

# EVALUATION OF PERIIMPLANT BONE STRAIN IN 2-IMPLANT-RETAINED OVERDENTURES WITH DIFFERENT DENTURE ATTACHMENT SYSTEMS UNDER 5-DEGREE POSTERIOR UPWARD DISPLACEMENT

Sidarat CHINOKUL<sup>1</sup> and Krid KAMOLKHANTIKUL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Thailand; Krid.K@chula.ac.th (Corresponding Author)

## ARTICLE HISTORY

**Received:** 10 April 2026

**Revised:** 24 April 2026

**Published:** 16 May 2026

## ABSTRACT

Posterior occlusal forces in 2-implant-retained overdentures may generate bending moments around the implants. However, evidence regarding strain around implants during upward displacement of denture remains limited. Two attachment systems 1) LOCATOR with standard-range inserts and 2) Novaloc were examined, each with 3 retention levels. Strain around implants was recorded under a simulated posterior upward displacement of 5 degrees. Statistical analysis was performed using a 3-way mixed ANOVA ( $\alpha = 0.05$ ). Periimplant strain was influenced by the combined effect of attachment type and measurement location ( $P = 0.012$ ). The Novaloc system produced greater strain values than the LOCATOR system across all evaluated sites. Regardless of the attachment used, the mesial region consistently exhibited the highest strain. Variation in retention level did not result in significant differences in strain values. The choice of attachment system plays a significant role in determining periimplant strain under posterior upward displacement conditions. The Novaloc attachment generated higher strain, particularly at mesial sites, whereas differences in retention level did not significantly alter strain magnitude.

**Keywords:** Denture Attachment, Posterior Upward Displacement, Periimplant Bone Strain, Overdenture

**CITATION INFORMATION:** Chinokul, S., & Kamonkhantikul, K. (2026). Evaluation of Periimplant Bone Strain in 2-Implant-Retained Overdentures with Different Denture Attachment Systems under 5-Degree Posterior upward Displacement. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(5), 48

## การประเมินความเครียดรอบรากเทียมในฟันเทียมคร่อมรากเทียม 2 ตัวที่มีระบบสิ่งยึดฟันเทียมที่แตกต่างกันภายใต้การเคลื่อนที่แบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศา

สิตารัตน์ ชีโนกุล<sup>1</sup> และ กฤษ กมลขันติกุล<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; Krid.K@chula.ac.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

### บทคัดย่อ

แรงกดเคี้ยวที่กระทำต่อฟันหลังในฟันเทียมทั้งปากล่างชนิดถอดได้คร่อมรากเทียมจำนวน 2 ตัว ก่อให้เกิดโมเมนต์ดัดรอบแกนรากเทียม อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเกี่ยวกับความเครียดของกระดูกรอบรากเทียมภายใต้การเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้ายภายใต้ระบบสิ่งยึดฟันเทียมแต่ละชนิดยังมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษานี้ได้ประเมินสิ่งยึดฟันเทียม 2 ระบบ ได้แก่ 1) สิ่งยึดฟันเทียมระบบโลเคเตอร์รุ่นมาตรฐาน และ 2) สิ่งยึดฟันเทียมระบบโนวาล็อค โดยแต่ละระบบมีระดับแรงยึด 3 ระดับ ค่าความเครียดรอบรากเทียมถูกบันทึกภายใต้การเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศาและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสมสามปัจจัย (3-way mixed ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาพบปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของระบบยึดและตำแหน่งรอบรากเทียมต่อค่าความเครียดรอบรากเทียม ( $P = 0.012$ ) โดยกลุ่มสิ่งยึดฟันเทียมระบบโนวาล็อคแสดงค่าความเครียดสูงกว่ากลุ่มสิ่งยึดฟันเทียมระบบโลเคเตอร์อย่างมีนัยสำคัญในทุกตำแหน่ง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาทุกระบบสิ่งยึดฟันเทียมร่วมกัน พบว่าตำแหน่งใกล้กลางมีค่าความเครียดสูงสุด ขณะที่ระดับแรงยึดของอินเสิร์ตไม่มีผลต่อค่าความเครียดอย่างมีนัยสำคัญ **คำสำคัญ:** สิ่งยึดฟันเทียม, การเคลื่อนที่แบบยกขึ้นด้านท้าย, ความเครียดรอบรากเทียม, ฟันเทียมคร่อมรากเทียม

**ข้อมูลการอ้างอิง:** สิตารัตน์ ชีโนกุล และ กฤษ กมลขันติกุล. (2569). การประเมินความเครียดรอบรากเทียมในฟันเทียมคร่อมรากเทียม 2 ตัวที่มีระบบสิ่งยึดฟันเทียมที่แตกต่างกันภายใต้การเคลื่อนที่แบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศา.

*Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(5), 48

## บทนำ

ปัจจุบันการบูรณะด้วยฟันเทียมทั้งปากล่างชนิดถอดได้คร่อมรากเทียมจำนวน 2 ตัว (2-Impalnt-retained overdenture) เป็นมาตรฐานการรักษาของผู้ป่วยสูญเสียฟันทั้งปาก โดยในการใช้งานฟันเทียมคร่อมรากเทียมล่าง 2 ตัวจะเกิดการขยับของฟันเทียมตามแนวของรากเทียมขณะรับประทานอาหาร ความสามารถในการหมุนของสิ่งยึดฟันเทียม (Overdenture Attachment) จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกชนิดของระบบสิ่งยึดฟันเทียม ทั้งนี้สิ่งยึดฟันเทียมที่มีความสามารถในการหมุนได้น้อยอาจก่อให้เกิดความเครียด (Strain) ต่อสิ่งยึดฟันเทียม, รากเทียม และอาจส่งผลของความเครียดต่อมายังกระดูกโดยรอบรากเทียมได้ ทั้งนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับความเครียดระหว่างการบดเคี้ยวในช่องปากในงานฟันเทียมคร่อมรากเทียมมีการศึกษามาแล้วหลายการศึกษา แต่มีข้อมูลเกี่ยวกับความเครียดภายใต้การเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นทางด้านท้ายยังมีจำกัดโดยเฉพาะมุมในการเคลื่อนที่ซึ่งสะท้อนการใช้งานในสภาวะคนไข้จริง เช่น การยกตัวประมาณ 5 องศา ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาความเครียดรอบรากเทียมโดยใช้เกจวัดความเครียดเพื่อบันทึกความเครียดรอบรากเทียมที่เกิดขึ้นจากมุมการหมุนของการเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศา ภายใต้ระบบสิ่งยึดฟันเทียม, ตำแหน่งรอบรากเทียม และระดับแรงยึดที่แตกต่างกัน

## การทบทวนวรรณกรรม

การบูรณะผู้ป่วยที่สูญเสียฟันทั้งปากด้วยฟันเทียมล่างชนิดถอดได้คร่อมรากเทียมจำนวน 2 ตัวนั้นถือเป็นมาตรฐานการรักษาในปัจจุบัน (Feine et al., 2002; Thomason et al., 2012) สิ่งยึดเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากกับปัจจัยด้านการยึดอยู่และความเสถียรภาพของฟันเทียมคร่อมรากเทียม (ELsyad et al., 2016; ELsyad et al., 2018; Scherer et al., 2013) สิ่งยึดฟันเทียมแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สิ่งยึดชนิดบาร์ (Bar Attachment) และสิ่งยึดชนิดสตั๊ด (Stud Attachment) (Trakas et al., 2006; Elsyad & Khirallah, 2016) สิ่งยึดชนิดบาร์ให้แรงยึดที่ดีและสามารถชดเชยความไม่ขนานของรากเทียมที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม สิ่งยึดชนิดบาร์นี้มีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งยังต้องการช่องความสูงตัวฟันค่อนข้างมาก รวมถึงมีความซับซ้อนของขั้นตอนการทำหัตถการมากกว่า ในขณะที่สิ่งยึดชนิดสตั๊ดมีการใช้งานที่กว้างขวางกว่าเนื่องจากมีกระบวนการที่ง่ายกว่า ใช้ช่องความสูงตัวฟันน้อยกว่า และมีการดูแลหลังการใช้งานที่ง่ายกว่า (Burns, 2004)

โดยทั่วไปสิ่งยึดฟันเทียมชนิดสตั๊ดจะประกอบไปด้วย สิ่งยึดตัวผู้ (Patric) คือ ส่วนของสิ่งยึดฟันเทียมที่ออกแบบให้มีส่วนติดอยู่กับรากเทียม และสิ่งยึดตัวเมีย (Matrix) คือ ส่วนที่ติดอยู่กับฟันเทียม โดยภายในมีอินเสิร์ต (Insert) ที่สามารถขยับและหมุนได้ทำให้มีคุณสมบัติชดเชยความไม่ขนานของรากเทียมได้ สิ่งยึดฟันเทียมระบบโลเคเตอร์ (LOCATOR attachment) เป็นหนึ่งในสิ่งยึดฟันเทียมแบบสตั๊ดที่ได้รับความนิยม สิ่งยึดฟันเทียมระบบโลเคเตอร์รุ่นมาตรฐานมีอินเสิร์ต 3 ระดับ แรงยึด (retention level) แบ่งเป็นสี่ น้ำเงิน ชมพู ใส โดยลักษณะของอินเสิร์ตเป็นในลอนที่ออกแบบให้แรงยึดติด 2 ชั้น จากการยึดเกาะด้านนอกพร้อมกับแกนด้าน ซึ่งสามารถรองรับความเอียงของรากเทียมได้ 10 องศาต่อรากเทียม (Kamonkhantikul et al., 2024; Alsabeeha et al., 2011; Stephens et al., 2014) ระบบสิ่งยึดที่ได้รับความนิยมอีกหนึ่งระบบ ได้แก่ ระบบสิ่งยึดโนวาล็อค (Novaloc Attachment) สิ่งยึดตัวผู้ของระบบนี้เคลือบด้วยชั้นคาร์บอนคล้ายเพชรแบบอสัณฐาน สามารถรองรับความเอียงของรากเทียมได้ 20 องศาต่อรากเทียม (Maniewicz et al., 2020; Straumann Group, 2026; Friedrichsen et al., 2024) ภายในมีอินเสิร์ตซึ่งทำมาจากพอลิเอเทอร์อีเทอร์อีโตนลักษณะมีการออกแบบให้เป็นร่องซึ่งสามารถขยายตัวเมื่อยึดกับสิ่งยึดฟันเทียมส่วนตัวผู้เพื่อช่วยลดการเสื่อมสภาพของพื้นผิวและการสึกหรอของวัสดุ (Straumann Group, 2026, Passia et al., 2016) ในการบูรณะด้วยฟันเทียมทั้งปากล่างชนิดถอดได้คร่อมรากเทียม จำนวน 2 ตัว แรงบดเคี้ยวที่กระทำต่อฐานฟันปลอมด้านท้ายสามารถก่อให้เกิดโมเมนต์การตัดรากเทียมทำหน้าที่เสมือนจุดหมุน ดังนั้น การเลือกใช้ระบบสิ่งยึดติดฟันเทียมจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการอยู่รอดของรากเทียมแม้ว่าสิ่งยึดติดที่มีความยืดหยุ่นจะสามารถลดขนาดของแรงที่ส่งผ่านไปยังรากเทียมได้ แต่อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของฟันเทียมอาจยังคงเกิดขึ้นได้ อันเป็นผลมาจากการสลายตัวของสันกระดูกด้านหลังที่เกิดขึ้นตลอด

