

การประดิษฐ์และการตรวจสอบความแม่นยำของอุปกรณ์เสริม ในการเปลี่ยนชุดหัวเจาะพิตบบลิว พลัส แบบดั้งเดิม เป็นการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง Invention and Accuracy Assessment of Supplemental Surgical Devices for Converting Traditional PW Plus Drilled Set to Computer-guided Implant Surgery

ศรัณย์ กิตติสุภกร¹, เถยยา ใจสว่าง², บุญชัย เขาวนไถลวงศรี³, อรรถวิทย์ พิสิฐอนุสรณ์³
นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โรงพยาบาลกาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี

³ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Sarun Kittisupakorn¹, Ataya Jaisawang², Boonchai Chaoklaiwong³, Attavit Pitanusorn³
¹Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
²Kanchanadit Hospital, Surat Thani
³Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2562; 40(1) : 31-45
CM Dent J 2019; 40(1) : 31-45

Received: 11 April, 2018
Revised: 18 May, 2018
Accepted: 21 May, 2018

บทคัดย่อ

ในการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง จำเป็นจะต้องใช้ร่วมกับชุดหัวเจาะกระดูกที่ถูกรออกแบบมา โดยเฉพาะ อันมีต้นทุนการผลิตสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น ซึ่งรากเทียมที่ผลิตในประเทศไทยอย่าง พิตบบลิว พลัส ยังไม่สามารถฝังด้วยระบบนี้ได้ จึงเป็นที่มา และวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ประดิษฐ์อุปกรณ์เสริมที่ ดัดแปลงหัวเจาะพิตบบลิว พลัส แบบดั้งเดิมให้สามารถใช้ ในการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง และ วัดความแม่นยำของการฝังรากเทียมด้วยอุปกรณ์เสริม

Abstract

Surgical drilled set that used in computer guided implant placement must be manufactured specifically which have high cost for manufacturing and importation. In addition, PW plus dental implant which produced by Thai company still is not supported by this technique. The aim of this research was to invent supplemental surgical devices that can be used to convert traditional PW plus surgical drilled set to computer guided surgery and to assess

Corresponding Author:

อรรถวิทย์ พิสิฐอนุสรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ดร., ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์,
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Attavit Pitanusorn
Assistant Professor; Dr., Department of Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand
E-mail: attavitp@gmail.com

ดังกล่าวในแบบจำลอง โดยการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบและกลึงอุปกรณ์เสริมที่ใช้ตัดแปลงหัวเจาะพีคัสบลิว พลัส แบบดั้งเดิมให้เป็นหัวเจาะในระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ 5 ชนิด ได้แก่ มาสเตอร์ คีย์ (master key) ไพลอต คีย์ (pilot key) ไฟนอล คีย์ (final key) เอ็กซ์แพนด์ คีย์ (expand key) และ อิมพลานต์ ไดรเวอร์ คีย์ (implant driver key) ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบความแม่นยำของการฝังรากเทียมด้วยอุปกรณ์เสริมดังกล่าวในแบบจำลองขากรรไกรบนพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น โดยฝังรากเทียมจำนวน 8 รากในแต่ละแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยรากเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร จากนั้นตรวจสอบความแม่นยำของการฝังรากเทียมโดยซ้อนทับภาพรังสีโคนบีมคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีที่แสดงตำแหน่งของรากเทียมจำลองและตำแหน่งของรากเทียมจริง วัดระยะเบี่ยงเบนของรากเทียมในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติบริเวณส่วนหัวและส่วนปลายของรากเทียม รวมทั้งมุมเบี่ยงเบนของรากเทียมเชิงสามมิติ ผลการศึกษาพบว่าระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติที่บริเวณส่วนหัวและส่วนปลายของรากเทียมเท่ากับ 0.83 ± 0.30 และ 1.13 ± 0.36 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีมุมเบี่ยงเบนในเชิงสามมิติโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 ± 0.49 องศา และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของระยะเบี่ยงเบนในการฝังรากเทียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาเฉพาะข้อผิดพลาดเชิงกลสามารถคำนวณค่ามุมเบี่ยงเบนมากที่สุดทางทฤษฎีตามหลักเรขาคณิตของอุปกรณ์เสริมนี้เท่ากับ 1.04 องศา โดยระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติบริเวณส่วนหัวของรากเทียมจะขึ้นกับระยะห่างของปลอกโลหะกับผิวกระดูกบริเวณที่เจาะรากเทียม และระยะเบี่ยงเบนบริเวณปลายรากเทียมจะขึ้นกับปัจจัยดังกล่าวร่วมกับความยาวของรากเทียมที่ใช้

คำสำคัญ: รากเทียม การผ่าตัดรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง พีคัสบลิว พลัส

the accuracy of implant placement by using these devices in models. Methods of this study comprised of two steps. The first step was design and lathe the supplemental surgical devices composed of 5 elements including master key, pilot key, final key, expand key and implant driver key. The second step was to assess the accuracy of implant placement by these devices in 20 plastic models. Eight implants which had 3.3, 3.75, 4.2, and 5.0 mm in diameter and 12 mm in length were placed in each model. Presurgical and postsurgical CBCT images were superimposed to evaluate deviation between virtual and actual implant position by three parameters (3D linear deviation at coronal and apical part of implant and 3D angular deviation). The results showed that 3D linear deviations at coronal and apical part were 0.83 ± 0.30 and 1.13 ± 0.36 mm respectively, and angular deviation were $4.59^\circ \pm 0.49^\circ$. No statistical significance difference was found in different implant diameters ($p < 0.05$). Considering the intrinsic error of these devices, the tolerance of metal contacting, allows for a maximum theoretical angulation error of 1.04° . The factor that affected the deviation at coronal part of implant placement by these devices was the distance between the sleeve and the entry pointed at the alveolar crest. While the length of the implant affected the deviation at apical part of implant.

Keywords: implant, computer guided implant surgery, PW plus

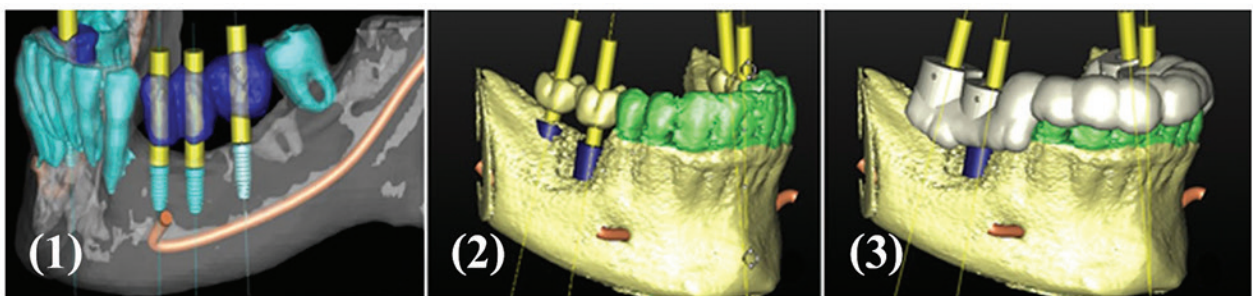
บทนำ

รากเทียมเป็นทางเลือกหนึ่งในการบูรณะเพื่อทดแทนฟันธรรมชาติที่สูญเสียไป ซึ่งผลสำเร็จของการรักษาด้วยรากเทียมนั้นต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง หนึ่งในนั้นคือตำแหน่งของรากเทียมซึ่งส่งผลต่อทิศทางของแรงที่ลงสู่รากเทียมและความสวยงามหลังบูรณะ⁽¹⁾ โดยการฝังรากเทียมให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมนั้นต้องอาศัยการวินิจฉัยและการวางแผนรักษาที่ถูกต้อง ตลอดจนความชำนาญของทันตแพทย์ในการผ่าตัดฝังรากเทียม เนื่องจากการผ่าตัดฝังรากเทียมในแบบดั้งเดิมนั้น อาจเกิดข้อผิดพลาดได้จากมุมที่เบี่ยงเบนไปขณะตัดกระดูก (osteotomy) และข้อจำกัดของแผ่นแบบศัลยกรรม (surgical template) ที่ไม่สามารถควบคุมความลึกของการวางตำแหน่งรากเทียมในแนวรากฟัน-ตัวฟัน (apico-coronal) ได้^(1,2)

