

ผลของความสว่างและอุณหภูมิสีของแสงที่มีต่อความแม่นยำของเครื่องสแกนในช่องปากเมื่อใช้พิมพ์ปากดิจิทัลทั้งส่วนโค้งของขากรรไกรในแบบจำลองฟัน

กนกกานต์ ขวัญสังข์* ไพบูลย์ ดาวสดใส*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เปรียบเทียบความตรงและความเที่ยงของเครื่องสแกนในช่องปากสองเครื่อง ภายใต้ความสว่างและอุณหภูมิสีของแสงที่ต่างกัน

วัตถุประสงค์และวิธีการ: ใช้ตรีเอ็มทรูเดฟฟินิชั่นและทรียอส สแกนแบบจำลองฟันขากรรไกรบนซึ่งติดลูกเหล็กทรงกลม 4 ลูกบนฟัน ในห้องมืด และสภาวะแสงต่าง ๆ (ไม่มีแสง: 0 ลักซ์ แสงไฟสีส้ม: 500, 1000, 2400 ลักซ์ แสงไฟสีขาว: 500, 1000, 2400 ลักซ์) ใช้ซอฟต์แวร์จีโอเมจิกควอลิไฟล์วัดระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของทรงกลมและเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงจากเครื่องวัดสามมิติ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ได้จากการคำนวณแสดงถึงความตรงและความเที่ยงตามลำดับ

ผลการศึกษา: ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มไม่มีแสงและกลุ่มที่มีแสงของตรีเอ็มทรูเดฟฟินิชั่นในแสงไฟสีขาว และของทรียอสในแสงไฟสีส้ม และยังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอุณหภูมิสีของแสง โดยตรีเอ็มทรูเดฟฟินิชั่นมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแสงไฟสีขาวมากกว่าแสงไฟสีส้ม และตรงกันข้ามกับทรียอส นอกจากนี้ระหว่างชนิดของเครื่องสแกนพบความแตกต่างทั้งคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในบางสภาวะแสง

สรุป: ความสว่างและอุณหภูมิสีมีผลต่อความตรง ส่วนชนิดของเครื่องมีผลทั้งความตรงและความเที่ยงในการสแกน

คำสำคัญ: เครื่องสแกนในช่องปาก ความแม่นยำ แสงสว่าง

*ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

Influence of Illuminance and Color Temperature of Light on the Accuracy of Two Intraoral Scanners Used for Complete Arch Digital Impression in the Dental Model

Kanokkarn Kwansang* Paitoon Daosodsai*

Abstract

Objective: Compare the trueness and precision of two intraoral scanners under different illuminance and color temperature of light.

Materials and Methods: Using 3M™ True definition and Trios scanned a maxillary dental model attached four metallic spheres on teeth in a dark room and various lighting conditions (light-free: 0 lux warm white: 500, 1000, 2400 lux Daylight: 500, 1000, 2400 lux). Using geomagic qualify software, measure distances between the center of spheres and compare to the reference data from coordinate measuring machine. Calculated from the discrepancy, relative and relevant errors represented trueness and precision, respectively.

Results: The relative errors were significantly different between the light-free and illuminated groups in the daylight of the 3M™ True definition and the warm white light of the Trios. The relative errors also were significantly different between color temperature of light, of daylight greater than warm white in 3M™ True definition, as opposed to that in the Trios scanner. In addition, both relative errors and relevant errors were significantly different between scanners in some lighting conditions.

Conclusion: Illuminance and color temperature affect only scanning trueness, and scanner type affects both trueness and precision.

Keywords: Intraoral scanner, Accuracy, Light

*Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University, Kho Hong, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand.

บทนำ (Introduction)

การพิมพ์ปากแบบดิจิทัลด้วยเครื่องสแกนในช่องปาก (intraoral scanner) มีข้อได้เปรียบเหนือการพิมพ์ปากแบบดั้งเดิม (conventional impression) คือ ประหยัดเวลา คุ่มค่า มีวิธีการทำที่ง่าย ลดขั้นตอนการทำงาน ลดกำลังคนในการปฏิบัติงาน ช่วยในการสื่อสารกับช่างทันตกรรมโดยสามารถประเมินคุณภาพการพิมพ์ได้ทันที ใช้ในการสื่อสารกับผู้ป่วย สามารถควบคุมคุณภาพของชิ้นงานได้ดีกว่าการพิมพ์แบบดั้งเดิม (1) และสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ป่วยได้มากกว่าวิธีพิมพ์แบบดั้งเดิม (2,3) เมื่อมีความนิยมในการใช้การพิมพ์ปากแบบดิจิทัลมากขึ้นจึงมีการพัฒนาเครื่องสแกนในช่องปากหลายระบบซึ่งมีหลักการที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องสแกนระบบคอนโฟคอลเลเซอร์ (confocal laser scanner) (4) การเก็บภาพจะใช้กระบวนการตัดด้วยแสง คือสามารถเก็บภาพเฉพาะตำแหน่งที่โฟกัสในระดับความลึกที่เลือกเท่านั้น ภาพจะเกิดจากการเก็บสัญญาณแสงจากตำแหน่งที่โฟกัสแต่ละจุด และคอมพิวเตอร์นำสัญญาณทั้งหมดมาต่อกันสร้างเป็นภาพสามมิติ เครื่องสแกนในระบบนี้ได้แก่ ไอเทโร (iTero®, Align Technology Inc., USA) และ ทรีออส (TRIOS®, 3Shape, Denmark) เครื่องสแกนระบบแอกทีฟเวฟฟรอนท์แซมปลิง (active wave front sampling scanner) ลักษณะเฉพาะของระบบนี้ คือใช้กล้องตัวเดียวในการจับภาพพื้นผิวสามมิติ และเป็นระบบที่รับแสงอยู่นอกแกนหมุนซึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบแกนแสง ลำแสงที่ฉายไปยังวัตถุจะให้แสงที่สะท้อนกลับมาผ่านระบบเลนส์และมายังตัวรับภาพภาพที่ได้มีทั้งภาพในระยะโฟกัสและภาพที่หลุดโฟกัสโดยภาพที่หลุดโฟกัสเครื่องจะคำนวณระยะจากขนาดของภาพที่พรางมัวโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์และปรับภาพให้มองเห็นชัดเจน การใช้เครื่องสแกนระบบนี้ส่วนใหญ่ต้องเตรียมสภาพพื้นผิวของวัตถุก่อนการสแกนด้วยผงไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) เพื่อลดการสะท้อนของแสง เครื่องสแกนในระบบนี้ได้แก่ ลาวาซีโอเอส (Lava™ C.O.S., 3M ESPE, USA) และ ทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชัน (3M™ True Definition, 3M ESPE, USA) (5)

