บทความปริทัศน์
Review Article

ผลของช่องความสูงตัวฟันในรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นและฟันเทียมคร่อมรากเทียม

Effect of Crown Height Space on Implant-supported Fixed Dental Prosthesis and Implant-retained Overdenture

ณัฐพร สิริเสรีภาพ[1], กุลภพ สุทธิอาจ[2], ชาย รังสิยากูล[3], พิมพ์เดือน รังสิยากูล[2]
[1]นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[2]ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Natthaphorn Sirisereephap[1], Kullapop Suttiat[2], Chaiy Rungsiyakull[3], Pimduen Rungsiyakull[2]
[1]Graduate student, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
[2]Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
[3]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2563; 41(1) : 45-55
CM Dent J 2020; 41(1) : 45-55

Received: 19 June, 2018
Revised: 11 September, 2018
Accepted: 13 December, 2018

บทคัดย่อ

ช่องความสูงตัวฟันถือเป็นคานแนวดิ่ง ภาวะแทรกซ้อนของรากเทียมสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีแรงแนวระนาบหรือแนวเฉียงมากระทำต่อรากเทียม โดยแรงดังกล่าวส่งผลให้เกิดความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียม และทำให้เกิดความล้มเหลวเชิงชีวภาพและเชิงกล เช่น สกรูหลวมหรือหัก เกิดการละลายของกระดูกส่วนยอด และนำไปสู่ความล้มเหลวของรากเทียมในที่สุด อย่างไรก็ตาม บทความที่เกี่ยวข้องกับช่องความสูงตัวฟันในรากเทียมรองรับฟันเทียมชนิดต่าง ๆ ยังมีน้อย ดังนั้นจุดประสงค์ในครั้งนี้คือการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับช่องความสูง

Abstract

Crown height space is known as vertical cantilever. Complications of dental implants can be occurred when horizontal or oblique forces were applied to dental implants. Such forces can cause stress and strain at peri-implant bone area, and lead to biological and mechanical problems, such as screw loosening, screw fracture, crestal bone resorption, and eventually implant failure. However, there are few studies regarding to crown height space on dental implant prostheses. The aim of

Corresponding Author:

พิมพ์เดือน รังสิยากูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 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***

ตัวฟันที่ทำให้เกิดความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียม ทั้งในรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นและฟันเทียมคร่อมรากเทียม อีกทั้งการวางแผนการรักษาในผู้ป่วยที่มีช่องความสูงตัวฟันมากเกิน

this study was to review about crown height space that cause stress and strain to peri-implant bone on implant-supported fixed dental prosthesis and implant-retained overdenture in order to provide a biomechanical sound treatment plan in patients with excessive crown height space.

คำสำคัญ: ช่องความสูงตัวฟัน รากเทียม ฟันเทียมคร่อมรากเทียม รากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่น กระดูกรอบรากเทียม ความเครียด ความเค้น

Keywords: crown height space, implant, implant-retained overdenture, implant-supported fixed dental prosthesis, peri-implant bone, strain, stress

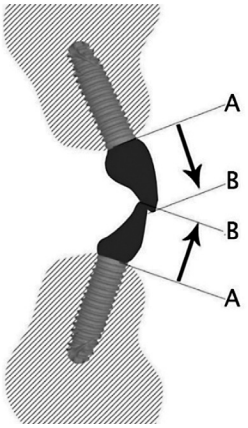
บทนำ

ความล้มเหลวของรากเทียมรองรับฟันเทียม แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ 1) ความล้มเหลวเชิงชีวภาพ (biological failure) ซึ่งแบ่งเป็นความล้มเหลวระยะต้น (early failure) และความล้มเหลวระยะท้าย (late failure) ความล้มเหลวระยะต้นคือรากเทียมไม่เกิดกระดูกเชื่อมประสาน (osseointregration) อย่างสมบูรณ์ หรือรบกวนกระบวนการหายของกระดูก สัมพันธ์กับเพศ การสูบบุหรี่ การมีสภาวะปริทันต์อักเสบเรื้อรัง ความเจ็บปวดหลังผ่าตัด ความยาวของรากเทียม และคุณภาพของกระดูก[1] ส่วนความล้มเหลวระยะท้ายคือรากเทียมไม่สามารถคงสภาพการเกิดกระดูกเชื่อมประสานเมื่อได้รับแรงกระทำระยะเวลาหนึ่ง[2-4] 2) ความล้มเหลวเชิงกล (mechanical failure) คือการแตกหักของรากเทียมและโครงสร้างชั้นบน (suprastructure) ซึ่งสัมพันธ์กับการมีแรงมากระทำมากกว่าปกติ เช่น นิสัยการทำงานนอกหน้าที่ (parafunctional habit) รูปแบบการบดเคี้ยว ช่องความสูงตัวฟัน (crown height space) ตำแหน่งของซี่ฟันเทียม หรือชนิดของฟันคู่สบ[5] โดยนิสัยการทำงานนอกหน้าที่แบบรุนแรงส่งผลให้เกิดแรงกระทำต่อรากเทียมสูงที่สุด รองลงมาคือปัจจัยด้านช่องความสูงตัวฟันที่มากเกินไป โดยนิสัยการทำงานนอกหน้าที่มีการศึกษามากมายที่กล่าวถึงผลกระทบต่อการเกิดความล้มเหลวของรากเทียม[6,7] แต่ปัจจัยด้านช่องความสูงตัวฟันมีการทบทวนวรรณกรรมค่อนข้างน้อย ทบทวนวรรณกรรมนี้จึงรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับช่องความสูงตัวฟันพร้อมวิธีการวางแผนการรักษาทั้งในฟันเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นและฟันเทียมคร่อมรากเทียม

1. รากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่น

1.1 ช่องความสูงตัวฟันในรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่น

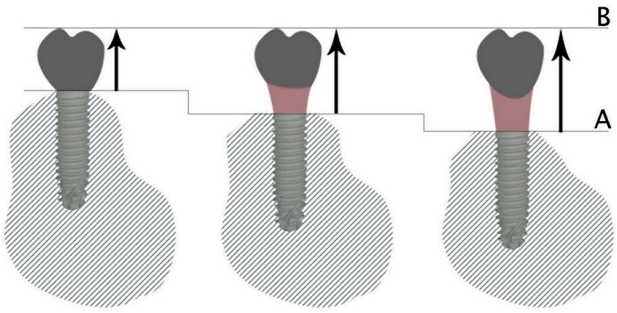
คำนิยามช่องความสูงตัวฟันบริเวณฟันหน้าบน คือระยะจากสันกระดูกเบ้าฟันถึงปลายฟัน ส่วนบริเวณฟันหน้าล่างคือระยะจากสันกระดูกเบ้าฟันถึงจุดสบบริเวณด้านลิ้นของฟันหน้าบนหรือปลายฟันหน้าล่าง (รูปที่ 1) และช่องความสูง



รูปที่ 1 *ช่องความสูงตัวฟันหน้าบนและฟันหน้าล่าง คือระยะที่วัดจากยอดสันกระดูก (A) ไปยังปลายฟัน (B) (ดัดแปลงจาก Misch และคณะ ในปี ค.ศ. 2005)[8]*

Figure 1 *Crown height space of upper and lower anterior teeth is measured from crestal bone (A) to incisal edge (B). (Modified from Misch et al, 2005)[8]*

ตัวฟันบริเวณฟันหลังคือระยะจากสันกระดูกเบ้าฟันถึงระนาบสบฟัน[8] เมื่อยอดสันกระดูกบริเวณรอบรากเทียมเกิดการละลายมากขึ้น ช่องความสูงตัวฟันเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 2)



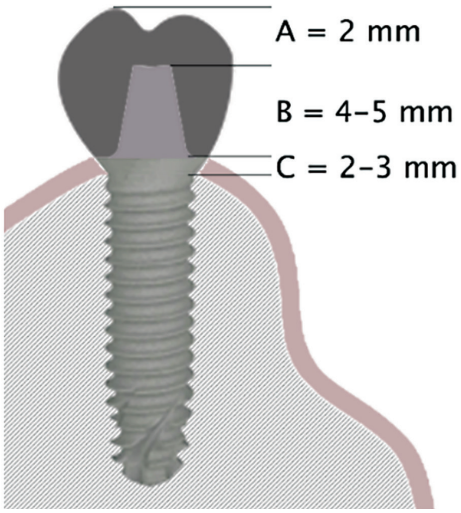
รูปที่ 2 *ช่องความสูงตัวฟันหลังคือระยะที่วัดจากยอดสันกระดูก (A) ไปยังระนาบสบฟัน (B) เมื่อยอดสันกระดูกบริเวณรอบรากเทียมเกิดการละลายมากขึ้น ช่องความสูงตัวฟันเพิ่มมากขึ้น (ดัดแปลงจาก Misch และคณะ ในปี ค.ศ. 2005)[8]*

Figure 2 *Crown height space of posterior teeth is measured from crestal bone (A) to occlusal plane (B). The more resorption of crestal bone around dental implant occurs, the greater of the crown height space is shown. (Modified from Misch et al, 2005)[8]*

รายงานการประชุมสมาคมรากเทียมระดับนานาชาติ ปี ค.ศ. 2006 สรุปว่าช่องความสูงตัวฟันที่เหมาะสมในรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นควรมีค่า 8-12 มิลลิเมตร[8,9] โดยแบ่งเป็นความหนาของพอร์ซเลนด้านบดเคี้ยว 2 มิลลิเมตร ความสูงของหลักยึดมากกว่าหรือเท่ากับ 4-5 มิลลิเมตร และความหนาเหงือกอย่างน้อย 2-3 มิลลิเมตร (รูปที่ 3)[9] ซึ่งรากเทียมชิ้นเดียวฝังระดับเนื้อเยื่อ (one-piece tissue level dental implant) ต้องการความกว้างทางชีวภาพ (biologic width) ที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากกว่ารากเทียมสองชิ้นฝังระดับกระดูก (two-piece bone level dental implant)[10,11]

การมีช่องความสูงตัวฟันน้อยกว่า 8 มิลลิเมตร ทำให้เกิดสภาวะช่องความสูงตัวฟันน้อยเกินไป (reduced crown height space)[8,9] โดยมีสาเหตุเกิดจากภาวะสบลึก (deep bite) หรือมีมิติแนวดิ่ง (vertical dimension) ลดลง สภาวะการมีมิติแนวดิ่งลดลงมีสาเหตุมาจากฟันสึก หรือเกิดจากฟันคู่สบมีการงอกเหนือระดับการสบ (supraeruption) การแก้ไขสภาวะช่องความสูงตัวฟันน้อยเกินไป สามารถรักษาโดยการจัดฟันดึงฟันคู่สบที่มีการงอกเหนือระดับการสบฟันขึ้นมา หรือการทำศัลยกรรมลดความสูงของกระดูกบริเวณฝังรากเทียมเพื่อเพิ่มความสูงช่องความสูงตัวฟัน

การมีช่องความสูงตัวฟันมากกว่า 12 มิลลิเมตร ทำให้เกิดสภาวะช่องความสูงตัวฟันมากเกินไป (excessive crown height space)[8,9] โดยช่องความสูงตัวฟันที่มีค่ามากกว่าปกติมีความเสี่ยงต่อการแตกหักของส่วนประกอบรากเทียม อีกทั้งทำให้ความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงที่มากระทำมากกว่าปกติ



รูปที่ 3 *ระยะช่องความสูงตัวฟันที่เหมาะสมของรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่น โดยระยะ A คือความหนาของพอร์ซเลนด้านบดเคี้ยว 2 มิลลิเมตร B คือความสูงของหลักยึด 4-5 มิลลิเมตร และ C คือความหนาของเนื้อเยื่ออ่อนรอบรากเทียม 2-3 มิลลิเมตร (ดัดแปลงจาก Misch และคณะ ในปี ค.ศ. 2005)[8]*

