

การเลือกสีฟันด้วยชุดเทียบสีฟันและเครื่องเลือกสีฟันทางทันตกรรม Tooth Shade Selection by Tooth Color Shade Guide and Tooth Color Matching Instrument in Dentistry

ณัฐกร กิตติศรี¹, พิสัยศิษฐ์ ชัยจริณนท์²

¹นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
²ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Nattakorn Kitisri¹, Pisaisit Chaijareenont²

¹Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

²Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2564; 42(1) : 25-36

CM Dent J 2021; 42(1) : 25-36

Received: 17 September, 2019

Revised: 17 October, 2019

Accepted: 27 November, 2019

บทคัดย่อ

การบูรณะฟันให้ได้สีฟันที่ถูกต้องแม่นยำกลมกลืนกับฟันข้างเคียง ส่งผลต่อความสวยงามของรอยยิ้มและเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้ป่วยพึงพอใจต่อการรักษาของทันตแพทย์ การเลือกสีฟันในปัจจุบันแบ่งเป็นการเลือกสีฟันด้วยตา โดยอาศัยชุดเทียบสีฟันและการใช้เครื่องเลือกสีฟัน การเลือกสีฟันด้วยตาต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้วัดและมีปัจจัยรบกวนที่อาจทำให้ผลของการวัดผิดพลาดได้ ในขณะที่เครื่องเลือกสีฟันสามารถลดข้อด้อยของการเลือกสีฟันด้วยตาและยังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนในปัจจุบันสามารถเลือกสีฟันได้ดีกว่าการเลือกสีฟันด้วยตาที่อาศัยชุดเทียบสีฟัน

คำสำคัญ: สีฟัน ชุดเทียบสีฟัน เครื่องเลือกสีฟัน

Abstract

The precisely tooth shade selection that harmoniously with adjacent teeth impacted on patient satisfaction of the treatment. Nowadays, the tooth shade selection can be divided into visual method and color measuring devices. However, the visual method was required the practitioner's experience subjective and was influenced by various factors caused an error of tooth shade selection, whereas the color measuring devices was aimed to reduce or overcome imperfections and inconsistencies of traditional shade matching. the color measuring devices has been continuously developed until now. the devices are more accuracy than visual method.

Keywords: tooth color, shade guide, tooth color matching instrument

Corresponding Author:

พิสัยศิษฐ์ ชัยจริณนท์

อาจารย์ ดร. ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Pisaisit Chaijareenont

Lecturer, Dr., Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
E-mail: yodent@hotmail.com

บทนำ

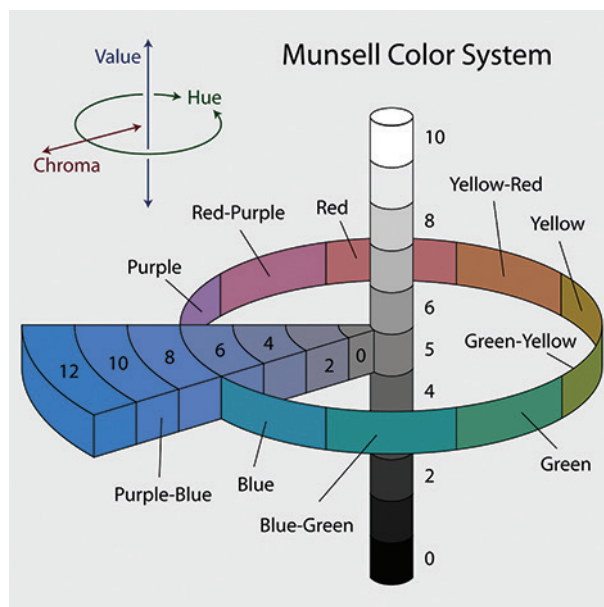
ในปัจจุบันความสวยงามได้เข้ามามีบทบาทต่องานทันตกรรมเป็นอย่างมาก ซึ่งการเลือกสีฟันและวัสดุบูรณะฟันได้อย่างถูกต้องแม่นยำส่งผลต่อความสวยงามและยังเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้ป่วยพึงพอใจต่อการให้การรักษาของทันตแพทย์อีกด้วย โดยการจะได้สีวัสดุบูรณะที่ผู้ป่วยพึงพอใจนั้นต้องคำนึงถึงวิธีการเลือกสีฟัน ระบบชุดเทียบสีฟัน ชนิดของวัสดุที่ใช้เทียบสีฟันและการสื่อสารกับช่างทันตกรรมที่ดีด้วย⁽¹⁾

การเลือกสีฟันแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบเลือกสีฟันด้วยตา (visual method) และระบบที่ใช้เครื่องเลือกสีฟัน (tooth color matching instrument) การเลือกสีฟันด้วยตาต้องอาศัยความแม่นยำของผู้วัดซึ่งมักมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัด เช่น ความสามารถในการวัดสีของผู้วัด แหล่งกำเนิดแสง ความโปร่งใสของฟัน คุณสมบัติทางแสงของฟันและวัสดุที่จะนำมาบูรณะ หากองค์ประกอบเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพการเลือกสีฟันของผู้วัดได้⁽²⁾ จึงได้มีการพยายามในการพัฒนาเทคโนโลยีเลือกสีฟันเพื่อช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากตัวผู้วัดเอง ในปี ค.ศ.1990 เป็นช่วงที่มีการพัฒนาการของอุตสาหกรรมทางทันตกรรมอย่างมากจึงมีการนำเครื่องมือตรวจวัดสีทางอุตสาหกรรมมาดัดแปลงใช้ในทางทันตกรรม เครื่องเลือกสีฟันทางทันตกรรมเครื่องแรกได้แก่ ระบบเชดสแกน (shadescan) ของบริษัทคอร์เทกมาชีน่า (Cortex Machina, Montreal, Canada) และได้รับการพัฒนามาจนมีหลายระบบในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น เคลียร์แมช (ClearMatch, Clarity Dental, Salt Lake City, UT) คริสตัลอาย (CrystalEye, Olympus America, Center Valley, PA) และอีชีเชด (Easysshade, Compact Vident, Brea, CA) เป็นต้น⁽³⁾

ในหลายการศึกษาพบว่าเครื่องเลือกสีฟันมีประสิทธิภาพในการวัดสีฟันที่เหนือกว่าการเลือกสีฟันด้วยตา และข้อมูลที่ได้จากเครื่องเลือกสีฟันบางระบบสามารถประมวลผลข้อมูลเป็นภาพที่นำไปสื่อสารกับผู้ป่วยได้ในทันทีสร้างความมั่นใจให้กับผู้ป่วยและทันตแพทย์ รวมทั้งสามารถสื่อสารกับช่างทันตกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น^(1,4,5) วิธีการเลือกสีฟันในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น การเลือกสีฟันด้วยตามนุษย์ โดยอาศัยชุดเทียบสีฟัน การเลือกสีฟันโดยใช้เครื่องเลือกสีฟัน เช่น เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เครื่องแคลเลอเลมิเตอร์ และการเลือกสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์

