บทความปริทัศน์
Review Article

ข้อพิจารณาทางคลินิกสำหรับฟันเทียมบางส่วนแบบถอดได้ที่มีรากเทียมขนาดเล็กร่วม

Clinical Considerations for Mini Dental Implant Assisted Removable Partial Denture

วิภัทรพงษ์ บำรุงศิริ[1], กุลภพ สุทธิอาจ[2], ชาย รังสียากูล[3], พิมพ์เดือน รังสิยากูล[2]
[1]ศูนย์อนามัยที่ 9 นครราชสีมา
[2]ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Wiphatpong Bumrungsiri[1], Kullapop Suttiat[2], Chaiy Rungsiyakull[3], Pimduen Rungsiyakull[2]
[1]Regional Health Promotion Center 9, Nakhonratchasima, Thailand
[2]Department of Prosthodontice, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
[3]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2562; 40(1) : 13-30
CM Dent J 2019; 40(1) : 13-30

Received: 2 November, 2017
Revised: 24 January, 2018
Accepted: 2 February, 2018

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำรากเทียมขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้เพื่อรองรับหรือให้การยึดอยู่แก่ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ ในกรณีที่ผู้ป่วยมีข้อจำกัดไม่สามารถรับการบูรณะด้วยรากเทียมแบบดั้งเดิมได้ เมื่อพิจารณาวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ พบว่าการศึกษาส่วนมากยังไม่มีความชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เกี่ยวกับข้อพิจารณาทางคลินิก ด้วยเหตุนี้ผู้เขียนจึงทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 106 การศึกษาเพื่อสรุปและอภิปรายเกี่ยวกับหลักชีวกลศาสตร์สำหรับการบูรณะฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม รวมถึงข้อ

Abstract

In the present, mini dental implants are applied for supporting or retaining removable partial denture, especially in patients with a bone limitation for conventional dental implant placement. When considering the literature on the mini dental implant-assisted removable partial denture, most studies are unclear, particularly clinical considerations. In an attempt to clarify these uncertainties, the topic of the biomechanics of dental implant-assisted removable partial

Corresponding Author:

พิมพ์เดือน รังสิยากูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ดร., ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Pimduen Rungsiyakull
Assistant Professor, Dr., Department of Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand
E-mail: ***pimduen.rungsiyakull@cmu.ac.th***

พิจารณาทางคลินิกสำหรับงานฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมขนาดเล็กร่วม

denture and clinical considerations have been summarized and discussed 106 literatures in this review.

คำสำคัญ: รากเทียมขนาดเล็ก ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ หน่วยยึด ชีวกลศาสตร์ ข้อพิจารณาทางคลินิก

Keywords: mini dental implant, removable partial denture, attachment, biomechanics, clinical considerations

บทนำ

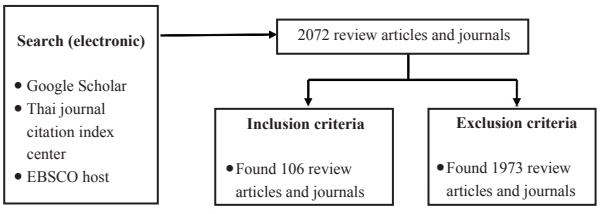
จากรายงานผลการสำรวจสภาวะทันตสุขภาพช่องปากระดับประเทศ ครั้งที่ 7 พ.ศ. 2555 พบว่าเมื่อประชากรไทยมีอายุสูงขึ้นจะมีโอกาสสูญเสียฟันธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณฟันกราม[1] ซึ่งอาจส่งผลต่อผู้ป่วยหลายด้าน เช่น ประสิทธิภาพการบดเคี้ยวของผู้ป่วยลดน้อยลง[2] สูญเสียความสวยงามบริเวณใบหน้าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมิติแนวดิ่ง[3] หรืออาจรุนแรงจนก่อให้เกิดปัญหาข้อต่อขากรรไกร[4-6] ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามทดแทนฟันที่สูญเสียไปด้วยฟันเทียมรูปแบบต่าง ๆ โดยหนึ่งในวิธีบูรณะที่ได้รับความนิยมมาเป็นระยะเวลายาวนาน ได้แก่ ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ เนื่องจากเป็นวิธีการรักษาที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน และมีราคาถูก อย่างไรก็ตามผู้ป่วยที่ได้รับการบูรณะด้วยฟันเทียมบางส่วนถอดได้ มักประสบปัญหาฟันเทียมหลวมหรือขยับขณะใช้งาน โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ป่วยสูญเสียฟันธรรมชาติจำนวนหลายซี่ หรือมีการสูญเสียฟันกรามซี่สุดท้าย นอกจากนั้นการมองเห็นส่วนประกอบซึ่งเป็นโลหะของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ เช่น ตะขอ หรือแผ่นยึดฟันเทียม (plate) ยังส่งผลต่อความสวยงามอีกด้วย[7]

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นในปัจจุบันจึงมีการประยุกต์ใช้รากเทียมร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้[8-12] จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ารากเทียมที่นิยมใช้ร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบขยายฐาน มักเป็นรากเทียมแบบดั้งเดิม ซึ่งในผู้ป่วยบางรายมีข้อจำกัดในการใช้งานรากเทียมแบบดั้งเดิม เป็นต้นว่า ผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยที่มีปริมาณกระดูกไม่เพียงพอ และปฏิเสธการทำศัลยกรรมปลูกกระดูก ฯลฯ ทำให้ไม่สามารถใช้รากเทียมแบบดั้งเดิมได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามนำรากเทียมขนาดเล็กมาใช้ทดแทน[13-17] โดยผู้ป่วยที่เหมาะสมสำหรับการรักษาด้วยรากเทียมขนาดเล็ก คือ ต้องมีความหนาแน่นของกระดูกตามการกำหนดของ Misch แบบที่ 1 หรือ แบบที่ 2 และต้องมีความกว้างของกระดูกในแนวด้านแก้มถึงด้านลิ้นอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร ความสูงของกระดูกในแนวดิ่งอย่างน้อย 10 มิลลิเมตร และเมื่อฝังรากเทียมขนาดเล็กแล้วจะต้องมีความหนาของกระดูกที่ล้อมรอบรากเทียมอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร ร่วมกับต้องมีระยะห่างระหว่างรากฟันซี่ข้างเคียงอย่างน้อย 0.5 มิลลิเมตร[18-20]

รากเทียมขนาดเล็กสามารถนำมาใช้ร่วมกับฟันเทียมได้หลายรูปแบบ พบว่าผู้ป่วยที่ได้รับการฝังรากเทียมขนาดเล็กมีอัตราความพึงพอใจในระดับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการศึกษาของ Zygogiannis และคณะ[21] ใช้แบบสอบถามและการประเมินด้วยวิชวลอนาล็อกสเกล (visual analog scale) พบว่าผู้ป่วยที่ได้รับการฝังรากเทียมขนาดเล็ก 4 ตัว เพื่อรองรับฟันเทียมทั้งปากล่างมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจโดยรวม การออกเสียง ความสบาย และความสวยงาม อยู่ที่ร้อยละ 95.67 94.50 93.33 และ 82.83 ตามลำดับ ส่วนการใช้รากเทียมขนาดเล็กเพื่อช่วยยึดฟันเทียมบางส่วนถอดได้ในขากรรไกรบนและขากรรไกรล่าง Kunavisarut และ Kumpirichaya[22] ใช้การประเมินด้วยแบบสอบถาม (OHIP-EDENT questionnaire) พบว่าหลังจากบูรณะด้วยฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมขนาดเล็กร่วม พบว่าผู้ป่วยมีความพึงพอใจต่อการใช้งานฟันเทียมบางส่วนถอดได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพการบดเคี้ยว ความทุพลภาพทางร่างกายและจิตใจของผู้ป่วยหลังจากฝังรากเทียมขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.012 0.007 และ 0.024 ตามลำดับ) นอกจากนี้ Threeburuth และ Khongkhunthian[13] ใช้แบบสอบถามและการประเมินด้วยวิชวลอนาล็อกสเกล พบว่าผู้ป่วยมีอัตราความพึงพอใจในด้านความสบายจากการใช้งานฟันเทียม การยึดติดของฟันเทียม

และประสิทธิภาพการบดเคี้ยวมากขึ้นหลังจากฝังรากเทียมขนาดเล็ก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

แต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการศึกษาที่เกี่ยวกับการใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ โดยการค้นหาข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งภาษาอังกฤษและภาษาไทย ใน Google Scholar ศูนย์อ้างอิงวารสารไทย (Thai journal citation index centre; TCI) ตั้งแต่ระดับที่ 2 ขึ้นไป และ EBSCO host ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้คำสำคัญ (key words) ในการค้นหาคือ mini dental implants assisted (support, retained) removable partial denture, mini implant, conventional implant และ biomechanics of implant ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1969 ถึง ค.ศ. 2017 พบว่ามีการศึกษาที่เกี่ยวข้องอยู่ 2072 การศึกษา หลังจากนั้นพิจารณาเกณฑ์การนำเข้า (inclusion criteria) คือเป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่รากเทียมขนาดเล็กหรือรากเทียมแบบดั้งเดิมร่วม หลักชีวกลศาสตร์ของรากเทียมและฟันเทียมบางส่วนถอดได้ ฟันเทียมที่มีรากเทียมร่วม รากเทียมขนาดเล็ก รากเทียมแบบดั้งเดิม ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ และการสูญเสียฟันในช่องปาก และมีเกณฑ์การนำออก (exclusion criteria) คือการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับรากเทียมที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน พบว่ามีการศึกษาที่เกี่ยวข้องอยู่ 106 การศึกษา ดังแสดงในแผนภาพที่ 1 อีกทั้งการศึกษาดังกล่าวยังไม่มีความชัดเจนในส่วนที่เกี่ยวข้องกับข้อพิจารณาทางคลินิกของรากเทียมขนาดเล็ก และยังไม่มีการศึกษาใดที่สามารถสรุปการใช้งานรากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ได้อย่างชัดเจน ผู้เขียนจึงมีความสนใจที่จะรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับการใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่สอดคล้องกับหลักชีวกลศาสตร์ของรากเทียมขนาดเล็ก และข้อพิจารณาทางคลินิกในการใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ไว้ในการทบทวนวรรณกรรมฉบับนี้ โดยใช้ข้อมูลของรากเทียมแบบดั้งเดิมร่วมด้วย เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับทันตแพทย์ในการกำหนดจำนวน ตำแหน่ง และความยาวของรากเทียม กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างฟันเทียมกับรากเทียม กำหนดรูปแบบการสบฟันของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ และการออกแบบฟันเทียม ในการวางแผนการรักษาผู้ป่วยที่มีจำเป็นต้องใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้



