

DISCREPANCIES OF DIGITAL IMPRESSIONS OF FULL-COVERAGE MOLAR PREPARATIONS OBTAINED WITH DIFFERENT INTRAORAL SCANNER TIP SIZES

Natthaporn CHITCHORN¹, Nareudee LIMPUANGTHIP^{1*}, Pichet KITSUMRITIROJ¹, Sanphat NAMANO¹ and Prarom SALIMEE¹

1 Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand; Nareudee.L@chula.ac.th (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 10 April 2026

Revised: 24 April 2026

Published: 16 May 2026

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the accuracy of intraoral scanner tip size on the discrepancies of digital impressions of a full-coverage molar preparation by means of trueness value. This in vitro experimental study compared digital impressions obtained with a Medit i700 intraoral scanner using two tip sizes: normal tip and small tip. A standardized full-coverage preparation on a maxillary second molar typodont tooth was used as the master model. Reference data were acquired with a laboratory scanner, and the scan datasets were superimposed onto the reference model using 3D analysis software. Discrepancies were quantitatively assessed by root mean square (RMS) deviation values and qualitatively evaluated with color-coded deviation maps. The results of this study are expected to clarify whether scanner tip size affects scan trueness in posterior full-coverage preparations and to provide useful information for scanner tip selection and optimization of digital impression procedures in prosthodontic practice.

Keywords: Medit I700, Scanner Tip Size, Intraoral Scanner, Digital Impression, 3D Deviation Analysis

CITATION INFORMATION: Chitchorn, N., Limpuangthip, N., Kitsumritiroj, P., Namano, S., & Salimee, P. (2026). Molar Preparations Obtained with Different Intraoral Scanner Tip Sizes. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(5), 58

ความคลาดเคลื่อนของการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลจากการเตรียมฟันกรามแบบ คลุมทั้งซี่ภายหลังการใช้หัวสแกนขนาดต่าง ๆ

ณัฐพร จิตจร¹, ณฤดี ลิ้มปวงทิพย์^{1*}, พิเชฐ กิจสัมฤทธิ์โรจน์¹, สรรพชัย นามะโน¹ และ ปรารมภ์ ซาลิม¹

1 คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; Nareudee.L@chula.ac.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความแม่นยำ (accuracy) ของขนาดหัวสแกนภายในช่องปากต่อความคลาดเคลื่อนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลในการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่โดยใช้ค่าความตรง (trueness) ซึ่งเป็นปัจจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการที่เปรียบเทียบข้อมูลการสแกนจากเครื่อง Medit i700 ซึ่งใช้หัวสแกน 2 ขนาด ได้แก่ หัวสแกนขนาดปกติและขนาดเล็ก แบบจำลองต้นแบบเป็นฟันกรามใหญ่บนซี่ที่สอง ที่ได้รับการเตรียมฟันแบบครอบคลุมทั้งซี่ตามมาตรฐาน และใช้เป็นแม่แบบอ้างอิงซึ่งได้มาจากการสแกนด้วยเครื่องสแกนห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำข้อมูลการสแกนจากแต่ละกลุ่มมาซ้อนทับกับแบบจำลองอ้างอิงด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสามมิติความคลาดเคลื่อนของข้อมูลถูกประเมินเชิงปริมาณด้วยค่าความเบี่ยงเบนของรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (root mean square: RMS) และประเมินเชิงคุณภาพด้วยแผนที่สีแสดงความเบี่ยงเบน ผลการศึกษานี้คาดว่าจะช่วยชี้ให้เห็นว่าขนาดหัวสแกนมีผลต่อความตรงของการสแกนในกรณีการเตรียมฟันหลังแบบครอบคลุมทั้งซี่หรือไม่ และอาจเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้หัวสแกนและการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์ปากดิจิทัลในงานทันตกรรมประดิษฐ์

คำสำคัญ: Medit i700, ขนาดหัวสแกน, เครื่องสแกนภายในช่องปาก, ภาพพิมพ์ปากดิจิทัล, การวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนสามมิติ

ข้อมูลการอ้างอิง: ณัฐพร จิตจร, ณฤดี ลิ้มปวงทิพย์, พิเชฐ กิจสัมฤทธิ์โรจน์, สรรพชัย นามะโน และ ปรารมภ์ ซาลิม. (2569). ความคลาดเคลื่อนของการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลจากการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ภายหลังการใช้หัวสแกนขนาดต่าง ๆ. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(5), 58

บทนำ

เทคโนโลยีดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทำงานทางทันตกรรมประดิษฐ์อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การพิมพ์ปากแบบเดิมถูกพัฒนาไปสู่กระบวนการทำงานแบบดิจิทัลมากขึ้น เครื่องสแกนภายในช่องปากกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในทางคลินิก เนื่องจากช่วยเพิ่มความสบายให้แก่ผู้ป่วย ลดระยะเวลาในการทำงานข้างเก้าอี้ และเอื้อต่อการสื่อสารข้อมูลกับห้องปฏิบัติการทางทันตกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีรายงานว่าเครื่องสแกนภายในช่องปากสามารถให้ความแม่นยำที่ยอมรับได้ทางคลินิกในการบูรณะฟันเดี่ยวและสะพานฟันช่วงสั้น จึงเริ่มมีการใช้อย่างแพร่หลายในงานบูรณะฟันแบบเพียไม่ก็ซี่ อย่างไรก็ตาม แม้ระบบดิจิทัลจะมีข้อดีหลายประการ แต่ความแม่นยำของการสแกนยังคงแตกต่างกันไปตามสภาวะในทางคลินิก โดยเฉพาะในกรณีการสแกนทั้งขากรรไกรและบริเวณฟันหลัง ซึ่งมักมีข้อจำกัดจากพื้นที่ในช่องปากที่แคบ ลักษณะทางกายวิภาคที่ซับซ้อน ส่งผลให้คุณภาพของข้อมูลสแกนลดลงได้

ความแม่นยำของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จของงานบูรณะทางทันตกรรม เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความพอดีบริเวณขอบและพื้นผิวด้านในของชิ้นงานบูรณะ ซึ่งสัมพันธ์กับอายุการใช้งานของครอบฟันในระยะยาว หากข้อมูลสแกนมีความคลาดเคลื่อน อาจทำให้ชิ้นงานบูรณะไม่แนบสนิทกับฟันที่เตรียมไว้ เกิดภาวะอักเสบต่อเนื่องเยื่อปริทันต์ ลดประสิทธิภาพในการใช้งาน และเพิ่มโอกาสในการต้องปรับแต่งหรือทำชิ้นงานใหม่ ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำของเครื่องสแกนภายในช่องปากมีหลายด้าน ทั้งปัจจัยจากผู้ใช้ปฏิบัติงาน สภาพแวดล้อม และตัวเครื่องมือเอง โดยหนึ่งในปัจจัยที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน คือ ขนาดของหัวสแกน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมุมมองการรับภาพ การสะท้อนแสง และความสามารถในการเข้าถึงบริเวณที่มีข้อจำกัด

