

## ผลของลำดับการสแกนและสถานะไร้ฟันบางส่วนต่อความแม่นยำบริเวณฟันหลังของการพิมพ์ปากดิจิทัลแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกร

### The Effect of Scanning Sequence and Partial Edentulism on the Accuracy of Full Arch Digital Impression at Posterior Teeth

เทวฤทธิ์ แซ่ยิบ<sup>1</sup>, จักรี องค์กรเทียมศักดิ์<sup>1</sup>

Tewarit Saeyib<sup>1</sup>, Chakree Ongthiemsak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

<sup>1</sup>Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของการสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรโดยวิเคราะห์เฉพาะฟันหลังบนแบบจำลองที่มีฟันครบและแบบจำลองไร้ฟันกรามน้อยบนขาขวาซี่ที่สองและฟันกรามบนขาขวาซี่ที่หนึ่งด้วยเครื่องสแกนในช่องปากระบบทรียอสและทรียเอ็มทรูเดฟฟินิชันโดยลำดับการสแกนที่ต่างกัน 2 ลักษณะ คือ สแกนจากขวามาซ้ายและอีกกลุ่มสแกนย้อนกลับ รูปแบบละ 10 ครั้ง ตัดภาพสแกนให้เหลือเฉพาะฟันกรามน้อยบนขาขวาซี่ที่หนึ่งจนถึงฟันกรามบนขาขวาซี่ที่สอง วัดความเที่ยงโดยซ้อนภาพสแกนในกลุ่มเดียวกัน และวัดความตรงโดยซ้อนกับภาพอ้างอิง ดูความคลาดเคลื่อนด้วยโปรแกรมจีโอเมจิกควอลิฟาย 2013 วิเคราะห์ความเที่ยงด้วยสถิติครัสคาล-วัลลิสที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม วิเคราะห์ความตรงด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ทาง พบว่า ทรียอสมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย  $12.86 \pm 3.81$  ไมโครเมตร ต่ำกว่าทรียเอ็มทรูเดฟฟินิชันซึ่งมีค่าเฉลี่ย  $15.03 \pm 4.17$  ไมโครเมตร ( $p=0.013$ ) ทรียอสซึ่งสแกนในแบบจำลองที่มีฟันครบมีค่า  $14.71 \pm 3.91$  ไมโครเมตร สูงกว่าแบบจำลองที่มีฟันหายไปบางส่วนซึ่งมีค่า  $11.01 \pm 2.71$  ไมโครเมตร ( $p=0.003$ ) สำหรับลำดับการสแกนไม่พบความแตกต่างของความคลาดเคลื่อน จึงสรุปได้ว่า ลำดับการสแกน เครื่องสแกนทั้งสองระบบและสถานะไร้ฟันไม่มีผลต่อความเที่ยง ทรียอสให้ค่าความตรงสูงกว่าทรียเอ็มทรูเดฟฟินิชัน ทรียอสที่สแกนในแบบจำลองที่มีฟันหายไปบางส่วนให้ค่าความตรงสูงกว่าแบบจำลองที่มีฟันครบ การสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรไม่ว่าจะเริ่มสแกนจากฝั่งใดของขากรรไกรก็ไม่ส่งผลต่อความตรงของภาพสแกนบริเวณฟันหลังที่ระยะฟัน 4 ซี่

**คำสำคัญ:** การพิมพ์ปากแบบดิจิทัล, เครื่องสแกนในช่องปาก, ความแม่นยำ, ลำดับการสแกน, สถานะไร้ฟันบางส่วน

#### Abstract

The purpose of this study was to evaluate the accuracy on posterior teeth of full arch digital impression in different scanning sequences on fully dentate and partial edentulism by two intraoral scanners (TRIOS<sup>®</sup> and 3M<sup>™</sup> True Definition). Two dental models were prepared: fully dentate and partial edentulism of maxillary right second premolar and maxillary right first molar. Full arch scans started from right to left were compared with the reverse direction (n=10). Only digital data on maxillary right first premolar and maxillary right second molar from STL files

were superimposed within group to evaluate precision and superimposed with the reference scan (high accurate scanner) to evaluate trueness using Geomagic Qualify 2013. Kruskal-Wallis test was implemented to compute precision ( $\alpha=0.05$ ) and the results showed that precision of all groups were not different. Three-way ANOVA was used to analyze trueness ( $\alpha=0.05$ ) and the results showed that TRIOS<sup>®</sup> had significantly lower mean deviation ( $12.86 \pm 3.81\mu\text{m}$ ) than 3M<sup>™</sup> True Definition ( $15.03 \pm 4.17 \mu\text{m}$ ) ( $p=0.013$ ). TRIOS<sup>®</sup> scanned on fully dentate model had significantly higher mean deviation ( $14.71 \pm 3.91 \mu\text{m}$ ) than partial edentulous model ( $11.01 \pm 2.71 \mu\text{m}$ ) ( $p=0.003$ ). No statistically significant difference between scanning sequences was observed. In conclusion, intraoral scanner, scanning sequence and partial edentulism did not affect the precision. TRIOS<sup>®</sup> had better trueness than 3M<sup>™</sup> True Definition. Partial edentulous model scanned with TRIOS<sup>®</sup> was found to have higher trueness than fully dentate model. No matter whether the full arch scanning started from any quadrant, it did not affect the trueness on the posterior data when considered in a short span.