Figure 3 *Suitable crown height space of implant supported fixed dental prosthesis, which A is 2 mm. of porcelain thickness on occlusal surface, B is 4-5 mm. of height of the abutment and C is 2-3 mm. of peri-implant soft tissue thickness. (Modified from Misch et al, 2005)[8]*

1.2 ความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียม

มีการศึกษาค่าความเค้นของกระดูกบริเวณรอบรากเทียมที่มีช่องความสูงตัวฟันปกติ พบว่าเมื่อรากเทียมได้รับแรงกระทำเพิ่มขึ้น ค่าความเค้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมยิ่งสูงขึ้น และทิศทางแรงที่มากระทำในแนวระนาบ ทำให้เกิดความเค้นมากที่สุด รองลงมาคือแรงแนวเฉียงทำมุม 30 45 และ 60 องศาตามลำดับ ส่วนแรงแนวดิ่งทำให้เกิดความเค้นน้อยที่สุด[12]

กรณีช่องความสูงตัวฟันบนรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นเพิ่มมากขึ้น จาก 10 มิลลิเมตรเป็น 15 17.5 และ 20 มิลลิเมตร พบค่าความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับแรงกระทำแนวเฉียง เมื่อได้รับแรงกระทำแนวดิ่งค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ และช่องความสูงตัวฟันมากกว่า 15 มิลลิเมตรขึ้นไป ทำให้สกรูยึดเกิดการแตกหักได้ เมื่อได้รับแรงกระทำแนวเฉียง 30 องศา ปริมาณ 200 นิวตัน[13,14] เช่นเดียวกับการศึกษาวัดความเค้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมด้วยวิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติที่มีช่องความสูงตัวฟันเท่ากับ 10 12.5 และ 15 มิลลิเมตร พบว่าการมีช่องความสูงตัวฟันมากทำให้เกิดความเค้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแรงแนวเฉียง แต่แรงในแนวดิ่งไม่ส่งผลต่อค่าความเค้น และความเค้นสูงที่สุดเกิดบริเวณส่วนต้นของรากเทียมที่ฝังในกระดูก (fixture) และสกรู[15]

จากการศึกษาข้างต้น สรุปได้ว่ารากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นที่มีช่องความสูงตัวฟันปกติ ความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทิศทางแรงกระทำไม่อยู่ในแนวดิ่งเท่านั้น และการมีช่องความสูงตัวฟันมากขึ้นส่งผลทำให้เกิดโมเมนต์ (M) บริเวณกระดูกรอบรากเทียมสูงขึ้น โดยเหตุการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ตามหลักของคาน คือโมเมนต์ของแรงเท่ากับปริมาณแรงคูณระยะทาง *(M=FxH)*[16] โดย F คือปริมาณแรงแนวระนาบ และ H คือแขนของแรงหรือระยะช่องความสูงตัวฟัน เมื่อ H มากขึ้น ทำให้เกิดโมเมนต์บริเวณกระดูกรอบรากเทียมมากขึ้น ส่วนแรงแนวดิ่งไม่ส่งผลต่อการเพิ่มความเค้นและความเครียด เนื่องจากแรงในแนวดิ่งไม่ทำให้เกิดแขนของแรง

จากข้อมูลดังกล่าว เมื่อรากเทียมได้รับแรงกระทำ (F) 100 นิวตัน ทิศทางมุม 12 องศา แตกแรงตามแกน x และ y ได้สมการที่ 1 และ 2 (รูปที่ 4)

$F_x = F\sin\theta$ --- สมการที่ 1[16]

$F_y = F\cos\theta$ --- สมการที่ 2[16]

โดย F_x คือแรงในแนวระนาบ F_y คือแรงในแนวดิ่ง แทนค่า F = 100 นิวตัน θ=12° ในสมการที่ 1 และ 2 ได้ค่า F_x เท่ากับ 21 นิวตัน และ F_y เท่ากับ 98 นิวตัน

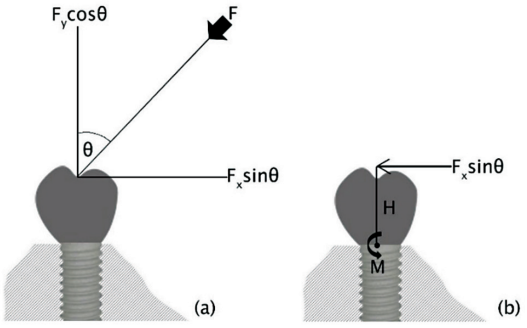
$$F_x = (100)(0.21)$$
$$= 21 \text{ นิวตัน}$$
$$F_y = (100)(0.98)$$
$$= 98 \text{ นิวตัน}$$

ดังนั้นรากเทียมรองรับครอบฟันเทียมเมื่อมีแรงกระทำในแนวระนาบ 21 นิวตัน และมีช่องความสูงตัวฟันเท่ากับ 15 มิลลิเมตร ส่งผลทำให้เกิดโมเมนต์กระทำต่อกระดูกรอบรากเทียมเท่ากับ 315 นิวตัน ดังสมการที่ 3 (รูปที่ 4)

M=FxH --- สมการที่ 3[16]

=(21)(15)

= 315



รูปที่ 4 *การเกิดโมเมนต์บริเวณกระดูกรอบรากเทียมเมื่อได้รับแรงในแนวระนาบ*

(a) การแตกแรง (F) ที่มากระทำต่อรากเทียม

(B) แรงในแนวระนาบ (Fxsinθ) มีผลทำให้เกิดโมเมนต์ (M) บริเวณกระดูกรอบรากเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อช่องความสูงตัวฟัน (H) มีค่ามากขึ้น

Figure 4 *The moment on supporting bone around implant when horizontal force applied.*

(a) Distribution of force (F) to dental implant

(b) The horizontal force (Fxsinθ) causes moment (M) on supporting bone especially when increasing in crown height space (H)

