

การเปรียบเทียบความแม่นยำของเทคนิคการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัล ในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วน: การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ

The Comparison Between Accuracy of Conventional Versus Digital Implant Impression Techniques in Partial Edentulism: Systematic Review

ณิชากุล เจินสทกิจ¹, ประเวศ เสรีเชษฐพงษ์^{2,3}, วรียรัตน์ เจริญประการ¹

Nitchakul Joensahakij¹, Pravej Serichetaphongse^{2,3}, Wareeratn Chengprapakorn¹

¹ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

¹Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

²คณะทันตแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยสยาม, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

²Faculty of Dentistry, Siam University, Bangkok, Thailand

³โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

³Bumrungrad International Hospital, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแม่นยำของเทคนิคการพิมพ์แบบรากเทียม ในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วน เปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัลโดยใช้เครื่องสแกนภายในช่องปาก โดยทำการสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูล พับเมด สกอปัส และโคคราน ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2543 ถึง มกราคม พ.ศ. 2567 ผลการศึกษารวมพบทั้งหมด 4,544 เรื่อง ผ่านเกณฑ์การคัดเลือก 14 เรื่อง นำมาแบ่งกลุ่มย่อยตามตัวแปรที่ใช้ในการวัดความแม่นยำ เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียม พบว่า ความแม่นยำของเทคนิคการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมดีกว่าวิธีดิจิทัล ($p = 0.05$) ส่วนในกลุ่มที่วัดความแม่นยำโดยการวัดค่าเบี่ยงเบนสามมิติ พบว่า ความแม่นยำของเทคนิคการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัลดีกว่าวิธีดั้งเดิม ($p = 0.007$) โดยสรุป ผลการศึกษาส่วนใหญ่ให้ความแม่นยำของเทคนิคการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมดีกว่าวิธีดิจิทัล และ วิธีดิจิทัลดีกว่าวิธีดั้งเดิม จำนวนใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากเทคโนโลยีของเครื่องสแกนภายในช่องปากมีการพัฒนามากขึ้น เป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลให้การศึกษานี้ 2-3 ปีหลัง ให้ความแม่นยำของเทคนิคการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัลดีกว่าวิธีดั้งเดิม ในกรณีที่มีจำนวนรากเทียม 2-3 รากเทียม และทำมุมกันน้อยกว่า 20 องศา สามารถพิมพ์แบบรากเทียมได้ทั้งวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัล การศึกษานี้มีข้อเสนอนะ ให้มีการวัดความแม่นยำด้วยวิธีการที่เป็นมาตรฐานแบบเดียวกันเพิ่มมากขึ้นในการศึกษาในอนาคตทั้งงานวิจัยนอกห้องปฏิบัติการและในห้องปฏิบัติการ เพื่อสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำร่วมกันได้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม, การพิมพ์แบบด้วยวิธีดิจิทัล, ความแม่นยำ, รากเทียม, สภาวะไร้ฟันบางส่วน

Abstract

The aim of this systematic review was to compare the accuracy of implant impression techniques between conventional technique and intraoral scanner in partial edentulism. Systematic search was conducted in PubMed, Scopus, and Cochrane, from January 2000 to January 2024. Among the total of 4,544 publications, 14 were selected according to inclusion and exclusion criteria. The sub-grouped meta-analysis was conducted following the accuracy parameters; inter-implant distance deviation favoring conventional techniques ($p = 0.05$), three-dimensional deviation

(trueness and precision) favoring digital techniques ($p = 0.007$). The results found that the numbers of studies were comparable between the studies favoring conventional techniques and the studies favoring digital techniques. However, technologies of intraoral scanner have been developed, resulting in improved accuracy of digital technique. Implant impression with digital techniques tend to performed better accuracy compared to conventional techniques in recent studies of partial edentulism. In case of two to three implants and inter-implant angulation under 20 degrees, both conventional and digital implant impression could be performed. Further studies that perform standardized methodologies both in laboratory and clinical condition are required to conduct meta-analysis.

Keywords: Conventional impression, Digital impression, Accuracy, Dental implant, Partial edentulism

Received date: Apr 2, 2024

Revised date: July 1, 2024

Accepted date: Jul 11, 2024

Doi: 10.14456/jdat.2024.16

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

วริยรัตน์ เจิงประภากร ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย โทร: 081-755-7558 อีเมล: wchengprapakorn@gmail.com

Correspondence to:

Wareeratn Chengprapakorn, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, 34 Henri-Dunant Road, Wangmai, Patumwan, Bangkok, 10330, Thailand. Tel: 081-755-7558, E-mail: wchengprapakorn@gmail.com

บทนำ

รากเทียม (dental implant) เป็นหนึ่งในทางเลือกของแผนการรักษาสำหรับงานทันตกรรมประดิษฐ์ชนิดติดแน่น (fixed dental prosthesis) เพื่อทดแทนฟันที่สูญเสียไปบริเวณสันเหงือกกว้างขึ้นงานทันตกรรมประดิษฐ์บนรากเทียม (implant prosthesis) ที่ดีควรมีความแนบสนิท (passive fit) ระหว่างฟันปลอมและรากเทียมเพื่อให้เกิดความสำเร็จของชิ้นงานในระยะยาว การเกิดความไม่แนบสนิทเป็นผลมาจากความแม่นยำ (accuracy) ของชิ้นงานที่ไม่เพียงพอ^{1,2} ขั้นตอนการพิมพ์แบบ (impression) รากเทียม เป็นขั้นตอนสำคัญในการลอกเลียนตำแหน่งรากเทียมจากภายในช่องปากเพื่อนำมาสร้างชิ้นงานทันตกรรมประดิษฐ์ การพิมพ์แบบรากเทียมสามารถทำได้หลากหลายวิธีการ ไม่ว่าจะเป็น การพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม (conventional impression) และวิธีดิจิทัล (digital impression) ได้แก่ การใช้เครื่องสแกนภายในช่องปาก (intraoral scanner) ซึ่งมีความสะดวกในการใช้งานทั้งต่อผู้ป่วยและทันตแพทย์

เครื่องสแกนภายในช่องปาก มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ การจับภาพ การประมวลผลข้อมูล และภาพสามมิติที่แสดงผล โดยเทคนิคที่ใช้ในการสร้างภาพ ได้แก่ เทคนิคสามเหลี่ยม (triangulation technique) ซึ่งใช้หลักการพีทาโกรัส (Pythagoras) ในการคำนวณระยะทางและมุมระหว่างวัตถุ เช่น ซีเรคโอมนิแคม (Cerec omnicam, Sirona, Bensheim, Germany) เป็นต้น เทคนิคคอนโฟคอล

(confocal technique) ซึ่งสร้างภาพจากการโฟกัสร่วมผ่านเลนส์ตามระดับความลึกที่กำหนด แล้วนำมาซ้อนทับกันเป็นภาพสามมิติ เช่น ไอเทโร (iTero, Align Technology Inc, USA) และ ทริออส (TRIOS, 3Shape, Denmark) เป็นต้น และเทคนิคแอคทีฟเวฟรอนต์แซมปลิง (active wavefront sampling) ซึ่งมีการสร้างภาพโดยใช้กล้องหนึ่งตัวและระบบรับแสงซึ่งหมุนเป็นวงกลมรอบแกนแสง เช่น ลาวาซีโอเอส (Lava C.O.S., USA) และ ทรูเดฟินิชั่น (True Definition, 3M, USA) เป็นต้น^{3,4}

เครื่องสแกนภายนอกช่องปาก (extraoral scanner) นิยมใช้ในการบันทึกในห้องปฏิบัติการ มีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับเครื่องสแกนภายในช่องปาก เนื่องจากเครื่องสแกนภายนอกช่องปากมีจำนวนกล้องและแกนหมุนที่มากกว่า⁵ แต่ไม่สามารถบันทึกตำแหน่งรากเทียมจากภายในช่องปากได้โดยตรง และไม่สามารถพกพาได้ ทำให้ต้องผ่านขั้นตอนการพิมพ์แบบด้วยวิธีอื่น และเกิดการสะสมข้อผิดพลาด (errors) เครื่องสแกนภายนอกช่องปากจึงถูกนำมาใช้ในการอ้างอิงสำหรับงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* studies) เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมและเครื่องสแกนภายในช่องปาก.⁶⁻¹⁰

อ้างอิงจาก ISO 572.5-1:2003 ความหมายของความแม่นยำ ประกอบด้วย ความถูกต้อง (trueness) และ ความเที่ยง (precision)

