บทความปริทัศน์
Review Article

การเลือกสีฟันด้วยชุดเทียบสีฟันและเครื่องเลือกสีฟันทางทันตกรรม

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

ณัฐกร กิติศรี[1], พิสัยศิษฏ์ ชัยจรีนนท์[2]
[1]นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2]ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Nattakorn Kitisri[1], Pisaisit Chaijareenont[2]
[1]Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
[2]Department 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 การเลือกสีฟันในปัจจุบันแบ่งเป็นการเลือกสีฟันด้วยตาโดยอาศัยชุดเทียบสีฟันและการใช้เครื่องเลือกสีฟัน 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:

พิสัยศิษฏ์ ชัยจรีนนท์
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

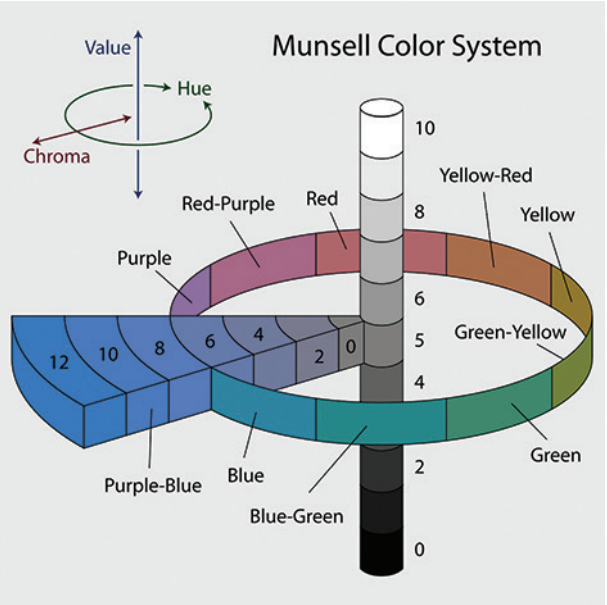
ในปัจจุบันความสวยงามได้เข้ามามีบทบาทต่องานทันตกรรมเป็นอย่างมาก ซึ่งการเลือกสีฟันและวัสดุบูรณะฟันได้อย่างถูกต้องแม่นยำส่งผลต่อความสวยงามและยังเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ป่วยพึงพอใจต่อการให้การรักษาของทันตแพทย์อีกด้วย โดยการจะได้สีวัสดุบูรณะที่ผู้ป่วยพึงพอใจนั้นต้องคำนึงถึง วิธีการเลือกสีฟัน ระบบชุดเทียบสีฟัน ชนิดของวัสดุที่ใช้เทียบสีฟันและการสื่อสารกับช่างทันตกรรมที่ดีด้วย[1]

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

ในหลายการศึกษาพบว่าเครื่องเลือกสีฟันมีประสิทธิภาพในการวัดสีฟันที่เหนือกว่าการเลือกสีฟันด้วยตา และข้อมูลที่ได้จากเครื่องเลือกสีฟันบางระบบสามารถประมวลผลข้อมูลเป็นภาพที่นำไปสื่อสารกับผู้ป่วยได้ในทันทีสร้างความมั่นใจให้กับผู้ป่วยและทันตแพทย์ รวมทั้งสามารถสื่อสารกับช่างทันตกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น[1,4,5] วิธีการเลือกสีฟันในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น การเลือกสีฟันด้วยตามนุษย์โดยอาศัยชุดเทียบสีฟัน การเลือกสีฟันโดยใช้เครื่องเลือกสีฟัน เช่น เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องคัลเลอลิมิเตอร์ และการเลือกสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์

1. การเลือกสีฟันด้วยตา

ระบบสีที่นิยมใช้ในระบบเลือกสีฟันด้วยตาได้แก่ ระบบสีของมันเซลล์ (Munsell's color system) โดยผู้คิดค้น คือ อัลเบิร์ต เฮนรี่ มันเซลล์ (Albert Henry Munsell) ในปี ค.ศ.1915 ระบบสีของมันเซลล์เป็นระบบสีแรกที่นำมาใช้ในชุดเทียบสีทางทันตกรรม[6] และชุดเทียบสีทางทันตกรรมเกือบทั้งหมดในปัจจุบันยังคงยึดพื้นฐานของระบบสีนี้ ระบบสีของมันเซลล์แบ่งออกเป็นสามมิติ ได้แก่ สี (hue) ความเข้ม (chroma) และ ความสว่าง (value) ความสัมพันธ์ของทั้ง 3 ค่าจะแสดงดังรูปที่ 1