1. การเลือกสีฟันด้วยตา

ระบบสีที่นิยมใช้ในระบบเลือกสีฟันด้วยตาได้แก่ ระบบสีของมันเซลล์ (Munsell's color system) โดยผู้คิดค้นคือ อัลเบิร์ต เฮนรี มันเซลล์ (Albert Henry Munsell) ในปี ค.ศ.1915 ระบบสีของมันเซลล์เป็นระบบสีแรกที่น่าสนใจในชุดเทียบสีทางทันตกรรม⁽⁶⁾ และชุดเทียบสีทางทันตกรรมเกือบทั้งหมดในปัจจุบันยังคงยึดพื้นฐานของระบบสีนี้ ระบบสีของมันเซลล์แบ่งออกเป็นสามมิติ ได้แก่ สี (hue) ความเข้ม (chroma) และ ความสว่าง (value) ความสัมพันธ์ของทั้ง 3 ค่าจะแสดงดังรูปที่ 1

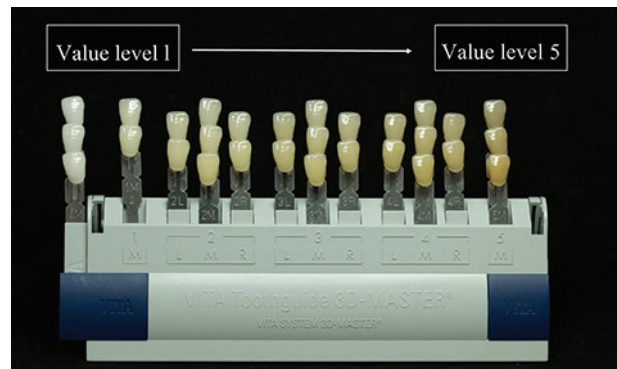


รูปที่ 1 ระบบสีของมันเซลล์ (คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก www.munsell.com [URL of homepage on the Internet]. Available from: HYPERLINK "<https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works>"⁽⁸⁾)

Figure 1 Munsell's color system (from www.munsell.com [URL of homepage on the Internet]. Available from: HYPERLINK "<https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works> with permission"⁽⁸⁾)

ทฤษฎีสีของมัลเชลล์มีลักษณะกระจายออกจากแกนกลางที่เป็นรูปทรงกระบอก แกนกลางแสดงถึงความสว่าง โดยส่วนบนของแกนกลางเป็นค่าน้ำหนักของสีขาวและส่วนล่างของแกนกำหนดเป็นค่าน้ำหนักของสีดำระหว่างสีขาวและสีดำคือน้ำหนักของสีเทาจากเทาแก่ไปเทาอ่อน ส่วนการกระจายออกโดยรอบจากแกนกลางเป็นรัศมีวงกลมจะเป็นตำแหน่งของสี โดยสีจะมีจุดเริ่มจากสีเทาในแกนกลางซึ่งสีเหล่านั้นจะมีความไม่สดใส (low chroma) แต่เมื่อพุ่งออกมาถึงเส้นรอบวงสีนั้นจะมีความจัดหรือความสดใสเพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุด (high chroma) จุดนี้จะแสดงค่าของสีอย่างชัดเจน^(7,8)

การเลือกสีฟันด้วยตาจะอาศัยชุดเทียบสี (shade guides) โดย Clark ในปี ค.ศ.1931 เป็นผู้ริเริ่มนำชุดเทียบสีเฉพาะบุคคลมาใช้โดยจะเก็บข้อมูลสีฟันตามระบบสีของมัลเชลล์ ต่อมาในช่วงปี ค.ศ.1970 Sproull ได้เสนอแนะว่าชุดเทียบสีที่ดีควรประกอบด้วยแถบสี (color tabs) ที่มีสีครอบคลุมและเรียงลำดับสีตามหลักทฤษฎีสีของมัลเชลล์ และในช่วงปี ค.ศ.1990 Miller ได้เสนอให้ใช้วัสดุของชุดเทียบสีและวัสดุบูรณะฟันเป็นวัสดุชนิดเดียวกันและไม่ควรหนาเกินกว่าที่ใช้บูรณะฟัน⁽⁹⁾ ด้วยข้อเสนอแนะเหล่านี้จึงมีการพัฒนาระบบชุดเทียบสีฟันแบบใหม่ขึ้น ได้แก่ ระบบชุดเทียบสีไวต้า ทริติมาสเตอร์ (Vita 3D-Master shade guide, Vident, Brea, CA) ซึ่งประกอบด้วยสีฟันทั้งหมด 26 แถบสีในปริภูมิของสีฟัน (tooth color space) ที่มีการกระจายอย่างครอบคลุมและเป็นระบบมากขึ้น ชุดเทียบสีไวต้าทริติมาสเตอร์จะถูกแบ่งออกเป็นห้ากลุ่มตามระดับความสว่าง (value level) และในแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยความเข้ม และสีที่แตกต่างกัน ในส่วนของการแบ่งกลุ่มความสว่างจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแผงฟันโดยกลุ่มที่สว่างที่สุดคือกลุ่มความสว่างระดับ 1 (value level 1) ไปจนถึงกลุ่มที่มืดที่สุดคือกลุ่มความสว่างระดับ 5 (value level 5) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้เลือกสีฟันแบบสามขั้นตอน โดยเริ่มจากเลือกสีฟันให้ได้กลุ่มความสว่างของชุดเทียบสีก่อน แล้วจึงค่อยเลือกค่าความเข้มและค่าสีตามลำดับ วิธีการนี้จะค่อยๆ ลดตัวเลือกให้เหลือน้อยลงทำให้เลือกสีฟันได้ง่ายและแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 2 ชุดเทียบสีฟันไวต้าทริติมาสเตอร์เรียงลำดับตามความสว่างจากสว่างมากที่สุดไปน้อยสุด

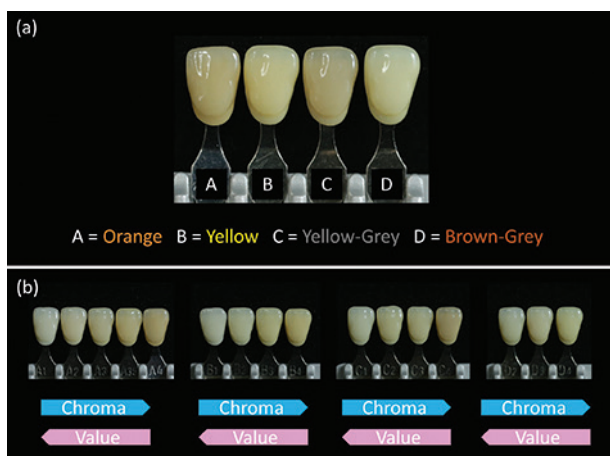
Figure 2 Vita 3D-Master shade guide was arranged from lightest to darkest

