

ปัจจัยที่มีผลต่อการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลโดยใช้สแกนบอดี้ร่วมกับเครื่องสแกนในช่องปาก: การทบทวนวรรณกรรม

ภัทรพร ยืนยง* พิมพ์เดือน รังสิยากุล** พิสมัยศิษฎ์ ชัยจรีนนท์**

บทคัดย่อ

สแกนบอดี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ต่อเข้ากับส่วนรากฟันเทียมที่ฝังลงในกระดูกโดยใช้งานร่วมกับเครื่องสแกนในช่องปากเพื่อการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล การศึกษาถึงความแม่นยำของการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล นิยมศึกษาจากความแม่นยำของสแกนบอดี้ซึ่งเป็นตัวถ่ายทอดตำแหน่งและมุมของรากฟันเทียม จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การออกแบบ วัสดุที่ใช้ทำสแกนบอดี้ ชนิดของเครื่องสแกนในช่องปาก ระบบซอฟต์แวร์ ระดับความสูง ความเอียง ระยะห่าง และตำแหน่งของรากฟันเทียม สภาวะแวดล้อมในการสแกนรวมถึงผู้สแกนมีผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล บทความปริทัศน์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกล่าวถึงวิธีการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลโดยการใส่สแกนบอดี้ร่วมกับเครื่องสแกนในช่องปาก และปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานทางคลินิกต่อไป

คำสำคัญ: การพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล เครื่องสแกนในช่องปาก สแกนบอดี้

วันที่รับ: 13 กันยายน 2566

วันที่แก้ไข: 5 มีนาคม 2567

วันที่ตอบรับ: 19 เมษายน 2567

*หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตแพทยศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

**ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

Factors Affecting Accuracy of Digital Dental Implant Impression Using Scanbody and Intraoral Scanner: Review Literature

Pattaraporn Yuenyong* Pimduen Rungsiyakull** Pisaisit Chaijareenont**

Abstract

A scanbody is a device attached to a dental implant fixture and is used in conjunction with an intraoral scanner for digital implant impressions. Studies that investigate the accuracy of digital implant impression often focus on the position of the scanbody, which represents the position and angulation of the implant fixture. Literature reviews indicate that factors such as the design and materials of the scanbody, types of intraoral scanners, software system, the level, inclination, distance, and position of dental implants, the scanning environment, and the operator's skill can affect the accuracy of digital dental implant impressions. The objective of this review article is to provide an overview of method for digital dental implant impression using scanbody and intraoral scanner, as well as to discuss the factors that can impact accuracy, for further advancements in clinical applications.

Keywords: Digital implant impression, Intraoral scanner, Scanbody

Received Date: Sep 13, 2023

Revised Date: Mar 5, 2024

Accepted Date: Apr 19, 2024

*Master's degree of Oral Science, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Suthep, Muang, Chiang Mai, 50200, Thailand.

**Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Suthep, Muang, Chiang Mai, 50200, Thailand.

บทนำ (Introduction)

รากฟันเทียม (dental implant) เป็นสิ่งประดิษฐ์เพื่อทดแทนฟันที่สูญเสียไปตั้งแต่การสูญเสียฟันซี่เดียวไปจนถึงการสูญเสียฟันทั้งปาก การสร้างชิ้นงานสำหรับรากฟันเทียมรองรับครอบฟันติดแน่น (dental implant supported fixed dental prosthesis) จะเริ่มจากการพิมพ์รากฟันเทียมเพื่อสร้างชิ้นหล่อหลัก (master cast) สร้างหลักยึดรากฟันเทียม (dental implant abutment) และส่วนชิ้นงานบนรากฟันเทียม ตามลำดับ (1)

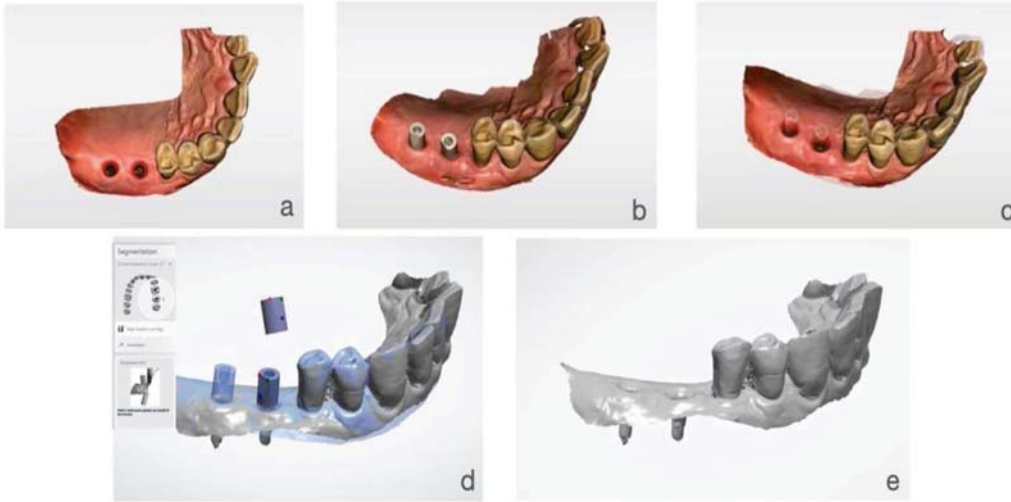
วิธีพิมพ์รากฟันเทียมแบบดั้งเดิมมีการศึกษามาอย่างยาวนานถึงข้อบ่งชี้สำหรับวิธีการพิมพ์ วัสดุที่นำมาใช้ และปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียม แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีแบบดิจิทัลเข้ามามีบทบาทในทางทันตกรรมมากขึ้น ในงานทันตกรรมรากฟันเทียมจึงนำเทคโนโลยีแบบดิจิทัลมาใช้ในการพิมพ์เพื่อลดความกังวลของผู้ป่วยจากการพิมพ์แบบดั้งเดิม ลดโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงทางมิติของวัสดุ ลดพื้นที่การจัดเก็บ (1-3)

วิธีการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล (digital dental implant impression) ที่นิยมคือการใช้สแกนเนอร์ (scanbody) ร่วมกับเครื่องสแกนในช่องปาก (intraoral scanner) เพื่อคัดลอกตำแหน่ง (position) และมุม (angulation) ของส่วนรากฟันเทียมที่ฝังในกระดูก (dental implant fixture) การพิมพ์รากฟันเทียมถือเป็นขั้นตอนแรกของการสร้างชิ้นงานบนรากฟันเทียม หากขั้นตอนนี้

ขาดความแม่นยำ (accuracy) จะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานที่เกิดความคลาดเคลื่อนได้ อย่างไรก็ตาม การพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลเพื่อให้ได้ความแม่นยำที่ดีประกอบด้วยปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายประการ อาทิ สแกนเนอร์ เครื่องสแกนในช่องปาก ระบบซอฟต์แวร์ รากฟันเทียม สภาวะแวดล้อมระหว่างการสแกน และผู้สแกน

วิธีการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล

เป็นวิธีการเก็บข้อมูลแบบดิจิทัล (acquisition/digitalization) เริ่มจากการใช้เครื่องสแกนในช่องปาก สแกนส่วนรากฟันเทียมที่ฝังในกระดูกหลังถอดครอบฟันชั่วคราว (provisional crown) หรือส่วนยึดสมาน (healing abutment) ทันทีเพื่อให้ได้เค้ารูปที่สัมพันธ์กับเหงือก (emergence profile) ร่วมกับการสแกนฟันข้างเคียงและเนื้อเยื่อโดยรอบ หลังจากนั้นทำการเชื่อมต่อสแกนเนอร์กับส่วนรากฟันเทียมที่ฝังในกระดูกแล้ว สแกนด้วยเครื่องสแกนในช่องปากอีกครั้ง (4) ต่อมา สแกนฟันคู่สบ และสแกนฟันขณะกัดสบเพื่อบันทึกการสบฟันตามลำดับ ไฟล์สแกนทั้งหมดที่ได้จะถูกจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบนามสกุลไฟล์สามมิติ (3D file format) (5) เช่น สเตอริโอลิโธกราฟีหรือเอสทีแอล (Stereolithography, STL) ออบเจกต์หรือโอบีเจ (Object, OBJ) โพลีกอนหรือพีแอลวาย (Polygon, PLY) เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 1