โดย ความถูกต้อง หมายถึง ความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริง ส่วน ความเที่ยง หมายถึง ความสามารถในการทำซ้ำได้¹¹ ความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียมสามารถวัดได้จาก ค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียม (inter-implant distance deviation) และค่าเบี่ยงเบนสามมิติ (three-dimensional deviation)¹²⁻¹⁴ มีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างความแม่นยำในการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัล ในกรณีที่พิมพ์รากเทียมเดี่ยว พบว่า ทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากจำนวนภาพที่นำมาต่อกันเป็นภาพสามมิติจากเครื่องสแกนภายในช่องปากมีจำนวนไม่มาก ทำให้เกิดการสะสมของข้อผิดพลาดน้อย เมื่อเทียบกับกรณีที่พิมพ์ภาวะไร้ฟันบางส่วน (partial edentulism) และภาวะไร้ฟัน (edentulism)^{15,16} การศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำในการพิมพ์แบบรากเทียม ในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วนและภาวะไร้ฟัน ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน มีทั้งการศึกษาที่วิธีดั้งเดิมมีความแม่นยำมากกว่า^{17,18} และ วิธีดิจิทัลมีความแม่นยำมากกว่า^{19,20} มีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความแม่นยำ ไม่ว่าจะเป็น จำนวน ตำแหน่ง ระยะห่าง และมุมระหว่างรากเทียม ระดับในการพิมพ์แบบ (abutment-level, implant-level) ชนิดของเครื่องสแกน โปรแกรมในการวัดความแม่นยำและออกแบบชิ้นงาน เป็นต้น^{19,20}

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับ การเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการพิมพ์แบบรากเทียม ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัล ส่วนใหญ่ให้ผลว่าวิธีดั้งเดิมมีความแม่นยำที่ดีกว่าวิธีดิจิทัลในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วน และวิธีดิจิทัลมีความแม่นยำที่ดีกว่าวิธีดั้งเดิมในกรณีภาวะไร้ฟัน^{16,20} แต่เนื่องจากในปัจจุบัน มีจำนวนการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัล เพิ่มมากขึ้น รวมไปถึงเครื่องสแกนมีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้อาจมีความเปลี่ยนแปลงไป^{7,9,21,22} ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแม่นยำของวิธีการพิมพ์แบบรากเทียมที่สามารถบันทึกตำแหน่งจากภายในช่องปาก เปรียบเทียบระหว่างการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัลโดยเครื่องสแกนภายในช่องปาก ในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วน โดยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ โดยรวบรวมการศึกษาในห้องปฏิบัติการ สมมติฐานการวิจัย คือ ความแม่นยำของการพิมพ์

แบบรากเทียม ในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วน ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัล ไม่มีความแตกต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาเป็นการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์ทอิกมาน (systematic review and meta-analysis) โดยมีการกำหนดคำสำคัญตามพีไอซีโอ (PICO)²³ ได้แก่ พี (P, Population) คือ ภาวะไร้ฟันบางส่วนที่ต้องการฝังรากเทียม ไอ (I, Intervention) คือ การพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัลโดยใช้เครื่องสแกนภายในช่องปาก ซี (C, Comparison) คือ การพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม และ โอ (O, Outcome) คือ ความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียม ตารางที่ 1 แสดงคำที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูลแพบเมด (PubMed) สกอปัส (Scopus) และ คอคราน (Cochrane) ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2543 ถึง มกราคม พ.ศ. 2567 มีการรวบรวมข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมเอนดโน้ต (Endnote 20, Clarivate Analytics, Philadelphia) และทำการคัดเลือกการศึกษาที่เกี่ยวข้องจาก หัวข้อบทคัดย่อ และบทความทั้งหมด ตามเกณฑ์การคัดเลือกบทความ (inclusion and exclusion criteria) ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยอ้างอิงตาม เกณฑ์การรายงานของฟิอาร์ไอเอสเอ็มเอ (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Checklist guideline)²³ ซึ่งกระทำโดยผู้วิจัย 2 ท่าน และมีการประชุมเพื่อหาข้อสรุป เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินค่างานวิจัย ได้แก่ คิวยูเอตีเอส-ซี (Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies-Comparative (QUADAS-C) tool)²⁴ โดยมีการปรับเปลี่ยนคำถามในส่วนที่หนึ่งและสองเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยนี้

การศึกษาที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจะถูกนำมาประเมินภาวะความต่าง (heterogeneity) และแบ่งกลุ่มการศึกษาในการวิเคราะห์ทอิกมาน เพื่อลดภาวะความต่าง การวิเคราะห์ทอิกมานโดยใช้โปรแกรมรีวิวนาเนเจอร์ (Review Manager, version 5.4, The Cochrane Collaboration) และแสดงผลการศึกษาเป็นแผนภูมิต้นไม้ (forest plot) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 1 แสดงคำที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูล

Table 1 Search term in database

ฐานข้อมูล	คำที่ใช้ในการสืบค้น
แพบเมด	(((((((((((((jaw, edentulous, partially[MeSH Terms]) OR (dental implants[MeSH Terms])) OR (dental prosthesis, implant supported[MeSH Terms])) AND (dental impression technique[MeSH Terms])) OR (digital impression)) OR (digital scan)) OR (intraoral scanner)) AND (conventional impression)) OR (open-tray impression)) OR (close-tray impression)) OR (transfer impression)) OR (pick-up impression)) AND (impression accuracy)) OR (impression trueness)) OR (impression precision)) AND ((“2000/01/01”[Date – Publication] : “2024/01/31”[Date – Publication]))

ตารางที่ 1 แสดงคำที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูล (ต่อ)

Table 1 Search term in database (cont.)

ฐานข้อมูล	คำที่ใช้ในการสืบค้น
สกอปัส	ALL(jaw, edentulous, partially) OR ALL(dental implants) OR ALL(dental prosthesis, implant supported) AND
คอคราน	ALL(dental impression technique) OR ALL(digital impression) OR ALL(digital scan) OR ALL(intraoral scanner) AND ALL(conventional impression) OR ALL(open-tray impression) OR ALL(close-tray impression) OR ALL(transfer impression) OR ALL(pick-up impression) AND ALL(impression accuracy) OR ALL(impression trueness) OR ALL (impression precision) AND PUBYEAR AFT 1999

ตารางที่ 2 เกณฑ์การคัดเลือกบทความ

Table 2 Inclusion and exclusion criteria

เกณฑ์การคัดเข้า	เกณฑ์การคัดออก
- การออกแบบการวิจัย เป็น การวิจัยในห้องปฏิบัติการ หรือ การวิจัยเชิงเปรียบเทียบ (comparative study) - ภาวะไร้ฟันบางส่วนที่ต้องการใส่รากเทียม - มีการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม โดยเทคนิคเปิด หรือ ปิด ถาดพิมพ์ (open-tray or close-tray) ด้วยวัสดุพิมพ์แบบพอลิไวนิล ซิลอกเซน (polyvinyl siloxane) หรือ พอลิเอเทอร์ (polyether) หรือ ปูนพลาสเตอร์ (plaster) - มีการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัล โดยใช้เครื่องสแกนภายในช่องปาก - วิธีการวัดความแม่นยำในกลุ่มที่พิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม โดยนำชิ้นหล่อมา วัดด้วยเครื่องมือวัดสามมิติ หรือ นำมาสแกนด้วยเครื่องสแกนภายนอก ช่องปากและส่งไฟล์เข้าโปรแกรมวิเคราะห์ - วิธีการวัดความแม่นยำในกลุ่มที่พิมพ์แบบด้วยวิธีดิจิทัล โดยนำไฟล์ที่ได้จากการสแกนเข้าโปรแกรมวิเคราะห์ หรือ กลึงขึ้นหล่อออกมาวัดด้วย เครื่องมือวัดสามมิติ - การวัดความแม่นยำของการพิมพ์แบบ ด้วย ค่าความแตกต่างของระยะห่าง ระหว่างรากเทียม หรือ ค่าเบี่ยงเบนสามมิติ	- การออกแบบการวิจัย เป็น รายงานการวิจัยทางคลินิก (clinical report) หรือ การทบทวนวรรณกรรม (literature review) - ภาวะไร้ฟันบางส่วนที่ต้องการใส่รากเทียมซี่เดียว - มีการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม ด้วยวัสดุพิมพ์แบบอัลจิเนท (alginate) หรือ พอลิซัลไฟด์ (polysulfide) - ชิ้นหล่อที่ได้จากการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิมถูกนำไปสแกนด้วย เครื่องสแกนภายในช่องปาก - ไม่มีกลุ่มที่พิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม หรือ วิธีดิจิทัล ในการเปรียบเทียบความแม่นยำ - ผลลัพธ์ของการวิจัยไม่มีการวัดความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียม

ผลการศึกษา

ผลการศึกษารวมพบทั้งหมด 4,544 เรื่อง ผ่านเกณฑ์การคัดเลือก 14 เรื่อง โดยอ้างอิงตามแผนภาพ พีอาร์ไอเอสเอ็มเอ 2020²⁵ (รูปที่ 1) และผลการประเมินค่างานวิจัยอ้างอิงจาก คิวยูเอตี เอเอส-ซี แสดงในตารางที่ 3 พบว่า มีการศึกษา 2 เรื่อง ที่มีความเสี่ยงต่อการมีอคติสูง (high risk of bias) ในส่วนที่ 1 และ 4 เนื่องจากมีกลุ่มตัวอย่างบางส่วนที่ทำการทดลอง ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ผลจากการเสียหายของไฟล์ที่ได้จากการสแกนและการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม

จากการศึกษาที่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมด 14 เรื่อง ที่เป็นการเปรียบเทียบความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม และวิธีดิจิทัล ในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วน พบว่า การศึกษา 6 เรื่อง ให้ผลการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิมมีความแม่นยำมากกว่าวิธีดิจิทัล²⁶⁻³¹ การศึกษา 5 เรื่อง ให้ผลการพิมพ์แบบด้วยวิธีดิจิทัลมีความแม่นยำ

มากกว่าวิธีดั้งเดิม^{12,32-35} และการศึกษา 3 เรื่อง ให้ผลทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ^{22,36,37}

ลักษณะและผลลัพธ์ของการศึกษาที่ผ่านการคัดเลือกแสดงในตารางที่ 4 ผลความแม่นยำในตารางที่ 4 CI > DI หมายถึง ความแม่นยำของการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม มากกว่าวิธีดิจิทัล โดยมีค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียม หรือ ค่าเบี่ยงเบนสามมิติ ของการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม น้อยกว่าวิธีดิจิทัล CI ~ DI หมายถึง ความแม่นยำของการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม ใกล้เคียงกับวิธีดิจิทัล โดยมีค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียม หรือ ค่าเบี่ยงเบนสามมิติ ใกล้เคียงกันทั้งสองวิธี และ DI > CI หมายถึง ความแม่นยำของการพิมพ์แบบด้วยวิธีดิจิทัล มากกว่าวิธีดั้งเดิม โดยมีค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียม หรือ ค่าเบี่ยงเบนสามมิติ ของการพิมพ์แบบด้วยวิธีดิจิทัล น้อยกว่าวิธีดั้งเดิม

ตารางที่ 3 ผลการประเมินค่างานวิจัยอ้างอิงจาก คิวยูเอตีเอเอส-ซี

Table 3 Risk of bias assessment according to QUADAS-C

การศึกษา	กลุ่ม ทดสอบ	ความเสี่ยงต่อการมีอคติ (คิวยูเอตีเอเอส-2)				ข้อกังวลเรื่องการบังคับใช้ (คิวยูเอตีเอเอส-2)			ความเสี่ยงต่อการมีอคติ (คิวยูเอตีเอเอส-ซี)			
		พี	ไอ	อาร์	เอฟ	พี	ไอ	อาร์	พี	ไอ	อาร์	เอฟ
Lin et al., 2015 ³⁰	[1]	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Ajioka et al., 2016 ²⁶	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Basaki et al., 2017 ³¹	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Chew et al., 2017 ²⁸	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Chia et al., 2017 ²⁹	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Alshawaf et al., 2018 ²⁷	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Marghalani et al., 2018 ¹²	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Roig et al., 2020 ³⁵	[1]	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
	[2]	-	+	+	-	+	+	+				
Abduo et al., 2021 ³²	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Mathey et al., 2021 ³⁴	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Abou-Ayash et al., 2022 ³³	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Alpkilic et al., 2022 ³⁶	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Onoral et al., 2022 ³⁷	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				
Tan et al., 2023 ²²	[1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	[2]	+	+	+	+	+	+	+				

คำย่อ: เอส: การเลือกกลุ่มตัวอย่าง (S: Sample Selection) ไอ: การทดสอบดัชนี (I: Index Test) อาร์: มาตรฐานอ้างอิง (R: Reference Standard) เอฟ: การดำเนินงานและเวลา (F: Flow and Timing) [1]: การพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม [2]: การพิมพ์แบบด้วยวิธีดิจิทัล + ความเสี่ยงต่ำ – ความเสี่ยงสูง และ ? ความเสี่ยงไม่ชัดเจน

ตารางที่ 4 ลักษณะและผลลัพธ์ของการศึกษาที่ผ่านการคัดเลือก

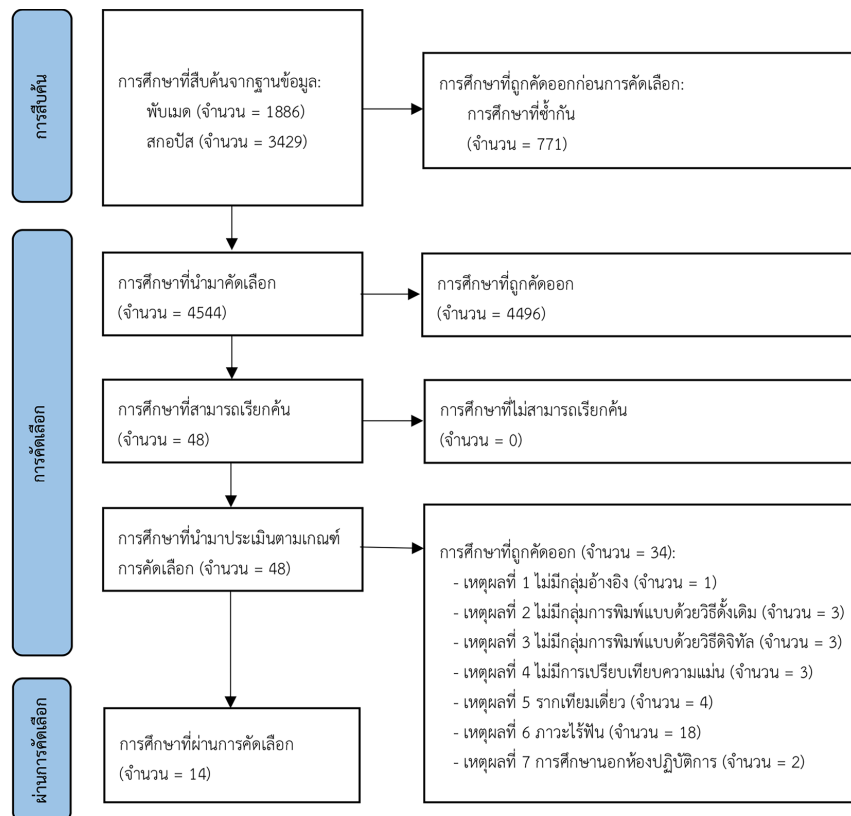
Table 4 Characteristics and outcome of the included studies

Studies	Implant numbers	Implant angulation	Position (Kennedy's Classification)	Implant type/ Impression level	Conventional impression technique (CI)	Digital impression technique (DI)	Methodology	Accuracy result
Lin <i>et al.</i> , 2015 ³⁰	2	0°, 15°, 30°, 45°	Posterior mandible (II)	Internal/ Implant-level	Non-splinted, open-tray	iTero	CI: Lab scanner (Cagenix) DI: Milled cast, Lab scanner CI, DI: Superimposition	0°, 15°: CI > DI 30°, 45°: CI ~ DI
Ajioka <i>et al.</i> , 2016 ²⁶	2	Parallel	Posterior mandible (III)	External/ Implant-level	Non-splinted, open-tray	Lava COS	CI: Physical CMM DI: 3D Measuring program (Focus Inspection)	CI > DI
Basaki <i>et al.</i> , 2017 ³¹	4	0°, 20°	Posterior mandible (I)	Internal/ Implant-level	Non-splinted, open-tray	iTero	CI: Lab scanner (D810, 3Shape) DI: Milled cast, Lab scanner CI, DI: 3D Measuring program (Quality Control Software)	CI > DI
Chew <i>et al.</i> , 2017 ²⁸	2	Parallel	Posterior mandible (III)	Internal/ Implant-level	Non-splinted, open-tray	Trios, iTero, True Definition	CI: Physical CMM DI: 3D Measuring (CAD software)	CI > DI
Chia <i>et al.</i> , 2017 ²⁹	2	0°, 10°, 20°	Posterior mandible (III)	Internal/ Implant-level	Non-splinted, open-tray	Trios	CI: Physical CMM DI: 3D Measuring (CAD software)	CI > DI
Alshawaf <i>et al.</i> , 2018 ²⁷	2	30°	Posterior mandible (II)	Internal/ Implant-level	Splinted, open-tray	Cerec Omnicam, True Definition	CI: Lab scanner (Activity 880) DI: Milled cast, Lab scanner CI, DI: Best-fit alignment (Geomagic Control 2015)	CI > DI
Marghalani <i>et al.</i> , 2018 ¹²	2	30°	Posterior mandible (II)	Internal/ Implant-level	Splinted, open-tray	Cerec Omnicam, True Definition	CI: Lab scanner (Activity 880) CI, DI: Best-fit alignment (Geomagic Control 2015)	DI > CI
Roig <i>et al.</i> , 2020 ³⁵	2	Parallel	Posterior maxilla (III)	Internal/ Implant-level	Close-tray Splinted, open-tray Non-splinted, open-tray	Carestream3600, Trios3, Cerec Omnicam, True Definition	CI: Lab scanner (D800, 3Shape) CI, DI: 3D Measuring program (Geomagic Control X)	DI > CI

ตารางที่ 4 ลักษณะและผลลัพธ์ของการศึกษาที่ผ่านการคัดเลือก (ต่อ)

Table 4 Characteristics and outcome of the included studies (cont.)