ส่วนระบบชุดเทียบสีไวต้าคลาสสิก (Vita Classical shade guide) และชุดเทียบสีโครมาสคอป (Chromascop shade guide) จะเป็นระบบที่แบ่งกลุ่มตามสีฟัน (hue base) ซึ่งแตกต่างจากระบบชุดเทียบสีไวต้าทริติมาสเตอร์ที่แบ่งกลุ่มตามความสว่าง ตัวอย่างการจัดการสีฟันในชุดเทียบสีไวต้าคลาสสิก คือ จะแบ่งออกเป็นกลุ่ม เอ บี ซี และ ดี โดยเอคือ สีส้ม บีคือสีเหลือง ซีคือสีเหลืองเทา และดีคือสีน้ำตาลเทา จากนั้นในแต่ละกลุ่มสีจะเรียงลำดับความเข้มโดยเพิ่มจากน้อยไปมาก เช่น สีเอ 1 จะมีความเข้มน้อยสุดหรือจางสุดในกลุ่มสีเอ ในขณะที่สีเอ 4 จะมีความเข้มมากสุดในกลุ่มสีเอ ส่วนความสว่างจะมีค่าสวนทางกับความเข้ม เช่น บี 4 จะสว่างน้อยที่สุด ในขณะที่ บี 1 จะสว่างที่สุด เป็นต้น⁽¹⁰⁾



รูปที่ 3 ชุดเทียบสีฟันไวต้าคลาสสิกเรียงลำดับตามความสว่างจากสว่างมากที่สุดไปน้อยสุด

Figure 3 Vita Classical shade guide was arranged from lightest to darkest



รูปที่ 4 ชุดเทียบสีฟันไวต้าคลาสสิก (a) สีถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่ม A คือสีส้ม กลุ่ม B คือสีเหลือง กลุ่ม C คือ สีเหลืองเทา และ กลุ่ม D คือสีน้ำตาลเทา (b) เรียงลำดับค่าความเข้มสีจากน้อยไปมาก (ซ้าย-ขวา) ในขณะที่ค่าความสว่างจะมีทิศสวนทางกับค่าความเข้มสี

Figure 4 Vita Classical shade guide (a) hue was divided into 4 groups which were A = orange, B = yellow, C = yellow grey, D = brown grey (b) chroma arrangement from highest to lowest (left-right), whereas value arrangement from lightest to darkest

คำแนะนำการเลือกสีฟันด้วยชุดเทียบสีได้ถูกนำเสนอโดยหลายการศึกษา ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเลือกสีฟันควรเลือกตั้งแต่การนัดครั้งแรก เพื่อลดปัญหาความล่าช้าของสายตาผู้เลือกสีฟัน ปัญหาสีฟันที่ขาวขึ้นเนื่องจากฟันมีการคายน้ำ (dehydrate) เพราะใส่แผ่นยางกันน้ำลาย (rubber dam) และการพิมพ์ปาก⁽¹¹⁾

2. สีของผนังในห้องที่ใช้เลือกสีฟันควรมีสีโทนอ่อน เนื่องจากการศึกษาที่ให้ผู้เลือกสีฟันพักสายตาระหว่างการเลือกสีฟันโดยมองไปที่สีเข้ม เช่น สีน้ำเงิน จะส่งผลให้สีฟันที่เลือกได้มีสีเหลืองกว่าปกติ⁽¹²⁾ จึงมีคำแนะนำให้พักสายตาขณะเลือกสีฟันด้วยการมองสีเทา เนื่องจากสีเทาไม่มีสีเสริม (complementary color) ที่จะไปรบกวนประสาทตาขณะเลือกสีฟัน⁽¹³⁾

3. ควรเลือกความสว่างเป็นอันดับแรก เนื่องจากความสว่างเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในส่วนประกอบของสี ในการเลือก

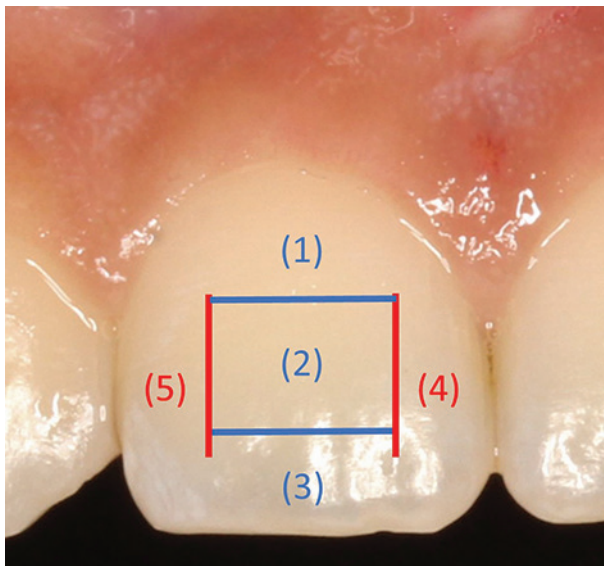
สีฟันการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างเพียงเล็กน้อยส่งผลต่อการรับรู้ของผู้สังเกตได้ง่ายกว่าการองค์ประกอบอื่น รูปที่ 3 แสดงให้เห็นการเรียงลำดับของระบบชุดเทียบสีไวต้าคลาสสิกตามค่าความสว่างจากมากไปน้อย และขณะเลือกสีฟันควรนำชุดเทียบสีกับปลายฟันหันเข้าหากัน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการมองสีที่ผิดเพี้ยนไปจากการการกระเจิงของแสง สีของโลหะบริเวณก้นชุดเทียบสี และคราบสีบนตัวฟัน⁽¹⁴⁾

4. ใช้ฟันเขียวเป็นแนวทางในการเลือกสี จากการศึกษาพบว่าฟันเขียวเป็นฟันที่แสดงค่าของสีมากที่สุดเมื่อเทียบกับฟันอื่นในช่องปาก ทำให้สามารถเลือกสีฟันได้ถูกต้องและง่ายขึ้น^(15,16)

5. ใช้แสงที่เหมาะสมในการเลือกสีฟันควรเลือกในหลายสภาวะแสงและทั้งขณะชุดเทียบสีฟันมีสภาวะแห้งและเปียกเนื่องจากฟันจะเกิดปรากฏการณ์เมตาเมอริซึม (metamerism) เป็นปรากฏการณ์ที่วัตถุเดียวกันมีสีแตกต่างกันเมื่ออยู่ในแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน⁽¹⁷⁾ ดังนั้นการเลือกสีฟันควรเลือกภายใต้สภาวะแสงที่หลากหลาย มีหลายการศึกษาได้ศึกษาถึงแหล่งกำเนิดแสงที่ดีที่สุดในการใช้เลือกสีฟัน พบว่าควรเลือกสีฟันในแสงธรรมชาติที่มีอุณหภูมิแสงเท่ากับ 4,500 ถึง 6,800 เคลวิน และที่ค่าความสว่างแสงที่ 140 ถึง 1,000 ลักซ์⁽⁹⁾