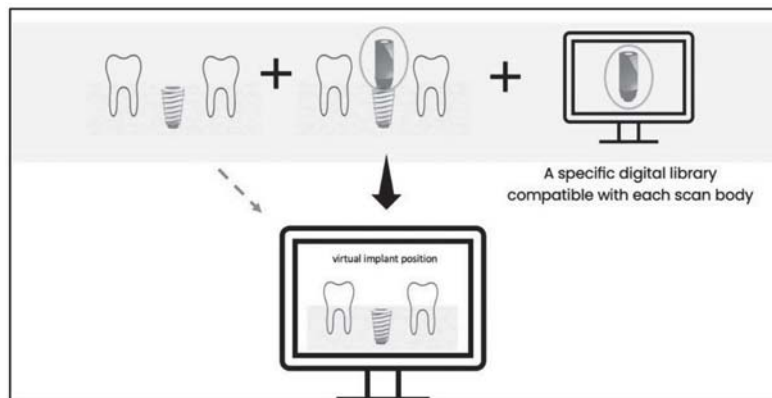
รูปที่ 1 ขั้นตอนการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลเริ่มจากการสแกนรากฟันเทียมที่ฝังในกระดูก (a) แล้วสแกนรากฟันเทียมที่ฝังในกระดูกขณะมีสแกนบอดี (b) ระบบซอฟต์แวร์จะทำการซ้อนทับไฟล์ทั้งสองอย่างอัตโนมัติ (c) นำไฟล์สามมิติที่มีสแกนบอดีซ้อนทับกับสแกนบอดีในคลังข้อมูล (d) เพื่อแปลงเป็นตำแหน่งรากฟันเทียมเสมือนจริงในไฟล์สามมิติที่ไม่มีสแกนบอดี (e) (ภาพสแกนจาก Hexa Ceram Dental Lab.)

Fig 1. The process of data acquisition in digital dental implant impression begins with scanning the dental implant fixture (a), followed by scanning the dental implant fixture with scanbody inserted (b). The software system will automatically superimpose these scanned files (c), continually merging scanbody from the three-dimensional file with scanbody from the library (d), resulting in the conversion into virtual implant position displayed in the file without scanbody (e).

(Image from Hexa Ceram Dental Lab.)

การประมวลผลข้อมูล (data processing/computer-aided design/CAD) เพื่อแปลงสแกนบอดีเป็นตำแหน่งรากฟันเทียมเสมือนจริง (virtual dental implant position) ทำได้โดยนำไฟล์สามมิติที่มีสแกน

บอดีมาซ้อน (merge) กับสแกนบอดีในคลังข้อมูล (library) ที่มีฐานข้อมูล (dataset) รากฟันเทียมเสมือนจริงของระบบรากฟันเทียม นั้น ๆ (6) โดยตำแหน่งรากฟันเทียมที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นงานบนรากฟันเทียมในไฟล์สามมิติที่ไม่มีสแกนบอดี แสดงดัง



รูปที่ 2 การประมวลผลข้อมูลเพื่อแปลงสแกนบอดีเป็นตำแหน่งรากฟันเทียมเสมือนจริง

Fig 2. Data processing for converting scanbody into virtual dental implant position.

รูปที่ 2

ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล

การพิมพ์รากฟันเทียมเป็นขั้นตอนแรกของการสร้างชิ้นงานจึงมีความสำคัญมาก หากรอยพิมพ์สามมิติไม่เที่ยงตรงจะส่งผลให้ชิ้นงานที่บูรณะไม่แม่นยำและทำให้ต้องเสียเวลาช่างแก้บ่อยมากขึ้น โดยเฉพาะการสร้างชิ้นงานบนรากฟันเทียมรองรับฟันเทียมจะส่งผลต่อความสำเร็จของการรักษาในระยะยาว ในกรณีที่ชิ้นงานกับรากฟันเทียมไม่แนบสนิทกัน หากทำความสะอาดไม่ดีจะทำให้เชื้อโรคสะสมอยู่บริเวณรอยต่อส่งผลต่อภาวะแทรกซ้อนเชิงชีวภาพ (biological complications) เช่น เยื่อเมือกอักเสบรอบรากฟันเทียม (peri-implant mucositis) การอักเสบของอวัยวะปริทันต์รอบรากฟันเทียม (peri-implantitis) เป็นต้น นอกจากนี้ หากชิ้นงานไม่เกิดความแนบสนิทอย่างเที่ยงตรง (passive fit) จะทำให้เกิดความเครียด (stress) ต่อรากฟันเทียมและส่งผลต่อภาวะแทรกซ้อนเชิงกล (mechanical complications) เช่น สกรูหลวม (screw loosening) สกรูแตกหัก (screw fracture) ครอบฟันบนรากฟันเทียมหลวม (implant

abutment loosening) เป็นต้น (1-2) Papaspyridakos และคณะ ปี 2020 (7) พบว่า การพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลเมื่อเปรียบเทียบกับกรพิมพ์รากฟันเทียมแบบดั้งเดิมในภาวะเทียมนอกร่าง (in vitro) สามารถเทียบเคียงได้ (comparable) กับการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดั้งเดิม แต่การศึกษาในทางคลินิกยังมีน้อยจึงจำเป็นต้องศึกษาต่อไป ต่อมา Michelinakis และคณะ ปี 2021 (8) พบว่า การสร้างชิ้นงานบนรากฟันเทียมตั้งแต่ 1-4 ตัวด้วยวิธีพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลให้ค่าความแม่นยำที่ยอมรับได้ทางคลินิก (clinically acceptable) แต่ในกรณีขากรรไกรไร้ฟัน (edentulous jaw) ยังไม่มีข้อมูลถึงถึงความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Albanchez และคณะ ปี 2022 (9) จากการศึกษาในปัจจุบันจึงอนุมานได้ว่าการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลโดยใช้สแกนบอดีร่วมกับเครื่องสแกนในช่องปากอาจยังไม่เหมาะสมในการบูรณะชิ้นงานที่เชื่อมติดกันบนรากฟันเทียมหลายตัว ซึ่งการบูรณะชิ้นงานในกรณีนี้จะแนะนำให้ใช้เครื่องสแกนในช่องปากในการสร้างสิ่งบูรณะชั่วคราวเพื่อลดระยะเวลาช่างแก้ และใช้วิธีการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่างการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดั้งเดิมและดิจิทัล

Table 1. Comparisons between conventional and digital dental implant impression.

ข้อเปรียบเทียบ	การพิมพ์รากฟันเทียมแบบดั้งเดิม	การพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล
1. ตัวต่อยอดเพื่อการพิมพ์ปาก	สามารถเลือกชนิดหรือเลือกความสูงได้	โดยทั่วไปมีเพียงชนิดเดียวในระบบรากฟันเทียมนั้น ไม่สามารถเลือกขนาดได้
2. วิธีการสร้างรอยพิมพ์	ทำการสร้างรอยพิมพ์เพื่อครอบคลุมพื้นที่ภายในช่องปากในครั้งเดียว	ทำการสร้างรอยพิมพ์โดยเคลื่อนเครื่องสแกนในช่องปากจนเกิดภาพขนาดใหญ่
3. อุปกรณ์จำลองรากฟันเทียม	แอนะล็อกรากฟันเทียม	คลังข้อมูลรากฟันเทียมเสมือนจริง
4. ระยะเวลาการพิมพ์	หากรอยพิมพ์ผิดพลาดจะต้องพิมพ์ใหม่	หากรอยพิมพ์ผิดพลาดสามารถแก้ไขและสแกนใหม่บางตำแหน่งได้
5. คุณภาพรอยพิมพ์	ขึ้นกับวัสดุที่ใช้และระยะเวลาในการเทรอยพิมพ์	ขึ้นกับเทคโนโลยีที่ใช้และวิธีการสแกน
6. การเก็บรักษา	อยู่ในรูปแบบของแบบจำลองฟัน	อยู่ในรูปแบบไฟล์สามมิติ
7. ความแม่นยำ	มีการศึกษาอย่างยาวนานและเป็นที่ยอมรับ	เป็นที่ศึกษาอยู่และยังมีความขัดแย้งกันในบางกรณี