รูปที่ 1 *แผนผังการค้นหาข้อมูลภายในบทความ*

Figure 1 *Information map in artcle.*

คำจำกัดความของรากเทียมขนาดเล็ก

จากพจนานุกรมทางศัลยกรรมรากเทียมและช่องปาก (Glossary of Oral and Maxillofacial Implants) ค.ศ. 2017[23] ได้ให้คำนิยามของรากเทียมขนาดเล็กว่า เป็นรากเทียมที่สร้างจากวัสดุที่มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของร่างกายเช่นเดียวกับรากเทียมแบบดั้งเดิมแต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่า โดยอาจออกแบบให้มีลักษณะเป็นชิ้นเดียว คือ มีส่วนหลักยึด (abutment) ติดกับส่วนรากเทียมฝังในกระดูก (fixture) หรืออาจออกแบบให้มีลักษณะเป็น 2 ชิ้น โดยส่วนหลักยึดแยกออกจากส่วนรากเทียมฝังในกระดูกก็ได้ เพื่อใช้รองรับฟันเทียมเฉพาะกาล (provisional prosthesis) หรือฟันเทียมหลัก (definitive prosthesis) ในขณะที่พจนานุกรมทางทันตกรรมประดิษฐ์ (Glossary of Prosthodontic terms) ฉบับที่ 9 ค.ศ. 2017[24] ได้ให้คำนิยามของรากเทียมขนาดเล็กว่า เป็นรากเทียมที่สร้างขึ้นจากวัสดุที่มีความเข้ากันได้ของเนื้อเยื่อของร่างกายเช่นเดียวกับรากเทียมแบบดั้งเดิม แต่มีการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร ร่วมกับมีความยาวของรากเทียมที่สั้นลง

อัตราการอยู่รอดของรากเทียมขนาดเล็ก

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าไม่สามารถสรุปอัตราการอยู่รอดของรากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับรากเทียมขนาดเล็กมีอยู่ 2 การศึกษา และพบอัตราการอยู่รอดของรากเทียมขนาดเล็กมีความแตกต่างกัน โดย Kunavisarut และ Kumpirichaya[22] ศึกษาการใช้รากเทียมขนาดเล็กเพื่อช่วยยึดฟันเทียมบางส่วนถอดได้ใน

ขากรรไกรบนและขากรรไกรล่างชนิดได้รับแรงทันที พบว่ารากเทียมขนาดเล็กมีอัตราการอยู่รอดที่ระยะเวลา 6 เดือน ร้อยละ 68.4 และจากการศึกษาของ Threeburuth และ Khongkhunthian[13] ที่รายงานอัตราความสำเร็จของการใช้รากเทียมขนาดเล็กเพื่อช่วยในการรองรับและยึดติดฟันเทียมบางส่วนถอดได้ขยายฐานชนิดได้รับแรงทันที สูงถึงร้อยละ 93.3 ที่ระยะเวลา 6 เดือน และระบุการหลุดของรากเทียมเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วง 1 เดือนแรกหลังการฝังรากเทียม โดยมีความเสถียรปฐมภูมิ (primary stability) ของรากเทียมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของรากเทียมขนาดเล็ก และอัตราการอยู่รอดของรากเทียมแบบดั้งเดิมร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 96.7 ถึง 100[12,25-27] บ่งชี้ว่าอัตราการความอยู่รอดของผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยรากเทียมแบบดั้งเดิมมีแนวโน้มสูงกว่ากรณีที่ได้รับการรักษาด้วยรากเทียมขนาดเล็ก โดยอัตราการอยู่รอดของรากเทียมขนาดเล็กและแบบดั้งเดิมดังแสดงในตารางที่ 1 แต่ Christensen[28] ได้กล่าวว่าผู้ป่วยจะมีความพึงพอใจต่อฟันเทียมบางส่วนถอดได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อผู้ป่วยได้รับการฝังรากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้

หลักชีวกลศาสตร์กับการบูรณะฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม

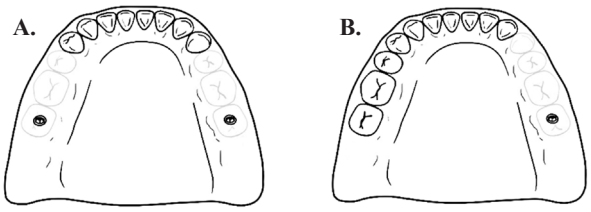
ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ในขากรรไกรล่างแบบขยายฐานได้รับการรองรับจากโครงสร้างหลัก 2 ส่วน คือ ฟันธรรมชาติและเนื้อเยื่อบริเวณสันเหงือกว่างด้านท้าย เมื่อมีแรงมากระทำต่อฟันเทียมบางส่วนถอดได้ ชิ้นฟันเทียมจะมีการเคลื่อนขยับบนส่วนรองรับในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าภายใต้แรงกระทำ 4 นิวตัน เนื้อเยื่อบริเวณสันเหงือกว่างด้านท้ายจะมีการเปลี่ยนแปลงในแนวดิ่ง 350 ถึง 500 ไมโครเมตร ในขณะที่ฟันธรรมชาติจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 20 ไมโครเมตรเท่านั้น[29] จากโครงสร้างภายใต้แรงกระทำ พบว่าฐานฟันเทียมที่มีเนื้อเยื่ออ่อนรองรับจะมีการยุบตัวในแนวดิ่งมากกว่าในบริเวณที่มีฟันธรรมชาติรองรับ Ellakwa[30] พบว่า เมื่อมีการถ่ายทอดแรงบดเคี้ยวจากฟันเทียมบางส่วนถอดได้ไปสู่โครงสร้างรองรับ จะก่อให้เกิดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่ออ่อนใต้ฐานฟันเทียม และอาจทำให้ฟันหลักยึดโยกเนื่องจากแรงบิดงัดที่เกิดจากฟันเทียม[31] เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว Verri และคณะ[32] ได้แนะนำให้ฝังรากเทียม 1 ตัว ที่ด้านท้ายของขากรรไกรที่มีฟันเทียมบางส่วนถอดได้ เพื่อช่วยลดความเค้นที่กระทำกับฟันหลักยึด โดยอธิบายว่าการฝังรากเทียมบริเวณด้านท้ายจะช่วยกระจายแรงบดเคี้ยวจากฟันหลักยึดให้ถ่ายทอดผ่านฟันเทียมไปยังรากเทียมได้ เปรียบเสมือนมีการเปลี่ยนลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี I และ II ให้เป็นลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี III[33,34] ดังแสดงในรูปที่ 2A. และ 2B. นอกจากนี้ Ohkubo และคณะ[35] พบว่าบริเวณเนื้อเยื่อใต้ฐานฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม และมีลักษณะการจำแนกสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี I และ II จะได้รับแรงกดน้อยกว่าฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม

ตารางที่ 1 *อัตราการอยู่รอดของรากเทียมแบบดั้งเดิมและรากเทียมขนาดเล็ก*

Table 1 *Survival rate for conventional and mini dental implants.*

Citation	Implant	Type of prosthesis	Follow up duration	Survival rate (%)
Mijiritsky *et al.*[25]	conventional	RPD	15 years	100
Grossmann *et al.*[26]	conventional	RPD	9 months - 10 years	97.1
Mitrani *et al.*[101]	conventional	RPD	1 to 4 years	100
Kaufmann *et al.*[27]	conventional	RPD	12 months - 8 years	96.7
Kunavisarut and Kumpirichaya[22]	Mini	RPD	6 months	68.4
Threeburuth and Khongkhunthian[13]	Mini	RPD	6 months	93.3

และพบการเคลื่อนขยับของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วมน้อยกว่าฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม[36] จะเห็นได้ว่าการใช้รากเทียมร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิมได้ ทำให้ในปัจจุบันนิยมนำรากเทียมมาใช้ในการรักษาผู้ป่วยร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้อย่างกว้างขวาง แต่เนื่องจากข้อจำกัดของผู้ป่วยบางรายดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น รากเทียมขนาดเล็กจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ทันตแพทย์ให้ความสนใจ[13]



รูปที่ 2A *การฝังรากเทียมบริเวณสันเหงือกว่างด้านท้ายเพื่อเปลี่ยนลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี I ให้เป็นแบบที่ III*

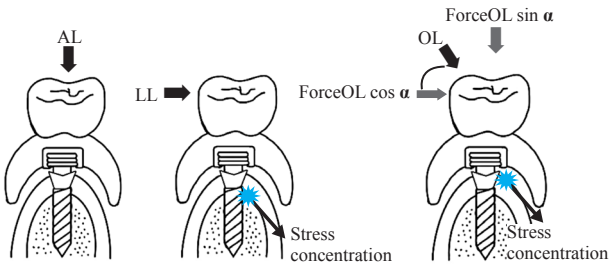
รูปที่ 2B *การฝังรากเทียมบริเวณสันเหงือกว่างด้านท้ายเพื่อเปลี่ยนลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี II ให้เป็นแบบที่ III*