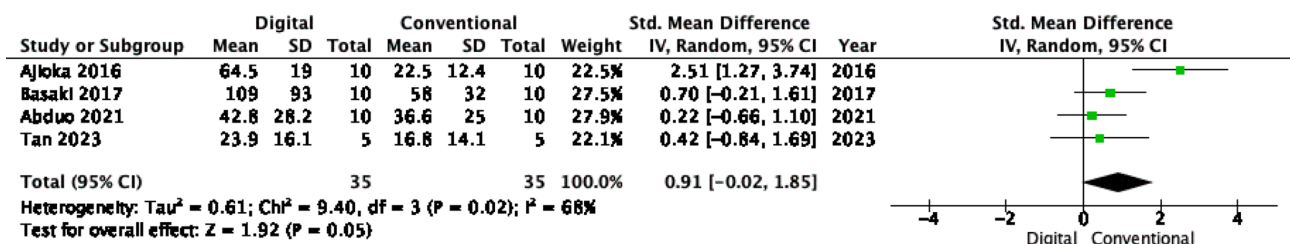
Studies	Implant numbers	Implant angulation	Position (Kennedy's Classification)	Implant connection type/ Impression level	Conventional impression technique (CI)	Digital impression technique (DI)	Methodology	Accuracy result
Abduo et al., 2021 ³²	2	0°, 15°	N/A	Internal/ Implant-level	Splinted, open-tray Non-splinted, open-tray	Trios 4, Medit i500, True Definition	CI: Lab scanner (identica T300, Medit) CI, DI: Superimposition (Geomagic Studio)	DI > CI
Mathey et al., 2021 ³⁴	2	Parallel	Posterior mandible (II)	Internal/ Implant-level	Non-splinted, open-tray	Trios 3	CI: Lab scanner (DWS 7-series) DI: Printed cast, Lab scanner CI, DI: Superimposition (Final surface software)	DI > CI
Abou-Ayash et al., 2022 ³³	2	Parallel	Anterior/ Posterior maxilla (II, IV)	Internal/ Implant-level	Non-splinted, open-tray	Trios3, Cerec Primescan	CI: Lab scanner (S600 Arti; Zirkonzahn) CI, DI: 3D Measuring program (GOM Inspect)	DI > CI
Alpkilic et al., 2022 ³⁶	3 - 7	Parallel	Anterior/ Posterior mandible (I, II, IV)	Internal/ Implant-level	Splinted, open-tray	Carestream3600, Trios3, Aadva, Emerald	CI: Lab scanner (Solutionix C500, Medit) CI, DI: Superimposition (Geomagic Studio)	CI ~ DI
Onoral et al., 2022 ³⁷	2	0°, 20°	Posterior mandible (II)	Internal/ Implant-level	Close-tray Splinted, open-tray (hex, non-hex)	Cerec Omnicam	CI: Lab scanner (inEOS X5, Dentsply Sirona) CI, DI: Best-fit alignment (Geomagic Control 2014)	0°: CI ~ DI 20°: Open-tray CI > DI > Close-tray CI
Tan et al., 2023 ²²	2	0°, 10°, 20°	Posterior mandible (III)	Internal/ Implant-level	Non-splinted, open-tray	Trios 3	CI: Physical CMM DI: Printed cast, Physical CMM	0°: CI ~ DI 10°, 20°: CI > DI



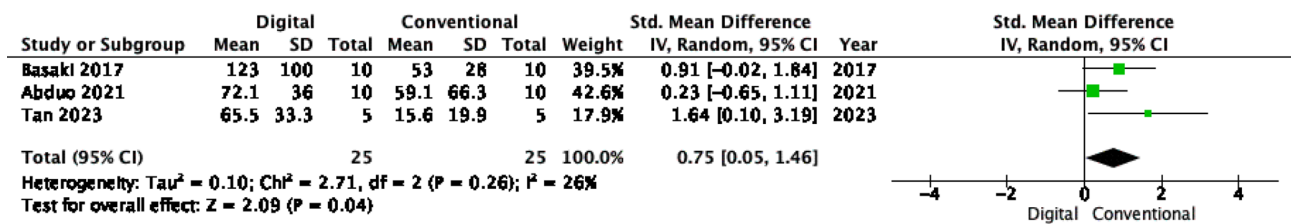
รูปที่ 1 แผนภาพฟิออร์ไอเอสเอ็มเอ 2020
Figure 1 PRISMA 2020 flow diagram

จากการศึกษาที่รวบรวมเข้าในการวิจัย 14 เรื่อง มีการศึกษา 5 เรื่องที่นำมาวิเคราะห์ห่อภิณ ^{22,26,31,32,34} เนื่องจากมีวิธีการวัดความแม่นยำในการพิมพ์แบบรากเทียมและตัวแปรที่ใช้ในการวัดคล้ายคลึงกัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อภาวะความต่างในการวิเคราะห์ห่อภิณ มีการแบ่งกลุ่มย่อยตามตัวแปรที่ใช้ในการวัดความแม่นยำ โดยมี 4 เรื่องที่ใช้ค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียม ^{22,26,31,32} พบว่า ในกรณีที่รากเทียมขนานกัน และใช้เครื่องมือสแกนภายในช่องปาก เทคนิคคอนโฟคอล ให้ผลการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม มีความแม่นยำมากกว่าวิธีดิจิทัล โดยมีผลต่างมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standardized mean difference) 0.91 (95% CI: -0.02, 1.85) และมีภาวะความต่างของผลการศึกษา (I²) 68% ($p = 0.05$) (รูปที่ 2) และมี 3 เรื่องที่ใช้ค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียม ^{22,31,32} พบว่า ในกรณีที่รากเทียมทำมุมกัน 15 – 20 องศา ให้ผลการพิมพ์แบบ

รากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม มีความแม่นยำมากกว่าวิธีดิจิทัล โดยมีผลต่างมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 0.75 (95% CI: 0.05, 1.46) และมีภาวะความต่าง 26% ($p = 0.04$) (รูปที่ 3) และมี 2 เรื่องที่ใช้ค่าเบี่ยงเบนสามมิติ ^{32,34} พบว่า ความถูกต้องของค่าเบี่ยงเบนสามมิติ ให้ผลการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัล มีความแม่นยำมากกว่าวิธีดั้งเดิม โดยมีผลต่างมาตรฐานของค่าเฉลี่ย -1.49 (95% CI: -2.57, -0.42) และมีภาวะความต่าง 53% ($p = 0.007$) (รูปที่ 4) และความเที่ยงของค่าเบี่ยงเบนสามมิติ ให้ผลการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัล มีความแม่นยำมากกว่าวิธีดั้งเดิม โดยมีผลต่างมาตรฐานของค่าเฉลี่ย -0.91 (95% CI: -1.57, -0.25) และไม่มีภาวะความต่าง ($p = 0.007$) (รูปที่ 5). ส่วนการศึกษาที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ห่อภิณ เนื่องจาก มีภาวะความต่างสูง และได้มีการอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อภาวะความต่าง แสดงในตารางที่ 5

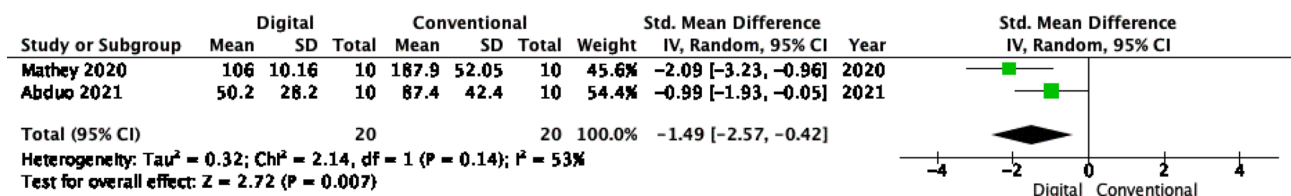


รูปที่ 2 แผนภาพต้นไม้แสดงค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียมในกรณีที่รากเทียมขนานกัน
Figure 2 Forest plot of inter-implant distance deviation in case of parallel implants