ในการสร้างชิ้นงานจริง (10-11)

ในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดค่าความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลที่ยอมรับได้ทางคลินิก (12) Klineberg และ Murray พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (discrepancy) ของรอยต่อระหว่างรากฟันเทียมและส่วนยึด (implant-abutment interface) ที่ยอมรับได้ทางคลินิกไม่ควรเกิน 30 ไมครอน ส่วน Jemt ได้เสนอว่า ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไม่ควรเกิน 150 ไมครอน เพื่อป้องกันผลเสียในระยะยาว (1,12) โดยความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยซึ่งนิยมศึกษาจากตำแหน่งของสแกนบอดี้ที่ได้รับการสแกนโดยเครื่องสแกนในช่องปาก (13-35) ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีการกล่าวถึงมีดังนี้

1. สแกนบอดี้

สแกนบอดี้ในทางทันตกรรมรากฟันเทียม คือ อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้ต่อเข้ากับส่วนรากฟันเทียมที่ฝังในกระดูกเพื่อถ่ายทอดตำแหน่งของรากฟันเทียมจาก

ในช่องปากมายังระบบซอฟต์แวร์ สแกนบอดี้มีประวัติความเป็นมาตั้งแต่ในปี 1994 มีการคิดค้นกล้องถ่ายภาพโดยใช้หลักการโฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) เพื่อระบุตำแหน่งรากฟันเทียมในระบบซอฟต์แวร์แต่วิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยม ต่อมาในปี 2004 ได้มีการพัฒนาหลักยึดสมานที่สามารถถ่ายทอดตำแหน่งรากฟันเทียมได้ และยังมีใช้อยู่ในปัจจุบัน ในปี 2008 บริษัท Straumann ได้สร้างตัวต่อยอดเพื่อการพิมพ์ปาก (impression coping) รุ่นแรกที่สามารถถ่ายทอดตำแหน่งรากฟันเทียมแบบดิจิทัลได้ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สแกนบอดี้ (3)

โดยทั่วไปแล้ว สแกนบอดี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนบนของสแกนบอดี้ เรียกว่า แแถบสแกน (scan region) เป็นตำแหน่งที่ใช้ในการถ่ายทอดไปเป็นตำแหน่งรากฟันเทียมเสมือนจริง ถัดลงมาจากแถบสแกนเป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างแถบสแกนกับฐานของสแกนบอดี้ เรียกว่า บอดี้ (body) และส่วนฐาน (base) เป็นส่วนที่ต่อเข้ากับส่วนรากฟันเทียมที่ฝังในกระดูกด้วยสกรู (2-3) แสดงดังรูปที่ 3



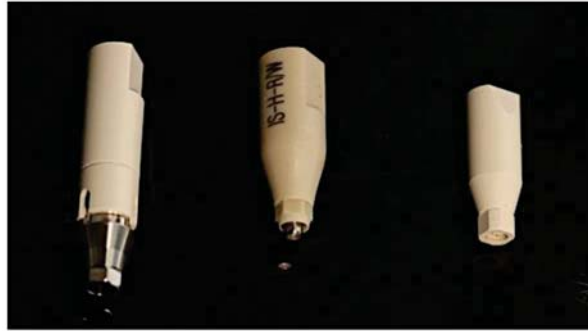
รูปที่ 3 ส่วนประกอบของสแกนบอดี
(ดัดแปลงจาก Mizumoto RM, 2018 (2))
Fig. 3 Components of scanbody
(Modified from Mizumoto RM, 2018 (2)).

ปัจจุบัน บริษัทรากฟันเทียมแต่ละระบบได้ผลิตสแกนบอดีที่สามารถใช้ร่วมกับระบบซอฟต์แวร์ที่หลากหลาย และมีการออกแบบรูปลักษณะของแต่ละระบบที่แตกต่างกันไปซึ่งมีผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียม ดังนี้

1.1 การออกแบบรูปลักษณะของสแกนบอดี (scanbody design)

รูปลักษณะของสแกนบอดีที่มีในปัจจุบัน เช่น ทรงกระบอก (cylinder) ทรงกระบอกร่วมกับส่วนบนที่ถูกกลมมุมบางส่วน (cylindrical design with a partially beveled upper part) ทรงกระบอกร่วมกับทรงกลมด้านบน (cylinder with ball top) ทรงสามเหลี่ยม (rectangular) เป็นต้น จากการศึกษาของ Moslemion และคณะ ปี 2020 (34) พบว่า สแกนบอดีที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกร่วมกับทรงกลมใช้เวลาสแกนนานและเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่ารูปทรงกระบอกที่ไม่มี

ทรงกลมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lawand และคณะ ปี 2022 (13) พบว่า สแกนบอดีที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกร่วมกับทรงกลมให้ความแม่นยำในการสแกนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทรงกระบอกและทรงกระบอกที่มีลักษณะเว้าบริเวณแถบสแกน ดังนั้นจึงอธิบายได้ว่า แถบสแกนของสแกนบอดีควรมีลักษณะที่เอื้อให้เครื่องสแกนในช่องปากจับภาพง่าย อาทิ ไม่สมมาตร พื้นผิวเรียบ สีทึบแสง ผิวด้าน ขอบโค้งมนกลม และมีรูปลักษณะที่จำเพาะเพื่อทำให้ระบบซอฟต์แวร์ตรวจจับความเข้ากันได้ระหว่างสแกนบอดีจากไฟล์สามมิติและสแกนบอดีจากคลังข้อมูลในระบบซอฟต์แวร์ (14) แต่ไม่ควรมีรูปลักษณะที่ซับซ้อนเกินไป หรือมีผิวขรุขระ เงา และใส เพราะจะทำให้เครื่องสแกนในช่องปากตรวจจับรายละเอียดได้ยาก (6) อย่างไรก็ตาม สแกนบอดีที่พบเห็นได้บ่อยมักมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก และรูปทรงกระบอกร่วมกับส่วนบนที่ถูกกลมมุมบางส่วน (1) แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การออกแบบรูปทรงลักษณะแกนบอดี้ทรงกระบอกร่วมกับส่วนบนที่ถูกกลมมุมบางส่วน
 Fig. 4 Cylindrical scanbody design with a partially beveled upper part.

1.2 วัสดุที่ใช้ทำสแกนบอดี้ (scanbody material) วัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ โพลีอีเทอร์ อีเทอร์คิโตน และไททาเนียมอัลลอยด์ (1) ซึ่งส่วนของ แกนสแกนและบอดี้นิยมใช้เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน แต่ฐานของสแกนบอดี้สามารถใช้เป็นวัสดุต่างชนิดกับส่วนอื่นได้ (2) Arcuri และคณะ ปี 2020 (15) ศึกษาความแม่นยำของสแกนบอดี้ 3 ชนิด ได้แก่ สแกนบอดี้ที่ใช้โพลีอีเทอร์ อีเทอร์คิโตนเป็นแกนสแกนและไททาเนียมเป็นฐาน สแกนบอดี้ที่ใช้โพลีอีเทอร์อีเทอร์คิโตนทั้งชิ้น และสแกนบอดี้ที่ใช้ไททาเนียมทั้งชิ้นพบว่า สแกนบอดี้ที่ใช้โพลีอีเทอร์ อีเทอร์คิโตนทั้งชิ้นมีความแม่นยำที่สุด รองลงมาคือ ไททาเนียมทั้งชิ้น และโพลีอีเทอร์อีเทอร์คิโตนผสม ไททาเนียมตามลำดับ Arcuri อภิปรายผลว่า โพลีอีเทอร์ อีเทอร์คิโตนเป็นวัสดุที่บดแสงทำให้เกิดการสแกนมากกว่าโลหะ อีกทั้งหากส่วนของสแกนบอดี้ใช้วัสดุ ต่างกันจะทำให้เกิดรอยต่อที่ไม่เข้ากันของวัสดุ (7) ส่วน Lee และคณะ ปี 2021 (16) ศึกษาความแม่นยำของ สแกนบอดี้ที่ใช้วัสดุโพลีอีเทอร์อีเทอร์คิโตนเป็นแกน สแกน ไททาเนียมเป็นฐาน และสแกนบอดี้ที่ใช้ไททาเนียม ทั้งชิ้น พบว่า สแกนบอดี้ที่ใช้วัสดุโพลีอีเทอร์อีเทอร์คิโตน เป็นแกนสแกนและไททาเนียมเป็นฐานมีความแม่นยำ กว่าไททาเนียมทั้งชิ้น ผู้ศึกษาได้อภิปรายผลว่า แม้ส่วนฐาน และแกนสแกนเป็นวัสดุต่างชนิดกัน แต่โพลีอีเทอร์อีเทอร์ คิโตนเป็นวัสดุที่เอื้อต่อการสแกนมากกว่าไททาเนียมที่มีผิวเงา