**Keyword:** Digital impression, Intra-oral scanner, Accuracy, Scanning sequence, Partial edentulism

Received Date: Jul 23, 2019

Revised Date: Aug 8, 2019

Accepted Date: Aug 8, 2019

doi: 10.14456/jdat.2019.55

#### ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

จักรี ่องค์เทียมศักดิ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ถนนกาญจนาภิเษก หาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย  
โทรศัพท์: 0-7442-9874, 08-16915401 อีเมล: chakree.o@psu.ac.th

#### Correspondence to:

Chakree Ongthiemsak. Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University, Kanjanavanich Road, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand Tel: 0-7442-9874, 08-16915401 Email: chakree.o@psu.ac.th

## บทนำ

การพิมพ์ปากแบบดิจิทัลด้วยเครื่องสแกนในช่องปาก (intra-oral scanner) มีข้อดีคือ ใช้เวลาพิมพ์น้อยกว่าและผู้ป่วยรู้สึกสบายกว่าการพิมพ์ปากแบบดั้งเดิมที่ต้องใช้วัสดุพิมพ์ปากสามารถออกแบบและผลิตชิ้นงานทางทันตกรรมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ (CAD/CAM) โดยไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองฟันเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน ช่วยให้สื่อสารกับช่างทันตกรรมได้ง่ายขึ้น และลดเวลาการส่งปรับแก้ชิ้นงาน<sup>1</sup> เครื่องสแกนในช่องปากมีหลายระบบ เช่น เครื่องสแกนระบบคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ (confocal laser scanner) มีความสามารถในการเก็บภาพเฉพาะบริเวณจุดโฟกัสที่ระดับความลึกที่เลือก ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า การตัดด้วยแสง (optical sectioning) การบันทึกภาพเป็นการเก็บสัญญาณแสงจากจุดโฟกัสที่ละจุดแล้วนำสัญญาณทั้งหมดมาสร้างเป็นภาพ 3 มิติไม่จำเป็นต้องเตรียมพื้นผิววัตถุก่อนการสแกน เครื่องสแกนชนิดนี้ได้แก่ ไอเทโร (iTero<sup>®</sup>, Align Technology Inc, USA) และ ทริออส (TRIOS<sup>®</sup>, 3Shape, Denmark)<sup>2</sup> เครื่องสแกนระบบแอคทีฟเวฟ

ฟรอนต์แซมพลิง (active wavefront sampling scanner) จับภาพพื้นผิวสามมิติโดยใช้กล้องเพียงตัวเดียวและระบบรับแสงที่อยู่นอกแกนหมุน ซึ่งหมุนเป็นวงกลมรอบแกนแสง (optical axis) โดยฉายลำแสงไปยังวัตถุให้แสงนั้นสะท้อนกลับมายังตัวรับภาพที่ได้คือภาพในระนาบโฟกัสและภาพที่หลุดโฟกัส โดยเครื่องจะคำนวณความพรั้มวของภาพที่หลุดโฟกัสและปรับภาพให้มองเห็นได้ชัดเจนตามสูตรทางคณิตศาสตร์ของเครื่อง การสแกนด้วยวิธีนี้ส่วนใหญ่จำเป็นต้องเตรียมพื้นผิวโดยใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อลดการสะท้อนของแสงร่วมด้วย ตัวอย่างเครื่องสแกนชนิดนี้ได้แก่ ลาวาซีโอเอส (Lava<sup>™</sup> C.O.S., USA) และ ทรีเอ็มทรูเดฟิเนียน (3M<sup>™</sup> True Definition, USA)<sup>2,3</sup>

ความแม่นยำ (accuracy) ตามมาตรฐาน ISO 5725-1<sup>4</sup> ประกอบด้วย ความตรง (trueness) คือความใกล้เคียงค่าที่แท้จริงหรือค่าอ้างอิงที่ยอมรับ และความเที่ยง (precision) คือค่าที่ได้จากการวัดหลาย ๆ ครั้งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันหรือพ้องกัน การวัด

ความตรงของการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลสามารถทำได้สองวิธี ได้แก่ การวัดระยะหรือมุมที่ได้จากภาพสแกนโดยตรงโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่สามารถวัดค่าสามมิติได้ แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับระยะหรือมุมที่วัดได้จากเครื่องวัดพิกัด (Coordinate measuring machine, CMM) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูง การวัดในลักษณะนี้จำเป็นต้องวางวัตถุทรงเรขาคณิตแทรกเข้าไปในแบบจำลองฟันหรือในช่องปาก และวัดระยะหรือค่ามุมจากวัตถุเหล่านั้นแทนซึ่งทำได้ง่ายและแม่นยำกว่าการวัดจากซีฟันที่มีรูปร่างโค้งมนซึ่งหาพิกัดได้ยากกว่า วัตถุทรงเรขาคณิตอาจเป็นรูปทรงกลมทรงกระบอก<sup>5</sup> หรือทรงปริซึมสามเหลี่ยม<sup>6</sup> การวัดความตรงของการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลอีกวิธีคือ การนำภาพสแกนที่ได้จากการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลมาซ้อนทับกับภาพสแกนที่ได้จากเครื่องสแกนที่มีความละเอียดสูงยิ่งภาพสแกนซ้อนทับสนิทกับภาพสแกนอ้างอิงมากเพียงใดก็แสดงว่ามีความตรงสูง วิธีการนี้สามารถนำภาพสแกนฟันและเนื้อเยื่อมาเปรียบเทียบได้โดยตรง โดยไม่ต้องพึ่งวัตถุทรงเรขาคณิต สำหรับการวัดความเที่ยงนั้นทำได้โดยนำข้อมูลจากการสแกนในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกันโดยตรงโดยไม่ต้องเทียบกับข้อมูลอ้างอิงใด

