

บทบาทของระบบแคดแคมในการฟื้นฟูสภาพช่องปาก: บททวนวรรณกรรม และรายงานผู้ป่วย

The Role of CAD-CAM Systems in Oral Rehabilitation: Literature Review and Case Report

หยาดเพชร ภู่วงไพโรจน์¹, บุญชัย เขาวนไกลวงศ์, วิศนี เจียมมหาทรัพย์²
โรงพยาบาลลำสนธิ จังหวัดลพบุรี
¹ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Yardpetch Poopuangpairoj¹, Boonchai Chaoklaiwong², Wissanee Jia-mahasap²
¹Lam Sonthi Hospital, Lop Buri
²Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2563; 41(1): 117-135
CM Dent J 2020; 41(1): 117-135

Received: 26 July, 2018
Revised: 24 October, 2018
Accepted: 27 November, 2018

บทคัดย่อ

ระบบการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิตในทางทันตกรรม (CAD/CAM systems) เริ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1971 และพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยมีขั้นตอนการทำงานประกอบด้วยการใช้เครื่องสแกนดิจิทัลร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยดำเนินการออกแบบและสร้างชิ้นงานโดยอัตโนมัติ ข้อดีของระบบแคดแคมคือ สามารถสร้างชิ้นงานบูรณะที่มีความแม่นยำ ลดความผิดพลาดจากการทำงานของมนุษย์ที่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อความล้มเหลวเชิงกลของชิ้นงาน เพิ่มขีดความสามารถในการเลือกวัสดุทางทันตกรรม เช่น วัสดุเซรามิกที่ตอบสนองต่อความต้องการทั้งด้านการใช้งานและความสวยงาม ประหยัดเวลาในการรักษา สร้างความสะดวกให้แก่ผู้ป่วย

Abstract

In dentistry, CAD/CAM systems have been applied and developed in clinical practice since 1971. Nowadays, digital workflow systems which utilize a combination of digital oral scanner and computer programs have been developed to assist prosthesis designing and manufacturing. Thus, dental prostheses are automatically designed and manufactured by the systems. CAD/CAM systems have many advantages. Firstly, more precise restorations are made by elimination of human errors that cause higher risk of mechanical failure. Moreover, the use of CAD/CAM systems

Corresponding Author:

บุญชัย เขาวนไกลวงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Boonchai Chaoklaiwong
Assistant Professor, Department of Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand
E-mail: boonchai.ch@cmu.ac.th

และทันตแพทย์ รายงานฉบับนี้กล่าวถึงประวัติความเป็นมา กระบวนการทำงานของระบบแคดแคม และการเปรียบเทียบ การทำงานของระบบแคดแคมกับการทำงานแบบดั้งเดิม รวมถึงรายงานผู้ป่วยที่นำระบบแคดแคมเข้ามามีส่วนช่วย ในการรักษาด้วยฟันเทียมติดแน่นและฟันเทียมถอดได้เพื่อ การฟื้นฟูสภาพช่องปาก

คำสำคัญ: ระบบแคดแคม การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการ ออกแบบ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต ฟันเทียม ติดแน่น การฟื้นฟูสภาพช่องปาก ฟันเทียมถอดได้ เซอร์ โคนีเยเซรามิก

provides further selection of dental materials usage such as zirconia that served the need in esthetic and function aspects. Finally, this technology consumes less time in treatment procedures that is more convenient for patients and dentists. This report shows the history and workflow of CAD/CAM systems, a comparison of CAD/CAM technique to conventional procedure, and a case report that used CAD/CAM systems to design and produce fixed and removable prostheses for oral rehabilitation.

Keywords: CAD/CAM, computer-aided design, computer-aided manufacturing, fixed prosthesis, oral rehabilitation, removable prosthesis, zirconia ceramic

บทนำ

การฟื้นฟูสภาพช่องปาก (oral rehabilitation) หมายถึง การบูรณะรูปร่าง ลักษณะ และการทำงานของอวัยวะ บดเคี้ยวให้ใกล้เคียงความปกติ⁽¹⁾ กล่าวคือบูรณะฟันและ อวัยวะข้างเคียงที่มีความบกพร่องให้ทำหน้าที่บดเคี้ยวอาหาร และออกเสียงได้ดี หมายถึงการบูรณะทางด้านความ สวยงาม^(2,3) กรณีที่ผู้ป่วยสูญเสียฟันธรรมชาติการบูรณะด้วย ฟันเทียมติดแน่น (fixed prosthesis) ร่วมกับฟันเทียมถอดได้ (removable prosthesis) เป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษา⁽⁴⁾

ปัจจุบันระบบการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ และการผลิต (CAD/CAM systems) ทางทันตกรรมได้รับความนิยมนมากขึ้น มีรูปแบบการใช้งานทั้งในคลินิกและห้อง ปฏิบัติการทันตกรรม ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในหลาย สาขา เช่น สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ ทันตกรรมจัดฟัน และ ศัลยกรรมช่องปาก ไบโหน้า และขากรรไกร⁽⁵⁾ ใช้สร้างชิ้นงาน อินเลย์ (inlay) ออนเลย์ (onlay) วีเนียร์ (veneer) ครอบ ฟัน (crown) ฟันเทียมบางส่วนติดแน่น (fixed partial denture) ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ (removable partial denture) รากเทียม (implant) และงานฟื้นฟูสภาพช่องปาก

เทคโนโลยีดังกล่าวพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาความผิดพลาด จากการทำงานของมนุษย์ มีความสะดวกรวดเร็วและแม่นยำ ในการสร้างชิ้นงานเนื่องจากดำเนินการออกแบบและผลิตชิ้น งานโดยอัตโนมัติ^(5,6) ช่วยเพิ่มทางเลือกวัสดุสำหรับใช้งานทาง ทันตกรรม เช่น เซอร์โคนีเยเซรามิก (zirconia ceramic) เป็นต้น^(5,7-9)

รายงานฉบับนี้ได้นำระบบดังกล่าวมาใช้รักษาในผู้ป่วย ที่ได้รับการฟื้นฟูสภาพช่องปากด้วยฟันเทียมติดแน่นร่วมกับ ฟันเทียมถอดได้ เพื่อเป็นทางเลือกให้ทันตแพทย์นอกเหนือ ไปจากระบบดั้งเดิม และเป็นแนวทางประยุกต์แต่ละระบบมา ใช้กับผู้ป่วยได้อย่างเหมาะสม

บททวนวรรณกรรม

ระบบแคดแคมในทางทันตกรรม หรือ Computer-aided design and Computer-aided manufacturing (CAD/CAM) คือ การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในกระบวนการ ออกแบบและสร้างชิ้นงานทางทันตกรรม⁽¹⁰⁾ ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ⁽¹¹⁾ ได้แก่

1. เครื่องกราดวิเคราะห์ระบบดิจิทัล (digital scanner) ทำหน้าที่แปลงรูปทรงเรขาคณิตเป็นข้อมูลดิจิทัล แล้วนำไปประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์
2. ซอฟต์แวร์ (software) หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ประมวลผลและสร้างชุดข้อมูลของชิ้นงานเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการผลิต
3. เทคโนโลยีการผลิต ทำการแปลงชุดข้อมูลออกมาเป็นชิ้นงาน

ประวัติความเป็นมา

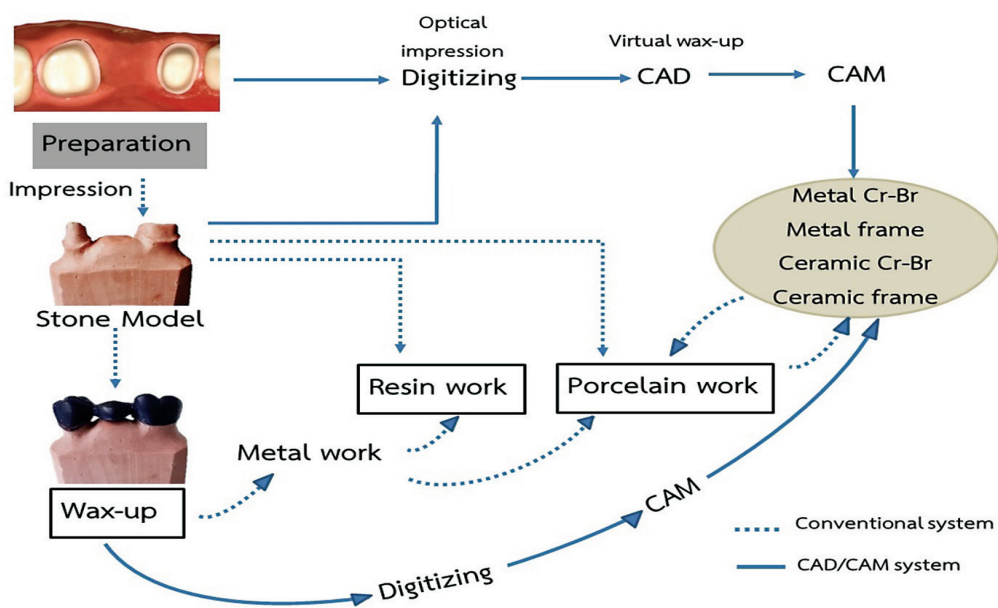
ระบบแคดแคมพัฒนาขึ้นในช่วงปี ค.ศ.1960 เพื่อใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์และอากาศยาน⁽⁶⁾ สืบเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีทางวิศวกรรมคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง และระบบดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทในการรักษาทางการแพทย์ จึงนำไปสู่การประยุกต์ใช้ระบบแคดแคมในทางทันตกรรม⁽⁵⁾ ในปี ค.ศ.1971 Duret เป็นบุคคลแรกที่ออกแบบและกลึงชิ้นงานครอบฟันด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งภายหลังพัฒนามาเป็นระบบโซฟา (Sopha®)⁽⁷⁾ ในปี ค.ศ.1985 Moarmann พัฒนาระบบแคดแคมสำหรับใช้งานข้างเก้าอี้ (chair-side) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชิ้นงานเซรามิก (ceramic restoration) แก่ผู้ป่วยให้เสร็จในครั้งเดียว (one visit) ต่อมาตั้งชื่อระบบดังกล่าวว่าเซเรค (CEREC) ย่อมาจาก

computer-assisted ceramic reconstruction⁽¹²⁾ บุคคลสำคัญในงานแคดแคมทางทันตกรรมอีกท่านคือ Andersson ผู้พัฒนาระบบโพรเซรา (Procera) ขึ้นในช่วงปี ค.ศ.1980 ปัจจุบันเป็นที่รู้จักในชื่อ Nobel Procera หรือ Nobel Biocare⁽⁶⁾ ระบบดังกล่าวได้พัฒนาเป็นศูนย์กลางเครือข่ายการผลิต ใช้การส่งข้อมูลดิจิทัลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อผลิตโครงเซรามิกทั้งชิ้น เครือข่ายการผลิตนี้มีการนำไปใช้โดยบริษัทต่างๆ มากมายทั่วโลก⁽⁷⁾

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ระบบแคดแคมกับงานในหลายสาขา มีรูปแบบการใช้งานทั้งในคลินิกและห้องปฏิบัติการทันตกรรม^(5,6) ช่วยตอบสนองความต้องการทางด้านความสวยงามและความปลอดภัยทางชีวภาพของผู้ป่วย⁽¹³⁾ แก้ไขปัญหาการสร้างชิ้นงานจากวัสดุเซรามิกที่มีความแข็งแรงสูง (high-strength ceramics) ที่ไม่สามารถสร้างชิ้นงานบูรณะได้ด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม^(5,7)