แม้ว่าการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่ส่งผลต่อความ แม่นยำของสแกนบอดี้ยังมีไม่มากแต่วัสดุที่นิยมมาก ที่สุดได้แก่ โพลีอีเทอร์อีเทอร์คิโตน (1) อาจเนื่องมา จากเป็นวัสดุที่มีความทึบแสงและไม่เกิดการสะท้อน ของแสง

1.3 ลักษณะการใช้งานสแกนบอดี้ เช่น ทอร์ก (torque) การทำความสะอาดสแกนบอดี้ จำนวนครั้ง การใช้งาน เป็นต้น

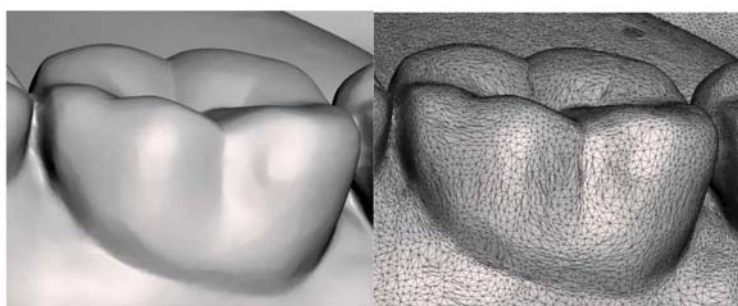
บริษัทผู้ผลิตสแกนบอดี้ส่วนใหญ่ได้กำหนด ทอร์กของสแกนบอดี้ที่แนะนำไว้ (2) แต่สำหรับการขัน ตรึงมือ (hand tightening) เป็นค่าที่ไม่แน่นอน Kim และคณะ ปี 2020 (18) จึงศึกษาถึงความแม่นยำของ สแกนบอดี้ที่ใช้ทอร์กต่างกันพบว่า ทอร์ก 5 นิวตัน ให้ความแม่นยำในการสแกนมากที่สุด ส่วนทอร์ก ที่มากกว่า 10 นิวตัน หรือการขันตรึงมือจะทำให้เกิด ความคลาดเคลื่อนในแนวตั้ง (vertical displacement) มากขึ้น (17-18) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบรูปทรงลักษณะ และวัสดุส่วนฐานสแกนบอดี้ว่าสามารถต้านความคลาด เคลื่อนในแนวตั้งหากใช้ทอร์กที่มากขึ้นได้มากน้อย เพียงใด

นอกจากนี้ การทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) ด้วยเครื่องนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ส่งผลให้ สแกนบอดี้ที่ใช้วัสดุโพลีอีเทอร์อีเทอร์คิโตนเกิดความ คลาดเคลื่อนมากขึ้น (17) และการนำสแกนบอดี้ที่ทำจาก

วัสดุนี้กลับมาใช้ซ้ำบ่อยครั้งอาจส่งผลต่อความแม่นยำของสแกนบอดีด้วยเช่นกัน (1,19-20) Arcuri และคณะ ปี 2022 (20) ศึกษาความแม่นยำของสแกนบอดีเมื่อนำกลับมาใช้ซ้ำในชาครรโกรไรฟันทั้งปาก (full edentulous jaw) พบว่า หากนำสแกนบอดีชนิดโพลีเอทีเทอร์อีเทอร์ดีโตนมาใช้ซ้ำ 30 ครั้งจะทำให้ส่วนฐานสแกนบอดีสึกลงและมีผลต่อความแม่นยำของสแกนบอดีโดยเฉพาะกรณีที่มีมุมเอียงรากฟันเทียม แต่เมื่อศึกษาในชาครรโกรไรฟันบางส่วน (partial edentulous jaw) Fluegge ปี 2017 (21) และ Sawyer ปี 2019 (22) พบว่า การนำสแกนบอดีกลับมาใช้ 10 ครั้ง ไม่มีผลต่อความแม่นยำของสแกนบอดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากในชาครรโกรไรที่มีฟันบางส่วนยังมีฟันเป็นตำแหน่งอ้างอิงติดแน่น (fixed reference) ทำให้ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งสแกนบอดีเกิดขึ้นน้อย อย่างไรก็ตาม การสึกของสแกนบอดีขึ้นอยู่กับพิภักความเผื่อ (tolerance) ของการผลิต ผู้ใช้สแกนบอดีจึงควรปฏิบัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตสแกนบอดีเกี่ยวกับวิธีการทำความสะอาด ทอรัค รวมถึงจำนวนครั้งสูงสุดที่สามารถนำสแกนบอดีกลับมาใช้ซ้ำโดยที่ยังอยู่ในพิภักความเผื่อนี้ (37)

2. เครื่องสแกนในช่องปาก

เครื่องสแกนในช่องปากเป็นอุปกรณ์มือถือ (handheld device) เพื่อใช้ในการสร้างภาพสามมิติจากในช่องปาก หลักการสร้างภาพสามมิติคือ แหล่งกำเนิดแสง (light source) จะปล่อยลำแสงมายังจุดสนใจ (point of interest) แล้วสะท้อนกลับเข้าสู่เซนเซอร์รับภาพ (image sensor) โดยเทคโนโลยีการรับภาพของเครื่องสแกนในช่องปากแต่ละบริษัทจะแตกต่างกันไป (5,38-40) แสดงดังตารางที่ 2 หลังจากนั้น ระบบซอฟต์แวร์จะประมวลผลภาพที่ได้ในลักษณะกลุ่มของจุด เรียกว่า พอยต์คลาวด์ (point cloud) แล้วถูกเชื่อมต่อกันในลักษณะร่างแห (mesh) บนแกนพิกัด (x, y, z) จึงเกิดเป็นภาพสามมิติ (1,38) แสดงดังรูปที่ 5 เครื่องสแกนในช่องปากจะมีขนาดของกล่องจับภาพ (size of capture box) และขนาดด้ามสแกน (size of wand) ที่สามารถเข้าทำงานในช่องปากได้ เมื่อสแกนในช่องปากจะต้องเคลื่อนเครื่องสแกนอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ภาพเชื่อมต่อกันมีขนาดใหญ่ขึ้น (39) ดังนั้น หากระยะทางในการสแกนมากขึ้น ภาพที่ได้มีแนวโน้มที่จะสะสมความผิดพลาด (error of accumulation) ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในตำแหน่งที่ไกลออกจากจุดเริ่มต้นของการสแกน จึงแนะนำให้สแกนเฉพาะจุดภาคเดียวกับตำแหน่งที่สนใจเพื่อลดการสะสมความผิดพลาด (1) และควรสแกนด้วยรูปแบบที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ (27,40)



รูปที่ 5 ภาพสามมิติที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องสแกนในช่องปาก (ซ้าย) และลักษณะร่างแหที่ปรากฏในภาพสามมิติ (ขวา)

Fig. 5 the 3D image obtained by intraoral scanner (left) and meshes shown in 3D image (right).

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเทคโนโลยีการรับภาพที่ใช้ในเครื่องสแกนในช่องปาก

Table 2. Examples of imaging technologies used in intraoral scanners.