ในบริเวณฟันกรามหลังของขากรรไกรบน การเข้าถึงเพื่อสแกนมักทำได้ยากกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากมีข้อจำกัดจากโครงสร้างทางกายวิภาค เช่น ปุ่มโคโรนอยด์ของกระดูกขากรรไกรล่าง ส่วนโค้งของกระดูกโหนกแก้ม และเนื้อเยื่ออ่อนโดยรอบ หัวสแกนขนาดเล็กจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่จำกัดและช่วยให้ผู้ป่วยรู้สึกสบายมากขึ้น แม้ว่าหัวสแกนขนาดเล็กจะช่วยให้การสแกนในบริเวณแคบทำได้ง่ายขึ้น แต่มุมมองการรับภาพที่แคบลงอาจเพิ่มโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนจากกระบวนการเชื่อมต่อข้อมูลภาพ และอาจส่งผลต่อความตรงของข้อมูลสแกนได้ ในขณะเดียวกันการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ในบริเวณฟันหลังยังเป็นสภาวะที่มีความยากทางคลินิก เนื่องจากมักพบในกรณีที่ช่องว่างระหว่างฟันมีจำกัด

แม้ว่าจะมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำของการสแกนในช่องปากอยู่อย่างต่อเนื่อง แต่ข้อมูลเกี่ยวกับผลของขนาดหัวสแกนต่อความคลาดเคลื่อนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลในกรณีการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ยังมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะภายใต้สภาวะการทดลองที่ควบคุมตัวแปรอย่างเป็นระบบ

ในการศึกษาความแม่นยำ (accuracy) ของการสแกน จะประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก คือ ความตรง (trueness) และความเที่ยง (precision) โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบน (RMS) เป็นตัวชี้วัดเชิงปริมาณของความคลาดเคลื่อนสามมิติ สำหรับ trueness ใช้การประเมินความแตกต่างระหว่างข้อมูลอ้างอิงกับข้อมูลที่สแกนได้ในงานวิจัย ส่วน precision ใช้การประเมินความแตกต่างระหว่างข้อมูลด้วยตนเองโดยไม่มีข้อมูลอ้างอิง ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลค่าความตรง (trueness) ของขนาดหัวสแกนของเครื่องสแกนภายในช่องปากต่อความคลาดเคลื่อนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลในการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ โดยเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากหัวสแกนขนาดปกติและหัวสแกนขนาดเล็กเปรียบเทียบกับแบบจำลองอ้างอิงจากเครื่องสแกนห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาที่ได้คาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้อุปกรณ์สแกน การวางแผนขั้นตอนการสแกน และการเพิ่มความน่าเชื่อถือของกระบวนการพิมพ์ปากดิจิทัลในงานทันตกรรมประดิษฐ์ต่อไป

การทบทวนวรรณกรรม

แม้การพิมพ์ปากแบบดิจิทัลจะได้รับการยอมรับมากขึ้นในงานบูรณะฟัน แต่ความแม่นยำของการสแกนยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย และอาจลดลงในกรณีที่มีความซับซ้อนทางคลินิก เช่น การสแกนฟันหลังหรือการสแกนทั้งขากรรไกร ซึ่งมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ การสะท้อนแสง และลักษณะทางกายวิภาคของช่องปาก (Alkadi, 2023; Seelbach et al., 2013)

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการพิมพ์ปากแบบดิจิทัลและแบบดั้งเดิม พบว่า ทั้งสองวิธีสามารถให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ทางคลินิก โดยเฉพาะในงานครอบฟันเดี่ยว อย่างไรก็ตาม การพิมพ์ปากแบบดิจิทัลอาจมีความคลาดเคลื่อนภายในชิ้นงานมากกว่าเล็กน้อยในบางตำแหน่ง โดยเฉพาะบริเวณด้านบดเคี้ยวของฟัน ซึ่งอาจสัมพันธ์กับข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลภาพและการประมวลผลของระบบสแกน (Seelbach et al., 2013; Ender et al., 2019) นอกจากนี้ หลักฐานจากการศึกษาในห้องทดลองและการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบยังสนับสนุนว่า กระบวนการทำงานแบบดิจิทัลสามารถให้ผลลัพธ์ด้านความพอดีบริเวณขอบและการแนบสนิทด้านในใกล้เคียงกับกระบวนการแบบดั้งเดิมในกรณีของครอบฟันเดี่ยวและฟันประดิษฐ์ติดแน่นช่วงสั้น จึงถือเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในงานบูรณะยุคปัจจุบัน (Ender et al., 2019; Hasanzade et al., 2021)

ความแม่นยำของเครื่องสแกนภายในช่องปากเป็นผลจากหลายองค์ประกอบที่ทำงานร่วมกัน ทั้งปัจจัยจากผู้ใช้งาน ผู้ป่วย และตัวเครื่องมือเอง โดยมีรายงานว่า กลยุทธ์การสแกน ความเร็วในการสแกน การสแกนซ้ำ ตำแหน่งของขอบเตรียมฟัน แสง ความชื้น การสอบเทียบเครื่อง และประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ ล้วนมีผลต่อความตรงและความเที่ยงของข้อมูลการสแกน (Alkadi, 2023; Hardan et al., 2022) นอกจากนี้ ลักษณะของการเตรียมฟันก็มีส่วนสำคัญเช่นกัน โดยขอบเตรียมฟันแบบแซมเฟอร์และลักษณะสันฐานด้านบดเคี้ยวที่โค้งมนมีแนวโน้มให้ความตรงของข้อมูลสแกนดีกว่าในการบูรณะครอบฟันเดี่ยว (Günel et al., 2023) ขณะเดียวกัน การศึกษาในงานบูรณะครอบฟันแบบเต็มซี่ยังพบว่า รูปแบบการเตรียมฟัน ตำแหน่งขอบเหงือก และลักษณะรูปร่างของฟันมีผลต่อคุณภาพของข้อมูลสแกนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะเมื่อขอบเตรียมฟันอยู่เหนือเหงือก ซึ่งมักให้ค่าความตรงสูงกว่ากรณีที่ขอบเตรียมฟันอยู่ระดับขอบเหงือก (Bernauer et al., 2020) ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความแม่นยำของการสแกนไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวเครื่องเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลรวมของการออกแบบการเตรียมฟันและสภาพการสแกนทั้งหมด