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มากขึ้น คอมพิวเตอร์ถูกนำมาใช้ในการวางแผนรากเทียมสามมิติและสร้างแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรม (surgical drill guide) โดยอาศัยข้อมูลจากภาพรังสีโคนบีมคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (Cone beam computed tomography; CBCT) และภาพกราดผิวด้วยแสง (optical scanning)⁽³⁾ ซึ่งจากโปรแกรมวางแผนรากเทียมสามมิติ (3D implant planning software) ทันตแพทย์จะเห็นลักษณะทางกายภาพของกระดูกและอวัยวะที่สำคัญในบริเวณนั้น สามารถจำลองตำแหน่งของรากเทียมและสิ่งบูรณะเหนือรากเทียมเพื่อสร้างแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรม⁽⁴⁻⁶⁾ (รูปที่

1) ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการสเตอริโอลิโทกราฟี (stereo-lithography) เพื่อใช้ในการฝังรากเทียมในผู้ป่วยให้ได้ตรงตามตำแหน่งที่ได้จำลองไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับการฝังด้วยวิธีดั้งเดิม⁽⁴⁻⁸⁾ และจากรายงานการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic review)⁽⁹⁾ พบว่าความแม่นยำของรากเทียมที่ฝังด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทางมีระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติบริเวณส่วนหัวของรากเทียม (3D linear coronal deviation) เท่ากับ 1.07 มิลลิเมตร ระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติบริเวณส่วนปลายของรากเทียม (3D linear apical deviation) เท่ากับ 1.63 มิลลิเมตร และมุมเบี่ยงเบนเชิงสามมิติ (3D angle deviation) เท่ากับ 5.26 องศา

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง^(10,11) เกิดขึ้นได้ตั้งแต่ขั้นตอนการได้ข้อมูล นั่นคือคุณภาพของภาพรังสีโคนบีมคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี และภาพกราดผิวด้วยแสง ขั้นตอนจากความแม่นยำในการรวมภาพทั้งสองเข้าด้วยกัน ขั้นตอนการออกแบบแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรม ความแนบของแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรมกับเนื้อเยื่อในช่องปากขณะผ่าตัดฝังรากเทียม ซึ่งแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรมที่มีส่วนรองรับเป็นเนื้อเยื่ออ่อนทั้งหมด (mucosa supported surgical guide) อาจเกิดการขยับของเนื้อเยื่อขณะผ่าตัด ย่อมส่งผลต่อความแม่นยำของการฝังรากเทียมที่ดีน้อยกว่าแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรมที่มีส่วนรองรับเป็นฟัน (tooth supported surgical guide)⁽¹²⁾



รูปที่ 1 การจำลองรากเทียม และสิ่งบูรณะเหนือรากเทียมด้วยโปรแกรมวางแผนรากเทียมสามมิติ (SimPlant®) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรากเทียมกับกระดูกและเส้นประสาท (1) และ (2), การจำลองแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรมเพื่อใช้ในการฝังรากเทียมในผู้ป่วย (3)

Figure 1 Simulation of implants and restorations in 3D implant planning software (SimPlant®) which be able to show the relation between simulated implants and anatomical structure such as alveolar bone and nerve (1) and (2), and simulation of surgical drill guided which be used for surgery (3)

นอกจากนี้ยังรวมถึงข้อผิดพลาดเชิงกล (mechanical error หรือ intrinsic error) อันเกิดจากแรงทนทาน (tolerance) ระหว่างปลอกโลหะ (metal sleeve) กับก้านของหัวเจาะขณะกรอตัดกระดูก

โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อผิดพลาดเชิงกลในการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง⁽¹³⁾ ได้แก่ 1) ระยะระหว่างปลอกโลหะกับกระดูก โดยระยะดังกล่าวหากมีค่ามากย่อมส่งผลให้เกิดการเบี่ยงเบนของหัวเจาะกระดูกได้มากขึ้น ทำให้ความแม่นยำในการฝังรากเทียมลดลง 2) ความสูงของปลอกโลหะ โดยปลอกโลหะที่มีความสูงมากจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของการเจาะกระดูกได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามปลอกโลหะที่มีความสูงมากอาจเป็นข้อจำกัดในการฝังรากเทียมในบริเวณฟันหลังหรือในผู้ป่วยที่อ้าปากได้น้อย ซึ่งปลอกโลหะที่ใช้ในการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทางในปัจจุบันมักมีความสูงไม่เกิน 5 มิลลิเมตร⁽¹⁴⁾ 3) ระยะที่ต่างกันของเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกโลหะกับก้านของหัวเจาะรากเทียม ซึ่งระยะดังกล่าวหากมีค่าแตกต่างกันน้อยจะทำให้มีความแม่นยำของอุปกรณ์ทั้งสองขณะกรอตัดกระดูกมากขึ้น (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดเชิงกล ได้แก่ 1) ระยะระหว่างปลอกโลหะกับกระดูก 2) ความสูงของปลอกโลหะ และ 3) ระยะที่ต่างกันของเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกโลหะกับก้านของหัวเจาะรากเทียม⁽¹³⁾

Figure 2 The factors that affected mechanical error including 1) distance between sleeve and entry point of bone 2) height of sleeve, and 3) diameter discrepancy between the sleeve and drilled bur⁽¹³⁾

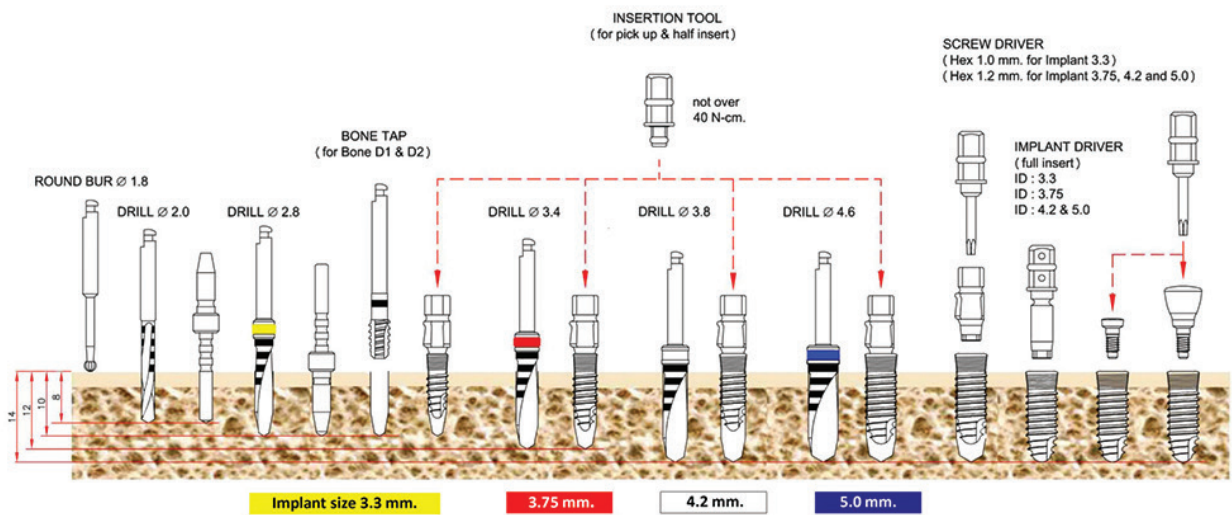
และจากการศึกษาของ Cassetta และคณะ⁽¹⁵⁾ พบว่าการออกแบบให้ปลอกโลหะและก้านของหัวเจาะรากเทียมมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน 0.05 มิลลิเมตร จะให้ความแม่นยำในการฝังรากเทียมที่ดี โดยไม่เกิดปัญหาจากการกรอโดนปลอกโลหะและความร้อนจากการเสียดสีของอุปกรณ์ทั้งสอง

อย่างไรก็ตามการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยนำทางในการวางแผนตำแหน่งรากเทียมอาจมีข้อเสียหรือข้อจำกัดบางประการ^(4,16) เช่น ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการขึ้นรูปแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรมจากคอมพิวเตอร์ และยังคงจำเป็นต้องใช้ร่วมกับหัวเจาะกระดูกที่ออกแบบมาเฉพาะกับการฝังรากเทียมด้วยระบบนี้เท่านั้น ซึ่งยังไม่รองรับในการฝังรากเทียมพีดีบีพลัส (ข้อมูลจากการสืบค้นเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม 2560) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์อุปกรณ์เสริมที่ดัดแปลงหัวเจาะพีดีบีพลัส แบบดั้งเดิมให้สามารถรองรับการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทางได้ และตรวจสอบความแม่นยำของการฝังรากเทียมด้วยอุปกรณ์เสริมดังกล่าวในแบบจำลอง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