เทคโนโลยีการรับภาพ	หลักการ	ข้อดี	ข้อจำกัด	ตัวอย่างเครื่องสแกนในช่องปาก
โทรแองกูเลชัน (triangulation)	แสงที่มีลักษณะเป็นลายทาง (stripe) ตกกระทบวัตถุ และสะท้อนกลับมายังเซนเซอร์รับภาพเป็นลักษณะสามเหลี่ยม	เป็นหลักการอย่างง่าย ราคาการผลิตไม่สูง	ใช้เวลานานในการจับภาพ	CEREC Bluecam CEREC Omnicam Medit®i500
แอ็กทีฟเวฟฟรอนต์แซมปลิง (active wave front sampling)	โมดูล (module) ที่ติดหน้าเซนเซอร์ จะหมุนเป็นวงกลมเพื่อปรับมุมของแสงที่ตกกระทบวัตถุให้ตรงกับเซนเซอร์รับภาพ	มีความแม่นยำสูง	เทคโนโลยีนี้เป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท 3M ESPE	LAVA™ Chairside *ในปัจจุบันทางบริษัทได้พัฒนาจากการถ่ายภาพนิ่งมาเป็นวิดีโอ (video) หรือทรีดีอินโมชัน (3D in motion) โดยมีชื่อว่า True definition
คอนโฟคอล ไมโครสโคปี (confocal microscopy)	การใส่แผ่นโฟกัส (focal filter) เพื่อกำจัดแสงนอกจุดโฟกัส	ใช้เวลาในการสแกนรวดเร็ว และมีความคมชัด	จะต้องปรับระยะและทิศทางการสแกนให้สอดคล้องตามระยะโฟกัสของเครื่องสแกนนั้น	iTero® TRIOS® CEREC Primescan, Planmeca® PlanScan

Mangano และคณะ ปี 2019 เปรียบเทียบความแม่นยำในการสแกนรากฟันเทียมในกรณีต่าง ๆ ระหว่างเครื่องสแกนในช่องปากแต่ละชนิด (CS 3600, TRIOS 3, Omnicam DWIO และ Emerald) พบว่า CS3600 ให้ค่าความถูกต้อง (trueness) ดีที่สุด รองลงมาคือ TRIOS 3 แต่เครื่องสแกนในช่องปากให้ความเที่ยงตรง (precision) ในกรณีรากฟันเทียมเดี่ยว (single implant) รากฟันเทียมหลายตัว (multiple implant) และรากฟันเทียมบนขากรรไกรไร้ฟัน (implants on edentulous jaw) ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (23) ส่วน Kim และคณะในปี 2021 (24) ศึกษาความแม่นยำใน

การสแกนรากฟันเทียมบนสันเหงือกว่างบางส่วนโดยใช้เครื่องสแกนในช่องปาก CEREC Omnicam, CEREC Primescan, CS 3600, DWIO, i500, iTero Element, PlanScan, TRIOS 2, TRIOS 3 และ True Definition พบว่า CEREC Primescan และ TRIOS 3 ให้ค่าความแม่นยำดีที่สุด รองลงมาคือ i500

จะเห็นได้ว่าเครื่องสแกนในช่องปากแต่ละชนิดมีผลต่อความแม่นยำของสแกนบอดีที่แตกต่างกัน (23,25-26) รวมถึงเครื่องสแกนในช่องปากเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารรถนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบเครื่องสแกนในช่องปาก

ของแต่ละบริษัทได้อย่างเป็นปัจจุบัน จึงไม่อาจสรุปได้ว่า เครื่องสแกนในช่องปากของบริษัทใดดีที่สุด อย่างไรก็ตาม Schmidt และคณะ ปี 2021 (41) พบว่า หากใช้ เครื่องสแกนในช่องปากรุ่นล่าสุดของบริษัทนั้น ๆ จะทำให้ ความแม่นยำในการสแกนดีขึ้น ทั้งนี้เครื่องสแกนใน ช่องปากในปัจจุบันสามารถพิมพ์รากฟันเทียมแบบ ดิจิทัลโดยให้ค่าที่ยอมรับได้ทางคลินิก (12)

3. ระบบซอฟต์แวร์ (software system)

ระบบซอฟต์แวร์มีหน้าที่ประมวลผลจากเครื่อง สแกนในช่องปากเพื่อสร้างภาพสามมิติ รวมถึงการประมวล สแกนบอดีไปสู่รากฟันเทียมเสมือนจริง ภาพสามมิติที่มี คุณภาพร่างแห (mesh quality) ที่ดีจะสามารถกำหนด ขอบเขตและรายละเอียดของพื้นผิวได้อย่างเหมาะสม (42) Park และคณะ ปี 2020 (43) พบว่า หากสแกน พื้นผิวสแกนบอดีขาดหายไป 15 เปอร์เซ็นต์ของพื้นผิว ทั้งหมดจะส่งผลกระทบต่อประมวลผลของระบบซอฟต์แวร์ นำไปสู่ตำแหน่งรากฟันเทียมเสมือนจริงที่ไม่แม่นยำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ Mangano และ คณะ ปี 2020 (42) พบว่า ระบบการประมวลผลของ เครื่องสแกนในช่องปากต่างชนิดส่งผลต่อความเข้ากัน ระหว่างสแกนบอดีจากการสแกนและสแกนบอดีจาก คลังข้อมูลต่างกัน เช่น ระบบซอฟต์แวร์ของ PRIMESCAN, ITERO ELEMENTS 5D และ Emerald S จะลบร่างแห ส่วนเกินจากการสแกนออกอัตโนมัติซึ่งอาจเป็นผลให้ สแกนบอดีจากการสแกนมีขอบเขตแผนที่สี (color map) เล็กกว่าสแกนบอดีจากคลังข้อมูล เป็นต้น แต่เนื่องจากการ ศึกษาเป็นการศึกษาเชิงคุณภาพจึงไม่สามารถ ระบุได้ว่าขอบเขตที่เล็กลงนี้ส่งผลต่อความเข้ากันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ อย่างไรก็ตาม Mangano ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Park และคณะ ปี 2023 (44) ซึ่งระบุว่า บริเวณที่แนะนำในการตรวจสอบ ความเข้ากันคือพื้นผิวเรียบของสแกนบอดี

การศึกษาถึงผลของระบบซอฟต์แวร์ต่อความ แม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมยังมีน้อย อาจเกิดจาก ทีมพัฒนามีการปรับปรุงระบบซอฟต์แวร์อย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องเพื่อแก้ไขข้อบกพร่อง พัฒนาความแม่นยำ

ของอัลกอริทึม รวมถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยน ข้อมูลและความเข้ากันได้กับระบบซอฟต์แวร์อื่น ดังนั้น ผู้ใช้โปรแกรมควรอัปเดตระบบซอฟต์แวร์ให้เป็นเวอร์ชัน (version) ล่าสุดเพื่อความแม่นยำของข้อมูลตลอด กระบวนการ (26, 41)

4. รากฟันเทียม

4.1 ระดับความลึกของรากฟันเทียม (implant depth)

รากฟันเทียมที่ฝังในกระดูกในระดับความลึกที่ ต่างกันโดยใช้สแกนบอดีที่มีความยาวเท่ากันได้ข้อสรุป ที่สอดคล้องกันคือ เมื่อรากฟันเทียมฝังลึกลงต่ำกว่าระดับ เหงือกมากขึ้นจะทำให้ความแม่นยำของสแกนบอดี น้อยลง เนื่องจากแถบสแกนของสแกนบอดีอยู่ระดับ พื้นเหงือกลดลง (29-31) ดังนั้น หากรากฟันเทียมที่ฝัง ในกระดูกอยู่ต่ำกว่าระดับเหงือกมากควรใช้สแกนบอดี ที่มีความยาวมากขึ้นเพื่อให้ระบบซอฟต์แวร์ตรวจจับ ความเข้ากันได้ (matching) จากรูปลักษณะที่จำเพาะ ของแถบสแกนของสแกนบอดี (1-2) โดยสแกนบอดี ในท้องตลาดมีความสูงตั้งแต่ 3-17 มิลลิเมตร ขึ้นกับ บริษัทผู้ผลิต (1)

4.2 มุมเอียงรากฟันเทียม (implant angulation)