Ender และคณะ<sup>7,8</sup> นำภาพสแกนที่ได้จากเครื่องสแกนช่องปากแบบดิจิทัลมาซ้อนทับกับภาพสแกนที่มีความละเอียดสูงเพื่อประเมินความเบี่ยงเบนของการสแกน พบว่ากรณีที่สแกนขากรรไกรบางส่วน (partial arch) มีความแม่นยำใกล้เคียงกับการพิมพ์ปากแบบดั้งเดิม ส่วนการสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกร (full arch) พบว่ามีความแม่นยำน้อยกว่าการพิมพ์ปากแบบดั้งเดิม โดยบริเวณซีฟันหลังจะเกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Patzelt และคณะ<sup>9</sup> ที่พบว่าเมื่อสแกนจากด้านท้ายจนถึงฟันหน้าซึ่งเป็นบริเวณที่มีจุดอ้างอิงน้อยและยากในการสแกน ทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของความคลาดเคลื่อนของภาพสแกน และเกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้นในส่วนท้ายสุดของขากรรไกร

Kim และคณะ<sup>10</sup> พบว่าเมื่อเพิ่มจุดอ้างอิงเพิ่มเติม (artificial landmark) บนสันเหงือกกว้างระหว่างซีฟันด้วยวัสดุลูมินาขนาด 12 ตารางมิลลิเมตร ภาพสแกนฟันที่ได้มีความแม่นยำสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการปล่อยให้สันเหงือกกว้าง เนื่องจากสันเหงือกกว้างมีพื้นผิวที่เรียบทำให้การต่อภาพสแกนเป็นไปได้ยากกว่าการมีจุดอ้างอิงเพิ่มเติม ดังนั้นจำนวนฟันและสันเหงือกกว้างอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความแม่นยำของการสแกน แต่การศึกษาเรื่องผลของสันเหงือกกว้างยังมีจำกัด

การศึกษาความคลาดเคลื่อนของการสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรในอดีตเป็นการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของภาพสแกนแบบต่อเนื่องตลอดทั้งขากรรไกรซึ่งส่งผลต่อชิ้นงานทางทันตกรรมกรณีที่ทำเป็นชิ้นยาวต่อเนื่องตลอดแนวส่วนโค้งขากรรไกร อย่างไร

ก็ตามในงานฟื้นฟูสภาพช่องปาก (oral rehabilitation) กรณีที่ต้องสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกร แต่ชิ้นงานทางทันตกรรมเป็นเพียงแคครอบฟันหรือสะพานฟันช่วงสั้น (short span) โดยเฉพาะบริเวณฟันหลังจะเกิดความคลาดเคลื่อนอย่างไร ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่เคยมีการนำภาพสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรเฉพาะฟันหลังซึ่งเป็นบริเวณที่พบว่ามีภาระเบี่ยงเบนมากมาวิเคราะห์แบบช่วงสั้น ๆ ผู้วิจัยจึงเกิดข้อสงสัยว่ากรณีที่ต้องสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกร ภาพสแกนฟันหลังบริเวณที่เริ่มสแกนก่อนมีความคลาดเคลื่อนของภาพสแกนต่างจากฟันหลังบริเวณที่สแกนเป็นลำดับสุดท้ายอย่างไร กรณีที่มีสภาวะไรฟันร่วมด้วยจะส่งผลต่อความแม่นยำในการสแกนหรือไม่ จึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาความแม่นยำของภาพสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรโดยวิเคราะห์เฉพาะฟันหลังที่ได้จากลำดับการสแกนที่ต่างกัน ในสภาวะไรฟันบางส่วนและมีฟันครบด้วยเครื่องสแกนในช่องปาก 2 ระบบ

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

สร้างแบบจำลองฟันด้วยยิปซัมทางทันตกรรมชนิดที่สี่ (Vel-Mix™ die stone, Kerr Corp., Orange, CA, USA) แบบจำลองแรกมีฟันครบตั้งแต่ฟันซี่ 17 (ฟันกรามบนขวาซี่ที่ 2) ถึงซี่ 27 (ฟันกรามบนซ้ายซี่ที่สอง) และแบบจำลองที่สองมีสันเหงือกกว้างบริเวณฟันซี่ 15 (ฟันกรามน้อยบนขวาซี่ที่สอง) และ ฟันซี่ 16 (ฟันกรามบนขวาซี่ที่หนึ่ง) โดยฟันทุกซี่ถูกกรอให้มีระยะปลอดภัยประมาณ 2 มิลลิเมตร ความลึกกระนาบตามแกน 1.5 มิลลิเมตร มุมเบ้าเข้า (convergence angle) ประมาณ 10 องศา เส้นสิ้นสุด (finish line) เป็นรอยตัดเฉียงโค้ง (chamfer) ลึกประมาณ 0.8 มิลลิเมตรและอยู่สูงกว่าขอบเหงือก 0.5 มิลลิเมตร (รูปที่ 1)

