

ความเที่ยงตรงของวิธีวัดโดยอ้อมบนแบบจำลองดิจิทัล ทางทันตกรรม

The Accuracy of Indirect Measuring Method on Dental Digital Models

กุลภพ สุทธิอาจ¹, ก่อกุล รอดอารีย์², ธนกร เกื้อกุลพิทักษ์, พลาพัฒน์ พิงคำชา²,
ภูชิต โลกิตสถาพร², สุเมธี ยุทธวงค์, อภิณัฐ คำอุดม², อาริรัตน์ นรินทร์สิทธิ์ชติ³

¹ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²นักศึกษาด้านทันตแพทย์ ชั้นปีที่ 6 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³ภาควิชาทันตกรรมครอบครัวและชุมชน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Kullapop Suttiat¹, Korkuson Rodaree², Thanakorn Kuekulpitak², Palapat Pingsamkha²,

Puchit Lokitsataporn², Sumathee Yuthavong², Apinut Kamudom², Areerat Nirunsittirat³

¹Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

²The 5th year dental student at the Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

³Department of Family and Community Dentistry, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2560; 38(3) : 67-76

CM Dent J 2017; 38(3) : 67-76

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เปรียบเทียบความเที่ยงตรงของวิธีวัดแบบจำลองทันตกรรมชนิดดิจิทัลด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับการวัดโดยตรงจากแบบจำลองพลาสติกด้วยคาลิเปอร์ชนิดดิจิทัล

วัสดุและวิธีการ: สร้างแบบจำลองพลาสติกมาตรฐานจำนวน 30 ชิ้น กราดผิวแบบจำลองด้วยเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ทริเซฟ ดี 810 เพื่อสร้างแบบจำลองดิจิทัลสามมิติ วัดระยะในแนวระนาบ 6 ระยะ (X1, X2, X3, X4, Z1 and Z2) และวัดระยะในแนวตั้ง 4 ระยะ

Abstract

Objective: Comparing the accuracy of the indirect measuring method on dental digital model by computer software with the direct measuring on plaster model by digital caliper.

Materials and methods: Thirty standardized plaster models were fabricated and scanned for 3D digital models by 3Shape D810TM laser scanner. Six horizontal distances (X1, X2, X3, X4, Z1 and Z2) and four vertical distances (Y1, Y2, Y3 and Y4) on

Corresponding Author:

กุลภพ สุทธิอาจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Kullapop Suttiat

Assistant Professor, Department of Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University,

Chiang Mai, 50200, Thailand

E-mail : kullapop.s@cmu.ac.th

(Y1, Y2, Y3 and Y4) บนแบบจำลองดิจิตอลและแบบจำลองพลาสติกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และวิธีวัดโดยตรงด้วยคาลิปเปอร์ตามลำดับ ประเมินความน่าเชื่อถือระหว่างผู้วัดและภายในผู้วัดด้วยสถิติวัดความน่าเชื่อถือของเพียร์สัน (Pearson's correlation test; $r > 0.7$) วิเคราะห์ความเที่ยงตรงของการวัดด้วยวิธีวัดแบบตรงและแบบอ้อมโดยใช้สถิติทดสอบที-เทสต์ ($\alpha < 0.05$)

ผลการศึกษา: ระยะ X1 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.32$) ในขณะที่ระยะเหลือ (X2, X3, X4, Z1, Z2, Y1, Y2, Y3 and Y4) มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha < 0.05$)

สรุป: การวัดระยะบนแบบจำลองดิจิตอลด้วยวิธีอ้อมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับวิธีวัดโดยตรงจากแบบจำลองโดยใช้ดิจิตอลคาลิปเปอร์ซึ่งถือเป็นวิธีวัดมาตรฐาน แต่ความแตกต่างดังกล่าวอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ในทางคลินิก

คำสำคัญ: การวัดโดยวิธีอ้อม แบบจำลองดิจิตอลสามมิติทางทันตกรรม ความแม่นยำ

digital and plaster models were measured by computer based and directed hand-held caliper measurements method, respectively. The intra and inter reliability of the examiners were assessed by Pearson's correlation test ($r > 0.7$). The accuracy of the direct and indirect measurements was tested by student's T-test ($\alpha = 0.05$).

Results: The X1 distance showed no statistically significant ($p = 0.32$) while the remaining (X2, X3, X4, Z1, Z2, Y1, Y2, Y3 and Y4) were significantly different ($\alpha < 0.05$).

Conclusion: The measurement on digital model by indirect method results in statistical difference, but it is in the range of clinically accepted compared to the direct measurement by digital caliper which classified as a gold standard.

Keywords: indirect measuring method, 3D digital dental model, accuracy

บทนำ

แบบจำลองฟันและอวัยวะภายในช่องปากเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับทันตแพทย์ในการประเมินและวางแผนการรักษาและถือเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญสำหรับการทำงานทันตกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสาขาทันตกรรมจัดฟันหรือทันตกรรมประดิษฐ์⁽¹⁻³⁾ โดยทั่วไปแบบจำลองทันตกรรมมักสร้างจากวัสดุประเภทพลาสติกซึ่งแตกหักเสียหายได้ง่ายและมีน้ำหนักค่อนข้างมาก อีกทั้งยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับสถานที่จัดเก็บ การค้นหา รวมถึงความไม่สะดวกในการส่งต่อข้อมูล⁽⁴⁾ โดยมีรายงานว่าต้องใช้พื้นที่มากถึง 17 ตารางเมตร สำหรับจัดเก็บแบบจำลองที่สร้างจากพลาสติกจำนวน 1,000 ชิ้น⁽⁵⁾ เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น จึงมีความพยายามเปลี่ยนแบบจำลองทางทันตกรรมที่สร้างจากพลาสติกให้อยู่ในรูปของข้อมูลดิจิตอล เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการ วิเคราะห์ และการจัดเก็บข้อมูล นอกจากนั้นข้อมูลที่อยู่ในรูปดิจิตอลยังสามารถส่งต่อ