การวัดความแม่นยำ (accuracy) ตามมาตรฐาน ISO 5725-1 ประกอบด้วยความตรง (trueness) หมายถึงความใกล้เคียงของค่าที่ได้จากข้อมูลกับค่าที่แท้จริงและความเที่ยง (precision) หมายถึงความใกล้เคียงของค่าที่ได้จากการวัดหลายๆครั้งในกลุ่มทดลองนั้น (6) วิธีที่ใช้ในการวัดความแม่นยำของเครื่องสแกนในช่องปากได้แก่ วิธีการวัดมิติ ทำโดยการวัดระยะห่างระหว่างจุดสังเกตในภาพที่เกิดจากการสแกนแบบจำลองด้วยเครื่องสแกนในช่องปากและเปรียบเทียบกับระยะห่างที่ได้จากการวัดอ้างอิงบนแบบจำลองเพื่อหาค่าที่เบี่ยงเบนไปวิธีการซ้อนทับภาพ ทำโดยนำภาพที่ได้จากการสแกนมาวางทับภาพสแกนอ้างอิงซึ่งได้จากเครื่องสแกนที่มีความละเอียดสูงโดยใช้หลักการจัดตำแหน่งให้แนบดีที่สุด จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์สามมิติคำนวณปริมาณความแตกต่างระหว่างสองภาพ ค่าที่ได้ยิ่งน้อยแสดงถึงความตรงที่มากขึ้นและอีกวิธีคือการประเมินผลเชิงคุณภาพคือใช้กระบวนการซ้อนทับภาพ โดยสร้างเป็นภาพสีบนภาพแบบจำลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในเชิงบวกและเชิงลบระหว่างภาพแบบจำลองสองภาพวิธีนี้บอกรูปแบบของความแตกต่างได้ (7)

Ender และคณะ ปี 2016 ได้เสนอวิธีการนำภาพที่ได้จากเครื่องสแกนในช่องปากในการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลมาซ้อนทับกับภาพต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบความเบี่ยงเบนในการพิมพ์ 1 จตุภาค (quadrant) กับการพิมพ์แบบดั้งเดิม พบว่ามีความแม่นยำใกล้เคียงกันและเครื่องสแกนในช่องปากต่างกันให้ความแม่นยำแตกต่างกัน (8) ส่วนการพิมพ์ปากทั้งส่วนโค้งของขากรรไกร (dental arch) พบว่าการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลมีความแม่นยำต่ำกว่า การพิมพ์แบบดั้งเดิมเมื่อพิมพ์ปากด้วยอีลาสโตเมอร์ (elastomer) (9) ในขณะที่ Renne และคณะปี 2017 พบความแตกต่างของความแม่นยำระหว่างเครื่องสแกนในช่องปาก 5 ชนิดในการพิมพ์แบบดิจิทัลทั้งส่วนโค้งของขากรรไกรโดยเครื่องทรีออสให้ผลที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาทั้งความตรง ความเที่ยง และระยะเวลา (10)

ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำของการพิมพ์ปากแบบดิจิทัล ได้แก่ ประสิทธิภาพของผู้ใช้ ชนิดของเครื่องสแกน ระยะเวลา (11) ความยาวของการสแกน (12) ตำแหน่งของฟัน (13) ชนิดของฟันผิวที่ถูกลบ (10,14-16) รูปแบบลำดับในการสแกน (17) การเคลื่อนฟันผิววัตถุก่อนการสแกน (18) และแสงจากสิ่งแวดล้อม (19) ในขณะที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องหรือสแกนแนะนำให้หลีกเลี่ยงการส่องไฟเก้าอี้ทันตกรรมมายังช่องปากของผู้ป่วยขณะใช้เครื่องสแกนในช่องปากเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพดี

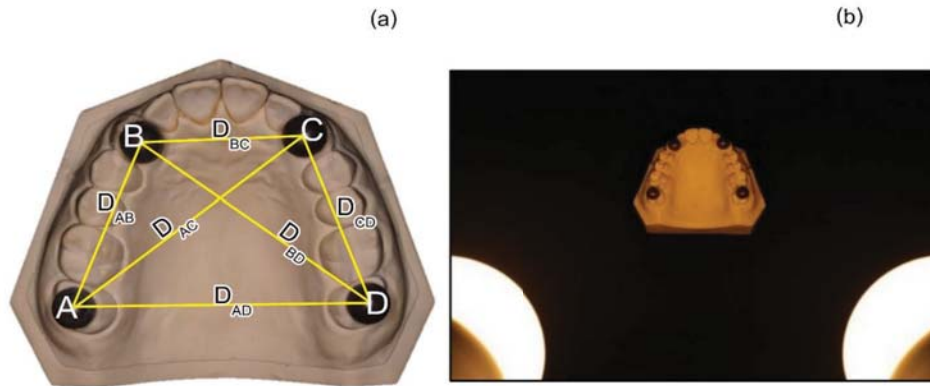
ความสว่างที่ควรจะเป็นมาตรฐานแตกต่างกันตามลักษณะงาน เช่น บริเวณโต๊ะประชาสัมพันธ์ 300 ลักซ์ บริเวณที่ใช้ทำงานเอกสารในสำนักงาน 500 ลักซ์ บริเวณที่ใช้ทำชิ้นงานขนาดเล็ก 1000 ลักซ์ และในการรักษาทางทันตกรรมซึ่งจัดเป็นงานละเอียดสูงมากเป็นพิเศษควรมีความสว่าง 2,400 ลักซ์ขึ้นไป (20) จากการศึกษาพบว่าบริเวณฟันหลังมีความสว่างมีค่า 173-271 ลักซ์ ส่วนอุณหภูมิสีของแสงในธรรมชาติมีค่ากว้างตั้งแต่ 1,000-20,000 เคลวิน Arakida และคณะปี 2018 ทำการศึกษาผลจากความสว่างเมื่อใช้เครื่องทรูเดฟฟินิชันพิมพ์ปากดิจิทัลในแบบจำลองฟัน 1 จุดภาคพบว่าความสว่างมีผลต่อระยะเวลาในการพิมพ์ปากแบบดิจิทัล (19)