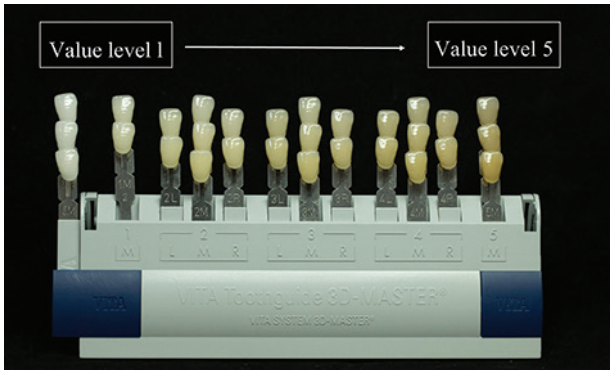


รูปที่ 1 *ระบบสีของมันเซลล์ (คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก www.munsell.com [URL of homepage on the Internet]. Available from: HYPERLINK "https://munsell.com/about-munsell-color/how-color-notation-works[8])*

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])*

ทฤษฎีสีของมันเซลล์มีลักษณะกระจายออกจากแกนกลางที่เป็นรูปทรงกระบอก แกนกลางแสดงถึงความสว่าง โดยส่วนบนของแกนกลางเป็นค่าน้ำหนักของสีขาวและส่วนล่างของแกนกำหนดเป็นค่าน้ำหนักของสีดำระหว่างสีขาวและสีดำคือน้ำหนักของสีเทาจากเทาแก่ไปเทาอ่อน ส่วนการกระจายออกโดยรอบจากแกนกลางเป็นรัศมีวงกลมจะเป็นตำแหน่งของสี โดยสีจะมีจุดเริ่มจากสีเทาในแกนกลางซึ่งสีเหล่านั้นจะมีความไม่สดใส (low chroma) แต่เมื่อพุ่งออกมาถึงเส้นรอบวงสีนั้นจะมีความจัดหรือความสดใสเพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุด (high chroma) จุดนี้จะแสดงค่าของสีอย่างชัดเจน[7,8]

การเลือกสีฟันด้วยตาจะอาศัยชุดเทียบสี (shade guides) โดย Clark ในปี ค.ศ.1931 เป็นผู้ริเริ่มนำชุดเทียบสีเฉพาะบุคคลมาใช้โดยจะเก็บข้อมูลสีฟันตามระบบสีของมันเซลล์ ต่อมาในช่วงปี ค.ศ.1970 Sproull ได้เสนอแนะว่าชุดเทียบสีที่ดีควรประกอบด้วยแถบสี (color tabs) ที่มีสีครอบคลุมและเรียงลำดับสีตามหลักทฤษฎีสีของมันเซลล์ และในช่วงปี ค.ศ.1990 Miller ได้เสนอให้ใช้วัสดุของชุดเทียบสีและวัสดุบูรณะฟันเป็นวัสดุชนิดเดียวกันและไม่ควรหนาเกินกว่าที่ใช้บูรณะฟัน[9] ด้วยข้อเสนอแนะเหล่านี้จึงมีการพัฒนาระบบชุดเทียบสีฟันแบบใหม่ขึ้น ได้แก่ ระบบชุดเทียบสีไวต้า ทรีดีมาสเตอร์ (Vita 3D-Master shade guide, Vident, Brea, CA) ซึ่งประกอบด้วยสีฟันทั้งหมด 26 แถบสีในปริภูมิของสีฟัน (tooth color space) ที่มีการกระจายอย่างครอบคลุมและเป็นระบบมากขึ้น ชุดเทียบสีไวต้าทรีดีมาสเตอร์จะถูกแบ่งออกเป็นห้ากลุ่มตามระดับความสว่าง (value level) และในแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยความเข้ม และสีที่แตกต่างกัน ในส่วนของการแบ่งกลุ่มความสว่างจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแผงฟันโดยกลุ่มที่สว่างที่สุดคือกลุ่มความสว่างระดับ 1 (value level 1) ไปจนถึงกลุ่มที่มืดที่สุดคือกลุ่มความสว่างระดับ 5 (value level 5) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้เลือกสีฟันแบบสามขั้นตอน โดยเริ่มจากเลือกสีฟันให้ได้กลุ่มความสว่างของชุดเทียบสีก่อนแล้วจึงค่อยเลือกค่าความเข้มและค่าสีตามลำดับ วิธีการนี้จะค่อย ๆ ลดตัวเลือกให้เหลือน้อยลงทำให้เลือกสีฟันได้ง่ายและแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 2 *ชุดเทียบสีฟันไวต้าทรีดีมาสเตอร์เรียงลำดับตามความสว่างจากสว่างมากสุดไปน้อยสุด*