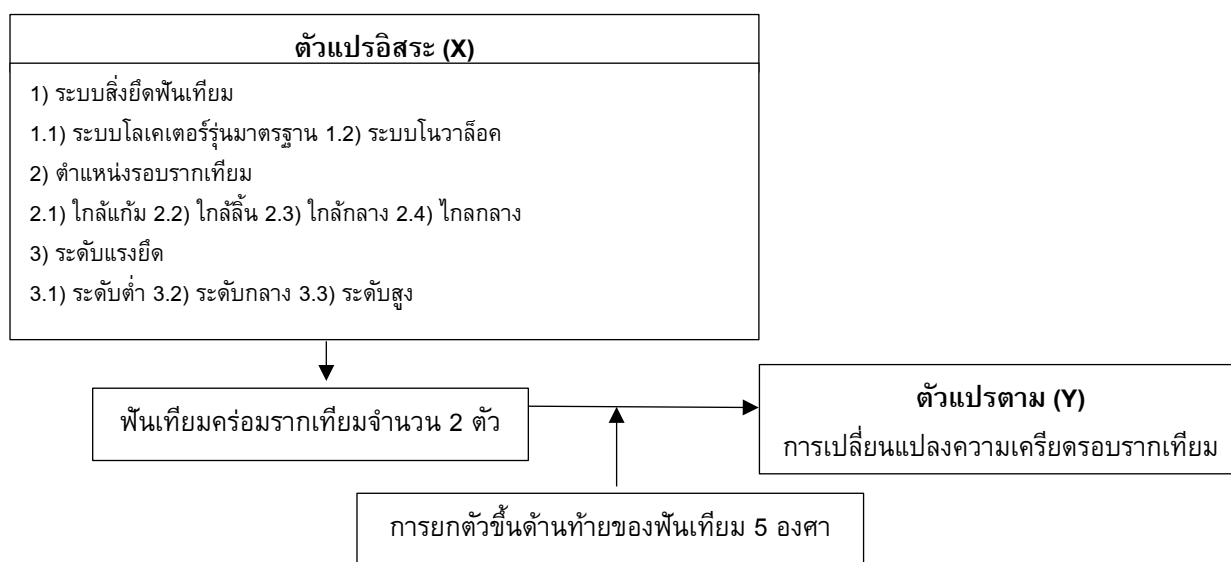
ระยะเวลาการใช้งานทางคลินิกหลายปี ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความเครียดในกระดูกบริเวณรอบรากเทียม (Yoo et al., 2017; Daas et al., 2008) ผู้ป่วยที่ได้รับการบูรณะด้วยฟันเทียมทั้งปากล่างชนิดถอดได้คร่อมรากเทียมจำนวน 2 ตัว มีรายงานว่ามียัตราการสลายตัวของสันกระดูกเฉลี่ยที่  $0.19 \pm 0.15$  มม. ต่อปี (Pham et al., 2021) อย่างไรก็ตาม หลักฐานที่เกี่ยวข้องกับ ความเครียดของกระดูกบริเวณรอบรากเทียมในฟันเทียมทั้งปากล่างชนิดถอดได้คร่อมรากเทียม จำนวน 2 ตัว ที่ใช้ระบบสิ่งยึดฟันเทียมชนิดต่างๆ ภายใต การเคลื่อนตัวขึ้นด้านท้ายซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการทำหน้าที่หรือขณะเคี้ยวอาหารที่มีความเหนียวยังคงมีจำกัด

วิธีในการความเครียดรอบรากเทียมจากฟันเทียมทั้งปากล่างชนิดถอดได้คร่อมรากเทียม จำนวน 2 ตัว ที่ได้รับความนิยม คือ การวิเคราะห์ผ่านगेजวัดความเครียด (strain gages) (Jo et al., 2016; Patil et al., 2024) โดยगेजวัดความเครียดเป็นเซนเซอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานที่วัดได้เมื่อเกิดการเสียรูปเชิงกลเพียงเล็กน้อย (El-Mahdy et al., 2023) เทคนิคนี้จึงถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินความเครียดในบริเวณรอบรากเทียมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของฟันเทียม (Jo & Dong, 2015)