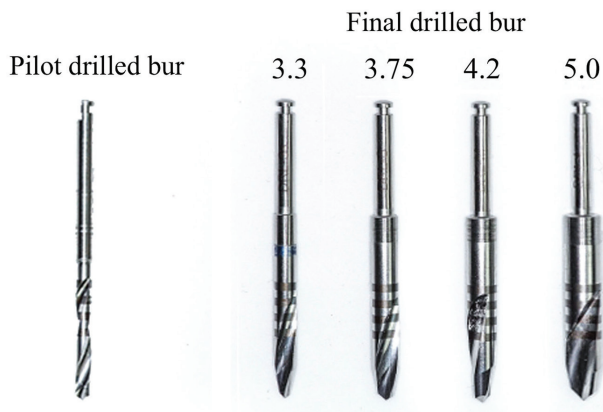
เตรียมชุดหัวเจาะกระดูกและรากเทียมพีดีบีพลัส (บริษัท พีดีบีพลัส จำกัด, ประเทศไทย) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ⁽¹⁷⁾ เช่น หัวนำเจาะ (pilot drilled bur) หัวเจาะสุดท้ายตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรากเทียม (final drilled bur) รากเทียม (implant fixture) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร และตัวนำรากเทียมชนิดต่อกับด้ามกรอ (implant insertion tool) โดยมีลำดับการฝังรากเทียมด้วยหัวเจาะตามรูปที่ 3 ทั้งนี้ต้องกลึงส่วนป่าของก้านหัวนำเจาะและหัวเจาะสุดท้ายออกก่อน เพื่อไม่ให้กีดขวางอุปกรณ์เสริมที่ผลิตขึ้น และยังช่วยทำให้เกิดแนวการเจาะที่แม่นยำมากขึ้น (รูปที่ 4)

ขั้นตอนที่ 1: ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เสริมของหัวเจาะพีดีบีพลัส ด้วยวิธีการกลึงด้วยเครื่อง CNC Genos L200E-M (Okuma®, USA) โดยใช้โลหะชนิดอะลูมิเนียม 6063 ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์เสริมแต่ละชนิดแบ่งตามขั้นตอนการกรอตัดกระดูกได้ดังนี้



รูปที่ 3 ลำดับการฝังรากเทียมด้วยหัวเจาะรากเทียมพีคดับลิว พลัส (คัดลอกโดยได้รับอนุญาตจาก www.pwplus.co.th [URL of homepage on the internet]. Thailand: PW Plus Co.,Ltd. Available from: HYPERLINK “<http://www.pwplus.co.th/menu>”<http://www.pwplus.co.th/menu>⁽¹⁷⁾)

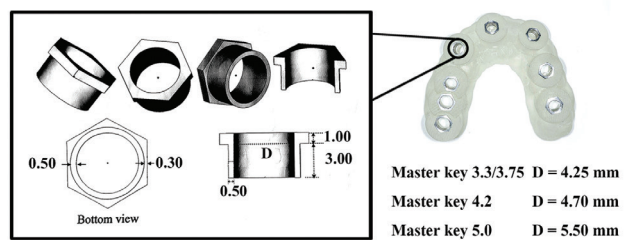
Figure 3 Diagram of using PW plus surgical drilled set (from www.pwplus.co.th [URL of homepage on the internet]. Thailand: PW Plus Co.,Ltd. Available from: HYPERLINK “<http://www.pwplus.co.th/menu>”<http://www.pwplus.co.th/menu> with permission⁽¹⁷⁾)



รูปที่ 4 หัวนำเจาะ (ซ้าย) และหัวเจาะสุดท้ายตามขนาดของรากเทียมพีคดับลิว พลัส (ขวา) ที่ถูกกลึงปรับบริเวณก้านหัวเจาะออกทำให้ได้แนวนำในการเจาะมากขึ้น

Figure 4 PW plus pilot drilled bur (left) and final drilled burs (right) were modified by cutting the metal at shank part of the burs for increasing the parallel guiding path.

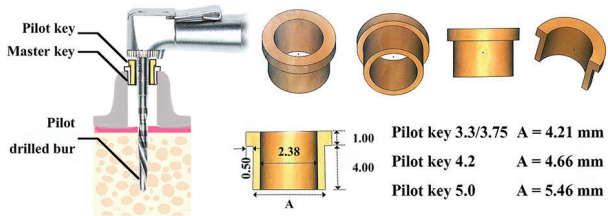
1) มาสเตอร์ คีย์ (master key) คือ อุปกรณ์เสริมที่เป็น ส่วนของปลอกโลหะซึ่งถูกฝังอยู่ในแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรม มีสามขนาดคือ 3.3/3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 มาสเตอร์ คีย์ ซึ่งถูกฝังอยู่ในแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรม มี สามขนาด คือขนาดสำหรับรากเทียม 3.3/3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร

Figure 5 Master keys which was embedded within surgical drilled guide had three sizes for each implant diameter 3.3/3.75, 4.2, and 5.0 mm

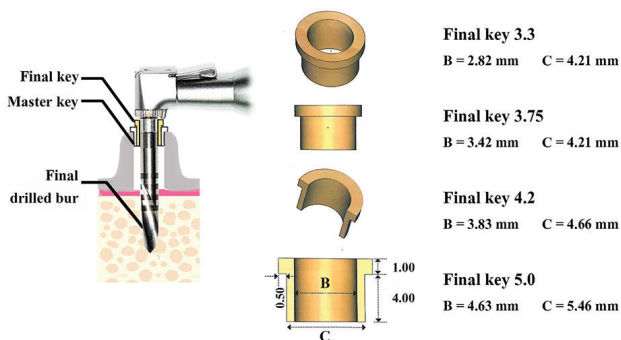
2) ไพลอต คีย์ (pilot key) คือ อุปกรณ์เสริมที่เป็นส่วนรองรับหัวนำเจาะ ซึ่งจะวางอยู่บน มาสเตอร์ คีย์ ในขณะที่กรอ (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 ไพลอต คีย์ จะวางอยู่บน มาสเตอร์ คีย์ ขณะกรอด้วยหัวนำเจาะ (ซ้าย) และการออกแบบ ไพลอต คีย์ ซึ่งมีสามขนาดคือขนาดสำหรับรากเทียม 3.3/3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร (ขวา)

Figure 6 Pilot keys were placed on master key to accommodate pilot drilled bur. (left) The design of pilot keys which composed of three sizes including 3.3/3.75, 4.2, and 5.0 mm (right)

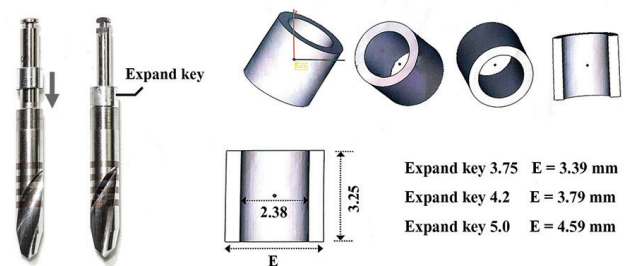
3) ไฟนอล คีย์ (final key) คือ อุปกรณ์เสริมที่เป็นส่วนรองรับหัวเจาะสุดท้าย มีสี่ขนาดคือ 3.3 3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร ตามขนาดรากเทียม (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 ไฟนอล คีย์ ซึ่งวางอยู่บน มาสเตอร์ คีย์ ขณะกรอด้วยหัวเจาะสุดท้าย (ซ้าย) และการออกแบบ ไฟนอล คีย์ ซึ่งมีสี่ขนาดคือขนาดสำหรับรากเทียม 3.3 3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร (ขวา)

Figure 7 Final keys were placed on master key to accommodate final drilled bur. (left) The design of final keys which composed of four sizes including 3.3, 3.75, 4.2, and 5.0 mm (right)

4) เอ็กซ์แพนด์ คีย์ (expand key) คือ อุปกรณ์เสริมที่รองรับส่วนก้านของหัวเจาะสุดท้ายขนาด 3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร โดย เอ็กซ์แพนด์ คีย์ จะชดเชยส่วนที่คอดของก้านหัวเจาะสุดท้าย เพื่อให้เกิดแนวนำที่ขนานขณะกรอตัดกระดูก (รูปที่ 8-9) (สำหรับหัวเจาะสุดท้ายของรากเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 มิลลิเมตร นั้นมีส่วนก้านที่มีความคอดน้อย จึงไม่จำเป็นต้องใช้เอ็กซ์แพนด์ คีย์)



รูปที่ 8 เอ็กซ์แพนด์ คีย์ ที่สวมอยู่บนก้านของหัวเจาะสุดท้าย (ซ้าย) และการออกแบบ เอ็กซ์แพนด์ คีย์ ซึ่งมีสามขนาดคือขนาดสำหรับหัวเจาะสุดท้าย 3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร (ขวา)

Figure 8 Expand key was placed over shank part of the final drilled bur. (left) The design of expand keys which composed of three sizes including 3.75, 4.2, and 5.0 mm (right)