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

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

รูปที่ 3 *ชุดเทียบสีฟันไวต้าคลาสสิกเรียงลำดับตามความสว่างจากสว่างมากสุดไปน้อยสุด*

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 เพื่อลดปัญหาความล้าของสายตาผู้เลือกสีฟัน ปัญหาสีฟันที่ขาวขึ้นเนื่องจากฟันมีการคายน้ำ (dehydrate) เพราะใส่แผ่นยางกันน้ำลาย (rubber dam) และการพิมพ์ปาก[11]

2. สีของผนังในห้องที่ใช้เลือกสีฟันควรมีสีโทนอ่อน เนื่องจากมีการศึกษาที่ให้ผู้เลือกสีฟันพักสายตาระหว่างการเลือกสีฟันโดยมองไปที่สีเข้ม เช่น สีน้ำเงิน จะส่งผลให้สีฟันที่เลือกได้มีสีเหลืองกว่าปกติ[12] จึงมีคำแนะนำให้พักสายตาขณะเลือกสีฟันด้วยการมองสีเทา เนื่องจากสีเทาไม่มีสีเสริม (complementary color) ที่จะไปรบกวนประสาทตาขณะเลือกสีฟัน[13]

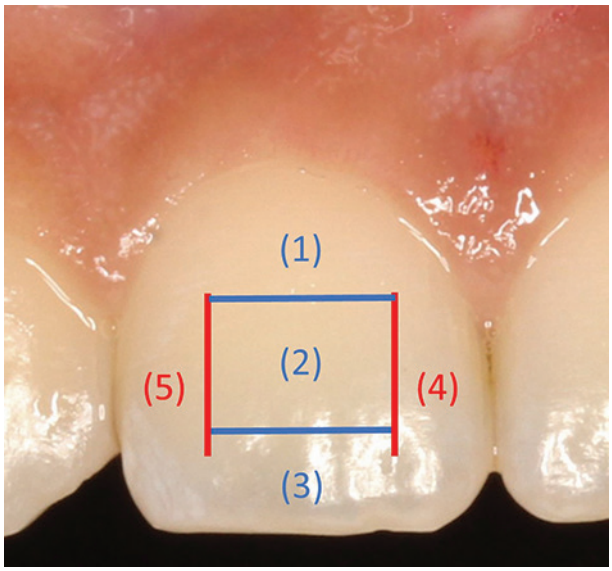
3. ควรเลือกความสว่างเป็นอันดับแรก เนื่องจากความสว่างเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในส่วนประกอบของสี ในการเลือกสีฟันการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างเพียงเล็กน้อยส่งผลต่อการรับรู้ของผู้สังเกตได้ง่ายกว่าการองค์ประกอบอื่น รูปที่ 3 แสดงให้เห็นการเรียงลำดับของระบบชุดเทียบสีไวต้าคลาสสิกตามค่าความสว่างจากมากไปน้อย และขณะเลือกสีฟันควรนำชุดเทียบสีกับปลายฟันหันเข้าหากัน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการมองสีที่ผิดเพี้ยนไปจากการการกระเจิงของแสง สีของโลหะบริเวณก้านชุดเทียบสี และคราบสีบนตัวฟัน[14]

4. ใช้ฟันเขี้ยวเป็นแนวทางในการเลือกสี จากการศึกษาพบว่าฟันเขี้ยวเป็นฟันที่แสดงค่าของสีมากที่สุดเมื่อเทียบกับฟันซี่อื่นในช่องปาก ทำให้สามารถเลือกสีฟันได้ถูกต้องและง่ายขึ้น[15,16]

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

6. ควรเลือกสีตามสีฟันข้างเคียงหรือฟันซี่เดียวกันในจตุภาคข้างเคียงหรือฟันซี่ตรงข้ามเพื่อให้ได้ข้อมูลสี ลักษณะพื้นผิวและรูปร่างฟัน ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสร้างวัสดุบูรณะที่มีความกลมกลืนกับฟันซี่อื่นในช่องปาก[9]

7. ควรแบ่งเลือกสีฟันเป็นส่วน ๆ อย่างน้อยสามส่วน ได้แก่ ปลายฟัน ตัวฟัน และส่วนคอฟัน เนื่องจากแต่ละตำแหน่งบนตัวฟันจะมีความสว่างแตกต่างกัน[15,18] บางการศึกษาแนะนำให้แบ่งเป็น 5 ส่วน โดยจะเพิ่มด้านใกล้กลาง และไกลกลางดังแสดงในรูปที่ 5 และยังแนะนำให้ถ่ายภาพของชุดเทียบสีเทียบกับตัวฟันก่อนและหลังการกรอแต่งฟัน ภาพถ่ายนี้นอกจากจะช่วยให้เลือกสีฟันได้ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นแล้ว ยังใช้เป็นแนวทางในการสร้างวัสดุบูรณะให้ได้พื้นผิวและรูปร่างกลมกลืนกับฟันข้างเคียงด้วย[19]