ความพอดีของชิ้นงานบูรณะบริเวณขอบและด้านในเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จในระยะยาวของครอบฟันและงานบูรณะทางอ้อม หากช่องว่างบริเวณขอบมากเกินไป อาจนำไปสู่การสะสมของคราบจุลินทรีย์ การอักเสบของเหงือก การละลายของซีเมนต์ รอยร้าวระดับจุลภาค และฟันผุซ้ำได้ (Del Castillo et al., 2023) แม้ยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานสากลที่ยอมรับตรงกันทั้งหมด แต่มีรายงานว่าความคลาดเคลื่อนบริเวณขอบประมาณ 50-120 ไมโครเมตร และความไม่พอดีด้านในประมาณ 50-200 ไมโครเมตร ยังอาจอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทางคลินิก (Hasanzade et al., 2021; Del Castillo et al., 2023; McLean & von Fraunhofer, 1971) งานของ McLean and von Fraunhofer (1971) รายงานความหนาของชั้นซีเมนต์ที่ครอบฟันในช่องปากจริงอยู่ที่ประมาณ 100-120 ไมโครเมตร และได้กลายเป็นเกณฑ์อ้างอิงสำคัญในงานวิจัยต่อมา ปัจจุบันการประเมินความพอดีของชิ้นงานด้วยการซ้อนทับข้อมูลดิจิทัลและแผนที่สีแสดงความเบี่ยงเบนได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากไม่ทำลายชิ้นงานและสามารถประเมินได้ครอบคลุมทั้งพื้นผิว (Bosch et al., 2014; Revilla-León et al., 2023)

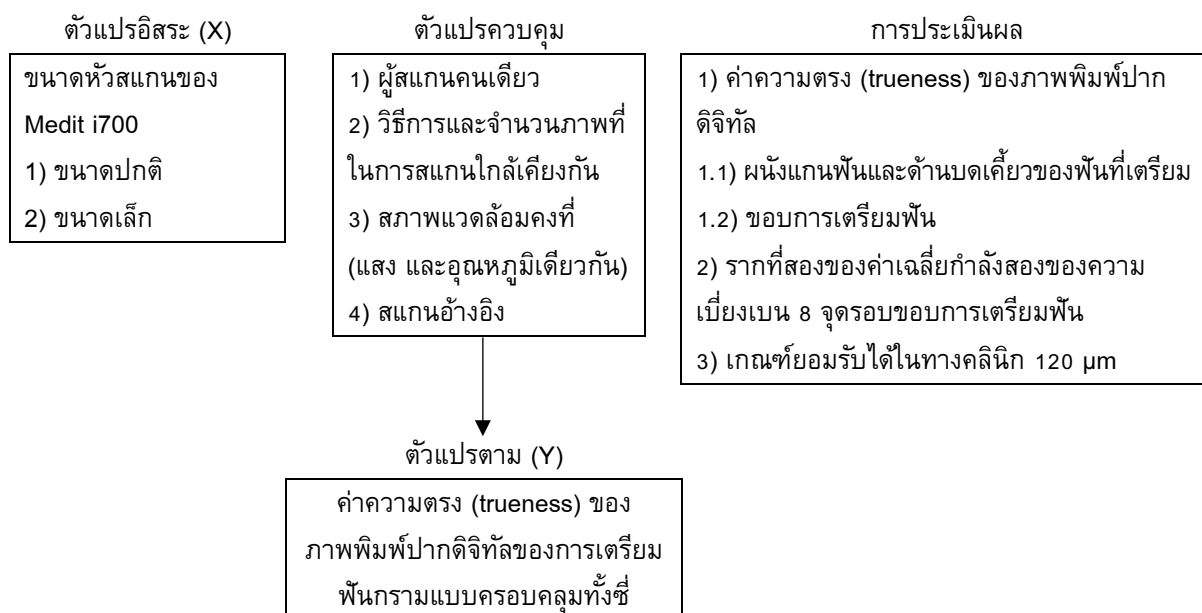
ขนาดของหัวสแกนเป็นหนึ่งในปัจจัยด้านเครื่องมือที่อาจมีผลต่อความแม่นยำของภาพพิมพ์ปากดิจิทัล เนื่องจากสัมพันธ์กับขอบเขตการรับภาพ ความลึกของการเก็บข้อมูล และความสามารถในการเข้าถึงบริเวณแคบ โดยเฉพาะบริเวณฟันกรามหลังของขากรรไกรบน (Alkadi, 2023; Hardan et al., 2022) แม้หัวสแกนขนาดเล็กจะช่วยให้เข้าถึงได้ดีขึ้น แต่ขอบเขตการรับภาพที่แคบลงอาจเพิ่มจำนวนภาพและเพิ่มความคลาดเคลื่อนจากการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างการสแกน Hayama et al. (2018) รายงานว่า หัวสแกนขนาดใหญ่ให้ค่าความตรงและความเที่ยงดีกว่าหัวสแกนขนาดเล็ก เนื่องจากใช้จำนวนภาพน้อยกว่าและเกิดความคลาดเคลื่อนสะสมน้อยกว่า ขณะที่งานวิจัยอื่นพบว่า หัวสแกนขนาดเล็กไม่ได้ทำให้ความแม่นยำโดยรวมดีขึ้นเสมอไป และอาจมีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลบริเวณลึกหรือบริเวณขอบครอบฟัน

(Fratila et al., 2025) อย่างไรก็ตาม หลักฐานที่ศึกษาผลของขนาดหัวสแกนโดยตรงในกรณีการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ภายใต้สภาวะควบคุมยังมีจำกัด ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีความสำคัญในการเติมเต็มช่องว่างความรู้ดังกล่าว และอาจช่วยสนับสนุนการเลือกใช้อุปกรณ์และกำหนดขั้นตอนการสแกนที่เหมาะสมในงานทันตกรรมประดิษฐ์ระบบดิจิทัลต่อไป

สมมติฐานการวิจัย

ขนาดหัวสแกนของเครื่องสแกนภายในช่องปากมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลในการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลจากการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ภายใต้สภาวะหลังการใช้หัวสแกนของเครื่องสแกนภายในช่องปากที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยใช้โมเดลจำลองซี่ฟันในขากรรไกรบนและล่างดังแสดงในภาพที่ 4 และเลือกฟันกรามบนซี่ที่สองเป็นฟันต้นแบบสำหรับการเตรียมฟันให้มีขนาดมาตรฐาน ได้แก่ การลดด้านบดเคี้ยว 1.5 มิลลิเมตร การลดด้านแกนฟัน 1.0 มิลลิเมตร และการเตรียมขอบแบบแซมเฟอร์ลิก 1.0 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 5 จากนั้นจึงสร้างต้นแบบเป็นแบบจำลองลักษณะคล้ายระบบฟันถอดได้รายซี่ด้วยการพิมพ์สามมิติความละเอียดสูง เพื่อให้สามารถถอดและใส่กลับในตำแหน่งเดิมในแบบจำลองขากรรไกรได้อย่างคงที่ตลอดการทดลอง ทั้งนี้การสแกนทั้งหมดดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมอุณหภูมิและแสงให้คงที่ เพื่อลดปัจจัยรบกวนจากภายนอก