ไปยังทันตแพทย์หรือช่างทันตกรรมได้อย่างสะดวกและรวดเร็วผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอีกด้วย^(6,7) จากข้อดีดังกล่าว ทำให้แบบจำลองทันตกรรมในรูปแบบดิจิตอลได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยผลการสำรวจในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า การใช้แบบจำลองทันตกรรมชนิดดิจิตอลเพื่อวางแผนและให้การรักษาทันตกรรมจัดฟันมีแนวโน้มเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002 เป็นต้นมา⁽⁷⁾

ปัจจุบันวิธีสร้างแบบจำลองชนิดดิจิตอลสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในงานทันตกรรม แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การสร้างโดยวิธีตรง (direct method) และวิธีอ้อม (indirect method) โดยวิธีตรง เป็นการเก็บข้อมูลโครงสร้างภายในช่องปากด้วยการบันทึกภาพโครงสร้างภายในช่องปากด้วยกล้องกราดในช่องปาก (oral scanner) แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลข้อมูลที่บันทึกได้เพื่อสร้างแบบจำลองทาง

ทันตกรรมขึ้นมา ในขณะที่การสร้างแบบจำลองดิจิทัลด้วยวิธีอ้อม เป็นการสร้างเพิ่มข้อมูลดิจิทัลจากการกราดแบบจำลองที่สร้างจากพลาสติกซึ่งได้จากการพิมพ์ปากและเทแบบตามวิธีดั้งเดิม แล้วจึงใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลและสร้างแบบจำลองดิจิทัลขึ้นมา⁽⁸⁻¹⁰⁾

การศึกษาที่ผ่านมา พบว่า คุณภาพและความเที่ยงตรงของแบบจำลองดิจิทัลที่สร้างขึ้นสัมพันธ์กับปัจจัยสำคัญ 3 ประการ คือ ความเที่ยงตรงของระบบกราดและบันทึกภาพคุณสมบัติของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลและสร้างภาพสามมิติ รวมถึงทักษะความชำนาญในการใช้งานระบบสร้างแบบจำลองดิจิทัลของทันตแพทย์และช่างทันตกรรม^(3,8,11) การบันทึกเค้ารูปหรือโครงร่างของวัตถุเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองดิจิทัล 3 มิติ สามารถทำได้หลายวิธี เป็นต้นว่า การกราดผิววัตถุด้วยเลเซอร์ (laser scanning) การสร้างภาพจากเอกซเรย์ชนิดซีที (computer tomography; CT) หรือโคนบีมซีที (cone beam CT)⁽¹²⁾ พบว่าในปัจจุบันการสร้างแบบจำลองดิจิทัลทางทันตกรรมนิยมใช้เทคนิคการกราดผิวแบบจำลองพลาสติกด้วยเลเซอร์เพื่อบันทึกรูปร่างของวัตถุแล้วจึงประมวลผลที่ได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะทางทันตกรรม^(3,4)

เครื่องกราดวัตถุสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองดิจิทัล มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดแสงตัวรับภาพ และแท่นวางวัตถุ โดยแหล่งกำเนิดแสงจะทำหน้าที่ยิงลำแสงไปกระทบพื้นผิวของวัตถุ แล้วตัวรับภาพจะทำหน้าที่บันทึกแสงที่สะท้อนกลับออกมา เนื่องจากลำแสงที่ตกกระทบวัตถุแต่ละเส้นจะสะท้อนกลับด้วยมุมสะท้อนที่แตกต่างกันขึ้นกับลักษณะพื้นผิวและเค้ารูปของวัตถุในแต่ละบริเวณ ดังนั้นจึงสามารถบันทึกลักษณะเค้ารูปที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณของวัตถุที่ถูกกราดได้ หลังจากนั้นข้อมูลที่บันทึกได้จะถูกนำไปประมวลผลและสร้างภาพวัตถุในลักษณะสามมิติโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปสามารถจำแนกเครื่องกราดวัตถุได้เป็นสองประเภทตามลักษณะการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแสง คือ ชนิดที่มีการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแสงผ่านตัววัตถุ และชนิดที่แหล่งกำเนิดแสงอยู่ตำแหน่งเดิมตลอดกระบวนการกราดภาพ⁽¹³⁾

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีเครื่องกราดวัตถุและโปรแกรมประมวลผลสำหรับสร้างแบบจำลองทันตกรรมชนิดดิจิทัล