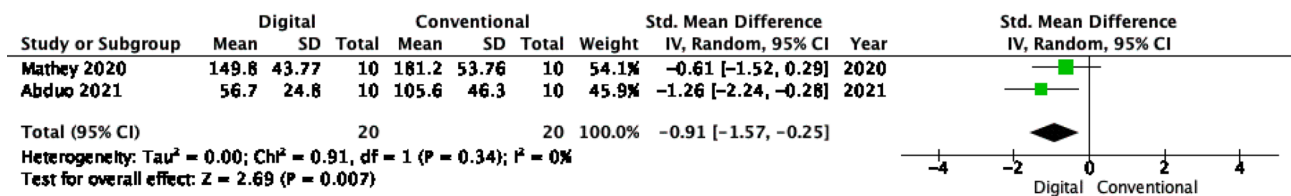
รูปที่ 3 แผนภาพต้นไม้แสดงค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียมในกรณีที่ทำมุมเกิน 15-20 องศา

Figure 3 Forest plot of inter-implant distance deviation in case of angulated implants (15-20 degrees)



รูปที่ 4 แผนภาพต้นไม้แสดงค่าความถูกต้องของค่าเบี่ยงเบนสามมิติ

Figure 4 Forest plot of three-dimensional deviation (Trueness)



รูปที่ 5 แผนภาพต้นไม้แสดงค่าความเที่ยงของค่าเบี่ยงเบนสามมิติ

Figure 5 Forest plot of three-dimensional deviation (Precision)

มีการศึกษาจำนวน 8 เรื่อง^{12,27,30,31,33,34,36,37} ที่เป็นการศึกษาในกรณีที่เป็นภาวะไร้ฟันบางส่วนด้านท้าย (Distal-extension partial edentulism) ซึ่งจัดอยู่ในเคนเนดี้ ระดับ 1 และ 2 (Kennedy class I and II) ตามการจำแนกโดย ดร. เอดเวิร์ด เคนเนดี้ (Dr. Edward Kennedy) ในปี 1925³⁸ จากการศึกษาในกรณีที่เป็น

ภาวะไร้ฟันบางส่วนด้านท้าย จำนวน 8 เรื่อง พบว่า การศึกษา 3 เรื่อง ให้ผลการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม มีความแม่นยำมากกว่าวิธีดิจิทัล^{27,30,31} การศึกษา 3 เรื่อง ให้ผลการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัล มีความแม่นยำมากกว่าวิธีดั้งเดิม^{12,33,34} และการศึกษา 2 เรื่อง ให้ผลทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ^{36,37}

ตารางที่ 5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อภาวะความต่าง

Table 5 Factors affecting the heterogeneity

การศึกษา	ปัจจัยที่ส่งผลต่อภาวะความต่าง
Lin et al., 2015 ³⁰	มีการวัดความแม่นยำโดยใช้รากเทียมตัวแรกเป็นตำแหน่งอ้างอิงในการซ้อนทับกันระหว่างชิ้นหล่อทดลองและชิ้นหล่ออ้างอิง จากนั้นวัดค่าความแตกต่างระหว่างจุดกึ่งกลางของรากเทียมตัวที่สองบนแบบหล่อจำลองทั้งสอง ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างจากการศึกษาอื่น ที่มีการวัดระยะห่างระหว่างรากเทียมสองตัวบนแต่ละแบบจำลอง แล้วนำมาคำนวณเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างรากเทียม ระหว่างชิ้นหล่อทดลองและชิ้นหล่ออ้างอิง
Chew et al., 2017 ²⁸ , Chia et al., 2017 ²⁹	มีการใช้ตำแหน่งอ้างอิงที่ทำขึ้นมาเฉพาะบนชิ้นหล่อ เพื่อใช้วัดระยะห่างระหว่างรากเทียมแต่ละตัวเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง ผลที่ได้จึงแตกต่างจากการศึกษาอื่น
Alshawaf et al., 2018 ²⁷	ค่าเบี่ยงเบนที่ได้ไม่มีการแบ่งประเภทเป็นความถูกต้องและความเที่ยง ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาอื่น

Table 5 Factors affecting the heterogeneity (cont.)

การศึกษา	ปัจจัยที่ส่งผลต่อภาวะความต่าง
Onoral et al., 2022 ³⁷	ค่าเบี่ยงเบนที่ได้ไม่มีการแบ่งประเภทเป็นความถูกต้องและความเที่ยง และค่าเบี่ยงเบนที่ได้มีการรายงานผลแยกกันระหว่างรากเทียม 2 ตัว ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาอื่นที่แสดงผลโดยรวม และในการศึกษามีการออกแบบการทดลองที่มีหลายกรณี ซึ่งให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน
Roig et al., 2020 ³⁵	มีการรายงานผลการศึกษาเป็นแผนภูมิแท่ง โดยไม่มีตัวเลขระบุชัดเจน
Alpkilic et al., 2022 ³⁶	มีการออกแบบการทดลองที่แตกต่าง ได้แก่ จำนวนรากเทียมที่มากกว่าการศึกษาอื่น และ วิธีการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัลที่มีกลุ่มการทดลองมากกว่าหนึ่งกลุ่ม ซึ่งให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม
Marghalani et al., 2018 ¹² , Abou-Ayash et al., 2022 ³³	มีการรายงานผลการศึกษาเป็นค่ามัธยฐานและพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาอื่น ข้อมูลไม่เป็น การแจกแจงแบบปกติ และในการศึกษามีการออกแบบการทดลองที่มีหลายกรณี ซึ่งให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน

บทวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ห่อถักมาน พบว่า ค่าความแตกต่างของระยะห่างระหว่างรากเทียมทั้งในกรณีที่รากเทียมขนานกันและกรณีที่รากเทียมทำมุมกัน 15 – 20 องศา ให้ผลการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม มีความแม่นยำมากกว่าวิธีดิจิทัล (รูปที่ 2 และ รูปที่ 3) ส่วนค่าเบี่ยงเบนสามมิติทั้งความถูกต้องและความเที่ยง ให้ผลการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัล มีความแม่นยำมากกว่าวิธีดั้งเดิม (รูปที่ 4 และ รูปที่ 5) ผลการศึกษามีภาวะความต่างน้อยถึงค่อนข้างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากปัจจัยต่างๆ ในทางระเบียบวิธีวิจัย เช่น จำนวนกลุ่มตัวอย่าง วิธีวัดความแม่นยำ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม จำนวนการศึกษาที่นำมาวิเคราะห์ห่อถักมานมีจำนวนไม่มาก เนื่องจาก การศึกษาส่วนใหญ่ มีการออกแบบการศึกษาที่แตกต่างกัน และส่งผลต่อภาวะความต่าง ซึ่งยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

การศึกษาส่วนใหญ่ ให้ผลความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียม ในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วน ทั้งวิธีดั้งเดิมมีความแม่นยำมากกว่าวิธีดิจิทัล²⁶⁻³¹ และ วิธีดิจิทัลมีความแม่นยำมากกว่าวิธีดั้งเดิม^{12,32-35} จำนวนใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นการปฏิเสธสมมติฐานการวิจัย จะเห็นว่าการศึกษานี้ให้ผลวิธีดั้งเดิมมีความแม่นยำมากกว่าวิธีดิจิทัลส่วนใหญ่ ศึกษาในปีที่เก่ามากกว่า ซึ่งเครื่องสแกนภายในช่องปากมีการพัฒนาของการสแกนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีแนวโน้มที่ดีต่อความแม่นยำในการสแกน³⁹⁻⁴¹ การศึกษาใน 2-3 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มที่การพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัลมีความแม่นยำมากกว่าหรือเปรียบเทียบกับได้กับการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิมในกรณีภาวะไร้ฟันบางส่วน^{9,12,32-36} จะเห็นได้ว่าในการศึกษาปี 2015-2021 ยังมีการใช้เครื่องสแกนเทคนิคแอคทีฟเฟวฟรอนต์แซมพลิง เช่น ลาวาซีโอเอส (Lava C.O.S., USA) และ ทรูเดฟนิชั่น (True Definition, 3M, USA) ที่ยังต้องมีการสเปรย์ผงไปบนพื้นผิวที่จะทำการสแกน ซึ่งยากต่อการควบคุมความหนาและความสม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดความผิดพลาด

ในการสแกนได้⁴² ส่วนในการศึกษาปี 2022-2023 เครื่องสแกนภายในช่องปากที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นเทคนิคโฟกัสร่วม และไม่จำเป็นต้องสเปรย์ผงบนพื้นผิวก่อนการสแกน อีกทั้งรุ่นของเครื่องสแกนภายในช่องปากและโปรแกรมในการประมวลผลที่ใหม่กว่ามีแนวโน้มที่ส่งผลดีต่อความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น⁴³