รูปที่ 5 *ตัวอย่างแสดงการแบ่งสัดส่วนฟันเพื่อเลือกสีฟันตัดบนขวาซี่ที่ 1 เป็น 3 ส่วน (เส้นสีน้ำเงิน) ได้แก่ (1) คอฟัน (2) ตัวฟัน (3) ปลายฟัน หรือการแบ่งฟันเป็น 5 ส่วน (เส้นสีแดง) โดยจะเพิ่มส่วนที่ (4) ใกล้กลาง และส่วนที่ (5) ไกลกลาง*

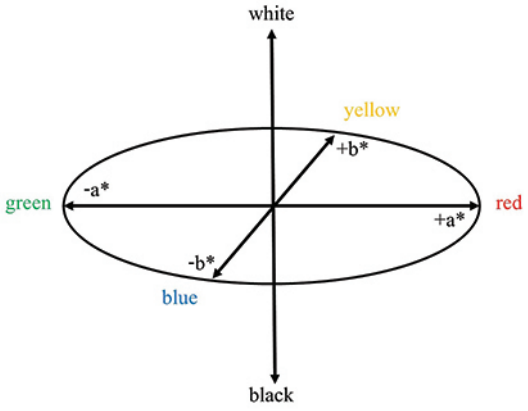
Figure 5 *The sample shown splitting the right central incisor into three sections (blue line) (1) cervical third (2) middle third (3) incisal third, or splitting into five sections (red line) adding (4) mesial and (5) distal*

แม้การเลือกสีฟันด้วยตาจะได้รับการยอมรับว่ามีความถูกต้องแม่นยำ เพียงพอกับการเลือกสีวัสดุบูรณะในทางทันตกรรม[20,21] อย่างไรก็ตามการพัฒนาของเทคโนโลยีสมัยใหม่ทำให้มีเครื่องมือที่สามารถวัดค่าสีฟันได้ง่ายกว่า แม่นยำกว่า และรวดเร็วกว่า อีกทั้งยังสามารถลดข้อด้อยหลายอย่างที่เกิดจากการเลือกสีฟันด้วยตาออกไปได้ จึงทำให้เครื่องเลือกสีฟันเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

2. เครื่องเลือกสีฟัน

ในระบบเครื่องเลือกสีฟันจะใช้ระบบสีซีไออี (CIE) มีชื่อในภาษาอังกฤษว่า (International Commission on Illumination) มีสำนักงานใหญ่อยู่ในประเทศฝรั่งเศส องค์กรนี้ได้กำหนดมาตรฐานการวัดสีซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างมากในวงการวิชาการและการวิจัย ในปริภูมิสี (color space) ของระบบนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วนที่ทำงานประสานกันได้แก่ L* a* และ b* โดยที่ L* จะบรรยายถึงความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 แสดงถึงสีดำสมบูรณ์ ถึง 100 แสดงถึงสีขาวสมบูรณ์ a* จะบรรยายถึงแกนสีแดงกับสีเขียว โดยค่า a* ที่เป็นลบ (- a*) เป็นขอบเขตของสีเขียว ส่วน a* ที่เป็นบวก (+ a*) เป็นขอบเขตของสีแดง ส่วนใน b* จะบรรยายถึงแกนสีเหลืองกับสีน้ำเงิน b* ที่เป็นลบ (- b*) เป็นขอบเขตของสีน้ำเงิน ส่วน b* ที่เป็นบวก (+ b*) เป็นขอบเขตของสีเหลืองดังแสดงในรูปที่ 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*

หลายการศึกษาในปัจจุบันพบว่าเครื่องมือเลือกสีฟันให้ประสิทธิภาพที่เหนือกว่าการเลือกสีฟันด้วยตามนุษย์ เนื่องจากการอ่านค่าสีของเครื่องเลือกสีฟันมีความเป็นวัตถุวิสัยมากกว่า สามารถหาค่าสีออกมาได้เป็นตัวเลขที่มีความละเอียดและรวดเร็วกว่า[1,4,5] โดยในปัจจุบันมีวิธีการเลือกสีฟันแบ่งตามการใช้เครื่องมือเลือกสีฟัน ได้เป็น 3 แบบ คือ การเลือกสีฟันจากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) การเลือกสีฟันจากเครื่องคัลเลอลิมิเตอร์ (colorimeter) และการเลือกสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ (digital camera systems with corresponding software)[22,23]