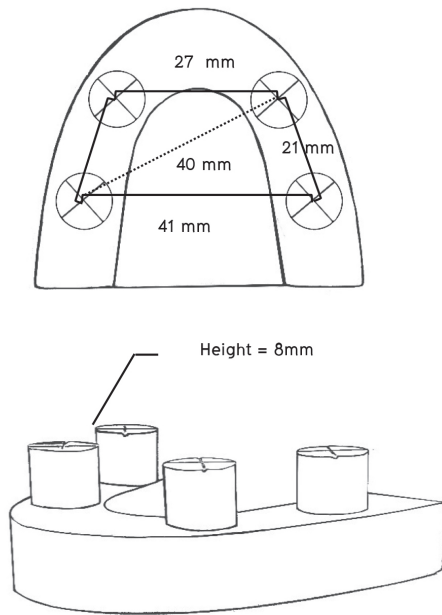
วางจำหน่ายมากมายหลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งความเที่ยงตรงของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์อย่างมากกับกระบวนการกราดและโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผล^(3,4,14,15) โดยเมื่อพิจารณาผลการศึกษากับความเที่ยงตรงของการวัดแบบจำลองดิจิทัลเปรียบเทียบกับกราดโดยตรงบนแบบจำลองพลาสติกซึ่งถือว่าเป็นวิธีมาตรฐานในการประเมินระยะบนแบบจำลองทางทันตกรรมพบว่า ช่วงความแตกต่างของระยะที่วัดในแนวระนาบซ้าย-ขวา (transverse dimensional measurement) มีค่าระหว่าง 0.04 มม ถึง 0.4 มม⁽¹⁶⁾ ส่วนความแตกต่างเฉลี่ยของระยะที่วัดในแนวทะแยงมีค่าเท่ากับ 0.14 มม⁽¹⁷⁾ เป็นไปได้ว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากกระบวนการสร้างแบบจำลองดิจิทัลรวมถึงโปรแกรมที่ใช้ประมวลผลและวัดระยะ⁽³⁾ ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาความเที่ยงตรงของการวัดแบบจำลองดิจิทัลที่สร้างขึ้นโดยวิธีกราดแบบจำลองพลาสติกโดยใช้เครื่องกราดวัตถุ ทรिเซฟรุ่น ดี 810 (3Shape D810) ซึ่งมีให้บริการภายในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดใกล้เคียงด้วยวิธีการวัดจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องกราดวัตถุแนะนำให้ใช้ เปรียบเทียบกับการวัดโดยตรงบนชิ้นแบบจำลองด้วยดิจิทัลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ซึ่งถือเป็นวิธีมาตรฐานในการวัดและวิเคราะห์แบบจำลองทันตกรรม โดยมีความมุ่งหวังว่า ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาประยุกต์ใช้แบบจำลองดิจิทัลในการวางแผนและให้การรักษาทางทันตกรรม รวมถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองดิจิทัลสำหรับการศึกษาวิจัยซึ่งต้องการรายละเอียดและความถูกต้องแม่นยำในระดับสูง โดยมีสมมติฐานงานวิจัยว่า ระยะที่วัดจากแบบจำลองดิจิทัลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับระยะที่วัดโดยตรงจากแบบจำลองพลาสติกโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ก. การสร้างแบบจำลองต้นแบบและแบบจำลองพลาสติก

1. สร้างแบบจำลองต้นแบบด้วยเรซินเหลวชนิดขุ่น (Resin Vertex, Dental Vertex, Zeist, The Netherlands) โดยออกแบบขึ้นตัวอย่างให้มีลักษณะคล้ายขากรรไกรบน

และมีเสาทรงกระบอกในตำแหน่งฟันซี่ 13, 23, 16 และ 26 พร้อมกับสร้างรอยากากบากบริเวณหน้าตัดของเสาทรงกระบอกทั้ง 4 ต้น เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการวัดระยะในแนวระนาบ (รูปที่ 1)

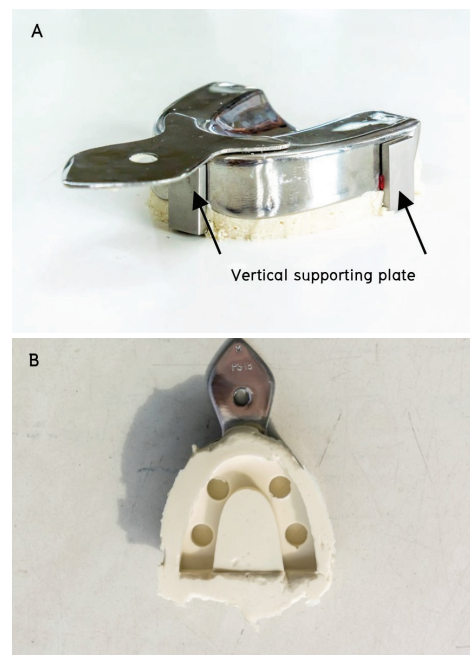


รูปที่ 1 ภาพประกอบแสดงรูปร่างและมิติของแบบจำลองต้นแบบ

Figure 1 Illustration of shape and dimensions of the master model

2. สร้างแบบจำลองพลาสติกอร์ โดยพิมพ์แบบจำลองต้นแบบด้วยวัสดุพิมพ์ปากไฮโดรคอลลอยด์ชนิดผันกลับไม่ได้ (Kromopan[®], Lascod, Florence, Italy) ร่วมกับกรดพิมพ์ปากสำเร็จรูปโลหะขนาดเบอร์ 13 ผสมวัสดุพิมพ์ปากด้วยเครื่องผสมวัสดุสูญญากาศ นาน 60 วินาที โดยใช้อัตราส่วนผง 21 กรัม ต่อ น้ำที่อุณหภูมิห้อง (25±2 °C) ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ตักวัสดุพิมพ์ปากที่ผสมได้ใส่ในกรดพิมพ์ปาก กดกรดพิมพ์ปากลงบนแบบจำลองต้นแบบจนขอบของกรดพิมพ์ปากชนกับแผ่นค้ำแนวตั้งที่ติดอยู่บริเวณด้านข้างของแบบจำลองต้นแบบ โดยแผ่นค้ำในแนวตั้งมีหน้าที่กำหนดตำแหน่งความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองและกรดพิมพ์ปากให้เหมือนกันในทุกครั้งของการพิมพ์ (รูปที่ 2 A) วางค้ำน้ำหนักขนาด 500 กรัม