กระบวนการทำงานของระบบแคดแคม

กระบวนการทำงานของระบบแคดแคมแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเก็บข้อมูล การประมวลผลข้อมูล และการผลิต⁽¹⁴⁾ ขั้นตอนการทำงานสามารถทำได้หลายรูปแบบ (รูปที่ 1) ตัวอย่างเช่น กระบวนการสร้างชิ้นงานครอบฟันหรือฟันเทียมบางส่วนติดแน่น เริ่มต้นจากการแปลงลักษณะ



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของระบบแคดแคมทางทันตกรรม (ดัดแปลงจาก Miyazaki และคณะในปี ค.ศ. 2009)⁽⁷⁾

Figure 1 An overview of dental CAD/CAM system workflows (Modified from Miyazaki et al, 2009)⁽⁷⁾

รูปร่างของฟันหลักทางคลินิกเป็นข้อมูลดิจิทัล จากนั้นใช้แคดซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองซี่ฟันเสมือนจริง (virtual wax-up) และสร้างชิ้นงานบูรณะด้วยเครื่องผลิตที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม (CAM processing) หรือเริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลองพลาสติกเทอร์ฮิน (stone model) ด้วยวิธีดั้งเดิม แล้วนำเข้ากระบวนการแคดแคมโดยแปลงแบบจำลองพลาสติกเทอร์ฮินเป็นข้อมูลดิจิทัล เพื่อออกแบบและสร้างชิ้นงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีขึ้นรูปแบบจำลองซี่ฟันด้วยวิธีดั้งเดิม แล้วแปลงรูปร่างลักษณะของแบบจำลองซี่ฟันเป็นข้อมูลดิจิทัล ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการอัตโนมัติต่อไป⁽⁷⁾ กระบวนการทำงานด้วยระบบแคดแคมมีรายละเอียด⁽¹⁴⁾ ดังนี้

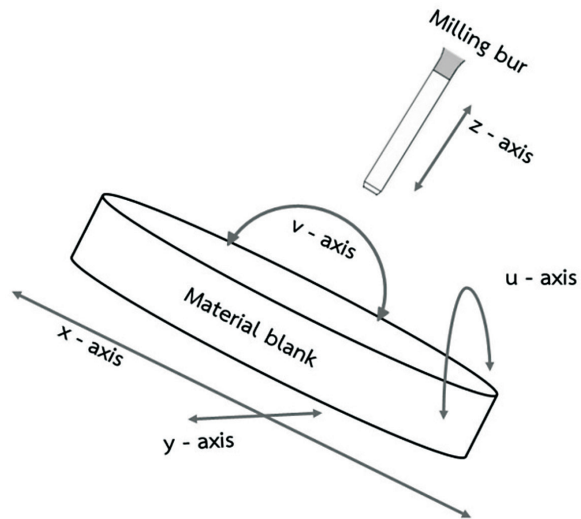
1. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล ใช้เครื่องกราฟิกระยะที่สแกนฟันและขากรรไกรในลักษณะ 3 มิติ และเก็บข้อมูลโดยแปลงลักษณะดังกล่าวเป็นชุดข้อมูลดิจิทัล (digital data)

2. ขั้นตอนการประมวลผล เป็นการออกแบบชิ้นงานบูรณะด้วยซอฟต์แวร์พิเศษจัดทำโดยบริษัทผู้ผลิต และเก็บข้อมูลการออกแบบชิ้นงานไว้ในรูปแบบไฟล์เอสทีแอล (stl file format) หรือไฟล์อื่นๆ ตามโปรแกรมการออกแบบที่ใช้⁽¹¹⁾

3. ขั้นตอนการผลิต ดำเนินการสร้างชิ้นงานตามข้อมูลที่ได้จากแคดซอฟต์แวร์โดยใช้เครื่องจักรควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์^(11,14) ปัจจุบันกระบวนการผลิตด้วยระบบแคดมี 2 สายงาน ได้แก่ กระบวนการลด (subtractive) และกระบวนการเพิ่ม (additive)

3.1 กระบวนการลด มีหลักการการทำงานคือใช้เครื่องมือที่มีความคมตัดแต่งชิ้นวัสดุขนาดใหญ่ ให้ได้ชิ้นงานที่มีลักษณะตามต้องการ⁽¹⁴⁾ แคดซอฟต์แวร์ทำหน้าที่ออกชุดคำสั่งที่กำหนดลำดับ ทิศทาง และความแรงในการเคลื่อนที่ของหัวกรอภายในเครื่องจักร⁽¹⁵⁾ เครื่องจักรควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางทันตกรรมมีแนวการเคลื่อนที่หลายแนวแกน (รูปที่ 2) ระบบการกลึง 3 ทิศทาง (3-axis milling systems) มีการใช้งานมากที่สุด โดยหัวกรอจะเคลื่อนที่ในแนวแกน x y z ร่วมกับการหมุน 180 องศา ของชิ้นวัสดุ เพื่อให้กลึงชิ้นงานได้ทั้งผิวด้านนอกและด้านใน และมีรายละเอียดของพื้นผิวชิ้นงานที่ดี⁽¹¹⁾ นอกจากนี้ยังมีระบบการกลึง 4 ทิศทาง (4-axis milling systems) สำหรับกลึงชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ เช่น โครงสร้างชิ้นงานที่มีความยาว (long span framework) และ

ระบบการกลึง 5 ทิศทาง (5-axis milling systems) สำหรับผลิตชิ้นงานที่มีโครงสร้างซับซ้อน⁽⁵⁾



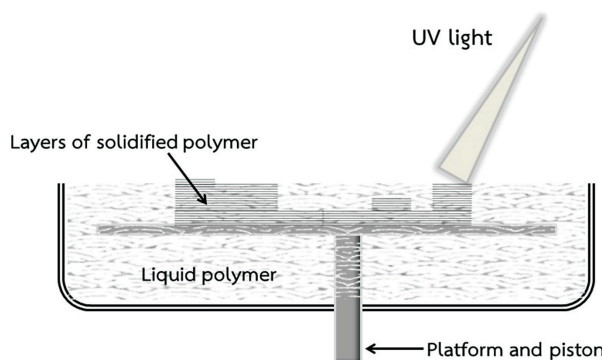
รูปที่ 2 แนวการเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ กันของเครื่องกลึงประกอบไปด้วยแนวแกน xyz ในระบบการกลึง 3 ทิศทาง เพิ่มแนว v ในระบบการกลึง 4 ทิศทางและแนว u ในระบบการกลึง 5 ทิศทาง (ดัดแปลงจาก Abduo และคณะ ในปี 2014)⁽⁵⁾

Figure 2 The illustration of different direction movements of milling machine. Composed of x, y and z axis in 3-axis milling system, adding v axis in 4-axis milling system and u axis in 5-axis milling system respectively (Modified from Abduo et al, 2014)⁽⁵⁾

3.2 กระบวนการเพิ่ม สร้างชิ้นงานโดยทำให้วัสดุเชื่อมกันเป็นชั้นต่อชั้น ซึ่งตรงข้ามกับวิธีผลิตแบบกระบวนการลด มีหลักการการทำงานคือ สร้างชุดลำดับภาพตัดขวางจากข้อมูลการออกแบบ 3 มิติ จากนั้นพิมพ์ภาพตัดขวางแต่ละภาพซ้อนกันเป็นชั้นๆ เพื่อสร้างรูปทรงของวัตถุ ในทางทันตกรรมนำมาใช้ผลิตชิ้นงานต้นแบบ (prototype model) จากวัสดุเรซิน (resin) หรือซี่ฟัน หรือใช้ผลิตชิ้นงานจริงจากโลหะ เรซิน หรือเซรามิก ตัวอย่างกระบวนการผลิตแบบกระบวนการเพิ่ม ได้แก่ การใช้เลเซอร์ขึ้นรูปผงวัสดุ (laser powder forming) สเตอริโอลิโทกราฟี (stereolithography : SLA) การสร้างแบบจำลองจากการสะสมและเชื่อมวัสดุ (fused deposit modeling : FDM) และการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท (inkjet printing)⁽¹⁴⁾

3.2.1 การใช้เลเซอร์ขึ้นรูปผงวัสดุ สร้างชิ้นงานโดยใช้ลำแสงเลเซอร์หลอม (selective laser melting) หรือเผา (selective laser sintering) ผงวัสดุเป็นชั้นๆ กระบวนการทำงานของเครื่องจักรเริ่มจากแท่นรองรับชิ้นงานเคลื่อนที่ลงในอ่างบรรจุผงวัสดุ ลูกกลิ้งทรงกระบอกจะเคลื่อนผ่านด้านบนเพื่อควบคุมความหนา จากนั้นฉายลำแสงเลเซอร์ไปบนผงวัสดุเพื่อเพิ่มอุณหภูมิเฉพาะตำแหน่งของวัสดุให้ใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวแต่ยังไม่เกิดการหลอมเหลวโดยสมบูรณ์ ส่งผลให้ผิวของวัสดุหลอมและเชื่อมติดกัน เกิดกระบวนการนี้ขึ้นซ้ำๆ จนเสร็จสิ้นการสร้างชิ้นงาน⁽¹⁶⁾ การหลอมด้วยเลเซอร์เป็นวิธีเดียวในกระบวนการเพิ่มที่สามารถสร้างชิ้นงานจากโลหะ ส่วนวัสดุที่ใช้ในกระบวนการเผาด้วยเลเซอร์ ได้แก่ เซรามิกและพอลิเมอร์ (polymer)⁽⁵⁾

3.2.2 สเตอริโอลิโทกราฟี คือ การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้วัสดุพอลิเมอร์ชนิดเหลว (liquid polymer) เกิดการเชื่อมโยงพอลิเมอร์ (polymerization) หรือการเชื่อมโยงข้าม (crosslink) เป็นชั้นต่อชั้นจนเกิดเป็นรูปร่างชิ้นงาน (รูปที่ 3) มักใช้ผลิตชิ้นงานจากเรซิน เช่น แผ่นแบบ (surgical template) สำหรับรากเทียม ชิ้นงานเพื่อบูรณะไบหน้^(5,14) และเฟือกฟัน (mouth guard)⁽¹⁷⁾

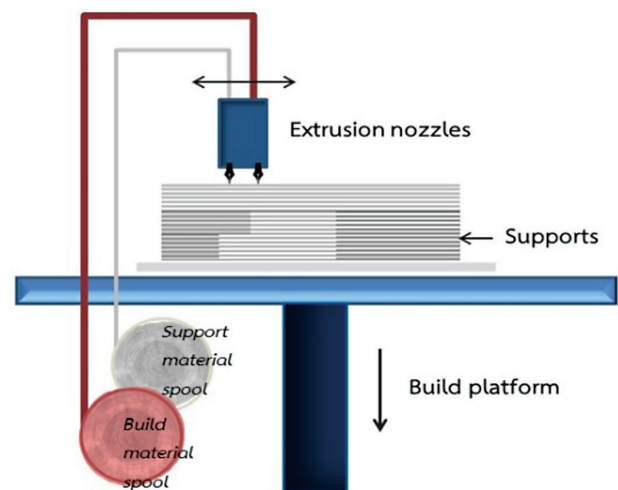


รูปที่ 3 จำลองการทำงานของระบบสเตอริโอลิโทกราฟี (ดัดแปลงจาก Richard VN ในปี ค.ศ. 2012)⁽¹⁴⁾

Figure 3 Schematic diagram of Stereolithography system (Modified from Richard VN, 2012)⁽¹⁴⁾