มุมเอียงรากฟันเทียม หมายถึง มุมของรากฟัน เทียมเมื่อเทียบกับแกนฟัน (long axis) หรือโครงสร้าง ข้างเคียง การศึกษาถึงผลของมุมเอียงรากฟันเทียมต่อ ความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล ยังมีน้อยและไม่สามารถเปรียบเทียบผลการ ศึกษาของแต่ละงานวิจัยได้ (37,45) อาจเนื่องมาจากการ ออกแบบการทดลองที่แตกต่างกัน อาทิ ระดับมุมเอียง รากฟันเทียม ระดับความลึกรากฟันเทียม ลักษณะแบบ จำลองฝังรากฟันเทียม ทำให้ผลการศึกษาที่ได้ต่างกัน อาทิ Lin และคณะ ปี 2015 (32) ศึกษาการพิมพ์รากฟันเทียม แบบดิจิทัลที่มีรากฟันเทียมในตำแหน่งขากรรไกรส่วน ท้ายพบว่า ผลรวมของมุมเอียงรากฟันเทียม 2 ตัว เท่ากับ 0 และ 15 องศาให้ความแม่นยำมากกว่า การพิมพ์รากฟันเทียมแบบดั้งเดิม แต่หากผลรวมของ มุมเอียง 30 และ 45 องศา จะได้ค่าความแม่นยำที่

น้อยกว่า ส่วน Gómez-Polo และคณะ ปี 2022 (45) ศึกษาผลของความเอียงของรากฟันเทียมในสแกนบอดี้ที่มีความสูง 3 6 และ 10 มิลลิเมตรในกรณีขากรรไกรไร้ฟันพบว่า หากผลรวมของมุมเอียงระหว่างรากฟันเทียมมากถึง 30 องศา แนะนำให้ใช้สแกนบอดี้ที่มีความสูงฟันเหงือกมากขึ้นเพื่อให้ส่วนของแถบสแกนเห็นชัดเจน

4.3 ระยะห่างของรากฟันเทียม (inter-implant distance)

การพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลเกิดจากการเคลื่อนเครื่องสแกนในช่องปากอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดภาพสามมิติที่ต่อกัน ดังนั้นภาพสามมิติที่มีความแม่นยำจะต้องมีจุดร่วมกันของภาพเพื่อให้เครื่องสแกนจดจำวัตถุได้ ตำแหน่งอ้างอิงที่ดีในการสแกนจึงควรอยู่หนึ่งและมีลักษณะเฉพาะ (46) ดังนั้น หากระยะห่างระหว่างรากฟันเทียมมากขึ้น ความแม่นยำของสแกนบอดี้จะน้อยลงเนื่องจากสันเหงือกวางระหว่างรากฟันเทียมขาดลักษณะเฉพาะในการเป็นจุดอ้างอิงที่ดีในการสแกน (25,28,33-34)

4.4 ตำแหน่งของรากฟันเทียม (implant position)

Kim และคณะ ปี 2019 (27) จำลองการพิมพ์ปากในกรณีที่มีรากฟันเทียม 6 ตำแหน่งร่วมกับฟันธรรมชาติพบว่า สแกนบอดี้ที่อยู่ไกลจากตำแหน่งสแกนเริ่มต้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น เพราะมีการสะสมความผิดพลาดจากลักษณะทางกายวิภาคที่ขาดความเฉพาะของฟันหน้า อย่างไรก็ตาม สแกนบอดี้มีความจำเพาะมากกว่าลักษณะของฟันหน้า ทำให้เครื่องสแกนในช่องปากสามารถจดจำสแกนบอดี้ได้ดี Marques และคณะ ปี 2022 (46) จึงแนะนำว่าการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลโดยใช้สแกนบอดี้ร่วมกับเครื่องสแกนในช่องปากในกรณีฝังรากฟันเทียมทดแทนตำแหน่งฟันหน้าสามารถให้ความแม่นยำที่ดีในทางคลินิก

5. เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมในการสแกน (environment condition)

5.1 สภาวะแวดล้อมในช่องปาก (intraoral environment) เช่น ความชื้น (moisture) น้ำลาย (saliva) ขนาดของลิ้น (size of tongue) การเคลื่อนไหวของเนื้อเยื่อ (soft tissue mobility) เป็นต้น เนื่องจากพื้นผิว

ที่สแกนต้องมีลักษณะที่เอื้อให้แสงตกกระทบได้ หากวัตถุมีความชื้นหรือน้ำลาย เครื่องสแกนจะไม่สามารถเก็บรายละเอียดบริเวณที่เกิดแสงสะท้อนบนความชื้นหรือน้ำลายได้ หรือกรณีที่มีขนาดลิ้นใหญ่และเนื้อเยื่ออ่อนไม่อยู่นิ่งจะมีผลต่อการจับภาพของเครื่องสแกนในช่องปากและภาพสามมิติที่ได้อาจผิดเพี้ยนไปจากวัตถุจริง (2, 37)

5.2 สภาวะแวดล้อมนอกช่องปาก (extraoral environment) เช่น ระยะห่างระหว่างเครื่องสแกนในช่องปากและวัตถุ ความสว่างของแสงโดยรอบ (ambient light) อุณหภูมิโดยรอบ (ambient temperature) เป็นต้น การศึกษาของ Revilla-León และคณะ ปี 2020 (47) พบว่า ความสว่างของแสงโดยรอบมีผลต่อความแม่นยำในการสแกนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้เครื่องสแกนในช่องปากรุ่น TRIOS 3 ความสว่าง 1,003 ลักซ์ เมื่อเทียบกับ 10,000 500 และ 0 ลักซ์ ให้ค่าความแม่นยำในการสแกนที่สูงสุด (29) อย่างไรก็ตาม เครื่องสแกนในช่องปากแต่ละรุ่นให้ความแม่นยำที่ดีในสภาวะความสว่างของแสงโดยรอบที่ต่างกัน (35) ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตเครื่องสแกนในปากควรกำหนดค่าความสว่างของแสงโดยรอบที่เหมาะสมในการสแกน (35,40) ส่วนอุณหภูมิโดยรอบ Revilla-León และคณะ ปี 2022 (48) พบว่า อุณหภูมิโดยรอบสูงขึ้นทำให้ความแม่นยำในการสแกนลดลง แต่หากเครื่องสแกนในช่องปากได้รับการสอบเทียบ (calibration) ก่อนการสแกนจะช่วยให้อุณหภูมิโดยรอบมีความเหมาะสมในการสแกน (40)

6. ผู้สแกน (operator)

การศึกษาของ Choi และคณะ ปี 2020 (49) พบว่า เมื่อใช้รูปแบบการสแกนเดียวกัน ผู้สแกนไม่มีผลต่อความแม่นยำของสแกนบอดี้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม Revell และคณะ ปี 2022 (50) ศึกษาความแม่นยำของสแกนบอดี้ในการพิมพ์รากฟันเทียมกรณีขากรรไกรไร้ฟันโดยใช้เครื่องสแกนในช่องปากต่างรุ่นกัน (iTero Element 2, Medit i500, Primescan, TRIOS 3, TRIOS 4) และเปรียบเทียบระหว่างผู้สแกนที่มีประสบการณ์กับผู้สแกนที่ไม่มีประสบการณ์ในการใช้เครื่องสแกนนี้พบว่า ผู้สแกนที่มีประสบการณ์ให้ความ

แม่นยำของการสแกนบริเวณสันเหงือกกว้างที่มากกว่า แต่หากมีสแกนบอดี้ในตำแหน่งสันเหงือกกว้างพบว่า ประสิทธิภาพของผู้สแกนไม่มีผลต่อความแม่นยำของ ตำแหน่งรากฟันเทียมในเครื่องสแกนในช่องปากรุ่น iTero, Element 2, Primescan และ TRIOS 3 อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้การศึกษาถึงผลของประสิทธิภาพ

ของผู้สแกนต่อความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียม แบบดิจิทัลมีค่อนข้างน้อย แต่ถ้าผู้สแกนศึกษาวิธีการใช้ เครื่องสแกนในช่องปาก และมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับ หลักการสแกนที่ถูกต้องจะทำให้ภาพสามมิติที่ได้มีความ แม่นยำที่ดี (40)

ตารางที่ 3 ข้อคำนึงถึงผลของปัจจัยต่อความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล

Table 3. Considerations of factors affecting accuracy in digital dental implant impression.