ข้อมูลข้างต้นเป็นการศึกษาทดลองในภาวะเทียมนอกกาย *(in vitro)* ส่วนการศึกษาในร่างกายที่มีชีวิต *(in vivo)* พบว่าเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมมีส่วนสำคัญทำให้เกิดการปรับรูปของกระดูก โดย Ṣahin และคณะปี ค.ศ. 2002 ทบทวนวรรณกรรม พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการปรับรูปกระดูกรอบรากเทียมคือปริมาณแรงที่มากระทำ เมื่อกระดูกรอบรากเทียมมีแรงกระทำที่น้อยเกินไปและเกิดความเครียดขึ้นน้อยกว่า 100 ไมโครสเตรน ส่งผลทำให้กระดูกรอบรากเทียมเกิดการฝ่อเหตุไม่ใช้ (disuse atrophy) และเมื่อกระดูกรอบรากเทียมได้รับแรงกระทำเพิ่มขึ้นจนความเครียดมีค่า 2,000-3,000 ไมโครสเตรน ทำให้กระดูกเกิดการผิดรูป (deformation) ที่มากกว่าปกติ และเมื่อกระดูกรอบรากเทียมได้รับแรงกระทำมากเกินไปและมีค่าความเครียดมากกว่า 4,000 ไมโครสเตรน ทำให้เกิดการแตกหักระหว่างรอยต่อของกระดูกรอบรากเทียมและผิวรากเทียม[17] การปรับรูปกระดูกขึ้นกับปริมาณแรงที่มากระทำ ขึ้นกับชนิดและวัสดุทำฟันเทียม จำนวนและตำแหน่งของรากเทียมและคุณภาพของกระดูก ดังนั้นสรุปได้ว่ากระดูกรอบรากเทียมควรได้รับแรงกระทำในปริมาณที่พอเหมาะ และมีการวางแผนการรักษาที่ดีจึงเกิดกระบวนการปรับรูปกระดูกได้ตามปกติโดยไม่เกิดการละลายของกระดูก

การติดตามผลการละลายตัวของกระดูกรอบรากเทียมทางคลินิก เกี่ยวข้องกับช่องความสูงตัวฟันเมื่อช่องความสูงตัวฟันเพิ่มขึ้น ในรากเทียมจำนวน 45 ราก เป็นระยะเวลาเฉลี่ย 2 ปี พบว่าค่าเฉลี่ยของช่องความสูงตัวฟัน 17 มิลลิเมตร เกิดการละลายของขอบกระดูกน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร และถ้าค่าเฉลี่ยของช่องความสูงตัวฟัน 21 มิลลิเมตรขึ้นไป เกิดการละลายของขอบกระดูกมากกว่า 2 มิลลิเมตร[18] แต่ค่าการละลายของขอบกระดูกอยู่ในช่วงยอมรับได้[19]

ดังนั้น ในรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่น การเพิ่มช่องความสูงตัวฟันทำให้มีความเสี่ยงต่อการแตกหักของส่วนประกอบของรากเทียม และทำให้ค่าความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมสูงขึ้น ส่งผลให้มีแนวโน้มเกิดการละลายของขอบกระดูกมากกว่าเมื่อเทียบกับการมีช่องความสูงตัวฟันที่ปกติ โดยแรงกระทำแนวเฉียงหรือแนวระนาบมีผลมากกว่าแรงแนวดิ่ง

1.3 แผนการรักษาในรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่น

การบูรณะฟันชนิดรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นที่ดีที่สุด กรณีที่เกิดการละลายของกระดูกไปมาก แก้ไขโดยทำศัลยกรรมเติมกระดูก เพื่อลดความสูงของช่องความสูงตัวฟัน จากการวิเคราะห์แบบอภิมาน (meta-analysis) พบว่ารากเทียมที่ฝังในกระดูกประสบความสำเร็จร้อยละ 93.4 เมื่อปลูกกระดูกที่มีความสูงเฉลี่ย 4 มิลลิเมตร และความสำเร็จของรากเทียมแตกต่างกันตามความสูงของกระดูกที่ฝังรากเทียมและวิธีการปลูกกระดูก[20]

กรณีผู้ป่วยมีความเสี่ยงไม่สามารถปลูกกระดูกได้ เช่น อายุมาก สูบบุหรี่ หรือมีสภาวะโรคปริทันต์อักเสบ[21] การสร้างครอบฟันบนรากเทียมที่มีช่องความสูงตัวฟันมากเกินไป ยังไม่มีงานวิจัยมารองรับผลของความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียม ในกรณีผู้ป่วยต้องการใส่ฟันเทียมฟันบน บริเวณที่มีโพรงอากาศย้อยต่ำลงมามากหรือในฟันล่างที่ไม่สามารถหลบเส้นประสาทได้ และในรายดังกล่าวไม่สามารถทำศัลยกรรมได้จำเป็นต้องวางแผนใช้รากเทียมชนิดสั้น (short dental implant) เป็นสาเหตุทำให้ช่องความสูงตัวฟันมากเกินไป ทำให้เกิดความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมที่มากกว่าปกติ

ดังนั้นการสร้างครอบฟันควรคำนึงถึงหลักชีวกลศาสตร์ทั่วไป เพื่อลดแรงกระทำต่อกระดูกบริเวณโดยรอบรากเทียม ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้

1. เพิ่มจำนวนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากเทียม[8,22,23] เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างพื้นผิวของรากเทียมกับกระดูกโดยรอบ การเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มีส่วนสำคัญต่อการลดความเค้นและความเครียดมากกว่าการเพิ่มความยาวของรากเทียม[24,25]

2. ลดความกว้างของด้านสบฟัน (occlusal table) และลดความชันของปุ่มฟันของครอบฟันติดแน่นบนรากเทียม เพื่อลดแรงกระทำแนวระนาบหรือแนวเฉียงที่มีผลต่อค่าโมเมนต์บริเวณรากเทียมและกระดูกรอบรากเทียม โดยค่าโมเมนต์ที่ลดลงส่งผลให้ค่าความเค้นและความเครียดบริเวณรากเทียมและกระดูกรอบรากเทียมลดลง สอดคล้องกับผลการศึกษา ที่กล่าวว่าครอบฟันไร้ปุ่มจะเกิดความเค้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมน้อยกว่าครอบฟันที่มีความชันของปุ่มฟัน 30 องศา[27] และการลดความกว้างของด้านสบฟันลง 2 มิลลิเมตร ส่งผลให้ค่าความเครียดบริเวณกระดูกลดลงอย่าง