6. ควรเลือกสีตามสีฟันข้างเคียงหรือฟันซี่เดียวกันในจุดภาคข้างเคียงหรือฟันซี่ตรงข้ามเพื่อให้ได้ข้อมูลสี ลักษณะพื้นผิวและรูปร่างฟัน ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสร้างวัสดุบูรณะที่มีความกลมกลืนกับฟันซี่อื่นในช่องปาก⁽⁹⁾

7. ควรแบ่งเลือกสีฟันเป็นส่วนๆ อย่างน้อยสามส่วน ได้แก่ ปลายฟัน ตัวฟัน และส่วนคอฟัน เนื่องจากแต่ละตำแหน่งบนตัวฟันจะมีความสว่างแตกต่างกัน^(15,18) บางการศึกษาแนะนำให้แบ่งเป็น 5 ส่วน โดยจะเพิ่มด้านใกล้กลาง และใกล้กลางดังแสดงในรูปที่ 5 และยังแนะนำให้ถ่ายภาพของชุดเทียบสีเทียบกับตัวฟันก่อนและหลังการกรอแต่งฟัน ภาพถ่ายนั้นนอกจากจะช่วยให้เลือกสีฟันได้ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นแล้วยังใช้เป็นแนวทางในการสร้างวัสดุบูรณะให้ได้พื้นผิวและรูปร่างกลมกลืนกับฟันข้างเคียงด้วย⁽¹⁹⁾



รูปที่ 5 ตัวอย่างแสดงการแบ่งสัดส่วนฟันเพื่อเลือกสีฟันตัดบนขา
ซี่ที่ 1 เป็น 3 ส่วน (เส้นสีน้ำเงิน) ได้แก่ (1) คอฟัน (2)
ตัวฟัน (3) ปลายฟัน หรือการแบ่งฟันเป็น 5 ส่วน (เส้นสี
แดง) โดยจะเพิ่มส่วนที่ (4) ไกลกลาง และส่วนที่ (5) ไกล
กลาง

Figure 5 The sample shown splitting the right central incisor
into three sections (blue line) (1) cervical third (2)
middle third (3) incisal third, or splitting into five
sections (red line) adding (4) mesial and (5) distal

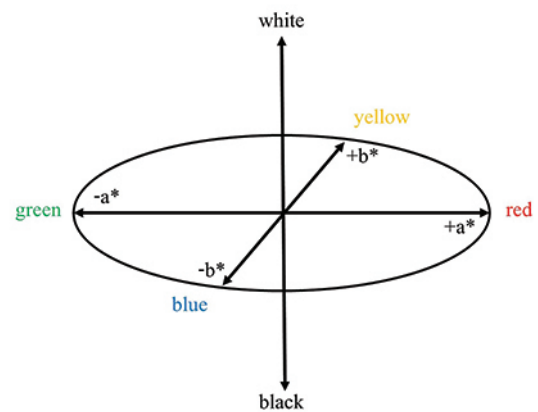
แม้การเลือกสีฟันด้วยตาจะได้รับการยอมรับว่ามีความ
ถูกต้องแม่นยำ เพียงพอกับการเลือกสีวัสดุบูรณะในทาง
ทันตกรรม^(20,21) อย่างไรก็ตามการพัฒนาของเทคโนโลยีสมัย
ใหม่ทำให้มีเครื่องมือที่สามารถวัดค่าสีฟันได้ง่ายกว่า แม่นยำ
กว่า และรวดเร็วกว่า อีกทั้งยังสามารถลดข้อต่อหลายอย่าง
ที่เกิดจากการเลือกสีฟันด้วยตาออกไปได้ จึงทำให้เครื่องเลือก
สีฟันเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

2. เครื่องเลือกสีฟัน

ในระบบเครื่องเลือกสีฟันจะใช้ระบบสีซีไออี (CIE) มีชื่อ
ในภาษาอังกฤษว่า (International Commission on Illu-
mination) มีสำนักงานใหญ่อยู่ในประเทศฝรั่งเศส องค์กร
นี้ได้กำหนดมาตรฐานการวัดสีซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างมากใน
วงการวิชาการและการวิจัย ในปริภูมิสี (color space) ของ
ระบบนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วนที่ทำงานประสานกัน ได้แก่ L^*
 a^* และ b^* โดยที่ L^* จะบรรยายถึงความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0

แสดงถึงสีดำสมบูรณ์ ถึง 100 แสดงถึงสีขาวสมบูรณ์ a^* จะ
บรรยายถึงแกนสีแดงกับสีเขียว โดยค่า a^* ที่เป็นลบ ($-a^*$)
เป็นขอบเขตของสีเขียว ส่วน a^* ที่เป็นบวก ($+a^*$) เป็น
ขอบเขตของสีแดง ส่วนใน b^* จะบรรยายถึงแกนสีเหลืองกับ
สีน้ำเงิน b^* ที่เป็นลบ ($-b^*$) เป็นขอบเขตของสีน้ำเงิน ส่วน
 b^* ที่เป็นบวก ($+b^*$) เป็นขอบเขตของสีเหลืองดังแสดงในรูป
ที่ 6 ความแตกต่างของความสว่างและสีจะแสดงในค่าเดลต้า
(ΔL^* , Δa^* , Δb^*) ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^*ab)
คำนวณได้จากสมการดังนี้⁽⁶⁾

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



รูปที่ 6 ปริภูมิระบบสีซีไออีแอลเอบี

Figure 6 CIE $L^*a^*b^*$ color space

หลายการศึกษาในปัจจุบันพบว่าเครื่องมือเลือกสีฟัน
ให้ประสิทธิภาพที่เหนือกว่าการเลือกสีฟันด้วยตามนุษย์
เนื่องจากการอ่านค่าสีของเครื่องเลือกสีฟันมีความเป็นวัตถุ
วิสัยมากกว่า สามารถหาค่าสีออกมาได้เป็นตัวเลขที่มีความ
ละเอียดและรวดเร็ว^(1,4,5) โดยในปัจจุบันมีวิธีการเลือกสี
ฟันแบ่งตามการใช้เครื่องมือเลือกสีฟัน ได้เป็น 3 แบบ คือ
การเลือกสีฟันจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectro-
photometer) การเลือกสีฟันจากเครื่องคัลเลอริมิเตอร์
(colorimeter) และการเลือกสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วย
ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ (digital camera systems with
corresponding software)^(22,23)

2.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ถือเป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบมาให้วัดสีได้ถูกต้องและ
แม่นยำที่สุด นิยมใช้ทั้งในทางอุตสาหกรรมและทางทันต-