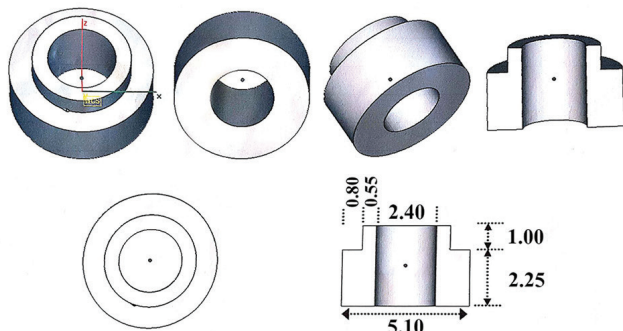
5) อิมพลานต์ ไดรเวอร์ คีย์ (implant driver key) คือ อุปกรณ์เสริมที่เป็นตัวนำรากเทียมสู่กระดูก ซึ่งจะสวมอยู่บนตัวนำรากเทียมชนิดต่อกับด้ามกรอ เพื่อฝังรากเทียมให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ โดย อิมพลานต์ ไดรเวอร์ คีย์ จะแบ่งเป็นสองขนาดคือ ขนาดสำหรับรากเทียมยาว 8 หรือ 10 มิลลิเมตร และขนาดสำหรับรากเทียมยาว 12 หรือ 14 มิลลิเมตร (รูปที่ 10-11)

เมื่อประกอบอุปกรณ์เสริมเข้ากับหัวเจาะรากเทียมที่ติดปลิว พลาสติก และด้ามกรอแบบหักมุม (contra-angle handpiece) แล้ว จะพบว่าโครงสร้างของหัวเจาะใหม่จะประกอบด้วยสามส่วนตามลักษณะของหัวเจาะรากเทียมในระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง⁽¹⁸⁾ คือ 1) ส่วนหยุด (stopper part) คือบริเวณส่วนต่อของหัวเจาะรากเทียมกับด้ามกรอ ซึ่งเป็นตัวกำหนดความลึกของการกรอตัดกระดูก 2) ส่วนนำ (guided part) คือบริเวณส่วนก้านของหัวเจาะรากเทียม



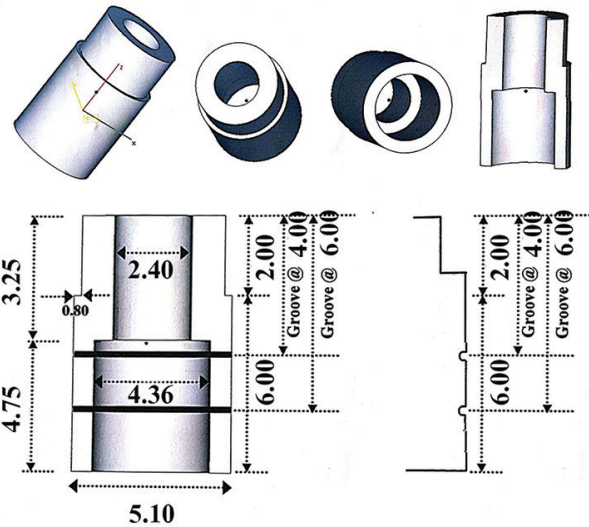
รูปที่ 9 เอ็กซ์แพนด์ คีย์ ที่สวมบนหัวเจาะสุดท้าย (ซ้าย), การใส่หัวเจาะรากเทียมลงในด้ามกรอแบบหักมุม (ขวา) เส้นผ่านศูนย์กลางของ เอ็กซ์แพนด์ คีย์ ถูกกำหนดโดยเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณส่วนก้านของหัวเจาะสุดท้าย และมีความสูงเท่ากับระยะที่เหลือของก้านหัวเจาะที่โผล่พ้นจากด้ามกรอ

Figure 9 Expand key was placed over the shank of final drilled bur. (left) Insertion of final drilled bur to contra-angle handpiece (right) Diameter of expand key were determined by diameter of final drilled bur. And height of expand key were determined by length of shank of final drilled bur that exposed from the contra-angle handpiece.



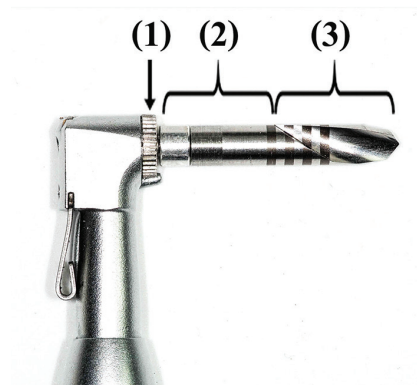
รูปที่ 10 การออกแบบ อิมพลานต์ ไดรเวอร์ คีย์ สำหรับรากเทียมยาว 8 หรือ 10 มิลลิเมตร

Figure 10 The design of implant driver key for placing implant length 8 or 10 mm



รูปที่ 11 การออกแบบ อิมพลานต์ ไดรเวอร์ คีย์ สำหรับรากเทียมยาว 12 หรือ 14 มิลลิเมตร

Figure 11 The design of implant driver key for placing implant length 12 or 14 mm



รูปที่ 12 หลังจากประกอบอุปกรณ์เสริมเข้ากับหัวเจาะรากเทียมพีดีบีบลิว พลัส และด้ามหัวกรอแบบหักมุมแล้วจะได้โครงสร้างใหม่ที่ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ (1) ส่วนหยุด (2) ส่วนแนวนำ และ (3) ส่วนกรอตัด⁽¹⁸⁾

Figure 12 After Expand key were placed on drilled bur and connected to contra-angle handpiece, the new modified bur consisted of three structure parts; (1) stopper part, (2) guided part, and (3) drilling part.⁽¹⁸⁾

เป็นตัวกำหนดทิศทางขณะกรอ และ 3) ส่วนกรอตัด (drilling part) คือบริเวณส่วนปลายของหัวเจาะรอกเทียมที่มีความคมใช้ในการกรอตัดกระดูก (รูปที่ 12)

ขั้นตอนการกรอตัดกระดูกจะเริ่มจากการใช้หัวนำเจาะตามด้วยหัวเจาะสุดท้ายเหมือนในการผ่าตัดรอกเทียมทั่วไป และกำหนดให้การฝังรอกเทียมที่มีความยาว 8 หรือ 10 มิลลิเมตร ใช้หัวนำเจาะและหัวเจาะสุดท้ายของพีดับบลิวพลัส ที่มีความยาว 30 และ 32.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนรอกเทียมยาว 12 หรือ 14 มิลลิเมตร ให้ใช้หัวนำเจาะและหัวเจาะสุดท้ายของพีดับบลิว พลัส ที่มีความยาว 37.5 และ 38 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และรูปที่ 13-14) ซึ่งใช้ร่วมกับด้ามกรอแบบหักมุม Powersurge Access PS20 (B.A. International[®], France)

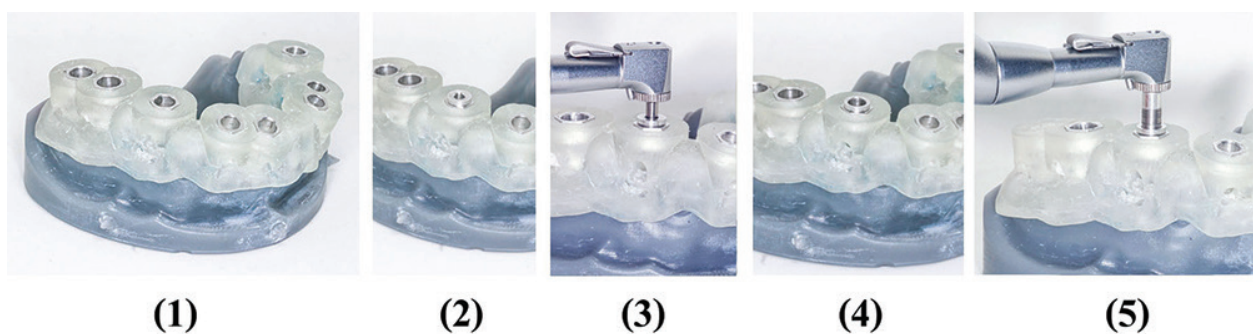
ขั้นตอนที่ 2: ทดสอบความแม่นยำของการฝังรอกเทียมด้วยอุปกรณ์เสริมที่สร้างขึ้นในแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) สร้างแบบจำลองเรซินด้วยเครื่อง Form2 (Formlabs[®], USA) ของชากรรไกรบนที่มีสันเหือกกว้างบางส่วนจำนวน 20 ชิ้น พร้อมทั้งตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ในการซ้อนทับภาพ เป็นรูปทรงกรวยที่ฐานทั้งห้าด้านของแบบจำลอง
- 2) กราดผิวแบบจำลองโดยเครื่องสแกนด้วยแสงรุ่น AutoScan-DS300 Dental 3D Scanner (Shining 3D[®], China) เพื่อลอกเลียนลักษณะโครงสร้างภายนอกของฟันและบริเวณสันเหือกไร้ฟัน
- 3) ถ่ายภาพรังสีโคนบีบคอมพิวเตอร์โทโมกราฟฟีด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีรุ่น PaX-Flex3D (VATECH Global[®], South Korea) ที่แบบจำลองเพื่อให้ได้โครงสร้างภายใน ซึ่ง