3.2.3 การสร้างแบบจำลองจากการสะสมและเชื่อมวัสดุ มีหลักการการทำงานคือ ใช้หัวจ่ายหลอมวัสดุด้วยความร้อนและจ่ายวัสดุไปยังแท่นรองรับชิ้นงาน วัสดุจะแข็งตัวทันทีที่สัมผัสแท่นรองรับ เมื่อหัวจ่ายเคลื่อนที่ในแนวนอนและแท่นรองรับเคลื่อนที่ลงในแนวตั้ง จะทำให้วัสดุก่อตัวเป็นชั้นๆ เกิดเป็นรูปร่างชิ้นงาน วัสดุที่ใช้ในกระบวนการนี้ ได้แก่ วัสดุเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) จำพวกซีพีจี เรซิน หรือ เส้นใยวัสดุ (fused filament) ในบางระบบอาจมีวัสดุรองรับ (supporting material) สร้างขึ้นพร้อมชิ้นงานขณะทำการผลิต^(5,14) (รูปที่ 4) กระบวนการนี้มีข้อแตกต่างจากกระบวนการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือ สามารถพิมพ์วัสดุได้หลายชนิดในครั้งเดียว⁽¹⁸⁾

3.2.4 การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ต เป็นการใช้เครื่องพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ ที่ให้ความละเอียดสูง ฟันละของวัสดุผ่านทางหัวจ่ายขนาดเล็กไปสะสมบนพื้นผิวรองรับ และทำให้แข็งตัวด้วยการอบความร้อน ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต หรือทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี หลังจากละของของวัสดุชั้นแรกแข็งตัว เครื่องพิมพ์จึงจ่ายละของวัสดุชั้นถัดไป เกิดกระบวนการเช่นนี้ซ้ำๆ จนเกิดเป็นรูปร่างชิ้นงาน ตัวอย่างของเครื่องพิมพ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ได้แก่ เครื่องพิมพ์โพลีเจ็ต (polyjet)⁽¹⁴⁾



รูปที่ 4 จำลองการทำงานของระบบการสร้างแบบจำลองจากการสะสมและเชื่อมวัสดุ (ดัดแปลงจาก Richard VN ในปี ค.ศ. 2012)⁽¹⁴⁾

Figure 4 Schematic diagram of fused deposit modeling (Modified from Richard VN, 2012)⁽¹⁴⁾

การเปรียบเทียบการทำงานด้วยระบบแคดแคม และระบบดั้งเดิม

การสร้างชิ้นงานแบบดั้งเดิมต้องอาศัยมนุษย์ควบคุมการทำงานและจัดการวัสดุในทุกขั้นตอน ซึ่งธรรมชาติของวัสดุจะมีการหดหรือขยายตัว มักส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาด ขาดความแม่นยำ เพิ่มเวลาและค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังต้องอาศัยความชำนาญเพื่อผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพ ดังนั้นการออกแบบและสร้างชิ้นงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์จึงช่วยสร้างชิ้นงานบูรณะที่มีความแม่นยำมากกว่า⁽⁵⁾ อีกทั้งการพิมพ์ปากแบบดั้งเดิมสามารถพบปัญหาได้หลากหลาย อาทิเช่น พบฟองอากาศ วัสดุพิมพ์ฉีกขาด มีด้ายแยกเหงือกหรือเศษสิ่งสกปรกฝังอยู่ในรอยพิมพ์ หรือได้รอยละเอียดของฟันที่ได้รับการกรอแต่งไม่ครบถ้วน Christensen⁽¹⁹⁾ ทำการศึกษาถึงรอยพิมพ์ที่ส่งไปยังห้องปฏิบัติการทันตกรรมพบว่า มากกว่าร้อยละ 50 ไม่สามารถระบุขอบของฟันที่กรอแต่งได้

เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปาก (intraoral scanner) ช่วยประหยัดเวลาการทำงานและค่าใช้จ่าย ลดพื้นที่จัดเก็บชิ้นหล่อพลาสติกเรซินและลดความเสี่ยงต่อการแตกหักเสียหายหากจัดเก็บอย่างไม่เหมาะสม เนื่องจากข้อมูลที่ได้จะจัดเก็บไว้ในระบบคอมพิวเตอร์⁽⁶⁾ นอกจากนี้ยังเพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้ป่วยที่มีรีเฟล็กซ์การอาเจียน (gag reflex) สูง มีความกังวลในการทำฟัน กล้ามเนื้อลิ้นแข็งเกร็ง ก้นน้ำลายได้ยาก หรือมีอาการแพ้วัสดุพิมพ์ปาก⁽⁹⁾

การประยุกต์ใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากเข้ากับโปรแกรมแคด ช่วยลดความล้มเหลวเชิงกลของชิ้นงานบูรณะเนื่องจากทันตแพทย์สามารถตรวจสอบแบบจำลองเสมือนจริงบนหน้าจอแสดงผล ขึ้นรูปแบบจำลองซี่ฟันด้วยระบบดิจิทัลและตัดแต่ง (cut back) แบบจำลองซี่ฟันเสมือนจริงได้ทันที ทำให้สามารถระบุตำแหน่งที่กรอแต่งได้ไม่เหมาะสมหรือมีพื้นที่ไม่เพียงพอสำหรับวัสดุ และแก้ไขได้โดยไม่ต้องเสียเวลานัดหมายผู้ป่วยอีกครั้ง ทำให้แน่ใจได้ว่าผลการรักษาตรงกับแผนการรักษาที่วางไว้^(5,20)

ในงานฟันเทียมบางส่วนถอดได้ การหาเส้นแนวสำรวจทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic survey line) วิธีการใส่ (path of insertion) และการควบคุมปริมาณส่วนคอด (undercut) บนแบบจำลองเสมือนจริง สามารถทำได้แม่นยำกว่าการหาเส้นแนวสำรวจแบบดั้งเดิม ช่วยวัดปริมาณส่วนคอดที่เหมาะสม ณ ตำแหน่งที่ต้องการให้เป็นจุดสิ้นสุดของแขน

ยึด (retentive arm) นอกจากนี้ ระบบดังกล่าวยังช่วยลดขั้นตอนในการทำงานบางขั้นตอนลง เช่น การทำสำเนาชิ้นหล่อ (cast duplication) และการทำชิ้นหล่อทนความร้อน (refractory cast) สำหรับลงเบ้าฝัง (investing) เพื่อหล่อเป็นต้น^(21,22)

ทันตแพทย์สามารถติดตามผลการรักษา ผลิตชิ้นงานขึ้นใหม่ หรือปรับปรุงชิ้นงานจากการผลิตครั้งก่อนได้ เนื่องจากข้อมูลชิ้นงานสามารถจัดเก็บไว้ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องมือ นอกจากนี้ระบบแคดแคมยังช่วยเพิ่มทางเลือกวัสดุทางทันตกรรม เช่น วัสดุเซรามิกความแข็งแรงสูง ที่มีความจำเป็นต้องใช้ระบบแคดแคมเพื่อสร้างชิ้นงาน^(5,7-9)

อย่างไรก็ดีการใช้งานระบบแคดแคมยังมีข้อจำกัด โดยผู้เริ่มต้นใช้งานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ซอฟต์แวร์ และเรียนรู้ระบบการทำงานเพิ่มเติม ทันตแพทย์ที่ไม่มีงานบูรณะจำนวนมากอาจต้องใช้เวลาในการบรรลุถึงจุดคุ้มทุนการลงทุน นอกจากนี้การใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ระบบดิจิทัลจำเป็นต้องควบคุมความชื้น ห้ามเลือด และแยกเหงือกเช่นเดียวกับการพิมพ์ปากแบบดั้งเดิม ซึ่งมีรายงานกล่าวถึงความไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เก็บข้อมูลเนื้อเยื่อที่มีการเคลื่อนที่ (movable tissue) ในงานฟันเทียมบางส่วนถอดได้^(6,9)

รายงานผู้ป่วย

ผู้ป่วยหญิงไทย อายุ 68 ปี มาพบทันตแพทย์ด้วยอาการสำคัญคือ ฟันเทียมเดิมกดเหงือก เคี้ยวแล้วเจ็บ จากการตรวจในช่องปากพบฟันธรรมชาติที่เป็นฟันหลักสำคัญ (primary abutment) รองรับฟันเทียมเดิมได้รับการถอนไปเมื่อประเมินสภาพช่องปาก (รูปที่ 5) และภาพรังสี (รูปที่ 6) พบลักษณะสำคัญดังนี้

- ฟันธรรมชาติพบการสึกเหตุบดเคี้ยวถึงชั้นเนื้อฟันโดยทั่วไป
- ฟันซี่ 13 12 11 และ 21 พบเคลือบฟันแตกบิ่นถึงชั้นเนื้อฟันบริเวณปลายฟันและด้านเพดานร่วมกับการสึกบริเวณคอฟัน
- ฟันซี่ 22 25 และ 45 เป็นครอบฟันเดิมมีการสึกเพิ่มเติมบริเวณคอฟัน
- ฟันซี่ 27MOD และ 38OM, B วัสดุอุดอะมัลกัมอยู่ในสภาพไม่สมบูรณ์ มีการแตกบิ่นตามขอบวัสดุ

- ฟันซี่ 35OD วัสดุอุดเรซินคอมโพสิตขนาดใหญ่
- ฟันซี่ 14 และ 44 ได้รับการรักษาคลองรากฟันแต่ยังไม่ได้รับการบูรณะฟันที่เหมาะสม
- สันเหงือกกว้างบริเวณฟันซี่ 15 16 23 24 26 36 37 46 และ 47

จากการประเมินการสบฟันพบว่า ผู้ป่วยมีระยะปลายฟันหน้าใกล้สุดขณะพูด (closest speaking space) 1 มิลลิเมตร และระยะปลอดการสบขณะพัก (free-way space) 2 มิลลิเมตร ตามการศึกษาของ Turner และ Missirlan⁽²³⁾ ผู้ป่วยกรณีนี้มีการสึกจัดอยู่ในประเภทที่ 2 (Category No. 2) คือ ฟันสึกมากแต่ไม่มีการสูญเสียมิติแนวตั้งขณะสบ (occlusal vertical dimension) ทันตแพทย์จึงวางแผนฟื้นฟูสภาพช่องปาก ณ ตำแหน่งความสัมพันธ์ในศูนย์ (centric relation) เพื่อสร้างการสบฟันให้มีเสถียรภาพและมีพื้นที่เพียงพอต่อการบูรณะ เมื่อสอบถามถึงความคาดหวังด้านความสวยงามพบว่า ผู้ป่วยต้องการปรับลักษณะรูปร่างฟันหน้าบนและสีฟันให้ขาวขึ้น จากผลการวินิจฉัยและการพูดคุยกับผู้ป่วย แผนการรักษาจึงประกอบด้วย ครอบฟันซี่ 11 12 13 14 21

22 35 38 44 45 และสะพานฟันซี่ 25 ถึง 27 ร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ฐานโลหะเพื่อทดแทนฟันในตำแหน่งซี่ 15 16 23 24 36 37 46 47 ซึ่งในกรณีนี้วางแผนในการใช้ระบบแคดแคมเข้ามามีส่วนช่วยในกระบวนการออกแบบและสร้างชิ้นงาน