2.1 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ถือเป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบมาให้วัดสีได้ถูกต้องและแม่นยำที่สุด นิยมใช้ทั้งในทางอุตสาหกรรมและทางทันต-

กรรม[24] เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประกอบด้วยตัวให้กำเนิดรังสีในช่วงที่สายตามองเห็น ตัวกลางการกระจายแสง ตัวรับและแปลงพลังงานรังสีที่สะท้อนกลับจากวัตถุที่ต้องการวัดให้เป็นสัญญาณที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์และระบบการวัดสี[25,26] ข้อมูลที่ได้จากสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องนำมาแปลผลให้อยู่ในรูปแบบที่ทันตแพทย์สามารถนำไปใช้งานได้ โดยมักนำมาแปลผลให้อยู่ในฐานข้อมูลของชุดเทียบสีฟันเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจของทันตแพทย์และช่างทันตกรรม[27] ตัวอย่างเครื่องเลือกสีฟันชนิดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่นิยมใช้ในคลินิกทันตกรรม เช่น คริสตัลอาย (Crystaleye, Olympus, Tokyo, Japan) ไวต้าอีซี่เฉดคอมแพค (Vita Easyshade Compact, Vident , Bad Sackingen, Germany) และสเปกโทรเฉดไมโคร (SpectroShade Micro, MHT Optic Research, Niederhasli, Switzerland) เป็นต้น

คริสตัลอายเป็นเครื่องเลือกสีฟันที่ผสมผสานระหว่างสเปกโทรโฟโตมิเตอร์กับภาพถ่ายดิจิทัลเข้าด้วยกัน ทำให้ได้สีที่แม่นยำและใช้งานง่ายกว่าเมื่อเทียบกับสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบธรรมดา สามารถแสดงข้อมูลที่วัดได้ในหลายระบบสี เช่น ไวต้าคลาสสิก ไวต้าทรีดีมาสเตอร์ และซีไออี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีระบบเวอร์ชัวเฉดแทป (virtual shade tabs) ที่สามารถซ้อนทับสีฟันใหม่ลงไปในภาพของฟันธรรมชาติที่เราต้องการเลือกสีฟันได้ทันทีซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการสื่อสารกับคนไข้และช่างทันตกรรม และเนื่องจากเป็นการถ่ายภาพดิจิทัลในช่องปากร่วมกับการใช้แหล่งกำเนิดแสงของตัวเครื่องเอง ภาพที่ได้จึงไม่ถูกรบกวนจากแสงภายนอกทำให้ภาพถ่ายดิจิทัลได้มีคุณภาพสูง[28]

ไวต้าอีซี่เฉดคอมแพคเป็นเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีขนาดกะทัดรัดสามารถใช้ได้แบบพกพา มีแบตเตอรี่ในตัว ราคาไม่สูง เวลาใช้งานให้นำปลายเครื่องวัดสีสัมผัสกับฟันในตำแหน่งที่ต้องการวัด ข้อมูลที่ได้จะแสดงออกมาบริเวณจอภาพขนาดเล็กบนตัวเครื่องโดยสามารถเลือกให้เครื่องแสดงข้อมูลของระบบสี ไวต้าคลาสสิก ไวต้าทรีดีมาสเตอร์ และซีไออี อีกทั้งยังมีระบบการทำงานที่หลากหลาย เช่น ระบบตรวจสอบสีวัสดุบูรณะฟัน ระบบเลือกสีฟันทั้งซี่ ระบบเลือกสีฟันแบบเฉพาะพื้นที่โดยชุดคำสั่งในตัวเครื่องจะแบ่งพื้นที่การเลือกสีฟันเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนปลายฟัน กึ่งกลางตัวฟัน และคอฟัน[29]

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

สเปกโทรเฉดไมโครเป็นการผสมผสานระหว่างสเปกโทรโฟโตมิเตอร์กับกล้องดิจิทัล โดยในตัวเครื่องจะมีตัวประมวลผลและโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้เองโดยไม่จำเป็นต้องนำข้อมูลลงมาวิเคราะห์ในโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ข้อมูลจะแสดงบนจอแอลซีดีแบบหน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ สามารถเลือกแสดงผลข้อมูลได้หลายระบบสี เช่น โครมาสคอฟ ไวต้าคลาสสิก ไวต้าทรีดีมาสเตอร์ ซีไออี โนริตาเกะ (Noritake porcelain shade guild) ไวต้าลูมิน (Vita Lumin) เป็นต้น และสามารถบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำที่สามารถถอดไปใช้กับคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย[30,31]