กรรม⁽²⁴⁾ เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประกอบด้วยตัวให้กำเนิดรังสีในช่วงที่สายตามองเห็น ตัวกลางการกระจายแสง ตัวรับและแปลงพลังงานรังสีที่สะท้อนกลับจากวัตถุที่ต้องการวัดให้เป็นสัญญาณที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์และระบบการวัดสี^(25,26) ข้อมูลที่ได้จากสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะต้องนำมาแปลผลให้อยู่ในรูปแบบที่ทันตแพทย์สามารถนำไปใช้งานได้ โดยมักนำมาแปลผลให้อยู่ในฐานข้อมูลของชุดเทียบสีฟันเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจของทันตแพทย์และช่างทันตกรรม⁽²⁷⁾ ตัวอย่างเครื่องเลือกสีฟันชนิดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่นิยมใช้ในคลินิกทันตกรรม เช่น คริสตัลอาย (Crystaleye, Olympus, Tokyo, Japan) ไวต้าอีชีเอดคอมแพค (Vita Easys shade Compact, Vident, Bad Sackingen, Germany) และสเปกโตรเชดไมโคร (SpectroShade Micro, MHT Optic Research, Niederhasli, Switzerland) เป็นต้น

คริสตัลอายเป็นเครื่องเลือกสีฟันที่ผสมผสานระหว่างสเปกโตรโฟโตมิเตอร์กับภาพถ่ายดิจิทัลเข้าด้วยกัน ทำให้ได้สีที่แม่นยำและใช้งานง่ายกว่าเมื่อเทียบกับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบธรรมดา สามารถแสดงข้อมูลที่วัดได้ในหลายระบบสี เช่น ไวต้าคลาสสิก ไวต้าทริติมาสเตอร์ และซีไออี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีระบบเวอร์ชวลเชดแท็บ (virtual shade tabs) ที่สามารถซ้อนทับสีฟันใหม่ลงไปบนภาพของฟันธรรมชาติที่เราต้องการเลือกสีฟันได้ทันทีซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการสื่อสารกับคนไข้และช่างทันตกรรม และเนื่องจากการถ่ายภาพดิจิทัลในช่องปากร่วมกับการใช้แหล่งกำเนิดแสงของตัวเครื่องเอง ภาพที่ได้จึงไม่ถูกรบกวนจากแสงภายนอกทำให้ภาพถ่ายดิจิทัลได้มีคุณภาพสูง⁽²⁸⁾

ไวต้าอีชีเอดคอมแพคเป็นเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีขนาดกะทัดรัดสามารถใช้ได้แบบพกพา มีแบตเตอรี่ในตัว ราคาไม่สูง เวลาใช้งานให้นำปลายเครื่องวัดสีสัมผัสกับฟันในตำแหน่งที่ต้องการวัด ข้อมูลที่ได้จะแสดงออกมาบริเวณจอภาพขนาดเล็กบนตัวเครื่องโดยสามารถเลือกให้เครื่องแสดงข้อมูลของระบบสี ไวต้าคลาสสิก ไวต้าทริติมาสเตอร์ และซีไออี อีกทั้งยังมีระบบการทำงานที่หลากหลาย เช่น ระบบตรวจสอบสีวัสดุบูรณะฟัน ระบบเลือกสีฟันทั้งซี่ ระบบเลือกสีฟันแบบเฉพาะพื้นที่โดยชุดคำสั่งในตัวเครื่องจะแบ่งพื้นที่การเลือกสีฟันเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนปลายฟัน กึ่งกลางตัวฟัน และคอฟัน⁽²⁹⁾



รูปที่ 7 เครื่องคริสตัลอายสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก [www.olympus-global.com](http://www.olympus-global.com/en/news/2006b/nr061113crystale.html) [URL of homepage on the Internet]. Available from: HYPERLINK "http://www.olympus-global.com/en/news/2006b/nr061113crystale.html"⁽³⁸⁾)

Figure 7 Crystaleye spectrophotometer (from [www.olympus-global.com](http://www.olympus-global.com/en/news/2006b/nr061113crystale.html) [URL of homepage on the Internet]. Available from: HYPERLINK "http://www.olympus-global.com/en/news/2006b/nr061113crystale.html with permission"⁽³⁸⁾)

สเปกโตรเชดไมโครเป็นการผสมผสานระหว่างสเปกโตรโฟโตมิเตอร์กับกล้องดิจิทัล โดยในตัวเครื่องจะมีตัวประมวลผลและโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้เองโดยไม่จำเป็นต้องนำข้อมูลลงมาวิเคราะห์ในโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ข้อมูลจะแสดงบนจอแอลซีดีแบบหน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ สามารถเลือกแสดงผลข้อมูลได้หลายระบบสี เช่น โคโรมาสคอฟ ไวต้าคลาสสิก ไวต้าทริติมาสเตอร์ ซีไออี โนริตาเกะ (Noritake porcelain shade guild) ไวต้าลูมิน (Vita Lumin) เป็นต้น และสามารถบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำที่สามารถถอดไปใช้กับคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย^(30,31)

2.2 เครื่องคัดเลอลิมิเตอร์

เป็นอุปกรณ์วัดสีอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจในทางทันตกรรมเพื่อวัดสีของฟัน โดยอุปกรณ์จะประกอบด้วย ซิลิกอน-โฟโตไดโอด 3 ถึง 4 ตัว ที่ทำหน้าที่วัดค่าแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่ตามองเห็นทำงานร่วมกับตัว



รูปที่ 8 เครื่องวัดสีซีเจดคอมแพคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก www.vita-zahnfabrik.com. [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK "http://www.vitazahnfabrik.com/resourcesvita/shop/en/en_3055212.pdf"⁽²⁹⁾)

Figure 8 Vita Easyshade Compact spectrophotometer (from www.vita-zahnfabrik.com. [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK "http://www.vitazahnfabrik.com/resourcesvita/shop/en/en_3055212.pdf" with permission⁽²⁹⁾)



รูปที่ 9 เครื่องสเปกโตรเจดไมโครสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก www.mht.ch. [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK "<http://www.mht.ch/index.php?uri=micro.html>"⁽³¹⁾)

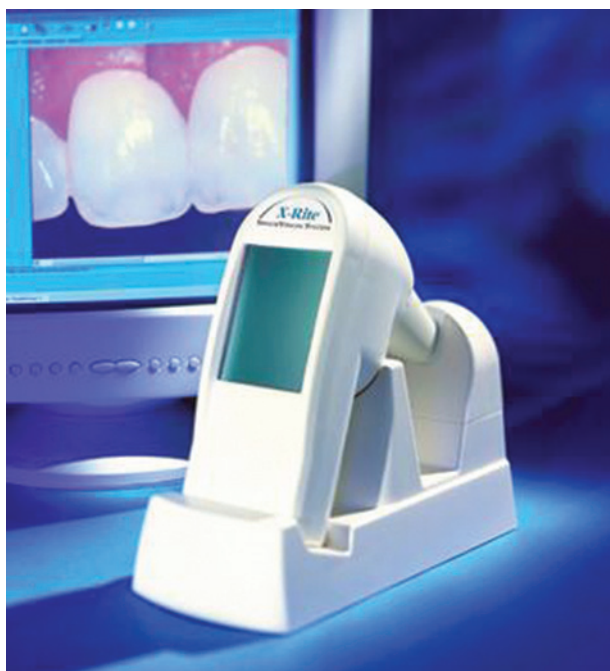
Figure 9 SpectroShade Micro spectrophotometer (from www.mht.ch. [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK "<http://www.mht.ch/index.php?uri=micro.html>" with permission⁽³¹⁾)