Figure 2A *Changing of Kennedy's classification I to III by implant placement*

Figure 2B *Changing of Kennedy's classification II to III by implant placement*

เมื่อพิจารณาสาเหตุของความล้มเหลวจากการใช้งานรากฟันเทียมขนาดเล็ก พบว่า แรงสบฟันที่มากกว่าปกติ (occlusal overload) เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการสลายของกระดูกรอบรากเทียม และไปขัดขวางกระบวนการเกิดกระดูกเชื่อมประสาน[37-40] เมื่อมีแรงบดเคี้ยวมากระทำกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้จะเกิดแรงราบตามขวางขึ้นที่ฐานฟันเทียม[41] ซึ่งแรงราบตามขวางดังกล่าวจะถ่ายทอดลงสู่รากเทียมที่ถูกฝังในกระดูกขากรรไกร โดยแรงราบตามขวางจะก่อให้ให้เกิดโมเมนต์ดัด (bending moment) ขึ้นที่รากเทียม โดยมีจุดหมุนอยู่ที่สันกระดูกด้านตรงข้ามกับแรงกระทำ เนื่องจากบริเวณสันกระดูกจะประกอบด้วยกระดูกทึบเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สันกระดูกสามารถทนต่อแรงราบตามขวางได้น้อยที่สุด[42] ดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนั้นหากแรงราบตามขวางเพิ่มมากขึ้นจนการโค้งงอมากกว่าปกติเกินความสมดุลของกระดูก จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียกระดูกบริเวณส่วนคอของรากเทียม ร่วมกับไปขัดขวางกระบวนการเกิดกระดูกเชื่อมประสานของรากเทียมได้[42] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในหลายการศึกษาที่พบว่าการสูญเสียกระดูกบริเวณรอบส่วนคอของรากเทียมสัมพันธ์กับปริมาณความเค้นที่เพิ่มขึ้นบริเวณรากเทียม[37,40,43-45] ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแรงราบตามขวางที่เกิดจากการเคลื่อนขยับของส่วนขยายด้านท้ายของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ก่อให้เกิดความล้มเหลวของรากเทียมขนาดเล็กได้[46]

จากที่กล่าวมาข้างต้น หากทันตแพทย์ผู้ให้การรักษามีความเข้าใจหลักกลศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์ของรากเทียมและฟันเทียมบางส่วนถอดได้ และสามารถควบคุมปริมาณแรงสบฟันที่มากระทำกับรากเทียมได้ ก็สามารถประยุกต์ใช้รากเทียมร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ให้มีการอยู่รอด และความสำเร็จในระยะยาว[47] ในบทความนี้ผู้เขียนได้รวบรวมข้อพิจารณาทางคลินิกที่มีผลต่อการกระจายแรงในฟันเทียมบางส่วนถอดได้และรากเทียมขนาดเล็ก ตามหลักการของ Sahin และคณะ[47] ดังหัวข้อต่อไปนี้ จำนวนและตำแหน่งของรากเทียม ความยาวของรากเทียม รูปแบบการเชื่อมต่อ



รูปที่ 3 *แรงในแนวดิ่ง (absolute axial loading; AL) แสดงทิศทางของแรงที่เป็นไปตามแนวแกนของรากเทียม โดยแรงในแนวขวาง (laterally positioned axial loading; LL) และ แรงเฉือน (oblique loading; OL) จะทำให้เกิดการสร้างโมเมนต์ดัดซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเค้นที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นที่รากเทียมและกระดูกรอบรากเทียม*

Figure 3 *Absolute axial loading (AL) provides even loading of implants. Laterally positioned axial loading (LL) and oblique loading (OL), however, create bending moments that cause unfavorable stress in the implant and the bond around implant.*

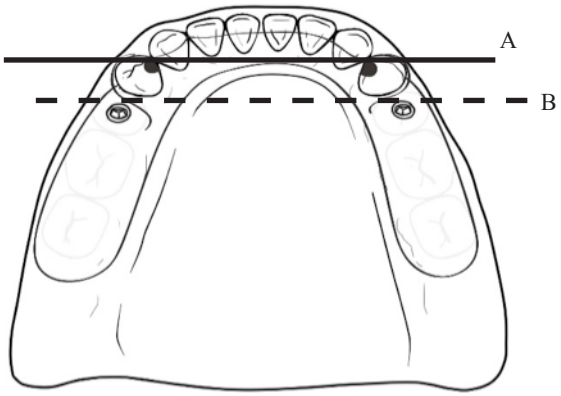
ระหว่างฟันเทียมและรากเทียม การออกแบบฟันเทียมบางส่วนถอดได้ และรูปแบบการสบฟันของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมรองรับ

ข้อพิจารณาทางคลินิกที่มีผลต่อการกระจายแรงในฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมขนาดเล็กร่วม

จำนวนและตำแหน่งของรากเทียมขนาดเล็ก

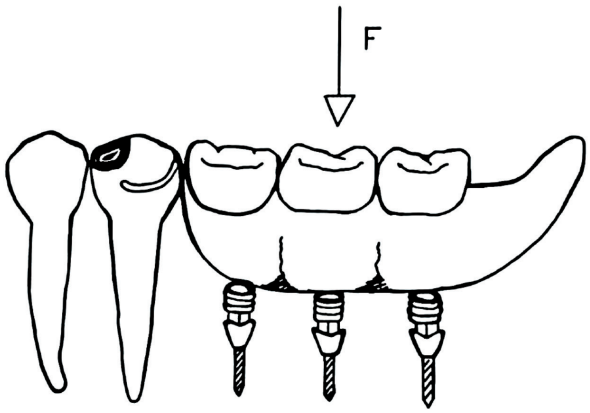
ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาใดที่กล่าวถึงปริมาณกระดูกรอบรากเทียมที่สามารถต้านทานแรงบดเคี้ยวได้อย่างชัดเจน พบว่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างรากเทียมและกระดูกของรากเทียมขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 มิลลิเมตร มีขนาดน้อยกว่าพื้นที่ผิวสัมผัสของรากเทียมแบบดั้งเดิมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 มิลลิเมตร ถึงร้อยละ 37[48,49] และพบว่าการใช้รากเทียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่จะช่วยปรับรูปแบบการกระจายความเค้น และความต้านทานการแตกหักของรากเทียมได้ดีกว่ารากเทียมขนาดเล็ก[50-52] จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าเมื่อมีแรงบดเคี้ยวที่มากกว่าปกติมากระทำในกรณีที่ใช้รากเทียมขนาดเล็ก จะส่งผลให้รากเทียมขนาดเล็กเกิดความล้มเหลวได้มากกว่า ดังนั้นการเพิ่มจำนวนของรากเทียมขนาดเล็กอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มพื้นที่ผิวของรากเทียม[22] Kunavisarut และ Kumpirichaya[22] ศึกษาอัตราความสำเร็จของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ในขากรรไกรบนและล่างที่มีรากเทียมขนาดเล็กร่วมในระยะสั้น โดยแนะนำตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับฝังรากเทียมขนาดเล็กว่า ตำแหน่งหลัก (strategic positions) ในการฝังรากเทียมควรอยู่บริเวณฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่ง และอาจเพิ่มจำนวนของรากเทียมอีก 1 ถึง 2 ตัว ในบริเวณฟันกรามน้อย เพื่อให้เกิดลักษณะการรองรับ 3 ตำแหน่ง (triangular support) หรือการรองรับ 4 ตำแหน่ง (quadrangular support) อย่างไรก็ตามพบว่าตำแหน่งของรากเทียม และคุณภาพของกระดูกไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความล้มเหลวของรากเทียม นอกจากนี้ Turkyilmaz[53] ได้เสนอรายงานผู้ป่วย (case report) 1 ราย โดยฝังรากเทียมแบบดั้งเดิม 2 ตำแหน่ง ที่บริเวณฟันกรามน้อยซี่ที่สอง และฟันกรามซี่ที่สอง เนื่องจากการฝังรากเทียม 2 ตำแหน่ง จะช่วยลดการเคลื่อนที่ของฐานฟันเทียมด้านท้ายได้ดีที่สุด และติดตามและประเมินผู้ป่วยเป็นระยะเวลา 18 เดือน พบว่าผู้ป่วยสามารถใช้ฟันเทียมที่มีรากเทียมร่วมได้เป็นอย่างดี และพบการสลายของขอบกระดูกรอบรากเทียม 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานคือ ภายใน 1 ปีแรกหลังจากการฝังรากเทียมจะต้องมีการสลายของกระดูกน้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร และในปีถัดไปจะต้องมีการสลายของกระดูกน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตรต่อปี[54,55]