สแกนแบบจำลองทั้งสองด้วยเครื่องสแกนนอกช่องปากที่มีความแม่นยำสูง (D900 scanner, 3Shape, Copenhagen, Denmark) เพื่อใช้เป็นภาพสแกนอ้างอิงในการทดสอบความตรงของเครื่องสแกน บันทึกข้อมูลเป็นสกุลเอสทีแอล (STL; Stereolithography)

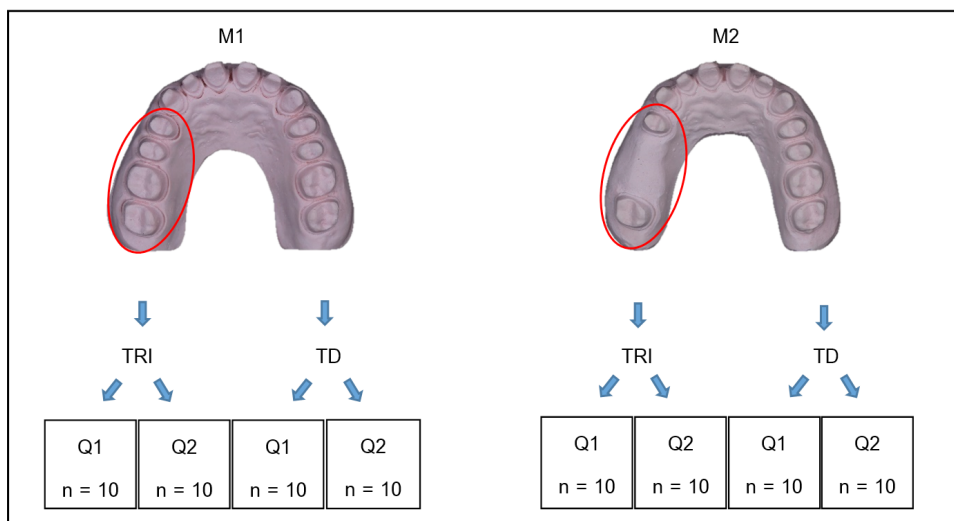
เครื่องสแกนที่ใช้ในการทดลองมี 2 ระบบคือ ระบบคอนโพคอลเลเซอร์ ใช้เครื่องยี่ห้อหรือส ในการศึกษานี้ใช้ตัวย่อ TRI และระบบแอคทีฟเวฟฟรอนต์แคมพลิงใช้เครื่องยี่ห้อทรูเอ็มทรี เดฟฟินิชัน ในการศึกษานี้ใช้ตัวย่อ TD ขั้นตอนและวิธีการสแกนทำตามข้อกำหนดของบริษัท โดยวิธีสแกนของ TRI เริ่มจากด้านบดเคี้ยวฟันหลัง ลากหัวสแกนถึงตำแหน่งฟันเขี้ยวสแกนสลับฟันปลาด้านลิ้นกับด้านริมฝีปากจนถึงฟันเขี้ยวอีกฝั่ง แล้วสแกนด้านบดเคี้ยวของฟันหลังจนครบทั้งส่วนโค้งของขากรรไกร จากนั้นสลับมาด้าน

แก้มและด้านลิ้นตามลำดับ (รูปที่ 2 ซ้าย) สำหรับวิธีสแกนของ TD วางหัวสแกนให้ขนานกับแนวฟันหลังจนถึงฟันเขี้ยวฝั่งตรงกันข้าม แล้ววนกลับทางด้านเพดานปากและด้านแก้มตามลำดับ จากนั้นบันทึกภาพสแกนอีกฝั่งในลักษณะเดียวกัน (รูปที่ 2 ขวา) ภายหลังการสแกน ซอฟต์แวร์ของเครื่องจะทำการประสานภาพสแกนทั้งสองฝั่งให้โดยอัตโนมัติ

แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 2 กลุ่มตามแบบจำลอง (รูปที่ 1) โดยกลุ่มที่ 1 ใช้แบบจำลองที่มีฟันครบในการศึกษาใช้ตัวย่อ M1 กลุ่มที่ 2 ใช้แบบจำลองที่มีสันหรือกว้างบริเวณฟันซี่ 15 และ 16 ใช้ตัวย่อ M2 สแกนแบบจำลองทั้งสองด้วยเครื่อง TRI และ TD โดยใช้ลำดับการสแกนสองแบบ แบบแรกเริ่มสแกนจากฟันซี่ 17 ก่อนจนสิ้นสุดฝั่งตรงข้าม (Q1) แบบที่สองเริ่มสแกนจากซี่ 27 ก่อนจนสิ้นสุดฝั่งตรงข้าม (Q2) สแกนรูปแบบละ 10 ครั้ง (n=10) ตัดแต่งภาพสแกนที่ได้ทั้งหมดโดยใช้โปรแกรม GOM Inspect (GOM, Germany) ให้เหลือเฉพาะฟันซี่ 14 และ 17 นำภาพสแกนที่ผ่าน