จากการศึกษาถึงความแม่นยำของเครื่องสแกนในช่องปากที่ได้รับอิทธิพลจากแสงแบบต่าง ๆ ยังมีอยู่น้อย บางการศึกษาทำการทดลองในฟัน 1 จุดภาค (19) ขณะที่บางการศึกษาใช้เครื่องสแกนอีกระบบหนึ่งทำการทดลองทั้งส่วนโค้งของขากรรไกร (21) จึงเปรียบเทียบกันยาก นอกจากนี้เครื่องหรือสแกน และทรูเดฟฟินิชัน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในคณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีหลักการทำงานและเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน การศึกษานี้จึงสนใจศึกษาความแม่นยำในการสแกนทั้งส่วนโค้งของขากรรไกรของเครื่องสแกนในช่องปากสองชนิดในแบบจำลองฟันในแสงต่างกัน ด้วยวิธีการวัดมิติ โดยมีสมมุติฐานงานวิจัยคือไม่มีความแตกต่างของความแม่นยำระหว่างความสว่าง ระหว่างอุณหภูมิสีของแสง และระหว่างชนิดเครื่องสแกนในช่องปาก ในการพิมพ์ปากดิจิทัลทั้งส่วนโค้งของขากรรไกรในแบบจำลองฟัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

ทำแบบจำลองฟันด้วยพลาสติกเรซินทางทันตกรรมชนิดที่สี่ (dental stone type IV; Kromotypo4, Lascod, Italy) ด้วยการลอกเลียนแบบจากแบบจำลองฟันพลาสติก (Nissin 500H-1; Nissin Dental Products, Inc., Kyoto, Japan) ในขากรรไกรบนที่มีฟันครบจำนวน 14 ซี่ ตั้งแต่ฟันซี่ 17 ถึงฟันซี่ 27 โดยใช้วัสดุพิมพ์แบบโพลีไวนิลซิลอกเซน (polyvinyl siloxane impression material; Silagum, DMG, Germany) นำลูกเหล็กทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร จำนวน 4 ลูก มาวางบนแบบจำลองฟันในขากรรไกรบนที่มีฟันครบ 14 ซี่ ที่บริเวณด้านบดเคี้ยวของฟันกรามซี่ที่สอง และด้านเพดานของฟันเขี้ยวด้านซ้ายและขวา ยึดด้วยกาวไซยาโนอะคริเลต (cyanoacrylate) โดยลูกเหล็กทรงกลมทั้ง 4 ลูกผ่านการเป่าทราย (sand blasting) เพื่อลดการสะท้อนแสงและส่งเสริมการยึดติด (22) จากนั้นนำไปวัดระยะระหว่างจุดศูนย์กลางทรงกลมของลูกเหล็กทั้ง 4 ลูกจำนวน 6 ระยะด้วยเครื่องวัดสามมิติ (ROMER Absolute Arm portable coordinate measuring machine, HEXAGON, USA) เพื่อนำไปเป็นแบบข้อมูลอ้างอิง

ติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่าง การสแกนทั้งหมดทำในห้องมืดซึ่งให้ค่าความสว่าง 0 ลักซ์ ติดตั้งหลอดไฟแอลอีดี (LED; EVE Lighting Co., Ltd, China) ขนาด 4 7 และ 18 วัตต์ (watt) 220-240 โวลต์ (volt) ขั้วหลอด E27 ความถูกต้องของสีเท่ากับ 85 จำนวน 2 หลอดเข้ากับโคมไฟชนิดขั้วหลอด E27 โดยติดตั้งสองตำแหน่งที่ระยะ 40 เซนติเมตรและทำมุมกับแบบจำลองฟัน 45 องศา ดังรูปที่ 1 ทำให้ได้ความสว่าง 500 1,000 และ 2,400 ลักซ์ตามลำดับ วัดความสว่างที่ตำแหน่งที่จะวางแบบจำลองฟันด้วยเครื่องวัดความสว่างแบบดิจิทัล (Digital Light Meter; Mastech MS6612, China) วัดความสว่างในช่วง 0-200,000 ลักซ์ ด้วยความละเอียด 0.01 ลักซ์ ความแม่นยำ $\pm (3\% + 2)$ หลอดไฟที่นำมาทดลองมีอุณหภูมิสี 2 แบบ คือ แสงไฟสีส้ม (warm white light) และแสงไฟสีขาว (daylight) แทนอุณหภูมิสี 3,000 และ 6,500 เคลวิน ตามลำดับ



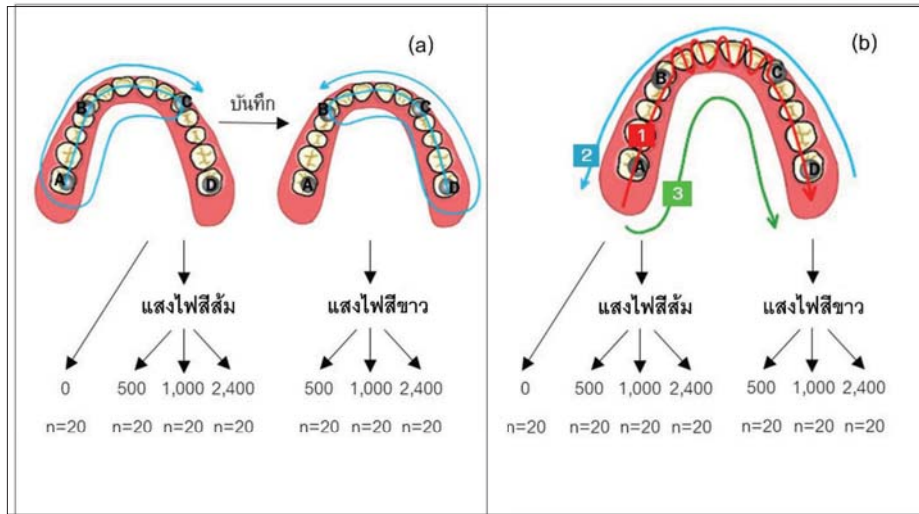
รูปที่ 1 (a) การยึดติดลูกเหล็กทรงกลมบนแบบจำลองฟัน
(b) หลอดไฟจำนวน 2 หลอดส่องแสงไปยังแบบจำลองฟัน

Fig 1. (a) Maxillary dental stone model attached metallic spheres.
(b) Two light bulbs projected to the model.