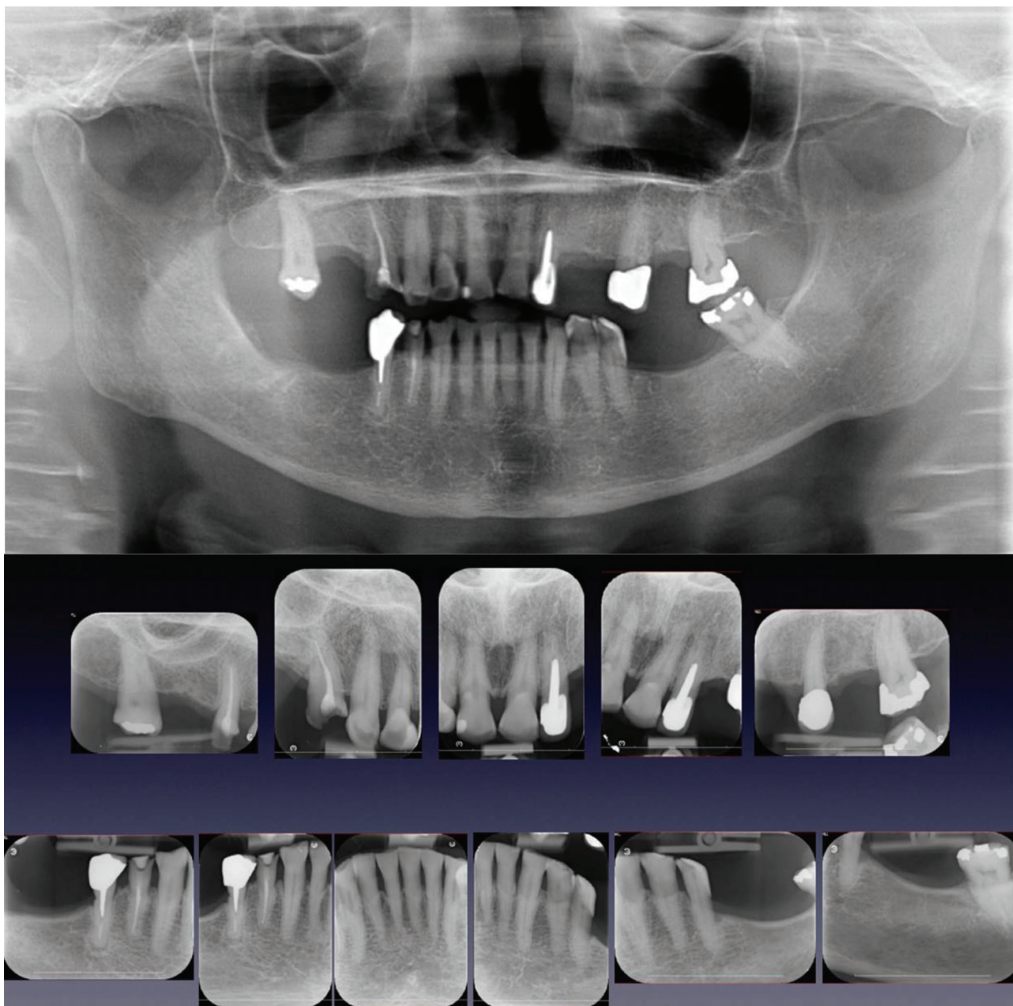
การสร้างฟันเทียมติดแน่น

เนื่องจากผู้ป่วยมีความคาดหวังทางด้านความสวยงามสูง ดังนั้นทันตแพทย์จึงเลือกทำการรักษาด้วยครอบฟันและสะพานฟัน โดยใช้วัสดุเซอร์โคเนียเซรามิกสร้างชิ้นงาน มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. กรอเตรียมฟันหลักและพิมพ์ปากครั้งสุดท้าย (final impression) ด้วยวัสดุโพลีไวนิลซิล็อกเซน (polyvinylsiloxane) เลือกสีของชิ้นงานบูรณะร่วมกับผู้ป่วย โดยใช้แถบสีฟันยี่ห้อ VITA Toothguide 3D-MASTER® (VITA Zahnfabrik) สี 1M2 จากนั้นสร้างแบบถอด (die) และขึ้นหล่อหลัก (master cast) ด้วยพลาสติกหินชนิดที่ 4 (type IV dental stone) ติดตั้ง (mounting) ชิ้นหล่อหลักเข้าสู่



รูปที่ 5 ภาพถ่ายก่อนการรักษาแสดงการสึกด้านบดเคี้ยวของฟันธรรมชาติโดยทั่วไป วัสดุบูรณะเก่าที่ไม่สมบูรณ์ และบริเวณไร้ฟัน
Figure 5 Pre-operative photographs demonstrate generalized occlusal tooth wearing, defective restorations and edentulous area.



รูปที่ 6 ภาพรังสีแพโนรามมา และภาพรังสีรอบปลายรากที่ใช้ประเมินและวางแผนการรักษา

Figure 6 Panoramic and periapical radiographs for evaluation and treatment planning.

กลอุปกณ์ชากรไรกรจำลองแบบปรับได้บางส่วน (Hanau™ Modular, Whip Mix)

2. ขึ้นรูปแบบจำลองซี่ฟันที่จำลองรูปร่างชิ้นงานครอบฟันและสะพานฟัน ตรวจสอบแบบจำลองซี่ฟันสำหรับครอบฟันรองรับฟันเทียมถอดได้ (surveyed crown) ให้มีวิธีการใส่ แอ่งรับ (rest seat) และบริเวณส่วนคอดที่เหมาะสม ตัดแต่งแบบจำลองซี่ฟันสำหรับชิ้นงานฟันหน้าบนให้มีพื้นที่สำหรับชั้นพอร์ซเลนวีเนียร์ (porcelain veneering) (รูปที่ 7)

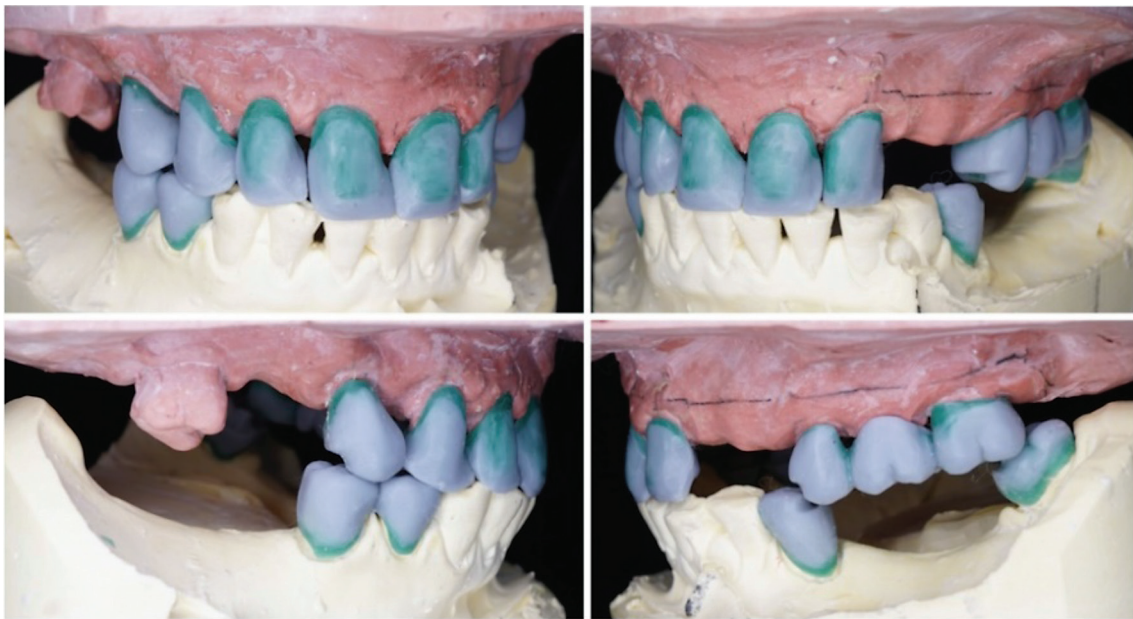
3. นำแบบถอดเข้าเครื่องสแกน 3 มิติ (Ceramill® Map 400, AmannGirrbach) เพื่อแปลงรูปร่างของซี่ฟันหลักเป็นข้อมูลดิจิทัล และส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมการออกแบบชิ้นงาน (Ceramill® Mind design software, AmannGirrbach) ซึ่งสามารถแสดงภาพเสมือนจริงของซี่

ฟันหลักบนหน้าจอแสดงผล (รูปที่ 8)

4. สแกนแบบจำลองซี่ฟันด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ เช่นเดียวกับแบบถอด เลือกคำสั่งให้โปรแกรมการออกแบบชิ้นงานซ้อนภาพเสมือนจริงของแบบจำลองซี่ฟันลงบนภาพเสมือนจริงของซี่ฟันหลัก และกำหนดตำแหน่งขอบครอบฟันและสะพานฟัน (รูปที่ 9)

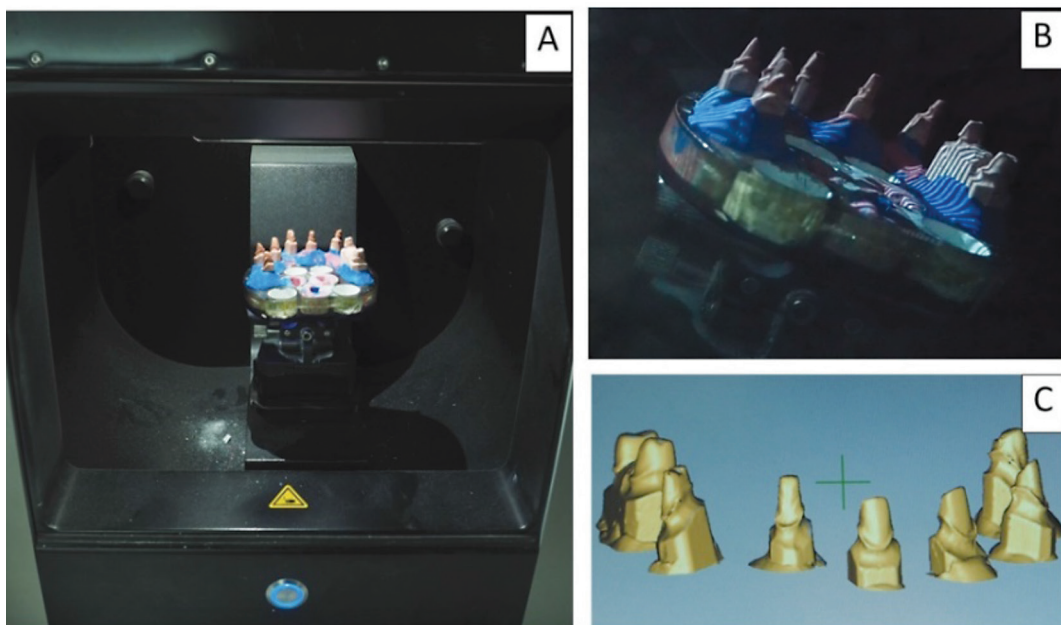
5. เลือกวิธีการใส่และกำจัดส่วนคอดที่ขัดขวางการใส่ครอบฟันและสะพานฟัน ซึ่งแสดงให้เห็นเป็นตำแหน่งสีแดง จากนั้นกำหนดความหนาขอบชิ้นงาน (รูปที่ 10) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการออกแบบจึงส่งข้อมูลไปสู่โปรแกรมสร้างชิ้นงาน

6. เลือกชั้นวัสดุเซอร์โคเนีย (Cercon®ht, DeguDent) ที่จะใช้กลึงจากฐานข้อมูลในโปรแกรมสร้างชิ้นงาน จากนั้นจัดวางชิ้นงานที่ออกแบบบนภาพเสมือนจริงของ