กรองแสงที่ทำหน้าที่ลดแสงที่กระจัดกระจายให้ได้ลักษณะแสงที่มีระเบียบก่อนเข้าสู่ตัววัดแสง^(25,26) ซึ่งตัวกรองแสงนี้เองที่ทำให้ประสิทธิภาพของคัลเลอเลมิเตอร์ด้อยกว่าสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เนื่องจากสูญเสียข้อมูลบางส่วนไปกับตัวกรองแสง ทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่ครบถ้วนและหากฟิลเตอร์เก่าลงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการวัดสีของตัวเครื่องด้วย⁽¹⁰⁾ แต่ในส่วนของการใช้งานนั้นพบว่าคัลเลอเลมิเตอร์สามารถวัดสีได้เร็วกว่าเครื่องมือชนิดอื่น ดังนั้นจึงนิยมใช้ในขั้นตอนการควบคุมคุณภาพวัสดุในห้องปฏิบัติการ⁽³²⁾ ตัวอย่างเครื่องเลือกสีฟันชนิดคัลเลอเลมิเตอร์ที่นิยมใช้ในคลินิกทันตกรรม เช่น เจดวิชั่น (ShadeVision, X-Rite, Grandville, MI, USA) และ เจดอาย เอ็นซีซี (ShadeEye NCC, Shofu Inc., Kyoto, Japan) เป็นต้น

เจดวิชั่นเป็นคัลเลอเลมิเตอร์ชนิดเลือกสีฟันทั้งซี่โดยหลังจากได้ภาพของฟันทั้งซี่แล้วโปรแกรมจะแบ่งข้อมูลสีฟันออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนปลายฟัน ส่วนกลางตัวฟัน และ

ส่วนคอฟัน สามารถแสดงข้อมูลที่วัดได้ในหลายระบบสี เช่น ไรต์คัลเลอเลมิเตอร์ ไรต์ทรีดีมาสเตอร์ และซีไออี เป็นต้น โปรแกรมในตัวเครื่องยังมีระบบเทียบสีแบบเสมือนจริงสำหรับการสร้างวัสดุบูรณะในห้องปฏิบัติการอีกด้วย⁽³³⁾

เจดอายเอ็นซีซีเป็นคัลเลอเลมิเตอร์ที่มีตัวให้กำเนิดและรับรังสีพร้อมทั้งแหล่งกำเนิดแสงซีนอล (xenon light source) ในตัวเครื่องทำให้ลดการรบกวนการวัดสีจากแสงภายนอก มีจอแสดงผลบนตัวเครื่องแบบพกพาที่สามารถเชื่อมต่อเพื่อแปลผลเป็นข้อมูลสีระบบ โซฟุจินเทจฮาโลพอร์ซเลน (Shofu's Vintage Halo porcelain) หรือระบบสีอื่นลงบนกระดาษได้ทันที และยังสามารถส่งผ่านข้อมูลลงคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้งานกับโปรแกรมสำเร็จรูป เจดอายวิวพีซี (ShadeEyeView PC software) ที่สามารถนำข้อมูลไปสร้างเป็นภาพดิจิทัลได้อีกด้วย⁽³⁴⁾



รูปที่ 10 เครื่องเฉดวิชั่นคัลเลอร์มิเตอร์ (คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก www.xrite.com [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK “http://www.xrite.com/product_overview.aspx?ID=339”⁽³³⁾)

Figure 10 ShadeVision colorimeter (from www.xrite.com [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK “http://www.xrite.com/product_overview.aspx?ID=339 with permission”⁽³³⁾)

2.3 การเลือกสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเป็นอุปกรณ์สร้างสีทางอิเล็กทรอนิกส์ให้เกิดเป็นภาพที่อาศัยข้อมูลของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในการสร้างสีต้นของภาพดิจิทัลขึ้นมา โดยใช้หลักการของระบบสีอาร์จีบี (RGB color model) คือ กระบวนการผสมสีจากแม่สี 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อใช้สัดส่วนของสี 3 สีนี้ต่างกัน จะทำให้เกิดสีต่างๆ ได้อีกมากมาย⁽³⁾ ภาพถ่ายดิจิทัลเป็นที่นิยมเนื่องจากใช้งานง่ายและกล้องถ่ายภาพดิจิทัลทั่วไปมีราคาต่ำ แต่อย่างไรก็ตามหลังจากถ่ายภาพฟันด้วยกล้องดิจิทัลแล้วมักนิยมนำไปเลือกสีฟันต่อยอดตา จึงมีข้อเสนอแนะให้ถ่ายภาพฟันคู่กับชุดเทียบสีฟันเพื่อให้ช่างทันตกรรมหรือตัวทันตแพทย์เองสามารถวิเคราะห์ข้อมูลสีได้ดียิ่งขึ้น⁽³⁵⁾ ต่อมาจึงมีความพยายามพัฒนาเทคโนโลยีการแปรผลข้อมูลสีจากภาพถ่ายดิจิทัลมาเป็นข้อมูลที่สามารถใช้งานได้



รูปที่ 11 เฉดอายเอ็นซีคัลเลอร์มิเตอร์ (คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก www.nature.com [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK “<https://www.nature.com/articles/4813167>”⁽³⁴⁾)

Figure 11 ShadeEye NCC colorimeter (from www.nature.com [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK “<https://www.nature.com/articles/4813167> with permission”⁽³⁴⁾)

ทางทันตกรรมโดยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เช่น โปรแกรมอะโดบีโฟโตชอป (Adobe Photoshop) และโคเรลโฟโตเพ้น (Corel Photo Paint) โปรแกรมเหล่านี้สามารถตรวจสอบค่าสีของภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลหรือสแกนเนอร์ได้⁽³⁶⁾ แต่การอ่านค่าสีโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการคำนวณค่าสี เช่น คุณภาพของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล คุณภาพของอุปกรณ์สแกนภาพดิจิทัล และประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลภาพในคอมพิวเตอร์ ดังนั้นการเลือกสีด้วยวิธีการนี้จึงต้องมีการสอบเทียบค่าสีของตัวโปรแกรมก่อนเสมอ และภาพที่ถ่ายมาควรเป็นชนิดไฟล์ภาพดิบ (raw file format) ซึ่งมีคุณภาพสูงกว่าภาพชนิดอื่น ๆ⁽³⁷⁾ ส่วนโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการเลือกสีฟันโดยเฉพาะ เช่น ระบบเคลียร์แมช (ClearMatch, Smart Technology, Hood River, OR) เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการเลือกสีฟันโดยเฉพาะ ตัวโปรแกรมจะประเมินสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลความละเอียดสูงโดยนำสีฟันจากภาพถ่ายมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสีฟันในระบบฐานข้อมูลของตัวโปรแกรมที่มีข้อมูลหลายแบบให้เลือกใช้⁽³⁰⁾