2.2 เครื่องคัลเลอลิมิเตอร์

เป็นอุปกรณ์วัดสีอีกประเภทหนึ่งที่นำมาใช้ในทางทันตกรรมเพื่อวัดสีของฟัน โดยอุปกรณ์จะประกอบด้วย ซิลิกอนโฟโตไดโอด 3 ถึง 4 ตัว ที่ทำหน้าที่วัดค่าแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่ตามองเห็นทำงานร่วมกับตัว

รูปที่ 8 *เครื่องไวต้าอีซีเฉดคอมแพคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (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])*

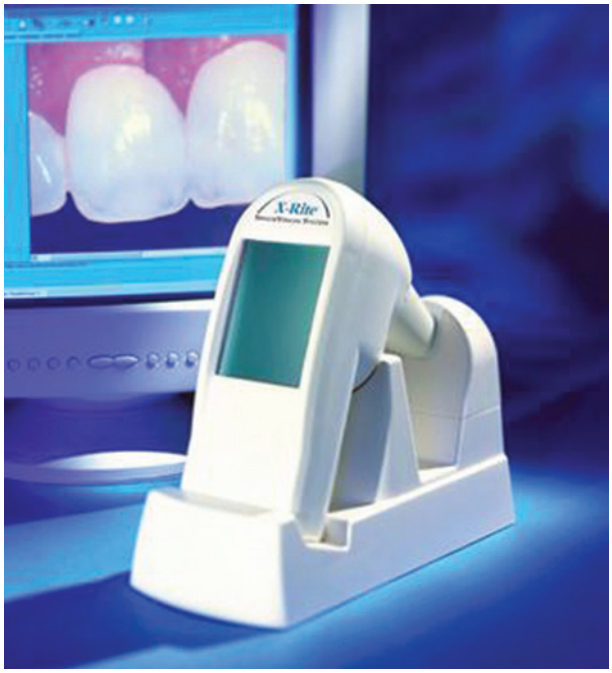
รูปที่ 9 *เครื่องสเปกโตรเฉดไมโครสเปกโทรโฟโตมิเตอร์(คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก www.mht.ch. [URL of homepage on the Internet]. Available from HYPERLINK"http://www.mht.ch/index.php?uri=micro.html[31])*

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] ซึ่งตัวกรองแสงนี้เองที่ทำให้ประสิทธิภาพของคัลเลอลิมิเตอร์ด้อยกว่าสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เนื่องจากสูญเสียข้อมูลบางส่วนไปกับตัวกรองแสง ทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่ครบถ้วนและหากฟิลเตอร์เก่าลงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการวัดสีของตัวเครื่องด้วย[10] แต่ในส่วนของการใช้งานนั้นพบว่าคัลเลอลิมิเตอร์สามารถวัดสีได้เร็วกว่าเครื่องมือชนิดอื่น ดังนั้นจึงนิยมใช้ในขั้นตอนการควบคุมคุณภาพวัสดุในห้องปฏิบัติการ[32] ตัวอย่างเครื่องเลือกสีฟันชนิดคัลเลอลิมิเตอร์ที่นิยมใช้ในคลินิกทันตกรรม เช่น เฉดวิชั่น (ShadeVision, X-Rite, Grandville, MI, USA) และเฉดอาย เอ็นซีซี (ShadeEye NCC, Shofu Inc., Kyoto, Japan) เป็นต้น

เฉดวิชั่นเป็นคัลเลอลิมิเตอร์ชนิดเลือกสีฟันทั้งซี่โดยหลังจากได้ภาพของฟันทั้งซี่แล้วโปรแกรมจะแบ่งข้อมูลสีฟันออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนปลายฟัน ส่วนกลางตัวฟัน และส่วนคอฟัน สามารถแสดงข้อมูลที่วัดได้ในหลายระบบสี เช่น ไวต้าคลาสสิก ไวต้าทรีดีมาสเตอร์ และซีไออี เป็นต้น โปรแกรมในตัวเครื่องยังมีระบบเทียบสีแบบเสมือนจริงสำหรับการสร้างวัสดุบูรณะในห้องปฏิบัติการอีกด้วย[33]