### สมมติฐานการวิจัย

- 1) ระบบสิ่งยึดฟันเทียมที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความเครียดรอบรากเทียมที่แตกต่างกันภายใต้ยกตัวขึ้นด้านท้ายของฟันเทียม 5 องศา
- 2) ตำแหน่งรอบรากเทียมที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความเครียดรอบรากเทียมที่แตกต่างกันภายใต้ยกตัวขึ้นด้านท้ายของฟันเทียม 5 องศา
- 3) ระดับแรงยึดของสิ่งยึดฟันเทียมที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความเครียดรอบรากเทียมที่แตกต่างกันภายใต้ยกตัวขึ้นด้านท้ายของฟันเทียม 5 องศา

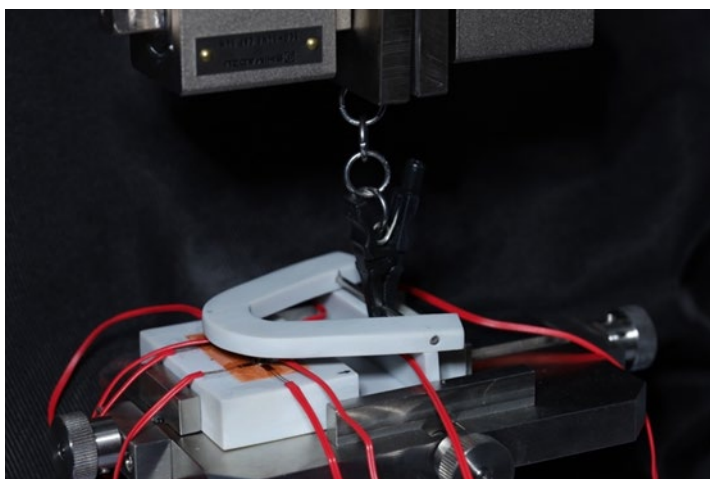
### กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

## วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ประเมินผลของสิ่งยึดพันเทียมจำนวน 2 ระบบ โดยแต่ละระบบมีระดับแรงยึดของอินเสิร์ตจำนวน 3 ระดับ ได้แก่ อินเสิร์ตสีน้ำเงิน, ชมพู, สีจากระบบโลเคเตอร์รุ่นมาตรฐาน และอินเสิร์ตสีขาว, เหลือง, เขียวจากระบบโนวาล็อค ร่วมกับชุดอุปกรณ์ทดสอบถูกสร้างขึ้นด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติประกอบด้วย 1) บล็อกสำหรับติดตั้งรากเทียม 2) ฟันเทียมจำลองรูปตัวยูสำหรับยึดสิ่งยึดตัวผู้ 3) แท่งโลหะเชื่อมฟันเทียมจำลอง และ 4) บล็อกส่วนฐาน รากเทียมจำลองจำนวน 2 ตัวถูกจัดวางขนานกัน ห่างจากแนวกึ่งกลางด้านละ 10 มม. และฝังอยู่ในเรซินอีพ็อกซีซึ่งมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับกระดูกขากรรไกรล่างของมนุษย์ซึ่งมีค่า 5.93 จิกะปาสคาล (Lettry et al., 2003) จากนั้นติดตั้งส่วนยึดตัวผู้ของแต่ละระบบด้วยแรงบิดตามคำแนะนำของผู้ผลิตและฝังส่วนยึดตัวเมียลงในฟันเทียมจำลองรูปตัวยูโดยการใช้อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยตนเอง แท่งโลหะถูกติดตั้งบริเวณฟันเทียมจำลองรูปตัวยูที่ระยะ 40 มม. จากแนวแกนรากเทียมซึ่งเป็นระยะเทียบเท่ากับระยะเฉลี่ยของด้านท้ายของฟันเทียมและรากเทียม (Chen et al., 2011) การคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม G\*Power กำหนดค่า effect size ระดับปานกลาง ระดับนัยสำคัญ 0.05 และกำลังการทดสอบ 80% พบว่า ต้องมีตัวอย่างอย่างน้อย 5 ชิ้นต่อกลุ่มย่อย อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการทดลองจึงเพิ่มจำนวนเป็น 10 ชิ้นต่อกลุ่มย่อย โดยอินเสิร์ตทั้งหมดถูกแช่ไว้ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 7 วันก่อนการทดสอบ (Kamonkhantikul et al., 2024) ติดตั้งเกจวัดความเครียดชนิดแนวแกนเดียว (uniaxial strain gages) จำนวน 4 ตำแหน่ง รอบรากเทียมทั้ง 2 ตัว โดยติดตั้งเกจวัดความเครียดห่างจากขอบรากเทียม 1 มิลลิเมตร ในทิศทางตามกระดูกยอดเบ้าฟัน อุปกรณ์ทดสอบถูกติดตั้งกับเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์และดึงฟันเทียมจำลองขึ้นผ่านแท่งโลหะด้วยความเร็วคงที่ 50 มม./นาที (Samat, 1983) เพื่อจำลองการหลุดของฟันเทียมในทิศทางหลุดแบบยกขึ้นจากด้านท้ายที่ระยะ 5 องศา การทดสอบแต่ละครั้งทำซ้ำ 5 ครั้ง โดยมีบล็อกส่วนฐานเป็นการอ้างอิงการติดตั้งระยะเริ่มต้น 0 องศา ในการเริ่มทดสอบใหม่แต่ละครั้งและเปลี่ยนอินเสิร์ตใหม่ก่อนเริ่มการทดสอบชุดถัดไปดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบกับเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์

ค่าความเครียดสัมพันธ์ระหว่างรากเทียมด้านซ้ายและขวาถูกนำมาเฉลี่ยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบขนาดของความเครียดที่ถ่ายทอดสู่บริเวณรอบรากเทียม การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS ทำการตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูล โดยทดสอบการกระจายแบบปกติด้วย การทดสอบแชปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) และตรวจสอบความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูลด้วย การทดสอบเลวิน (Levene's test) รวมถึงการทดสอบเม้าชลีย์ของสเฟียริซิตี (Mauchly's test of sphericity) ในปัจจัยภายในกลุ่มด้วย Mauchly's test หากไม่เป็นไปตามสมมติฐาน จะมีการปรับแก้กรีนเฮาส์-ไกเซอร์ (Greenhouse-Geisser correction) จากนั้นค่าความเครียดรอบรากเทียมถูกวิเคราะห์

ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสมสามปัจจัย (3-way mixed ANOVA) เพื่อประเมินผลของระบบสิ่งยึดพันเทียม ตำแหน่งรอบรากเทียม และระดับแรงยึดรวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างโดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ตามด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธีบอนเฟอร์รอนี (Bonferroni test)

## ผลการวิจัย

ผลการศึกษาค่าสัมบูรณ์ของความเครียดรอบรากเทียมภายใต้การเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศา พบว่า ปฏิสัมพันธ์สามทางระหว่างปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P = 0.884$ ) นอกจากนี้ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ระบบสิ่งยึดพันเทียมกับระดับแรงยึด และระดับแรงยึดกับระหว่างตำแหน่งรอบรากเทียม ก็ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = 0.925$  และ  $P = 0.570$  ตามลำดับ) ในทางตรงกันข้ามพบว่า ปฏิสัมพันธ์สองทางระหว่างระบบ สิ่งยึดพันเทียมกับตำแหน่งรอบรากเทียม มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P = 0.012$ ) แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ผสมสามปัจจัยแสดงไว้ในตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสัมบูรณ์ความเครียดรอบรากเทียม ใน แต่ละระบบสิ่งยึดพันเทียมและตำแหน่งรอบรากเทียม แสดงไว้ในตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสมสามปัจจัยเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของความเครียดรอบราก เทียมภายใต้เคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศา ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบสิ่งยึดพันเทียม, ตำแหน่งรอบรากเทียม และระดับแรงยึด

| ปัจจัย                                             | df     | SS       | MS       | F      | P      |
|----------------------------------------------------|--------|----------|----------|--------|--------|
| สิ่งยึดพันเทียม × ระดับแรงยึด                      | 2      | 15.707   | 7.853    | 0.078  | 0.925  |
| สิ่งยึดพันเทียม                                    | 1      | 1594.873 | 1594.873 | 15.767 | <.001* |
| ระดับแรงยึด                                        | 2      | 276.340  | 138.170  | 1.366  | 0.264  |
| ระหว่างปัจจัย                                      | 54     | 5462.138 | 101.151  |        |        |
| สิ่งยึดพันเทียม × ระดับแรงยึด × ตำแหน่งรอบรากเทียม | 2.517  | 23.694   | 9.415    | 0.175  | 0.884  |
| สิ่งยึดพันเทียม × ตำแหน่งรอบรากเทียม               | 1.258  | 403.020  | 320.288  | 5.968  | 0.012* |
| ระดับแรงยึด × ตำแหน่งรอบรากเทียม                   | 2.517  | 85.378   | 33.926   | 0.632  | 0.570  |
| ตำแหน่งรอบรากเทียม                                 | 1.258  | 3671.094 | 2874.575 | 53.563 | <.001* |
| ภายในปัจจัย                                        | 67.949 | 3646.576 | 53.667   |        |        |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05

**ตารางที่ 2** ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสัมบูรณ์ของความเครียดรอบรากเทียมจากการเคลื่อนที่ของฟัน เทียมแบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศาภายใต้ระบบสิ่งยึดพันเทียมกับตำแหน่งรอบรากเทียม

| ตำแหน่งรอบรากเทียม | สิ่งยึดพันเทียม          |                      |
|--------------------|--------------------------|----------------------|
|                    | ระบบโลเคเตอร์รุ่นมาตรฐาน | ระบบโนวาล็อค         |
| ใกล้แก้ม           | $3.6 \pm 2.5^{Ba}$       | $7.4 \pm 6.3^{Bb}$   |
| ใกล้ลิ้น           | $2.9 \pm 1.9^{Aa}$       | $5.6 \pm 4.5^{Ab}$   |
| ใกล้กลาง           | $9.5 \pm 5.8^{Ca}$       | $18.7 \pm 12.4^{Db}$ |
| ไกลกลาง            | $6.5 \pm 3.9^{Ba}$       | $11.1 \pm 7.5^{Cb}$  |

ค่าที่มีตัวอักษรกำกับด้านบนเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับภายในคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ค่าที่มีตัวอักษรกำกับด้านล่างเป็นตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับในแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบสิ่งยึดฟันเทียมพบว่าสิ่งยึดฟันเทียมระบบโนวาล็อคให้ค่าความเครียดสูงกว่าสิ่งยึดฟันเทียมระบบโลเคเตอร์ในทุกตำแหน่งรอบรากเทียม และเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งรอบรากเทียมภายในแต่ละระบบสิ่งยึดฟันเทียมพบว่าตำแหน่งใกล้กลางมีค่าความเครียดสูงที่สุดในขณะที่ตำแหน่งใกล้ลิ้นมีค่าต่ำที่สุด

## สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเครียดบริเวณกระดูกรอบรากเทียมที่เกิดจากระบบสิ่งยึดฟันเทียมชนิดต่าง ๆ ตำแหน่งรอบรากเทียมและระดับแรงยึดภายใต้การเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศา ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเครียดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างระบบยึดและตำแหน่งรอบรากเทียม โดยไม่ขึ้นกับระดับแรงยึด ทั้งนี้งานศึกษานี้เลือกมุม 5 องศา การเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้ายเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ยกขึ้นของฟันเทียมจากสันเหงือกซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการบดเคี้ยวอาหารในสภาวะทางคลินิก ซึ่งถึงแม้การเคลื่อนที่ของฟันเทียมมีการขยับไม่มากแต่ส่งผลถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบสิ่งยึดฟันเทียมกับตำแหน่งรอบรากเทียม

การวิเคราะห์ผลของระบบยึดฟันเทียม พบว่า สิ่งยึดฟันเทียมสำหรับฟันเทียมทั้งปากล่างถอดได้คร่อมรากเทียมควรเอื้อให้เกิดการหมุนรอบแกนรากเทียมเพื่อทำให้เกิดการกระจายแรงที่สมดุลและลดความเครียดต่อรากเทียมและกระดูกขาข้าง จากผลการศึกษาสิ่งยึดฟันเทียมระบบโนวาล็อคให้ค่าความเครียดสูงกว่าสิ่งยึดฟันเทียมระบบโลเคเตอร์รุ่นมาตรฐานในทุกตำแหน่ง ซึ่งอาจอธิบายได้จากคุณสมบัติของวัสดุ โดยวัสดุพอลิเอทเธอร์อีเทอร์คิโตนที่ใช้ในกลุ่มสิ่งยึดฟันเทียมระบบโนวาล็อคมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น  $2730 \pm 260$  เมกะปาสคาล (Schwitalla et al., 2015) สูงกว่าไนลอนในกลุ่มสิ่งยึดฟันเทียมระบบโลเคเตอร์รุ่นมาตรฐานซึ่งมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น  $1084 \pm 21$  เมกะปาสคาล (Wieckiewicz et al., 2014) ส่งผลให้ถ่ายทอดแรงสู่กระดูกรอบรากเทียมมากกว่า ขณะที่ไนลอนมีความยืดหยุ่นสูงกว่าจึงช่วยลดการส่งผ่านแรงได้ นอกจากนี้รูปแบบของสิ่งยึดฟันเทียมระบบโนวาล็อคที่ยึดแน่นระหว่างอินเสิร์ตและเฮาส์ซึ่งและไม่มีการหมุนแบบสิ่งยึดฟันเทียมระบบโลเคเตอร์ที่ส่งผลเพิ่มค่าความเครียดอีกด้วย

การวิเคราะห์ผลของตำแหน่งรอบรากเทียมพบว่า ภายใต้การยกตัวด้านท้ายของฟันเทียมตำแหน่งใกล้กลางให้ค่าความเครียดสูงที่สุดในทุกระบบสิ่งยึดฟันเทียม ซึ่งอาจเกิดจากการหมุนของฟันปลอมรอบแกนฝังใกล้ลิ้นและใกล้แก้มทำให้แรงถูกถ่ายไปยังด้านใกล้กลางมากขึ้น ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่พบการสูญเสียกระดูกมากที่สุดที่ด้านใกล้กลางผู้ป่วยที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มอาการคอมบินเนชัน ซึ่งเป็นภาวะที่พบได้ในผู้ป่วยที่ขากรรไกรบนไม่มีฟัน และขากรรไกรล่างมีฟันหน้าธรรมชาติ (da Silva et al., 2025)

การวิเคราะห์ผลของระดับแรงยึดพบว่าการศึกษาที่ปัจจัยด้านระดับแรงยึดไม่ส่งผลต่อค่าความเครียดรอบรากเทียม โดยอาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศาใช้ในการทดลองเป็นการเคลื่อนที่ขนาดเล็กทำให้แรงยึดที่แตกต่างกันยังไม่ส่งผลมาถึงความเครียดรอบรากเทียม อย่างไรก็ตาม แม้แรงยึดสูงจะช่วยเพิ่มความมั่นคงของฟันปลอม (ELsyad et al., 2016; ELSyad et al., 2018) แต่การเลือกใช้ควรพิจารณาเป็นรายบุคคลตามความต้องการใช้งานของผู้ป่วย (de Albuquerque et al., 2019)

## ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

1) ในการบูรณะฟันเทียมทั้งปากคร่อมรากเทียมถือเป็นมาตรฐานการรักษาของผู้ป่วยที่สูญเสียฟันทั้งปาก โดยการเลือกระบบยึดฟันเทียมมีความสำคัญกับความเครียดบริเวณรอบรากเทียม ทั้งนี้ควรเลือกระบบยึดติดที่มีการรองรับการหมุนได้อย่างเหมาะสมเพื่อลดความเครียดซึ่งส่งผ่านมายังรากเทียมและเพิ่มอายุการใช้งานของรากเทียมต่อไป

- 2) ควรพิจารณาคุณสมบัติของระบบสิ่งยึด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุอินเลิร์ต โดยวัสดุที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสูง เช่น วัสดุที่ทำจากพอลิเอเทอร์อีเทอร์คิโตนีมีแนวโน้มการถ่ายทอดแรงสู่กระดูกรอบรากเทียมมากกว่าในขณะที่วัสดุที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นน้อยกว่า เช่น วัสดุที่ทำจากไนลอนจะสามารถดูดซับแรงที่ถ่ายทอดสู่กระดูกรากเทียมได้
- 3) ถึงแม้ว่าระดับแรงยึดจะไม่ส่งผลต่อความเครียดรอบรากเทียมภายใต้การเคลื่อนที่ของฟันเทียมแบบยกขึ้นด้านท้าย 5 องศา แต่การเลือกระดับแรงยึดยังเป็นการช่วยเพิ่มความมั่นคงของฟันเทียมทั้งนี้ควรเลือกพิจารณาตามความต้องการใช้งานของผู้ป่วย
- 4) การยกขึ้นด้านท้ายของฟันเทียม 5 องศา เป็นส่วนหนึ่งของการการใช้งานฟันเทียมในการเคี้ยวมักเกิดขึ้นในเวลาที่ผู้ป่วยรับประทานอาหารเหนียว การยกขึ้นของฟันเทียมนี้นี้มีความสำคัญเนื่องจากฟันเทียมทั้งปากครอบรากเทียม 2 ตัวมีโอกาสขยับในแนวหน้า-หลังโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผู้ป่วยใช้งานไปในระยะเวลานานและไม่ได้รับการดูแลจากฐานฟันเทียมอย่างเหมาะสมจะยิ่งเพิ่มโอกาสในการขยับของฟันเทียมมากขึ้นเนื่องจากสันเหงือกด้านท้ายของผู้ป่วยจะมีการละลายตัวจึงยิ่งเพิ่มระยะในการขยับของฟันเทียม

#### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ข้อจำกัดของการศึกษานี้คือการทดลองในแบบจำลองที่ใช้รากเทียม 2 ตัวจากมาตรฐานการรักษาผู้ป่วยที่สูญเสียฟันทั้งปาก ซึ่งในทางคลินิกผู้ป่วยอาจได้มีการบูรณะด้วยรากเทียมมากกว่า 2 ตัว ส่งผลให้การขยับเคลื่อนที่ของฟันเทียมอาจลดน้อยลงส่งผลต่อความเครียดรอบรากเทียมที่แตกต่างออกไปจากการศึกษานี้
- 2) การศึกษานี้เป็นการจำลองรากเทียม 2 ตัวที่อยู่ในระดับเดียวกันและทำมุมขนานกัน ซึ่งสถานการณ์จริงอาจมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความหนาแน่นของกระดูก ความสูงของกระดูกในผู้ป่วยอาจเกิดความต่างของความสูง และอาจเกิดมุมเอียงของรากเทียมที่ไม่ได้ขนานกัน ทั้งนี้อาจส่งผลต่อความเครียดของรากเทียมที่แตกต่างจากการศึกษานี้ออกไป
- 3) การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาความเครียดรอบรากเทียมซึ่งเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการใช้งานฟันเทียมถอดได้ครอบรากเทียม ทั้งนี้ในทางคลินิกยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น พฤติกรรมการใช้งานของผู้ป่วย สุขอนามัยการทำความสะอาดรากเทียมและฟันเทียม, การดูแลรักษาและการนัดติดตามผลระยะยาวซึ่งอาจส่งผลต่อความสำเร็จของฟันเทียมถอดได้ครอบรากเทียม

#### เอกสารอ้างอิง

- Alsabeeha, N. H., Swain, M. V., & Payne, A. G. (2011). Clinical performance and material properties of single-implant overdenture attachment systems. *International Journal of Prosthodontics*, 24(3), 247-54.
- Burns, D. R. (2004). The mandibular complete overdenture. *Dental Clinics*, 48(3), 603-623.
- Chen, I. C., Brudvik, J. S., Mancl, L. A., Rubenstein, J. E., Chitswe, K., & Raigrodski, A. J. (2011). Freedom of rotation of selected overdenture attachments: an in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 106(2), 78-86.
- da Silva, L. J., Vieira, H. T., Morel, L. L., da Rosa Possebon, A. P., Chagas-Júnior, O. L., de Rezende Pinto, L., ... & Faot, F. (2025). Can combination syndrome influence functional performance and peri-implant bone remodeling in mandibular overdenture users? Results from a 5-year cohort study. *Journal of Dentistry*, 160, 105878.
- Daas, M., Dubois, G., Bonnet, A. S., Lipinski, P., & Rignon-Bret, C. (2008). A complete finite element model of a mandibular implant-retained overdenture with two implants: comparison between rigid and resilient attachment configurations. *Medical engineering & physics*, 30(2), 218-225.