ตารางที่ 1 วิธีการใช้อุปกรณ์เสริมในการฝังรอกเทียมพีดับบลิว พลัส แต่ละขนาด

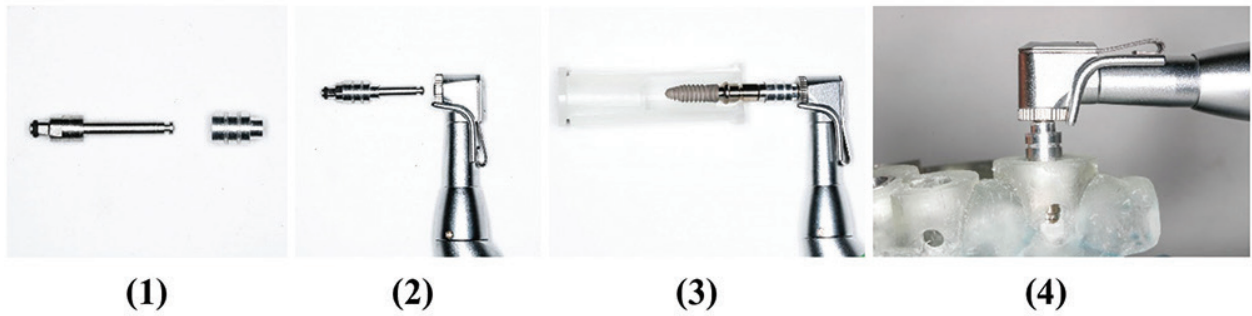
Table 1 Instruction for using supplemental devices for each PW plus implant diameter

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอกเทียม (มิลลิเมตร)	ชนิดอุปกรณ์เสริมที่ใช้			
	มาสเตอร์ คีย์	ไพลอต คีย์	ไฟนอล คีย์	เอ็กซ์แพนด์ คีย์
3.3	3.3/3.75	3.3/3.75	3.3	-
3.75	3.3/3.75	3.3/3.75	3.75	3.75
4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0



รูปที่ 13 ขั้นตอนการกรอตัดเริ่มจากใส่ มาสเตอร์ คีย์ ลงในแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรม (1), วาง ไพลอต คีย์ ลงบน มาสเตอร์ คีย์ (2), กรอด้วยหัวนำเจาะ (3), วาง ไฟนอล คีย์ แทนที่ ไพลอต คีย์ (4), กรอด้วยหัวเจาะสุดท้ายที่ประกอบ เอ็กซ์แพนด์ คีย์ บนก้านหัวเจาะแล้ว (5)

Figure 13 Surgical drilling procedure began with embedding master keys within surgical drilled guide (1), pilot keys were placed on master keys (2), drilled with pilot drilled bur (3), pilot keys were replaced by final keys (4), and drilled with final drilled burs which had expand keys placed on its (5)



รูปที่ 14 ขั้นตอนการฝังรากเทียมเริ่มจากเตรียมตัวนำรากเทียมชนิดต่อกับด้ามกรอ และ อิมพลานต์ ไดรเวอร์ คีย์ (1), ประกอบ อิมพลานต์ ไดรเวอร์ คีย์ เข้ากับตัวนำรากเทียมชนิดต่อกับด้ามกรอ (2), ยึดรากเทียมเข้ากับอุปกรณ์ (3), ความลึกของการฝังรากเทียมพิจารณาจากขีดบอกระยะที่แสดงใน อิมพลานต์ ไดรเวอร์ คีย์ (4)

Figure 14 Implant placement procedure was performed with implant insertion tool and implant driver key. (1), Implant driver key was inserted to implant insertion tool. (2), Implant fixture was attached to the device. (3), Depth of implant placement was determined by the scale on implant driver key. (4)

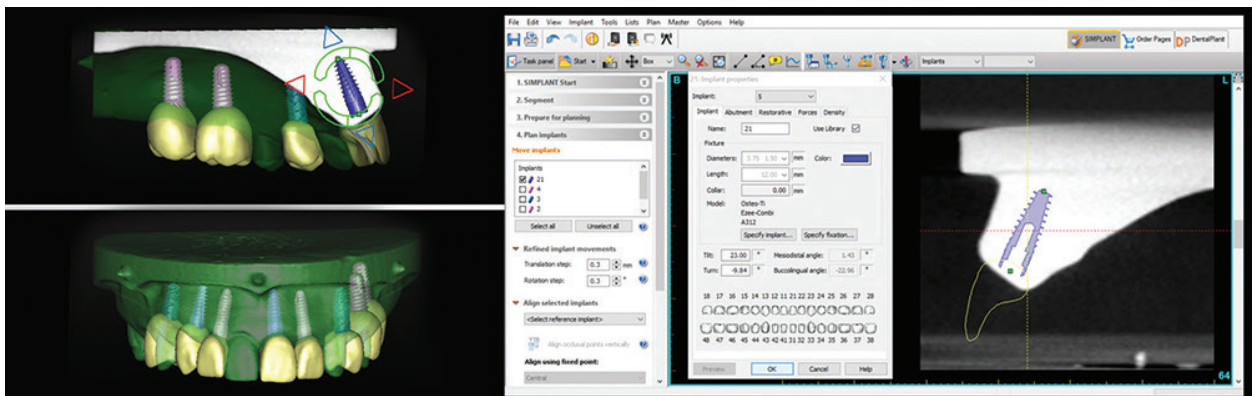
เปรียบได้กับภาพโครงสร้างภายในที่เป็นกระดูกและอวัยวะสำคัญภายในต่างๆ โดยตั้งค่าความต่างศักย์ที่ 89 kVp กระแสไฟฟ้า 4.4 มิลลิแอมแปร์ (mA) เวลาในการถ่ายเท่ากับ 15 วินาที พื้นที่ในการถ่ายภาพ (field of view) เท่ากับ 120x90 มิลลิเมตร และขนาดวอกเซล (voxel) เท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร

4) นำข้อมูลทั้งสองในข้อ 2) และ 3) มารวมกันด้วยโปรแกรมวางแผนรากเทียมสามมิติ SimPlant® Master 17.01 (Materialise Inc., Leuven, Belgium)

5) ออกแบบและจำลองตำแหน่งของครอบฟันและรากเทียมในโปรแกรม โดยในแต่ละแบบจำลองจะประกอบด้วยรากเทียมจำนวน 8 ราก (รูปที่ 15) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ฟันตัดบนซี่ที่สองด้านขวาและซ้าย ใช้รากเทียมขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 3.3 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร ฟันตัดบนซี่แรกด้านซ้ายและฟันเขี้ยวบนด้านขวา ใช้รากเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.75 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร ฟันกรามน้อยบนซี่แรกด้านซ้ายและฟันกรามน้อยบนซี่ที่สองด้านขวา ใช้รากเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร ฟันกรามบนซี่แรกและซี่ที่สองด้านซ้าย ใช้รากเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร

6) ออกแบบแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรมและขึ้นต้นแบบอย่างรวดเร็วด้วยกระบวนการสเตอริโอลิโทกราฟีด้วยเครื่อง Micro drill guide printer, Perfactory (Evisiointec®, Germany) แล้วจึงฝัง มาสเตอร์ คีย์ ที่สร้างในขั้นตอนที่ 1 เข้าไปภายในแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรม



รูปที่ 15 การออกแบบครอบฟันและรากเทียม ด้วยโปรแกรมวางแผนรากเทียมสามมิติบนแบบจำลอง

Figure 15 Simulation of crown and implant on model in 3D implant planning software

7) กรอบแบบจำลองโดยใช้หัวเจาะพีคดับบลิว พลัส ร่วมกับอุปกรณ์เสริมที่สร้างในขั้นตอนที่ 1 โดยการกรอจะเรียงตามขั้นตอนตั้งแต่หัวนำเจาะจนถึงหัวเจาะสุดท้ายตามขนาดรากเทียมที่วางแผนไว้