มีนัยสำคัญ[26]

3. ลดแรงกระทำในแนวเฉียงหรือแนวระนาบ โดยสร้างจุดสบหลักบริเวณแนวกึ่งกลางรากเทียมและสร้างจุดสบรองห่างจากกึ่งกลางรากเทียมโดยรอบไม่เกิน 1 มิลลิเมตร หลีกเลี่ยงการสร้างจุดสบบริเวณสันริมฟันหากไม่เชื่อมรากเทียมเข้าด้วยกัน[5,27]

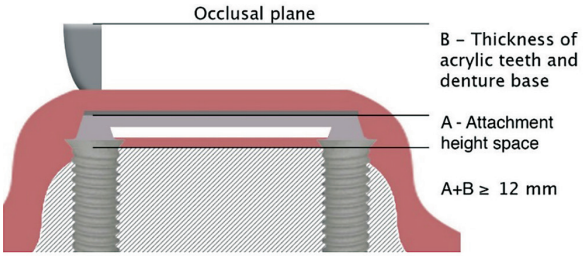
4. ออกแบบฟันเทียมเป็นชนิดฟันเทียมถอดได้ เพื่อให้เนื้อเยื่อช่วยรองรับแรงมากขึ้น แรงจึงลงบนรากเทียมน้อยลง

5. เชื่อมหรือเข้าเฝือกครอบฟันบนรากเทียมสั้นให้ติดกัน เพื่อใส่ฟันชนิดติดแน่นหรือถอดได้

2. ฟันเทียมคร่อมรากเทียม (Implant-retained overdenture)

2.1 ช่องความสูงตัวฟันในฟันเทียมคร่อมรากเทียม

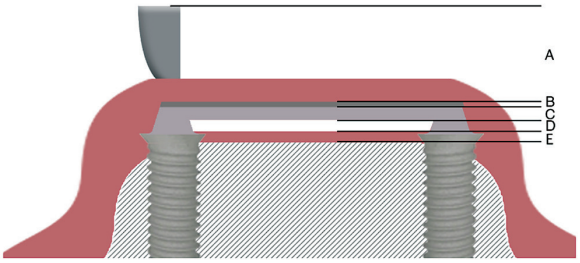
ช่องความสูงตัวฟันของฟันเทียมคร่อมรากเทียมแบ่งออกเป็นแขนของคาน 2 ส่วน[8] คานส่วนที่หนึ่ง (first lever arm) คือระยะความสูงของสิ่งยึด และคานส่วนที่สอง (second lever arm) คือระยะที่วัดจากปลายสิ่งยึดไปยังระนาบสบฟัน (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 *ช่องความสูงตัวฟันในฟันเทียมคร่อมรากเทียม โดยแบ่งเป็นแขนของคาน 2 ส่วน ได้แก่ A คือระยะความสูงของสิ่งยึด และ B คือความหนาของซี่ฟันเทียมและฐานฟันเทียม โดยระยะ A และ B ควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 12 มิลลิเมตร เพื่อความแข็งแรงของฟันเทียมและข้อควรคำนึงถึงสุขอนามัยในช่องปาก*

Figure 5 *Crown height space in implant-retained overdenture which can divided into 2 lever arms; A attachment height and B thickness of acrylic teeth and denture base. A and B require ≥ 12 mm of crown height space for denture strength and oral hygiene considerations*

การประชุมสมาคมรากเทียมระดับนานาชาติ ปี ค.ศ. 2006 สรุปว่าฟันเทียมคร่อมรากเทียมควรมีช่องความสูงตัวฟันมากกว่าหรือเท่ากับ 12 มิลลิเมตรเพื่อความแข็งแรงของฟันเทียมและสามารถทำความสะอาดง่าย โดยประกอบด้วยความหนาของฐานฟันเทียมและซี่ฟันอะคริลิก 5 มิลลิเมตร คลิปและเฮาส์ซิ่ง (housing) 1.5 มิลลิเมตร ความหนาของสิ่งยึดชนิดบาร์ 4 มิลลิเมตร ช่องว่างใต้บาร์ 1.5 มิลลิเมตร และความหนาของเนื้อเยื่ออ่อนเหนือส่วนรากเทียมที่ฝังในกระดูก 2 มิลลิเมตร[9] (รูปที่ 6) ค่าดังกล่าวเป็นฟันเทียมคร่อมรากเทียมที่ใช้สิ่งยึดชนิดบาร์ (bar attachment) ถ้าใช้สิ่งยึดชนิดโลเคเตอร์ (locator attachment) หรือบอล (ball attachment) ต้องการช่องความสูงตัวฟันทั้งหมดประมาณ 8.5 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ[28]



รูปที่ 6 *ช่องความสูงตัวฟันที่เหมาะสมในงานฟันเทียมคร่อมรากเทียมที่ใช้สิ่งยึดชนิดบาร์ โดย A คือความหนาของซี่ฟันเทียมและฐานฟันเทียมอะคริลิก B คือความหนาของเฮาส์ซิ่ง C ความสูงของสิ่งยึดชนิดบาร์ D ช่องว่างใต้สิ่งยึด และ E คือความหนาของเนื้อเยื่ออ่อน*

Figure 6 *Suitable crown height space of implant-retained overdenture with bar attachment; A thickness of acrylic teeth and denture base, B housing thickness, C height of bar attachment, D space under attachment and E soft tissue thickness.*

2.2 ความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียม

ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมในฟันเทียมคร่อมรากเทียม คือ การเพิ่มความสูงของคานส่วนแรกหรือความสูงของสิ่งยึด ส่วนการเพิ่มความสูงของคานส่วนที่สองหรือการเพิ่มความหนาของอะคริลิก (ฐานฟันเทียมอะคริลิกและซี่ฟันเทียม) มีผล

ต่อค่าความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบฟันเทียมที่น้อยมาก[29] เนื่องจากคานส่วนที่สองไม่ได้สัมผัสกับรากเทียมโดยตรง