ทับบนกรดพิมพ์ปาก ทิ้งให้วัสดุพิมพ์ปากก่อตัว 2 นาที จากนั้นกระตุกรอยพิมพ์ออกจากชิ้นตัวอย่างต้นแบบตามแนวของแผ่นนำซึ่งติดอยู่บริเวณด้านข้างของแบบจำลองสำหรับรอยพิมพ์ที่เตรียมได้ โดยรอยพิมพ์ที่มีคุณภาพดีต้องบันทึกรายละเอียดของแบบจำลองต้นแบบได้ทั้งหมด ไม่มีฟองอากาศ และเนื้อของวัสดุพิมพ์ต้องเนียนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน (รูปที่ 2 B) ล้างรอยพิมพ์ด้วยน้ำประปาจากก๊อกน้ำเป็นเวลา 15 วินาที เป่าไล่ไอน้ำที่ค้างอยู่ในรอยพิมพ์ นาน 15 วินาทีด้วยลมจากทริปเปิลไซริงซ์ (triple syringe)



รูปที่ 2 A: ความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นค้ำในแนวตั้งกับขอบของกรดพิมพ์ปากสำเร็จรูปชนิดโลหะ B: ลักษณะรอยพิมพ์ที่มีคุณภาพดี

Figure 2 A: Relationship between vertical supporting plate and border of metal stock tray B: Characters impression that classified as a good quality

3. เทแบบรอยพิมพ์ด้วยพลาสติกอร์หินทางทันตกรรม (Kromotypo[®] 4, Lascod, Florence, Italy) ภายใน 2 นาที นับจากแยกรอยพิมพ์ปากออกจากแบบจำลองต้นแบบ กำหนดให้ใช้ผงพลาสติกอร์หินทางทันตกรรม 300 กรัม ต่อ น้ำกลั่น 60 กรัม สำหรับเทแบบรอยพิมพ์แต่ละอัน ผสม

พลาสติกหีนทางทันตกรรมด้วยเครื่องผสมวัสดุสุญญากาศ โดยใช้เวลาผสม 60 วินาที เทพลาสติกหีนที่ผสมเข้ากันดีแล้วลงในรอยพิมพ์ โดยใช้เครื่องเขย่าร่วมกับฟู่กัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศในเนื้อวัสดุ รอให้พลาสติกหีนก่อตัว 60 นาที แล้วจึงแยกแบบจำลองที่เตรียมได้ออกจากวัสดุพิมพ์ ตัดแต่งวัสดุส่วนเกิน ทำซ้ำจนได้แบบจำลองพลาสติกครบ 30 ชิ้น วางแบบจำลองที่เตรียมได้ในที่โล่ง อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้แบบจำลองแห้งสนิท แล้วจึงเก็บแบบจำลองที่เตรียมได้ในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิด ก่อนนำไปศึกษาในขั้นต่อไป

ข. การสร้างแบบจำลองดิจิทัล (Digital casts) จากชิ้นหล่อพลาสติก (Plaster casts)

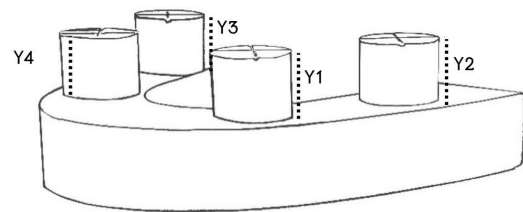
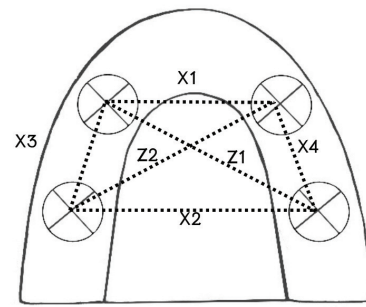
1. ยึดแบบจำลองพลาสติกที่เตรียมไว้เข้ากับแท่นวางของเครื่องกราดวัตถุ ทรีเซฟ รุ่น ดี 810 (3Shape D810) จัดตำแหน่งของแบบจำลองให้อยู่บริเวณกึ่งกลางของแท่นวางให้ขอบด้านหลังของแบบจำลองอยู่ชิดกับเสายึดของเครื่องกราดวัตถุ

2. นำแท่นจับที่ยึดกับแบบจำลองเรียบร้อยแล้วยึดเข้ากับเครื่องกราดวัตถุ ทรีเซฟ รุ่น ดี 810 แล้วเริ่มกระบวนการกราด โดยการควบคุมกระบวนการกราดแบบจำลองผ่านซอฟต์แวร์ เดนทัล ทรีเซฟ เมเนเจอร์ (Dental 3Shape manager) บันทึกข้อมูลการกราดในรูปแบบแฟ้มข้อมูลดิจิทัล (รูปที่ 3) ทำซ้ำบนแบบจำลองพลาสติกแต่ละชิ้นจนครบทั้ง 30 ชิ้น

