

บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของฟันและซากรโรกรของหนูวิสตาร์

ในซากรโรกรแต่ละข้าง (quadrant) ของหนูวิสตาร์ประกอบด้วยฟัน 4 ซี่ ได้แก่ฟันตัด 1 ซี่ และฟันกราม 3 ซี่ ฟันกรามบนซี่แรกมี 6 ราก เป็นรากทางด้านใกล้แก้ม (buccal root) 3 ราก และด้านใกล้ลิ้น (lingual root) 2 ราก รากใกล้แก้มใกล้กลาง มีขนาดใหญ่ที่สุด ฟันกรามบนซี่ที่ 2 มี 4 ราก เป็นรากด้านใกล้แก้ม 2 ราก และด้านใกล้ลิ้น 2 ราก รากใกล้ลิ้นใกล้กลาง (mesio-lingual root) มีขนาดใหญ่ที่สุด ส่วนฟันกรามบนซี่ที่ 3 มี 3 ราก เป็นรากด้านใกล้กลาง 2 ราก และด้านใกล้แก้มใกล้กลาง 1 ราก

ฟันกรามบนทั้ง 3 ซี่ มีแนวแกนของรากฟันเอียงไปทางด้านใกล้กลางและแยกห่างจากกัน ฟันกรามทั้ง 3 ซี่เรียงตัวชิดกันและมีช่องว่างขนาดใหญ่แยกห่างจากฟันตัด แนวแกนฟันกรามเอียงไปทางด้านใกล้กลาง ความเอียงนี้ลดลงตามลำดับจากฟันกรามซี่แรกจนถึงซี่ที่ 3 และเอียงออกทางด้านใกล้แก้ม

ในฟันกรามล่างซี่แรกมี 4 ราก โดย 2 รากเป็นรากขนาดใหญ่ด้านใกล้กลาง และใกล้กลาง อีก 2 รากเป็นรากขนาดเล็กอยู่ระหว่าง 2 รากใหญ่ทางด้านใกล้แก้มและใกล้ลิ้น ฟันกรามล่างซี่ที่ 2 มี 2 หรือ 3 ราก ในกรณีที่มี 3 ราก รากด้านใกล้ลิ้นใกล้กลางจะมีขนาดใหญ่ที่สุด ฟันกรามล่างซี่ที่ 3 มี 2 ราก

การเอียงตัวของแนวแกนฟันกรามล่างเอียงไปทางด้านใกล้กลางโดยความเอียงเพิ่มขึ้นจากฟันกรามล่างซี่แรกถึงฟันกรามล่างซี่ที่ 3 และเอียงเข้าทางด้านใกล้ลิ้น

ภายหลังจากการสร้างรากฟัน ความยาวของฟันกรามทั้งบนและล่างจะคงที่ เมื่อมีการสึกของด้านบดเคี้ยวของฟันกรามจะมีการทดแทนด้วยการพอกเพิ่มของเคลือบรากฟันบริเวณปลายรากฟัน

ฟันหน้าบนมีรูปร่างโค้ง ส่วนที่อยู่นอกกระดูกเบ้าฟันมีแนวโค้งไปทางด้านหลัง ที่ปลายมีด้านสึกในแนวโค้ง ส่วนของฟันที่อยู่ในกระดูกซากรโรกรบน จะอยู่เหนือแผ่นกระดูกของเพดานแข็ง

ฟันหน้าล่างมีรูปร่างโค้ง แต่มีรัศมีของการโค้งมากกว่าฟันหน้าบน ส่วนที่อยู่ นอกกระดูกเบ้าฟัน มีลักษณะยื่นไปด้านหน้าและโค้งขึ้นบน ส่วนที่อยู่ภายในกระดูกจะยื่นยาวอยู่ ใต้ฟันกรามล่างทั้ง 3 ซี่ และไปสิ้นสุดบริเวณรามีส (ramus) ของขากรรไกรล่าง (Sicher และ Weinmann, 1944)