การศึกษาความสูงของสิ่งยึดชนิดบาร์เท่ากับ 2.5 3 3.5 และ 4 มิลลิเมตร ต่อการเกิดความเค้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติพบว่าเมื่อฟันเทียมมีแรงมากระทำด้านเดียว (unilateral loading) ความสูงของสิ่งยึด 4 มิลลิเมตร ทำให้เกิดความเค้นกระทำต่อกระดูกรอบรากเทียมสูงสุด[29] สอดคล้องกับการศึกษาของ Rismanchian และคณะ ปี ค.ศ. 2012 พบว่าสิ่งยึดชนิดบาร์ที่ห่างจากสันเหงือก 3 มิลลิเมตร เกิดความเค้นสะสมบริเวณกระดูกรอบรากเทียมมากกว่าสิ่งยึดชนิดบาร์ที่ห่างจากสันเหงือก 1 และ 2 มิลลิเมตร[30] การศึกษาสิ่งยึดชนิดบอลพบว่าให้ผลเช่นเดียวกันกับสิ่งยึดชนิดบาร์[31-33] โดยเพิ่มความสูงของสิ่งยึดชนิดบอลจาก 2 เป็น 4 มิลลิเมตร ทำให้ความเค้นของกระดูกรอบรากเทียมเพิ่มขึ้นร้อยละ 54[31]

จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่า เมื่อฟันเทียมคร่อมรากเทียมมีความสูงของสิ่งยึดมากมีผลทำให้ความเค้นและความเครียดที่มากระทำต่อกระดูกรอบรากเทียมเพิ่มมากขึ้น ทำให้เฮาส์ซิ่งที่ฝังอยู่ในฐานฟันเทียมเกิดการบิดงัดสิ่งยึดที่อยู่บนรากเทียม และเมื่อความสูงของสิ่งยึดเพิ่มขึ้น แขนของแรงยิ่งมีค่ามาก ทำให้เกิดโมเมนต์ที่มากขึ้น เช่นเดียวกับหลักการของรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การมีช่องความสูงตัวฟันมากร่วมกับมีการมีแรงกระทำสองด้าน (bilateral loading) ทำให้เกิดความเค้นและความเครียดน้อยกว่าจากการมีแรงกระทำด้านเดียว[29] โดยเฉพาะเมื่อเนื้อเยื่อทางด้านท้ายมีลักษณะกดแน่นไม่ยุบตัว แรงที่กระทำต่อรากเทียมและสันเหงือกว่างมีทิศทางในแนวดิ่งไม่ทำให้เกิดการบิดงัดรากเทียม ซึ่งทำให้ความสูงของสิ่งยึดมีอิทธิพลต่อการเพิ่มความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมเล็กน้อย แต่ถ้าเนื้อเยื่อด้านท้ายมีคุณภาพไม่ดี หรือมีปริมาณเนื้อเยื่อที่ยุบตัวได้มาก เมื่อได้รับแรงมากระทำสองด้าน ทำให้เกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อด้านท้าย ส่งผลต่อฟันเทียมเกิดการหมุนในแนวหน้า-หลัง และเกิดการบิดงัดรากเทียม ส่งผลให้ความสูงของสิ่งยึดมีผลต่อการเกิดความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Barão และคณะ ปี ค.ศ. 2008 พบว่าฟันเทียมคร่อมรากเทียมที่มีความหนาของเนื้อเยื่อ 5 มิลลิเมตรทำให้เกิดความเค้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมมากกว่าฟันเทียมคร่อมรากเทียมที่มีความหนาของเนื้อเยื่อ 3 มิลลิเมตร[34]

ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมในฟันเทียมคร่อมรากเทียมคือความสูงของสิ่งยึด ในรายที่เลือกใช้สิ่งยึดชนิดบาร์ควรมีช่องความสูงตัวฟัน 7.5 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยความหนาบาร์ 4 มิลลิเมตร ช่องว่างใต้บาร์ 1.5 มิลลิเมตร และความหนาของเนื้อเยื่ออ่อนเหนือส่วนรากเทียมที่ฝังในกระดูก 2 มิลลิเมตร[9] เมื่อต้องการลดความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมโดยลดความหนาของบาร์เหลือ 3 มิลลิเมตร[9] หรือเลือกใช้สิ่งยึดชนิดอื่นที่มีความสูงของสิ่งยึดน้อยกว่า เช่น สิ่งยึดชนิดบอลและโลเคเตอร์

นอกจากนี้ ความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมยังขึ้นกับ ลักษณะของแรงที่มากระทำและความหนาของเนื้อเยื่อด้านท้ายใต้ฐานฟันเทียม

2.3 แผนการรักษาในฟันเทียมคร่อมรากเทียม

ความสูงของสิ่งยึดเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียม มีปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะของแรงที่มากระทำและความหนาของเนื้อเยื่อด้านท้ายใต้ฐานฟันเทียมที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นข้อควรคำนึงถึงเมื่อต้องการออกแบบฟันเทียมคร่อมรากเทียมเพื่อลดความเค้นและความเครียดของกระดูกรอบรากเทียมลง สามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. ประเภทของสิ่งยึด

การเลือกใช้สิ่งยึดชนิดบาร์ยึดรากเทียมเข้าด้วยกันช่วยลดความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมได้มากกว่าการใช้สิ่งยึดชนิดบอล[35-37] โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกระดูกรอบรากเทียมที่ใกล้กับบริเวณที่มีแรงกระทำ[38] เนื่องจากการใช้สิ่งยึดชนิดบาร์ยึดรากเทียมเข้าด้วยกันทำให้เกิดการกระจายแรงที่ดีกว่า และเมื่อมีแรงมากระทำอย่างไม่มีทิศทาง (non-uniform loading) การยึดรากเทียมเข้าด้วยกันช่วยลดความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นได้

2. ลดความยาวของคานยื่น (cantilever)

ยังไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับความเค้นและความเครียดในฟันเทียมคร่อมรากเทียม แต่มีการศึกษาความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมรองรับฟันเทียม

ติดแน่นทั้งปาก (implant-supported fixed dentures) พบว่าเมื่อฟันเทียมติดแน่นทั้งปากมีคานยื่นยาวมาก ยิ่งเกิดความเค้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมมากขึ้น[39] โดยความยาวของคานยื่นที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 15 มิลลิเมตร เนื่องจากติดตามผลเป็นระยะเวลา 5 ปีพบว่าหากมีคานยื่นมากกว่า 15 มิลลิเมตรขึ้นไป อัตราความสำเร็จจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ[40]

3. ลดการยึดติดกับฟันเทียมหลักให้น้อยลง และเพิ่มการรองรับจากเนื้อเยื่อ

จากการวิเคราะห์ความเค้นด้วยวิธีโฟโตอิลาสติก (photoelastic analysis) ในฟันเทียมคร่อมรากเทียมพบว่า การมีฐานฟันเทียมที่แนบกับเนื้อเยื่อรองรับ ทำให้ความเค้นบริเวณกระดูกรอบรากเทียมบริเวณใกล้สันเหงือกว่างมีค่าลดลง[41]

4. ถอดฟันเทียมออกขณะนอนหลับ

ผู้ป่วยที่มีแนวโน้มเกิดแรงกระทำต่อรากเทียมมาก เช่น ผู้ป่วยมีพฤติกรรมการทำงานนอกหน้าที่ การมีช่องความสูงตัวฟันที่มาก ควรถอดฟันเทียมขณะนอนหลับเพื่อช่วยลดแรงที่มากระทำต่อกระดูกรอบรากเทียม[8]

สรุป

1. เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยด้านช่องความสูงตัวฟัน พบว่าระยะที่มีผลต่อความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่น คือระยะจากสันกระดูกเบ้าฟันไปยังระนาบสบฟัน ส่วนในฟันเทียมคร่อมรากเทียม คือระยะจากสันกระดูกเบ้าฟันถึงส่วนบนสุดของสิ่งยึด

2. ช่องความสูงตัวฟันส่งผลต่อความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นและฟันเทียมคร่อมรากเทียม โดยช่องความสูงตัวฟันมีอิทธิพลต่อรากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นมากกว่า

3. แผนการรักษารากเทียมรองรับครอบฟันติดแน่นกรณีช่องความสูงตัวฟันมากเกินไปและไม่สามารถปลูกกระดูกได้ ให้คำนึงถึงหลักชีวกลศาสตร์ เช่น เพิ่มจำนวนและขนาดของรากเทียม ลดความกว้างของแท่นสบฟัน ลดความฉันของปุ่มฟัน ลดแรงที่มากระทำนอกแนวแกนรากเทียม เลือกฟันเทียมเป็นชนิดฟันเทียมถอดได้ หรือการเชื่อมเฝือกรากเทียมสั้นให้ติดกัน

4. แผนการรักษาฟันเทียมคร่อมรากเทียม กรณีช่องความสูงตัวฟันมากเกินยังไม่มีการศึกษาถึงผลกระทบและการรักษามากนัก และเมื่อคำนึงถึงหลักชีวกลศาสตร์ ปัจจัยที่ทำให้ลดความเค้นและความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมได้ คือ ชนิดของสิ่งยึด การลดความยาวของคานยื่น การทำให้ฐานฟันเทียมแนบกับเนื้อเยื่อรองรับและการถอดฟันเทียมขณะนอนหลับ

เอกสารอ้างอิง

1. Olmedo-Gaya MV, Manzano-Moreno FJ, Cañaveral-Cavero E, de Dios Luna-del Castillo J, Vallecillo-Capilla M. Risk factors associated with early implant failure: A 5-year retrospective clinical study. *J Prosthet Dent* 2016; 115(2): 150-155.
2. Manor Y, Oubaid S, Mardinger O, Chaushu G, Nissan J. Characteristics of early versus late implant failure: a retrospective study. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67(12): 2649-2652.
3. 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.
4. Mohajerani H, Roozbayani R, Taherian S, Tabrizi R. The risk factors in early failure of dental implants: a retrospective study. *J Dent* 2017; 18(4): 298-303.
5. Misch CE. *Dental implant prosthetics.* 2th ed. St. Louis: Mosby; 2015: 233-234.
6. Chrcanovic BR, Kisch J, Albrektsson T, Wennerberg A. Bruxism and dental implant failures: a multilevel mixed effects parametric survival analysis approach. *J Oral Rehabil* 2016; 43(11): 813-823.
7. Thymi M, Visscher CM, Yoshida-Kohno E, Crielaard W, Wismeijer D, Lobbezoo F. Associations between sleep bruxism and (peri-) implant complications: a prospective cohort study. *BDJ Open* 2017; 3: 1-6.