อีกทั้ง ขั้นตอนในการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิมมีการสะสมข้อผิดพลาดจากขั้นตอนที่มาก ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียมได้ไม่ว่าจะเป็น การนำตัวถอดแบบรอยพิมพ์ (Impression coping) จากภายในช่องปากมาใส่ในรอยพิมพ์ การเชื่อมต่อตัวจำลองรากเทียม (implant analog) กระบวนการตรวจสอบชิ้นหล่อรากเทียม (implant verification cast) การหัดตัวของวัสดุพิมพ์แบบ การขยายตัวของปูน และขั้นตอนที่เพิ่มมากขึ้นจากการใช้เครื่องสแกนภายนอกช่องปากเพื่อนำไปวัดความแม่นยำ⁴⁴ อย่างไรก็ตาม การพิมพ์แบบด้วยวิธีดิจิทัลมีปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็น ชนิดของตัวถอดแบบรอยพิมพ์แบบดิจิทัล (scan body) โปรแกรมที่ใช้ในการสแกนและการวิเคราะห์สร้างภาพสามมิติ และโปรแกรมที่ใช้ในการวัดความแม่นยำ⁴⁵

นอกจากนี้ ความแตกต่างกันของวิธีที่ใช้ในการประเมินความแม่นยำ ระหว่างกลุ่มที่พิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีดิจิทัล ยังส่งผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยเช่นกัน วิธีการเปรียบเทียบความแม่นยำที่นิยมใช้ในการศึกษาต่าง ๆ เช่น วิธีการซ้อนทับภาพ (best-fit algorithm) และ วิธีการวัดระยะห่าง (zero method)^{8,46} โดยวิธีการซ้อนทับภาพ เป็นการนำไฟล์นามสกุล .STL (Stereolithography) มาซ้อนทับกัน (superimpose) เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนสามมิติในโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งการซ้อนทับกันของสองไฟล์นี้จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ อีกทั้ง ผลลัพธ์ค่าเบี่ยงเบนสามมิติจะให้ผลลัพธ์เป็นภาพรวม ไม่สามารถบอกได้ว่าความแตกต่าง

เกิดขึ้นในแนวแกน x, y, หรือ z และค่าที่ได้จะมีทั้งค่าบวกและค่าลบที่แตกต่างกันทำให้เกิดการหักล้างกันของความแตกต่างได้ การศึกษาส่วนมากจึงแก้ปัญหาด้วยการคำนวณเป็นค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square errors) แทน⁹ ส่วนวิธีการวัดระยะห่าง จะเป็นการวัดระยะห่างเป็นเส้นตรง (linear distance) ระหว่างรากเทียม บนแบบจำลองทดสอบ (experimental model) ลบกับ ระยะห่างเป็นเส้นตรงระหว่างรากเทียม บนแบบจำลองอ้างอิง (reference model) วิธีนี้จะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยไม่ต้องผ่านการนำไฟล์มาซ้อนทับกันในโปรแกรม จึงสามารถลดข้อผิดพลาดจากการวัดในขั้นตอนนี้ได้ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดในวิธีการวัดระยะห่าง สามารถทำได้ทั้งการใช้เครื่องมือวัดสามมิติ (coordinate measuring machine, CMM) หรือ การเข้าโปรแกรมสำหรับการวัด^{19,47}

ชนิดของเครื่องสแกนภายนอกช่องปาก และโปรแกรมในการวัดที่แตกต่างกัน มีความแม่นยำในการวัดแตกต่างกัน เช่น เครื่องไอสแกน (iScan, 5-6 μm) แอคทิวิตี (Activity 880, 10 μm) ทรีเชพ (3Shape, 4-10 μm) เป็นต้น^{8,10,31,48-51} เครื่องสแกนภายนอกช่องปากมีความแม่นยำเมื่อเทียบกับเครื่องสแกนภายในช่องปาก เนื่องจากเครื่องสแกนภายนอกช่องปากมีจำนวนกล้องและแกนหมุนในการสแกนที่มากกว่า 5 จึงถูกนำมาใช้ในการเป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมและเครื่องสแกนภายในช่องปาก⁶⁻¹⁰ นอกจากนี้ ยังมีเครื่องมือวัดสามมิติ ซึ่งมีความแม่นยำ ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งอ้างอิงมาตรฐาน (gold standard reference) สำหรับการวัดเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำ เครื่องมือวัดสามมิติ มีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้สูงสุด (maximum permissible error) คือ $1.9 + 3L/1000 \mu\text{m}$ อ้างอิงจากองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO 10360-2:2009 geometrical product specifications (GPS))⁵²

ดังนั้นการศึกษาที่ใช้เครื่องมือวัดสามมิติในการวัดระยะห่างระหว่างรากเทียมบนแบบหล่อที่ได้จากการพิมพ์รากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อความแม่นยำของการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิมมากกว่า เนื่องจาก เครื่องมือวัดสามมิติ มีความแม่นยำมากกว่าเครื่องสแกนในห้องปฏิบัติการ (laboratory scanner) และการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์⁵³

อีกทั้ง ในการศึกษาที่มีการกลึงขึ้นหล่อ (milled cast) จากกลุ่มที่การพิมพ์แบบรากเทียมด้วยเครื่องสแกนภายในช่องปากเพื่อนำมาวัดความแม่นยำ ยังมีแนวโน้มให้เกิดข้อผิดพลาดที่เพิ่มมากขึ้นได้ในกลุ่มนี้ จากขั้นตอนที่เพิ่มมากขึ้น⁵⁴ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียม ไม่ว่าจะเป็น จำนวนและมุมระหว่างรากเทียม ชนิดข้อต่อของตัวถอดแบบรอยพิมพ์ (connection type of impression coping) ระดับการพิมพ์แบบ (impression level) และตำแหน่งของรากเทียม

มีการศึกษาเปรียบเทียบการพิมพ์แบบรากเทียมทั้งสองวิธีในกรณีที่มุมระหว่างรากเทียมแตกต่างกัน (0, 15, 30 และ 45 องศา) พบว่า การพิมพ์แบบด้วยวิธีดิจิทัลมีความแม่นยำน้อยกว่าวิธีดั้งเดิม ในกรณีที่รากเทียมทำมุมกัน 0 และ 15 องศา ในขณะที่ ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ในกรณีที่รากเทียมทำมุมกัน 30 และ 45 องศา มุมระหว่างรากเทียมที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้วัสดุพิมพ์แบบถูกกดทับมากขึ้นระหว่างพิมพ์แบบ และเกิดการคืนตัวอย่างสมบูรณ์กลับมาได้ยากกว่า ทำให้เกิดความผิดพลาดได้เพิ่มมากขึ้นในการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม ปัญหาเหล่านี้ไม่เกิดขึ้นกับการใช้เครื่องสแกนในช่องปาก อย่างไรก็ตาม การที่มุมเพิ่มขึ้นอาจส่งผลต่อความแม่นยำในการสแกนได้เช่นกัน เช่น ในบางบริเวณที่ติดอยู่ด้านใต้ส่วนคอ (undercut) ของตัวถอดแบบรอยพิมพ์แบบดิจิทัล หรือบริเวณด้านหลังที่เข้าถึงได้ยาก นอกจากนี้ ยิ่งมุมระหว่างรากเทียมเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างรากเทียมเพิ่มขึ้นตามมา ส่งผลให้เกิดการสะสมข้อผิดพลาดเพิ่มขึ้นจากจำนวนภาพในการสแกนที่เพิ่มมากขึ้น³⁰

อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาที่ให้ผลแตกต่างจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาในกรณีที่รากเทียมทำมุมกันไม่เกิน 20 องศา พบว่าการพิมพ์แบบทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันในกรณีที่รากเทียมขนานกัน ในขณะที่ การพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิมมีความแม่นยำมากกว่าวิธีดิจิทัล ในกรณีที่รากเทียมทำมุมกัน 10-20 องศา^{22,37} อาจเป็นเพราะมุมระหว่างรากเทียมไม่ได้แตกต่างกันมากจนทำให้วัสดุพิมพ์แบบไม่สามารถคืนตัวกลับมาได้ และไม่ได้ส่งผลต่อการสแกนมากนัก^{22,31,32} นอกจากนี้ การเชื่อมติดกันของตัวถอดแบบรอยพิมพ์ส่งผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์แบบเมื่อรากเทียมมีการทำมุมกัน^{44,55} อย่างไรก็ตาม รากเทียมในภาวะไร้ฟันบางส่วนมีจำนวนไม่มาก เมื่อเทียบกับในภาวะไร้ฟัน มีการศึกษากล่าวว่า ในกรณีที่ไม่มีจำนวนสองหรือสามรากเทียม มุมระหว่างรากเทียมไม่ได้ส่งผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์แบบ ส่วนในกรณีที่มีรากเทียมจำนวนมาก (multiple implants) รากเทียมที่เอียง (angulated implants) มีความแม่นยำน้อยกว่ารากเทียมที่ตรง (straight implants)⁴⁴ ทั้งจำนวนและมุมระหว่างรากเทียมส่งผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์แบบของทั้งสองวิธี แต่จะเห็นผลได้ชัดเมื่อมีจำนวนและมุมระหว่างรากเทียมที่มากขึ้น