	ปัจจัยที่มีการศึกษาในปัจจุบัน	ข้อสรุป
1.สแกนบอดี้	วัสดุที่ใช้ การออกแบบ ลักษณะการใช้งาน เช่น แรงขัน จำนวนครั้งในการใช้งาน วิธีการทำความสะอาดหลังการใช้งาน เป็นต้น	ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบ และคำแนะนำในการใช้งานของบริษัทผู้ผลิต เครื่องสแกนในปัจจุบัน
2.เครื่องสแกนในช่องปาก	ชนิดของเครื่องสแกน เช่น ขนาดของ กล้องจับภาพ ขนาดด้ามสแกน เทคโนโลยี การรับภาพ เป็นต้น	ให้ความแม่นยำที่ยอมรับได้ทางคลินิก
3. ระบบซอฟต์แวร์	ระบบซอฟต์แวร์ในการสร้างภาพสามมิติ และระบบซอฟต์แวร์ในการประมวลผล สแกนบอดี้	ควรตรวจสอบการประมวลผล ความเข้ากันของสแกนบอดี้ และอัปเดตระบบซอฟต์แวร์ อย่างสม่ำเสมอ
4.รากฟันเทียม	ความลึกและความเอียงของรากฟันเทียม	รากฟันเทียมจะต้องอยู่ในระดับที่ เครื่องสแกนยังสามารถสแกนแถบ สแกนของสแกนบอดี้ได้ดี
	ระยะห่างระหว่างรากฟันเทียม	ระยะห่างมากขึ้นทำให้ความแม่นยำ ในสแกนลดลง
	ตำแหน่งของรากฟันเทียม	ความแม่นยำจะลดลงเมื่ออยู่ไกลจาก จุดเริ่มต้นในการสแกน
5.สภาวะแวดล้อม	ภายในช่องปาก เช่น ความชื้น น้ำลาย ขนาดของลิ้น การเคลื่อนไหวของเนื้อเยื่อ เป็นต้น	บริเวณที่สแกนควรแห้งและอยู่นิ่ง
	ภายนอกช่องปาก เช่น ระยะห่างระหว่าง เครื่องสแกนในช่องปากและวัตถุ ความสว่างของแสงโดยรอบ อุณหภูมิโดยรอบ เป็นต้น	ขึ้นอยู่กับคำแนะนำในการใช้งาน ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องสแกน ในช่องปาก
6.ผู้สแกน	ประสิทธิภาพของผู้สแกน	ผู้สแกนควรศึกษาวิธีสแกนก่อน การใช้งาน

บทสรุป (Conclusion)

การพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสร้างชิ้นงานบนรากฟันเทียม โดยการศึกษาถึงความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลในปัจจุบันพบว่าการสร้างชิ้นงานบนรากฟันเทียมตั้งแต่ 1-4 ตัว ด้วยวิธีพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลให้ความแม่นยำที่ยอมรับได้ทางคลินิก แต่ในกรณีขากรรไกรไร้ฟันยังไม่มีข้อสรุปถึงความแม่นยำในการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัล อย่างไรก็ตาม การสร้างรอยพิมพ์รากฟันเทียมที่ดีและเกิดความแม่นยำประกอบด้วยหลายปัจจัย ดังนั้นผู้สแกนควรปฏิบัติตามคำแนะนำการใช้งานทั้งในแง่ของสแกนเนอร์ เช่น ทอร์ก วิธีการทำความสะอาดของสแกนเนอร์ เป็นต้น และในแง่ของเครื่องสแกนในช่องปาก อาทิ ศึกษารูปแบบสแกน เทคโนโลยีการรับภาพ คำแนะนำการใช้งานของเครื่องสแกนในช่องปากนั้น ๆ หมั่นอัปเดตระบบซอฟต์แวร์ รวมถึงเข้าใจข้อจำกัดการใช้งาน เช่น ควรเลือกใช้วิธีการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลในกรณีรากฟันเทียมอยู่ในระดับที่เครื่องสแกนยังสามารถมองเห็นแถบสแกนของสแกนเนอร์ได้ดี สามารถกั้นลิ้นหรือน้ำลายในระหว่างสแกนได้ หรือเครื่องสแกนบางรุ่นมีคุณภาพที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์ขากรรไกร ข้ามจุดภาคทำให้เครื่องสแกนในช่องปากนี้อาจไม่เหมาะต่อการพิมพ์รากฟันฟันเทียมกรณีระยะห่างของรากฟันเทียมมากหรือรากฟันเทียมหลายตัวข้ามจุดภาค เป็นต้น หากผู้สแกนทราบถึงหลักการพิมพ์รากฟันเทียมแบบดิจิทัลเบื้องต้นเหล่านี้ก็จะทำให้ขั้นตอนแรกของการสร้างชิ้นงานบนรากฟันเทียมเกิดความแม่นยำ และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อคนไข้ไม่มากนัก

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Marques S, Ribeiro P, Falcão C, Lemos BF, Ríos-Carrasco B, Ríos-Santos JV, et al. Digital impressions in implant dentistry: a literature review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(3):1020. doi: 10.3390/ijerph18031020.
2. Mizumoto RM, Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: a systematic review. *J Prosthet Dent*. 2018;120(3):343-52.
3. Lee H, So JS, Hochstedler JL, Ercoli C. The accuracy of implant impressions: a systematic review. *J Prosthet Dent*. 2008;100(4):285-91.
4. Joda T, Wittneben JG, Brägger U. Digital implant impressions with the “Individualized Scanbody Technique” for emergence profile support. *Clin Oral Implants Res*. 2014;25(3):395-7.
5. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkyne A. Recent advances in dental optics–Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*. 2014; 54:203-21.
6. Henprasert P, Dawson DV, El-Kerdani T, Song X, Couso-Queiruga E, Holloway JA. Comparison of the accuracy of implant position using surgical guides fabricated by additive and subtractive techniques. *J Prosthodont*. 2020;29(6): 534-41.
7. Papaspyridakos P, Vazouras K, Chen YW, Kotina E, Natto Z, Kang K, et al. Digital vs Conventional implant impressions: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont*. 2020; 29(8):660-78.
8. Michelinakis G, Apostolakis D, Kamposiora P, Papavasiliou G, Özcan M. The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: a narrative review. *BMC Oral Health*. 2021;21(1):37. doi: 10.1186/s12903-021-01398-2.
9. Albánchez-González MI, Brinkmann JC, Peláez-Rico J, López-Suárez C, Rodríguez-Alonso V, Suárez-García MJ. Accuracy of digital dental implants impression taking with intraoral scanners compared with conventional impression techniques: a systematic review of in vitro studies. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(4):2026. doi: 10.3390/ijerph19042026.

10. Sobczak B, Majewski P. An integrated fully digital prosthetic workflow for the immediate full-arch restoration of edentulous patients-a case report. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(7):4126. doi: 10.3390/ijerph19074126.
11. Lorenzetti M, Lorenzetti V, Carossa M, Cavagnetto D, Mussano F. Using a preoperative scan digital impression and a digital index to build immediate interim full-arch implant-supported prosthesis. A case report and proof of concept. *Applied Sciences*. 2021;11(3):996. doi:10.3390/app11030996.
12. Schmidt A, Wöstmann B, Schlenz MA. Accuracy of digital implant impressions in clinical studies: A systematic review. *Clin Oral Implants Res*. 2022;33(6):573-85.
13. Lawand G, Ismail Y, Revilla-León M, Tohme H. Effect of implant scan body geometric modifications on the trueness and scanning time of complete arch intraoral implant digital scans: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2022. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.06.004.
14. Andriessen FS, Rijkens DR, van der Meer WJ, Wismeijer DW. Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles: a pilot study. *J Prosthet Dent*. 2014;111(3):186-94.
15. Arcuri L, Pozzi A, Lio F, Rompen E, Zechner W, Nardi A. Influence of implant scanbody material, position and operator on the accuracy of digital impression for complete-arch: A randomized in vitro trial. *J Prosthodont Res*. 2020;64(2):128-36.
16. Lee JH, Bae JH, Lee SY. Trueness of digital implant impressions based on implant angulation and scan body materials. *Sci Rep*. 2021;11(1):21892. doi:10.1038/s41598-021-01442-9.
17. Diker E, Terzioglu H, Gouveia DNM, Donmez MB, Seidt J, Yilmaz B. Effect of material type, torque value, and sterilization on linear displacements of a scan body: An in vitro study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2023;25(2):419-25.
18. Kim J, Son K, Lee KB. Displacement of scan body during screw tightening: A comparative in vitro study. *J Adv Prosthodont*. 2020;12(5):307-15.
19. Stimmelmayer M, Güth JF, Erdelt K, Edelhoff D, Beuer F. Digital evaluation of the reproducibility of implant scanbody fit--an in vitro study. *Clin Oral Investig*. 2012;16(3):851-6.
20. Arcuri L, Lio F, Campana V, Mazzetti V, Federici FR, Nardi A, Galli M. Influence of implant scanbody wear on the accuracy of digital impression for complete-arch: a randomized in vitro trial. *Materials (Basel)*. 2022;15(3):927. doi: 10.3390/ma15030927.
21. Fluegge T, Att W, Metzger M, Nelson K. A novel method to evaluate precision of optical implant impressions with commercial scan bodies--an experimental approach. *J Prosthodont*. 2017; 26(1):34-41.
22. Sawyers J, Baig MR, El-Masoud B. Effect of multiple use of impression copings and scanbodies on implant cast accuracy. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2019;34(4):891-8.
23. Mangano F, Hauschild U, Veronesi G, Imburgia M, Mangano C, Admakin O. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: A comparative in vitro study. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):101. doi: 10.1186/s12903-019-0792-7.