ต้นแบบทั้งหมดถูกสแกนด้วยเครื่องสแกนห้องปฏิบัติการรุ่น T710 (บริษัท Medit) ดังแสดงในภาพที่ 3 เพื่อสร้างข้อมูลอ้างอิงในรูปแบบเอสทีแอล จากนั้นจึงทำการสแกนด้วยเครื่องสแกนภายในช่องปากรุ่น i700 (บริษัท Medit) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยเปรียบเทียบหัวสแกน 2 ขนาด ได้แก่ หัวสแกนขนาดเล็ก และหัวสแกนขนาดปกติ ภายใต้แนวทางการสแกนมาตรฐานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน โดยเริ่มสแกนจากด้านบดเคี้ยว ต่อด้านเพดาน และสิ้นสุดที่ด้านแก้ม ผู้สแกนเป็นบุคคลเดียวกันตลอดการทดลอง และมีการเปรียบเทียบเครื่องสแกนตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างสม่ำเสมอ กลุ่มทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 20 ชุดข้อมูล หลังจากนั้นนำข้อมูลเอสทีแอลจากแต่ละกลุ่มไปซ้อนทับกับข้อมูลอ้างอิงด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสามมิติ (Geomagic Control X) โดยใช้การจัดแนวแบบ

พอดีที่สุด เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเชิงสามมิติ และรายงานผลในรูปค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบน (root mean square) และแผนที่สีแสดงความเบี่ยงเบนของพื้นผิว โดยทำการวิเคราะห์แยกพื้นที่ด้านในผิวฟัน และขอบการเตรียมฟัน

ข้อมูลการสแกนจากเครื่องสแกนภายในช่องปากของแต่ละกลุ่มจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงจากเครื่องสแกนห้องปฏิบัติการในรูปแบบไฟล์เอสทีแอล โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสามมิติ (Geomagic Control X) ในการซ้อนทับข้อมูลแบบสามมิติด้วยวิธีการจัดแนวแบบพอดีที่สุด จากนั้นจึงประเมินความคลาดเคลื่อนของข้อมูลสแกนใน 3 บริเวณหลัก ได้แก่ พื้นผิวด้านในของการเตรียมฟัน และบริเวณขอบการเตรียมฟันและวัดค่าความเบี่ยงเบนรายตำแหน่ง 8 จุดรอบขอบการเตรียมฟัน(MG1-MG8) (ภาพที่ 6)

1) การวัดค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณพื้นผิวด้านในของการเตรียมฟัน

ใช้เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อนโดยรวมของข้อมูลสแกนในบริเวณพื้นผิวด้านในของฟันที่เตรียม ซึ่งครอบคลุมผนังแกนฟันและพื้นผิวด้านบดเคี้ยวของฟันที่ถูกกรอเตรียม ค่าในส่วนนี้รายงานในรูปค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบน เพื่อสะท้อนความแตกต่างเชิงสามมิติระหว่างข้อมูลสแกนกับข้อมูลอ้างอิง

2) การวัดค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณขอบการเตรียมฟัน

ใช้เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อนโดยรวมเฉพาะบริเวณขอบการเตรียมฟัน ซึ่งเป็นบริเวณสำคัญต่อความพอดีของชิ้นงานบูรณะในทางคลินิก ค่าในส่วนนี้รายงานในรูปค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนเช่นเดียวกัน ค่าความคลาดเคลื่อนบริเวณพื้นผิวด้านในและบริเวณขอบการเตรียมฟันสามารถแสดงด้วยแผนที่สี (color map) ดังภาพที่ 6 ซึ่งถ้าค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ± 60 ไมโครเมตร ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ในทางคลินิกจะแสดงด้วยสีเขียว ถ้าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากกว่า $+60$ ไมโครเมตร แสดงว่าผิวจะมีความนูนมากกว่าปกติซึ่งจะแสดงด้วยสีแดง ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยกว่า -60 ไมโครเมตร แสดงว่า ผิวจะมีความเว้ามากกว่าปกติจะแสดงด้วยสีน้ำเงิน

3) การวัดค่าความเบี่ยงเบนรายตำแหน่ง MG1-MG8

เพื่อประเมินการกระจายของความคลาดเคลื่อนบริเวณขอบการเตรียมฟันอย่างละเอียด ได้กำหนดจุดวัดทั้งหมด 8 ตำแหน่ง รอบแนวขอบการเตรียมฟัน ได้แก่ MG1 ถึง MG8 โดยกระจายครอบคลุมแนวขอบทั้งหมดของฟันที่เตรียม ดังแสดงในภาพที่ 7 เพื่อใช้วิเคราะห์ว่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นสม่ำเสมอหรือแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณ ทั้งนี้ ค่าความเบี่ยงเบนรายตำแหน่งถูกรายงานในรูปค่าสัมบูรณ์ของความเบี่ยงเบน โดยไม่แสดงทิศทางของค่าเป็นบวกหรือลบ วิเคราะห์สถิติ โดยทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro-Wilk และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนระหว่างกลุ่มห้วสแกนทั้งสองขนาดด้วยสถิติทดสอบที่สำหรับกลุ่มตัวอย่างอิสระ (Independent t-test) เปรียบเทียบค่าความเบี่ยงเบนบริเวณขอบการเตรียมฟันกับค่าที่ยอมรับได้ทางคลินิกที่ซึ่งคือ 120 μm ด้วยสถิติทดสอบที่แบบหนึ่งตัวอย่าง (One sample t-test)

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนชุดข้อมูลการสแกนของแต่ละกลุ่มทดลอง

		จำนวน (n)
Medit T710	ข้อมูลอ้างอิง	1
Medit i700 หัวขนาดปกติ	กลุ่มทดลอง	10
Medit i700 หัวขนาดเล็ก	กลุ่มทดลอง	10



ภาพที่ 2 แสดงเครื่องสแกนในช่องปาก Medit i700 และหัวสแกนขนาดปกติและขนาดเล็ก (desktop scanner) Medit T710