เครื่องสแกนในช่องปาก 2 ชนิด คือเครื่อง
ตรีเอ็มทรูเดฟฟินิชั่นและเครื่องทรูอส ในการศึกษานี้
ใช้ตัวย่อ TD และ TRI ตามลำดับ ก่อนเริ่มทำการทดลอง
ใช้กระดาษกาวปิดตรงตำแหน่งที่แสดงเวลาในการ
สแกน

รูปแบบของการสแกนของเครื่องตรีเอ็ม
ทรูเดฟฟินิชั่น บริษัทแนะนำให้เริ่มสแกนจากด้านบดเคี้ยว
ของฟันกรามบนขวาซึ่งที่สองมาจนถึงฟันเขี้ยวบนซ้าย
และวนกลับทางด้านลิ้นมายังฟันกรามบนขวาซึ่งที่สอง
จากนั้นวนมาที่ด้านแก้มจนถึงฟันเขี้ยวบนซ้ายจึงก
หยุด โปรแกรมทำการบันทึกและเริ่มการสแกนอีกด้าน
ในลักษณะเดียวกัน หลังจากนั้นซอฟต์แวร์จะประมวลผล

เพื่อประสานภาพที่ได้ทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน ส่วนรูปแบบ
ของเครื่องทรูอสคือเริ่มสแกนจากด้านบดเคี้ยวของ
ฟันกรามบนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งบริเวณฟัน
ตัดจนถึงฟันตัดอีกด้านหนึ่งทำการเคลื่อนหัวสแกนเป็น
ลักษณะฟันปลาเคลื่อนไปมาด้านลิ้นและด้านแก้มอย่าง
ช้า ๆ และสแกนต่อจนมาถึงด้านบดเคี้ยวของฟันกราม
บนซึ่งสุดท้ายจากนั้นวนกลับโดยสแกนไปทางด้านแก้ม
และด้านลิ้นตามลำดับ สำหรับการสแกนด้านแก้มผู้วิจัย
จับแบบจำลองตั้งขึ้น 90 องศาเพื่อรับแสงในทั้งสอง
เครื่อง สแกนภายใต้แสงเดียวกันจำนวน 4 ครั้งแล้ว
เปลี่ยนสภาวะแสงจนครบกลุ่มละ 20 ครั้ง ดังรูปที่ 2

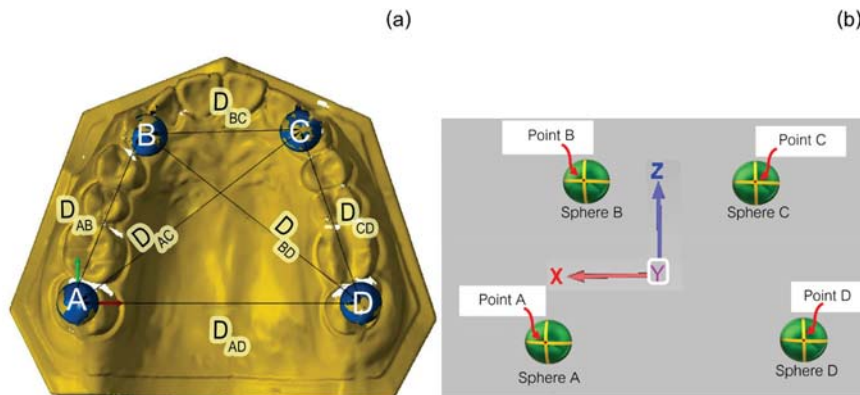


รูปที่ 2 แสดงรูปแบบการสแกนที่บริษัทแนะนำและการแบ่งกลุ่มทดลอง
(a) เครื่องตรีเอ็มทรูเดฟนิชั่น (b) เครื่องทรืออส

Fig 2. Demonstrated the scan patterns recommended by each manufacture,
(a) 3M™ True definition, (b) Trios.

หลังจากสแกนด้วยทรืออสภาพที่ได้จากการสแกนต้องแปลงข้อมูลภาพที่ได้ให้เป็นสกุลเอสทีแอล (STL) ก่อน ส่วนตรีเอ็มทรูเดฟนิชั่นสามารถใช้ข้อมูลหลังพิมพ์ปากที่เป็นสกุลเอสทีแอลได้เลย นำไฟล์ภาพไปเข้าโปรแกรมจีโอแมจิกควอลิไฟล์ (geomagic qualify

2013 program, 3DSYSTEMS, U.S.A.) เพื่อกำหนดพื้นผิวและจุดศูนย์กลางของทรงกลม แล้ววัดระยะระหว่างจุดศูนย์กลางแต่ละลูกทั้งหมด 6 เส้น จากนั้นวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนโดยเทียบกับข้อมูลอ้างอิงที่ได้จากเครื่องวัดสามมิติ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 (a) ผลการวัดระยะอ้างอิงระหว่างลูกเหล็กทรงกลมด้วยเครื่องวัดสามมิติ
(b) การใช้ซอฟต์แวร์วัดระยะในไฟล์ที่ได้จากการสแกน

Fig 3. (a) Demonstrated reference data measured by Coordinate Measuring Machine.
(b) Demonstrated scanned data measured by Geomagic qualify software.

คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative error) คือค่าสัมบูรณ์ของผลต่างที่หารด้วยค่าอ้างอิง และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relevant error) คือค่าสัมบูรณ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่หารด้วยค่าอ้างอิง ซึ่งแสดงถึงความตรงและความเที่ยงตามลำดับในแต่ละกลุ่มทดลองจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 120 ค่า และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 6 ค่า ตัวอย่างการคำนวณระหว่างจุด A กับ B แสดงในสมการที่ 1 และ 2 วิเคราะห์ผลคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

SPSS เวอร์ชัน 20 (statistical package for the science for windows: SPSS Version 20, IBM, U.S.A.) สถิติทดสอบโคลโมโกรอฟ-สเมอรันอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) และทดสอบการแจกแจงปกติด้วยสถิติทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk Test) วิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างระหว่างกลุ่มความสว่างด้วยสถิติทดสอบครัสคาล-วัลลิส (Kruskal-Wallis Test) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแสงและระหว่างเครื่องสแกนด้วยสถิติทดสอบแมน-วิตนีย์ ยู (Mann-Whitney U Test) ที่ความเชื่อมั่น 0.05

$$\text{Relative error} = |(D_{ABr} - D_{AB})/D_{ABr}|$$

--- สมการที่ 1

$$\text{Relevant error} = |SD_{AB}/D_{ABr}|$$

--- สมการที่ 2

Relative error คือค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแต่ละระยะในแต่ละกลุ่มทดลอง
 Relevant error คือค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแต่ละระยะในแต่ละกลุ่มทดลอง
 D_{AB} คือระยะระหว่างลูกเหล็กทรงกลม A และ B ของกลุ่มทดลอง
 D_{ABr} คือระยะระหว่างลูกเหล็กทรงกลม A และ B ของค่าอ้างอิง
 SD_{AB} คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะระหว่าง A

ผลการทดลอง (Results)

ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์แสดงในตารางที่ 1 พบว่ามีการแจกแจงไม่ปกติ ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