การศึกษาส่วนใหญ่ที่รวบรวมเข้ามาในการวิจัย มีชนิดข้อต่อของตัวถอดแบบรอยพิมพ์ เป็นแบบข้อต่อภายในที่มีการยึด (internal connection with engagement) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม โดยเฉพาะกรณีที่รากเทียมเอียง⁵⁶ อย่างไรก็ตาม การศึกษาเหล่านี้ มุมระหว่างสองรากเทียมน้อยกว่า 20 องศา จึงไม่ได้ส่งผลต่อความแม่นยำของการพิมพ์แบบมากนัก⁵⁷ มีการศึกษาที่การพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมแบบเปิดถาดพิมพ์ชนิดข้อต่อที่ไม่มีการยึด (non-hexed open-tray) มีความแม่นยำของการพิมพ์แบบมากกว่า แบบเปิดถาดพิมพ์ชนิดข้อต่อที่มีการยึด (hexed open-tray) แต่ไม่มีความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญ อาจเป็นเพราะการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมแบบเปิดตลาดพิมพ์ชนิดข้อต่อที่ไม่มีกรวยยึด สามารถดึงรอยพิมพ์ออกได้ง่ายกว่า ส่งผลให้เกิดการบิดเบี้ยวของรอยพิมพ์ลดลง นอกจากนี้ การพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิม โดยเทคนิคเปิดตลาดพิมพ์ทั้งสองชนิด มีความแม่นยำมากกว่าเทคนิคปิดตลาดพิมพ์ โดยเฉพาะเมื่อรากเทียมทำมุมกัน 20 องศา อาจเป็นเพราะเทคนิคปิดตลาดพิมพ์เกิดการบิดเบี้ยวของรอยพิมพ์ และมีการถอดใส่ตัวถอดแบบรอยพิมพ์ลงในรอยพิมพ์³⁷ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาที่มีจำนวนสองรากเทียม ในกรณีที่จำนวนรากเทียมเพิ่มขึ้น ชนิดของข้อต่ออาจส่งผลต่อความแม่นยำในการพิมพ์แบบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป⁵⁶

ตำแหน่งของรากเทียมในกรณีที่ผู้ป่วยใส่ฟันบางส่วนด้านท้าย ระดับ 1 และ 2 บริเวณด้านหลังทั้งในขากรรไกรบนและล่าง สามารถเข้าถึงในการสแกนได้ยาก อีกทั้ง บริเวณด้านท้ายยังมีการสะสมของข้อผิดพลาดเพิ่มมากขึ้นจากจำนวนภาพที่ทับซ้อนตอกันไปเพิ่มมากขึ้น^{58,59} แต่ยังมีการศึกษาไม่มากนักในกรณีที่ผู้ป่วยใส่ฟันบางส่วนด้านท้ายที่เปรียบเทียบความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียมทั้งสองวิธี จึงยังไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนของผลการศึกษา และยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ข้อจำกัดในการศึกษา ได้แก่ การศึกษาที่รวบรวมเข้ามามีภาวะความต่างมาก ทั้ง การออกแบบการวิจัย, วัสดุอุปกรณ์และวิธีการที่แตกต่างกัน และปัจจัยต่าง ๆ ทำให้มีการศึกษาจำนวนไม่มากนักนำมาวิเคราะห์ห่อภิมาณ การศึกษาที่ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ห่อภิมาณได้ จึงทำการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive analyses) แทน อย่างไรก็ตาม ยังมีความต้องการการศึกษาที่มีการวัดความแม่นยำด้วยวิธีการที่เป็นมาตรฐานแบบเดียวกันเพิ่มมากขึ้นในการศึกษาในอนาคต เพื่อสามารถนำมาวิเคราะห์ห่อภิมาณร่วมกันได้มากยิ่งขึ้น เช่น วิธีการวัดความแม่นยำในวิธีการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมโดยนำชิ้นหล่อที่ได้มาสแกนด้วยเครื่องสแกนภายนอกช่องปากเพื่อซ้อนทับกับไฟล์ที่ได้จากวิธีการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัลด้วยเครื่องสแกนภายในช่องปาก จะได้ผลความแม่นยำเป็นค่าเบี่ยงเบนสามมิติ เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมนอกห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำมากขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพิมพ์แบบรากเทียมต่อไป

บทสรุป

ผลการศึกษาส่วนใหญ่ให้ความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดั้งเดิมดีกว่าวิธีดิจิทัล และ วิธีดิจิทัลดีกว่าวิธีดั้งเดิมจำนวนใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากเทคโนโลยีของเครื่องสแกนภายในช่องปากมีการพัฒนามากขึ้น เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลให้ การศึกษาใน 2-3 ปีหลัง ให้ความแม่นยำของการพิมพ์แบบรากเทียมด้วยวิธีดิจิทัลดีกว่าวิธีดั้งเดิม ในกรณีที่จำนวนรากเทียม 2-3 รากเทียม และทำมุมกันน้อยกว่า 20 องศา สามารถพิมพ์แบบรากเทียมได้ทั้งวิธี

ดั้งเดิมและวิธีดิจิทัล การศึกษานี้มีข้อเสนอแนะให้มีการวัดความแม่นยำด้วยวิธีการที่เป็นมาตรฐานแบบเดียวกันเพิ่มมากขึ้นในการศึกษาในอนาคต เพื่อสามารถนำมาวิเคราะห์ห่อภิมาณร่วมกันได้มากยิ่งขึ้น

ผู้เขียนเปิดเผยว่าไม่มีการสนับสนุนทางการเงิน และผลประโยชน์ทับซ้อนที่อาจเกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมสำหรับการดำเนินงานวิจัย ขั้นตอนการเขียนงานวิจัย หรือบทความ

เอกสารอ้างอิง

- Buzayan MM, Yunus NB. Passive Fit in Screw Retained Multi-unit Implant Prosthesis Understanding and Achieving: A Review of the Literature. *J Indian Prosthodont Soc* 2014;14(1):16-23.
- Ma T, Nicholls JI, Rubenstein JE. Tolerance measurements of various implant components. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997; 12(3):371-5.
- Logozzo S, Zanetti E, Franceschini G, Kilpela A, Mäkinen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering* 2014;54:203–21.
- 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.
- Lee SJ, Kim SW, Lee JJ, Cheong CW. Comparison of Intraoral and Extraoral Digital Scanners: Evaluation of Surface Topography and Precision. *Dent J (Basel)* 2020;8(2).
- Borbola D, Berkei G, Simon B, Romaszky L, Sersli G, DeFee M, et al. In vitro comparison of five desktop scanners and an industrial scanner in the evaluation of an intraoral scanner accuracy. *J Dent* 2023;129:104391.
- Ke Y, Zhang Y, Wang Y, Chen H, Sun Y. Comparing the accuracy of full-arch implant impressions using the conventional technique and digital scans with and without prefabricated landmarks in the mandible: An in vitro study. *J Dent* 2023;135:104561.
- Amin S, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P. Digital vs. conventional full-arch implant impressions: a comparative study. *Clin Oral Implants Res* 2017;28(11):1360-7.
- Hashemi AM, Hashemi HM, Siadat H, Shamshiri A, Afrashtehfar KI, Alikhasi M. Fully Digital versus Conventional Workflows for Fabricating Posterior Three-Unit Implant-Supported Reconstructions: A Prospective Crossover Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19(18).
- Papaspyridakos P, Gallucci GO, Chen CJ, Hanssen S, Naert I, Vandenberghe B. Digital versus conventional implant impressions for edentulous patients: accuracy outcomes. *Clin Oral Implants Res* 2016;27(4):465-72.
- ISO. ISO International Organization for Standardization. 5725-1:2003. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1: general principles and definitions. . 5725-1:2003.