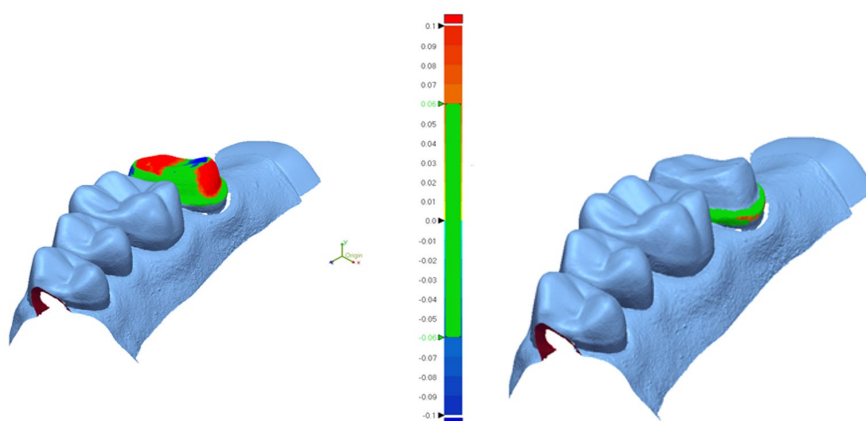
ภาพที่ 3 แสดงเครื่องสแกนอ้างอิง



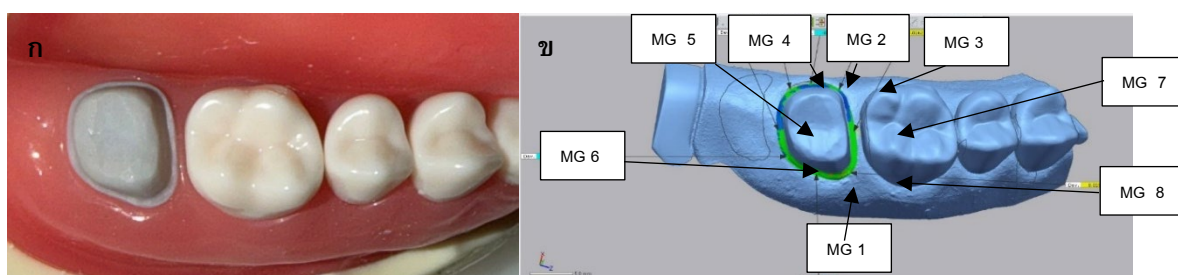
ภาพที่ 4 โมเดลจำลองขากรรไกร



ภาพที่ 5 ต้นแบบจำลองฟันซี่ 27



ภาพที่ 6 แผนที่สีแสดงความเบี่ยงเบนของพื้นผิวจากการซ้อนทับข้อมูลการสแกนกับข้อมูลอ้างอิง โดยภาพด้านซ้ายแสดงบริเวณพื้นผิวด้านในของการเตรียมฟัน และภาพด้านขวาแสดงบริเวณขอบการเตรียมฟัน



ภาพที่ 7 ก) ภาพฟันต้นแบบที่เตรียมเสร็จสมบูรณ์สำหรับใช้อ้างอิงตำแหน่งจุดวัด MG1-MG8 ข) ตำแหน่งจุดวัดค่าความเบี่ยงเบนรายตำแหน่ง MG1-MG8 รอบแนวขอบการเตรียมฟัน

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความคลาดเคลื่อนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลจากเครื่องสแกนภายในช่องปาก Medit i700 โดยเปรียบเทียบระหว่างห้วสแกนขนาดปกติและห้วสแกนขนาดเล็ก จากการสแกนซ้ำกลุ่มละ 10 ครั้ง พบว่า กลุ่ม Medit i700 ห้วสแกนขนาดปกติมีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนบริเวณพื้นผิวด้านในเฉลี่ย 48.5 ± 6.2 ไมโครเมตร และบริเวณขอบการเตรียมฟันเฉลี่ย 44.8 ± 6.1 ไมโครเมตร ขณะที่กลุ่ม Medit i700 ห้วสแกนขนาดเล็กมีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนบริเวณพื้นผิวด้านในเฉลี่ย 174.5 ± 38.6 ไมโครเมตร และบริเวณขอบการเตรียมฟันเฉลี่ย 165.4 ± 34.6 ไมโครเมตร โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่มด้วยสถิติทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างอิสระ พบว่า ทั้งบริเวณพื้นผิวด้านในและบริเวณขอบการเตรียมฟันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนในแต่ละจุดวัด MG1-MG8 ของกลุ่ม Medit i700 ห้วสแกนขนาดปกติ พบว่า จุด MG5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 57.7 ± 15.4 ไมโครเมตร ส่วนจุดที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ MG4 เท่ากับ 14.4 ± 11.7 ไมโครเมตร สำหรับกลุ่ม Medit i700 ห้วสแกนขนาดเล็ก พบว่า จุด MG3 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 163.6 ± 42.3 ไมโครเมตร ส่วนจุดที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ MG4 เท่ากับ 31.1 ± 26.1 ไมโครเมตร

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเบี่ยงเบนในแต่ละตำแหน่งระหว่างสองกลุ่ม พบว่า ตำแหน่ง MG1, MG2, MG3, MG7 และ MG8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ตำแหน่ง MG4, MG5 และ MG6 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองกลุ่ม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลถูกตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk และตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบ Levene's test จากนั้นจึงเปรียบเทียบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนระหว่างกลุ่มห้วสแกนขนาดปกติและห้วสแกนขนาดเล็กด้วยสถิติทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างอิสระ หลังทำการทดสอบ พบว่า ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มไม่เท่ากัน จึงใช้สถิติ Welch's t-test

ตารางที่ 2 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลจากเครื่องสแกนภายในช่องปาก Medit i700 ระหว่างห้วสแกนขนาดปกติและห้วสแกนขนาดเล็ก

ตัวแปร	ห้วสแกนขนาดปกติ (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน, μm)	ห้วสแกนขนาดเล็ก (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน, μm)	t	df	p-value
พื้นผิวด้านใน	48.5 ± 6.2	174.5 ± 38.6	-10.20	9.46	<0.001
ขอบการเตรียมฟัน	44.8 ± 6.1	165.4 ± 34.6	-10.87	9.57	<0.001

หมายเหตุ: การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มในตารางนี้วิเคราะห์ด้วยสถิติ Welch's t-test เนื่องจากความแปรปรวนระหว่างกลุ่มไม่เท่ากัน

จากตารางที่ 2 พบว่า กลุ่มห้วสแกนขนาดปกติและกลุ่มห้วสแกนขนาดเล็กมีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนบริเวณพื้นผิวด้านในและบริเวณขอบการเตรียมฟันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มห้วสแกนขนาดปกติมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มห้วสแกนขนาดเล็กทั้งสองบริเวณ

ตารางที่ 3 ค่าความเบี่ยงเบนรายตำแหน่ง MG1-MG8 ของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลจากเครื่องสแกนภายในช่องปาก Medit i700 ระหว่างหัวสแกนขนาดปกติและหัวสแกนขนาดเล็ก

ตำแหน่ง	หัวสแกนขนาดปกติ (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน, μm)	หัวสแกนขนาดเล็ก (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน, μm)	t	df	p-value
MG1	22.8±15.9	103.9±44.9	-5.37	11.24	<0.001
MG2	27.5±17.2	118.1±32.8	-7.72	13.60	<0.001
MG3	53.2±20.2	163.6±42.3	-7.44	12.91	<0.001
MG4	14.4±11.7	31.1±26.1	-1.84	12.48	0.090
MG5	57.7±15.4	86.7±83.2	-1.09	9.62	0.304
MG6	44.1±14.5	57.1±67.2	-0.60	9.84	0.565
MG7	26.3±9.7	131.4±77.2	-4.27	9.29	0.002
MG8	35.2±19.6	149.9±45.5	-7.31	12.22	<0.001