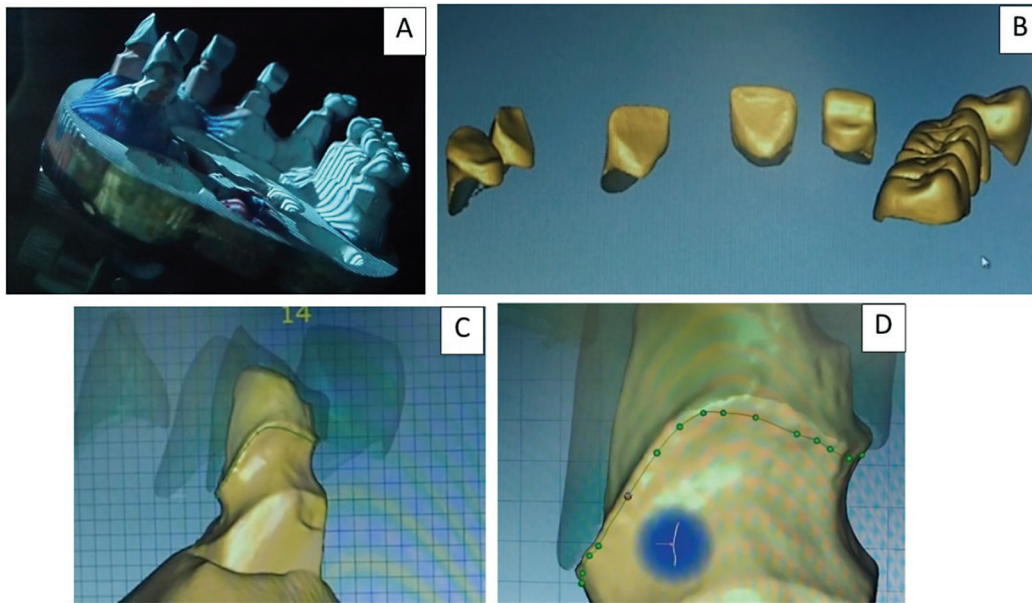
รูปที่ 7 แบบจำลองซี่ฟันสำหรับครอบฟันรองรับฟันเทียมถอดได้ และแบบจำลองซี่ฟันสำหรับชิ้นงานฟันหน้าบนที่ตัดแต่งให้มีพื้นที่สำหรับชั้นพอร์ซเลนวีเนียร์

Figure 7 Wax up models for surveyed crowns and cut back wax up models for porcelain veneering in upper anterior teeth.



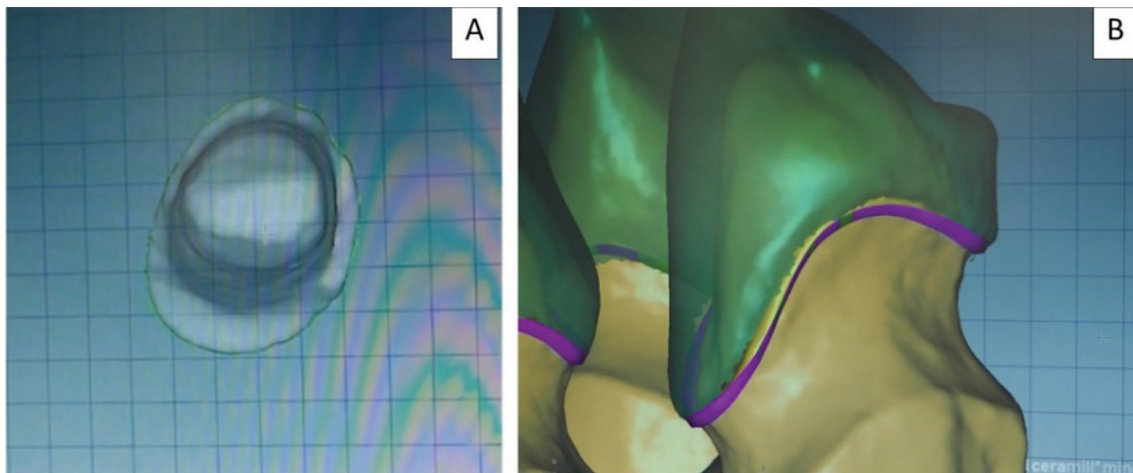
รูปที่ 8 A) การวางแบบถอดในเครื่องสแกน 3 มิติ B) การสแกนแบบถอดโดยเครื่องสแกน 3 มิติ C) ภาพเสมือนจริงของซี่ฟันหลักบนหน้าจอแสดงผล

Figure 8 A) Placing dies in 3D scanner B) Scanning dies by 3D scanner C) The virtual images of abutment teeth on the display monitor.



รูปที่ 9 A) การสแกนแบบจำลองขี้ผึ้งด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ B) ภาพเสมือนจริงของแบบจำลองขี้ผึ้ง C) โปรแกรมการออกแบบซ้อนภาพเสมือนจริงของแบบจำลองขี้ผึ้งลงบนภาพเสมือนจริงของซี่ฟันหลัก D) การกำหนดขอบครอบฟันและสะพานฟัน

Figure 9 A) Scanning wax up models by 3D scanner B) Virtual images of wax up models C) The designed program superimposed the virtual wax up on the virtual abutment teeth D) Defining crown and bridge margin.



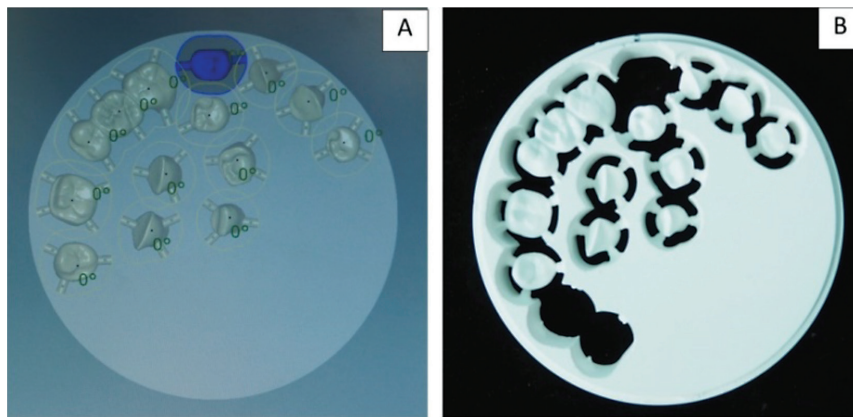
รูปที่ 10 A) การเลือกวิถีการใส่ B) การปรับแต่งความหนาขอบชิ้นงาน

Figure 10 A) Choosing path of insertion B) Adjusting the thickness of restoration margin.

ชิ้นวัสดุ และสั่งการเครื่องกลึงระบบแคมให้เริ่มกลึงชิ้นงาน (Ceramill® Motion 2, AmannGirrbach) (รูปที่ 11)

7. เมื่อกลึงชิ้นงานเสร็จ จึงตัดชิ้นงานออกจากชิ้นวัสดุ แล้วนำเข้าไปในเครื่องเผา (inFire HTC speed, Sirona Dental Systems) อุณหภูมิที่ใช้คือ 1,520 องศาเซลเซียส เวลาในการเผาประมาณ 3 ชั่วโมง 40 นาที

8. เพิ่มชั้นพอร์ซเลนวีเนียร์ตามสีของฟันที่ได้เลือกไว้บนชิ้นงานฟันหน้าบนด้วยวัสดุเซรามิกชนิดเฟลด์สปาร์ (VITAVM®9, VITA Zahnfabrik) แต่งชิ้นงานจนได้รูปร่างที่ต้องการ แล้วนำเข้าเครื่องเผา (Vita V60 i-Line®, VITA Zahnfabrik) หลังจากนั้นทาสารแถมสีและสารเคลือบ (VITA AKZENT® Plus, VITA Zahnfabrik) แล้วนำ



รูปที่ 11 A) การจัดวางชิ้นงานที่ออกแบบบนภาพเสมือนจริงบนชิ้นวัสดุ B) ชิ้นวัสดุหลังผ่านกระบวนการกลึงที่ควบคุมด้วยระบบแคม
Figure 11 A) Arranging the designed restorations on virtual block of material B) The block after milling process controlled by CAM system.

กลับเข้าเครื่องเผาอีกครั้ง โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส และเวลาประมาณ 10-15 นาทีต่อรอบ

9. ลองชิ้นงานบูรณะในช่องปากผู้ป่วย กรอแต่งให้มียึดสัมผัสด้านประชิด (interproximal contact) และการสบฟัน (occlusal contact) ที่เหมาะสม เตรียมพื้นผิวชิ้นงานด้าน

ในโดยการเป่าทราย (sand blasting) ด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide) ขนาด 50 ไมครอน ที่ความดัน 4 บาร์ นาน 20 วินาที⁽²⁴⁾ และยึดชิ้นงานบูรณะด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ (RelyX™ U200, 3M ESPE) (รูปที่ 12)



รูปที่ 12 ภาพถ่ายในช่องปากหลังยึดครอบฟันและสะพานฟันด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดเซลฟ์แอดฮีซีฟ
Figure 12 Post-operative intraoral photographs after fixed crowns and bridges with self-adhesive resin cement.

การสร้างชิ้นงานฟันเทียมบางส่วนถอดได้ฐานโลหะ

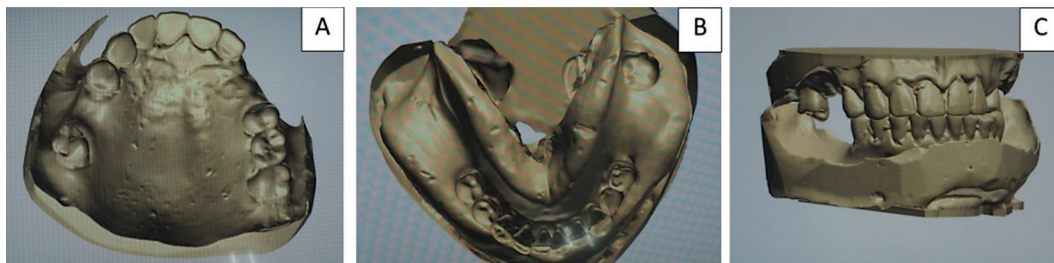
มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. พิมพ์ปากด้วยวัสดุอัลจินเนต (alginate) และนำไปเทแบบขึ้นหล่อหลัก
2. นำขึ้นหล่อหลักบนและล่างเข้าเครื่องสแกน 3 มิติ (D900L Scanner, 3Shape Dental System) ส่งข้อมูลดิจิทัลของรูปทรงขึ้นหล่อหลักเข้าสู่โปรแกรมการออกแบบชิ้นงาน (3Shape Software, 3Shape Dental System)

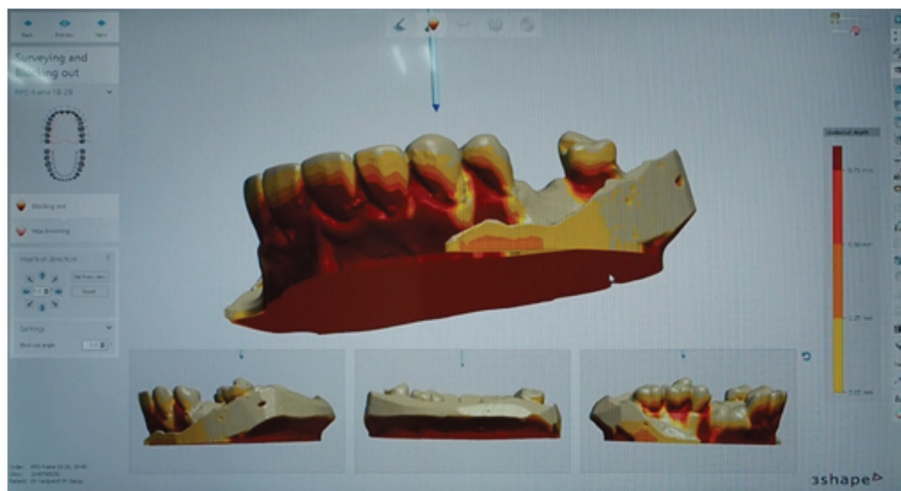
ซึ่งแสดงภาพเสมือนจริงของขึ้นหล่อหลักและกำหนดตำแหน่งการสบฟันให้อัตโนมัติ (รูปที่ 13)