เฉดอายเอ็นซีซีเป็นคัลเลอลิมิเตอร์ที่มีตัวให้กำเนิดและรับรังสีพร้อมทั้งแหล่งกำเนิดแสงซีนอล (xenon light source) ในตัวเครื่องทำให้ลดการรบกวนการวัดสีจากแสงภายนอก มีจอแสดงผลบนตัวเครื่องแบบพกพาที่สามารถเชื่อมต่อเพื่อแปลผลเป็นข้อมูลสีระบบ โชฝุวินเทจฮาโลพอร์ซเลน (Shofu's Vintage Halo porcelain) หรือระบบสีอื่นลงบนกระดาษได้ทันที และยังสามารถส่งผ่านข้อมูลลงคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้งานกับโปรแกรมสำเร็จรูป เฉดอายวิวพีซี (ShadeEyeView PC software) ที่สามารถนำข้อมูลไปสร้างเป็นภาพดิจิทัลได้อีกด้วย[34]



รูปที่ 10 *เครื่องเฉดวิชั่นคัลเลอลิมิเตอร์ (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])*

รูปที่ 11 *เฉดอายเอ็นซีซีคัลเลอลิมิเตอร์ (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])*

2.3 การเลือกสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเป็นอุปกรณ์สร้างสีทางอิเล็กทรอนิกส์ให้เกิดเป็นภาพที่อาศัยข้อมูลของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในการสร้างสีสันของภาพดิจิทัลขึ้นมา โดยใช้หลักการของระบบสีอาจีบี (RBG color model) คือ กระบวนการผสมสีจากแม่สี 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อใช้สัดส่วนของสี 3 สีนี้ต่างกัน จะทำให้เกิดสีต่าง ๆ ได้อีกมากมาย[3] ภาพถ่ายดิจิทัลเป็นที่นิยมเนื่องจากใช้งานง่ายและกล้องถ่ายภาพดิจิทัลทั่วไปมีราคาต่ำ แต่อย่างไรก็ตามหลังจากถ่ายภาพฟันด้วยกล้องดิจิทัลแล้วมักนิยมนำไปเลือกสีฟันต่อด้วยตา จึงมีข้อแนะนำให้ถ่ายภาพฟันคู่กับชุดเทียบสีฟันเพื่อให้ช่างทันตกรรมหรือตัวทันตแพทย์เองสามารถวิเคราะห์ข้อมูลสีได้ดียิ่งขึ้น[35] ต่อมาจึงมีความพยายามพัฒนาเทคโนโลยีการแปรผลข้อมูลสีจากภาพถ่ายดิจิทัลมาเป็นข้อมูลที่สามารถใช้งานได้ทางทันตกรรมโดยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เช่น โปรแกรมอะโดบีโฟโตชอป (Adobe Photoshop) และโคเรลโฟโตเพ้น (Corel Photo Paint) โปรแกรมเหล่านี้สามารถตรวจสอบค่าสีของภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลหรือสแกนเนอร์ได้[36] แต่การอ่านค่าสีโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมีปัจจัยหลายอย่างที่อาจส่งผลต่อการคำนวณค่าสี เช่น คุณภาพของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล คุณภาพของอุปกรณ์สแกนภาพดิจิทัล และประสิทธิภาพของหน่วยประมวลภาพในคอมพิวเตอร์ 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 และสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	วัดสีฟันทั้งซี่	2006
Vita Easyshade Compact	Vident, Bad Sackingen, Germany	สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	หัววัดขนาด 5 มิลลิเมตร	2002
Spectro Shade Micro	MHT Optic Research, Niederhasli, Switzerland	ภาพดิจิทัล และสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	วัดสีฟันทั้งซี่	2001
Shade Vision	X-Rite, Grandville, MI, USA	ภาพดิจิทัล และคัลเลอลิมิเตอร์	วัดสีฟันทั้งซี่	2001
Shade Eye NCC	Shofu Inc., Kyoto, Japan	คัลเลอลิมิเตอร์	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] ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเลือกฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟันไวต้าคลาสสิก กับเครื่องสเปกโทรเฉดไมโคร เฉดวิชั่น และดิจิทัลเฉดไกด์ดีเอสจีโฟ (Digital Shade Guide DSG4, Rieth, Schorndorf, Germany) ศึกษาโดยการวัดสีฟันหน้าบนของอาสาสมัครทั้งหมด 57 คน ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะนำมาเปรียบเทียบกันภายใต้กฎการถือเสียงข้างมากเป็นเกณฑ์ (principle of majority) พบว่าการเลือกสีฟันด้วยตามีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกสีด้วยเครื่องเลือกสีฟันทั้งสามชนิด