หมายเหตุ: ค่าความเบี่ยงเบนรายตำแหน่ง MG1-MG8 รายงานในรูปขนาดของความเบี่ยงเบน โดยไม่แสดงทิศทางของค่าเป็นบวกหรือลบ และการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มวิเคราะห์ด้วยสถิติ Welch's t-test เนื่องจากความแปรปรวนระหว่างกลุ่มไม่เท่ากัน

จากตารางที่ 3 พบว่า ตำแหน่ง MG1, MG2, MG3, MG7 และ MG8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มหัวสแกนขนาดปกติและกลุ่มหัวสแกนขนาดเล็ก ขณะที่ตำแหน่ง MG4, MG5 และ MG6 ซึ่งเป็นบริเวณด้านไกลกลางของฟันไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองกลุ่ม

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยสถิติ Welch's t-test พบว่า กลุ่ม Medit i700 หัวสแกนขนาดปกติและกลุ่ม Medit i700 หัวสแกนขนาดเล็กมีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนบริเวณพื้นผิวด้านในแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = -10.20$, $df = 9.46$, $p < 0.001$) และมีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนบริเวณขอบการเตรียมฟันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = -10.87$, $df = 9.57$, $p < 0.001$) โดยกลุ่มหัวสแกนขนาดปกติมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มหัวสแกนขนาดเล็กทั้งสองบริเวณ

เมื่อพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนรายตำแหน่ง MG1-MG8 พบว่า ตำแหน่ง MG1, MG2, MG3, MG7 และ MG8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มหัวสแกนขนาดปกติและกลุ่มหัวสแกนขนาดเล็ก โดยมีค่า ($p < 0.05$) ขณะที่ตำแหน่ง MG4, MG5 และ MG6 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองกลุ่ม ($p > 0.05$)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของขนาดหัวสแกนของเครื่องสแกนภายในช่องปากต่อความคลาดเคลื่อนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลในการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวสแกนขนาดปกติและหัวสแกนขนาดเล็กของ Medit i700 ภายใต้สภาวะการทดลองที่มีการควบคุมตัวแปรให้คงที่ ทั้งด้านแบบจำลองอ้างอิงสภาพแวดล้อม ผู้สแกน วิธีการสแกน และการประเมินผลด้วยการซ้อนทับข้อมูลสามมิติกับข้อมูลอ้างอิงจากเครื่องสแกนห้องปฏิบัติการ Medit T710 ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสามมิติ (Geomagic Control X) ซึ่งเป็นวิธีที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้

ผลการศึกษาพบว่า หัวสแกนขนาดปกติให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าหัวสแกนขนาดเล็กอย่างชัดเจน ทั้งในบริเวณพื้นผิวด้านในของการเตรียมฟันและบริเวณขอบการเตรียมฟัน กล่าวคือ กลุ่มหัวสแกนขนาดปกติมีค่ารากที่สองของ

ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเบี่ยงเบนบริเวณพื้นผิวด้านในเฉลี่ย 48.5 ไมโครเมตร และบริเวณขอบการเตรียมพื้นเฉลี่ย 44.8 ไมโครเมตร ขณะที่กลุ่มหัวสแกนขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ย 174.5 และ 165.4 ไมโครเมตร ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ขนาดหัวสแกนมีผลต่อความแม่นยำของภาพพิมพ์ปากดิจิทัล และสนับสนุนสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ว่า หัวสแกนที่มีขนาดแตกต่างกันให้ผลด้านความแม่นยำแตกต่างกัน

ผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่า แม้หัวสแกนขนาดเล็กจะถูกออกแบบมาเพื่อช่วยให้เข้าถึงบริเวณพื้นหลังได้สะดวกขึ้น แต่ขนาดที่เล็กลงย่อมทำให้ขอบเขตการรับภาพแคบลง ส่งผลให้เครื่องต้องเก็บข้อมูลมากขึ้น และเพิ่มโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนจากกระบวนการเชื่อมต่อข้อมูลภาพ โดยเฉพาะในบริเวณพื้นหลังซึ่งมีพื้นที่จำกัดและมีโครงสร้างทางกายวิภาคซับซ้อน จึงเป็นบริเวณที่ท้าทายต่อความแม่นยำของการสแกนอยู่แล้ว เมื่อพื้นที่รับภาพ (field of view) ของหัวสแกนแคบลงพื้นที่ข้อมูลที่บันทึกได้ในแต่ละเฟรมจะลดลงทำให้บริเวณซ้อนทับระหว่างภาพต่อเนื่องมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย ซอฟต์แวร์จึงต้องอาศัยการจับคู่จุดอ้างอิงของพื้นผิวจำนวนมากขึ้นเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติที่สมบูรณ์ กระบวนการนี้ทำให้ระบบมีความคลาดเคลื่อนของการสร้างภาพมากขึ้น และเมื่อมีการซ้อนภาพจำนวนหลายครั้ง ความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยในแต่ละครั้งอาจสะสมต่อเนื่องจนทำให้ความเบี่ยงเบนรวมเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในพื้นที่ผิวการเตรียมพื้นกรามที่มีหลายระนาบ มุมต่างๆ และแนวขอบเตรียมที่ต้องอาศัยความต่อเนื่องของข้อมูลสูง แนวคิดนี้สอดคล้องกับการอธิบายในงานของ An et al. (2024) ที่พบว่า tip size เป็นปัจจัยเดียวที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ trueness โดยหัวสแกนขนาดเล็กให้ trueness ต่ำกว่าหัวสแกนขนาดปกติ ในมุมของฟิสิกส์เชิงแสงการลดขนาดของหัวสแกนอาจทำให้การรับข้อมูลแสงจากพื้นผิวในแต่ละช่วงมีข้อจำกัดมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณพื้นหลังที่มีมุมตกกระทบของแสงไม่สม่ำเสมอและมีการบังจากโครงสร้างข้างเคียง เมื่อคุณภาพข้อมูลตั้งต้นในบางเฟรมลดลงระบบจึงยังต้องพึ่งพาการคาดคะเนและการต่อภาพมากขึ้น (Fratila et al., 2025) ซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวสแกนขนาดเล็กให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าในการศึกษา