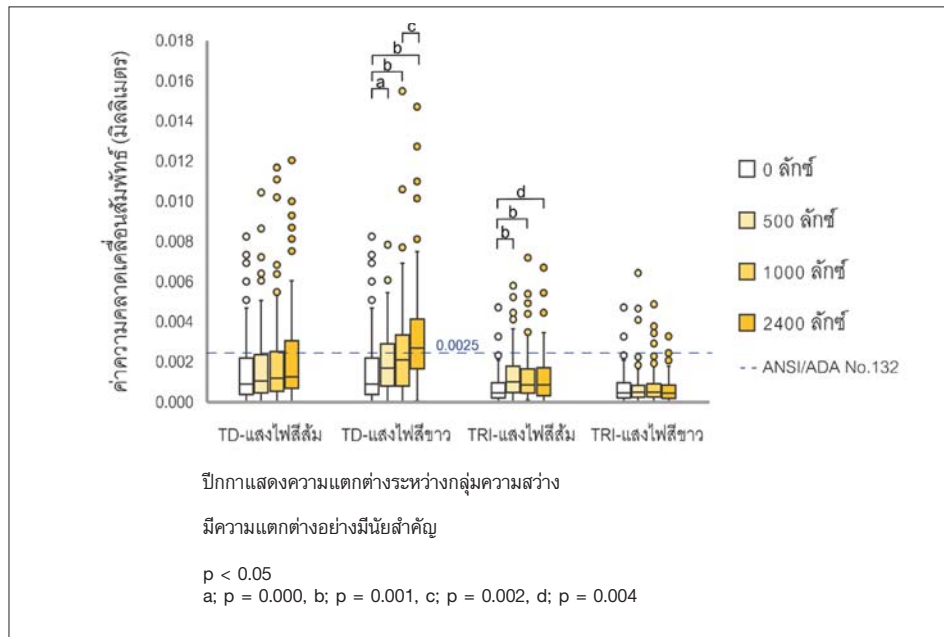
1. เปรียบเทียบระหว่างความสว่าง การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างกลุ่มความสว่างของแต่ละอุณหภูมิสี

และแต่ละเครื่องด้วยสถิติทดสอบครัสคาล-วัลลิส พบว่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของทรีเอ็มทรูเคฟฟินิชั่นในกลุ่มแสงไฟสีขาวและของทรีออลในกลุ่มแสงไฟสีส้ม ดังแสดงในแผนภูมิรูปที่ 4 ส่วนความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (ไมโครเมตร), ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (มิลลิเมตร), ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (มิลลิเมตร) และจำนวนค่าที่ยอมรับได้

Table 1. Absolute deviation (μm), relative errors (mm), relevant errors (mm), and amount of acceptable errors.

Scanner	light condition		Absolute	Median relative	Median	Amount of acceptable	
			deviation (μm)	error (mm)	relevant error (mm)	relative errors	relevant errors
TD	-	0	65.39 (83.86)	0.000904 (0.001809)	0.001382 (0.001769)	86	5
	Warm white	500	76.03 (95.41)	0.001058 (0.001900)	0.001456 (0.001418)	91	5
	Warm white	1000	93.53 (128.01)	0.001188 (0.001971)	0.002497 (0.003023)	90	3
	Warm white	2400	100.98 (124.96)	0.001253 (0.002374)	0.002291 (0.002757)	82	5
	Daylight	500	89.47 (76.50)	0.001688 (0.002082)	0.001723 (0.001067)	84	5
	Daylight	1000	118.58 (140.57)	0.002106 (0.002521)	0.002427 (0.002140)	70	3
	Daylight	2400	138.83 (129.29)	0.002700 (0.002486)	0.002908 (0.002792)	51	2
TRI	-	0	31.27 (36.56)	0.000457 (0.000749)	0.000475 (0.000559)	118	6
	Warm white	500	58.07 (57.34)	0.001011 (0.001305)	0.001099 (0.001257)	106	5
	Warm white	1000	57.43 (64.76)	0.000859 (0.001196)	0.001087 (0.001251)	107	5
	Warm white	2400	53.93 (61.65)	0.000861 (0.001392)	0.001056 (0.001291)	109	5
	Daylight	500	33.23 (42.46)	0.000489 (0.000595)	0.000583 (0.000811)	117	6
	Daylight	1000	37.97 (49.64)	0.000494 (0.000659)	0.000532 (0.000969)	110	6
	Daylight	2400	30.32 (35.17)	0.000451 (0.000668)	0.000466 (0.000428)	117	6



รูปที่ 4 แผนภาพกล่องแสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแต่ละกลุ่มแยกตามชนิดเครื่องสแกน อุณหภูมิสี และความสว่าง

Fig 4. Demonstrated relative errors and significant differences between each group

2. เปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิสีของแสงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างแสงสองอุณหภูมิสีของแต่ละความสว่างและแต่ละเครื่องด้วยสถิติทดสอบ

แมน-แมนวิทนีย์ ยู พบว่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแสงไฟสีส้มและแสงไฟสีขาวมีความแตกต่างกันในทุกกลุ่ม ส่วนความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ไม่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่า p-value ในการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างอุณหภูมิสี ที่ความสว่างและชนิดเครื่องสแกนในช่องปาก

Table 2. Demonstrated the p-value of relative error and relevant error comparison among color temperatures at each illuminance and intraoral scanners.

ความสว่าง (ลักซ์)	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์		ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	
	TD	TRI	TD	TRI
0	-	-	-	-
500	0.003	0.000	NS	NS
1,000	0.002	0.000	NS	NS
2,400	0.000	0.000	NS	NS

NS คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

3. เปรียบเทียบระหว่างเครื่องสแกนในช่องปาก การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างเครื่องในแต่ละอุณหภูมิสีและแต่ละกลุ่มความสว่าง พบความแตกต่าง

ของค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในทุกสภาวะแสง ยกเว้นแสงไฟสีส้ม 500 ลักซ์ และมีความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในบางกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่า p-value ในการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อน สัมพัทธ์ระหว่างเครื่องสแกนในช่องปาก ที่ความสว่างและอุณหภูมิสีเดียวกัน

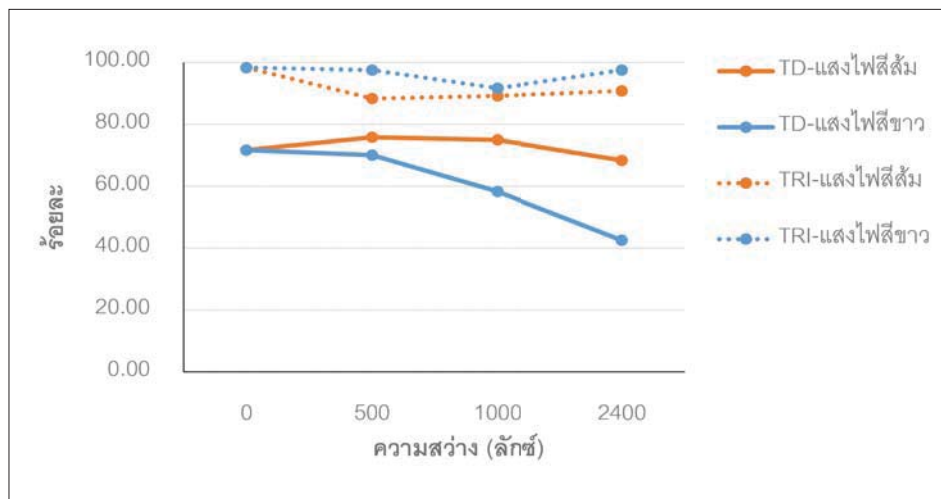
Table 2. Demonstrated the p-value of relevant error comparison among intraoral scanners at each illuminance and color temperature.