ค. การวัดและการวิเคราะห์ทางสถิติ

1. กำหนดระยะสำหรับวัดค่า จำนวน 10 แนว ตามแกน x, y และ z (ดังรูปที่ 3) โดยกำหนดให้

- ระยะ X1 หมายถึง ระยะห่างในแนวระนาบจากจุดตัดกากบาทบริเวณผิวหน้าตัดของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 13 และ 23 (เสาคู่หน้า)
- ระยะ X2 หมายถึง ระยะห่างในแนวระนาบจากจุดตัดกากบาทบริเวณผิวหน้าตัดของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 16 และ 26 (เสาคู่หลัง)
- ระยะ X3 หมายถึง ระยะห่างในแนวระนาบจากจุดตัดกากบาทบริเวณผิวหน้าตัดของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 13 และ 16



รูปที่ 3 ระยะในแนวแกน X Y และ Z บนแบบจำลองแต่ละชิ้น

Figure 3 Distances in X, Y and Z axis on each model

- ระยะ X4 หมายถึง ระยะห่างในแนวระนาบจากจุดตัดกากบาทบริเวณผิวหน้าตัดของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 23 และ 26
- ระยะ Y1 หมายถึง ความสูงในแนวตั้งของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 13
- ระยะ Y2 หมายถึง ความสูงในแนวตั้งของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 16
- ระยะ Y3 หมายถึง ความสูงในแนวตั้งของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 26
- ระยะ Y4 หมายถึง ความสูงในแนวตั้งของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 23
- ระยะ Z1 หมายถึง ระยะห่างในแนวระนาบจากจุดตัดกากบาทบริเวณผิวหน้าตัดของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 13 และ 26
- ระยะ Z2 หมายถึง ระยะห่างในแนวระนาบจากจุดตัดกากบาทบริเวณผิวหน้าตัดของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 23 และ 16

2. แบ่งผู้วัดแบบจำลองเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละสองคน โดยผู้วัด A และ B ทำหน้าที่วัดระยะบนแบบจำลองพลาสติกด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ชนิดดิจิทัล ที่ความละเอียด 0.01

มิลลิเมตร ภายใต้แสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับแว่นขยายที่กำลังขยาย 1.5 เท่า ส่วนผู้วัด C และ D ทำหน้าที่วัดระยะบนแบบจำลองดิจิทัลโดยใช้ซอฟต์แวร์ทรีเซพ ทรีดี วิวเวอร์ (3Shape 3D Viewer)

3. วัดระยะตามที่กำหนด โดยให้ผู้วัดแต่ละคนในแต่ละกลุ่มวัดระยะทั้ง 10 แนว แนวละ 3 ครั้ง บนแบบจำลองพลาสติกหรือแบบจำลองดิจิทัลแต่ละชิ้นตามที่ได้รับมอบหมาย คำนวณค่าเฉลี่ยของระยะที่วัดได้แต่ละแนว แล้วบันทึกลงในแบบบันทึกเพื่อใช้เป็นตัวแทนของแต่ละระยะสำหรับแบบจำลองแต่ละชิ้น

4. วิเคราะห์ความเชื่อมั่นของการวัดระหว่างผู้วัดสองคนในแต่ละกลุ่ม (Inter-Examiner reliability) และการวัดซ้ำภายในตัวผู้วัดแต่ละคน (Intra-Examiner reliability) โดยสุ่มเลือกแบบจำลองพลาสติกและแบบจำลองดิจิทัลจำนวน 10 ชิ้น แล้วให้ผู้วัดแต่ละคนในแต่ละกลุ่ม วัดระยะตามแนวที่กำหนดบนแบบจำลองพลาสติกหรือแบบจำลองดิจิทัลตามกลุ่มของตน โดยวัดแนวละ 2 ครั้ง กำหนดให้การวัดครั้งแรกและครั้งที่สองห่างกัน 1 สัปดาห์ วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยสถิติทดสอบ Pearson's Correlations แบบ Two-tailed ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ เอสพีเอสเอส รุ่น 20 สำหรับวินโดส์

5. วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระยะที่วัดได้เปรียบเทียบระหว่างการวัดแบบจำลองพลาสติกโดยตรงด้วยดิจิทัลคาลิเปอร์กับค่าที่ได้จากการวัดแบบจำลองดิจิทัลด้วยซอฟต์แวร์ทรีเซพ ทรีดี วิวเวอร์ โดยใช้สถิติทดสอบ ที เทสต์ แบบสองกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระจากกัน (Two Independent Sample T-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษา

ค่าเฉลี่ยรวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าที่วัดจากแบบจำลองพลาสติก และค่าที่วัดได้จากแบบจำลองดิจิทัล แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแนวที่ต้องการศึกษาด้วยสถิติทดสอบ ที-เทสต์ แบบสองกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระจากกัน พบว่า มีเพียงระยะห่างในแนวระนาบจากจุดตัดกากบาทบริเวณผิวหน้าตัดของเสาทรงกระบอกบริเวณตำแหน่งฟันซี่ 13 และ 13 (X1) เท่านั้นที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวัดโดยตรงด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์กับวิธีวัดด้วยซอฟต์แวร์ทรีเซพ ทรีดี วิวเวอร์ บนแบบจำลองดิจิทัล ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของกลุ่มแบบจำลองพลาสติก