เมื่อพิจารณาเทียบกับงานของ Hayama et al. (2018) ซึ่งศึกษาการพิมพ์ปากดิจิทัลด้วยหัวสแกนต่างขนาดในขากรรไกรล่างที่มีช่องว่างบางส่วน พบว่า หัวสแกนขนาดใหญ่ให้ทั้ง trueness และ precision ดีกว่าหัวสแกนขนาดเล็ก และยังใช้จำนวนภาพสแกนของการศึกษาน้อยกว่าโดยเฉลี่ย ผลครั้งนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ หัวสแกนขนาดปกติให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าหัวสแกนขนาดเล็กทั้งบริเวณพื้นผิวด้านในและบริเวณขอบการเตรียมพื้น สะท้อนว่าขอบเขตการรับภาพที่กว้างกว่าจะช่วยให้การเก็บข้อมูลมีความต่อเนื่องและเสถียรมากขึ้น แม้บริบทของการศึกษา Hayama et al. (2018) จะเป็นการศึกษาในขากรรไกรล่างที่ไม่มีพื้นด้านท้ายไม่ใช้การเตรียมพื้นกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่โดยตรง แต่กลไกเรื่องจำนวนภาพที่ต้องใช้และความคลาดเคลื่อนสะสมจากการซ้อนทับข้อมูลมีความสอดคล้องกัน ข้อสังเกตนี้ช่วยอธิบายได้เพิ่มเติมว่าเหตุใดกลุ่มหัวสแกนขนาดเล็กในการศึกษานี้จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงถึง 174.5 และ 165.4 ไมโครเมตร ซึ่งไม่ได้สะท้อนเพียงความแตกต่างของขนาดหัวสแกนเท่านั้นแต่ยังสะท้อนระบบประมวลผลภาพที่ต้องจัดการกับข้อมูลจำนวนมากขึ้นในพื้นที่ซ้อนทับลดลงด้วย

การศึกษานี้ยังสอดคล้องกับภาพรวมของหลักฐานจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Fratila et al. (2025) ซึ่งสรุปว่า ความแม่นยำของเครื่องสแกนภายในช่องปากได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัยร่วมกัน รวมถึงคุณลักษณะของหัวสแกนและขอบเขตการรับภาพ โดยหัวสแกนขนาดใหญ่มีแนวโน้มช่วยเพิ่ม precision แต่หัวสแกนขนาดเล็กแม้จะช่วยให้เข้าถึงบริเวณแคบได้ดีขึ้น ก็อาจลด trueness ลงจากการที่มีช่วงรับภาพแคบกว่าและต้องอาศัย การต่อภาพมากขึ้น ข้อสรุปเชิงระบบนี้ช่วยสนับสนุนผลของการศึกษานี้ว่า การเลือกหัวสแกนไม่ควรพิจารณาเฉพาะความสะดวกในการเข้าถึงเท่านั้น แต่ควรคำนึงถึงผลต่อความแม่นยำของข้อมูลสแกนด้วย โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น การเตรียมพื้นกรามหลังแบบครอบคลุมทั้งซี่

เมื่อพิจารณาในมุมของการยอมรับทางคลินิก พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มหัวสแกนขนาดปกติทั้งบริเวณพื้นผิวด้านในและบริเวณขอบการเตรียมพื้นอยู่ต่ำกว่าค่าประมาณ 120 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นเกณฑ์อ้างอิงทางคลินิก ขณะที่กลุ่มหัวสแกนขนาดเล็กมีค่าสูงกว่าอย่างชัดเจน ผลดังกล่าวพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลต่อความพอดี

บริเวณขอบและด้านในของชิ้นงานบูรณะ และอาจเกี่ยวข้องกับปัญหาทางคลินิกในระยะยาว เช่น การสะสมคราบจุลินทรีย์ การอักเสบของเหงือก การละลายของซีเมนต์ และรอยร้าวระดับจุลภาค ดังนั้น ในการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ห้วสแกนขนาดปกติจึงมีแนวโน้มให้ผลที่เหมาะสมต่อการใช้งานทางคลินิกมากกว่า

นอกจากนี้ ค่าความเบี่ยงเบนในแต่ละตำแหน่งวัดยังแสดงให้เห็นว่า ความคลาดเคลื่อนไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในทุกตำแหน่ง แต่แตกต่างกันไปตามบริเวณของขอบเตรียมฟัน โดยเฉพาะในกลุ่มห้วสแกนขนาดเล็กที่พบความคลาดเคลื่อนเด่นชัดในหลายตำแหน่ง ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การประเมินด้วยค่าความคลาดเคลื่อนรวมเพียงค่าเดียวอาจยังไม่เพียงพอ และควรพิจารณาการกระจายของความเบี่ยงเบนในแต่ละตำแหน่งร่วมด้วย เพื่อให้สามารถแปลผลคุณภาพของขอบการเตรียมฟันได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม หลักฐานไม่ได้ชี้ไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Unnikrishnan et al. (2024) ซึ่งศึกษาผลของขนาดห้วสแกนในแบบจำลองทากรที่มีภาวะปากแห้งเพดานโหว่ พบว่า ห้วสแกนต่างขนาดให้ความแม่นยำในการวัดความลึกของคนไขปากแห้งเพดานโหว่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผู้วิจัยยังเสนอว่า ห้วสแกนขนาดเล็กอาจมีข้อได้เปรียบด้านการเข้าถึงในบริเวณที่แคบและลึกมาก ความแตกต่างระหว่างผลการศึกษานี้ น่าจะเกิดจากลักษณะทางกายวิภาคและวัตถุประสงค์ของการสแกนที่ต่างกัน กล่าวคือ งานวิจัยปัจจุบันมุ่งประเมินการเตรียมฟันกรามหลังแบบครอบคลุมทั้งซี่ซึ่งต้องการความแม่นยำสูงของพื้นผิวเตรียมและแนวขอบ ในขณะที่การศึกษาดังกล่าวมุ่งวัดความลึกของรอยแยกในทากร ซึ่งความสามารถในการเข้าถึงอาจมีบทบาทมากกว่าความต่อเนื่องของพื้นผิวที่ต้องใช้สำหรับงานบูรณะโดยตรง

อีกประเด็นหนึ่งที่ช่วยเสริมความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา คือ งานวิจัยนี้ใช้การเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ร่วมกับขอบเตรียมแบบแซมเฟอร์ ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะที่ค่อนข้างเอื้อต่อการสแกนในระบบดิจิทัล หากแม้ภายใต้เงื่อนไขที่ค่อนข้างเหมาะสมเช่นนี้ ห้วสแกนขนาดเล็กยังคงให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าอย่างชัดเจน ก็ยิ่งสนับสนุนว่าปัจจัยด้านรูปร่างของห้วสแกนและขอบเขตการรับภาพมีผลต่อผลลัพธ์ของการสแกนจริง ไม่ใช่เพียงผลจากปัจจัยภายนอกหรือความแปรปรวนของผู้ปฏิบัติงานเท่านั้น

ในด้านวิธีวิจัย การใช้เครื่องสแกนห้องปฏิบัติการเป็นข้อมูลอ้างอิง การควบคุมผู้สแกน สภาพแวดล้อม และการวิเคราะห์แบบซ้อนทับข้อมูลสามมิติ ช่วยลดอิทธิพลของปัจจัยภายนอก ทำให้สามารถตีความได้ค่อนข้างมั่นใจว่าความแตกต่างที่พบสัมพันธ์กับขนาดห้วสแกน อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ จึงยังไม่ครอบคลุมสภาพจริงในช่องปากทั้งหมด และยังศึกษาจากเครื่องสแกนเพียงระบบเดียว ดังนั้น การนำผลไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิกควรพิจารณาร่วมกับบริบทของผู้ป่วยจริงและข้อจำกัดของแต่ละระบบสแกน