จากการทบทวนวรรณกรรมจะเห็นได้ว่ายังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนและเหมาะสมสำหรับจำนวนและตำแหน่งของการใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ขยายฐานที่ไม่มีฟันหลักด้านท้าย หากพิจารณาการศึกษาที่มีลักษณะใกล้เคียงกันซึ่งใช้รากเทียมแบบดั้งเดิม[26,56,57] สามารถสรุปหลักเกณฑ์ในการพิจารณาจำนวน และตำแหน่งของรากฟันโดยพิจารณาจากสภาวะปริทันต์ของฟันหลักยึดเป็นสำคัญ Hegazy และคณะ[58] ได้เปรียบเทียบความเค้นที่เกิดขึ้นที่ฟันหลักยึดของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ โดยฝังรากเทียมที่ตำแหน่งแตกต่างกัน 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 เป็นบริเวณใกล้กับฟันหลักยึด หรือบริเวณฟันกรามซี่ที่ 2 เป็นบริเวณที่ไกลจากฟันหลักยึด พบว่าความเค้นสะสมอยู่บริเวณรอบฟันหลักยึดและรอบรากเทียมมีค่ามากที่สุดเมื่อฝังรากเทียมในบริเวณใกล้ฟันหลักยึด ซึ่งสอดคล้องกับ Memari และคณะ[59] ซึ่งศึกษาผลของตำแหน่งรากเทียมต่อการกระจายความเค้นในฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ พบว่าความเค้นสะสมที่รากเทียม ฟันหลักยึด และกระดูกโปร่ง (cancellous bone) มีค่ามากที่สุด เมื่อฝังรากเทียมบริเวณฟันกรามน้อยซี่ที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณใกล้กับฟันหลักยึด นอกจากนี้ Cunha และคณะ[60] อธิบายว่าการฝังรากเทียมที่ตำแหน่งใกล้หรือไกลฟันหลักยึดสามารถช่วยลดการเคลื่อนขยับของฟันเทียมลงได้ทุกกรณี โดยการฝังรากเทียมที่ตำแหน่งกึ่งกลางของฟันเทียมแบบขยายฐาน จะช่วยลดการเคลื่อนขยับได้มากที่สุด และการฝังรากเทียมในตำแหน่งใกล้กับฟันหลักจะช่วยลดการกระจายความเค้นบนฟันหลักยึดได้มากที่สุด เนื่องจากกรณีดังกล่าวมีการย้ายจุดหมุนและจุดรองรับแรง ดังแสดงในรูปที่ 4 ทำให้ปริมาณแรงที่กระทำต่อฟันหลักยึดมีค่าน้อยลง ในขณะที่การฝังรากเทียมที่สันเหงือกว่างด้านท้าย จะทำให้มีแรงกระทำต่อฟันหลักยึดด้านหน้า และรากเทียมด้านท้าย ซึ่งปริมาณของแรงกระทำต่อฟันหลักยึดและรากเทียมจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างแรงกระทำกับฟันหลักยึด และรากเทียม



รูปที่ 4 *การเปลี่ยนจุดหมุนจากฟันหลักยึด (A) มาที่รากเทียม (B)*

Figure 4 *Fulcrum line is moved from abutment teeth (A) to implants (B)*



A B C

ตำแหน่งรากเทียม	**A**	**B**	**C**
การเคลื่อนที่ของฟันเทียม	>>>	>>	>
แรงที่กระทำต่อฟันหลักยึด	>	>>	>>>
แรงที่กระทำต่อรากเทียม	>	>>>	>>

เครื่องหมาย “>” แสดงแรงที่กระทำน้อยที่สุด

เครื่องหมาย “>>” แสดงแรงที่กระทำปานกลาง

เครื่องหมาย “>>>” แสดงแรงที่กระทำมากที่สุด

รูปที่ 5 *แสดงผลของตำแหน่งของรากเทียมที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ในขากรรไกรล่างแบบขยายฐาน และแรง (F) ที่กระทำบริเวณฟันหลักยึดและรากเทียม*

Figure 5 *Effects of implant locations on lower distal extended removable partial denture displacement and forces (F) transmitted to abutment tooth and dental implants.*

ดังแสดงในรูปที่ 5 จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นหากฟันหลักยึดมีสภาวะของโรคปริทันต์ ควรทำการฝังรากเทียมที่บริเวณใกล้ฟันหลักยึดเพื่อลดความเค้นสะสมบริเวณฟันหลักยึด และถ้าหากฟันหลักยึดไม่มีสภาวะของโรคปริทันต์ ควรฝังรากเทียมที่ด้านไกลกลาง เพื่อลดความเค้นสะสมที่รากเทียม และลดการเคลื่อนขยับของฟันเทียมได้มากกว่าการฝังรากเทียมที่บริเวณใกล้ฟันหลักยึด

ความยาวของรากเทียมขนาดเล็ก

การยึดติดของรากเทียมกับกระดูกโดยรอบจะมีความสัมพันธ์กับความยาวของรากเทียม พบว่าการฝังรากเทียมที่มีความยาวสั้น จะมีอัตราความสำเร็จของรากเทียมลดลง[61,62] Calvo และคณะ[63] ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบรากเทียมที่มีความยาวสั้นพิเศษ (extra short implant) ความยาว 4 มิลลิเมตร กับรากเทียมที่มีความยาว 10 มิลลิเมตร พบว่าอัตราการอยู่รอดของรากเทียมที่มีความยาวสั้นพิเศษที่ระยะเวลา 12 เดือน น้อยกว่าอัตราการอยู่รอดของรากเทียมที่มีความยาวแบบดั้งเดิม คิดเป็นร้อยละ 97.5 และ 100 ตามลำดับ Verri และคณะ[64] ศึกษาผลของความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากเทียมที่ใช้รองรับฟันเทียมบางส่วนชนิดถอดได้แบบขยายฐาน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติ พบว่าการเพิ่มความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากเทียมจะช่วยลดค่าความเค้นที่บริเวณรากเทียมและกระดูกรอบรากเทียม ส่วนการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากเทียมจะมีผลลดค่าความเค้นที่บริเวณส่วนปลายของรากเทียมอย่างชัดเจน ส่วนการเพิ่มความยาวของรากเทียมเพียงอย่างเดียวจะช่วยลดการเคลื่อนที่ของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่บริเวณด้านใกล้กลางและไกลกลางของรากเทียม และช่วยลดความเค้นที่บริเวณส่วนคอของรากเทียม และที่เกลียวลำดับแรกของรากเทียมลง ส่งผลให้ลดการละลายของกระดูกในบริเวณดังกล่าว เนื่องจากมีการเปลี่ยนจุดหมุนของรากเทียมให้อยู่ต่ำลง ดังนั้นมีหลายการศึกษาที่แนะนำให้เพิ่มความยาวของรากเทียมขนาดเล็กให้มีความยาวมากที่สุดเท่าที่สามารถฝังรากเทียมขนาดเล็กได้ เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ซึ่งสัมพันธ์กับความเสถียรในช่วงต้น (primary stability)[65-68] ของรากเทียม จากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดในประเด็นความยาวของรากเทียมขนาดเล็ก และการศึกษา

ในประเด็นเกี่ยวกับความยาวของรากเทียมขนาดเล็กมีปริมาณน้อย ผู้เขียนจึงอ้างอิงจากกรณีฟันเทียมทั้งปากที่มีรากเทียมขนาดเล็กร่วม ซึ่งมีหลายการศึกษาที่แนะนำให้ใช้รากเทียมขนาดเล็กที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร[15,17,21,69-71] 13 มิลลิเมตร[15,70-74] และ 15 มิลลิเมตร[15,16,21,70,75-77] ตามลำดับ และมีหลายการศึกษาที่แนะนำให้ใช้รากเทียมแบบดั้งเดิมที่มีความยาวตั้งแต่ 8.5-13 มิลลิเมตร[35,78,79] ร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ ส่วนการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับรากเทียมขนาดเล็ก Kunavisarut และ Kumpirichaya[5] พบว่าความล้มเหลวของรากเทียมขนาดเล็กที่รองรับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่ระยะเวลา 6 เดือน ไม่มีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้รากเทียมขนาดเล็กที่มีความยาวน้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับ Flanagan และ Mascolo[18] ได้แนะนำให้ใช้รากเทียมขนาดเล็กที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 11.5 มิลลิเมตร

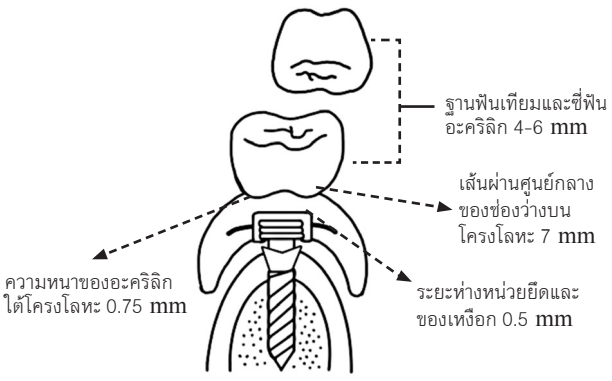
รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างฟันเทียมบางส่วนถอดได้กับรากเทียม

รากเทียมขนาดเล็กมักถูกออกแบบให้ส่วนหน่วยยึด (attachment) และรากเทียมเชื่อมติดเป็นชิ้นเดียวกันทั้งหมด (one piece design) ดังนั้นการเลือกใช้หน่วยยึดโดยส่วนใหญ่ มักจะเลือกใช้หน่วยยึดชนิดยึดหยุ่นที่สามารถแยกหน่วยยึดตัวผู้ และตัวเมียออกจากกันได้ เนื่องจากหน่วยยึดชนิดนี้สามารถชดเชยการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันระหว่างรากเทียมและฟันหลักธรรมชาติได้[80] ปัจจุบันมีหน่วยยึดหลายชนิดที่ออกแบบใช้กับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ เช่น หน่วยยึดบอลโอริง (O-ring ball attachment) หน่วยยึดโลเคเตอร์ (locator attachment®: Zest Anchors, LLC) และหน่วยยึดอีเควเตอร์ (Equator attachment®: Rhein 83 Co,Ltd., Bologna, Italy) ซึ่งหน่วยยึดแต่ละชนิดจะถูกนำมาใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

หน่วยยึดบอลโอริง หน่วยยึดชนิดนี้ถูกนำมาใช้งานทางด้านทันตกรรมอย่างยาวนาน และมีการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับรากเทียมได้หลายรูปแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้เพื่อแก้ปัญหาเมื่อผู้ป่วยได้รับการฝังรากเทียมไม่ขนานกัน แต่ในปัจจุบันหน่วยยึดชนิดนี้มักไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากหน่วยยึดชนิดนี้ต้องการความสูงระหว่างสันเหงือกมาก โดยต้องการความสูงประมาณ 5 ถึง 6 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องว่างสำหรับส่วนประกอบของหน่วยยึดบอลโอริง