12. Marghalani A, Weber HP, Finkelman M, Kudara Y, El Rafie K, Papaspyridakos P. Digital versus conventional implant impressions for partially edentulous arches: An evaluation of accuracy. *J Prosthet Dent* 2018;119(4):574-9.
13. Rutkūnas V, Gečiauskaitė A, Jegelevičius D, Vaitiekūnas M. Accuracy of digital implant impressions with intraoral scanners. A systematic review. *Eur J Oral Implantol* 2017;10 Suppl 1:101-20.
14. Rutkunas V, Gedrimiene A, Adaskevicius R, Al-Haj Husain N, Özcan M. Comparison of the Clinical Accuracy of Digital and Conventional Dental Implant Impressions. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2020;28(4):173-81.
15. Lee SJ, Betensky RA, Gianneschi GE, Gallucci GO. Accuracy of digital versus conventional implant impressions. *Clinical oral implants research* 2015;26(6):715-9.
16. 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).
17. Alikhasi M, Alsharbaty MHM, Moharrami M. Digital Implant Impression Technique Accuracy: A Systematic Review. *Implant Dentistry* 2017;26(6):929-35.
18. Zhang YJ, Shi JY, Qian SJ, Qiao SC, Lai HC. Accuracy of full-arch digital implant impressions taken using intraoral scanners and related variables: A systematic review. *Int J Oral Implantol (Berl)* 2021;14(2):157-79.
19. Menini M, Setti P, Pera F, Pera P, Pesce P. Accuracy of multi-unit implant impression: traditional techniques versus a digital procedure. *Clin Oral Investig* 2018;22(3):1253-62.
20. 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.
21. Drancourt N, Auduc C, Mouget A, Mouminoux J, Auroy P, Veyrune JL, et al. Accuracy of Conventional and Digital Impressions for Full-Arch Implant-Supported Prostheses: An *In Vitro* Study. *J Pers Med* 2023;13(5).
22. Tan S, Tan MY, Wong KM, Maria R, Tan KBC. Comparison of 3D positional accuracy of implant analogs in printed resin models versus conventional stone casts: Effect of implant angulation. *J Prosthodont* 2023.
23. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *J Clin Epidemiol* 2009;62(10):e1-e34.
24. Yang B, Mallett S, Takwoingi Y, Davenport CF, Hyde CJ, Whiting PF, et al. QUADAS-C: A Tool for Assessing Risk of Bias in Comparative Diagnostic Accuracy Studies. *Ann Intern Med* 2021;174(11):1592-9.
25. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71.
26. Ajioka H, Kihara H, Odaira C, Kobayashi T, Kondo H. Examination of the Position Accuracy of Implant Abutments Reproduced by Intra-Oral Optical Impression. *PLoS One* 2016;11(10):e0164048.
27. Alshawaf B, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P. Accuracy of printed casts generated from digital implant impressions versus stone casts from conventional implant impressions: A comparative in vitro study. *Clin Oral Implants Res* 2018;29(8):835-42.
28. Chew AA, Esguerra RJ, Teoh KH, Wong KM, Ng SD, Tan KB. Three-Dimensional Accuracy of Digital Implant Impressions: Effects of Different Scanners and Implant Level. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017;32(1):70-80.
29. Chia VA, Esguerra RJ, Teoh KH, Teo JW, Wong KM, Tan KB. *In Vitro* Three-Dimensional Accuracy of Digital Implant Impressions: The Effect of Implant Angulation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017;32(2):313-21.
30. 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.
31. Basaki K, Alkumru H, De Souza G, Finer Y. Accuracy of Digital vs Conventional Implant Impression Approach: A Three-Dimensional Comparative *In Vitro* Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017;32(4):792-9.
32. Abdou J, Palamara JEA. Accuracy of digital impressions versus conventional impressions for 2 implants: an *in vitro* study evaluating the effect of implant angulation. *Int J Implant Dent* 2021;7(1):75.
33. Abou-Ayash S, Mathey A, Gümman F, Mathey A, Donmez MB, Yilmaz B. *In vitro* scan accuracy and time efficiency in various implant-supported fixed partial denture situations. *Journal of Dentistry* 2022;127:104358.
34. Mathey A, Brägger U, Joda T. Trueness and Precision Achieved With Conventional and Digital Implant Impressions: A Comparative Investigation of Stone Versus 3-D Printed Master Casts. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2021;29(3).
35. Roig E, Garza LC, Álvarez-Maldonado N, Maia P, Costa S, Roig M, et al. *In vitro* comparison of the accuracy of four intraoral scanners and three conventional impression methods for two neighboring implants. *PLoS One* 2020;15(2):e0228266.
36. Alpkılıç D, Değer S. *In Vitro* Comparison of the Accuracy of Conventional Impression and Four Intraoral Scanners in Four Different Implant Impression Scenarios. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2022;37(1):39-48.

37. Önöral Ö, Kurtulmus-Yılmaz S, Keskin A, Ozan O. Influence of the Angulation and Insertion Depth of Implants on the 3D Trueness of Conventional and Digital Impressions. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2022;37(6):1186-94.
38. Ulmer FC, Jr. Kennedy-Applegate classification of partially edentulous dental arches. *Natl j.* 1983;30(3):37-40.
39. Amornvit P, Rokaya D, Sanohkan S. Comparison of Accuracy of Current Ten Intraoral Scanners. *Biomed Res Int* 2021;2021:2673040.
40. Kaya G, Bilmenoglu C. Accuracy of 14 intraoral scanners for the All-on-4 treatment concept: a comparative *in vitro* study. *J Adv Prosthodont* 2022;14(6):388-98.
41. Róth I, Czigola A, Fehér D, Vitai V, Joós-Kovács GL, Hermann P, et al. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. *BMC Oral Health* 2022;22(1):140.
42. Hategan SI, Ionel TF, Goguta L, Gavrilovici A, Negrutiu ML, Jivanescu A. Powder and Powder-Free Intra-Oral Scanners: Digital Impression Accuracy. *Prim Dent J* 2018;7(2):40-3.
43. Schmalzl J, Róth I, Borbély J, Hermann P, Vecsei B. The impact of software updates on accuracy of intraoral scanners. *BMC Oral Health* 2023;23(1):219.
44. Lee H, So JS, Hochstedler JL, Ercoli C. The accuracy of implant impressions: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2008;100(4):285-91.
45. 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).
46. Jemt T, Hjalmarsson L. *In vitro* measurements of precision of fit of implant-supported frameworks. A comparison between “virtual” and “physical” assessments of fit using two different techniques of measurements. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012;14 Suppl 1:e175-82.
47. Gintaute A, Papatriantafyllou N, Aljehani M, Att W. Accuracy of computerized and conventional impression-making procedures for multiple straight and tilted dental implants. *Int J Esthet Dent* 2018;13(4):550-65.
48. D’Haese R, Vrombaut T, Roeykens H, Vandeweghe S. In Vitro Accuracy of Digital and Conventional Impressions for Full-Arch Implant-Supported Prostheses. *J Clin Med* 2022;11(3).
49. Huang R, Liu Y, Huang B, Zhang C, Chen Z, Li Z. Improved scanning accuracy with newly designed scan bodies: An *in vitro* study comparing digital versus conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation. *Clin Oral Implants Res* 2020;31(7):625-33.
50. Ma B, Yue X, Sun Y, Peng L, Geng W. Accuracy of photogrammetry, intraoral scanning, and conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation: an *in vitro* comparative study. *BMC Oral Health* 2021;21(1):636.
51. Tohme H, Lawand G, Chmielewska M, Makhzoume J. Comparison between stereophotogrammetric, digital, and conventional impression techniques in implant-supported fixed complete arch prostheses: An *in vitro* study. *J Prosthet Dent* 2023;129(2):354-62.
52. ISO. ISO International Organization for Standardization. 10360-2:2009. Geometrical product specifications (GPS). Acceptance and reverification tests for coordinated measuring machines (CMM). Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions. . 10360-2:2009.
53. Galeva H, Uzunov T, Sofronov Y, Todorov G. Evaluation of the accuracy of the optical scanners used in the modern dental practice. *J Phys: Conf Ser* 2020;1492:012017.
54. Etemad-Shahidi Y, Qallandar OB, Evenden J, Alifui-Segbaya F, Ahmed KE. Accuracy of 3-Dimensionally Printed Full-Arch Dental Models: A Systematic Review. *J Clin Med* 2020; 9(10):3357.
55. Tsagkalidis G, Tortopidis D, Mpikos P, Kaisarlis G, Koidis P. Accuracy of 3 different impression techniques for internal connection angulated implants. *J Prosthet Dent* 2015;114(4):517-23.
56. Richi MW, Kurtulmus-Yılmaz S, Ozan O. Comparison of the accuracy of different impression procedures in case of multiple and angulated implants. *Head & Face Medicine* 2020;16(1):9.
57. Mpikos P, Kafantaris N, Tortopidis D, Galanis C, Kaisarlis G, Koidis P. The effect of impression technique and implant angulation on the impression accuracy of external- and internal-connection implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27(6):1422-8.
58. Braian M, Wennerberg A. Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative *in vitro* study. *J Prosthet Dent* 2019;122(2):129-36.e2.
59. Spagopoulos D, Kaisarlis G, Spagopoulou F, Halazonetis DJ, Güth JF, Papazoglou E. *In Vitro* Trueness and Precision of Intraoral Scanners in a Four-Implant Complete-Arch Model. *Dent J (Basel)* 2023;11(1):27.