8) ฟังรากเทียมลงในแบบจำลองที่กรอไว้ แล้วนำแบบจำลองไปถ่ายภาพรังสีโคนบีมคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีอีกครั้งเพื่อแสดงตำแหน่งของรากเทียมจริง (actual implant)

9) ซ้อนทับภาพรังสีโคนบีมคอมพิวเตอร์โทโมกราฟีที่แสดงตำแหน่งของรากเทียมจำลอง (virtual implant) และภาพรังสีที่แสดงตำแหน่งของรากเทียมจริงในแต่ละแบบจำลอง โดยใช้ตำแหน่งอ้างอิงรูปทรงกรวยที่ฐานของแบบจำลองในการซ้อนทับภาพ แล้ววัดค่าระยะที่เบี่ยงเบนไปของรากเทียมที่ฝังในเชิงสามมิติ (ในแกน x y และ z) ได้แก่ ระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติบริเวณส่วนหัวและส่วนปลายของรากเทียม และมุมเบี่ยงเบนเชิงสามมิติด้วยโปรแกรม Simplant® Master 17.01 (รูปที่ 16) โดยการซ้อนทับภาพรังสีและการวัดจะทำซ้ำสองครั้งในคนละวันด้วยผู้วัดคนเดิม เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นภายในตัวผู้ประเมิน (intra-rater reliability)

10) ผลที่ได้จะแสดงในรูปของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation) และเปรียบเทียบระยะเบี่ยงเบนในการฝังรากเทียมทั้งสี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (3.3 3.75 4.2 และ 5.0 มิลลิเมตร) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม

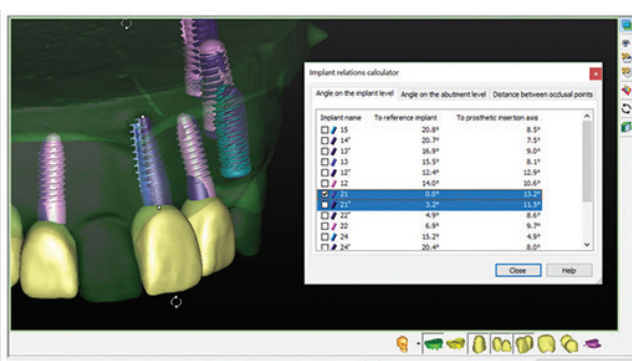
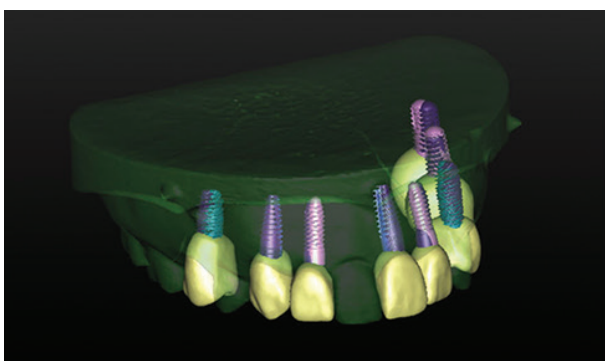
คำนวณสถิติ SPSS Statistics 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

ผลการศึกษา

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (intra-class correlation coefficient) ของการซ้อนทับและวัดระยะในภาพรังสีด้วยผู้วัดคนเดิมมีค่าเท่ากับ 0.99 และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของระยะเบี่ยงเบนในการฝังรากเทียมทั้งสี่ขนาด โดยพบว่ารากเทียมทั้งหมดมีระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติที่บริเวณส่วนหัวและส่วนปลายของรากเทียมเท่ากับ 0.83 ± 0.30 และ 1.13 ± 0.36 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีมุมเบี่ยงเบนเชิงสามมิติเท่ากับ 4.59 ± 0.49 องศา (ตารางที่ 2)

บทวิจารณ์

การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวางแผนตำแหน่งรากเทียมและขึ้นรูปแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรมก่อให้เกิดประโยชน์ในหลายด้าน^(4,8,19,20) โดยการวางแผนเริ่มจากการออกแบบตำแหน่งและรูปร่างของสิ่งบูรณะเหนือรากเทียมก่อน (restoratively driven treatment plan)⁽²¹⁾ แล้วจึงวางตำแหน่งรากเทียมลงในโปรแกรม ซึ่งสามารถประเมินตำแหน่งของรากเทียมกับกายวิภาคของกระดูกและอวัยวะสำคัญภายในได้⁽⁷⁾ ลดความเสี่ยงที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ป่วยและมีความแม่นยำในการฝังรากเทียมสูง⁽⁹⁾ การดัดแปลงชุดหัวเจาะพีคดับบลิว พลัส แบบดั้งเดิมให้รองรับการฝังรากเทียมด้วย



รูปที่ 16 การซ้อนทับของภาพรากเทียมจำลองและภาพรากเทียมจริง เพื่อวัดระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติและมุมเบี่ยงเบนเชิงสามมิติ

Figure 16 Superimposition of virtual implants and actual implants for measuring 3D linear and angular deviation

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติและมุมเบี่ยงเบนเชิงสามมิติของรากเทียมจำลองและรากเทียมจริง

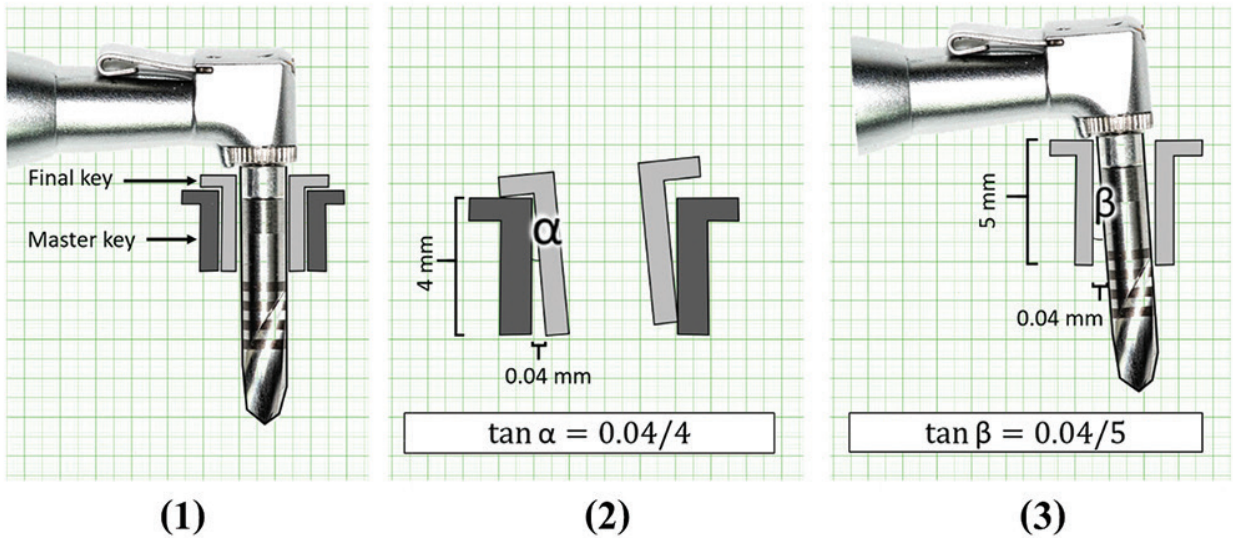
Table 2 Mean deviation of 3D linear and angular deviation between virtual and actual implant

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รากเทียม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยของระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติ		ค่าเฉลี่ยของมุมเบี่ยงเบนเชิงสามมิติ (องศา)
	ส่วนหัวรากเทียม (มิลลิเมตร)	ส่วนปลายรากเทียม (มิลลิเมตร)	
3.3	0.87 ± 0.30	1.15 ± 0.38	4.66 ± 0.47
3.75	0.80 ± 0.27	1.10 ± 0.32	4.51 ± 0.46
4.2	0.81 ± 0.29	1.13 ± 0.37	4.61 ± 0.50
5.0	0.85 ± 0.31	1.15 ± 0.37	4.60 ± 0.52

ระบบคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ พบว่ามีระยะเบี่ยงเบนของตำแหน่งรากเทียมที่ฝังมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับรายงานการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Schneider และคณะ⁽⁹⁾ ที่รายงานว่าระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงบริเวณส่วนหัวและส่วนปลายของรากเทียมในการฝังด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทางเท่ากับ 1.07 มิลลิเมตร และ 1.63 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีมุมเบี่ยงเบน 5.26 องศา