ตารางที่ 1 เครื่องเลือกสีฟันทางทันตกรรม บริษัทผู้ผลิต ประเภทผลิตภัณฑ์ พื้นที่การวัด และปีที่เริ่มจำหน่าย^(3,20)

Table 1 Tooth color matching instrument, Manufacturer, Instrument type, Measurement area, Launch year^(3,20)

ผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ประเภทผลิตภัณฑ์	พื้นที่การวัด	ปีที่เริ่มจำหน่าย
Crystaleye	Olympus, Tokyo, Japan	ภาพดิจิทัล และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	วัดสีฟันทั้งซี่	2006
Vita Easyshade Compact	Vident, Bad Sackingen, Germany	สเปกโตรโฟโตมิเตอร์	หัววัดขนาด 5 มิลลิเมตร	2002
Spectro Shade Micro	MHT Optic Research, Niederhasli, Switzerland	ภาพดิจิทัล และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	วัดสีฟันทั้งซี่	2001
Shade Vision	X-Rite, Grandville, MI, USA	ภาพดิจิทัล และคัลเลอเลอมิเตอร์	วัดสีฟันทั้งซี่	2001
Shade Eye NCC	Shofu Inc., Kyoto, Japan	คัลเลอเลอมิเตอร์	วัดสีฟันทั้งซี่	1997
Clear Match	Smart Technology, Hood River, OR	โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์สีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัล	วัดสีฟันทั้งซี่	2001

ดัดแปลงจาก Chu SJ และคณะ⁽³⁾, Hugo B และคณะ⁽²⁰⁾

3. การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเลือกสีฟันด้วยตาและเครื่องเลือกสีฟัน

Hugo และคณะ⁽²⁰⁾ ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเลือกสีฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟันไวต์คัลลัสสิก กับเครื่องสเปกโตรเมทรีโคร เมตริค และดิจิทัลเชดไกด์ดีเอสจีโฟ (Digital Shade Guide DSG4, Rieth, Schorndorf, Germany) ศึกษาโดยการวัดสีฟันหน้าบนของอาสาสมัครทั้งหมด 57 คน ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะนำมาเปรียบเทียบกันภายใต้กฎการถือเสียงข้างมากเป็นเกณฑ์ (principle of majority) พบว่าการเลือกสีฟันด้วยตามีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกสีด้วยเครื่องเลือกสีฟันทั้งสามชนิด

Li และคณะ⁽²¹⁾ ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเลือกสีฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟันวินเทจฮาโลว์ (Vintage Halo shade guide, ShadeEye NCC, Shofu Inc., Kyoto, Japan) กับเครื่องคัลเลอเลอมิเตอร์โซฟูเจดอายเอ็นซีซี โดยจะทำการเลือกสีฟันธรรมชาติและนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างเป็นครอบฟันเซรามิก (ceramic) จากนั้นวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมระหว่างฟันธรรมชาติและครอบฟันเซรามิกที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องวัดสีทางอุตสาหกรรม (PR-650 Spectra Scan, Photo Research Inc., Chatsworth, CA, USA) ผลการศึกษา

พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมระหว่างการเลือกสีฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟัน ($\Delta E = 3.58 \pm 1.03$) กับเครื่องคัลเลอเลอมิเตอร์โซฟูเจดอายเอ็นซีซี ($\Delta E = 3.14 \pm 1.17$)

Pimentel และคณะ⁽⁴⁾ ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเลือกสีฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟันไวต์คัลลัสสิกกับเครื่องเลือกสีฟันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่นสเปกโตรเมทรีโคร การเลือกสีฟันทั้งสองวิธีจะใช้ผู้ทดสอบ 4 คน ได้แก่ ศาสตราจารย์ด้านทันตกรรมประดิษฐ์ 3 คน และนักศึกษาหลังปริญญาตรีทันตกรรมประดิษฐ์ 1 คน โดยจะนำผลการทดสอบของแต่ละคนมาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้คือเครื่องเลือกสีฟันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่นสเปกโตรเมทรีโครมีความน่าเชื่อถือมากถึงร้อยละ 76.7 ในขณะที่เมื่อเลือกสีฟันด้วยชุดเทียบสีฟันไวต์คัลลัสสิกพบมีความน่าเชื่อถือเพียงร้อยละ 32.4 การศึกษานี้จึงได้ข้อสรุปว่าการใช้เครื่องเลือกสีฟันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่นสเปกโตรเมทรีโครมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการเลือกสีฟันด้วยสายตา

Igiel และคณะ⁽¹⁾ ศึกษาเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมของเครื่องเลือกสีฟัน 3 ชนิด ได้แก่ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อเชดไพลอต (Shadepilot, DeguDent, Hanau,

Germany) คริสตัลอาย และคัลเลอเลอิมิเตอร์ยี่ห้อเจเนวิซัน รวมถึงเปรียบเทียบกับการเลือกสีฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟันไวต์คาลาสสิก ผลที่ได้คือเมื่อเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมจากการวัดหลาย ๆ ครั้งพบว่ากลุ่มของเครื่องเลือกสีฟันมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมที่ต่ำกว่าการเลือกสีฟันด้วยตา และมีเพียงเครื่องเจเนวิซันเท่านั้นที่ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมต่ำกว่าค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมที่ยอมรับได้เมื่อเลือกสีฟันในช่องปาก (Color difference rated as acceptable in the oral cavity = $3.3 \Delta E^*ab$)