3. เลือกวิถีการใส่ โดยโปรแกรมแสดงเส้นแนวสำรวจและแบ่งปริมาณส่วนถอดเป็นสีที่แตกต่างกันบนขึ้นหล่อหลักเสมือนจริง (รูปที่ 14)

4. สั่งการให้โปรแกรมปิดส่วนถอด (block out undercut) จากนั้นกำหนดบริเวณที่มีปริมาณส่วนถอดที่เหมาะสมให้เป็นที่อยู่ของปลายแขนยึด และเลือกบริเวณลดแรงกด (relief area) (รูปที่ 15)

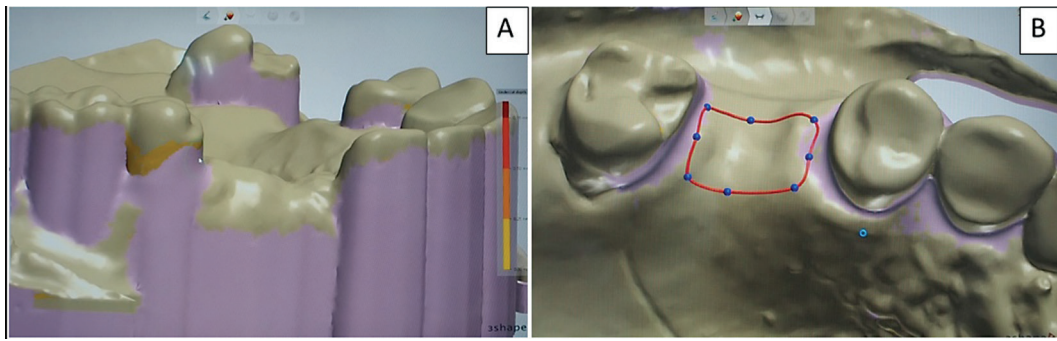


รูปที่ 13 ภาพเสมือนจริงของขึ้นหล่อหลัก A) บนและ B) ล่าง C) ตำแหน่งการสบฟันที่กำหนดโดยโปรแกรมการออกแบบชิ้นงาน
Figure 13 Virtual images of A) maxillary and B) mandibular master casts C) Bite position set by designed program.



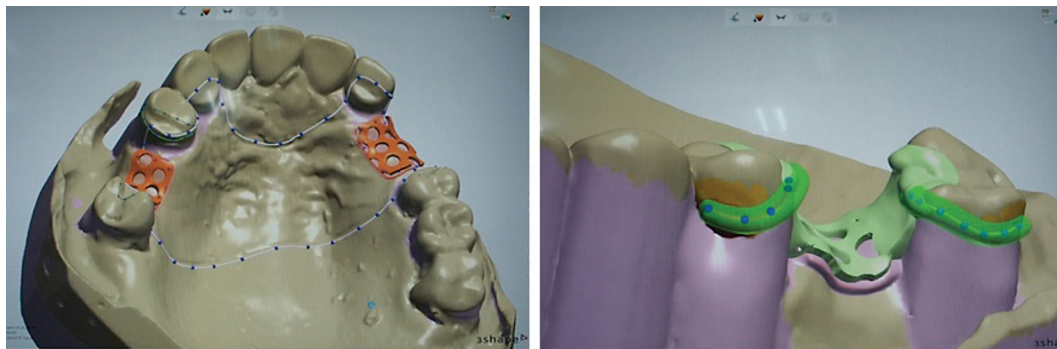
รูปที่ 14 การเลือกวิถีการใส่ โดยโปรแกรมการออกแบบชิ้นงานแสดงเส้นแนวสำรวจและส่วนถอดเป็นสีที่แตกต่างกันบนขึ้นหล่อหลักเสมือนจริง

Figure 14 Designing path of insertion. The designed program illustrates surveyed line and undercut on the virtual master cast in different colors.



รูปที่ 15 A) การปิดส่วนคอดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการเลือกบริเวณที่มีปริมาณส่วนคอดที่เหมาะสมให้เป็นที่อยู่ของปลายแขนยึด B) การกำหนดบริเวณลดแรงกด

Figure 15 A) Blocking out undercuts by computer program and choosing proper undercut areas for retentive arms position B) Defining relief area on edentulous area.



รูปที่ 16 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของโครงโลหะ

Figure 16 Designing of metal framework components.

5. วางโครงร่างให้การยึดอยู่ (retentive framework) ส่วนโยงย่อย (minor connector) ส่วนพักด้านบดเคี้ยว (occlusal rest) แขนยึด แขนพยาง (reciprocal arm) และส่วนโยงใหญ่ (major connector) ลงบนชิ้นหล่อหลักเสมือนจริง (รูปที่16)

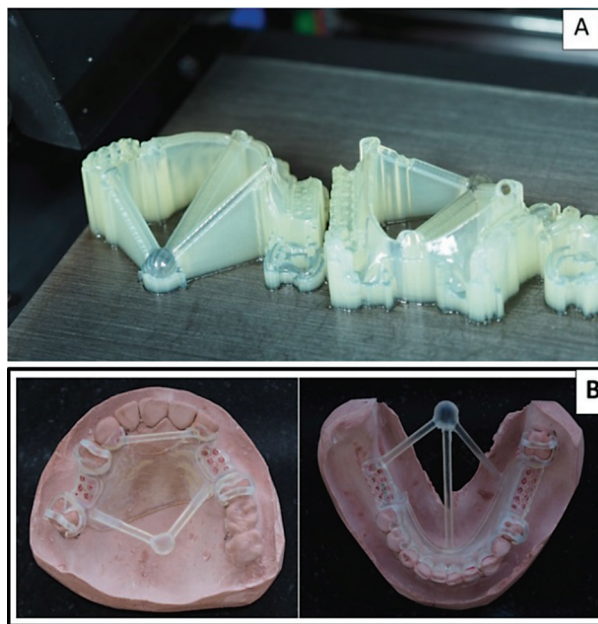
6. เมื่อออกแบบชิ้นงานเสร็จ จึงส่งข้อมูลการออกแบบไปยังโปรแกรมสร้างชิ้นงาน (Objet studio software™, Stratasys) และสั่งการให้เครื่องผลิตชิ้นงาน 3 มิติ (Objet30 Dental prime, Stratasys) สร้างแบบชิ้นงานเพื่อนำไปเทวียง (sacrificial pattern) จากวัสดุเรซินอะคริลิก โดยสร้างขึ้นพร้อมกับวัสดุรองรับ (supporting material) (รูปที่ 17A)

7. กำจัดวัสดุรองรับออกและลองแบบชิ้นงานเพื่อนำไปเทวียงบนชิ้นหล่อหลัก ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของส่วนประกอบต่างๆ (รูปที่ 17B)

8. ผึ่งแบบชิ้นงานเพื่อนำไปเทวียงในวัสดุทนความร้อนสำหรับลงเบ้าฝัง (investment) รอจนวัสดุแข็งตัวแล้วนำเข้าเครื่องเผาไล่เรซินอะคริลิก (Magma, Renfert) ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

9. นำไปเทวียงเป็นโครงโลหะผสมโคบอลต์โครเมียม (cobalt-chromium alloys) จากนั้นลองโครงโลหะบนชิ้นหล่อหลักและขัดแต่ง

10. ลองโครงโลหะในช่องปาก ทำการเสริมแต่งขอบ (border molding) บริเวณส่วนขยายฐานฟันเทียม (free-end) ในขากรรไกรล่าง และพิมพ์ด้วยวัสดุพอลิซัลไฟด์ (poly-sulfide) เพื่อสร้างชิ้นหล่อแปลง (altered cast) จากนั้นเรียงซีฟันเทียม ออกแบบขอบเขตของเหงือกเทียมด้วยซีฟันสีชมพู นำไปอัด เรซินหล่อฟันเทียม (denture resin packing) ขัดแต่ง และใส่ชิ้นงานสุดท้ายให้แก่ผู้ป่วย (รูปที่ 18)



รูปที่ 17 A) แบบชิ้นงานเพื่อนำไปเหวี่ยงและวัสดุรองรับที่ทำจากเรซินอะคริลิก B) การลองแบบชิ้นงานเพื่อนำไปเหวี่ยงบนชิ้นหล่อหลักบนและล่าง

Figure 17 A) Sacrificial patterns and supporting material made from acrylic resin B) Try in the patterns on maxillary and mandibular master casts.



รูปที่ 18 ภาพในช่องปากผู้ป่วยเปรียบเทียบ A) ก่อนและ B) หลัง ได้รับการบูรณะโดยการใส่ฟันเทียมติดแน่นและฟันเทียมถอดได้ฐานโลหะ

Figure 18 Intraoral photographs A) Pre-operative treatment and B) Post-operative treatment with fixed and removable prostheses.

บทวิจารณ์

การฟื้นฟูสภาพช่องปากในผู้ป่วยกรณีนี้ ทันตแพทย์วางแผนการรักษาด้วยครอบฟันและสะพานฟันร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ฐานโลหะ เพื่อบูรณะการทำงานของอวัยวะบดเคี้ยว ลักษณะรูปร่างฟันที่เสียไปจากการสึกเหตุบดเคี้ยว และบูรณะด้านความสวยงามตามความคาดหวังของผู้ป่วย เซอร์โคเนียเรซามิกเป็นหนึ่งในวัสดุทางทันตกรรมที่

มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการสร้างชิ้นงานครอบฟันเซรามิกทั้งชั้น (all ceramic crown) เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อในช่องปาก และมีความสวยงามคล้ายคลึงฟันธรรมชาติ⁽²⁵⁾ แต่วัสดุดังกล่าวยังมีข้อบกพร่องเรื่องความโปร่งแสง ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่บอกราคาความสวยงามของเซรามิก วัสดุอีกชนิดหนึ่งที่มีความนิยมเช่นกันคือ ลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate)

เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าเซรามิกชนิดเฟลด์สปาร์และมีคุณสมบัติความโปร่งแสงที่ดี จากการศึกษาของ Harada และคณะ⁽²⁶⁾ เปรียบเทียบความโปร่งแสงของวัสดุดังกล่าวกับเซอโรโคเนียเซรามิกที่ได้รับการพัฒนาด้านความโปร่งแสงเพื่อใช้บูรณะบริเวณที่ต้องการความสวยงามที่มีอยู่ในท้องตลาด 5 ชนิด พบว่าลิเทียมไดซิลิเกตมีค่าความโปร่งแสงสูงกว่าเซอโรโคเนียเซรามิกดังกล่าว อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้กล่าวถึงข้อดีของลิเทียมไดซิลิเกตว่า ต้องการพื้นที่สำหรับวัสดุ 1.5–2 มิลลิเมตร เพื่อผลการรักษาที่ดีทางคลินิก เมื่อเทียบกับเซอโรโคเนียเซรามิก ที่สามารถให้ค่าความการต้านทานการแตกหักเทียบเท่าชิ้นงานครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (porcelain fused to metal crown) ด้วยความหนา 1 มิลลิเมตร เซอโรโคเนียเซรามิกจึงเหมาะสำหรับการบูรณะแบบอนุรักษ์เนื้อฟัน ซึ่งตรงกับที่กล่าวไว้ในการศึกษาของ Amer และคณะ⁽²⁷⁾ การเพิ่มชั้นฟอร์ซเลนวีเนียร์ด้วยเซรามิกชนิดเฟลด์สปาร์เป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความสวยงามของชิ้นงานเซอโรโคเนียเซรามิก⁽²⁷⁻²⁹⁾ ที่ให้ผลทางคลินิกที่ดีทั้งด้านความสวยงามและการใช้งาน^(30,31) ในกรณีผู้ป่วยนี้ทันตแพทย์จึงเลือกใช้วัสดุเซอโรโคเนียเซรามิกในการสร้างชิ้นงานครอบฟันและสะพานฟันเพื่อลดการกรอแต่งฟัน โดยออกแบบครอบฟันและสะพานเป็นเซอโรโคเนียทั้งชิ้น (monolithic zirconia) ในฟันหลัง และทำการเพิ่มชั้นฟอร์ซเลนวีเนียร์บนชิ้นงานเซอโรโคเนียในฟันหน้าบน กำหนดจุดสบฟันทั้งหมดอยู่บนเซอโรโคเนียเซรามิก^(29,32,33)