ความสว่าง (ลักซ์)	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์		ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	
	แสงไฟสีส้ม	แสงไฟสีขาว	แสงไฟสีส้ม	แสงไฟสีขาว
0	0.000	0.000	NS	NS
500	NS	0.000	NS	0.004
1000	0.036	0.000	0.026	0.004
2400	0.000	0.000	NS	0.004

NS คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การวัดความแม่นยำของการสแกนบนพื้นที่มีระยะทางยาวตามมาตรฐาน ANSI/ADA No.132 กำหนดความจริงและความเที่ยงที่ยอมรับคือความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่น้อยกว่า 0.0025 มิลลิเมตร (23) จากการสแกนแต่ละครั้งวัด

ระยะห่างทั้งหมด 6 ระยะ และทำซ้ำกลุ่มละ 20 ครั้ง ทำให้ได้ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ทั้งหมด 120 ค่า จำนวนค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับแสดงเป็นร้อยละ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงจำนวนค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ยอมรับได้

Fig 5. Demonstrated the percentage of acceptable relative errors.

บทวิจารณ์ (Discussion)

ปัจจุบันการศึกษาความแม่นยำของเครื่องสแกนในห้องปฏักยังไม่มึรูปแบบที่แน่นอน ความแตกต่างของแต่ละการศึกษาอาจเกิดจากจำนวนครั้งของการสแกน จำนวนผู้สแกน ระยะทางในการสแกน และแบบจำลองพื้นบางการศึกษาใช้พอลิเมทิลเมทาครีเลต (polymethyl methacrylate) ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหอยู่ระหว่างเคลือบฟันและเนื้อฟัน (10,16) ขณะที่ Dutton และคณะปี 2022 ศึกษาความแม่นยำของเครื่องทีริออส เมื่อมีวัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหและความโปร่งแสงต่างกันแบบจำลองฟันพบว่าความจริงและความเที่ยงไม่แตกต่างกัน (15)

การศึกษาความแม่นยำส่วนใหญ่ใช้วิธีการซ้อนทับภาพ (9,10,12,17) แต่ Guth และคณะ ปี 2017 ไม่ใช้ เนื่องจากหลีกเลี่ยงความผิดพลาดในกระบวนการคำนวณเพื่อซ้อนทับภาพจากการสแกนทั้งขากรรไกรซึ่งมีข้อมูลขนาดใหญ่ (24) ขณะที่ van der Meer และคณะ ปี 2012 ใช้การวัดมิติ โดยนำวัตถุอ้างอิงรูปทรงกระบอกยึดในแบบจำลอง แล้ววัดระยะและมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าอ้างอิง (5) ส่วน Kuhr และคณะปี 2016 สแกนทั้งส่วนโค้งของขากรรไกรในผู้ป่วยด้วยเครื่องทีริเอ็มทรูเดฟฟินิชันซ้อนทับภาพเฉพาะบริเวณลูกเหล็กทรงกลมและวัดระยะระหว่างลูกเหล็กทรงกลม 6 ระยะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (absolute deviation)เฉลี่ย 23-86 ไมโครเมตร และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 14-73 ไมโครเมตร (22) การศึกษาส่วนใหญ่แสดงผลความตรงจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และความเที่ยงจากความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลความตรง (8,9,12-15,17, 19, 25) ในการศึกษานี้ได้ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของเครื่องทีริเอ็มทรูเดฟฟินิชัน 65-139 ไมโครเมตรและเครื่องทีริออส 30-58 ไมโครเมตรซึ่งสูงกว่าการศึกษาก่อนหน้าเนื่องจากเป็นผลการทดลองจากแสงที่แตกต่างกัน ในขณะที่การศึกษาอื่นไม่ได้ศึกษาเรื่องความสว่างและอุณหภูมิของแสง ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ทางสถิติในการศึกษานี้คือค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ซึ่งแสดงถึงความตรงและความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์แสดงถึงความเที่ยงตามวิธีของมาตรฐาน ANSI/ADA No.132

(23) แม้ว่าไม่สามารถนำตัวเลขไปเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น แต่มีแนวโน้มว่าผลการศึกษาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนนี้เหมือนกับการศึกษาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

การเปรียบเทียบระหว่างความสว่างในเครื่องทีริออส คลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เมื่อไม่มีแสงต่ำกว่ากลุ่มที่มีแสงสว่างแสงไฟสีส้มอย่างมีนัยสำคัญ ความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีแสงจากภายนอกอาจเกิดจากการสะท้อนของลำแสงจากพื้นผิวของแบบจำลองฟันที่กระจัดกระจายส่งผลต่อปริมาณลำแสงที่โฟกัสกับระนาบพื้นผิวซึ่งจะกลับเข้าสู่รูรับแสง ทำให้สูญเสียความคมชัดของภาพไปในบางตำแหน่ง (4) ความสว่างอาจจะไปรบกวนกระบวนการในการสร้างภาพสามมิติ แตกต่างจาก Revilla-Leon และคณะ ปี 2019 ที่พบว่าความตรงดีที่สุดในกลุ่ม 1,003 ลักซ์ รองลงมาคือกลุ่มไม่มีแสง 10,000 ลักซ์ และ 500 ลักซ์ (21)

การเปรียบเทียบระหว่างความสว่างในเครื่องทีริเอ็มทรูเดฟฟินิชัน คลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เมื่อไม่มีแสงต่ำกว่ากลุ่มที่มีแสงสว่างแสงไฟสีขาวอย่างมีนัยสำคัญ และกลุ่ม 500 ลักซ์ต่ำกว่ากลุ่ม 2,400 ลักซ์ เมื่อมีความสว่างมากขึ้นความตรงในการสแกนแย่ง แตกต่างจากการศึกษาของ Arakida และคณะ ปี 2018 ซึ่งสแกนฟันหลัง 4 ซี่ และใช้วิธีการซ้อนทับภาพ พบว่าความตรงที่ความสว่าง 500 ลักซ์ดีกว่ากลุ่มที่ไม่มีแสงกับ 2,500 ลักซ์ และไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มไม่มีแสงกับกลุ่ม 2,500 ลักซ์ (19)

การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิสีของแสงในเครื่องทีริเอ็มทรูเดฟฟินิชัน จากการศึกษาที่แสงไฟสีส้มมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่ำกว่าแสงไฟสีขาวสอดคล้องกับการศึกษาของ Arakida และคณะ ปี 2018 เมื่อใช้ความสว่าง 500 ลักซ์ พบว่าแสงสีเหลือง (3,900 เคลวิน) มีความตรงมากกว่ากลุ่มอื่น ได้แก่ แสงสีส้ม (4,100 เคลวิน) สีขาว (7,500 เคลวิน) และสีฟ้า (19,000 เคลวิน) ไม่ได้วิเคราะห์ถึงอิทธิพลของอุณหภูมิสีว่ามีผลต่อความแม่นยำอย่างไร (19) ส่วนเครื่องทีริออสพบว่าแสงไฟสีขาวมีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่ำกว่าแสงไฟสีส้ม

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดเครื่องสแกนเครื่องหรืออสมิค่าคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ต่ำกว่าเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันอย่างมีนัยสำคัญในเกือบทุกสภาวะแสง ยกเว้นที่แสงไฟสีส้มความสว่าง 500 ลักซ์สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่าเครื่องหรืออสมิค่าความจริงและความเที่ยงสูงกว่าเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชัน (26,27) ขณะที่ Vandeweghe และคณะ ปี 2017 เปรียบเทียบความแม่นยำในการสแกนเพื่อพิมพ์รากฟันเทียมด้วยวิธีการซ้อนทับภาพ พบว่าความจริงและความเที่ยงของสองเครื่องไม่แตกต่างกัน (28)

ความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ไม่พบความแตกต่างระหว่างความสว่างในทั้งสองเครื่อง ทั้งนี้ข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์สถิติมีเพียงกลุ่มละ 6 ค่าซึ่งได้จากจำนวนระยะห่างระหว่างลูกเหล็กทรงกลม 6 ระยะ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความสว่างเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์

ความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์และความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์เฉลี่ยที่สูงเกิน 0.0025 มิลลิเมตร พบในเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันกลุ่มแสงไฟสีขาวความสว่าง 2,400 ลักซ์ และมีจำนวนค่าที่ยอมรับได้น้อยที่สุดคือร้อยละ 42.50 ขณะที่เครื่องหรืออสมิค่าความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์เฉลี่ยที่ยอมรับได้ในทุกแสงและมีจำนวนค่าที่ยอมรับมากที่สุดในกลุ่มที่ไม่มีแสงคือร้อยละ 98.33

แสงของเครื่องหรืออสมิเป็นแสงโพลาไรซ์ซึ่งอาจปิดกั้นแสงสะท้อนที่กระเจิงทำให้ได้แสงที่มีประสิทธิภาพ (29) ความเร็วในการจับภาพของหรืออสมิสูงกว่าเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชัน (30) ส่วนเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงสีฟ้า (blue light emitting diodes) เป็นจังหวะเพื่อถ่ายภาพวีดีโอเหนือผิวฟันและสร้างเป็นแบบจำลองฟัน ซึ่งการซ้อนภาพจากการสแกนอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง ในทางคลินิกจำเป็นต้องแยกพื้นที่ที่ต้องการจับภาพอย่างเหมาะสม (26) หากลำแสงที่สะท้อนจากวัตถุสว่างสูงเกินไปจะทำให้ตัวรับภาพอ้อมตัว ขัดขวางระบบในการคำนวณตำแหน่งของจุดและจับภาพซ้ำลง (31) ข้อดีของเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันคือหัวสแกนขนาดเล็ก ใช้งานในผู้ป่วยได้ง่าย แต่การใช้ผงไททาเนียมออกไซด์เคลือบผิวฟันทำให้ใช้งานในปากจริงยากเมื่อต้องสแกนทั้งขากรรไกร

ต้องควบคุมความหนา ซึ่งผงไททาเนียมออกไซด์ทำให้เกิดความหนาเฉลี่ยตั้งแต่ 21-110 ไมโครเมตร (32) ส่วนวิธีการเคลื่อนหัวสแกนที่แตกต่างกันซึ่งถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต มีการศึกษาวิธีการเคลื่อนหัวสแกนของหรืออสมิพบว่าส่งผลต่อค่าความเที่ยงของภาพ (17) ความแม่นยำของเครื่องสแกนที่แตกต่างกันอาจเกิดจากเทคโนโลยีของระบบการจับภาพและซอฟต์แวร์ของเครื่องที่ต่างกันทั้งนี้ไม่ได้มีการเปิดเผยถึงรายละเอียดและการศึกษายังมีน้อยจึงอธิบายได้ยาก

จากการศึกษานี้พบว่าแสงสว่างจากภายนอกส่งผลต่อเครื่องสแกนในช่องปาก คือ แสงไฟสีส้มทำให้ความแม่นยำของเครื่องหรืออสมิลดลง ความสว่างที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาในการสแกนมากขึ้น (19) ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อน แต่ในการศึกษานี้ไม่ได้นำเสนอเวลาที่ใช้ในการสแกน นอกจากนี้ผู้วิจัยพบว่าความคลาดเคลื่อนเกิดมากที่สุดที่ระยะระหว่างเหล็กทรงกลม A ถึง D ซึ่งอยู่บริเวณพื้นกรามสอดคล้องกับการศึกษาอื่น (9,11,12,25)

การศึกษานี้ทดลองภายนอกกร่างกาย (*in vitro*) ไม่มีปัจจัยภายในช่องปากมาเกี่ยวข้อง ได้แก่ น้ำลาย เลือด ลิ้น กระพุ้งแก้ม และการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยซึ่งแบบจำลองได้รับแสงมากกว่าในทางคลินิก อาจทำให้ความแม่นยำและแสงสว่างไม่ตรงตามภายในช่องปากในผู้ป่วย อีกทั้งวิเคราะห์เฉพาะวิธีการวัดระยะเพียงวิธีเดียว ไม่ได้วัดด้วยการซ้อนทับภาพและการเปลี่ยนแปลงของมุม ในการศึกษาต่อไปควรศึกษาในทางคลินิกและวัดความคลาดเคลื่อนด้วยวิธีอื่นเพิ่มเติม

บทสรุป (Conclusion)

1. ความสว่างส่งผลให้ความตรงในการสแกนลดลง เครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันมีผลในกลุ่มแสงไฟสีขาว โดยความสว่าง 2,400 ลักซ์ มีความตรงและความเที่ยงน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ขณะที่เครื่องหรืออสมิมีผลในแสงไฟสีส้ม แต่ความสว่างไม่มีผลต่อความเที่ยง
2. อุณหภูมิสีของแสงส่งผลให้ความตรงเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันแสงไฟสีส้มมีความตรงสูงกว่าแสงไฟสีขาว ขณะที่เครื่องหรืออสมิตรงกันข้าม แต่อุณหภูมิสีของแสงไม่มีผลต่อความเที่ยง