- de Albuquerque Jr, R. F., Fromentin, O., Lassauzay, C., & Conceição Pereira Saraiva, M. D. (2019). Patient satisfaction versus retention of implant overdentures with two attachment systems: A randomized trial. *Clinical implant dentistry and related research*, 21(1), 21-31.
- El-Mahdy, M., Aboelfadl, A., Ahmed, F., El-Banna, A., & Wahsh, M. (2023). Strain gauge analysis and fracture resistance of implant-supported PEKK hybrid abutments restored with two crown materials: An in vitro study. *Dental and medical problems*, 60(3), 497-503.
- Elsyad, M. A., Agha, N. N., & Habib, A. A. (2016). Retention and Stability of Implant-Retained Mandibular Overdentures Using Different Types of Resilient Attachments: An In Vitro Study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 31(5), 1040-8.
- ELsyad, M. A., Elhaddad, A. A., & Khirallah, A. S. (2018). Retentive properties of O-ring and locator attachments for implant-retained maxillary overdentures: an in vitro study. *Journal of Prosthodontics*, 27(6), 568-576.
- Elsyad, M. A., & Khirallah, A. S. (2016). Circumferential bone loss around splinted and nonsplinted immediately loaded implants retaining mandibular overdentures: A randomized controlled clinical trial using cone beam computed tomography. *The Journal of prosthetic dentistry*, 116(5), 741-748.
- Elsyad, M. A., Setta, F. A., & Khirallah, A. S. (2016). Strains around distally inclined implants retaining mandibular overdentures with Locator attachments: an in vitro study. *The journal of advanced prosthodontics*, 8(2), 116.
- Feine, J. S., Carlsson, G. E., Awad, M. A., Chehade, A., Duncan, W. J., Gizani, S., ... & Wismeijer, D. (2002). The McGill consensus statement on overdentures. Mandibular two-implant overdentures as first choice standard of care for edentulous patients. *Gerodontology*, 19(1), 3-4.
- Friedrichsen, M., Dirksen, D., & Runte, C. (2024). In vitro measurement of the retention force of two stud attachment systems during cyclic load. *Journal of Prosthodontics*, 33(2), 164-170.
- Jo, D. W., & Dong, J. K. (2015). Effects of posterior ridge resorption and attachment wear on periimplant strain in mandibular two-implant-supported overdentures. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(6), 839-847.
- Kamonkhantikul, K., Arksornnukit, M., & Homsiang, W. (2024). Effect of thermocycling on the retentive force of the retentive inserts in three denture attachments and their water absorption ability. *Dental Materials Journal*, 43(1), 90-96.
- Lettry, S., Seedhom, B. B., Berry, E., & Cuppone, M. (2003). Quality assessment of the cortical bone of the human mandible. *Bone*, 32(1), 35-44.
- Maniewicz, S., Badoud, I., Herrmann, F. R., Chebib, N., Ammann, P., Schimmel, M., ... & Srinivasan, M. (2020). In vitro retention force changes during cyclic dislodging of three novel attachment systems for implant overdentures with different implant angulations. *Clinical oral implants research*, 31(4), 315-327.
- Passia, N., Ghazal, M., & Kern, M. (2016). Long-term retention behaviour of resin matrix attachment systems for overdentures. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 57, 88-94.
- Patil, P. G., Seow, L. L., Uddanwadikar, R., Pau, A., & Ukey, P. D. (2024). Crestal strain of two-implant mandibular overdentures with implants placed at different positions: An in vitro 3D printed simulation study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(2), 281-e1.

- Pham, N. Q., Gonda, T., Maeda, Y., & Ikebe, K. (2021). Average rate of ridge resorption in denture treatment: A Systematic Review. *Journal of Prosthodontic Research*, 65(4), 429-437.
- Sarnat, A. E. (1983). The efficiency of cobalt samarium (Co5Sm) magnets as retention units for overdentures. *Journal of Dentistry*, 11(4), 324-333.
- Scherer, M. D., McGlumphy, E. A., Seghi, R. R., & Campagni, W. V. (2013). Comparison of retention and stability of implant-retained overdentures based upon implant number and distribution. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 28(6), 1619-28.
- Schwitalla, A. D., Spintig, T., Kallage, I., & Müller, W. D. (2015). Flexural behavior of PEEK materials for dental application. *Dental Materials*, 31(11), 1377-1384.
- Stephens, G. J., di Vitale, N., O'Sullivan, E., & McDonald, A. (2014). The influence of interimplant divergence on the retention characteristics of locator attachments, a laboratory study. *Journal of Prosthodontics*, 23(6), 467-475.
- Straumann Group. (2016). *Straumann® Novaloc® Retentive System for Hybrid Dentures: Basic Information Brochure*. Retrieved from <https://www.straumann.com/content/dam/media-center/straumann/en-us/documents/brochure/product-information/CALIT.1660-Novaloc-Basic-Information-Brochure.pdf>.
- Thomason, J. M., Kelly, S. A. M., Bendkowski, A., & Ellis, J. S. (2012). Two implant retained overdentures—A review of the literature supporting the McGill and York consensus statements. *Journal of dentistry*, 40(1), 22-34.
- Trakas, T., Michalakis, K., Kang, K., & Hirayama, H. (2006). Attachment systems for implant retained overdentures: a literature review. *Implant dentistry*, 15(1), 24-34.
- Wieckiewicz, M., Opitz, V., Richter, G., & Boening, K. W. (2014). Physical properties of polyamide-12 versus PMMA denture base material. *BioMed research international*, 2014(1), 150298.
- Yoo, J. S., Kwon, K. R., Noh, K., Lee, H., & Paek, J. (2017). Stress analysis of mandibular implant overdenture with locator and bar/clip attachment: Comparative study with differences in the denture base length. *The journal of advanced prosthodontics*, 9(3), 143-151.

**Data Availability Statement:** The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

**Publisher's Note:** All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



**Copyright:** © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).