Table 1 Mean and standard deviation (SD) of the plaster model group

Measuring distance on plaster model group (mm)										
	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	Z1	Z2
MEAN	26.7253	40.4393	20.7997	20.7347	8.0500	8.0273	7.9630	7.9357	38.4353	39.3720
SD	0.08439	0.08917	0.07748	0.06962	0.02228	0.02504	0.02351	0.02487	0.07709	0.09711

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของกลุ่มแบบจำลองดิจิทัล

Table 2 Mean and standard deviation (SD) of the digital model group

Measuring distance on digital model group (mm)										
	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	Z1	Z2
MEAN	26.7580	40.5257	20.8757	20.8087	7.7487	7.8047	7.6280	7.6447	38.5677	39.4873
SD	0.15727	0.15952	0.13281	0.13818	0.05637	0.05022	0.07112	0.05667	0.14545	0.18719

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ ที เทสต์ แบบสองกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระจากกัน ($\alpha=.05$)

Table 3 Results of two-tailed independent sample t-test ($\alpha=.05$)

Measuring distance	N	Group				Mean Difference (mm)	Sig. (2-tailed)	95% Confidence Interval of the difference	
		Plaster casts		Digital model				Lower	Upper
		Means	SD	Means	SD				
X1	30	26.7253	0.08439	26.7580	0.15727	-.03267	.320	-.0979	.0325
X2	30	40.4393	0.08917	40.5257	0.15952	-.08633	.012*	-.1531	-.0195
X3	30	20.7997	0.07748	20.8757	0.13281	-.07600	.009*	-.1322	-.0198
X4	30	20.7347	0.06962	20.8087	0.13818	-.07400	.011*	-.1305	-.0174
Y1	30	8.0500	0.02228	7.7487	0.05637	.30133	.000*	.2792	.3235
Y2	30	8.0273	0.02504	7.8047	0.05022	.22267	.000*	.2022	.2432
Y3	30	7.9630	0.02351	7.6280	0.07112	.33500	.000*	.3076	.3624
Y4	30	7.9357	0.02487	7.6447	0.05667	.29100	.000*	.2684	.3136
Z1	30	38.4353	0.07709	38.5677	0.14545	-.13233	.000*	-.1925	-.0722
Z2	30	39.3720	0.09711	39.4873	0.18719	-.11533	.004*	-.1924	-.0383

บทวิจารณ์

แม้สมมติฐานการวิจัยจะถูกปฏิเสธ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติทดสอบที-เทสต์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 บ่งชี้ว่า ค่าเฉลี่ยของระยะซึ่งวัดด้วยวิธีวัดโดยตรงจากแบบจำลองพลาสติกอร์โดยใช้เวอร์เนียบคาลิปเปอร์เกือบทุกแนว (X2, X3, X4, Z1, Z2, Y1, Y2, Y3 และ Y4) มีค่าแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าเฉลี่ยของระยะเดียวกันที่บันทึกได้จากวิธีวัดโดยอ้อมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วัดระยะบนแบบจำลองดิจิทัล แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดทั้งสองวิธีพบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก (แสดงในตารางที่ 1 และ 2) ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Santoro และคณะ⁽¹⁸⁾ ที่พบว่า ค่าเฉลี่ยของระยะที่วัดจากแบบจำลองดิจิทัลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อยกับระยะที่วัดจากแบบจำลองพลาสติกอร์โดยใช้เวอร์เนียบคาลิปเปอร์ โดยเมื่อพิจารณาผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของระยะที่วัดได้ในแนวระนาบ (ระยะ X และ Z) มีค่าอยู่ในช่วง 0.03267 มม ถึง 0.13233 มม ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของระยะที่วัดได้ในแนวตั้ง (ระยะ Y) มีค่าอยู่ในช่วง 0.22267 มม ถึง 0.33500 มม ซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาที่ผ่านมาในอดีต^(16,17)

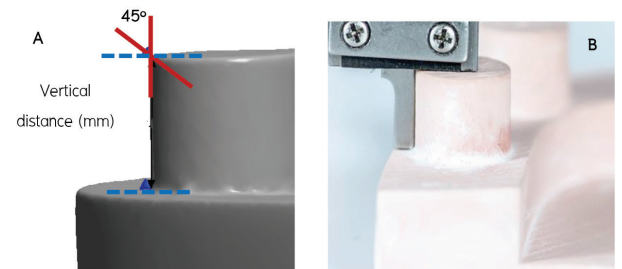
เนื่องด้วยความแตกต่างของระยะที่วัดด้วยวิธีวัดโดยตรงและวิธีวัดโดยอ้อมมีความแตกต่างเพียงน้อย Santoro และคณะ⁽¹⁸⁾ จึงสรุปว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ไม่มีนัยสำคัญต่อการนำข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิก

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความต่างของระยะวัดในแนวระนาบ (ระยะ X และ Z) เปรียบเทียบกับระยะวัดในแนวตั้ง (ระยะ Y) พบว่า ความต่างของค่าเฉลี่ยของระยะวัดในแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันระหว่างวิธีการวัดทั้งสองวิธีมากกว่าความต่างของระยะที่วัดในแนวระนาบ ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Kusnoto และคณะ⁽¹⁹⁾ ซึ่งอธิบายได้ว่าความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ระหว่างระนาบของแนวที่ต้องการวัดกับระนาบของลำแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในขั้นตอนการกราดผิวเพื่อสร้างแบบจำลองดิจิทัล โดยแบบจำลองดิจิทัลที่สร้างขึ้นจะมีความแม่นยำมากกว่าหากพื้นผิวของวัตถุที่ถูกกราดอยู่ในระนาบเดียวกับลำแสงเลเซอร์ที่ใช้กราดเพื่อบันทึกข้อมูลพื้นผิววัตถุ กรณีที่วัตถุที่ต้องการกราดผิวอยู่คนละระนาบกับแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ ลำแสงเลเซอร์จะต้องเคลื่อนที่จากบริเวณฐานสู่อุดเพื่อบันทึกพื้นผิวในแนวตั้ง ลักษณะดังกล่าวส่งผลให้แผ่นรับข้อมูล (photosensitive censor) ของเครื่องกราดผิวได้รับข้อมูลลำแสงเลเซอร์

ที่สะท้อนออกจากผิววัตถุที่ถูกกราดในแต่ละบริเวณในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (time discrepancy) ทำให้แบบจำลองดิจิทัลที่สร้างขึ้นมีค่าความคลาดเคลื่อนของระยะที่ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกับแนวของลำแสงเลเซอร์ที่ใช้ในขั้นตอนการกราดผิว

นอกจากคำอธิบายข้างต้นแล้ว Grünheid และคณะ⁽²⁰⁾ ยังได้ให้ความเห็นว่า ความแตกต่างของระยะที่ได้จากวิธีวัดโดยตรงจากแบบจำลองพลาสติกโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และระยะที่ได้จากการวัดโดยอ้อมจากแบบจำลองดิจิทัลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นผลมาจากขั้นตอนการกำหนดจุดเพื่อวัดระยะด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อพิจารณาวิธีการทดลองของการศึกษาครั้งนี้ที่กำหนดให้ผู้วัดวางหมุดบอกตำแหน่งสำหรับใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์บริเวณมุมที่เป็นรอยต่อระหว่างผิวในแนวราบกับผิวในแนวตั้งของแบบจำลองดิจิทัล โดยให้แกนของหมุดทำมุม 45 องศา กับแนวระนาบ (รูปที่ 4A) เนื่องจากซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้ไม่สามารถกำหนดแนวระนาบหลักสำหรับอ้างอิงได้ ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งจุดอ้างอิงด้วยวิธีข้างต้นจึงอาจเกิดการคลาดเคลื่อน ส่งผลให้ระยะที่วัดได้ในแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันมากกว่าระยะที่วัดในแนวระนาบซึ่งมีจุดอ้างอิงที่เห็นได้ชัดเจนกว่า นอกจากนี้ อาจเป็นไปได้ว่าลักษณะพื้นผิวบริเวณมุมรอยต่อของผิวในแนวราบและแนวตั้งที่ไม่เป็นมุมฉากที่คมและเด่นชัดอาจทำให้การกำหนดตำแหน่งหมุดคลาดเคลื่อน ประกอบกับวิธีวัดโดยตรงบนแบบจำลองพลาสติกโดยใช้การวางทาบด้านท้ายของเวอร์เนียกับหน้าตัดของแท่งทรงกระบอกแล้วดึงแท่งโลหะออกไปจนชนกับผิวในแนวระนาบบริเวณฐานของแท่งทรงกระบอก (รูปที่ 4B) ซึ่งวิธีวัดดังกล่าวอาจให้ค่าที่คลาดเคลื่อนในกรณีที่มีผิวหน้าตัดของแท่งทรงกระบอกไม่เรียบเสมอกัน หรือผิวหน้าตัดของแท่งทรงกระบอกไม่ได้ทำมุมฉากกับผิวด้านข้างของแท่งทรงกระบอกในทุกบริเวณ อีกทั้งความสามารถในการขยายภาพแบบจำลองดิจิทัลในขั้นตอนการวัดระยะด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และการไม่มีการขัดขวางจากโครงสร้างหรืออวัยวะรอบตำแหน่งที่ต้องการวัด นับเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระยะที่วัดโดยอ้อมจากแบบจำลองดิจิทัลมีความแตกต่างจากระยะที่วัดโดยตรงจากแบบจำลองพลาสติก⁽¹¹⁾ นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดระหว่างกระบวนการสร้างแบบจำลองด้วยพลาสติกทางทันตกรรมก่อนนำไปกราดผิวเพื่อสร้างแบบ

จำลองดิจิทัลยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่อาจส่งผลให้เกิดความแตกต่างของระยะเฉลี่ยที่วัดได้ โดย Alcan และคณะ⁽²¹⁾ พบว่า ความคลาดเคลื่อน (percentage error) ของแบบจำลองที่สร้างโดยการเทแบบรอยพิมพ์ที่สร้างจากวัสดุพิมพ์ปากไฮโดรคอลลอยด์ชนิดฟันกลับไม่ได้ด้วยพลาสติกทางทันตกรรม มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.285 ซึ่งความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะบนแบบจำลองพลาสติกเทียบกับการวัดบนแบบจำลองดิจิทัลเท่ากับร้อยละ 0.695



รูปที่ 4 A. การกำหนดจุดอ้างอิงสำหรับการวัดระยะในแนวตั้งของแบบจำลองดิจิทัล B. การวัดระยะในแนวตั้งของแบบจำลองพลาสติกโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์

Figure 4 A: the determination of reference points for vertical distance measurement on digital model. B: the vertical measurement on plaster model by vernier caliper.