3. เครื่องมือหรือสมีมีความตรงสูงกว่เครื่อง
ตรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันในเกือบสภาวะทุกแสง ส่วนความ
เที่ยงเครื่องหรือสสูงกว่เครื่องตรีเอ็มทรูเดฟฟินิชัน
ในบางกลุ่ม

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยวิจัย
เทคโนโลยีและวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานดิจิทัลทางทันตกรรม
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ในการใช้เครื่องมือหรือส ขอขอบคุณบริษัท 3 เอ็ม
ประเทศไทยจำกัด ที่เอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องตรีเอ็มทรู
เดฟฟินิชันและขอขอบคุณ ดร.วิโรจน์ สุदारธรรมสถาบัน
มาตรวิทยาแห่งชาติในการอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องวัด
สามมิติซีเอ็มเอ็ม

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):149. doi: 10.1186/s12903-017-0442-x.
2. Schepke U, Meijer HJ, Kerdijk W, Cune MS. Digital versus analog complete-arch impressions for single-unit premolar implant crowns: Operating time and patient preference. *J Prosthet Dent*. 2015;114(3):403-6.
3. Haddadi Y, Bahrami G, Isidor F. Evaluation of operating time and patient perception using conventional impression taking and intraoral scanning for crown manufacture: A split-mouth, randomized clinical study. *Int J Prosthodont*. 2018;31(31):55-9.
4. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkyänen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt Lasers Eng*. 2014;54:203-21.

5. Van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One*. 2012;7(8):e43312. doi: 10.1371/journal.pone.0043312.

6. International organization for standardization. ISO 5725 -1 accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results-Part 1: General principles and definitions. Berlin: ISO; 1994.

7. Abduo J, Elseyoufi M. Accuracy of intraoral scanners: A systematic review of influencing factors. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2018;26(3):101-21.

8. Ender A, Zimmermann M, Attin T, Mehl A. *In vivo* precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clin Oral Investig*. 2016;20(7):1495-504.

9. Ender A, Attin T, Mehl A. *In vivo* precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent*. 2016;115(3):313-20.

10. Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An *in vitro* analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*. 2017;118(1):36-42.

11. Resende CCD, Barbosa TAQ, Moura GF, Tavares LDN, Rizzante FAP, George FM, et al. Influence of operator experience, scanner type, and scan size on 3D scans. *J Prosthet Dent*. 2021;125(2):294-99.

12. Su TS, Sun J. Comparison of repeatability between intraoral digital scanner and extraoral digital scanner: An *in-vitro* study. *J Prosthodont Res*. 2015;59(4):236-42.

13. Son K, Lee KB. Effect of Tooth types on the accuracy of dental 3D scanners: An *in vitro* study. *Materials* (Basel). 2020;13(7):1744.
14. Bocklet C, Renne W, Mennito A, Bacro T, Latham J, Evans Z, et al. Effect of scan substrates on accuracy of 7 intraoral digital impression systems using human maxilla model. *Orthod Craniofac Res*. 2019;22(Suppl 1):168-74.
15. Dutton E, Ludlow M, Mennito A, Kelly A, Evans Z, Culp A, et al. The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32(2):204-18.
16. Nedelcu RG, Persson ASK. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An *in vitro* comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent*. 2014;112(6):1461-71.
17. Muller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int*. 2016;47(4):343-9.
18. Kurz M, Attin T, Mehl A. Influence of material surface on the scanning error of a powder-free 3D measuring system. *Clin Oral Investig*. 2015;19(8):2035-43.
19. Arakida T, Kanazawa M, Iwaki M, Suzuki T, Minakuchi S. Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intra oral scanner. *J Prosthodont Res*. 2018;62(3):324-9.
20. Announcement of the Department of Labor Protection and Welfare: light intensity standard, Royal Thai Government Gazette. 135, Pt 39 (Feb 21, 2018)
21. Revilla-León M, Jiang P, Sadeghpour M, Piedra-Cascón W, Zandinejad A, Özcan M, et al. Intraoral digital scans-Part 1: Influence of ambient scanning light conditions on the accuracy (trueness and precision) of different intraoral scanners. *J Prosthet Dent*. 2020;124(3):372-8.
22. Kuhr F, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J Dent*. 2016;55:68-74.
23. American National Standard Institute and American Dental Association. Standard No. 132. Scanning Accuracy of Dental Chairside and Laboratory CAD/CAM Systems. Chicago, IL, USA: American Dental Association; 2015.
24. Güth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig*. 2017;21(5):1445-55.
25. Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An *in vitro* analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*. 2017;118(1):36-42.
26. Hack GD, Patzelt S. Evaluation of the accuracy of six intraoral scanning devices: An *in-vitro* investigation. *ADA Prof Prod Rev* 2015;10(4):1-5.
27. Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: A comparative *in vitro* study. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):92.

28. Vandeweghe S, Vervack V, Dierens M, De Bruyn H. Accuracy of digital impressions of multiple dental implants: An *in vitro* study. Clin Oral Implants Res. 2017;28(6):648-53.

29. Lee KM. Comparison of two intraoral scanners based on three-dimensional surface analysis. Prog Orthod. 2018;19(1):6. doi: 10.1186/s40510-018-0205-5.

30. Hwang H, Chou C, Chen YJ, Yao C. An overview of digital intraoral scanners: past, present and future—from an orthodontic perspective. Taiwan J Orthod. 2018;30(3):148-62.

31. Blanco D, Fernández P, Cuesta E, Suárez CM. Influence of ambient light on the quality of laser digitized surfaces. Proceedings of the World Congress on Engineering 2008; 2008 July 2-4; London, UK. Hong Kong: Newswood Limited; 2008.

32. Dehurtevent M, Robberecht L, Béhin P. Influence of dentist experience with scan spray systems used in direct CAD/CAM impressions. J Prosthet Dent. 2015;113(1):17-21.

ติดต่อบทความ:

ผศ.ทพ.ไพฑูรย์ ดาวสดใส

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เลขที่ 15 ต.คอหงส์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

โทรศัพท์: 074 427 561

อีเมล: paitoon.d09@gmail.com

Corresponding author:

Assist.Prof.Dr.Paitoon Daosodsai

Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of
Dentistry, Prince of Songkla University, 15
Karnjanavanich Rd., Kho Hong, Hat Yai, Songkhla
90112, Thailand.

Tel: +66 74 42 7561

E-mail: paitoon.d09@gmail.com

Received Date: Jul 15, 2021

Revised Date: Aug 27, 2021

Accepted Date: Feb 18, 2022