หน่วยยึดโลเคเตอร์ และหน่วยยึดอีเควเตอร์ หน่วยยึดรูปแบบนี้มักถูกเลือกใช้งานร่วมกับรากเทียมขนาดเล็กเพราะราคาถูก สามารถชดเชยมุมของรากเทียมที่ไม่สามารถใช้หลักยึดแบบมุม (angle abutment) ได้ และสามารถใช้ในกรณีช่องว่างระหว่างสันเหงือกไม่เพียงพอ โดยหน่วยยึดโลเคเตอร์หน่วยยึดอีเควเตอร์ต้องการความสูงช่องว่างระหว่างสันโดยประมาณ 3.25 มิลลิเมตร และ 2.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ หน่วยยึดทั้งสองชนิดนี้มีขั้นตอนการประกอบหน่วยยึดเข้ากับฟันเทียมไม่ยุ่งยาก ให้การยึดติดได้หลายระดับ และวิธีการดูแลรักษามีขั้นตอนไม่ยุ่งยากผู้ป่วยสามารถดูแลรักษาได้ด้วยตนเอง[69,81] จึงเป็นหน่วยยึดที่ถูกนิยมใช้มากในปัจจุบัน

เมื่อประกอบหลักยึดเข้ากับรากเทียม ต้องมีระยะห่างของหน่วยยึดและเนื้อเยื่ออ่อนอย่างน้อย 0.5 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการบาดเจ็บของเนื้อเยื่ออ่อน และชดเชยการเคลื่อนขยับในแนวดิ่งของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ขณะได้รับแรงบดเคี้ยว และควรเว้นช่องว่างสำหรับฐานฟันเทียมอะคริลิก และซี่ฟันพลาสติกประมาณ 4 ถึง 6 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการแตกหักของฐานฟันเทียมอะคริลิก ดังแสดงในรูปที่ 6 จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุประยะที่ต้องการระหว่างสันเหงือกและฟันคู่สบ ดังแสดงได้ในตารางที่ 2



รูปที่ 6 *ระยะที่ต้องการสำหรับส่วนประกอบของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมขนาดเล็กร่วม*

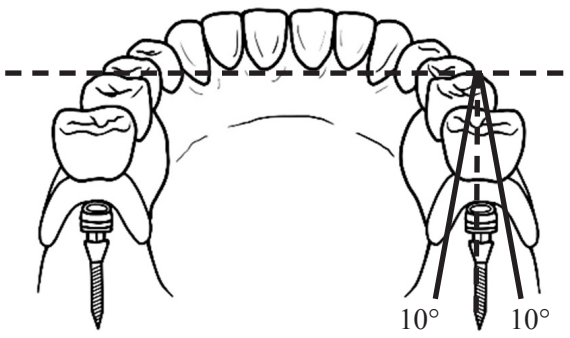
Figure 6 *Required space for each components of mini dental implant assisted removable partial denture.*

ตารางที่ 2 *ระยะที่ต้องการระหว่างสันเหงือกและฟันคู่สบ สำหรับชนิดหน่วยยึดแบบต่าง ๆ*

Table 2 *Required space between edentulous ridge and opposing tooth for any attachment types.*

ความสูง (มิลลิเมตร) / ชนิดหน่วยยึด	ความสูงของหน่วยยึด	ระยะที่ต้องการระหว่างสันเหงือกและฟันคู่สบ
หน่วยยึดบอลโอริง	5 - 6	9.5 - 12.5
หน่วยยึดโลเคเตอร์	3.25	7.75 - 9.75
หน่วยยึดอีเควเตอร์	2.1	6.6 - 8.6

ทันตแพทย์ควรเลือกใช้หน่วยยึดที่มีแรงยึด 0 ถึง 5 ปอนด์ ซึ่งเป็นแรงยึดติดของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่ผู้ป่วยมีความพึงพอใจ[69,81] นอกจากนี้แนวการเอียงตัวของรากเทียมจะขึ้นกับทิศทางการฝังรากเทียม โดยต้องมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบบดเคี้ยว และมีทิศทางขนานกับรากเทียมตัวอื่นให้มากที่สุด โดยการเอียงของรากเทียมที่เอียงทำมุมไม่เกิน 10 องศากับแนวดิ่ง[82,83] จะไม่ส่งผลกระทบต่อหลักชีวกลศาสตร์ของรากเทียม[84] ดังแสดงในรูปที่ 7 แต่ในกรณีที่ทันตแพทย์ฝังรากเทียมและรากเทียมมีแนวการเอียงมากกว่า 10 องศา ทันตแพทย์ควรเลือกใช้หน่วยยึดแบบสั้น เช่น หน่วยยึดโลเคเตอร์ และหน่วยยึดอีเควเตอร์ ร่วมกับเอ็กซ์เท็นดิด เรนจ์ เมล (extended range male) เป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาการฝังรากเทียมที่ไม่ตั้งฉากกับระนาบการสบฟัน หรือการฝังรากเทียมไม่ขนานกันได้สูงสุด 20 องศา[85]



รูปที่ 7 *การเอียงตัวของรากเทียมขนาดเล็กไม่ควรเอียงเกิน 10 องศาจากแนวดิ่ง*

Figure 7 *Inclination of mini dental implant should not exceed 10 degrees.*

การออกแบบฟันเทียมบางส่วนถอดได้

การออกแบบฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วมจะใช้หลักการออกแบบคล้ายกับการออกแบบฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม[26] เนื่องจากฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วมยังต้องการการรองรับจากฟันธรรมชาติและเนื้อเยื่ออ่อน เช่นเดียวกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม แต่อาจมีความแตกต่างออกไปเล็กน้อย โดยจะมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาการออกแบบฟันเทียมบางส่วนถอดได้ดังต่อไปนี้

การออกแบบตะขอ การออกแบบตะขอของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ เมื่อมีลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี I และ II พบว่าตะขอที่มีลักษณะต้นตะขอออกจากสันเหงือก (gingival approach) เช่น ตะขอระบบอาร์พีไอ (RPI clasp) ตะขอระบบอาร์พีเอ (RPA clasp) ตะขอระบบอาร์พีแอล (RPL clasp) และตะขอปลายกลับ (Equipoise, back action type clasp) จะส่งผลให้มีแรงมากระทำต่อฟันหลักยึดน้อยกว่าตะขอที่มีการออกแบบออกจากด้านบดเคี้ยว (occlusal approach)[86] และการออกแบบตะขอชนิดที่มีการหลุดได้เมื่อมีการยุบตัวของฟันเทียมนั้น จะช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้นกับฟันหลักยึดได้[87,88] ดังนั้นตะขอที่นิยมกันอย่างแพร่หลายสำหรับฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบขยายฐาน คือ ตะขอระบบอาร์พีไอ[87] ส่วนการออกแบบตะขอของฟันเทียมบางส่วนถอดได้เมื่อมีลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี III จะมีการออกแบบตะขอที่มีลักษณะง่ายและมีความเหมาะสมคือด้านที่มีฟันเหลืออยู่ทั้งหมดจะใช้ตะขอพาดช่องระหว่างฟัน (embrasure clasp) ส่วนด้านที่เป็นสันเหงือกว่างมักจะเลือกใช้ตะขอเอเคอร์ (Aker's clasp) ทั้งนี้ต้องขึ้นกับตำแหน่งของส่วนคอด และความเหมาะสมของฟันหลักยึดด้วย[89]

การออกแบบส่วนพัก การออกแบบส่วนพักของฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม พบว่าเมื่อมีลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี I และ II หากออกแบบส่วนพักไว้ทางด้านใกล้กลางจะมีข้อดีมากกว่าการวางส่วนพักไว้ทางด้านไกลกลาง เนื่องจากจะมีแรงบิดงัดต่อฟันหลักยึดน้อย[90,91] ช่วยถ่ายทอดแรงสู่แนวแกนฟันหลักยึด ลดการบาดเจ็บของสันเหงือกว่าง ต้านการกระดกของฟันเทียม และลดการเคลื่อนขยับของฟันเทียมด้านท้าย[92] แต่ Hanako และคณะ[93] ศึกษาผลของตำแหน่งส่วนพักด้านบดเคี้ยวที่มีผลต่อการ

กระจายแรงกดใต้ฐานฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบขยายฐาน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการวางส่วนพักที่ด้านไกลกลางและการวางส่วนพัก 2 ด้าน คือด้านใกล้และไกลกลาง ($p < .05$, Tukey's honestly significant difference test) ทำให้การออกแบบส่วนพักที่ด้านไกลกลางจะกระจายแรงกดบริเวณใต้ฐานฟันเทียมได้มากกว่าการออกแบบส่วนพักที่ด้านใกล้กลาง ซึ่งสอดคล้องกับ Shahmiri และคณะ[78] ศึกษาผลของตำแหน่งของส่วนพักของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมแบบดั้งเดิมร่วม โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติ พบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของส่วนพักจากด้านใกล้กลางเป็นด้านไกลกลาง จะเกิดความเค้นที่โครงโลหะเพิ่มมากขึ้น โดยความเค้นที่ฐานฟันเทียมอะคริลิกจะลดน้อยลง ถ้าส่วนพักอยู่ทางด้านไกลกลาง บริเวณที่มีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดในโครงโลหะ จะอยู่ห่างจากรอยต่อระหว่างโครงโลหะกับฐานฟันเทียมอะคริลิกมากกว่าในกรณีออกแบบส่วนพักไว้ด้านใกล้กลาง ทำให้ฐานฟันเทียมอะคริลิกมีโอกาสเกิดการแตกหักได้น้อยกว่าการออกแบบส่วนพักไว้ทางด้านใกล้กลาง ดังนั้นหลักเกณฑ์ในการออกแบบส่วนพักของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม โดยควรออกแบบส่วนพักมาไว้ที่ด้านไกลกลางแทน ซึ่งอาจจะแตกต่างจากการออกแบบฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม[94]

การออกแบบโครงโลหะสำหรับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ ควรเปิดช่องว่างบนโครงโลหะเพื่อเป็นที่อยู่ของฐานฟันเทียมอะคริลิกที่ใช้เชื่อมโครงโลหะกับหน่วยยึดอย่างน้อย 1.5 มิลลิเมตร โดยรอบของหน่วยยึด เพื่อป้องกันการแตกหักของฐานฟันเทียมอะคริลิก[81,95] Limpattamapanee[80] แนะนำการออกแบบโครงโลหะว่าควรเปิดช่องว่างบนโครงโลหะเพื่อเป็นที่อยู่ของฐานฟันเทียมอะคริลิกเป็นรูปวงกลมรัศมี 7 มิลลิเมตร และควรออกแบบโครงโลหะให้สามารถแก้ไขเพิ่มเติมจำนวนรากเทียมในอนาคตได้ Shahmiri และคณะ[79] ได้ศึกษาการบิดเบี้ยวของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ขยายฐานที่มีรากเทียมร่วมขณะได้รับแรงกดทั้งสองข้างของขากรรไกร พบว่าเมื่อฟันเทียมได้รับแรงกด จะเกิดการบิดเบี้ยวทั้งในส่วนของฐานฟันเทียมอะคริลิกและโครงโลหะ แต่เนื่องจากฐานฟันเทียมอะคริลิกมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นต่ำ จึงมีโอกาสเกิดความแตกหักได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงโลหะ ดังนั้นเพื่อป้องกันการแตกหักของฐานฟันเทียมอะคริลิก พื้นที่สำหรับฐานฟันเทียมอะคริลิกใต้ต่อโครงโลหะควรมีพื้นที่เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร เพื่อให้โครงโลหะช่วยรองรับ และกระจายแรงบดเคี้ยว

รูปแบบการสบฟันของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนถึงรูปแบบการสบฟันของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม โดยทั่วไปมักจะมีการออกแบบรูปแบบการสบฟันของฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วมให้เหมือนกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม[81] โดย Carr และ Brown[96] ได้สรุปลักษณะการสบฟันสำหรับฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิมไว้ดังต่อไปนี้

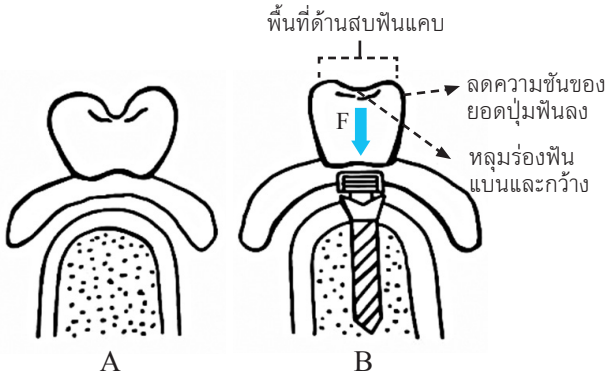
1. ฟันเทียมต้องมีการสบที่พร้อมกันบนฟันทั้งสองข้างของขากรรไกรเมื่ออยู่ในตำแหน่งความสัมพันธ์ในศูนย์
2. รูปแบบการสบฟันสำหรับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีฟันธรรมชาติรองรับตามลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี III ควรเลือกรูปแบบการสบฟันให้เหมือนกับรูปแบบการสบฟันธรรมชาติก่อนหน้า เนื่องจากฟันเทียมจะมีเสถียรภาพจากส่วนยึดหลัก (direct retainer) ทั้งสองด้านของฐานฟันเทียมอยู่แล้ว
3. เลือกใช้รูปแบบการสบฟันแบบได้ดุลทั้งสองข้าง (bilateral balance occlusion) เมื่อฟันเทียมบางส่วนถอดได้สบกับชุดฟันเทียมเดี่ยว (single denture) เพราะจะเกิดเสถียรภาพกับชุดฟันเทียมเดี่ยวมากที่สุด
4. ในฟันเทียมบางส่วนถอดได้ในขากรรไกรล่างแบบขยายฐาน ควรสร้างรูปแบบการสบฟันให้มีสัมผัสด้านใช้งาน (working side contact) ให้กระจายตัวพร้อมกันกับฟันธรรมชาติ เพื่อกระจายความเค้นไปยังพื้นที่อื่นที่สามารถรับแรงบดเคี้ยวได้
5. ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี I ในขากรรไกรบน ควรสร้างรูปแบบการสบฟันให้มีทั้งการสัมผัสด้านใช้งานและการสัมผัสด้านดุล (balancing contact) พร้อมกันทั้งสองด้านของขากรรไกร
6. ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี II ทั้งในขากรรไกรบน และล่างจะต้องสร้างให้มีรูปแบบการสบฟันให้มีเฉพาะการสัมผัส

ด้านใช้งาน โดยด้านที่มีสัมผัสด้านดุลจะไม่ทำให้ฟันเทียมมีเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากด้านสัมผัสด้านดุลมีฟันธรรมชาติรองรับอยู่แล้ว

7. ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีลักษณะสันเหงือกว่างตามการจำแนกแบบเคนเนดี IV ควรมีจุดสบของฟันด้านหน้าร่วมด้วย เพราะจะช่วยป้องกันการงอกเกินของฟันธรรมชาติที่เป็นฟันคู่สบที่เหลืออยู่

8. ตำแหน่งของซี่ฟันเทียมด้านท้ายไม่ควรเกินกว่าแนวพื้นเอียงด้านท้ายขากรรไกรล่าง (incline of the mandibular residual ridge) หรือเกินกว่าแผ่นนวมท้ายฟันกรามล่าง เพราะจะทำให้ฟันเทียมด้านหน้ามีการกระดก

นอกจากนี้ Omura และคณะ[81] ได้เสนอข้อพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม คือ ฟันเทียมฟันส่วนถอดได้ควรได้รับการออกแบบ ให้มีรูปแบบการสบฟันที่สามารถถ่ายทอดแรงบดเคี้ยวไปตามแนวแกนของรากเทียมมากที่สุด เนื่องจากแรงในแนวขวางที่มากระทำกับฟันเทียม อาจสร้างความเสียหายต่อรากเทียมได้ ดังนั้น เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดแรงไปตามแนวแกนของรากเทียม[97] ควรออกแบบรูปร่างของซี่ฟันเทียมด้านบดเคี้ยวให้มีการลดความชันปุ่มยอดฟัน[98,99] มีรูปร่างฟันกรามที่มีหลุมร่องฟันแบนและกว้าง[99] มีพื้นที่ด้านสบฟัน (occlusal table) แคบ[100] และมีการสร้างปุ่มยอดฟันให้สบบริเวณกึ่งกลางรากเทียม[97] ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8A *การเลือกใช้ซี่ฟันเทียมบนด้านบดเคี้ยวในฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม*

รูปที่ 8B *การเลือกใช้ซี่ฟันเทียมบนด้านบดเคี้ยวในฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมร่วม*

Figure 8A *Selection of artificial teeth on the occlusion in conventional removable partial denture.*

Figure 8B *Selection of artificial teeth on the occlusion in dental implant assisted removable partial denture.*

สรุป

รากเทียมขนาดเล็กมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้รองรับและให้การยึดอยู่แก่ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ ซึ่งตำแหน่งที่ใช้ในการฝังรากเทียม ความยาวของรากเทียม การเลือกใช้หน่วยยึด การออกแบบฟันเทียมบางส่วนถอดได้ การเอียงตัวของรากเทียม และรูปแบบการสบฟันบนฟันเทียมบางส่วนถอดได้ที่มีรากเทียมขนาดเล็กร่วม เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการรักษาผู้ป่วยด้วยรากเทียมขนาดเล็ก จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าการศึกษาส่วนใหญ่จะกล่าวถึงการใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมทั้งปากในขากรรไกรบนและในขากรรไกรล่าง ส่วนการใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ยังมีการศึกษาอยู่เป็นจำนวนน้อย ซึ่งจากการข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปข้อพิจารณาทางคลินิกสำหรับการใช้รากเทียมขนาดเล็กร่วมกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้ดังต่อไปนี้

1. จำนวน และตำแหน่งของรากเทียมขนาดเล็ก พบว่ายังไม่มีหลักฐานยืนยันที่ชัดเจนในเรื่องตำแหน่งของรากเทียม โดยอาจต้องมีการเพิ่มจำนวนของรากเทียมขนาดเล็กเพื่อช่วยกระจายความเค้นไปยังรากเทียมในบริเวณอื่น โดยหากผู้ป่วยมีสภาวะปริทันต์ของฟันหลักยึด ควรฝังรากเทียมที่บริเวณใกล้ฟันหลักยึด และเลือกฝังรากเทียมที่ด้านไกลกลาง เพื่อช่วยลดความเค้นสะสมที่รากเทียม และลดการเคลื่อนขยับของฟันเทียม

2. ความยาวรากเทียมขนาดเล็ก พบว่า รากเทียมขนาดเล็ก ควรมีความยาวไม่น้อยกว่า 11.5 มิลลิเมตร

3. ชนิดของหน่วยยึด พบว่า ควรเป็นหน่วยยึดชนิดยึดหยุ่นได้ คือหน่วยยึดโลเคเตอร์และหน่วยยึดอีเควเตอร์ และควรเว้นระยะห่างระหว่างหน่วยยึดและขอบเหงือกอย่างน้อย 0.5 มิลลิเมตร

4. การออกแบบฟันเทียม พบว่าใช้หลักเกณฑ์ในการออกแบบฟันเทียมเหมือนกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม แต่การออกแบบส่วนพักจะมีการออกแบบแตกต่างออกไป โดยออกแบบส่วนพักให้อยู่ทางด้านไกลกลาง และควรเหลือช่องว่างด้านล่างของโครงโลหะอย่างน้อย 0.75

มิลลิเมตร สำหรับฐานฟันเทียมอะคริลิก นอกจากนี้ควรเว้นช่องสำหรับหน่วยยึดบนโครงโลหะประมาณ 7 มิลลิเมตร