24. Kim RJY, Benic G, Park J-M. Trueness of ten intraoral scanners in determining the positions of simulated implant scan bodies. *Scientific Reports*. 2022;11(1):2606. doi:10.1038/s41598-021-82218-z.
25. Flügge TV, Att W, Metzger MC, Nelson K. Precision of dental implant digitization using intraoral scanners. *Int J Prosthodont*. 2016;29(3):277-83.
26. Mangano FG, Admakin O, Bonacina M, Lerner H, Rutkunas V, Mangano C. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):263. doi:10.1186/s12903-020-01254-9.
27. Kim RJ, Benic GI, Park JM. Trueness of digital intraoral impression in reproducing multiple implant position. *PLoS One*. 2019;14(11):e0222070. doi: 10.1371/journal.pone.0222070.
28. Kanjanasavitree P, Thammajaruk P, Guazzato M. Comparison of different artificial landmarks and scanning patterns on the complete-arch implant intraoral digital scans. *J Dent*. 2022;125:104266. doi: 10.1016/j.jdent.2022.104266.
29. Sequeira V, Harper MT, Lilly CL, Bryington MS. Accuracy of digital impressions at varying implant depths: an in vitro study. *J Prosthodont*. 2023;32(1):54-61.
30. Nam N-E, Shin S-H, Lim J-H, Lee B-R, Shim J, Kim J-E. Accuracy of implant position reproduction according to exposed length of the scan body during optical scanning: an in vitro study. *Applied Sciences*. 2021;11:1689. doi.org/10.3390/app11041689.
31. Laohverapanich K, Luangchana P, Anunmana C, Pornprasertsuk-Damrongsri S. Different implant subgingival depth affects the trueness and precision of the 3d dental implant position: a comparative in vitro study among five digital scanners and a conventional technique. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2021;36(6):1111-20.
32. Lin WS, Harris BT, Elathamna EN, Abdel-Azim T, Morton D. Effect of implant divergence on the accuracy of definitive casts created from traditional and digital implant-level impressions: an in vitro comparative study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2015;30(1):102-9.
33. Ciocca L, Meneghello R, Monaco C, Savio G, Scheda L, Gatto MR, et al. In vitro assessment of the accuracy of digital impressions prepared using a single system for full-arch restorations on implants. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2018;13(7):1097-108.
34. Thanasrisuebwong P, Kulchotirat T, Anunmana C. Effects of inter-implant distance on the accuracy of intraoral scanner: An in vitro study. *J Adv Prosthodont*. 2021;13(2):107-16.
35. Ochoa-López G, Cascos R, Antonaya-Martín JL, Revilla-León M, Gómez-Polo M. Influence of ambient light conditions on the accuracy and scanning time of seven intraoral scanners in complete-arch implant scans. *J Dent*. 2022;121:104138. doi: 10.1016/j.jdent.2022.104138.
36. Moslemion M, Payaminia L, Jalali H, Alikhasi M. Do type and shape of scan bodies affect accuracy and time of digital implant impressions?. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2020;28(1):18-27.

37. Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans: Part 2-Patient factors. *J Esthet Restor Dent.* 2023;35(1):241-9.
38. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral scanner technologies: a review to make a successful impression. *J Healthc Eng.* 2017;2017:8427595. doi: 10.1155/2017/8427595.
39. Amornvit P, Rokaya D, Peampring C, Sanohkan S. Confocal 3D optical intraoral scanners and comparison of image capturing accuracy. *Comput. Mater. Contin.* 2021;66(1):303-14.
40. Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans. Part 1: Operator factors. *J Esthet Restor Dent.* 2023;35(1):230-40.
41. Schmidt A, Schlenz M, Liu H, Kämpe H, Wöstmann B. The Influence of Hard-and Software Improvement of Intraoral Scanners on the Implant Transfer Accuracy from 2012 to 2021: An In Vitro Study. *Applied Sciences.* 2021;11(15):7166. doi:10.3390/app11157166.
42. Mangano F, Lerner H, Margiani B, Sopol I, Latuta N, Admakin O. Congruence between Meshes and Library Files of Implant Scanbodies: An In Vitro Study Comparing Five Intraoral Scanners. *J Clin Med.* 2020;9(7):2174. doi: 10.3390/jcm9072174.
43. Park SW, Choi YD, Lee DH. The effect of the improperly scanned scan body images on the accuracy of virtual implant positioning in computer-aided design software. *J Adv Prosthodont.* 2020;12(3):107-113.
44. Park S, Suh S, Kim H, Lee D, Lee SY, Jang W, Park C. New Scanning Strategy for More Accurate Implant Scanbody Alignment: Short Communication. *Int J Prosthodont.* 2023;36(1):71-3.
45. Gómez-Polo M, Sallorenzo A, Ortega R, Gómez-Polo C, Barmak AB, Att W, et al. Influence of implant angulation and clinical implant scan body height on the accuracy of complete arch intraoral digital scans. *J Prosthet Dent.* 2022. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.11.018.
46. Marques VR, Çakmak G, Yilmaz H, Abou-Ayash S, Donmez MB, Yilmaz B. Effect of scanned area and operator on the accuracy of dentate arch scans with a single implant. *J Clin Med.* 2022;11(14):4125. doi: 10.3390/jcm11144125.
47. Revilla-León M, Subramanian SG, Özcan M, Krishnamurthy VR. Clinical study of the influence of ambient light scanning conditions on the accuracy (trueness and precision) of an intraoral scanner. *J Prosthodont.* 2020;29(2):107-13.
48. Revilla-León M, Gohil A, Barmak AB, Gómez-Polo M, Pérez-Barquero JA, Att W, et al. Influence of ambient temperature changes on intraoral scanning accuracy. *J Prosthet Dent.* 2023;130(5):755-60.
49. Choi YD, Lee KE, Mai HN, Lee DH. Effects of scan body exposure and operator on the accuracy of image matching of implant impressions with scan bodies. *J Prosthet Dent.* 2020;124(3):379.e1-6.
50. Revell G, Simon B, Mennito A, Evans ZP, Renne W, Ludlow M, et al. Evaluation of complete-arch implant scanning with 5 different intraoral scanners in terms of trueness and operator experience. *J Prosthet Dent.* 2022;128(4): 632-8.

ติดต่อบทความ :

ผศ.ทพ.ดร.พิลัยศิษฐ์ ชัยจรีนนท์
ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่
50200
โทรศัพท์ : 053 944 438
อีเมล : pisaisit.c@cmu.ac.th

Corresponding author:

Asst.Prof.Dr. Pisaisit Chaijareenont
Department of Prosthodontics, Faculty of
Dentistry, Chiang Mai University, Suthep,
Muang, Chiang Mai, 50200, Thailand.
Tel: (665) 394 4438
E-mail: pisaisit.c@cmu.ac.th