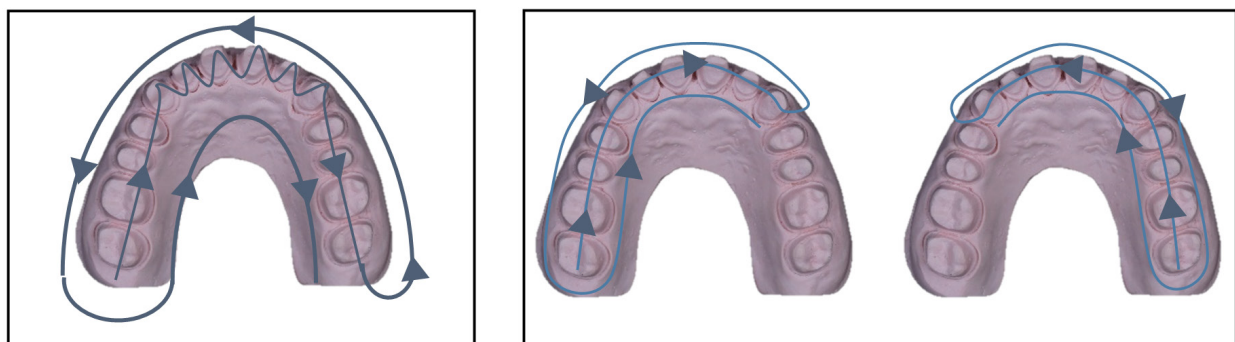
การตัดแต่งแล้วมาซ้อนทับกันภายในกลุ่มทดลองเพื่อทดสอบความเที่ยงโดยสุ่มเลือกซ้อนภาพสแกน 10 ครั้งไม่ซ้ำกัน และทดสอบความตรงโดยใช้ภาพสแกนซ้อนทับกับภาพสแกนอ้างอิงที่มีความแม่นยำสูง ใช้โปรแกรม Geomagic Qualify 2013 (3DSYSTEM, USA) ทดสอบทั้งความเที่ยงและความตรงโดยเลือกตำแหน่งที่แนบสนิทที่สุดตามที่โปรแกรมกำหนดไว้โดยตั้งค่าความทน (tolerance) 20 ไมโครเมตร บันทึกความคลาดเคลื่อนเป็นค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ในหน่วยไมโครเมตร (รูปที่ 3)

วิเคราะห์ความตรงด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ทาง (Three-way ANOVA) และใช้การเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise comparison) กรณีที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย วิเคราะห์ความเที่ยงด้วยสถิติการทดสอบครัสคาล-วัลลิส (Kruskal-Wallis Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



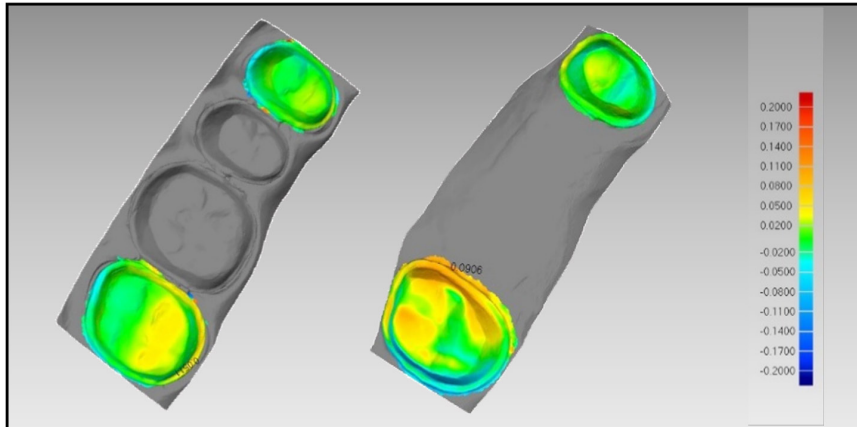
รูปที่ 1 แสดงลักษณะแบบจำลองและการแบ่งกลุ่มการทดลอง

Figure 1 Two different models and all study groups



รูปที่ 2 แสดงวิธีการสแกนของเครื่อง TRI (รูปซ้าย) และเครื่อง TD (รูปขวา)

Figure 2 Scanning Strategy of TRI (left) and TD (right)



รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างความคลาดเคลื่อนของภาพสแกน M1(ซ้าย) และ M2(ขวา) เมื่อซ้อนทับกับภาพสแกนอ้างอิง  
 Figure 3 Example of the deviation of M1 (left) and M2 (right) after superimposition with reference scan

### ผลการศึกษา

กลุ่มทดสอบความเที่ยงของการสแกนพบข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติเมื่อตรวจสอบด้วยสถิติชาปีโร-วิลค์(Shapiro-Wilk) และมีความแปรปรวนของข้อมูลไม่เท่าเทียมกันเมื่อใช้สถิติการทดสอบของลีวิน (Levene's test) จึงวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบครัสคาล-วัลลิส ในกลุ่มทดสอบความตรงพบข้อมูลทุกกลุ่มมี