การเก็บข้อมูลรูปร่างฟันและขากรรไกรเพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างชิ้นงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้ 2 รูปแบบคือ การใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปาก สแกนฟันและขากรรไกรโดยตรง และการสแกนรอยพิมพ์หรือชิ้นหล่อด้วยเครื่องกราดวิเคราะห์นอกช่องปาก (extraoral scanner) การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากมีข้อดีคือ มีความสะดวกรวดเร็วในการเก็บข้อมูล ลดเวลาในการรักษาแต่ละครั้ง เพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ป่วย ลดความผิดพลาดที่เกิดจากการพิมพ์ปากแบบดั้งเดิม และลดพื้นที่ในการจัดเก็บชิ้นหล่อ^(9,34) จากการศึกษาของ Guth และคณะ⁽³⁵⁾ พบว่าข้อมูลที่ได้จากการใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากมีความแม่นยำสูงกว่าการใช้เครื่องกราดวิเคราะห์นอกช่องปาก คาดว่าเป็นผลมาจากการบิดเบี้ยวของรอยพิมพ์และชิ้นหล่อ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ใช้แบบจำลองสำหรับชิ้น

งานฟันเทียมบางส่วนติดแน่น 4 ยูนิต เป็นแบบอ้างอิง Ender และคณะ⁽³⁶⁾ ทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลรูปร่างฟันทั้งขากรรไกรที่ได้จากการใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากกับการพิมพ์ปากและเทขึ้นหล่อแบบดั้งเดิมพบว่า การทำงานแบบดั้งเดิมให้ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากกว่าอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ การศึกษานี้จึงแนะนำการใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากกรณีที่ทำกราดเฉพาะบริเวณเล็ก ๆ ซึ่งจะให้ผลที่แม่นยำและมีความสะดวกสบายมากกว่า และยังมีการศึกษาของ Patzelt และคณะ⁽³⁷⁾ ที่ใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากสแกนแบบจำลองฟันหลักที่ได้รับการกรอแต่ง 14 ซี่ พบว่าข้อมูลที่ได้รับความคลาดเคลื่อนไปจากแบบจำลองอ้างอิง 170 ไมโครเมตรโดยเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนนี้เริ่มจากบริเวณฟันหน้าและเพิ่มมากขึ้นในฟันหลัง ผู้ทดลองอธิบายว่าอาจเกิดจากลักษณะทางกายวิภาคที่ไม่ชัดเจนของฟันหน้าส่งผลต่อเนื้อให้เกิดการบิดเบี้ยวของข้อมูลภาพเสมือนจริงของฟันหลังและการเปลี่ยนรูปขณะอำปากของขากรรไกรล่างทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลภาพเสมือนจริงเมื่อทำการสแกนบริเวณฟันกราม จากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากกับเครื่องกราดวิเคราะห์นอกช่องปากของ Flugge และคณะ⁽³⁸⁾ พบว่าเครื่องกราดวิเคราะห์นอกช่องปากมีความแม่นยำสูงกว่าเมื่อนำมาใช้เก็บข้อมูลฟันทั้งขากรรไกร โดยในการศึกษากล่าวว่า เครื่องกราดวิเคราะห์นอกช่องปากมีการเคลื่อนที่ของแท่นรองรับแบบจำลองในมุมต่าง ๆ ทำให้เก็บภาพบริเวณที่มีส่วนคอดหรือส่วนโค้งได้ดีกว่า ซึ่งการเก็บภาพของเครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการขยับตัวของผู้ป่วย พื้นที่ในช่องปากที่จำกัด ความชื้นและน้ำลาย เป็นต้น ในส่วนการสร้างชิ้นงานฟันเทียมบางส่วนถอดได้ มีรายงานผู้ป่วยกล่าวถึงการใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากเก็บข้อมูลฟันและเนื้อเยื่ออ่อนเพื่อนำไปออกแบบและสร้างโครงโลหะโดย Kattadiyil และคณะ⁽⁹⁾ พบว่าโครงโลหะที่ได้มีความเหมาะสมที่ดี สามารถนำไปใช้ในการรักษาผู้ป่วยได้จริงทางคลินิก อย่างไรก็ตามมีรายงานผู้ป่วยดังกล่าวนี้ได้ใช้เครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากเก็บข้อมูลลักษณะฟันและสันเหงือกกว้าง เพื่อสร้างชิ้นงานโครงโลหะชนิดมีฟันรองรับ (tooth-borne) ซึ่งมีการกล่าวในรายงานถึงข้อจำกัดของเครื่องกราดวิเคราะห์ในช่องปากในการจับภาพส่วนขยายของเนื้อเยื่อที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อสร้างชิ้นงานโครงโลหะชนิดมีเนื้อเยื่อรองรับ (tissue-borne) จากผลการทดลองและ

รายงานผู้ป่วยข้างต้น ทันตแพทย์จึงเลือกใช้การพิมพ์ปากแบบดั้งเดิมและสแกนขึ้นหล่อหลักด้วยเครื่องกราดวิเคราะห์นอกช่องปากในห้องปฏิบัติการ ทั้งขึ้นงานฟันเทียมติดแน่นและฟันเทียมบางส่วนถอดได้ อย่างไรก็ตามดีความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากเครื่องกราดวิเคราะห์นอกช่องปากยังคงขึ้นกับคุณภาพของรอยพิมพ์และการจัดการขึ้นหล่อที่เหมาะสม

ขั้นตอนการออกแบบขึ้นงานโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนั้น มีข้อดีที่พบจากการทำงานในกรณีศึกษาครั้งนี้คือ โปรแกรมการออกแบบสามารถคำนวณและแสดงค่าต่างๆ ให้ผู้ใช้งานมองเห็นได้ชัดเจน เช่น การกำหนดความหนาของขึ้นงานครอบฟันในบริเวณต่างๆ การหาค่าส่วนคอดที่เหมาะสมสำหรับตะขอยึดในขึ้นงานฟันเทียมบางส่วนถอดได้ และแสดงให้เห็นบริเวณที่อาจเป็นปัญหากับขึ้นงานสุดท้าย ทำให้ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขขึ้นงานได้ทันที รวมทั้งยังมีระบบการทำงานอัตโนมัติที่ช่วยให้การออกแบบขึ้นงานมีความสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น เช่น การกำหนดขอบของครอบฟันและสะพานฟันโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การวางส่วนประกอบต่างๆ ของขึ้นงานฟันเทียมบางส่วนถอดได้สามารถทำได้ง่ายกว่าการวางแบบซีฟิ่งแบบดั้งเดิม เนื่องจากมีรูปแบบสำเร็จในโปรแกรมการออกแบบที่ผู้ใช้งานสามารถเลือกและนำไปวางบนภาพเสมือนจริงของขึ้นหล่อได้ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ นอกจากนี้การออกแบบโครงโลหะในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังช่วยลดขั้นตอนการสร้างแบบหล่อทนความร้อนและการวางแบบซีฟิ่งตามกระบวนการแบบดั้งเดิม แต่การออกแบบด้วยวิธีดังกล่าวนี้มีข้อด้อยคือ ผู้ใช้งานต้องมีความชำนาญในการใช้ระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรมการออกแบบขึ้นงานนั้นๆ ซึ่งต้องใช้เวลาในการฝึกฝนและเสียค่าใช้จ่ายเพื่อเรียนรู้ระบบจากบริษัทผู้ผลิต หากขาดความรู้และความชำนาญอาจใช้เวลาในการออกแบบมากกว่าการทำงานในระบบดั้งเดิม หรือไม่ได้ขึ้นงานที่มีลักษณะตามต้องการ และแม้ว่าโปรแกรมการออกแบบจะมีระบบอัตโนมัติช่วยในการทำงาน แต่ผู้ใช้งานต้องมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานของการออกแบบขึ้นงานบูรณะ อีกทั้งคุณภาพข้อมูลของฟันและเนื้อเยื่อที่เก็บมายังคงมีความสำคัญต่อการออกแบบและสร้างขึ้นงาน เพราะฉะนั้นการกรอเตรียมฟันหลักที่ดีและการกำหนดค่าต่างๆ ของขึ้นงานบูรณะที่ถูกต้อง มีผลอย่างยิ่งต่อการสร้างขึ้นงานที่มีคุณภาพ

ผลทางคลินิกของขึ้นงานที่ได้จากการใช้งานระบบแคดแคมพบว่า ทันตแพทย์สามารถใส่ครอบฟันและสะพานฟัน

ลงในตำแหน่งและสร้างการสบฟันได้ตามแผนการรักษาที่ออกแบบไว้ หลังการกรอแก้ไขบริเวณสัมผัสด้านประชิดและด้านบดเคี้ยวของขึ้นงานเพียงเล็กน้อย เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องมือตรวจฟัน (explorer) พบขอบขึ้นงานแนบสนิทดี ซึ่งผลการรักษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Santosh และคณะ⁽³⁹⁾ ที่พบว่าการสร้างครอบฟันเซอร์โคเนียเซรามิก ด้วยระบบแคดแคมมีความคลาดเคลื่อนของขึ้นงานน้อยกว่าครอบฟันโลหะที่สร้างด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม Batson และคณะ⁽⁴⁰⁾ ศึกษาถึงครอบฟันเซอร์โคเนียเซรามิกที่ใช้ในผู้ป่วยจริงพบว่าขึ้นงานร้อยละ 80 ไม่ต้องกรอแก้ไขบริเวณด้านสบฟัน และมีความคลาดเคลื่อนทางระนาบแนวนอนของขอบครอบฟันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางคลินิก นอกจากนี้ Boitelle และคณะ⁽⁴¹⁾ ได้กล่าวในงานวิจัยว่าระบบแคดแคมช่วยสร้างขึ้นงานบูรณะที่มีความแนบสนิทดีกว่าขึ้นงานที่สร้างด้วยระบบดั้งเดิม

ขึ้นงานฟันเทียมถอดได้ฐานโลหะในกรณีศึกษาครั้งนี้ใช้การสร้างแบบขึ้นงานเพื่อนำไปเหวี่ยงเพื่อสร้างขึ้นงานโครงโลหะเนื่องจากในประเทศไทยการสร้างขึ้นงานฟันเทียมถอดได้ฐานโลหะด้วยระบบแคดแคมยังมีเพียงการผลิตด้วยวิธีดังกล่าวนี้เท่านั้น ผลของการรักษาพบว่าฟันเทียมที่ได้มีเสถียรภาพและการยึดอยู่ที่ดี มีการกรอแต่งโครงโลหะเล็กน้อยเพื่อให้โครงโลหะใส่ลงในตำแหน่ง มีความแนบสนิทที่ดีให้ผลยอมรับได้ในทางคลินิก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผู้ป่วยของ Bibb และคณะ⁽²²⁾ ที่พบว่าขึ้นงานโครงโลหะของฟันเทียมถอดได้ที่สร้างด้วยระบบแคดแคมสามารถใส่ลงในตำแหน่งที่เหมาะสมภายหลังการกรอแต่งเล็กน้อย Jiang และคณะ⁽⁴²⁾ ทำการทดลองสร้างขึ้นงานโครงโลหะจากเรซินอะคริลิกเพื่อนำไปเหวี่ยง แล้วตรวจสอบความแนบสนิทของโครงโลหะโดยใส่ลงบนขึ้นหล่อพบความแนบสนิทที่ดี แต่มีข้อบกพร่องจากการเหวี่ยงโลหะเข้าไม่เต็มบริเวณแขนยึด 1 ตำแหน่ง ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับขึ้นงานอาจเกิดจากความแตกต่างของขึ้นหล่อหลักกับลักษณะภายในช่องปาก ความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการออกแบบและการผลิตขึ้นงานเพื่อนำไปเหวี่ยง หรือขั้นตอนการเหวี่ยงโครงโลหะ Kim และคณะ⁽⁴³⁾ ได้ทำการศึกษาโครงโลหะที่สร้างโดยใช้ลำแสงเลเซอร์หลอมในห้องปฏิบัติการโดยเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลที่ได้กับการสร้างโครงโลหะด้วยกระบวนการอื่นๆ ในระบบแคด พบว่าการใช้ลำแสงเลเซอร์หลอมโลหะให้ขึ้นงานที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการสร้างโครงโลหะที่มีความแม่นยำมากขึ้น จาก

การลดความคลาดเคลื่อนของกระบวนการเหวี่ยง แต่หากดูผลการศึกษาของ Arnold และคณะ⁽⁴⁴⁾ พบว่าการสร้างชิ้นงานจากการใช้ลำแสงเลเซอร์หลอมโลหะกลับมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าการสร้างแบบขึ้นงานเพื่อนำไปเหวี่ยง ทั้งระนาบแนวนอนและระนาบแนวตั้ง ซึ่งการใช้งานระบบแคดแคมในงานฟันเทียมถอดได้ ยังมีการศึกษาในห้องปฏิบัติการและการใช้งานในผู้ป่วยจริงไม่มากนัก จึงยังคงต้องทำการศึกษาและพัฒนาต่อไป

เมื่อติดตามผลการรักษาหลังใส่ฟันเทียม พบจุดกดเจ็บบริเวณฐานฟันเทียม ซึ่งทันตแพทย์สามารถตรวจสอบด้วยป้ายชี้บอกการกด (pressure indicator paste: PIP) และทำการกรอแก้ไข ติดตามผลการรักษาซ้ำ พบว่าผู้ป่วยใช้งานฟันเทียมได้ดี มีความพึงพอใจต่อการรักษาทั้งในด้านความสวยงามและการใช้งานบดเคี้ยว

บทสรุป

ระบบแคดแคมในทางทันตกรรมเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในการรักษาทางทันตกรรม เนื่องจากสร้างชิ้นงานบูรณะที่มีความแม่นยำ ลดความผิดพลาดจากการทำงานของมนุษย์ที่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อความล้มเหลวเชิงกลของชิ้นงาน เพิ่มขีดความสามารถในการเลือกวัสดุทางทันตกรรม ที่ตอบสนองต่อความต้องการทั้งด้านความแข็งแรงและความสวยงาม ประหยัดเวลาในการทำงานและเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ป่วยและทันตแพทย์ ในกรณีที่ทันตแพทย์ไม่ต้องการเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ต่างๆ สามารถเลือกใช้งานระบบแคดแคมผ่านกระบวนการในห้องปฏิบัติการทางทันตกรรม ที่ปัจจุบันมีค่าใช้จ่ายในการสร้างชิ้นงานใกล้เคียงกับวิธีแบบดั้งเดิมและให้ผลการรักษาที่ดี ซึ่งการเรียนรู้และเข้าใจขั้นตอนการทำงานของระบบแคดแคม ส่งผลให้ทันตแพทย์ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในการรักษาผู้ป่วยได้อย่างเหมาะสม ก้าวทันการพัฒนาของเทคโนโลยีและวัสดุทางทันตกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานในสาขาวิชาชีพต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทันตแพทย์หญิงปัญจลักษณ์ จัตรีแก้ว-บุญเรือง ที่แบ่งปันประสบการณ์การทำงานและภาพประกอบที่ใช้ในรายงานผู้ป่วยกรณีนี้

ขอบคุณบริษัท ที.แคร์ พลัส เดนทัลแล็บ จำกัด และบริษัท สายน้ำทิพย์เด็นตอลแลบอราทอรี จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บภาพขั้นตอนการทำงานต่างๆ ในการสร้างชิ้นงานฟันเทียมติดแน่น และฟันเทียมถอดได้

เอกสารอ้างอิง

1. Ferro KJ. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 2017; 117(5): e1-e105.
2. Franks AS. The concept of oral rehabilitation. *J Oral Rehabil* 1976; 3(1): 1-8.
3. Christensen GJ. Defining oral rehabilitation. *J Am Dent Assoc* 2004; 135(2): 215-217.
4. Gill JR. Treatment planning for mouth rehabilitation. *J Prosthet Dent* 1952; 2(2): 230-245.
5. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent* 2014; 2014: 1-15.
6. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am* 2011; 55(3): 559-570.
7. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J* 2009; 28(1): 44-56.
8. Campbell SD, Cooper L, Craddock H, et al. Removable partial dentures: The clinical need for innovation. *J Prosthet Dent* 2017; 118(3): 273-280.
9. Kattadiyil MT, Mursic Z, AlRumaih H, Goodacre CJ. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. *J Prosthet Dent* 2014; 112(3): 444-448.
10. Parkash H. Digital dentistry: Unraveling the mysteries of computer-aided design computer-aided manufacturing in prosthodontic rehabilitation. *Contemp Clin Dent* 2016; 7(3): 289-290.

11. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008; 204: 505-511.
12. Mormann WH. The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc* 2006; 137: 7s-13s.
13. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J* 2011; 56(1): 97-106.
14. Richard VN. The future of dental devices is digital. *Dent Mater J* 2012; 28(1): 3-12.
15. Rekow ED, Erdman AG, Riley DR, Klamecki B. CAD/CAM for dental restorations-some of the curious challenges. *IEEE Trans Biomed Eng* 1991; 38(4): 314-318.
16. Kathuria YP. Microstructuring by selective laser sintering of metallic powder. *Surf Coat Tech* 1999; 116-119: 643-647.
17. Salmi M, Paloheimo KS, Tuomi J, Ingman T, Mäkitie A. A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: a clinical pilot study. *J R Soc Interface* 2013; 10(84): 1-6.
18. Silva NRFA, Witek L, Coelho PG, Thompson VP, Rekow ED, Smay J. Additive CAD/CAM process for dental prostheses. *J Prosthodont* 2011; 20(2): 93-96.
19. Christensen GJ. The state of fixed prosthodontic impressions: room for improvement. *J Am Dent Assoc* 2005; 136(3): 343-346.
20. Touchstone A, Nieting T, Ulmer N. Digital transition: the collaboration between dentists and laboratory technicians on CAD/CAM restorations. *J Am Dent Assoc* 2010; 141(2): 15s-19s.
21. Lee JW, Park JM, Park EJ, Heo SJ, Koak JY, Kim SK. Accuracy of a digital removable partial denture fabricated by casting a rapid prototyped pattern: a clinical study. *J Prosthodont* 2017; 118(4): 468-474.
22. Bibb RJ, Eggbeer D, Williams RJ, Woodward A. Trial fitting of a removable partial denture framework made using computer-aided design and rapid prototyping techniques. *Proc Inst Mech Eng H* 2006; 220(7): 793-797.
23. Turner KA, Missirlian DM. Restoration of the extremely worn dentition. *J Prosthet Dent* 1984; 52(4): 467-474.
24. Moon JE, Kim SH, Lee JB, Han JS, Yeo IS, Ha SR. Effects of airborne-particle abrasion protocol choice on the surface characteristics of monolithic zirconia materials and the shear bond strength of resin cement. *Ceram Int* 2016; 42(1, Part B): 1552-1562.
25. Abd El-Ghany OS, Sherief AH. Zirconia based ceramics, some clinical and biological aspects: review. *Future Dent J* 2016; 2(2): 55-64.
26. Harada K, Raigrodski AJ, Chung KH, Flinn BD, Dogan S, Mancl LA. A comparative evaluation of the translucency of zirconias and lithium disilicate for monolithic restorations. *J Prosthet Dent* 2016; 116(2): 257-263.
27. Amer R, Kürklü D, Kateeb E, Seghi RR. Three-body wear potential of dental yttrium-stabilized zirconia ceramic after grinding, polishing, and glazing treatments. *J Prosthet Dent* 2014; 112(5): 1151-1155.
28. Zhang Y, Lee JJ, Srikanth R, Lawn BR. Edge chipping and flexural resistance of monolithic ceramics. *Dent Mater* 2013; 29(12): 1201-1208.
29. Venezia P, Torsello F, Cavalcanti R, D'Amato S. Retrospective analysis of 26 complete-arch implant-supported monolithic zirconia prostheses with feldspathic porcelain veneering limited to the facial surface. *J Prosthet Dent* 2015; 114(4): 506-512.

30. Bomicke W, Rammelsberg P, Stober T, Schmitter M. Short-term prospective clinical evaluation of monolithic and partially veneered zirconia single crowns. *J Esthet Restor Dent* 2017; 29(1): 22-30.
31. Silva NR, Thompson VP, Valverde GB, et al. Comparative reliability analyses of zirconium oxide and lithium disilicate restorations in vitro and in vivo. *J Am Dent Assoc.* 2011; 142: 4s-9s.
32. Johansson C, Kmet G, Rivera J, Larsson C, Vult von Steyern P. Fracture strength of monolithic all-ceramic crowns made of high translucent yttrium oxide-stabilized zirconium dioxide compared to porcelain-veneered crowns and lithium disilicate crowns. *Acta Odontol Scand* 2014; 72(2): 145-153.
33. Amir Rad FA, Succaria FG, Morgano SM. Fracture resistance of porcelain veneered zirconia crowns with exposed lingual zirconia for anterior teeth after thermal cycling: an in vitro study. *Saudi Dent J* 2015; 27(2): 63-69.
34. Galhano GA, Pellizzer EP, Mazaro JV. Optical impression systems for CAD-CAM restorations. *J Craniofac Surg* 2012; 23(6): e575-e579.
35. Guth JF, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig* 2013; 17(4): 1201-1208.
36. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent* 2016; 115(3): 313-320.
37. Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 2014; 18(6): 1687-1694.
38. Flugge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144(3): 471-478.
39. Santosh YD, Nikhil R, Sumit JD, Jitendra JM. In vitro comparison of marginal fit of CAD-CAM zirconia, SMLS Co-Cr, pressable lithium disilicate, and cast Ni-Cr copings. *Adv Dent & Oral Health* 2016; 2(2): 1-6.
40. Batson ER, Cooper LF, Duqum I, Mendonca G. Clinical outcomes of three different crown systems with CAD/CAM technology. *J Prosthet Dent* 2014; 112(4): 770-777.
41. Boitelle P, Mawussi B, Tapie L, Fromentin O. A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations. *J Oral Rehabil* 2014; 41(11): 853-874.
42. Jiang W, Xiaobo W, Xianghui Z, Chunbao Z, Bo G. A study on the fabrication method of removable partial denture framework by computer-aided design and rapid prototyping. *Rapid Prototyping J* 2012; 18(4): 318-323.
43. Kim HR, Jang SH, Kim YK, et al. Microstructures and mechanical properties of Co-Cr dental alloys fabricated by three CAD/CAM-based processing techniques. *Materials* 2016; 9(7): 596.
44. Arnold C, Hey J, Schweyen R, Setz JM. Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures. *J Prosthet Dent* 2018; 119(4): 586-592.