5. ความขนานของรากเทียมขนาดเล็ก พบว่า ไม่ควรฝังรากเทียมขนาดเล็กให้มีทิศทางแตกต่างกันเกิน 10 องศา แต่ถ้าหากรากเทียมขนาดเล็กมีทิศทางแตกต่างมากจนเกินไป ให้แก้ไขด้วยการเลือกใช้หน่วยยึดที่มีความสูงน้อย ได้แก่ หน่วยยึดโลเคเตอร์ และหน่วยยึดอีเควเตอร์ ร่วมกับเอ็กซ์เท็นดิดเรนจ์ เมล

6. รูปแบบการสบฟัน พบว่า ควรออกแบบรูปแบบการสบฟันให้เหมือนกับฟันเทียมบางส่วนถอดได้แบบดั้งเดิม และควรออกแบบรูปร่างของซี่ฟันเทียมด้านบดเคี้ยวให้มีการลดความชันปุ่มยอดฟัน มีรูปร่างฟันกรามที่มีหลุมร่องฟันแบนและกว้าง มีพื้นที่ด้านสบฟันแคบ และมีการสร้างปุ่มยอดฟันให้สบบริเวณกึ่งกลางรากเทียม

เอกสารอ้างอิง

1. Department of Health. The 7th National Oral Health Survey, Thailand 2012: The War Veterans Organization of Thailand; 2013(in Thai).
2. Friedman PK, Lamster IB. Tooth loss as a predictor of shortened longevity: exploring the hypothesis. *Periodontol 2000* 2016; 72(1): 142-152.
3. Mittal S, Tewari S, Goel R. Esthetic and functional rehabilitation of mutilated dentition and loss of vertical dimension due to amelogenesis imperfecta. *Indian J Dent* 2014; 5(2): 102-106.
4. Wang MQ, Xue F, He JJ, et al. Missing posterior teeth and risk of temporomandibular disorders. *J Dent Res* 2009; 88(10): 942-945.
5. Costa MD, Froes Junior GdRT, Santos CN. Evaluation of occlusal factors in patients with temporomandibular joint disorder. *Dental Press J Orthod* 2012; 17(6): 61-68.
6. Gupta K, Javiya P, Kumar P, et al. Rehabilitation of lost vertical dimension with cast post core and cast partial denture. *BMJ Case Rep* 2013; 2013: 1-4.
7. Wetherell JD, Smales RJ. Partial denture failures: a long-term clinical survey. *J Dent* 1980; 8(4): 333-340.
8. Keltjens HMAM, Kayser AF, Hertel R, et al. Distal extension removable partial dentures supported by implants and residual teeth: considerations and case reports. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993; 8(2): 68-77.
9. Halterman SM, Keith JD, Nelson DR, et al. Implant Support for Removable Partial Overdentures: a Case Report. *Implant Dent* 1999; 8(1): 74-78.
10. Karas S, Mijiritsky E. Removable partial denture design involving teeth and implants as an alternative to unsuccessful fixed implant therapy: a case report. *Implant Dent* 2004; 13(3): 218-222.
11. Klinger A, Mardinger O, Mijiritsky E, et al. Use of dental implants to improve unfavorable removable partial denture design. *Compend Contin Educ Dent* 2005; 26(10): 744-746.
12. Mitrani R, Brudvik JS, Phillips KM. Posterior implants for distal extension removable prostheses: a retrospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003; 23(4): 352-359.
13. Threeburuth W, Khongkhunthian P. The use of immediated-load mini dental implant to retain mandibular distal-extension removable partial denture: a preliminary prospective clinical study results. *CM Dent J* 2017; 39(2): 75-85. (in Thai)

14. De Souza RF, Ribeiro AB, Della Vecchia MP, et al. Mini vs. standard implants for mandibular overdentures: a randomized trial. *J Dent Res* 2015; 94(10): 1376-1384.
15. Schwindling FS, Schwindling FP. Mini dental implants retaining mandibular overdentures: A dental practice-based retrospective analysis. *J Prosthodont Res* 2015; 60(3): 193-198.
16. Omran M, Abdelhamid A, Elkarargy A, et al. Mini-implant overdenture versus conventional implant overdenture (a radiographic and clinical assessments). *J Am Sci* 2013; 9(9): 89-97.
17. Kanazawa M, Feine J, Esfandiari S. Clinical guidelines and procedures for provision of mandibular overdentures on 4 mini-dental implants. *J Prosthet Dent* 2016; 117(1): 22-27.
18. Flanagan D, Mascolo A. The mini dental implant in fixed and removable prosthetics: a review. *J Oral Implantol* 2011; 37(1): 123-132.
19. Christensen GJ, Swift EJ. Mini implants: good or bad for long-term service? *J Esthet Dent* 2008; 20(5): 343-348.
20. Academic Development Subcommittee. *Guideline for lower dental implant in single denture*. Nonthaburi Thailand: Dental implant project office,Institute of Dentistry; 2008: 23-39.(in Thai).
21. Zygogiannis K, Wismeijer D, Parsa A. A pilot study on mandibular overdentures retained by mini dental implants: marginal bone level changes and patient-based ratings of clinical outcome. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016; 31(5): 1171-1178.
22. Kunavisarut C, Kumpirichaya R. Short-term evaluation of mini-implant retained removable partial denture. *M Dent J* 2014; 34(3): 215-224.
23. Laney WR. Glossary of oral and maxillofacial implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017; 32(4): 1-199.
24. Ferro KJ, Morgano SH, Driscoll CF, et al. The glossary of prosthodontic terms: 9th edition. *J Prosthodont.* 2017; 117(5): 1-105.
25. Mijiritsky E, Lorean A, Mazor Z, et al. Implant tooth-supported removable partial denture with at least 15-year long-term follow-up. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015; 17(5): 917-922.
26. Grossmann Y, Nissan J, Levin L. Clinical effectiveness of implant-supported removable partial dentures: a review of the literature and retrospective case evaluation. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67(9): 1941-1946.
27. Kaufmann R, Friedli M, Hug S, et al. Removable dentures with implant support in strategic positions followed for up to 8 years. *Int J Prosthodont* 2009; 22(3): 233-241.
28. Christensen GJ. The 'mini'-implant has arrived. *JADA* 2006; 137(3): 387-390.
29. Manderson R, Wills D, Picton D. *Biomechanics of denture-supporting tissues*. Proceedings of the 2nd International Prosthodontic Congress; 1979: The CV Mosby St. Louis, Mo, USA.
30. Ellakwa A. Damage caused by removable partial dentures: reality. *Int J Dent* 2012; 2(4): 107-108.
31. Rocha EP, Francisco SB, Del Bel Cury AA, et al. Longitudinal study of the influence of removable partial denture and chemical control on the levels of Streptococcus mutans in saliva. *J Oral Rehabil* 2003; 30(2): 131-138.

32. Verri FR, Pellizzer EP, Pereira JA, et al. Evaluation of bone insertion level of support teeth in class I mandibular removable partial denture associated with an osseointegrated implant: a study using finite element analysis. *Implant Dent* 2011; 20(3): 192-201.
33. de Freitas RF, de Carvalho Dias K, da Fonte Porto Carreiro A, et al. Mandibular implant-supported removable partial denture with distal extension: a systematic review. *J Oral Rehabil* 2012; 39(10): 791-798.
34. Zancope K, Abrao GM, Karam FK, et al. Placement of a distal implant to convert a mandibular removable Kennedy class I to an implant-supported partial removable Class III dental prosthesis: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2015; 113(6): 528-533.
35. Ohkubo C, Kobayashi M, Suzuki Y, et al. Effect of implant support on distal-extension removable partial dentures: in vivo assessment. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; 23(6): 1095-1101.
36. Carr AB, Brown DT. Chapter 25-Considerations for the use of dental implants with removable partial dentures. *McCracken's Removable Partial Prosthodontics*. 12th ed. Saint Louis: Mosby; 2011. 338-345.
37. Quirynen M, Naert I, Steenberghe D, et al. Periodontal aspects of osseointegrated fixtures supporting a partial bridge. *J Clin Periodonto* 1992; 19(2): 118-126.
38. Cox JF, Zarb GA. The longitudinal clinical efficacy of osseointegrated dental implants: a 3-year report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1987; 2(2): 38-59.
39. Adell R, Eriksson B, Lekholm U, et al. A long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5(4): 1-26.
40. Ahlqvist J, Borg K, Gunne J, et al. Osseointegrated implants in edentulous jaws: a 2-year longitudinal study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5(2): 155-163.
41. Oh WS, Oh TJ, Park JM. Impact of implant support on mandibular free-end base removable partial denture: theoretical study. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27(2): 87-90.
42. Oh TJ, Yoon J, Misch CE, et al. The causes of early implant bone loss: myth or science? *J Periodontol* 2002; 73(3): 322-333.
43. Jemt T, Lekholm U, Adell R. Osseointegreated implants in the treatment of partially edentulous patients: a preliminary study on 876 consecutively placed fixtures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1989; 4(3): 44-58.
44. Lindquist LW, Rockler B, Carlsson GE. Bone resorption around fixtures in edentulous patients treated with mandibular fixed tissue-integrated prostheses. *J Prosthet Dent* 1988; 59(1): 59-63.
45. Naert I, Quirynen M, van Steenberghe D, et al. A study of 589 consecutive implants supporting complete fixed prostheses. part II: prosthetic aspects. *J Prosthet Dent* 1992; 68(6): 949-956.
46. Duyck J, Naert I, Ronold HJ, et al. The influence of static and dynamic loading on marginal bone reactions around osseointegrated implants: an animal experimental study. *Clin Oral Implants Res* 2001; 12(3): 207-218.