การแจกแจงปกติ และความแปรปรวนของข้อมูลมีความเท่าเทียมกัน จึงใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ทาง ผลการทดสอบความเที่ยงของการสแกนมีค่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน (ไมโครเมตร) ของภาพสแกนในการทดสอบความเที่ยง  
 Table 1 Precision of all scanning groups ( $\mu\text{m}$ )

Model	Scanner	Scanning sequence	Mean+SD	Median	Minimum	Maximum
M1	TRI	Q1	27.19+17.99	20.85	11.95	69.15
		Q2	15.78+4.29	14.83	10.30	24.70
	TD	Q1	16.14+5.41	14.63	10.30	29.15
		Q2	14.66+3.29	13.75	10.80	21.40
M2	TRI	Q1	16.46+4.47	14.50	11.95	26.70
		Q2	19.87+12.99	15.75	3.35	42.25
	TD	Q1	13.72+2.37	14.20	10.35	17.75
		Q2	20.12+10.99	18.93	11.10	48.90

โดยทุกกลุ่มมีความคลาดเคลื่อนของการสแกนไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) ผลการทดสอบความตรงของการสแกนดังตารางที่ 2 พบว่าเครื่องสแกนมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของภาพสแกนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยเครื่องหรือสมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน  $12.86 \pm 3.81$  ไมโครเมตร ต่ำกว่าเครื่องหรือเอ็มทูเดฟฟินซ์ที่มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน  $15.03 \pm 4.17$  ไมโครเมตร ( $p=0.013$ ) นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัย คือ ลักษณะ

ของแบบจำลองและชนิดเครื่องสแกน ( $p=0.02$ ) ดังตารางที่ 3 โดยพบว่าข้อมูลที่ได้จากเครื่องหรือเอสซึ่งสแกนในแบบจำลองที่มีพื้นครบ มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน  $14.71 \pm 3.91$  ไมโครเมตร สูงกว่าแบบจำลองที่มีพื้นหยาบไปบางส่วนซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน  $11.01 \pm 2.71$  ไมโครเมตร ( $p=0.003$ ) สำหรับปัจจัยเรื่องลำดับการสแกน พบว่าไม่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่ว่าจะเริ่มสแกนจากฝั่งใดก่อนก็ตาม ( $p=0.91$ )

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (ไมโครเมตร) ของภาพสแกนในการทดสอบความตรง

Table 2 Mean and standard deviation of trueness ( $\mu\text{m}$ )

Model	Scanner	Scanning sequence	Mean + SD
M1	TRI	Q1	15.14 + 4.60
		Q2	14.27 + 3.28
		Q1+Q2	14.71 + 3.91*
	TD	Q1	14.76 + 4.21
		Q2	13.44 + 2.45
		Q1+Q2	14.10 + 3.42
	TRI+TD	Q1	14.95 + 4.30
		Q2	13.86 + 2.85
		Q1+Q2	14.40 + 3.64
M2	TRI	Q1	10.11 + 1.57
		Q2	11.91 + 3.36
		Q1+Q2	11.01 + 2.71*
	TD	Q1	15.97 + 4.84
		Q2	15.97 + 4.84
		Q1+Q2	15.97 + 4.71
	TRI+TD	Q1	13.04 + 4.62
		Q2	13.94 + 4.55
		Q1+Q2	13.49 + 4.55
M1+M2	TRI	Q1	12.62 + 4.23
		Q2	13.09 + 3.45
		Q1+Q2	12.86 + 3.81**
	TD	Q1	15.36 + 4.46
		Q2	14.70 + 3.95
		Q1+Q2	15.03 + 4.17**
	TRI+TD	Q1	13.99 + 4.51
		Q2	13.90 + 3.75
		Q1+Q2	13.94 + 4.12

กลุ่มที่มีเครื่องหมายดอกจันเหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

the same symbol indicates significant different

\*  $p=0.002$ , \*\*  $p=0.013$

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทางของการทดสอบความตรง

Table 3 Three-way ANOVA test of trueness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	295.126a	7	42.161	2.904	0.01
Intercept	15555.648	1	15555.648	1071.573	0
Model	16.699	1	16.699	1.15	0.287
Type of scanners	94.721	1	94.721	6.525	0.013
Scanning sequence	0.185	1	0.185	0.013	0.91
Model * Type of scanners	154.985	1	154.985	10.676	0.002
Model * Scanning sequence	19.85	1	19.85	1.367	0.246
Type of scanners * Scanning sequence	6.356	1	6.356	0.438	0.51
Model * Type of scanners * Scanning sequence	2.329	1	2.329	0.16	0.69
Error	1045.199	72	14.517		
Total	16895.973	80			
Corrected Total	1340.325	79			