Li และคณะ[21] ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเลือกฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟันวินเทจฮาโลว์ (Vintage Halo shade guide, ShadeEye NCC, Shofu Inc., Kyoto, Japan) กับเครื่องคัลเลอลิมิเตอร์โชฝุเฉดอายเอ็นซีซี โดยจะทำการเลือกสีฟันธรรมชาติและนำข้อมูลสีที่ได้ไปสร้างเป็นครอบฟันเซรามิก (ceramic) จากนั้นวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมระหว่างฟันธรรมชาติและครอบฟันเซรามิกที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องวัดสีทางอุตสาหกรรม (PR-650 Spectra Scan, Photo Research Inc., Chatsworth, CA, USA) ผลการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมระหว่างการเลือกสีฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟัน ($\Delta E = 3.58 \pm 1.03$) กับเครื่องคัลเลอลิมิเตอร์โชฝุเฉดอายเอ็นซีซี ($\Delta E = 3.14 \pm 1.17$)

Pimentel และคณะ[4] ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเลือกฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟันไวต้าคลาสสิกกับเครื่องเลือกสีฟันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่นสเปกโทรเฉดไมโคร การเลือกสีฟันทั้งสองวิธีจะใช้ผู้ทดสอบ 4 คน ได้แก่ ศาสตราจารย์ด้านทันตกรรมประดิษฐ์ 3 คน และนักศึกษาหลังปริญญาด้านทันตกรรมประดิษฐ์ 1 คน โดยจะนำผลการทดสอบของแต่ละคนมาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้คือเครื่องเลือกสีฟันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่นสเปกโทรเฉดไมโครมีความน่าเชื่อถือมากถึงร้อยละ 76.7 ในขณะที่เมื่อเลือกสีฟันด้วยชุดเทียบสีฟันไวต้าคลาสสิกพบมีความน่าเชื่อถือเพียงร้อยละ 32.4 การศึกษานี้จึงได้ข้อสรุปว่าการใช้เครื่องเลือกสีฟันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่นสเปกโทรเฉดไมโครมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการเลือกสีฟันด้วยสายตา

Igiel และคณะ[1] ศึกษาเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมของเครื่องเลือกสีฟัน 3 ชนิด ได้แก่ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ยี่ห้อเฉดไพลอต (Shadepilot, DeguDent, Hanau,

Germany) คริสตัลอาย และคัลเลอลิมิเตอร์ยี่ห้อเฉดวิชั่น รวมถึงเปรียบเทียบกับการเลือกสีฟันด้วยตาโดยใช้ชุดเทียบสีฟันไวต้าคลาสสิก ผลที่ได้คือเมื่อเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมจากการวัดหลาย ๆ ครั้งพบว่ากลุ่มของเครื่องเลือกสีฟันมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมที่ต่ำกว่าการเลือกสีฟันด้วยตา และมีเพียงเครื่องเฉดวิชั่นเท่านั้นที่ค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมต่ำกว่าค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมที่ยอมรับได้เมื่อเลือกสีฟันในช่องปาก (Color difference rated as acceptable in the oral cavity = 3.3 ΔE*ab)

บทสรุป

ลักษณะสีฟันธรรมชาติของมนุษย์เป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนเนื่องจากหลายปัจจัยได้แก่ สภาพแสง การกระเจิงของแสง ความมันวาว ความโปร่งใส ความทึบแสงและตัวผู้สังเกตเอง ล้วนส่งผลต่อการแสดงออกของสีฟันทั้งสิ้น การเลือกสีฟันในปัจจุบันแบ่งออกเป็นการเลือกสีฟันด้วยตาที่อาศัยชุดเทียบสีฟัน และการเลือกสีฟันด้วยเครื่องเลือกสีฟัน การเลือกสีฟันด้วยตานั้นถูกมองว่าต้องอาศัยผู้วัดที่มีความเป็นวัตถุวิสัยต่ำในขณะที่เครื่องเลือกสีฟันถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนข้อด้อยหลาย ๆ ด้านของการเลือกสีฟันด้วยตา เครื่องเลือกสีฟันประกอบด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องคัลเลอลิมิเตอร์ และการเลือกสีฟันจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ พบว่าเครื่องเลือกสีฟันสามารถเลือกสีฟันได้ดีขึ้นตามลำดับจนในปัจจุบันสามารถเลือกสีฟันได้ดีกว่าการเลือกสีฟันด้วยตาที่อาศัยชุดเทียบสีฟัน ในส่วนของกลุ่มเครื่องเลือกสีฟันแม้จะมีการอ้างอิงจากข้อมูลเครื่องเลือกสีทางอุตสาหกรรมที่ว่าเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์สามารถตรวจวัดสีได้แม่นยำกว่าเครื่องคัลเลอลิมิเตอร์ ขณะที่คัลเลอลิมิเตอร์ทำงานได้รวดเร็วกว่าและมีราคาที่ต่ำกว่าเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ก็ตาม 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, Tiossi 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, Gulfraz 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
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.
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.