เพื่อให้ผลการศึกษามีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยเห็นว่าในการศึกษาครั้งต่อไป ควรพิจารณาเกี่ยวกับระนาบของบริเวณที่ต้องการวัดกับระนาบของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในขั้นตอนการกราดผิวเพื่อสร้างแบบจำลองดิจิทัล และควรเลือกซอฟต์แวร์สำหรับวัดและประเมินแบบจำลองที่สามารถกำหนดระนาบอ้างอิงเพื่อให้การกำหนดจุดในขั้นตอนการวัดระยะมีความถูกต้องยิ่งขึ้น อีกทั้งควรสร้างแนวหรือจุดอ้างอิงที่คมชัด เป็นต้นว่า ร่องขนาดเล็กที่คมชัดในแนวตั้งบริเวณเสาทรงกระบอกบนแบบจำลองเพื่อให้การวัดระยะความสูงของเสาทำได้ง่ายและแม่นยำเพิ่มมากขึ้น

สรุป

แม้ว่าการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ค่าของระยะที่ได้จากการวัดทั้งสองวิธีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการศึกษาในลักษณะใกล้เคียงกัน พบว่า ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทางคลินิกและไม่ส่งผลเสียแต่อย่างใดหากนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการวางแผนการรักษาทางทันตกรรม^(3,4,9) แต่ถึงอย่างไรก็ตามความแตกต่างดังกล่าวอาจมีนัยสำคัญหากจำเป็นต้องนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในงานที่ต้องการความละเอียดและแม่นยำของข้อมูลในระดับสูง เช่น การวัดระยะเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทำวิจัย⁽²²⁾

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า ระยะที่วัดโดยใช้ซอฟต์แวร์ ทรีเซพ ทรีดี วิวเวอร์ บนแบบจำลองดิจิทัล แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับระยะที่วัดโดยวิธีวัดโดยตรงด้วยเวอร์เนียร์เนยคาลิปเปอร์บนแบบจำลองพลาสติก โดยค่าความแตกต่างของระยะที่วัดได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ในทางคลินิก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท Lotus Dental Co.,Ltd. และ บริษัท เอ็กซา ซีแรม จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างแบบจำลองทันตกรรมชนิดดิจิทัล และขอขอบคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Bell A, Ayoub AF, Siebert P. Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *J Orthod* 2003; 30(3): 219-223.
2. Han UK, Vig KW, Weintraub JA, Vig PS, Kowalski CJ. Consistency of orthodontic treatment decisions relative to diagnostic records. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;1 00(3): 212-219.

3. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016; 149(2): 161-170.
4. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 2011; 14(1): 1-16.
5. McGuinness NJ, Stephens CD. Storage of orthodontic study models in hospital units in the U.K. *Br J Orthod* 1992; 19(3): 227-232.
6. Mah J, Hatcher D. Current status and future needs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 2003; 6 Suppl 1: 10-6; discussion 179-182.
7. Keim RG, Gottlieb EL, Vogels DS, 3rd, Vogels PB. 2014 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures, Part 1: results and trends. *J Clin Orthod* 2014; 48(10): 607-630.
8. Nouri M, Asefi S, Baghban AA, Aminian A, Shamsa M, Massudi R. Validity and reliability of a three-dimensional dental cast simulator for arch dimension measurements. *Dent Res J* 2014; 11(6): 656-662.
9. De Luca Canto G, Pacheco-Pereira C, Lagravere MO, Flores-Mir C, Major PW. Intra-arch dimensional measurement validity of laser-scanned digital dental models compared with the original plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 2015; 18(2): 65-76.
10. Porto BG, Porto TS, Silva MB, et al. Comparison of linear measurements and analyses taken from plaster models and three-dimensional images. *J Contemp Dent Pract* 2014; 15(6): 681-687.

11. Cuperus AM, Harms MC, Rangel FA, Bronkhorst EM, Schols JG, Breuning KH. Dental models made with an intraoral scanner: a validation study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 142(3): 308-313.
12. Rheude B, Sadowsky PL, Ferriera A, Jacobson A. An evaluation of the use of digital study models in orthodontic diagnosis and treatment planning. *Angle orthod* 2005; 75(3): 300-304.
13. Luu NS, Nikolcheva LG, Retrouvey JM, et al. Linear measurements using virtual study models. *Angle orthod* 2012; 82(6): 1098-1106.
14. Bootvong K, Liu Z, McGrath C, et al. Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *Euro J Orthod* 2010; 32(5): 589-595.
15. Czarnota J, Hey J, Fuhrmann R. Measurements using orthodontic analysis software on digital models obtained by 3D scans of plaster casts : Intrarater reliability and validity. *J Orofac Orthop* 2016; 77(1): 22-30.
16. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod* 2004; 74(3): 298-303.
17. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *J Orthod* 2008; 35(3): 191-201; discussion 175.
18. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124(1): 101-105.
19. Kusnoto B, Evans CA. Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 122(4): 342-348.
20. Grünheid T, Patel N, De Felipe NL, Wey A, Gaillard PR, Larson BE. Accuracy, reproducibility, and time efficiency of dental measurements using different technologies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014; 145(2): 157-164.
21. Alcan T, Ceylanoglu C, Baysal B. The relationship between digital model accuracy and time-dependent deformation of alginate impressions. *Angle Orthod* 2009; 79(1): 30-36.
22. Zilberman O, Huggare JA, Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angle orthod* 2003; 73(3): 301-306.