## บทวิจารณ์

งานวิจัยในอดีตพบว่าความเที่ยงของการสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรมีความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 27.5 ถึง 194.2 ไมโครเมตรและความตรงมีความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 27.6 ถึง 155.6 ไมโครเมตร<sup>8,9,11,12</sup> ขณะที่การศึกษาครั้งนี้พบความคลาดเคลื่อนในการทดสอบความเที่ยง 3.35 ถึง 69.15 ไมโครเมตรและความตรงมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 7.80 ถึง 28.00 ไมโครเมตร สังเกตได้ว่าความเที่ยงมีการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนมากกว่าความตรง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Renne และคณะ<sup>11</sup> ซึ่งพบว่าค่าความเที่ยงมีค่ามากกว่าค่าความตรงในทุกกลุ่มการทดลอง แม้การศึกษาครั้งนี้จะพบว่า เครื่องทรีออสมีความตรงสูงกว่าเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทั้งสองเครื่องที่ค่อนข้างต่ำ อาจทำให้ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนในทางคลินิก อย่างไรก็ตาม การศึกษาก่อนหน้านี้ไม่พบความแตกต่างในความเที่ยงของเครื่องสแกนทั้ง 2 ระบบ<sup>7,8</sup>

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกร แต่วิเคราะห์เฉพาะฟันซี่ 14 ถึง 17 โดยมีได้พิจารณาความคลาดเคลื่อนบริเวณอื่น เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาลำดับการสแกน กรณีที่เริ่มสแกนจากฝั่งจตุภาค (quadrant) ที่หนึ่ง ฟันทั้งสองซึ่งจะอยู่ในฝั่งที่เริ่มสแกน แต่ถ้าเริ่มสแกนจากฝั่งจตุภาคที่สอง ฟันทั้งสองซึ่งจะอยู่ตรงข้ามกับฝั่งที่เริ่มสแกน ซึ่งผลการทดลองพบว่า ลำดับการสแกนไม่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของภาพสแกนถ้าวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนบริเวณฟันหลัง 4 ซี่ ในขณะที่งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาได้มีการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรและพบความคลาดเคลื่อนมากกว่าบริเวณฟันหลังฝั่งที่สแกนเป็นลำดับสุดท้าย<sup>8,10,12-14</sup> ซึ่งอธิบายได้ว่า เป็นความคลาดเคลื่อนสะสมที่เกิดจากการเอียงภาพสแกนมาต่อกันทีละส่วนด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ยิ่งต่อกันยาวมากก็ยิ่งคลาดเคลื่อนมาก โดยฟันหลังฝั่งที่สแกนเป็นลำดับสุดท้ายจะพบความคลาดเคลื่อนได้มากที่สุด แต่ถ้าพิจารณาฟันหลังเพียงไม่กี่ซี่แม้จะเป็นตำแหน่งที่สแกนเป็นลำดับสุดท้ายของการสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกร กลับพบความคลาดเคลื่อนน้อยมาก

ครอบหรือสะพานฟันช่วงสั้น ที่ได้จากการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลพบช่องว่างบริเวณขอบ (marginal gap) ประมาณ 25 ถึง 75 ไมโครเมตร<sup>15-18</sup> ซึ่งใกล้เคียงกับการทำครอบและสะพานฟันแบบดั้งเดิมและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทางคลินิก<sup>19</sup> ดังนั้นกรณีที่มีการสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกร สามารถใช้ข้อมูลการสแกนบริเวณฟันหลังได้ทั้งสองฝั่งจตุภาคในการทำครอบหรือสะพานฟัน

ช่วงสั้น โดยไม่กระทบกับความแนบของชิ้นงาน อย่างไรก็ตาม แม้จะไม่กระทบต่อความแนบสนิทของขอบครอบฟันแต่อาจกระทบกับการสบฟันได้ เนื่องจากภาพสแกนยังเป็นภาพต่อเนื่องแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรที่เกิดการเบี่ยงเบนมากบริเวณฟันหลัง

เครื่องทรีออสที่สแกนในแบบจำลองไร้ฟันบางส่วนให้ความตรงสูงกว่าการสแกนในแบบจำลองที่มีฟันครบไม่ว่าจะเริ่มสแกนจากฝั่งใดของขากรรไกรก็ตาม ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าเครื่องทรีออสใช้เทคโนโลยีคอนโฟคัลเลเซอร์ในการบันทึกภาพโดยภาพที่บันทึกมีลักษณะเป็นภาพ 2 มิติ เมื่อระนาบโฟกัส (focal plane) ที่กล้องส่องเป็นตำแหน่งเดียวกับพื้นผิวสแกน ภาพจะถูกส่งไปยังตัวรับและบันทึกภาพ โดยเครื่องสามารถจับระนาบโฟกัสได้หลายระนาบที่ระยะห่างเดียวกันแล้วนำข้อมูลมาซ้อนเป็นภาพ 3 มิติ<sup>15</sup> ดังนั้นในแบบจำลองที่มีฟันครบจะมีหลายระนาบโฟกัส เครื่องสแกนต่อภาพให้เกิดเป็นภาพ 3 มิติ อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของภาพสแกนได้มากกว่าในสันเหงือกกว่าที่มีระนาบโฟกัสให้บันทึกน้อยกว่า ขณะที่การศึกษาของ Kim และคณะ<sup>10</sup> พบว่าเมื่อเพิ่มจุดอ้างอิงเพิ่มเติมบนสันเหงือกกว่าระหว่างซี่ฟันด้วยวัสดุอลูมินาขนาด 12 ตารางมิลลิเมตร ภาพสแกนฟันของเครื่องทรีออสได้ค่าความเที่ยงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะจุดอ้างอิงเพิ่มเติมที่ใช้มีขนาดเล็กทำให้ระนาบในการสแกนน้อยจึงไม่ส่งผลต่อการประสานกันของภาพสแกน แต่ภาพกลับต่อกันได้ง่ายขึ้นเนื่องจากมีจุดอ้างอิงเพิ่มเติมบนพื้นผิวที่เรียบเป็นระยะทางยาว อย่างไรก็ตาม กรณีในช่องปากจริงที่สันเหงือกกว่าเป็นเนื้อเยื่อชนิดอ่อนซึ่งสามารถขยับได้และมีความมันวาวทำให้เกิดแสงสะท้อน<sup>13</sup> การซ้อนภาพสแกนอาจคลาดเคลื่อนได้มากกว่าการใช้ฟันในการระบุตำแหน่งได้