8. Misch CE, Goodacre CJ, Finley JM, et al. Consensus conference panel report: Crown-height space guidelines for implant dentistry—Part 1. *Implant Dent* 2005; 14(4): 312-321.
9. Misch CE, Goodacre CJ, Finley JM, et al. Consensus conference panel report: Crown-height space guidelines for implant dentistry—Part 2. *Implant Dent* 2006; 15(2): 113-121.
10. Zhao X, Qiao SC, Shi JY, Uemura N, Arai K, Lai HC. Evaluation of the clinical and aesthetic outcomes of Straumann® Standard Plus implants supported single crowns placed in non-augmented healed sites in the anterior maxilla: a 5–8 years retrospective study. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27(1): 106-112.
11. Gu YX, Shi JY, Zhuang LF, Qiao SC, Xu YY, Lai HC. Esthetic outcome and alterations of soft tissue around single implant crowns: a 2-year prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26(8): 909-914.
12. Cheng HC, Peng BY, Chen MS, Huang CF, Lin Y, Shen YK. Influence of deformation and stress between bone and implant from various bite forces by numerical simulation analysis. *Biomed Res Int* 2017; 1-7.
13. Nissan J, Ghelfan O, Gross O, Priel I, Gross M, Chaushu G. The effect of crown/implant ratio and crown height space on stress distribution in unsplinted implant supporting restorations. *J Oral Maxillofac Surg* 2011; 69(7): 1934-1939.
14. Nissan J, Gross O, Ghelfan O, Priel I, Gross M, Chaushu G. The effect of splinting implant-supported restorations on stress distribution of different crown-implant ratios and crown height spaces. *J Oral Maxillofac Surg* 2011; 69(12): 2990-2994.
15. Verri FR, Batista VE, Santiago Jr JF, Almeida DA, Pellizzer EP. Effect of crown-to-implant ratio on peri-implant stress: a finite element analysis. *Mater Sci and Eng: C Mater Biol Appl* 2014; 45: 234-240.
16. Hibbeler R. *Mechanics of Materials*. 5th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.; 2003: 3-81.
17. Şahin S, Cehreli MC, Yalçın E. The influence of functional forces on the biomechanics of implant-supported prostheses—a review. *J Dent* 2002; 30(7-8): 271-282.
18. Anitua E, Alkhraist MH, Piñas L, Begoña L, Orive G. Implant survival and crestal bone loss around extra-short implants supporting a fixed denture: the effect of crown height space, crown-to-implant ratio, and offset placement of the prosthesis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29(3): 682-689.
19. Misch CE, Perel ML, Wang HL, et al. Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) pisa consensus conference. *Implant dent* 2008; 17(1): 5-15.
20. Elnayef B, Monje A, Gargallo-Albiol J, Galindo-Moreno P, Wang HL, Hernandez-Alfaro F. Vertical ridge augmentation in the atrophic mandible: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017; 32(2): 291-312.
21. Sakkas A, Schramm A, Winter K, Wilde F. Risk factors for post-operative complications after procedures for autologous bone augmentation from different donor sites. *J Craniomaxillofac Surg* 2018; 46(2): 312-322.

22. Borie E, Orsi IA, de Araujo CP. The influence of the connection, length and diameter of an implant on bone biomechanics. *Acta Odontol Scand* 2015; 73(5): 321-329.
23. Chen XY, Zhang CY, Nie EM, Zhang MC. Treatment planning of implants when 3 mandibular posterior teeth are missing: a 3-dimensional finite element analysis. *Implant Dent* 2012; 21(4): 340-343.
24. Kong L, Hu K, Li D, et al. Evaluation of the cylinder implant thread height and width: a 3-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; 23(1): 65-74.
25. Ding X, Liao SH, Zhu XH, Zhang XH, Zhang L. Effect of diameter and length on stress distribution of the alveolar crest around immediate loading implants. *Clin Implant Dent Relat Res* 2009; 11(4): 279-287.
26. Rungsiyakull P, Rungsiyakull C, Appleyard R, Li Q, Swain M, Klineberg I. Loading of a single implant in simulated bone. *Int J Prosthodont* 2011; 24(2): 140-143.
27. Rungsiyakull C, Rungsiyakull P, Li Q, Li W, Swain M. Effects of occlusal inclination and loading on mandibular bone remodeling: a finite element study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26(3): 527-537.
28. Ahuja S, Cagna DR. Defining available restorative space for implant overdentures. *J Prosthet Dent* 2010; 104(2): 133-136.
29. Ebadian B, Farzin M, Talebi S, Khodaeian N. Evaluation of stress distribution of implant-retained mandibular overdenture with different vertical restorative spaces: a finite element analysis. *Dent Res J* 2012; 9(6): 741-747.
30. Rismanchian M, Dakhilalian M, Bajoghli F, Ghasemi E, Sadr-Eshkevari P. Implant-retained mandibular bar-supported overlay dentures: a finite element stress analysis of four different bar heights. *J Oral Implantol* 2012; 38(2): 133-139.
31. Ying Z, Gonda T, Maeda Y. Influence of attachment height and shape on lateral force transmission in implant overdenture treatment. *Int J Prosthodont* 2017; 30(6): 586-591.
32. Hong HR, Pae A, Kim Y, Paek J, Kim HS, Kwon KR. Effect of implant position, angulation, and attachment height on peri-implant bone stress associated with mandibular two-implant overdentures: a finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012; 27(5): 69-76.
33. Ebadian B, Talebi S, Khodaeian N, Farzin M. Stress analysis of mandibular implant-retained overdenture with independent attachment system: effect of restoration space and attachment height. *Gen Dent* 2015; 1: 61-67.
34. Barão VAR, Assunção WG, Tabata LF, de Sousa EA, Rocha EP. Effect of different mucosa thickness and resiliency on stress distribution of implant-retained overdentures-2D FEA. *Comput Methods Programs Biomed* 2008; 92(2): 213-223.
35. Assunção WG, Tabata L, Barao VA, Rocha EP. Comparison of stress distribution between complete denture and implant-retained overdenture-2D FEA. *J Oral Rehabil* 2008; 35(10): 766-774.
36. Vafaei F, Khoshhal M, Bayat-Movahed S, et al. Comparative stress distribution of implant-retained mandibular ball-supported and bar-supported overlay dentures: a finite element analysis. *J Oral Implantol* 2011; 37(4): 421-429.

37. Cekiç C, Akça K, Çehreli MC. Effects of attachment design on strains around implants supporting overdentures. *Quintessence Int* 2007; 38(6): 291-297.
38. Meijer HJ, Starmans FJ, Steen WH, Bosman F. Loading conditions of endosseous implants in an edentulous human mandible: A three-dimensional, finite-element study. *J Oral Rehabil* 1996; 23(11): 757-763.
39. Bevilacqua M, Tealdo T, Menini M, et al. The influence of cantilever length and implant inclination on stress distribution in maxillary implant-supported fixed dentures. *J Prosthet Dent* 2011; 105(1) :5-13.
40. Shackleton JL, Carr L, Slabbert JC, Becker PJ. Survival of fixed implant-supported prostheses related to cantilever lengths. *J Prosthet Dent* 1994; 71(1): 23-26.
41. Sadowsky SJ, Caputo AA. Effect of anchorage systems and extension base contact on load transfer with mandibular implant-retained overdentures. *J Prosthet Dent* 2000; 84(3): 327-334.