บทสรุป

ลักษณะสีฟันธรรมชาติของมนุษย์เป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนเนื่องจากหลายปัจจัยได้แก่ สภาพแสง การกระเจิงของแสง ความมันวาว ความโปร่งใส ความทึบแสงและตัวผู้สังเกตเอง ล้วนส่งผลต่อการแสดงออกของสีฟันทั้งสิ้น การเลือกสีฟันในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การเลือกสีฟันด้วยตาที่อาศัยชุดเทียบสีฟัน และการเลือกสีฟันด้วยเครื่องเลือกสีฟัน การเลือกสีฟันด้วยตานั้นถูกมองว่าต้องอาศัยผู้วัดที่มีความเป็นวัตถุวิสัยต่ำในขณะที่เครื่องเลือกสีฟันถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนข้อด้อยหลาย ๆ ด้านของการเลือกสีฟันด้วยตา เครื่องเลือกสีฟันประกอบด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เครื่องคัลเลอเลอิมิเตอร์ และการเลือกสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ พบว่าเครื่องเลือกสีฟันสามารถเลือกสีฟันได้ดีขึ้นตามลำดับจนในปัจจุบันสามารถเลือกสีฟันได้ดีกว่าการเลือกสีฟันด้วยตาที่อาศัยชุดเทียบสีฟัน ในส่วนของกลุ่มเครื่องเลือกสีฟันแม้จะมีการอ้างอิงจากข้อมูลเครื่องเลือกสีทางอุตสาหกรรมที่ว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สามารถตรวจวัดสีได้แม่นยำกว่าเครื่องคัลเลอเลอิมิเตอร์ ขณะที่คัลเลอเลอิมิเตอร์ทำงานได้รวดเร็วกว่าและมีราคาต่ำกว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ก็ตาม แต่จากการทบทวนวรรณกรรมของเครื่องเลือกสีฟันทางทันตกรรมยังคงเป็นที่ถกเถียงกันถึงประสิทธิภาพและข้อดีข้อเสียของเครื่องเลือกสีฟันทางทันตกรรมแต่ละชนิด ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของทันตแพทย์ที่จะต้องเลือกใช้วิธีการเลือกสีฟันที่เหมาะสม ตามความถนัดและกำลังทรัพย์ เพื่อให้ได้สีฟันที่สวยงามเป็นพึงพอใจของผู้ป่วย

เอกสารอ้างอิง

1. Igiel C, Weyhrauch M, Wentaschek S, et al. Dental color matching: A comparison between visual and instrumental methods. *Dent Mater J* 2016; 35(1): 63-69.
2. Lehmann KM, Devigus A, Igiel C, et al. Repeatability of color-measuring devices. *Eur J Esthet Dent* 2011; 6(4): 428-435.
3. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 2010; 38: 2-16.
4. Pimental W, Tioosi R. Comparison between visual and instrumental methods for natural tooth shade matching. *Gen Dent* 2014; 62(6): 47-49.
5. Igiel C, Lehmann KM, Ghinea R, et al. Reliability of visual and instrumental color matching. *J Esthet Restor Dent* 2017; 29(5): 303-308.
6. Della Bona A, Barrett AA, Rosa V, et al. Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols. *Dent Mater* 2009; 25(2): 276-281.
7. Terry DA, Geller W, Tric O, et al. Anatomical form defines color: function, form, and aesthetics. *Pract Proced Aesthet Dent* 2002; 14(1): 59-67.
8. Munsell.com [<https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works>] [updated 2018; cited 2018 May 4]. Available from: <http://www.munsell.com>.
9. Sikri VK. Color: Implications in dentistry. *J Conserv Dent* 2010; 13(4): 249-255.
10. Brewer JD, Wee A, Seghi R. Advances in color matching. *Dent Clin North Am* 2004; 48(2): 341-358.
11. Russell MD, Gulfranz M, Moss BW. In vivo measurement of colour changes in natural teeth. *J Oral Rehabil* 2000; 27(9): 786-792.

12. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003; 23(5): 467-479.
13. Pensler AV. Shade selection: problems and solutions. *Compend Contin Educ Dent* 1998; 19(4): 387-390.
14. Schwabacher WB, Goodkind RJ. Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides. *J Prosthet Dent* 1990; 64(4): 425-431.
15. Chu SJ, Tarnow DP. Digital shade analysis and verification: a case report and discussion. *Pract Proced Aesthet Dent* 2001; 13(2): 129-136.
16. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent* 2000; 83(4): 418-423.
17. Burkinshaw SM. Colour in relation to dentistry. Fundamentals of colour science. *Br Dent J* 2004; 196(1): 33-41.
18. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, et al. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater* 1997; 13(3): 179-185.
19. Dozic A, Kleverlaan CJ, Aartman IH, et al. Relations in color among maxillary incisors and canines. *Dent Mater* 2005; 21(3): 187-191.
20. Hugo B, Witzel T, Klaiber B. Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. *Clin Oral Investig* 2005; 9(4): 244-250.
21. Li Q, Wang YN. Comparison of shade matching by visual observation and an intraoral dental colorimeter. *J Oral Rehabil* 2007; 34(11): 848-854.
22. van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, et al. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent* 1990; 63(2): 155-162.
23. Lim HN, Yu B, Lee YK. Spectroradiometric and spectrophotometric translucency of ceramic materials. *J Prosthet Dent* 2010; 104(4): 239-246.
24. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, et al. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004; 24(3): 222-231.
25. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, et al. A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Br Dent J* 2007; 203(12): 675-680.
26. Kielbassa AM, Beheim-Schwarzbach NJ, Neumann K, et al. In vitro comparison of visual and computer-aided pre- and post-tooth shade determination using various home bleaching procedures. *J Prosthet Dent* 2009; 101(2): 92-100.
27. Lagouvardos PE, Fougia AG, Diamantopoulou SA, et al. Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Prosthet Dent* 2009; 101(1): 40-45.
28. Da Silva JD, Park SE, Weber HP, et al. Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *J Prosthet Dent* 2008; 99(5): 361-368.
29. Vita-zahnfabrik.com [http://www.vita-zahnfabrik.com/resourcesvita/shop/en/en_3055212.pdf] [updated 2018; cited 2018 May 4]. Available from: <http://www.vita-zahnfabrik.com>.
30. Ristic I, Paravina R. Color measuring instruments. *Acta Stomatologica Naissi* 2009; 25:925-932.
31. Mht.ch [<http://www.mht.ch/index.php?uri=micro.html>] [updated 2018; cited 2018 May 4]. Available from: <http://www.mht.ch>.

32. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, et al. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent* 2009; 101(3): 193-199.
33. Xrite.com [http://www.xrite.com/product_overview.aspx?ID=339] [updated 2018; cited 2018 May 4]. Available from: [http:// www.xrite.com](http://www.xrite.com)
34. ShadeEye-NCC [<https://www.nature.com/articles/4813167>]: Nature Publishing Group; 2006 [updated 01/14/online; cited 2018 May 4]. 53]. Available from: [https:// www.nature.com](https://www.nature.com).
35. Blaes J. Today's technology improves the shade-matching problems of yesterday. *J Indiana Dent Assoc* 2002-2003; 81: 17-19.
36. Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, et al. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater* 2006; 22(6): 553-559.
37. Imai FH. Reviewing state-of-art imaging modalities and its potential for biomedical applications. *J Dent* 2009; 37: 7-14.
38. Olympus-global.com [<http://www.olympus-global.com/en/news/2006b/nr061113crystale.html>] [updated 2018; cited 2018 May 4]. Available from: [https:// www.olympus-global.com](https://www.olympus-global.com).