โดยปกติแล้วเครื่องทรีเอ็มทรูเดฟฟินิชันเมื่อสแกนในช่องปากต้องพ่นผงไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อลดการสะท้อนแสงของอวัยวะและวัสดุในช่องปาก ความหนาของผงฟันอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของภาพสแกนได้ แต่ในการทดลองนี้ทำในแบบจำลองซึ่งทำจากยิปซัม พื้นผิวไม่มีการสะท้อนแสงเหมือนผิวฟันจึงไม่ได้ทำการพ่นผงไทเทเนียมไดออกไซด์ก่อนการสแกน จึงทำให้ลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากความหนาของการเคลือบผิวด้วยผงไทเทเนียมไดออกไซด์

ปัจจัยหนึ่งที่น่าจะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของภาพสแกนที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ คือวิธีการสแกน (scanning strategy) ที่แตกต่างกัน โดยเครื่องสแกนทั้งสองมีวิธีการสแกนที่แตกต่างกันตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต การศึกษาของ Muller

ได้เปรียบเทียบวิธีการสแกนในเครื่องหรือสพพบว่าการสแกนที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเที่ยงของภาพสแกน<sup>20</sup> อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการสแกนของทีริออสและทีริเอ็มทรูเดฟฟินิชันในแบบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการสแกนที่แตกต่างกัน

## บทสรุป

ภายใต้ข้อจำกัดของการวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า

1. เครื่องสแกน ลำดับการสแกนและสภาวะไรฟันบางส่วนไม่มีผลต่อความเที่ยงของการสแกน
2. การสแกนแบบเต็มส่วนโค้งขากรรไกรไม่ว่าจะเริ่มจากฝั่งใดของขากรรไกรก็ไม่ส่งผลต่อความตรงของภาพสแกนบริเวณฟันหลังที่ระยะฟันห่างกัน 4 ซี่
3. เครื่องทีริออสให้ค่าความตรงสูงกว่าเครื่องทีริเอ็มทรูเดฟฟินิชัน
4. เครื่องทีริออสที่สแกนในแบบจำลองที่มีฟันหายไปบางส่วนให้ค่าความตรงสูงกว่าในแบบจำลองที่มีฟันครบ

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ที เด็นทัลแลบ จำกัด ที่ให้ความคำแนะนำและให้ความเอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องสแกนนอกช่องปากและขอขอบคุณบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องทีริเอ็มทรูเดฟฟินิชัน

## เอกสารอ้างอิง

1. Christensen GJ. Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling. *J Am Dent Assoc* 2009;140(10):1301-4.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F, Pradies G. Accuracy of a digital impression system based on active triangulation technology with blue light for implants: effect of clinically relevant parameters. *Implant Dent* 2015;24(5):498-504.
6. Güth JF, Edelhoff D, Schweiger J, Keul C. A new method for

the evaluation of the accuracy of full-arch digital impressions *in vitro*. *Clin Oral Investig* 2016;20(7):1487-94.

7. 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.

8. 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.

9. Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 2014;18(6):1687-94.

10. Kim JE, Amelya A, Shin Y, Shim JS. Accuracy of intraoral digital impressions using an artificial landmark. *J Prosthet Dent* 2017;117(6):755-61.

11. 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.

12. Treesh JC, Liacouras PC, Taft RM, Brooks DI, Raiciulescu S, Ellert DO, et al. Complete-arch accuracy of intraoral scanners. *J Prosthet Dent* 2018;120(3):382-8.

13. Kattadiyil MT, Mursic Z, AlRumaih H, Goodacre CJ. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. *J Prosthet Dent* 2014;112(3):444-8.

14. 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.

15. Su TS, Sun J. Comparison of marginal and internal fit of 3-unit ceramic fixed dental prostheses made with either a conventional or digital impression. *J Prosthet Dent* 2016;116(3):362-7.

16. Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2014;112(3):555-60.

17. Shembesh M, Ali A, Finkelman M, Weber HP, Zandparsa R. An *In Vitro* Comparison of the Marginal Adaptation Accuracy of CAD/CAM Restorations Using Different Impression Systems. *J Prosthodont* 2017;26(7):581-6.

18. Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodessa J. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *J Dent* 2010;38(7):553-9.

19. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an *in vivo* technique. *Br Dent J* 1971;131(3):107-11.

20. Müller 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.