โดยสรุป ขนาดห้วสแกนของเครื่องสแกนภายในช่องปากมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลในการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่อย่างชัดเจน โดยห้วสแกนขนาดปกติให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าห้วสแกนขนาดเล็ก และให้ผลที่เหมาะสมต่อการใช้งานทางคลินิกมากกว่า โดยเฉพาะในงานบูรณะฟันหลังที่ต้องการความแม่นยำสูง

ข้อเสนอแนะที่ได้รับการวิจัย

จากผลการศึกษาที่พบว่าในการเตรียมฟันกรามแบบครอบคลุมทั้งซี่ที่ต้องการความแม่นยำของภาพพิมพ์ปากดิจิทัลสูง ควรพิจารณาเลือกใช้ห้วสแกนขนาดปกติของระบบ Medit i700 เป็นตัวเลือกหลัก เนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมต่ำกว่าอย่างชัดเจน ทั้งในบริเวณพื้นผิวด้านในและบริเวณขอบการเตรียมฟัน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสำคัญโดยตรงต่อความพอดีของครอบฟันและความสำเร็จทางคลินิกในระยะยาว

นอกจากนี้ ทันตแพทย์ควรให้ความสำคัญกับการควบคุมขั้นตอนการสแกน ไม่ว่าจะเป็นการสแกนที่เป็นวิธีการสแกนมาตรฐาน การปรับมุมห้วสแกนอย่างเหมาะสม การควบคุมแสงสะท้อนในบริเวณขอบเตรียมฟัน และการเปรียบเทียบเครื่องสแกนอย่างสม่ำเสมอ เพราะแม้จะเลือกใช้ห้วสแกนที่ให้ผลลัพธ์ดีก็ตาม แต่หากวิธีการสแกนไม่เหมาะสม ก็อาจเกิดความคลาดเคลื่อนสะสมได้ โดยเฉพาะในบริเวณฟันหลังซึ่งมีข้อจำกัดด้านพื้นที่และทัศนวิสัย

ผลการศึกษาที่ยังชี้ให้เห็นว่า ค่าความเบี่ยงเบนเฉพาะตำแหน่งมีความสำคัญต่อการประเมินคุณภาพของข้อมูลสแกน ดังนั้น ก่อนส่งต่อข้อมูลเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบและผลิตชิ้นงาน ผู้สแกนควรตรวจสอบความครบถ้วนและความคมชัดของข้อมูลบริเวณขอบการเตรียมฟันอย่างละเอียด ไม่ควรพิจารณาเพียงภาพรวมของแบบจำลองเท่านั้น เนื่องจากความคลาดเคลื่อนเฉพาะตำแหน่งอาจส่งผลต่อความพอดีของชิ้นงานบูรณะได้

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาต่อยอดในสภาวะคลินิกจริง โดยใช้ผู้ป่วยจริงและรวมปัจจัยทางคลินิกที่พบได้จริง เพื่อประเมินว่าผลของขนาดหัวสแกนที่พบจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการสอดคล้องกับสถานการณ์ทางคลินิกมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ ควรขยายการศึกษาไปยังเครื่องสแกนภายในช่องปากระบบอื่น และศึกษาผลต่อคุณภาพของชิ้นงานบูรณะในระยะต่อไป เพื่อให้ได้องค์ความรู้ที่ครอบคลุมและสามารถประยุกต์ใช้ในการวางแผนการพิมพ์ปากดิจิทัลทางคลินิกได้อย่างเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- Alkadi, L. (2023). A comprehensive review of factors that influence the accuracy of intraoral scanners. *Diagnostics*, 13(21), 3291.
- An, H., Langas, E. E., & Gill, A. S. (2024). Effect of scanning speed, scanning pattern, and tip size on the accuracy of intraoral digital scans. *The Journal of prosthetic dentistry*, 131(6), 1160-1167.
- Bernauer, S. A., Müller, J., Zitzmann, N. U., & Joda, T. (2020). Influence of preparation design, marginal gingiva location, and tooth morphology on the accuracy of digital impressions for full-crown restorations: an in vitro investigation. *Journal of Clinical Medicine*, 9(12), 3984.
- Bosch, G., Ender, A., & Mehl, A. (2014). A 3-dimensional accuracy analysis of chairside CAD/CAM milling processes. *The Journal of prosthetic dentistry*, 112(6), 1425-1431.
- Del Castillo, R., Gutiérrez-Garrido, L., Padial-Molina, M., & Galindo-Moreno, P. (2023). Screw-retained internal connection zirconia CAD-CAM abutments in single implant reconstructions: Results of a 1-year prospective case series study. *Journal of Prosthodontics*, 32(8), 679-688.
- Ender, A., Attin, T., & Mehl, A. (2016). In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *The Journal of prosthetic dentistry*, 115(3), 313-320.
- Fratila, A. M., Saceleanu, A., Arcas, V. C., Fratila, N., & Earar, K. (2025). Enhancing intraoral scanning accuracy: from the influencing factors to a procedural guideline. *Journal of Clinical Medicine*, 14(10), 3562.
- Gunel, A., Guncu, M. B., Uzel, S. M., Aktas, G., Arikian, H., Reiss, N., & Turkyilmaz, I. (2023). Analysis of the impact of various finish line designs and occlusal morphologies on the accuracy of digital impressions. *Journal of Dental Sciences*, 18(3), 1264-1271.
- Hardan, L., Bourgi, R., Lukomska-Szymanska, M., Hernández-Cabanillas, J. C., Zamarripa-Calderón, J. E., Jorquera, G., ... & Cuevas-Suárez, C. E. (2023). Effect of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanners: a meta-analysis of in vitro studies. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 15(6), 315.
- Hasanzade, M., Aminikhah, M., Afrashtehfar, K. I., & Alikhasi, M. (2021). Marginal and internal adaptation of single crowns and fixed dental prostheses by using digital and conventional workflows: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of prosthetic dentistry*, 126(3), 360-368.

- Hayama, H., Fueki, K., Wadachi, J., & Wakabayashi, N. (2018). Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *Journal of prosthodontic research*, 62(3), 347-352.
- McLean, J. W., & von Fraunhofer, J. A. (1971). The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *British Dental Journal*, 131(3), 107-111
- Revilla-León, M., Gohil, A., Barmak, A. B., Zandinejad, A., Raigrodski, A. J., & Alonso Pérez-Barquero, J. (2023). Best-fit algorithm influences on virtual casts' alignment discrepancies. *Journal of Prosthodontics*, 32(4), 331-339.
- Seelbach, P., Brueckel, C., & Wöstmann, B. (2013). Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clinical oral investigations*, 17(7), 1759-1764.
- Unnikrishnan, J., Bakr, M., Love, R., & Idris, G. (2024). Enhancing effective scanning techniques for digital impression in neonates with cleft lip and/or palate: A laboratory study investigating the impact of different scanners, scanning tip sizes, and strategies. *Children*, 11(12), 1435.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).