47. Sahin S, Cehreli MC, Yalçin E. A review: The influence of functional forces on the biomechanics of implant-supported prostheses a review. *J Dent* 2002; 30(7-8): 271-282.
48. Bourauel C, Aitlahrach M, Heinemann F, et al. Biomechanical finite element analysis of small diameter and short dental implants: extensive study of commercial implants. *Biomed Tech* 2012; 57(1): 21-32.
49. Sakka S, Baroudi K, Nassani MZ. Factors associated with early and late failure of dental implants. *J Investig Clin Dent* 2012; 3(4): 258-261.
50. Himmlova L, Dostalova T, Kacovsky A, et al. Influence of implant length and diameter on stress distribution: a finite element analysis. *J Prosthet Dent* 2004; 91(1): 20-205.
51. Tuncelli B, Poyrazoglu E, Koyluoglu AM, et al. Comparison of load transfer by implant abutments of various diameters. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1997; 5(2): 79-83.
52. Coelho Goiato M, Pesqueira AA, Santos DMD, et al. Photoelastic stress analysis in prosthetic implants of different diameters: mini, narrow, standard or wide. *J Clin Diagn Res* 2014; 8(9): 86-90.
53. Turkyilmaz I. Use of distal implants to support and increase retention of a removable partial denture: a case report. *J Can Dent Assoc* 2009; 75(9): 655-658.
54. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, et al. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986; 1(1): 11-25.
55. Smith DE, Zarb GA. Criteria for success of osseointegrated endosseous implants. *J Prosthet Dent* 1989; 62(5): 567-572.
56. Mijiritsky E, Ormianer Z, Klinger A, et al. Use of dental implants to improve unfavorable removable partial denture design. *Compend Contin Educ Dent* 2005; 26(10): 586-590
57. Pimentel MJ, Arrellaga JP, Bacchi A, et al. The use of implants to improve removable partial denture function. *J Indian Prosthodont Soc* 2014; 14 (suppl 1): 243-247.
58. Hegazy SA, Elshahawi IM, Elmotayam H. Stresses induced by mesially and distally placed implants to retain a mandibular distal-extension removable partial overdenture: a comparative study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013; 28(2): 403-407.
59. Memari Y, Geramy A, Fayaz A, et al. Influence of implant position on stress distribution in implant-assisted distal extension removable partial dentures: a 3D finite element analysis. *J Dent* 2014; 11(5): 523-530.
60. Cunha LD, Pellizzer EP, Verri FR, et al. Evaluation of the influence of location of osseointegrated implants associated with mandibular removable partial dentures. *Implant Dent* 2008; 17(3): 278-287.
61. Lee J-H, Frias V, Lee K-W, et al. Effect of implant size and shape on implant success rates: a literature review. *J Prosthet Dent* 2005; 94(4): 377-381.
62. Olate S, Lyrio MC, de Moraes M, et al. Influence of diameter and length of implant on early dental implant failure. *J Oral Maxillofac Surg* 2010; 68(2): 414-419.

63. Calvo-Guirado JL, Lopez Torres JA, Dard M, et al. Evaluation of extrashort 4-mm implants in mandibular edentulous patients with reduced bone height in comparison with standard implants: a 12-month results. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27(7): 867-874.
64. Verri FR, Pellizzer EP, Rocha EP, et al. Influence of length and diameter of implants associated with distal extension removable partial dentures. *Implant Dent* 2007; 16(3): 270-280.
65. Barikani H, Rashtak S, Akbari S, et al. The Effect of Implant Length and Diameter on the Primary Stability in Different Bone Types. *J Dent* 2013; 10(5): 449-455.
66. Bataineh AB, Al-dakes AM. The influence of length of implant on primary stability: An in vitro study using resonance frequency analysis. *J Clin Exp Dent* 2017; 9(1): 1-6.
67. Hsu J-T, Wu AY-J, Fuh L-J, et al. Effects of implant length and 3D bone-to-implant contact on initial stabilities of dental implant: a micro-computed tomography study. *BMC Oral Health* 2017; 17(1): 9-24.
68. Barikani H, Rashtak S, Akbari S, et al. The effect of shape, length and diameter of implants on primary stability based on resonance frequency analysis. *Dent Res J (Isfahan)* 2014; 11(1): 87-91.
69. Patel PB. Narrow-diameter implants: A minimally invasive solution for overdenture treatment - part 2. *Aust Dent Pract* 2013; 24(2): 180-186.
70. Mundt T, Schwahn C, Stark T, et al. Clinical response of edentulous people treated with mini dental implants in nine dental practices. *Gerodontol* 2015; 32(3): 179-187.
71. Garhnayak M, Garhnayak L, Dev S, et al. Prosthodontic management of flat mandibular ridge by mini implant supported over denture. *J Clin Diagn Res* 2014; 8(7): 19-21.
72. Esfandiari S, Feine J, Mushantat A, et al. How successful are small-diameter implants? a literature review. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23(5): 515-525.
73. Scepanovic M, Calvo-Guirado JL, Markovic A, et al. A 1-year prospective cohort study on mandibular overdentures retained by mini dental implants. *Eur J Oral Implantol* 2012; 5(4): 367-379.
74. Jackson BJ. Small-Diameter Implant Treatment Plan Revision: Management of Complications. *J Oral Implantol* 2016; 42(3): 295-298.
75. Maryod WH, Ali SM, Shawky AF. Immediate Versus Early Loading of Mini-Implants Supporting Mandibular Overdentures: A Preliminary 3-Year Clinical Outcome Report. *Int J Prosthodont* 2014; 27(6): 553-560.
76. Ashmawy TM, El Talawy DB, Shaheen NH. Effect of mini-implant-supported mandibular overdentures on electromyographic activity of the masseter muscle during chewing of hard and soft food. *Quintessence Int* 2014; 45(8): 663-671.
77. Jankowski IM. The effect of maximum bite force on marginal bone loss of mini-implants supporting a mandibular overdenture: a randomized controlled trial. *Clinical oral implants research : official publication of the European Association for Osseointegration* 2010; 21(2): 243-249.

78. Shahmiri R, Das R, Aarts JM, et al. Finite element analysis of an implant-assisted removable partial denture during bilateral loading: occlusal rests position. *J Prosthet Dent* 2014; 112(5): 1126-1133.
79. Shahmiri R, Aarts JM, Bennani V, et al. Finite Element Analysis of an Implant-Assisted Removable Partial Denture. *J Prosthodont* 2013; 22(7): 550-555.
80. Limpattamapanee S. Implant for removable denture. *CM Dent J* 2016; 37(1): 27-44. (in Thai).
81. Omura AJ, Latthe V, Marin MM, et al. Implant-assisted removable partial dentures: practical considerations. *Gen Dent* 2016; 64(6): 38-45.
82. Watanabe F, Hata Y, Komatsu S, et al. Finite element analysis of the influence of implant inclination, loading position, and load direction on stress distribution. *Odontology* 2003; 91(1): 31-36.
83. Elsyad MA, Setta FA, Khirallah AS. Strains around distally inclined implants retaining mandibular overdentures with Locator attachments: an in vitro study. *J Adv Prosthodont* 2016; 8(2): 116-124.
84. Patel PB. Narrow-diameter implants: A minimally invasive solution for overdenture treatment - part 1. *Aust Dent Pract* 2013; 24(2): 160-164.
85. Zest Anchors L. Locator® implant attachment quick reference guide. Zest Anchors, LLC; 2017. 1-36.
86. Blatterfein L. The use of the semiprecision rest in removable partial dentures. *J Prosthodont* 1969; 22(3): 307-332.
87. Ben-Ur Z, Shifman A, Aviv I, et al. Further aspects of design for distal extension removable partial dentures based on the Kennedy classification. *J Oral Rehabil* 1999; 26(2): 165-169.
88. Nakamura Y, Kanbara R, Ochiai KT, et al. A finite element evaluation of mechanical function for 3 distal extension partial dental prosthesis designs with a 3-dimensional nonlinear method for modeling soft tissue. *J Prosthet Dent* 2014; 112(4): 972-980.
89. Carr AB, Brown DT. Principles of removable partial denture design. *Removable Partial Prosthodontics.* 12th ed. Saint Louis: Mosby; 2011. 115-129.
90. Demer WJ. An analysis of mesial rest-I-bar clasp designs. *J Prosthet Dent* 1976; 36(3): 243-253.
91. Mizuuchi W, Yatabe M, Sato M, et al. The effects of loading locations and direct retainers on the movements of the abutment tooth and denture base of removable partial dentures. *J Med Dent Sci* 2002; 49(1): 11-18.
92. Zach GA. Advantages of mesial rests for removable partial dentures. *J Prosthet Dent* 1975; 33(1): 32-35.
93. Hanako S, Kei K, Ryoichi H, et al. Effects of occlusal rest design on pressure distribution beneath the denture base of a distal extension removable partial denture—an in vivo study. *Int J Prosthodont* 2014; 27(5): 469-471.
94. Ramchandran A, Agrawal KK, Chand P, et al. Implant-assisted removable partial denture: an approach to switch Kennedy Class I to Kennedy Class III. *J Indian Prosthodont Soc* 2016; 16(4): 408-411.

95. Drago C, Howell K. Concepts for designing and fabricating metal implant frameworks for hybrid implant prostheses. *J Prosthodont* 2012; 21(5): 413-424.

96. Carr AB, Brown DT. Chapter 17 - Occlusal relationships for removable partial dentures. *McCracken's Removable Partial Prosthodontics*. 12th ed. Saint Louis: Mosby; 2011. 242-252.

97. Rangert B, Sennerby L, Meredith N, et al. Design, maintenance and biomechanical considerations in implant placement. *Dent Update* 1997; 24(10): 416-420.

98. Kaukinen JA, Edge MJ, Lang BR. The influence of occlusal design on simulated masticatory forces transferred to implant-retained prostheses and supporting bone. *J Prosthet Dent* 1996; 76(1): 50-55.

99. Weinberg LA, Kruger B. A comparison of implant/prosthesis loading with four clinical variables. *Int J Prosthodont* 1995; 8(5): 421-433.

100. Christensen FT. Mandibular free end denture. *J Prosthodont* 1962; 12(1): 111-115.

101. Mitrani R, Brudvik JS, Phillips KM. Posterior implants for distal extension removable prostheses: a retrospective study. *Int J Perio Restor Dent* 2003; 23(4).