การเคลื่อนที่ของฟันกรามตามธรรมชาติ

Sicher และ Weinmann (1944) ศึกษาการเคลื่อนที่ฟันตามธรรมชาติของ หมูวิสตาร์พบว่า ฟันกรามมีการงอกอย่างต่อเนื่องในขณะเดียวกันก็มีการเคลื่อนทางไกล กลางและออกทางไกลแถมเล็กน้อย โดยศึกษาทิศทางและอัตราการเคลื่อนที่ฟันจากการสังเกต การสร้างและละลายกระดูกเบ้าฟัน จากภาพตัดขวางทางจุลกายวิภาคศาสตร์ ที่ตัดผ่าน บริเวณรากฟันกรามทั้ง 3 ซี่ พบว่า อัตราการเคลื่อนที่ฟันตามธรรมชาติเท่ากับ อัตราการ พอกเพิ่ม และปริมาณการเพิ่มขึ้นใหม่ของกระดูกเบ้าฟันทางด้านใกล้กลาง ซึ่งบริเวณนี้พบว่า เอ็นยึดปริทันต์ มีการเรียงตัวสม่ำเสมอเป็นปกติและแข็งแรง

ทางด้านใกล้กลาง กระดูกเบ้าฟันมีการละลายตัวแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนที่ 1 มีการละลายตัวของกระดูกเบ้าฟันโดยเซลล์ของสตีโอบลาสต์ เส้นใยหลัก (principal fibers) ของเอ็นยึดปริทันต์สูญเสียการเรียงตัว และพบความผิดปกติของเนื้อเยื่อยึดต่อ ชนิคแน่น (dense connective tissue) ขั้นตอนที่ 2 บริเวณผิวกระดูกที่ถูกละลายมีการ สร้างกระดูกใหม่เพิ่มเป็นชั้นบาง ๆ และมีการเข้ายึดเกาะใหม่ของเส้นใยหลักของเอ็นยึดปริ- ทันต์กับผนังกระดูกเบ้าฟัน และในขั้นตอนที่ 3 มีการพอกเพิ่มของกระดูกดำเนินไปอย่าง ต่อเนื่อง จนไม่พบความแตกต่างระหว่างด้านใกล้กลางและด้านไกลกลางของเนื้อเยื่อปริทันต์

การเคลื่อนที่ฟันตามธรรมชาติทางด้านใกล้กลาง เกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ (Inter- mittent period) ในช่วงที่มีการพักจะเกิดการซ่อมแซมกระดูกที่ถูกละลาย เพื่อให้เกิด การยึดเกาะใหม่ของเอ็นยึดปริทันต์ เป็นการปรับปรุงให้เกิดการทำหน้าที่ได้ปกติ ในขั้นตอน การเคลื่อนที่ฟันตามธรรมชาติ อาจพบมีการละลายของผิวเคลือบรากฟันหรือเนื้อฟัน (dentine) ทางด้านใกล้กลาง แต่จะมีการซ่อมสร้างเกิดขึ้นโดยการพอกเพิ่มของผิวเคลือบ รากฟัน

จากการฉีดสารฮาริซาลิน-เอส (alizarin-S) เป็นระยะ แล้วทำการศึกษาจาก แฉกเนื้อเยื่อที่ฉนจนบาง (ground section) เพื่อประเมินการพอกเพิ่มของกระดูกในแต่ละ สัปดาห์ ซึ่งสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ฟันตามธรรมชาติพบว่า ฟันกรามบนและล่างในหนูอายุ 6 เดือน

มีอัตราการเคลื่อนฟันตามธรรมชาติไปทางด้านไกลกลางประมาณ 60-80 ไมโครเมตรต่อสัปดาห์ ในขณะที่หนูที่เจริญเติบโตเต็มที่ พบว่า ฟันกรามบนมีการเคลื่อนไปทางด้านไกลกลาง 7.7 ไมโครเมตรต่อวัน (King และคณะ, 1991)

สำหรับฟันตัดบน ศึกษาจากภาพรังสีของซากรรไกรบนในหนูที่อายุต่าง ๆ กัน พบว่า มีการเจริญและงอกขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ระยะห่างระหว่างฐานฟันตัดบนกับฟันกรามมีค่าคงที่ เมื่อมาจากฐานของฟันตัดบนจะเคลื่อนไปทิศทางเดียวกับการเคลื่อนของฟันกราม ในแนวบดเคี้ยวไกลกลาง (occluso-distally)

โดยสรุปจากการศึกษาการเคลื่อนฟันตามธรรมชาติของหนูวิสตาร์ โดยการศึกษารังสีและลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของหนูที่มีอายุต่าง ๆ กันตั้งแต่ 4 สัปดาห์ ถึง 1 ปี พบว่า

1. ฟันตัดมีการเจริญเติบโตและงอกอย่างต่อเนื่อง ไม่เพียงแต่เป็นการชดเชยการสึกของฟันเท่านั้นแต่ยังเป็นการเจริญในทุกมิติของรูปร่างด้วย โดยเกิดตลอดอายุของหนู
2. ฟันกรามจะงอกในสัปดาห์แรกของชีวิตหนู และภายหลังจากงอกขึ้นสู่ช่องปาก ฟันชิ้นนี้จะหยุดการเจริญเติบโต การงอกขึ้นในแนวตั้งของฟันกรามเป็นการชดเชยการสึกของฟัน และเพื่อให้สัมพันธ์กับการเจริญในแนวตั้งของซากรรไกร การเคลื่อนของฟันกรามไปทางด้านไกลกลาง เพื่อให้สัมพันธ์กับการเจริญของซากรรไกรบนและซากรรไกรล่างในส่วนของความยาวที่เพิ่มขึ้นทางด้านหลัง โดยการพอกเพิ่มของกระดูกทางด้านไกลกลางของผิวกระดูกเบ้าฟัน และการละลายของผิวกระดูกเบ้าฟันทางด้านไกลกลาง

3. ตลอดชีวิตของหนู ระยะระหว่างฟันกรามและฟันหน้าจะคงที่

Miura และคณะ (1970) ศึกษาพัฒนาการของเอ็นยึดปริทันต์และการเคลื่อนฟันตามธรรมชาติในหนูวิสตาร์เพศเมีย จำนวน 44 ตัว ในช่วงอายุต่าง ๆ ตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 210 วัน โดยศึกษาจากภาพถ่ายรังสีกะโหลกศีรษะและซากรรไกร และลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า การพัฒนาของฟันกรามบนที่แรกมีการสร้างตัวฟันตั้งแต่แรกเกิด และสร้างเสร็จเมื่ออายุประมาณ 10 วัน โดยเริ่มมีการสะสมแคลเซียมที่ยอดฟันตั้งแต่แรกเกิดถึงอายุ 5 วัน สังเกตเห็นความหนาของช่องเอ็นยึดปริทันต์ด้านไกลกลางและด้านไกลกลางแตกต่างกัน เมื่ออายุประมาณ 10 วัน เริ่มพบการละลายและการพอกเพิ่มของกระดูกเบ้าฟัน ซึ่งให้เห็นว่าฟันกรามบนที่แรกเริ่มมีการเคลื่อนที่ไปทางด้านไกลกลางก่อนที่จะงอกจนสบกับฟันกรามล่าง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ O'Brien, Bhaskarim และ Brodie (1968) ซึ่งศึกษาลักษณะจุลกายวิภาคศาสตร์ของการงอกและการเคลื่อนของฟันกรามล่างที่แรกในหนูอายุตั้งแต่ 13 วันหลังปฏิสนธิ ถึง 30 วันหลังคลอด ซึ่งพบว่าเริ่มมีการพัฒนาของตัวฟันตั้งแต่อายุ 13 วันหลังปฏิสนธิ และสร้างเสร็จเมื่ออายุ 30 วันหลังคลอด

โดยเริ่มมีการสร้างผิวเคลือบฟันเมื่ออายุ 3 วันหลังคลอด เริ่มมีการสร้างรากฟันเมื่ออายุ 10 วัน และสร้างรากเสร็จเมื่ออายุ 30 วันหลังคลอด

ขณะที่เริ่มมีการสร้างรากฟันเมื่ออายุ 10 วัน ช่องเยื่อปริทันต์เริ่มมีการเจริญของเส้นใยคอลลาเจน (collagen fibers) โดยเฉพาะบริเวณด้านใกล้กลาง และเส้นใยบางส่วนเริ่มฝังเข้าไปในกระดูกเบ้ารากฟันด้านใกล้กลาง โดยบริเวณช่องเยื่อปริทันต์มีการเจริญแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนใน (inner) ส่วนนอก (outer) และส่วนกลาง (intermediate zone) โดยเส้นใยพรีคอลลาเจน (precollagenous fibers) และมัดเส้นใยคอลลาเจน มีการฝังเข้าไปในกระดูกเบ้าฟันด้านใกล้กลาง แต่ไม่ปรากฏการฝังในกระดูกเบ้าฟันด้านใกล้กลาง และพบว่าช่องเยื่อปริทันต์ด้านใกล้กลางจะหนากว่าด้านใกล้กลาง เซลล์ไฟโบรบลาสต์ (fibroblast) เส้นใย และมัดเส้นใยของเยื่อปริทันต์ด้านใกล้กลาง มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในทิศทางเดียวจากเคลือบรากฟันถึงผิวกระดูกเบ้าฟัน การเรียงตัวดังกล่าวทำให้เกิดแรงดึง (tensile force) ต่อผิวกระดูกเบ้าฟัน ปรากฏเซลล์ของสติโอบลาสต์ และมีการพอกเพิ่มของกระดูกเบ้าฟัน ในทางตรงข้ามที่ด้านใกล้กลางมีการกดของเยื่อปริทันต์ ปรากฏเซลล์ของสติโอบลาสต์ และมีการละลายกระดูกเบ้าฟัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนฟันตามธรรมชาติไปทางด้านใกล้กลางพร้อม ๆ กับการงอกของฟันกรามในหนูวิสตา และจากการศึกษานี้มีความแตกต่างของความหนาของช่องเยื่อปริทันต์ด้านใกล้กลางและใกล้กลาง เริ่มปรากฏเมื่อหนูอายุ 5 วัน และต่างกันมากขึ้นจนถึงอายุ 60 วัน หลังจากนั้นความแตกต่างจะลดลงจนอายุ 210 วัน ความหนาของช่องเยื่อปริทันต์ทางด้านใกล้กลางและด้านใกล้กลางจะเท่ากัน

การปรากฏของเซลล์ของสติโอบลาสต์ และมีการพอกเพิ่มของกระดูกเบ้าฟันทางด้านดึงของเยื่อปริทันต์ ปรากฏทางด้านใกล้กลางตั้งแต่อายุ 5 วันถึง 60 วัน ส่วนทางด้านกดพบเซลล์ของสติโอบลาสต์และการละลายของกระดูกเบ้าฟันในช่วงเวลาเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนฟันตามธรรมชาติไปทางด้านใกล้กลาง เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการงอกของฟันในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งเป็นช่วงก่อนการงอกและก่อนการทำหน้าที่ของฟัน

การซ่อมสร้างกระดูกที่ถูกทำลายในหนูวิสตา

Van, Vignery และ Baron (1982) ทำการศึกษาขั้นตอนการเปลี่ยนรูปร่างของกระดูก (bone remodeling sequence) โดยการถอนฟันกรามบนขวาออกทั้งหมด เพื่อกระตุ้นให้ฟันกรามล่างงอกยาวขึ้น ส่งผลให้ด้านใกล้แก้มของกระดูกเบ้าฟันเกิดการ

ละลายและสร้างกระดูก โดยทำการศึกษาในหนูวิสตาร์เพศผู้ จำนวน 39 ตัว เป็นเวลา 16 วัน ผลการศึกษาพบว่า

ในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการถอนฟัน ผนึกกระดูกเบ้าฟันทางด้านใกล้แก้มจะถูกปกคลุมด้วยขอลอสติออยด์ (osteoid) และขอลอสติโอบลาสท์ที่แอคทีฟ (active osteoblast) มีการสร้างกระดูกและสะสมแร่ธาตุในอัตรา $2.5 + 3$ ไมโครเมตรต่อวัน ไม่พบเซลล์ขอลอสติโอคลาสท์และช่องของฮาวซีฟ

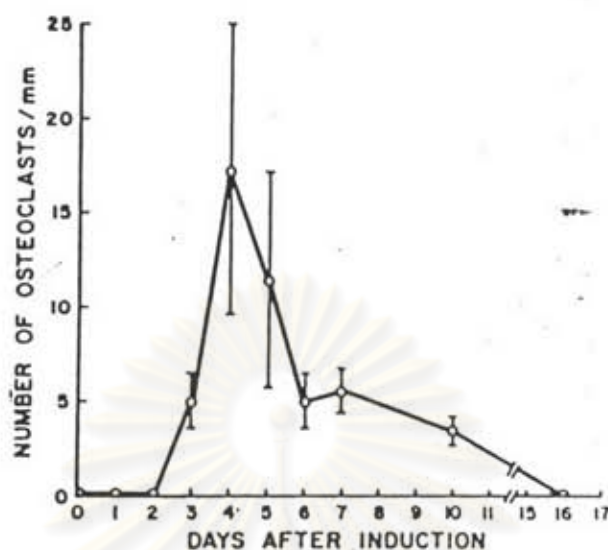
ในกลุ่มทดลองภายหลังจากถอนฟันกรามบนออก 1-2 วัน พบการสร้างแมทริกซ์ของกระดูก (bone matrix formation) หยุดลง แต่ยังคงมีการสังเคราะห์ขอลอสติออยด์อยู่ แต่การสังเคราะห์นี้จะค่อย ๆ ลดลงจนหยุดไปในวันที่ 4 ส่วนเซลล์ขอลอสติโอบลาสท์จะเปลี่ยนรูปร่างจากเดิมไปเป็นเซลล์ที่มีลักษณะแบนในวันที่ 2 เซลล์ขอลอสติโอคลาสท์เริ่มพบครั้งแรกในวันที่ 3 และเพิ่มจำนวนสูงสุดในวันที่ 4 เริ่มลดลงในวันที่ 5 และ 6 และกลับคืนสู่สภาพปกติในวันที่ 10 ถึง 16 การปรากฏรีเวอสิล ลาคูนา (reversal lacunae) แสดงร่องรอยการละลายกระดูก ซึ่งได้แก่ช่องของฮาวซีฟ ภายในฮาจอร์เรจูล์เซลล์ขอลอสติโอคลาสท์หรือขอลอสติออยด์ และขอลอสติโอบลาสท์ รีเวอสิล ลาคูนา นี้จะปรากฏครั้งแรกในวันที่ 4 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุดในวันที่ 7 และกลับสู่สภาพปกติในวันที่ 10-16 ส่วนขอลอสติออยด์ซึ่งเคยหายไปในช่วงวันที่ 4 และ 5 จะปรากฏอีกครั้งในวันที่ 6 และจะเพิ่มขึ้นจนปกคลุมทั่วกระดูกในวันที่ 16

การซ่อมแซมกระดูกในแต่ละช่วง จะต้องมีส่วนล่าช้า (delay) ซึ่งต่างกันไปตามความสามารถของเซลล์แต่ละชนิด ดังนั้น การกำหนดระยะเวลาของแต่ละช่วงจึงได้จากครึ่งหนึ่งของระยะกราฟขึ้นและลงจากจุดสูงสุด (รูปที่ 1) ซึ่งสรุปได้ว่า

การละลายกระดูก เกิดในวันที่ 3 และกินเวลา 2-3 วัน

การซ่อมแซมกระดูก เกิดในวันที่ 5 และกินเวลา 4 วัน

การสร้างกระดูก เกิดในวันที่ 10 ส่วนช่วงเวลานั้นไม่จำกัด จนกว่าจะเกิดการกระตุ้นให้เกิดการละลายกระดูก



รูปที่ 1 กราฟแสดงจำนวนออสติโกลาสต์ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน ภายหลังจากการถอนฟันกราม (Van และคณะ, 1982)

การเคลื่อนฟันเมื่อได้รับแรงทางทันตกรรมจัดฟัน

Waldo และ Rothblatt (1964) เป็นนักวิจัยกลุ่มแรกที่ศึกษาการเคลื่อนฟันของหนูเมื่อมีแรงภายนอกกระทำโดยใช้ยางแยกฟันความหนา 0.8 มิลลิเมตร ใส่ระหว่างฟันกรามบนขวาที่แรกและซี่ที่สอง ยางแยกฟันขนาดดังกล่าวทำให้เกิดแรง 100-150 กรัม หลังจากใส่ยางแยกฟันแล้วเป็นระยะเวลา 1, 3 และ 5 วัน นำหนูมาทำให้เสียชีวิตแล้วนำฟันที่ถูกแยกมาตัดเป็นแผ่นชิ้นเนื้อ (sections) และย้อมด้วยสีอะซัน (Azan Stain) หรือฮีมาโทซึลลินและอีโอซิน (Hematoxylin and Eosin) ผลการศึกษาพบว่า ยางแยกฟันทำให้เกิดการเคลื่อนฟันแบบทึบปิง โดยมีจุดหมุนประมาณ 1 ใน 3 ใกล้ปลายรากฟัน (apical third) การเคลื่อนที่ของฟันเริ่มที่ 24 ชั่วโมง และมีระยะห่างของฟันสูงที่สุดในวันที่ 3 ภายหลังจากใส่ยาง ลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ที่พบ คือ

เมื่อ 24 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของช่องเอ็นยึดปริทันต์ โดยบริเวณด้านกดจะแคบลงและพบการหดตัวของหลอดเลือด บริเวณด้านตึงกว้างขึ้นและหลอดเลือดขยายตัว มีการกระจายของเซลล์มายังผิวกระดูกเบ้าฟันบริเวณที่ติดกับเอ็นยึดปริทันต์

3 วัน การตอบสนองของช่องเยื่อต่อแรงเคลื่อนฟันใกล้จุดสูงสุด เกิดเลือดออก กระดูกเบ้าฟันละลายจากภายใน (undermining resorption) และพบเซลล์ออสติโอคลาสต์จำนวนมากในด้านกด โดยเฉพาะบริเวณที่ได้รับแรงมากเกินไป

5 วัน การตอบสนอง ที่แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์มีมากกว่าวันที่ 3 ความกว้างของช่องเยื่อปริทันต์ด้านตั้งและด้านกดแตกต่างกันมาก โดยด้านกดบางบริเวณสังเกตพบบริเวณเลือดออกได้ชัดเจน ขอบเขตของกระดูกไม่เรียบ

Yen และ Rothblatt (1955) ได้ศึกษาการตอบสนองของกระดูกเบ้าฟันและอวัยวะปริทันต์ต่อแรงเคลื่อนฟันในระยะเริ่มต้นโดยใช้วิธีให้แรงของ Waldo และ Rothblatt (1954) แล้วศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคศาสตร์เมื่อเวลา 4, 6, 8, 16, 20 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังจากการให้แรงระหว่างฟันกรามบนซี่แรกและซี่ที่สองขวา โดยใช้ช้างซ้ายเป็นกลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า

ภายหลัง 4 ชั่วโมง ทางด้านกดของรากฟัน ช่องเยื่อปริทันต์แคบลง การเปลี่ยนแปลงในระยะเริ่มแรกของเซลล์ พบภายหลัง 6 ชั่วโมง โดยมีการตายของเหงือกระหว่างฟัน (interdental papilla) บริเวณใต้ยางแยกฟันมีเลือดออก ปรากฏเซลล์ออสติโอคลาสต์ร่วมกับการละลายกระดูกบริเวณกระดูกเบ้าฟันระหว่างรากฟันและระหว่างซี่ฟัน บริเวณด้านตั้งพบมีการสร้างกระดูกขึ้นใหม่

ภายหลัง 8 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงมีมากขึ้น พบมีการละลายกระดูกจากด้านในบริเวณช่องไขกระดูก (marrow space) (indirect bone resorption) ของกระดูกเบ้าฟันระหว่างซี่ฟันใต้ยางแยกฟัน ที่เวลา 16 ชั่วโมง พบมีหลอดเลือดขยายตัวในกระดูกบริเวณด้านตั้งและพบการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดภายในโพรงประสาทฟัน (pulp) ที่เวลา 20 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของอวัยวะปริทันต์ที่แสดงลักษณะการตอบสนองต่อแรงชัดเจนขึ้น มีการเพิ่มขึ้นของเซลล์ออสติโอคลาสต์บริเวณด้านตั้งก่อนที่มีการพอกเพิ่มของกระดูก ความกว้างของช่องเยื่อปริทันต์แต่ละบริเวณแตกต่างกัน พบมีการละลายกระดูกบริเวณด้านใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่สองและซี่ที่สาม และมีการเคลื่อนฟันแบบหีบโปงออกจากบริเวณที่มีแรงจากแผ่นยางแยกฟัน

Myers และ Wyatt (1961) ศึกษาการตอบสนองทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของการเคลื่อนฟันในหนูแฮมสเตอร์ (hamster) อายุ 60 วัน จำนวน 36 ตัว ใช้สปริงชนิดเกลียวปิดเป็นตัวยึดให้แรงเคลื่อนฟัน โดยยึดกับฟันกรามล่างซี่แรกกับฟันหน้าล่างปรับให้มีแรงขนาด 4 อนุตต์ ทำให้เกิดการเคลื่อนฟันแบบหีบโปง แล้วศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ที่เวลา 1, 2, 3, 5, 7 และ 9 วัน

การเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคศาสตร์ แบ่งได้เป็น 2 ระยะ ระยะแรกอยู่ในช่วง 3 วันแรก โดยพบมีการตายของเยื่อปริทันต์จากแรงกด กินพื้นที่ประมาณร้อยละ

20 ของส่วนยอดของกระดูกเบ้าