดสีของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกันในแต่ละบริเวณของเซอริโคเนีย ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ซึ่งทดลองด้วยเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อ ซึ่งมีความหนาเดียวกันที่ 1 มิลลิเมตร บนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันทั้งหมด 4 สี โดยประเมินความสามารถในการปิดสีจากการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็น (ΔE_{ab}^*) ของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงเมื่อนำไปยึดบนแต่ละสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันด้วยกลีเซอรินเจล โดยเปรียบเทียบกับก่อนเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ใช้อ้างอิง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็น (ΔE_{ab}^*) ได้จากการนำค่า L^* , a^* และ b^* ที่ได้จากการวัดค่าสีชิ้นงานหลังยึดกับเรซินสีเหมือนฟันและก่อนเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ใช้อ้างอิงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และนำมาคำนวณตามสมการที่กำหนด แล้วจึงนำมาพิจารณาแปลผลทางคลินิก โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินความต่างของสีคือระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT)(32)

ในการศึกษานี้มีตัวแปรอิสระในการศึกษา 3 ตัวแปร ได้แก่ พื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน, ยี่ห้อของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง และบริเวณของชิ้นงานเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง และมีตัวแปรตาม 1 ตัวแปร ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง (ΔE_{ab}^*) ในแต่ละบริเวณ โดยศึกษาอิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระทั้ง 3 ต่อตัวแปรตามในแต่ละบริเวณได้แก่ ปลายฟัน, กลางฟัน และ คอฟัน เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการปิดสีของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อโดยแยกเป็นแต่ละบริเวณ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ทำการทดลองจากกลุ่มตัวอย่างในห้องปฏิบัติการทั้งหมด 20 ชิ้น โดยแบ่งเป็นกลุ่มละ 10 ชิ้น ดังนั้นผู้วิจัยได้กำหนดให้มีกลุ่มการทดลองทั้งหมดเป็น 8 กลุ่มดังนี้

1. เซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana YML สีเอ 1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ภายใต้อพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3
2. เซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana YML สีเอ 1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ภายใต้อพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND5

3. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana YML สีเอ 1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ภายใต้อุปกรณ์หลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND7
4. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana YML สีเอ 1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ภายใต้อุปกรณ์หลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9
5. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera Pearl Natural สีเอ 1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ภายใต้อุปกรณ์หลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3
6. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera Pearl Natural สีเอ 1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ภายใต้อุปกรณ์หลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND5
7. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera Pearl Natural สีเอ 1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ภายใต้อุปกรณ์หลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND7
8. เซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera Pearl Natural สีเอ 1 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ภายใต้อุปกรณ์หลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND9

โดยแต่ละกลุ่มจะศึกษาทั้งหมด 3 บริเวณ ได้แก่ ปลายฟัน, กลางฟัน และ คอฟัน โดยศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง (ΔE_{ab}^*) ทั้งในเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อเดียวกัน และนำ 2 ยี่ห้อมาเปรียบเทียบ ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณ ซึ่งจะนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

ผลของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอร์โคเนียไล่ความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana-YML โดยเทียบภายใต้อุปกรณ์หลังเรซินสีเหมือนฟันต่างๆ และเทียบในแต่ละบริเวณของชิ้นงาน

การศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็น (ΔE_{ab}^*) ของเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana-YML ในบริเวณปลายฟัน กลางฟัน และคอฟัน เมื่อนำไปยึดกับพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ ได้แก่ ND3, ND5, ND7 และ ND9 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการศึกษาจากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น VITA Easyshade[®] V โดยเซอร์โคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Katana-YML มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean and standard deviation), มัธยฐาน (median) และค่าอันดับเฉลี่ย (mean rank) ของ ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณ บนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน รวมถึงผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test ระหว่าง 3 บริเวณ โดยแสดงผลตามตาราง ดังนี้

ตาราง 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณบนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันของ Katana-YML (n = 10) และผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test ระหว่าง 3 บริเวณ

สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	บริเวณ	Mean±SD	Median	Mean rank	Kruskal-Wallis H	p-value
ND3	ปลายฟัน	4.13±0.59	4.04	25.50	22.165	0.000*
	กลางฟัน	2.23±0.52	2.24	13.80		
	คอฟัน	1.41±0.52	1.46	7.20		
ND5	ปลายฟัน	4.82±0.76	4.65	25.50	23.280	0.000*
	กลางฟัน	2.28±0.60	2.19	14.40		
	คอฟัน	1.71±0.50	1.59	6.60		
ND7	ปลายฟัน	3.51±0.76	3.29	25.00	21.293	0.000*
	กลางฟัน	1.86±0.54	1.75	14.60		
	คอฟัน	1.22±0.62	1.03	6.90		
ND9	ปลายฟัน	8.68±0.51	8.69	22.90	20.201	0.000*
	กลางฟัน	8.28±0.38	8.18	17.90		
	คอฟัน	7.38±0.50	7.40	5.70		

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test ที่พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab}^* อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Katana-YML ค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab}^* ที่วัดได้จากบริเวณปลายฟันมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือบริเวณกลางฟัน และคอฟัน มีค่าน้อยที่สุดในทุกสีพื้นหลัง ผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างบริเวณปลายฟัน กลางฟัน และคอฟัน ในสีพื้นหลัง ND3, ND5, ND7 และ ND9 หรือกล่าวคือในทุกสีพื้นหลังมีอย่างน้อย 1 บริเวณ ที่มีค่าเฉลี่ยอันดับแตกต่างจากบริเวณอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่ามัธยฐานพบว่า ในทุกสีพื้นหลัง ที่บริเวณปลายพื้นมีค่า ΔE_{ab}^* สูงที่สุด รองลงมาคือกลางพื้น และคอพื้น ตามลำดับ

เนื่องจากผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test แสดงว่ามีอย่างน้อยหนึ่งบริเวณที่มีค่าเฉลี่ยอันดับแตกต่างจากบริเวณอื่นอย่างมีนัยสำคัญ จะดำเนินการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ (Post Hoc Test) ด้วยวิธี Bonferroni เพื่อทดสอบว่าบริเวณใดมีค่าเฉลี่ยอันดับต่างกันอย่างมีนัยสำคัญบ้าง โดยแสดงตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 3 แสดงผลต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* ระหว่างบริเวณในแต่ละสีพื้นหลัง และผลการทดสอบ Bonferroni ของ Katana-YML

สีพื้นหลังเรซินสี เหมือนพื้น	Mean Rank Difference (Row – Column) p-value	กลางพื้น	คอพื้น
ND3	ปลายพื้น	11.700 0.009*	18.300 0.000*
	กลางพื้น		6.600 0.281
ND5	ปลายพื้น	11.100 0.014*	18.900 0.000*
	กลางพื้น		7.800 0.143
ND7	ปลายพื้น	10.400 0.025*	18.100 0.000*
	กลางพื้น		7.700 0.151
ND9	ปลายพื้น	5.000 0.612	17.200 0.000*
	กลางพื้น		12.200 0.006*

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Bonferroni ที่พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab} * อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สีพื้นหลัง ND3

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณกลางพื้นเท่ากับ 11.7 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.009)

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณคอปพื้นเท่ากับ 18.300 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.000 หรือ p-value < 0.001)

สีพื้นหลัง ND5

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณกลางพื้นเท่ากับ 11.100 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.014)

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณคอปพื้นเท่ากับ 18.900 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.000 หรือ p-value < 0.001)

สีพื้นหลัง ND7

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณกลางพื้นเท่ากับ 10.400 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.025)

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณคอปพื้นเท่ากับ 18.100 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.000 หรือ p-value < 0.001)

สีพื้นหลัง ND9

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณคอปพื้นเท่ากับ 17.200 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.000 หรือ p-value < 0.001)

บริเวณกลางพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณคอปพื้นเท่ากับ 12.200 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.006)

กล่าวโดยสรุปคือ บริเวณปลายพื้นและคอปพื้น มีความต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกสีพื้นหลังของเซอโคเนีย Katana-YML โดยบริเวณปลายพื้นมีแนวโน้มที่ค่าเฉลี่ย ΔE_{ab} * สูงกว่าบริเวณคอปพื้น ในขณะที่บริเวณปลายพื้นและกลางพื้นเองก็มีความต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกสีพื้นหลังของเซอโคเนีย Katana-YML ยกเว้นสี ND9 โดยที่บริเวณปลายพื้นมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณกลางพื้น และในส่วนของบริเวณกลางพื้นและคอปพื้นมีความต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติบนสีพื้นหลัง ND9 เท่านั้น โดยบริเวณกลางฟันมีแนวโน้มที่ค่าเฉลี่ยสูงกว่าคอฟัน

ผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอริโคเนียไล่ความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera-PN โดยเทียบภายใต้พื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันต่างๆ และเทียบในแต่ละบริเวณของชิ้นงาน

การศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็น (ΔE_{ab}^*) ของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera-PN ในบริเวณปลายฟัน กลางฟัน และคอฟัน เมื่อนำไปยึดกับพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ ได้แก่ ND3, ND5, ND7 และ ND9 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการศึกษาจากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น VITA Easyshade® V โดยเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อ Nacera-PN มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean and standard deviation), มัธยฐาน (median) และค่าอันดับเฉลี่ย (mean rank) ของ ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณ บนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน รวมถึงผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test ระหว่าง 3 บริเวณ โดยแสดงผลตามตาราง ดังนี้

ตาราง 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ย ของ ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณบนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันของ Nacera-PN (n = 10) และผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test ระหว่าง 3 บริเวณ

สีพื้นหลังเรซิน สีเหมือนฟัน	บริเวณ	Mean±SD	Median	Mean rank	Kruskal- Wallis H	p-value
ND3	ปลายฟัน	4.08±1.04	3.81	23.90	14.909	0.000*
	กลางฟัน	2.04±1.07	1.62	13.50		
	คอฟัน	1.48±1.25	0.97	9.10		
ND5	ปลายฟัน	4.52±0.38	4.40	25.50	20.841	0.000*
	กลางฟัน	1.75±0.55	1.78	12.90		
	คอฟัน	1.43±0.71	1.18	8.10		

ตาราง 4 (ต่อ)

สีพื้นหลังเรซิน สีเหมือนฟัน	บริเวณ	Mean±SD	Median	Mean rank	Kruskal- Wallis H	p-value
ND7	ปลายฟัน	4.10±0.76	3.80	24.00	17.236	0.000*
	กลางฟัน	2.22±1.34	1.56	14.80		
	คอฟัน	1.27±1.00	0.88	7.70		
ND9	ปลายฟัน	7.64±0.94	7.42	25.50	22.699	0.000*
	กลางฟัน	6.10±0.29	6.12	14.10		
	คอฟัน	5.56±0.39	5.59	6.90		

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test ที่พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab}^* อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณา Nacera-PN ค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab}^* ที่วัดได้จากบริเวณปลายฟันมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือค่าเฉลี่ยจากบริเวณกลางฟัน และบริเวณที่มีค่าเฉลี่ยอันดับน้อยที่สุดคือ คอฟัน ในทุกสีพื้นหลัง

ผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างบริเวณปลายฟัน กลางฟัน และคอฟัน ในสีพื้นหลัง ND3, ND5, ND7 และ ND9 หรือกล่าวคือในทุกสีพื้นหลังมีอย่างน้อย 1 บริเวณมีค่าเฉลี่ยอันดับแตกต่างจากบริเวณอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่ามัธยฐานพบว่า ในทุกสีพื้นหลัง ที่บริเวณปลายฟันมีค่า ΔE_{ab}^* สูงที่สุด รองลงมาคือกลางฟัน และคอฟัน ตามลำดับ

เนื่องจากผลการทดสอบ Kruskal-Wallis H Test แสดงว่ามีอย่างน้อยหนึ่งบริเวณที่มีค่าเฉลี่ยอันดับแตกต่างจากบริเวณอื่นอย่างมีนัยสำคัญ จะดำเนินการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ (Post Hoc Test) ด้วยวิธี Bonferroni เพื่อทดสอบว่าบริเวณใดมีค่าเฉลี่ยอันดับต่างกันอย่างมีนัยสำคัญบ้าง โดยแสดงตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 5 แสดงผลต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab} * ระหว่างบริเวณในแต่ละสีพื้นหลัง และผลการทดสอบ Bonferroni ของ Nacera-PN

สีพื้นหลังเรซินสี เหมือนฟัน	Mean Rank Difference (Row – Column) <i>p</i> -value	กลางฟัน	คอฟัน
ND3	ปลายฟัน	10.400 0.025*	14.800 0.001*
	กลางฟัน		4.400 0.791
ND5	ปลายฟัน	12.600 0.004*	17.400 0.000*
	กลางฟัน		4.800 0.668
ND7	ปลายฟัน	9.200 0.058	16.300 0.000*
	กลางฟัน		7.100 0.214
ND9	ปลายฟัน	11.400 0.011*	18.600 0.000*
	กลางฟัน		7.200 0.202

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Bonferroni ที่พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab} * อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สีพื้นหลัง ND3

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* สูงกว่าบริเวณกลางพื้นเท่ากับ 10.400 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.025$)

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* สูงกว่าบริเวณคอปพื้นเท่ากับ 14.800 ($p\text{-value} = 0.001$)

สีพื้นหลัง ND5

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* สูงกว่าบริเวณกลางพื้นเท่ากับ 12.600 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.004$)

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* สูงกว่าบริเวณคอปพื้นเท่ากับ 17.400 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.000$ หรือ $p\text{-value} < 0.001$)

สีพื้นหลัง ND7

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* สูงกว่าบริเวณกลางพื้นเท่ากับ 16.300 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.000$ หรือ $p\text{-value} < 0.001$)

สีพื้นหลัง ND9

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* สูงกว่าบริเวณกลางพื้นเท่ากับ 11.400 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.011$)

บริเวณปลายพื้นมีค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* สูงกว่าบริเวณคอปพื้นเท่ากับ 18.600 ซึ่งต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 0.000$ หรือ $p\text{-value} < 0.001$)

กล่าวโดยสรุปคือ บริเวณปลายพื้นและคอปพื้น มีความต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกสีพื้นหลังของเซอริโคเนีย Nacera-PN โดยบริเวณปลายพื้นมีแนวโน้มที่ค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* สูงกว่าบริเวณคอปพื้น ในขณะที่บริเวณปลายพื้นและกลางพื้นเองก็มีความต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกสีพื้นหลังของเซอริโคเนีย Nacera-PN ยกเว้นสี ND7 โดยที่บริเวณปลายพื้นมีแนวโน้มที่ค่าเฉลี่ยสูงกว่าบริเวณกลางพื้นและในส่วนของบริเวณกลางพื้นและคอปพื้น ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยอันดับของกลางพื้นจะมีแนวโน้มสูงกว่า แต่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกสีพื้นหลัง

**การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง (ΔE_{ab}^*) สอง
ยี่ห้อ บริเวณปลายฟัน กลางฟัน และคอฟัน (incisal, middle and cervical area)**

การศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงสอง
ยี่ห้อในบริเวณปลายฟัน กลางฟัน และคอฟัน เมื่อนำไปยึดกับพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน
ซึ่งได้ผลการศึกษาจากการใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น VITA Easyshade® V โดยเซอรโคเนีย
ไล่ระดับความโปร่งแสงแต่ละยี่ห้อ มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean and standard
deviation) ของ ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML และ Nacera PN บนแต่ละพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันใน
แต่ละบริเวณ รวมถึงผลการทดสอบด้วย Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอรโคเนีย 2 ยี่ห้อ
แสดงผลตามตาราง ดังนี้

ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ของ
Katana-YML และ Nacera-PN บนแต่ละสีพื้นหลัง ในแต่ละบริเวณ และผลการทดสอบ
Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอรโคเนีย 2 ยี่ห้อ

สีพื้นหลังเร ซินสี เหมือนฟัน	บริเวณ	เซอรโคเนียไล่ ระดับความ โปร่งแสง	Mean $\pm$ SD	Mann-Whitney U Test Effect size	p-value
ND3	ปลายฟัน	Katana-YML	4.13 $\pm$ 0.59 ^a	41.00	0.529
		Nacera-PN	4.08 $\pm$ 1.04 ^a	0.152	
ND3	กลางฟัน	Katana-YML	2.23 $\pm$ 0.52 ^a	37.00	0.326
		Nacera-PN	2.04 $\pm$ 1.07 ^a	0.220	
ND3	คอฟัน	Katana-YML	1.41 $\pm$ 0.52 ^a	43.00	0.631
		Nacera-PN	1.48 $\pm$ 1.25 ^a	0.118	
ND5	ปลายฟัน	Katana-YML	4.82 $\pm$ 0.76 ^a	42.00	0.529
		Nacera-PN	4.52 $\pm$ 0.38 ^a	0.152	
ND5	กลางฟัน	Katana-YML	2.28 $\pm$ 0.60 ^a	27.00	0.082
		Nacera-PN	1.75 $\pm$ 0.55 ^a	0.389	

ตาราง 6 (ต่อ)

สีพื้นหลังเร ซินสีเหมือน พื้น	บริเวณ	เซอริโคเนียได้ ระดับความ โปร่งแสง	Mean±SD	Mann-Whitney U Test Effect size	p-value
ND5	คอพื้น	Katana-YML	1.71±0.50 ^a	20.00	0.023*
		Nacera-PN	1.43±0.71 ^b	0.507	
ND7	ปลายพื้น	Katana-YML	3.51±0.76 ^a	72.00	0.105
		Nacera-PN	4.10±0.76 ^a	0.372	
ND7	กลางพื้น	Katana-YML	1.86±0.54 ^a	47.00	0.821
		Nacera-PN	2.22±1.34 ^a	0.051	
ND7	คอพื้น	Katana-YML	1.22±0.62 ^a	41.00	0.529
		Nacera-PN	1.27±1.00 ^a	0.152	
ND9	ปลายพื้น	Katana-YML	8.68±0.51 ^a	14.00	0.005*
		Nacera-PN	7.64±0.94 ^b	0.609	
ND9	กลางพื้น	Katana-YML	8.28±0.38 ^a	0.00	0.000*
		Nacera-PN	6.10±0.29 ^b	0.845	
ND9	คอพื้น	Katana-YML	7.38±0.50 ^a	0.00	0.000*
		Nacera-PN	5.56±0.39 ^b	0.845	

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ของเซอริโคเนียได้ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อ ภายใต้พื้นหลังเรซินสีเหมือนพื้นและบริเวณที่ศึกษาเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ที่พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab}^* อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาผลจากบริเวณปลายฟัน และกลางฟัน พบว่าค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML สูงกว่า Nacera-PN ในสีพื้นหลัง ND3, ND5 และ ND9 ในขณะที่สีพื้นหลัง ND7 พบว่า Katana-YML มีค่าน้อยกว่า Nacera-PN

ส่วนบริเวณคอฟันพบว่าค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML มีค่าน้อยกว่า Nacera-PN ภายใต้สีพื้นหลัง ND3 และ ND7 ส่วนพื้นหลัง ND5 และ ND9 มีค่าเฉลี่ยมากกว่า Nacera-PN

ผลการทดสอบ Mann-Whitney U test ในบริเวณปลายฟันพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเซอริโคเนียทั้ง 2 ชนิด โดยมีค่าสถิติ U เท่ากับ 14.00 ค่าขนาดผล (effect size) เท่ากับ 0.609 ซึ่งถือว่าเป็นขนาดผลระดับใหญ่ (large effect size) และมีค่า p-value เท่ากับ 0.005 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญในการทดสอบ 0.05

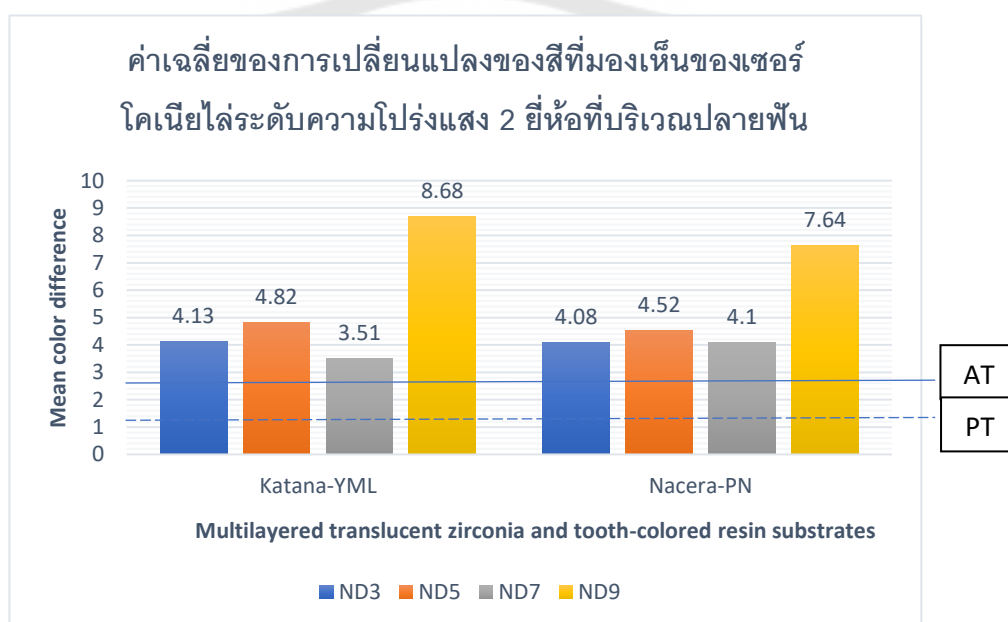
ผลการทดสอบ Mann-Whitney U test ในบริเวณกลางฟันแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเซอริโคเนียทั้ง 2 ยี่ห้อ โดยมีค่าสถิติ U เท่ากับ 0.00 ค่าขนาดผล (effect size) เท่ากับ 0.845 ซึ่งถือว่าเป็นขนาดผลระดับใหญ่ (large effect size) และมีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญในการทดสอบ 0.05

ส่วนบริเวณคอฟัน ผลการทดสอบ Mann-Whitney U test แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเซอริโคเนียทั้ง 2 ยี่ห้อ โดยที่สีพื้นหลัง ND5 มีค่าสถิติ U เท่ากับ 20.00 ค่าขนาดผล (effect size) เท่ากับ 0.507 ซึ่งถือว่าเป็นขนาดผลระดับใหญ่ (large effect size) และมีค่า p-value เท่ากับ 0.023 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญในการทดสอบ 0.05 ในขณะที่สีพื้นหลัง ND9 มีค่าสถิติ U เท่ากับ 0.00 ค่าขนาดผล (effect size) เท่ากับ 0.845 ซึ่งถือว่าเป็นขนาดผลระดับใหญ่ (large effect size) และมีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญในการทดสอบ 0.05

การประยุกต์ผลการศึกษาให้สอดคล้องกับการแปลผลทางคลินิก

นอกจากนี้เพื่อเป็นการแปลผลทางคลินิก จึงนำผลการศึกษาค่าเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ระหว่างเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงสองยี่ห้อในแต่ละบริเวณเมื่อนำไปยึดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้แปลผลทางคลินิก ซึ่งจะแปลผลเป็นระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (PT ≤ 1.2) และยอมรับได้ทางคลินิก (AT ≤ 2.7) โดยเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ในแต่ละบริเวณของชิ้นงานแสดงดังแผนภูมิต่อไปนี้

บริเวณปลายฟัน



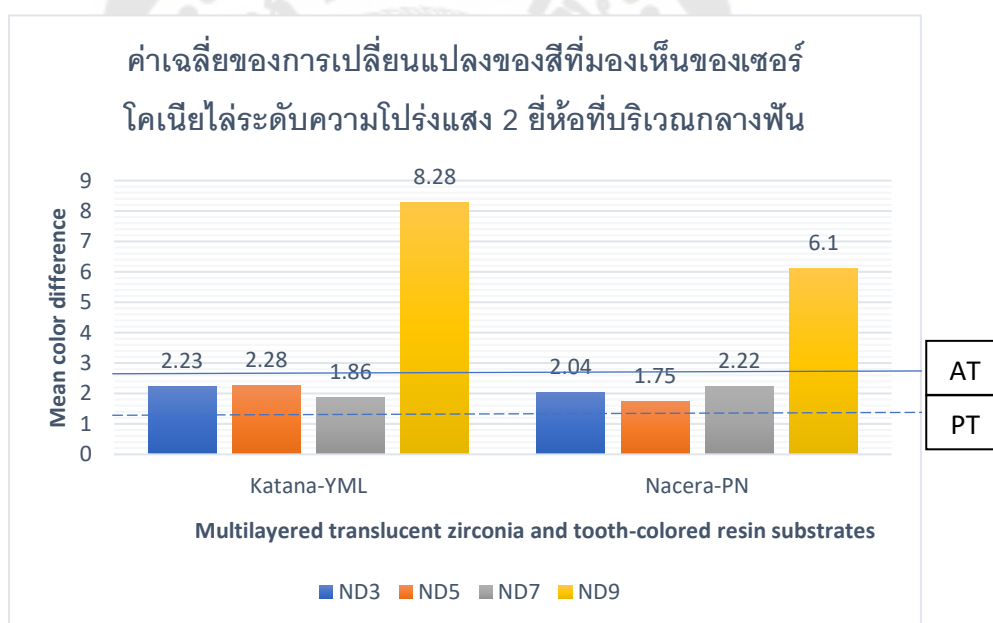
ภาพประกอบ 22 แสดงค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อที่บริเวณปลายฟันเมื่อเทียบกับระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT)

ที่บริเวณปลายฟันค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าที่วัดได้จาก Nacera-PN เล็กน้อยในสีพื้นหลัง ND3 และ ND5 ในขณะที่สีพื้นหลัง ND7 ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดได้จาก Nacera-PN และสี

พื้นหลังที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันมากที่สุดคือสี ND9 โดยค่าเฉลี่ยที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า Nacera-PN

และเมื่อนำค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นระหว่างเซอโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงสองยี่ห้อในบริเวณปลายฟันบนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันไปเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้แปลผลทางคลินิกได้แก่ ค่าที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และค่าที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT) จะพบว่าในส่วนปลายฟันไม่มีกลุ่มใดที่มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ PT และ AT ซึ่งหมายความว่าไม่มีวัสดุยี่ห้อใดเลยที่สามารถปิดสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5, ND7 และ ND9 ได้

บริเวณกลางฟัน



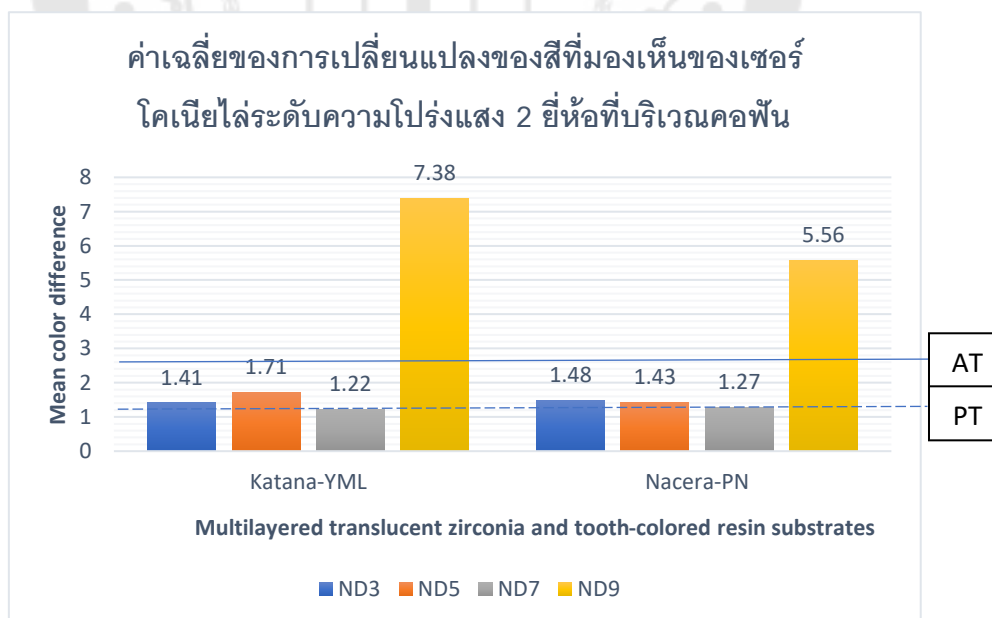
ภาพประกอบ 23 แสดงค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อที่บริเวณกลางฟันเมื่อเทียบกับระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT)

ที่บริเวณกลางฟันค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าที่วัดได้จาก Nacera-PN ในสีพื้นหลัง ND3 และ ND5 ในขณะที่สีพื้นหลัง ND7 ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดได้จาก Nacera-PN และสีพื้นหลังที่

มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันมากที่สุดคือสี โดยค่าเฉลี่ยที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า Nacera-PN

และเมื่อนำค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นระหว่างเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงสองยี่ห้อในบริเวณกลางฟันบนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันไปเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้แปลผลทางคลินิกได้แก่ ค่าที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และค่าที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT) จะพบว่าในส่วนกลางฟันทั้งยี่ห้อ Katana-YML และ Nacera-PN เมื่อปิดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5 และ ND7 มีค่าเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ PT ซึ่งหมายความว่าไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส แต่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเกณฑ์ AT ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก และไม่สามารถปิดสีพื้นหลัง ND9 ได้เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นมากกว่าเกณฑ์ PT และ AT

บริเวณคอฟัน



ภาพประกอบ 24 แสดงค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อที่บริเวณคอฟันเมื่อเทียบกับระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT)

ที่บริเวณคอพั้นค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าที่วัดได้จาก Nacera-PN ในสีพื้นหลัง ND3 และ ND7 เพียงเล็กน้อย ในขณะที่สีพื้นหลัง ND5 และ ND9 ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้จาก Nacera-PN โดยพื้นหลัง ND9 มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันระหว่างเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อมากที่สุด

และเมื่อนำค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นระหว่างเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงสองยี่ห้อมาในบริเวณคอพั้นบนแต่ละสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันไปเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้แปลผลทางคลินิกได้แก่ ค่าที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และค่าที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT) จะพบว่าในส่วนกลางฟันทั้งยี่ห้อม Katana-YML และ Nacera-PN เมื่อปิดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5 และ ND7 มีค่าเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ PT ซึ่งหมายความว่าไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส แต่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเกณฑ์ AT ซึ่งหมายความว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก และไม่สามารถปิดสีพื้นหลัง ND9 ได้เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นมากกว่าเกณฑ์ PT และ AT

ผลการวัดค่า L^* , a^* และ b^* ของก้อนเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ใช้อ้างอิงในแต่ละบริเวณ

ตาราง 7 แสดงค่า L^* , a^* , b^* ของก้อนเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ใช้อ้างอิงยี่ห้อม Katana-YML และ Nacera-PN ในแต่ละบริเวณ

บริเวณ	ชิ้นงาน	L^*	a^*	b^*
ปลายฟัน	Katana-YML	88.8	-4.4	10.6
	Nacera-PN	83.2	-2.2	12.8
กลางฟัน	Katana-YML	85.5	-0.8	24.8
	Nacera-PN	83.9	1.3	18.3
คอพั้น	Katana-YML	83.2	-0.3	28.0
	Nacera-PN	83.8	1.7	19.1

ผลการวัดค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE_{ab}^* ของแผ่นพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ

ตาราง 8 แสดงค่า L^* , a^* , b^* และ ΔE_{ab}^* ของแผ่นพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสีต่างๆ

ชิ้นงาน	L^*	a^*	b^*	ΔE_{ab}^*
ND3	71.0	0.5	32.7	16.59
ND5	71.8	0.1	44.5	23.99
ND7	73.3	-1.5	35.2	16.04
ND9	43.7	4.3	25.8	42.15

จากตารางจะพบว่าพื้นหลัง ND9 มี ΔE_{ab}^* สูงสุดคือ 42.15 รองลงมาคือ ND5, ND3 และ ND7 ตามลำดับ เมื่อดูเชิงลึกในส่วนค่า L^* , a^* และ b^* พบว่า

1. ค่า L^* ของพื้นหลัง ND9 มีค่าน้อยที่สุดหากเทียบกับพื้นหลังสีอื่นคือ 43.7 โดยค่า L^* ของ ND7 มากที่สุดคือ 73.3 รองลงมาคือ ND5 มีค่า 71.8 และ ND3 มีค่า 71.0 ตามลำดับ
2. ค่า a^* ของพื้นหลัง ND9 มีค่ามากที่สุดคือ 4.3 รองลงมาคือ ND3 มีค่า 0.5, ND5 มีค่า 0.1 และ ND7 มีค่า -1.5 ตามลำดับ
3. ค่า b^* ของพื้นหลัง ND5 มีค่ามากที่สุดคือ 44.5 รองลงมาคือ ND7 มีค่า 35.2, ND3 มีค่า 32.7 และ ND9 มีค่า 25.8 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสามารถในการปิดสีของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อที่ความหนาเดียวกันบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกัน โดยวิเคราะห์จากค่าความเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็น (ΔE_{ab}^*) และเปรียบเทียบกับก่อนเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ใช้อ้างอิง ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปผลการทดลองดังนี้

เมื่อวิเคราะห์ในเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงยี่ห้อเดียวกันพบว่า บริเวณที่ทำการวัดค่า ΔE_{ab}^* ที่ต่างกัน จะมีค่า ΔE_{ab}^* แตกต่างกัน โดยทั้ง 2 ยี่ห้อพบว่าค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* ที่วัดได้จากบริเวณปลายฟันมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือค่าเฉลี่ยจากบริเวณกลางฟัน และบริเวณที่มีค่าเฉลี่ยอันดับน้อยที่สุดคือ คอฟฟัน ในทุกสีพื้นหลัง โดยกลุ่มตัวอย่างจากทั้ง Katana-YML และ Nacera-PN พบว่าบริเวณปลายฟันและคอฟฟัน มีความต่างของค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกสีพื้นหลัง

สีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันที่ต่างกันมีผลต่อความสามารถในการปิดสีของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงทั้ง 2 ยี่ห้อ โดยหากสีของพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันมีความต่างจากสีของเซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงมาก จะมีค่าความเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็น (ΔE_{ab}^*) สูง ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้เป็น 3 กลุ่ม ตามบริเวณที่ทำการศึกษา ได้แก่

1. บริเวณปลายฟัน

ค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* จาก Katana-YML มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยอันดับจาก Nacera-PN ในสีพื้นหลัง ND3, ND5 และ ND9 ในขณะที่สีพื้นหลัง ND7 ค่าเฉลี่ยอันดับที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าน้อยกว่า Nacera-PN โดยมีเพียงสีพื้นหลัง ND9 ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเซอริโคเนียไล่ทั้ง 2 ชนิด

2. บริเวณกลางฟัน

ค่าเฉลี่ยอันดับ ΔE_{ab}^* จาก Katana-YML มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยอันดับจาก Nacera-PN ในสีพื้นหลัง ND3, ND5 และ ND9 ในขณะที่สีพื้นหลัง ND7 ค่าเฉลี่ยอันดับที่วัดได้จาก Katana-YML มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยอันดับจาก Nacera-PN โดยมีเพียงสีพื้นหลัง ND9 ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเซอริโคเนียไล่ทั้ง 2 ชนิด

3. บริเวณคอพัน

ค่าเฉลี่ยอันดับจาก Katana-YML มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยอันดับจาก Nacera-PN ในทุกสีพื้นหลัง โดยมีเพียงสีพื้นหลัง ND5 และ ND9 ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเซอริโคเนียทั้ง 2 ยี่ห้อ

ดังนั้นจากผลการศึกษาที่กล่าวข้างต้นทำให้สมมติฐานว่างของการทดลองถูกปฏิเสธ จึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่มองเห็นระหว่างเซอริโคเนียไ้ระดับความโปร่งแสงสองยี่ห้อในแต่ละบริเวณแตกต่างกันภายใต้สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันเดียวกัน โดยหากพิจารณาความสามารถในการปิดสีบนพื้นหลังจากค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* ในแต่ละกลุ่มพบว่า ความสามารถในการปิดสีจะน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในบริเวณปลายฟัน และปิดสีได้ดีมากขึ้นในบริเวณกลางฟัน และคอพันตามลำดับ โดยสีพื้นหลัง ND9 เป็นสีเดียวที่ไม่มีบริเวณใดของชิ้นงานเซอริโคเนียไ้ระดับความโปร่งแสงปิดสีได้เลยทั้ง 2 ยี่ห้อ

นอกจากนี้บริเวณที่ใช้ทดสอบชิ้นงานเซอริโคเนียไ้ระดับความโปร่งแสงก็มีผลต่อความสามารถในการปิดสีเช่นกัน โดยเมื่อนำค่าเฉลี่ย ΔE_{ab}^* แต่ละกลุ่มไปเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้แปลผลทางคลินิกได้แก่ ค่าที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (perceptibility threshold, PT) และค่าที่ยอมรับได้ทางคลินิก (acceptability threshold, AT) พบว่า

1. บริเวณปลายฟัน ไม่มีวัสดุยี่ห้อใดเลยที่สามารถปิดสีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5, ND7 และ ND9 ได้
2. บริเวณกลางฟัน วัสดุทั้ง 2 ยี่ห้อเมื่อปิดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5 และ ND7 พบว่าความสามารถในการปิดสีไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส แต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก และไม่สามารถปิดสีพื้นหลัง ND9 ได้
3. บริเวณคอพัน วัสดุทั้ง 2 ยี่ห้อเมื่อปิดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5 และ ND7 พบว่าความสามารถในการปิดสีไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส แต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก และไม่สามารถปิดสีพื้นหลัง ND9 ได้

อภิปรายผลการวิจัย

เซอรโคเนียจัดเป็นโพลีคริสตัลไลน์เซรามิก (polycrystalline ceramics) หรือเซรามิกประเภทพหุผลึกที่ประกอบไปด้วยผลึกโมโนคลินิก (monoclinic), ผลึกเทตราโกนอล (tetragonal) และผลึกคิวบิก (cubic) ซึ่งอยู่ในภาวะกึ่งเสถียร (metastable) หมายความว่าสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างผลึกได้ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป(33) โดยเซอรโคเนียทางทันตกรรมมีการใส่สารคงสภาพหรือสารสเตบิลไลเซอร์ (stabilizer) ซึ่งเป็นสารออกไซด์ของโลหะ (metal oxides) ตัวที่นิยมใช้คืออิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide, Y_2O_3) เข้าไปในเซอรโคเนียบริสุทธิ์เพื่อคงรูปผลึกเทตราโกนอลและ/หรือ คิวบิก ไว้ที่อุณหภูมิห้อง(6) ซึ่งเมื่อใส่ร้อยละ 3 โดยโมลอิตเทรียมออกไซด์ เซอรโคเนียจะอยู่ในสภาวะกึ่งเสถียร (metastable) ในรูปผลึกเทตราโกนอล ซึ่งจะถูกรเรียกว่า สามวาเย-ทีแซดพี หรือ อิตเทรียม เทตราโกนอล เซอรโคเนีย พอลิคริสตัล (3Y-TZP, 3Y-HA) และการศึกษาโดย Kim และคณะในปี 2021(34) พบว่าการเพิ่มปริมาณของอิตเทรียมออกไซด์ เช่น 4% mol yttria partially stabilized zirconia (4Y-PSZ) หรือ 5% mol yttria partially stabilized zirconia (5Y-PSZ) ทำให้มีปริมาณผลึกคิวบิกมากขึ้น ส่งผลให้การกระจายของแสงบริเวณขอบผลึกลดลง จึงทำให้มีความใสมากขึ้น ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำไปบูรณะฟันในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม

โดยการพัฒนาเป็นเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงจะมีการไล่ระดับขององค์ประกอบทางเคมีในชั้นงาน กล่าวคือมีการไล่ปริมาณของอิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide, Y_2O_3) ที่กล่าวข้างต้น จึงทำให้เกิดการไล่ระดับความโปร่งแสงเพื่อลอกเลียนแบบฟันธรรมชาติ โดยสีฟันธรรมชาติจะถูกกำหนดด้วยสีของเนื้อฟัน (dentin) ที่อยู่ด้านใต้ ซึ่งตามธรรมชาติแล้วเนื้อฟันจะมีความทึบแสง (opaque) แต่จะถูกเคลือบฟัน (enamel) ที่อยู่ด้านบนทำให้สีฟันดูมีความใสมากขึ้น เนื่องจากเคลือบฟันมีความใสกว่า ดังนั้นฟันธรรมชาติมักจะมีสีเข้ม (color saturation) ในบริเวณคอฟัน เนื่องจากมีเคลือบฟันบางกว่าบริเวณอื่น(35) จากการทดลองนี้ได้ใช้เซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง 2 ยี่ห้อ ได้แก่ Katana-YML ซึ่งบริเวณปลายฟันมีส่วนประกอบเป็น (5Y) คอฟันเป็น (3Y) และ Nacera-PN ซึ่งบริเวณปลายฟันมีส่วนประกอบเป็น (6Y) คอฟันเป็น (3Y) โดยบริเวณกลางฟันจะเป็นชั้นที่มีการเปลี่ยนถ่ายองค์ประกอบทางเคมี โดยมีส่วนประกอบทั้งสองปนกัน ตามที่บริษัทผู้ผลิตได้ระบุไว้ ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าของ Kassim และคณะในปี 2024(36) ที่พบว่าเซอรโคเนียโปร่งแสงที่มีปริมาณอิตเทรียมออกไซด์น้อยกว่า จะมีความสามารถในการปิดสีได้ดีกว่า โดยในการศึกษานี้พบว่าบริเวณที่มีปริมาณอิตเทรียมออกไซด์น้อยกว่า ซึ่งคือคอฟัน มีความสามารถในการปิดสีได้ดีกว่า กลางฟัน และปลายฟันตามลำดับ

ในการบูรณะฟัน โดยเฉพาะฟันที่มีการเปลี่ยนสี (discolored tooth) ถือเป็นเรื่องที่ท้าทายในการเลือกวัสดุที่มีความสามารถเพียงพอในการปิดสีพื้นหลัง โดยเฉพาะบริเวณคอฟันซึ่งหากฟันที่เปลี่ยนสีมีสีเข้มมาก ก็อาจจะท่อนสีเงาดำผ่านขึ้นงานเซรามิกขึ้นมาได้(11) และยังต้องคำนึงถึงความสามารถในการลอกเลียนสีและลักษณะของฟันธรรมชาติข้างเคียงด้วย(37)

ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของสีพื้นหลังต่อความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kassim และคณะในปี 2024 (36), การศึกษาของ Ansarifard และคณะในปี 2024(38) และการศึกษาของ Tabatabaian และคณะในปี 2018(39) ซึ่งการศึกษานี้ศึกษาความสามารถในการปิดสีจากตัวอย่างชิ้นงานที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งมีความหนาที่ใกล้เคียงกับความหนาน้อยที่สุดของการทำครอบฟันเซอรโคเนียคือ 0.8 มิลลิเมตร โดยจากผลของความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงทั้ง 3 บริเวณ ผลการศึกษานี้พบว่า ที่บริเวณปลายฟัน ทั้ง 2 ยี่ห้อไม่สามารถปิดสีพื้นหลัง ND3, ND5, ND7 และ ND9 ได้เลย ต่างจากบริเวณกลางฟันและคอฟันที่พบว่า เซอรโคเนียทั้ง 2 ยี่ห้อ เมื่อปิดบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันสี ND3, ND5 และ ND7 พบว่าความสามารถในการปิดสีไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส แต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิก และไม่สามารถปิดสีพื้นหลัง ND9 ได้ โดยสีพื้นหลัง ND3 และ ND5 เป็นการเลียนแบบฟันหลักที่มีการเปลี่ยนสีระดับน้อยถึงปานกลาง, ND7 เลียนแบบฟันหลักที่มีการเปลี่ยนสีระดับที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติแต่จะมีความสว่างน้อยกว่า ส่วน ND9 เลียนแบบฟันหลักที่มีการเปลี่ยนสีเข้มระดับรุนแรง(37) ซึ่งการศึกษานี้พบว่าที่ระดับความหนาเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ 1 มิลลิเมตร ไม่มีบริเวณใดเลยของเซอรโคเนีย 2 ยี่ห้อที่สามารถปิดสีพื้นหลัง ND9 ได้ เมื่อจำลองการยัดด้วยกลีเซอรินเจล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gasparik และคณะในปี 2022(37) ที่พบว่าครอบฟันเซอรโคเนียที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ไม่สามารถปิดสีพื้นหลังที่จำลองการเปลี่ยนสีของฟันในระดับปานกลางและรุนแรงได้ เมื่อจำลองการยัดขึ้นงานด้วยซีเมนต์ลองฟันสีใส (transparent try-in paste) นอกจากนี้การศึกษานี้ของ Gasparik และคณะยังได้อธิบายไว้ว่า เมื่อพื้นหลังมีสีเข้มมากจะทำให้ค่า L^* ลดลงอย่างมาก จึงส่งผลทำให้ค่า ΔE_{ab}^* มีค่ามากขึ้น หรือความหมายคือ มีความสามารถในการปิดสีต่ำลง(37) นอกจากนี้ยังอาจหมายความว่าเซอรโคเนียมีความหนาไม่เพียงพอในการปิดสีพื้นหลัง ND9 เมื่อจำลองการยัดกับเรซินพื้นหลังด้วยกลีเซอรินเจล โดยการศึกษาของ Kassim และคณะในปี 2024(36) พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของเซอรโคเนียโปร่งแสงชนิดโมโนลิทิก จะทำให้ ΔE_{ab}^* มีค่าลดลง กล่าวคือเป็นการเพิ่มความสามารถในการปิดสีพื้นหลังให้ดีขึ้น นอกจากนี้การศึกษานี้ของ Pongtongkham และคณะในปี 2023(40) และ

Cho และคณะในปี 2020(41) ยังพบว่าความหนาของสีสุดท้าย (final color) ของเซอโคเนียโปร่งแสงชนิดโมโนลิทิกอีกด้วย โดยสำหรับพื้นหลังสีอ่อน (light color) แนะนำให้มีความหนาอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร ส่วนความหนาที่ทำให้มีความสามารถในการปิดสีที่ดีที่สุดอย่างน้อยควรมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร(40)

ในการปฏิบัติทางคลินิก การทำครอบฟันต้องมีการกรอแต่งฟันหลัก (abutment tooth preparation) ซึ่งบริเวณปลายฟันจะถูกกรอลดด้านปลายฟัน (incisal reduction) เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับครอบฟันเซอโคเนีย นั่นหมายความว่าจะมีบริเวณของครอบฟันส่วนปลายฟันที่ได้รับอิทธิพลของสีพื้นหลังน้อยที่สุด เนื่องจากบริเวณนั้นอาจมีสีพื้นหลังของฟันหลักเกี่ยวข้องเพียงเล็กน้อย(37) หรือไม่มีอิทธิพลเลยหากบริเวณปลายฟันของครอบเป็นเนื้อเซรามิกทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Gasparik และคณะในปี 2022(37) ที่ศึกษาความสามารถในการปิดสีของครอบฟันเซอโคเนียบนพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟันต่างๆ (ND1-ND9) และพบว่าบริเวณปลายฟันมีค่า ΔE_{ab}^* ต่ำกว่าบริเวณกลางฟันและคอฟัน เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากสีของฟันหลักน้อย และเนื่องจากในการทดลองดังกล่าวมีการจำลองการกรอลดด้านปลายฟัน 1.5 มิลลิเมตร ดังนั้นผลของการศึกษานี้อาจมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ทางคลินิก โดยเฉพาะผลจากการศึกษาบริเวณกลางฟัน และคอฟันเป็นหลัก

และจุดสังเกตของผลการศึกษานี้พบว่า จากทุกบริเวณที่ได้ทำการศึกษา จะพบว่า Katana-YML มีค่าเฉลี่ย (mean) ของ ΔE_{ab}^* น้อยกว่ากลุ่ม Nacera-PN ในทุกบริเวณที่ทำการศึกษาภายใต้พื้นหลัง ND7 เพียงสีเดียว ซึ่งหมายความว่ากลุ่ม Katana-YML มีความสามารถในการปิดสีสูงกว่า Nacera-PN ภายใต้พื้นหลัง ND7 และหากพิจารณาถึงค่า L^* , a^* และ b^* ดังตารางที่ 7 และ 8 จะเห็นว่าสีพื้นหลัง ND7 มีค่า L^* และ a^* ใกล้เคียงกันกับค่าของก้อนเซอโคเนียอ้างอิงยี่ห้อ Katana-YML ในทุกบริเวณ ซึ่งส่งผลให้ค่า ΔE_{ab}^* บนพื้นหลัง ND7 ของกลุ่ม Katana-YML ต่ำกว่ากลุ่ม Nacera-PN ซึ่งผลจากการศึกษานี้อาจเป็นข้อเสนอนะทางคลินิก โดยหากสีฟันหลักหลังกรอแต่งฟันเทียบสีได้ตรงกับสี ND7 อาจเป็นกรณีที่เหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุบูรณะเป็น Katana-YML เนื่องจากมีความสามารถในการปิดสีที่ทำได้ดีกว่าพื้นหลังเรซินสีอื่นๆ โดยในพื้นหลังสีอื่นจะพบว่ากลุ่ม Katana-YML มีค่า ΔE_{ab}^* สูงกว่ากลุ่ม Nacera-PN เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่าค่า L^* , a^* และ b^* ของเซอโคเนียของแต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกัน(40) และค่า L^* จะมีค่าน้อยลงเมื่ออยู่ในระดับของดิสก์เซอโคเนียที่ต่ำลงมาเนื่องจากมีความใสของวัสดุลดลง(42) และตามบริษัทผู้ผลิตของ Katana-YML (Kuraray Noritake Dental Inc.) ที่ระบุในส่วนประกอบของวัสดุซึ่งระบุปริมาณของอิตเทรียมออกไซด์ โดยมี

ร้อยละ 5-10 ซึ่งมากกว่ากลุ่ม Nacera-PN ที่มีปริมาณอิตเทรียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 9 จึงอาจเป็นเหตุผลที่ขึ้นงานกลุ่ม Katana-YML มีความใสกว่ากลุ่ม Nacera-PN โดยเฉพาะในส่วนปลายฟัน

ซึ่งความใสที่มากกว่าของกลุ่ม Katana-YML อาจเป็นข้อดีในการเลือกบูรณะฟันที่ต้องการความใสมาก เช่นกรณีฟันข้างเคียงมีความใสของปลายฟันมาก และต้องการบูรณะเลียนแบบให้เหมือนฟันธรรมชาติซึ่งข้างเคียงมากที่สุด แต่มีข้อควรระวังในการใช้บูรณะฟันที่มีสีเข้มเนื่องจากวัสดุมีความใส อาจทำให้ความสามารถในการปิดสีน้อยลง ดังนั้นจึงอาจเหมาะกับผู้ป่วยที่ไม่ได้มีสีฟันหลักที่เข้มมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kassim และคณะในปี 2024(36) ที่พบว่าสีของเซอโรโคเนียโปร่งแสง รวมถึงความหนาแน่นส่งผลต่อค่า ΔE_{ab}^*

ในส่วนของโครมา (chroma) ค่าที่ส่งผลต่อโครมา ได้แก่ ค่า a^* และ b^* ซึ่งพบว่าในแต่ละบริเวณของดิสก์เซอโรโคเนียจะมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากปริมาณสารที่ทำให้มีสี (colorant) อาจมีความเข้มข้นต่างกัน โดยบริษัทผู้ผลิตได้ใส่สารออกไซด์ของโลหะ (metal oxide) เช่น เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) เพื่อให้มีสีเหลืองและมีการไล่สีเลียนแบบฟันธรรมชาติ(43)

นอกจากนี้การที่มีปริมาณของอิตเทรียมออกไซด์ต่างกัน นอกจากจะส่งผลต่อความใสแล้ว ยังส่งผลต่อความแข็งแรงของเซอโรโคเนียอีกด้วย โดยหากมีปริมาณของอิตเทรียมออกไซด์ที่มากขึ้น จะทำให้มีผลึกคิวบิกมากขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้เกิดกระบวนการทรานส์ฟอร์มเมชันที่ฟเฟนนิ่งที่เหนียวนาโดยความเค้น (stress-induced transformation toughening) ได้น้อยลง จึงทำให้วัสดุมีความแข็งแรงต่ำลง(44-46) ซึ่งจุดนี้มีความสำคัญต่อเซอโรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง เนื่องจากขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีแคดแคม (CAD/CAM, computer-aided design-computer-aided manufacturing) ช่างทันตกรรม (dental laboratory technician) สามารถขยับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งใดของดิสก์ก็ได้ โดยจุดนี้ทันตแพทย์ควรสื่อสารกับช่างทันตกรรม ว่าต้องการให้ชิ้นงานอยู่ในระดับใดของดิสก์ เนื่องจากมีความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีในแต่ละชั้นของดิสก์เซอโรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง ซึ่งนอกจากเรื่องความสวยงามและความสามารถในการปิดสีฟันหลังของฟันหลัก ควรคำนึงถึงความแข็งแรงของวัสดุที่ต้องการบูรณะ และลักษณะการบดเคี้ยวของผู้ป่วยร่วมด้วย(40) ซึ่งล้วนส่งผลต่อความสำเร็จทางคลินิก โดยเฉพาะหากบูรณะเป็นสะพานฟันต้องระมัดระวังส่วนที่เป็นส่วนโยง (connector) โดยเป็นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงสูง หรือในผู้ป่วยที่ต้องการบูรณะฟันให้มีแข็งแรงสูง ซึ่งไม่ควรวางอยู่ในตำแหน่งปลายฟัน อาจจะต้องพิจารณาออกแบบชิ้นงานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ในการวางตำแหน่งการกลึงชิ้นงานในดิสก์เซอโรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงอย่างระมัดระวัง(9, 47)

นอกจากนี้เกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบเพื่อแปลผลเป็นระดับที่ยอมรับได้โดยประสาทสัมผัส (PT) และยอมรับได้ทางคลินิก (AT) ที่ใช้ในการศึกษาทางทันตกรรมยังไม่มีค่าที่แน่ชัด(48) และแต่ละการศึกษาใช้เกณฑ์ที่แตกต่างกัน โดยการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ศึกษาเรื่องของสีทางทันตกรรมมีการใช้ค่า PT และ AT อย่างหลากหลาย โดยมีการใช้ PT ได้แก่ 1.9(49) และ 2.7(48) ส่วน AT ได้แก่ 4.2(49) และ 5.5(48) ซึ่งความแตกต่างของเกณฑ์ที่ใช้ในแต่ละการศึกษาล้วนมีผลจากปัจจัยทางคลินิกเช่น อิทธิพลของริมฝีปาก รูปร่างฟัน ตำแหน่งของฟันในขากรรไกร ฟันข้างเคียง เป็นต้น(50)

โดยการศึกษาในเซอร์โคเนียก่อนหน้านี้ โดย Park และคณะในปี 2022(51) และ Kassim และคณะในปี 2024(36) ได้ใช้ค่าที่ PT คือ 2.6 และ AT คือ 5.5 หรือการศึกษาโดย Kang และคณะในปี 2020(52) ใช้ค่า PT คือ ค่าที่ไม่เกิน 3.7 และ AT คือ ค่าที่น้อยกว่า 3.7 โดยอ้างอิงจากการศึกษาโดย Johnston และคณะในปี 1989(53) ที่พบว่าค่าความแตกต่างของสีที่มองเห็นระดับที่ยอมรับได้ทางคลินิกภายใต้สิ่งแวดล้อมภายในช่องปากควรมีค่าน้อยกว่า 3.7 แต่จากการศึกษาโดย Paravina และคณะในปี 2015(30) ได้แนะนำให้ใช้ค่า PT คือ 1.2 และ AT คือ 2.7 ซึ่งถือว่าเป็นเกณฑ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทางทันตกรรม และมีความร่วมสมัยมากกว่า

ถึงแม้การศึกษานี้จะไม่ได้ทำการวัดค่าสีผ่านชิ้นงานเซอร์โคเนียไ้ระดับความโปร่งแสงที่ยึดเข้ากับแผ่นเรซินสีเหมือนฟันด้วยสสารยึดติดจริงก็ตาม แต่หากพิจารณาจากดัชนีการหักเหของแสง (refractive index) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศกับความเร็วของแสงในตัวกลาง ดังนั้นเพื่อเป็นการจำลองสิ่งแวดล้อมภายในช่องปาก การศึกษานี้ได้ใช้กลีเซอรินเจล เป็นตัวยึดชิ้นงานและถือว่ามีส่วนสำคัญต่อความแม่นยำของการวัดค่าสี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nogueira AD และคณะในปี 2013(50) นอกจากนี้ยังควบคุมความหนาของชั้นกลีเซอรินเจลให้มีความหนา 100 μm ซึ่งเป็นความหนาของเรซินซีเมนต์ที่ใช้ในหลายๆการศึกษาก่อนหน้านี้(54)

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะเหตุการณ์การใช้งานจริงทางคลินิก ซึ่งไม่สามารถจำลองสภาพแวดล้อมให้เหมือนในช่องปากได้ทุกประการ ทำให้มีข้อจำกัดของการศึกษาในบางปัจจัย เช่น ไม่มีการจำลองตำแหน่งของฟันในขากรรไกร การไม่มีน้ำลายมาเกี่ยวข้องในการศึกษา การใช้วัสดุเรซินสีเหมือนฟันเป็นพื้นหลังซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากสีของเนื้อฟันธรรมชาติ ที่อาจจะมีหลายสีในฟันซี่เดียวกัน รวมถึงการศึกษานี้ทำการศึกษาเซอร์โคเนียไ้ระดับความโปร่งแสงที่ความหนาเดียว ซึ่งในสภาวะจริงทางคลินิก ครอบฟันเซอร์โคเนียมีได้หลากหลายความหนา จึงนำไปสู่ข้อเสนอแนะในการศึกษาใน

อนาคต ที่อาจศึกษาเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ความหนาต่างๆ ภายใต้พื้นหลังสีเหมือนฟัน หรืออาจศึกษาเพิ่มเติมในกรณีหลักยึดรากฟันเทียม (implant abutment) ซึ่งเป็นการรักษาทางทันตกรรมบูรณะที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน

นอกจากนี้ การศึกษานี้ไม่มีการบ่มเร่ง (artificial aging) ชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะชิ้นงานหลังจากถูกใช้งานในปากเป็นระยะเวลาหนึ่งๆไปแล้ว และเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความน่าสนใจ และควรให้ความสำคัญในการศึกษาอื่นๆในอนาคต เนื่องจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า การบ่มเร่งมีผลต่อความใส (translucency) ของเซอรโคเนีย(54) และเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น ณ บริเวณรอยต่อของชั้นองค์ประกอบต่างๆในเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงที่ผ่านการบ่มเร่งแล้ว

อีกประเด็นหนึ่งคือ การศึกษานี้ศึกษาในเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงเพียง 2 ยี่ห่อ และ 1 เฉดสีได้แก่ สี A1 ซึ่งในท้องตลาดปัจจุบันมีหลายยี่ห่อและหลายเฉดสีให้ทันตแพทย์ได้เลือกใช้ และปัจจัยนี้อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการปิดสีของเซอรโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสงเช่นกัน ดังนั้นจึงเป็นอีกประเด็นที่ควรมีการศึกษาในอนาคตต่อไป

บรรณานุกรม

1. Santos MJ, Costa MD, Rubo JH, Pegoraro LF, Santos GC, Jr. Current all-ceramic systems in dentistry: a review. *Compend Contin Educ Dent*. 2015;36(1):31-7; quiz 8, 40.
2. Peampring C, Sanohkan S, editors. *All-ceramic systems in Esthetic Dentistry : A review* 2016.
3. Warreth A, Elkareimi Y. All-ceramic restorations: A review of the literature. *Saudi Dent J*. 2020;32(8):365-72.
4. Iravani M, Shamszadeh S, Panahandeh N, Sheikh-Al-Eslamian SM, Torabzadeh H. Shade reproduction and the ability of lithium disilicate ceramics to mask dark substrates. *Restor Dent Endod*. 2020;45(3):e41.
5. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NR, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *Int J Prosthodont*. 2015;28(3):227-35.
6. Nakamura K. Mechanical and microstructural properties of monolithic zirconia 2015.
7. Manziuc MM, Gasparik C, Burde AV, Dudea D. Color and masking properties of translucent monolithic zirconia before and after glazing. *J Prosthodont Res*. 2021;65(3):303-10.
8. Park JH, Bang HJ, Choi NH, Park EJ. Translucency and masking ability of translucent zirconia; comparison with conventional zirconia and lithium disilicate. *J Adv Prosthodont*. 2022;14(5):324-33.
9. Bakitlan F. Flexural Strength of Translucent Zirconia Materials Produced with Different Multilayer Technologies: An In Vitro Study. *Int J Dent*. 2024;2024:8410101.
10. Fabbri G, Mancini R, Marinelli V, Ban G. Anterior discolored teeth restored with procera all-ceramic restorations: a clinical evaluation of the esthetic outcome based on the thickness of the core selected. *Eur J Esthet Dent*. 2011;6(1):76-86.
11. 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. J Prosthet Dent. 2011;105(2):83-90.

12. Sethakamnerd P, Leeviloj C, editors. Masking ability of two ceramics with different thicknesses on various substrates 2017.

13. Niu E, Agustin M, Douglas RD. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: Effects of cement color and thickness. J Prosthet Dent. 2014;111(1):42-50.

14. Dos Santos RB, Collares K, Brandeburski SBN, Pecho OE, Della Bona A. Experimental methodologies to evaluate the masking ability of dental materials: A systematic review. J Esthet Restor Dent. 2021;33(8):1118-31.

15. Helvey G. Classification of Dental Ceramics. Inside Dentistry. 2013;April 2013.

16. ศรีอัมพร ต. ทันตวัสดุศาสตร์พื้นฐาน 1: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2021.

17. Ghodsi S, Jafarian Z. A Review on Translucent Zirconia. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2018;26(2):62-74.

18. Kim HK. Optical and Mechanical Properties of Highly Translucent Dental Zirconia. Materials (Basel). 2020;13(15).

19. Ban S. Chemical durability of high translucent dental zirconia. Dent Mater J. 2020;39(1):12-23.

20. Alqutaibi AY, Ghulam O, Krsoum M, Binmahmoud S, Taher H, Elmalky W, Zafar MS. Revolution of Current Dental Zirconia: A Comprehensive Review. Molecules. 2022;27(5).

21. Ban S. Classification and Properties of Dental Zirconia as Implant Fixtures and Superstructures. Materials (Basel). 2021;14(17).

22. 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. J Esthet Restor Dent. 2019;31(5):457-64.

23. Niu E, Agustin M, Douglas RD. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: effects of foundation restoration. J Prosthet Dent. 2013;110(6):501-9.

24. Alnusayri MO, Sghaireen MG, Mathew M, Alzarea B, Bandela V. Shade Selection in Esthetic Dentistry: A Review. Cureus. 2022;14(3):e23331.

25. Vichi A, Sedda M, Fabian Fonzar R, Carrabba M, Ferrari M. Comparison of

- Contrast Ratio, Translucency Parameter, and Flexural Strength of Traditional and "Augmented Translucency" Zirconia for CEREC CAD/CAM System. *J Esthet Restor Dent.* 2016;28 Suppl 1:S32-9.
26. Dede D, Ceylan G, Yilmaz B. Effect of brand and shade of resin cements on the final color of lithium disilicate ceramic. *J Prosthet Dent.* 2017;117(4):539-44.
 27. Pala K, Reinshagen EM, Attin T, Hüsler J, Jung RE, Ioannidis A. Masking capacity of minimally invasive lithium disilicate restorations on discolored teeth-The impact of ceramic thickness, the material's translucency, and the cement color. *J Esthet Restor Dent.* 2023.
 28. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent.* 2000;83(4):412-7.
 29. Ly B, Dyer E, Feig J, Chien A, Bino S. Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *The Journal of investigative dermatology.* 2020;140:3-12.e1.
 30. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent.* 2015;27 Suppl 1:S1-9.
 31. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res.* 2002;81(8):578-82.
 32. Katheng A, Chaijareenont P, Chaoklaiwong B, Pleumsamran N, Angkasith P, Arksornnukit M, Yavirach P. Effect of Silanized Alumina Nanoparticles on Compressive Strength and Color Alteration of Heat-polymerized Acrylic Resin Tooth. *Chiang Mai Dental Journal.* 2017;38(2):97-110.
 33. Kang CM, Peng TY, Wu YA, Hsieh CF, Chi MC, Wu HY, Lin ZC. Comparison of Optical Properties and Fracture Loads of Multilayer Monolithic Zirconia Crowns with Different Yttria Levels. *J Funct Biomater.* 2024;15(8).
 34. Kim HK, Yoo KW, Kim SJ, Jung CH. Phase Transformations and Subsurface Changes in Three Dental Zirconia Grades after Sandblasting with Various Al(2)O(3) Particle Sizes. *Materials (Basel).* 2021;14(18).
 35. Gomes P, Santos C, Fernandes A, Amarante JE, Santos H, Elias C. Mechanical

and optical properties of multilayer yttria-stabilized zirconia for dental prostheses. *Journal of Materials Research and Technology*. 2024;31.

36. Kassim MZ, Atikah Mustafa NWN, Ahmad R, Baba NZ. The Effect of Brand, Thickness, and Abutment Substrate on the Masking Ability of Monolithic Zirconia Ceramics. *Archives of Orofacial Science*. 2024;19(1).

37. Gasparik C, Manziuc MM, Burde AV, Ruiz-Lopez J, Buduru S, Dudea D. Masking Ability of Monolithic and Layered Zirconia Crowns on Discolored Substrates. *Materials (Basel)*. 2022;15(6).

38. Ansarifard E, Taghva M, Mosaddad SA, Akhlaghian M. The impact of various substrates, ceramic shades, and brands on the ultimate color and masking capacity of highly translucent monolithic zirconia: an in vitro study. *Odontology*. 2024.

39. Tabatabaian F, Taghizade F, Namdari M. Effect of coping thickness and background type on the masking ability of a zirconia ceramic. *J Prosthet Dent*. 2018;119(1):159-65.

40. Pongtongkham P, Pleumsamran N, Suttat K. Effect of CAD/CAM Position and Thickness of Ultra-Translucent Multilayered Zirconia on Color Aspects. *Int J Dent*. 2023;2023:5000800.

41. Cho YE, Lim YJ, Han JS, Yeo IL, Yoon HI. Effect of Yttria Content on the Translucency and Masking Ability of Yttria-Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal. *Materials (Basel)*. 2020;13(21).

42. Ueda K, Guth JF, Erdelt K, Stimmelmayer M, Kappert H, Beuer F. Light transmittance by a multi-coloured zirconia material. *Dent Mater J*. 2015;34(3):310-4.

43. Alves MFRP, Abreu LG, Klippel GGP, Santos C, Strecker K. Mechanical properties and translucency of a multi-layered zirconia with color gradient for dental applications. *Ceramics International*. 2021;47(1):301-9.

44. Elsayed A, Meyer G, Wille S, Kern M. Influence of the yttrium content on the fracture strength of monolithic zirconia crowns after artificial aging. *Quintessence Int*. 2019;50(5):344-8.

45. Zhang F, Inokoshi M, Batuk M, Hadermann J, Naert I, Van Meerbeek B, Vleugels J.

Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dent Mater.* 2016;32(12):e327-e37.

46. Reale Reyes A, Dennison JB, Powers JM, Sierraalta M, Yaman P. Translucency and flexural strength of translucent zirconia ceramics. *J Prosthet Dent.* 2023;129(4):644-9.

47. Heidari N, Amawi R, Seweryniak P, Bakitian F, Vult von Steyern P. Fracture Resistance and Fracture Behaviour of Monolithic Multi-Layered Translucent Zirconia Fixed Dental Prostheses with Different Placing Strategies of Connector: An in vitro Study. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2022;14:61-9.

48. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent.* 2007;97(4):200-8.

49. Alghazali N, Burnside G, Moallem M, Smith P, Preston A, Jarad FD. Assessment of perceptibility and acceptability of color difference of denture teeth. *J Dent.* 2012;40 Suppl 1:e10-7.

50. Nogueira AD, Della Bona A. The effect of a coupling medium on color and translucency of CAD-CAM ceramics. *J Dent.* 2013;41 Suppl 3:e18-23.

51. Park J, Bang H, Choi N-H, Park E-J. Translucency and masking ability of translucent zirconia; comparison with conventional zirconia and lithium disilicate. *The Journal of Advanced Prosthodontics.* 2022;14:324.

52. Kang CM, Peng TY, Shimoe S. Color accuracy of different types of monolithic multilayer precolored zirconia ceramics. *J Prosthet Dent.* 2020;124(6):789.e1-.e7.

53. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989;68(5):819-22.

54. Jung J, Roh BD, Kim JH, Shin Y. Masking of High-Translucency Zirconia for Various Cores. *Oper Dent.* 2021;46(1):54-62.



ตาราง 9 ผลการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test)

เซรามิก	บริเวณที่ทดสอบ	สีพื้นหลังเรซิน	Shapiro-Wilk Test	p-value
Katana-YML	ปลายฟัน	ND3	0.953	0.700
		ND5	0.920	0.357
		ND7	0.851	0.059
		ND9	0.883	0.141
	กลางฟัน	ND3	0.903	0.237
		ND5	0.709	0.001*
		ND7	0.887	0.156
		ND9	0.885	0.150
	คอฟัน	ND3	0.906	0.256
		ND5	0.637	0.000*
		ND7	0.803	0.016*
		ND9	0.925	0.396
Nacera-PN	ปลายฟัน	ND3	0.854	0.064
		ND5	0.896	0.200
		ND7	0.825	0.029*
		ND9	0.835	0.038*
	กลางฟัน	ND3	0.853	0.064
		ND5	0.980	0.968
		ND7	0.793	0.012*
		ND9	0.939	0.546
	คอฟัน	ND3	0.822	0.027
		ND5	0.659	0.000*
		ND7	0.863	0.083*
		ND9	0.937	0.516

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Shapiro-Wilk Test ที่พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ซึ่งมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตาราง 10 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML และ Nacera-PN บนแต่ละสีพื้นหลัง ในบริเวณปลายฟัน (n = 10) และผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอโคเนีย 2 ยี่ห้อ

สีพื้นหลังเว ซินสีเหมือน ฟัน	เซอโคเนียไล่ ระดับความ โปร่งแสง	Mean±SD	Median	Mean rank	Mann-Whitney U Test Effect size	p-value
ND3	Katana-YML	4.13±0.59	4.04	11.40	41.00	0.529
	Nacera-PN	4.08±1.04	3.81	9.60	0.152	
ND5	Katana-YML	4.82±0.76	4.65	11.30	42.00	0.579
	Nacera-PN	4.52±0.38	4.40	9.70	0.135	
ND7	Katana-YML	3.51±0.76	3.29	8.30	72.00	0.105
	Nacera-PN	4.10±0.76	3.80	12.70	0.372	
ND9	Katana-YML	8.68±0.51	8.69	14.10	14.00	0.005*
	Nacera-PN	7.64±0.94	7.42	6.90	0.609	

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ที่พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab}^* อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML และ Nacera-PN บนแต่ละสีพื้นหลัง ในบริเวณกลางฟัน (n = 10) และผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอริโคเนีย 2 ยี่ห้อ

สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	เซอริโคเนียไล่ระดับความโปร่งแสง	Mean±SD	Median	Mean rank	Mann-Whitney U Test Effect size	p-value
ND3	Katana-YML	2.23±0.52	2.24	11.80	37.00	0.326
	Nacera-PN	2.04±1.07	1.62	9.20	0.220	
ND5	Katana-YML	2.28±0.60	2.19	12.80	27.00	0.082
	Nacera-PN	1.75±0.55	1.78	8.20	0.389	
ND7	Katana-YML	1.86±0.54	1.75	10.80	47.00	0.821
	Nacera-PN	2.22±1.34	1.56	10.20	0.051	
ND9	Katana-YML	8.28±0.38	8.18	15.50	0.00	0.000*
	Nacera-PN	6.10±0.29	6.12	5.50	0.845	

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ที่พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab}^* อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 12 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, มัธยฐาน และค่าอันดับเฉลี่ยของ ΔE_{ab}^* ของ Katana-YML และ Nacera-PN บนแต่ละสีพื้นหลัง ในบริเวณคอฟัน (n = 10) และผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างเซอริโคเนีย 2 ยี่ห้อ

สีพื้นหลังเรซินสีเหมือนฟัน	เซอริโคเนียได้ระดับความโปร่งแสง	Mean±SD	Median	Mean rank	Mann-Whitney U Test Effect size	p-value
ND3	Katana-YML	1.41±0.52	1.46	11.20	43.00	0.631
	Nacera-PN	1.48±1.25	0.97	9.80	0.118	
ND5	Katana-YML	1.71±0.50	1.59	13.50	20.00	0.023*
	Nacera-PN	1.43±0.71	1.18	7.50	0.507	
ND7	Katana-YML	1.22±0.62	1.03	11.40	41.00	0.529
	Nacera-PN	1.27±1.00	0.88	9.60	0.152	
ND9	Katana-YML	7.38±0.50	7.40	15.50	0.00	0.000*
	Nacera-PN	5.56±0.39	5.59	5.50	0.845	

เครื่องหมาย * แสดงถึงผลการทดสอบ Mann-Whitney U Test ที่พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอันดับของ ΔE_{ab}^* อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 13 แสดงเลขการผลิตของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุ	ชื่อทางการค้า	เลขที่ผลิต
Katana-YML	Katana™ Zirconia YML	125-7954
Nacera-PN	Nacera® Pearl Natural Zirconia	3562303097
กลีเซอรินเจล	KY® jelly	ABD0770
วัสดุเรซินสีเหมือนฟันชนิดบ่ม ตัวด้วยแสง สี ND3	IPS® Natural die material shade ND3	Z04Y25
วัสดุเรซินสีเหมือนฟันชนิดบ่ม ตัวด้วยแสง สี ND5	IPS® Natural die material shade ND5	Z00KX7
วัสดุเรซินสีเหมือนฟันชนิดบ่ม ตัวด้วยแสง สี ND7	IPS® Natural die material shade ND7	Z04BY5
วัสดุเรซินสีเหมือนฟันชนิดบ่ม ตัวด้วยแสง สี ND9	IPS® Natural die material shade ND9	Z02LWC

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

ณัฐชานันท์ วิวรรณสมบัติ

วุฒิการศึกษา

ปริญญาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัย

รังสิต พ.ศ. 2562