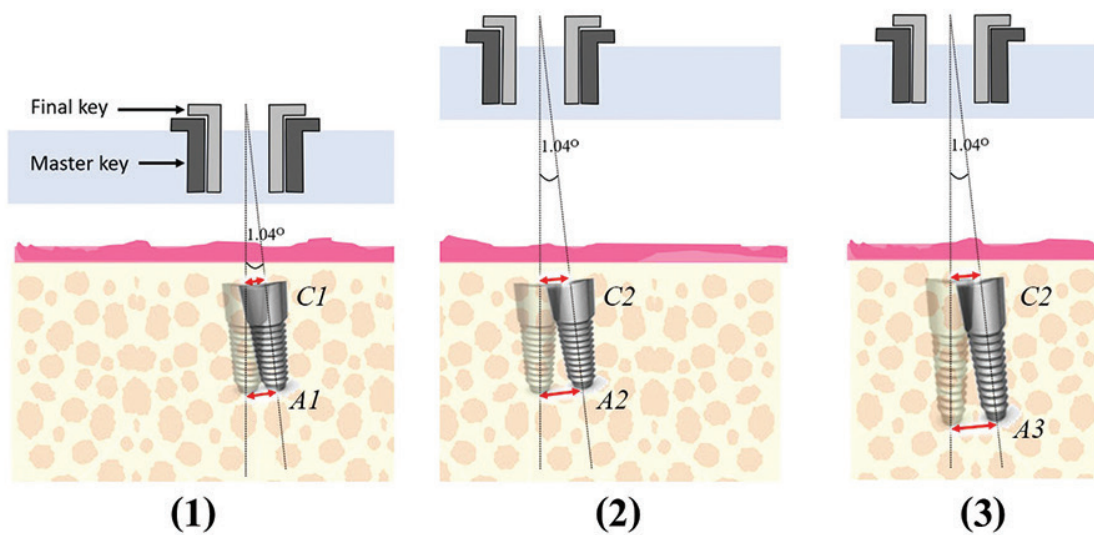
อุปกรณ์เสริมที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย มาสเตอร์ คีย์ ที่มีความสูง 4.00 มิลลิเมตร ฝังอยู่ในแผ่นนำเจาะทางศัลยกรรมและมี ไพลอต คีย์ หรือ ฟินอล คีย์ ที่มีความสูง 5.00 มิลลิเมตร วางซ้อนทับ โดยมีระยะที่ต่างกันของเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง ไพลอต คีย์ หรือ ฟินอล คีย์ กับก้านของหัวเจาะรากเทียมเท่ากับ 40 ไมโครเมตร ซึ่งเท่ากับช่องว่างระหว่าง ไพลอต คีย์ หรือ ฟินอล คีย์ กับ มาสเตอร์ คีย์ ฉะนั้นหากพิจารณาเฉพาะค่าของข้อผิดพลาดเชิงกลระหว่างอุปกรณ์เสริมดังกล่าวกับก้านหัวเจาะสามารถคำนวณค่ามุมเบี่ยงเบนที่มากที่สุดทางทฤษฎีตามหลักเรขาคณิต (maximum theoretical errors)⁽²²⁾ ระหว่าง ไพลอต คีย์ หรือ ฟินอล คีย์ กับ มาสเตอร์ คีย์ ได้เท่ากับ 0.58 องศา จากสมการ มุมเบี่ยงเบน (α) = $\arctg\ 0.04/4 = 0.58$ องศา และคำนวณมุมเบี่ยงเบนที่เกิดระหว่าง ไพลอต คีย์ หรือ ฟินอล คีย์ กับก้านของหัวเจาะรากเทียมเท่ากับ 0.46 องศา จากสมการ มุมเบี่ยงเบน (β) = $\arctg\ 0.04/5 = 0.46$ องศา ดังนั้นการเจาะรากเทียมด้วยอุปกรณ์เสริมดังกล่าวจะ

มีมุมเบี่ยงเบนมากที่สุดทางทฤษฎีทั้งหมดเท่ากับ $0.58 + 0.46 = 1.04$ องศา (รูปที่ 17) ซึ่งมีค่าน้อยกว่ามุมเบี่ยงเบนมากที่สุดทางทฤษฎีที่คำนวณได้จากชุดหัวเจาะรากเทียมคอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง Safe[®] System Surgical Kit[®] ในการศึกษาของ Cassetta และคณะ ที่มีค่าเท่ากับ 5.15 องศา⁽²²⁾ และสามารถแสดงแนวโน้มการเบี่ยงเบนของรากเทียมบริเวณส่วนหัวและส่วนปลายของรากเทียมได้ว่า ระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงบริเวณส่วนหัวของรากเทียมที่ฝังจากการใช้อุปกรณ์เสริมนี้ขึ้นกับระยะระหว่างปลอกโลหะกับผิวกระดูก^(13,15,22) ซึ่งหากมีค่ามากย่อมส่งผลให้ความแม่นยำในการฝังรากเทียมด้วยอุปกรณ์เสริมนี้ลดลง เพราะฉะนั้นหากต้องการฝังรากเทียมที่มีความยาว 8 หรือ 10 มิลลิเมตรควรใช้หัวนำเจาะและหัวเจาะสุดท้ายที่มีความยาว 30 และ 32.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนในการฝังรากเทียมยาว 12 หรือ 14 มิลลิเมตร ควรใช้หัวนำเจาะและหัวเจาะสุดท้ายที่มีความยาว 37.5 และ 38 มิลลิเมตร ตามลำดับ เพื่อลดระยะระหว่างปลอกโลหะกับผิวกระดูกให้น้อยที่สุด ส่วนระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงบริเวณส่วนปลายของรากเทียมเป็นผลมาจากปัจจัยดังกล่าวร่วมกับความยาวรากเทียม^(13,15,22) โดยรากเทียมที่มีความยาวมากหากเกิดมุมเบี่ยงเบนไป 1.04 องศา จะมีระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงบริเวณส่วนปลายมากกว่ารากเทียมที่มีความยาวน้อยกว่า ฉะนั้นการฝังรากเทียมที่มีความยาวมากกว่าก็จะแสดงระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงบริเวณส่วนปลายของรากเทียมมากกว่ารากเทียมสั้น (รูปที่ 18)



รูปที่ 17 ข้อผิดพลาดเชิงกลขณะกรอด้วยหัวเจาะสุดท้าย (1), มุมเบี่ยงเบน α ที่เกิดระหว่าง ฟันอล คีย์ กับ มาสเตอร์ คีย์ (2), มุมเบี่ยงเบน β ที่เกิดระหว่างหัวเจาะสุดท้าย กับ ฟันอล คีย์ (3)

Figure 17 Mechanical error which occurred while drilling with final drilled bur (1), the tolerance between master key and final key allows for a theoretical α angle error (2), and the tolerance between the final key and final drilled bur allows for a theoretical β angle error (3)



รูปที่ 18 ระเบียบเบนในแนวเส้นตรงบริเวณส่วนหัว (C1) และส่วนปลายรากเทียม (A1) เมื่อมีมุมเบี่ยงเบนไป 1.04 องศา (1), ผลของระยะระหว่างปลอกโลหะกับผิวกระดูกที่มากขึ้นส่งผลให้ระเบียบเบนบริเวณส่วนหัว (C2) และส่วนปลายรากเทียม (A2) มากขึ้น (2), ผลของความยาวรากเทียมที่ทำให้ระเบียบเบนบริเวณปลายรากเทียม (A3) มากขึ้น (3)

Figure 18 Linear coronal (C1) and apical (A1) deviations when the devices had maximum theoretical angle error of 1.04O (1), Effect of distance between metal sleeve and entry point of bone to both linear coronal (C2) and apical (A2) deviation of implant (2), and effect of implant length to linear apical (A3) deviation of implant (3)

ถึงแม้ว่าเมื่อคำนวณค่าเบี่ยงเบนที่เกิดจากข้อผิดพลาดเชิงกลของอุปกรณ์ขึ้นนี้จะมีค่าน้อย แต่ความจริงแล้วความแม่นยำของการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทางยังขึ้นกับหลายปัจจัย^(10,11) ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่า การฝังรากเทียมบริเวณสันเหงือกทางด้านท้ายโดยเฉพาะรากเทียมซี่ในสุดมีระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงและมุมเบี่ยงเบนมากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งอาจเป็นผลจากแผ่นนำเจาะทางคัลยกรรมบริเวณดังกล่าวไม่มีการรองรับของซี่ฟัน ทำให้แผ่นนำเจาะทางคัลยกรรมมีโอกาสขยับในแนวด้านข้างขณะกรอแบบจำลองได้ อย่างไรก็ตามสามารถลดข้อผิดพลาดดังกล่าว โดยการตรวจความแนบสนิทจากรูที่เปิดไว้เพื่อดูความแนบสนิทของแผ่นนำเจาะทางคัลยกรรมกับซี่ฟันและเหงือกในแบบจำลอง นอกจากนี้ยังพบว่า มีระยะเบี่ยงเบนของรากเทียมมากในพื้นที่ตัดบนซี่ที่สองด้านขวาและซ้าย ซึ่งใช้รากเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 มิลลิเมตร โดยอาจมีสาเหตุจากการที่ไม่มีอุปกรณ์เสริม เอ็กซ์แพนด์ คีย์ สำหรับการฝังรากเทียมขนาด 3.3 มิลลิเมตร เนื่องจากมีความคอดของส่วนก้านของหัวเจาะสุดท้ายน้อย ทำให้ไม่สามารถกลึง เอ็กซ์แพนด์ คีย์ ให้มีความหนาเท่ากับขนาดดังกล่าวได้ ทำให้ค่ามุมเบี่ยงเบนเชิงสามมิติของการฝังรากเทียมขนาด 3.3 มิลลิเมตร ในทางทฤษฎีจะมีค่ามากกว่า 1.04 องศา แต่ด้วยการออกแบบอุปกรณ์ที่เพิ่มระยะของส่วนนำบนหัวเจาะมากขึ้นจากการตัดส่วนป่าของก้านหัวเจาะออก ทำให้เกิดแนวนำของการเจาะที่เหมาะสมก่อนที่จะกรอถึงระดับความลึกที่กำหนดไว้

อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เสริมที่สร้างขึ้นยังมีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ ในขั้นตอนการกรอจะไม่สามารถไล่ลำดับการใช้หัวเจาะสุดท้ายได้ (graduated drilling) อย่างไรก็ดีกรณีการกรอสำหรับรากเทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 มิลลิเมตร จะเริ่มจากหัวนำเจาะแล้วตามด้วยหัวเจาะสุดท้ายสำหรับรากเทียม 4.2 มิลลิเมตร ไม่สามารถใช้หัวเจาะสุดท้ายสำหรับรากเทียม 3.3 หรือ 3.75 มิลลิเมตร กรอไล่ลำดับได้ จึงทำให้มีโอกาสเกิดความร้อนขณะกรอได้⁽²³⁾ ดังนั้นจึงควรกรอในทิศทางขึ้นลงช้าๆ และระบายความร้อนด้วยน้ำ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านความสูงของอุปกรณ์เสริม เอ็กซ์แพนด์ คีย์ ที่การออกแบบจะขึ้นกับระยะของก้านเข็มกรอที่สวมเข้าไปในด้ามกรอ ซึ่งระยะดังกล่าวจะต่างกันในแต่ละบริษัท ดังนั้นหากใช้ด้ามกรอที่ต่างไปจากงานวิจัยนี้จำเป็นต้องวัดระยะดังกล่าวและดัดแปลง เอ็กซ์แพนด์ คีย์ ให้มีขนาดเพิ่มขึ้นหรือสั้นลงแล้วแต่กรณีก่อนใช้งาน

บทสรุป

อุปกรณ์เสริมที่ผลิตขึ้นสามารถดัดแปลงหัวเจาะรากเทียมพีดีบีพลิว พลัส ให้สามารถเข้าร่วมกับการฝังรากเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยนำทางได้ โดยเมื่อทดสอบการฝังรากเทียมในแบบจำลองพบว่า มีระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติบริเวณส่วนหัวและส่วนปลายของรากเทียมเท่ากับ 0.83 มิลลิเมตร และ 1.13 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีมุมเบี่ยงเบนเชิงสามมิติเท่ากับ 4.59 องศา และเมื่อพิจารณาเฉพาะข้อผิดพลาดเชิงกลจะสามารถคำนวณค่ามุมเบี่ยงเบนมากที่สุดทางทฤษฎีตามหลักเรขาคณิตของอุปกรณ์เสริมนี้เท่ากับ 1.04 องศา ซึ่งระยะเบี่ยงเบนในแนวเส้นตรงเชิงสามมิติบริเวณส่วนหัวของรากเทียมจะขึ้นกับระยะห่างของปลอกโลหะกับผิวกระดูกบริเวณที่เจาะรากเทียม และระยะเบี่ยงเบนบริเวณปลายรากเทียมจะขึ้นกับปัจจัยดังกล่าวร่วมกับความยาวของรากเทียมที่ใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนพัฒนาและส่งเสริมงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และศูนย์ทันตกรรมรากเทียมคอมพิวเตอร์ คลินิกโรคฟันล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านซอฟต์แวร์ (software) สำหรับโปรแกรมวางแผนรากเทียมสามมิติ (SimPlant®) ตลอดจนการถ่ายภาพรังสีโคนบีมคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี การกราดผิวด้วยแสง การขึ้นรูปแบบจำลองและแผ่นนำเจาะทางคัลยกรรม อุปกรณ์ผ่าตัดรากเทียม รากเทียมพีดีบีพลิว - พลัส รวมทั้งสถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Misch K, Wang H-L. Implant surgery complications: etiology and treatment. *Implant Dent* 2008; 17(2): 159-168.
2. Lazzara RJ. Effect of implant position on implant restoration design. *J Esthet Restor Dent.* 1993; 5(6): 265-269.
3. Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003; 18(4): 571-577.

4. Al R, Mandelaris G, Tarieu P. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 2: Rapid-prototype medical modeling and stereolithographic drilling guides requiring bone exposure. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006; 26: 347-353.
5. Rosenfeld AL, Mandelaris GA, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 3: stereolithographic drilling guides that do not require bone exposure and the immediate delivery of teeth. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006; 26(5): 493-499.
6. Rosenfield A, Mandelaris G, Tardieu P. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 1: diagnostics, imaging, and collaborative accountability. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006; 26(3): 215-221.
7. Orentlicher G, Horowitz A, Abboud M. Computer-guided implant surgery: indications and guidelines for use. *Compend Contin Educ Dent* 2012; 33(10): 720-732.
8. Scherer M, Kattadiyil M, Parciak E, Puri S. CAD/CAM guided surgery in implant dentistry. A review of software packages and step-by-step protocols for planning surgical guides. *Alpha Omegan* 2013; 107(1): 32-38.
9. Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung RE. A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20(s4): 73-86.
10. Valente F, Schirotti G, Sbrenna A. Accuracy of computer-aided oral implant surgery: a clinical and radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24(2): 234-242.
11. Block MS, Chandler C. Computed tomography-guided surgery: complications associated with scanning, processing, surgery, and prosthetics. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67(11): 13-22.
12. Ozan O, Turkyilmaz I, Ersoy AE, McGlumphy EA, Rosenstiel SF. Clinical accuracy of 3 different types of computed tomography-derived stereolithographic surgical guides in implant placement. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67(2): 394-401.
13. Van AN, Quirynen M. Tolerance within a surgical guide. *Clin Oral Implants Res* 2010; 21(4): 455-458.
14. Koop R, Vercruyssen M, Vermeulen K, Quirynen M. Tolerance within the sleeve inserts of different surgical guides for guided implant surgery. *Clin Oral Implants Res* 2013; 24(6): 630-634.
15. Cassetta M, Di Mambro A, Di Giorgio G, Stefanelli LV, Barbato E. The influence of the tolerance between mechanical components on the accuracy of implants inserted with a stereolithographic surgical guide: a retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015; 17(3): 580-588.
16. de Almeida EO, Pellizzer EP, Goiatto MC, et al. Computer-guided surgery in implantology: review of basic concepts. *J Craniofac Surg* 2010; 21(6): 1917-1921.
17. www.pwplus.co.th [URL of homepage on the Internet]. Thailand: PW Plus Co.,Ltd. Available from: HYPERLINK "<http://www.pwplus.co.th/menu>"<http://www.pwplus.co.th/menu>.

18. Lee DH, An SY, Hong MH, Jeon KB, Lee KB. Accuracy of a direct drill-guiding system with minimal tolerance of surgical instruments used for implant surgery: a prospective clinical study. *J Adv Prosthodont* 2016; 8(3): 207-213.
19. Jung RE, Schneider D, Ganeles J, *et al.* Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24(7): 92-109.
20. Block MS, Emery RW. Static or dynamic navigation for implant placement—choosing the method of guidance. *J Oral Maxillofac Surg* 2016; 74(2): 269-277.
21. D'souza KM, Aras MA. Types of implant surgical guides in dentistry: a review. *J Oral Implantol* 2012; 38(5): 643-652.
22. Cassetta M, Di Mambro A, Giansanti M, Stefanelli L, Cavallini C. The intrinsic error of a stereolithographic surgical template in implant guided surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013; 42(2): 264-275.
23. Tehemar SH. Factors affecting heat generation during implant site preparation: a review of biologic observations and future considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1999; 14(1): 127-136.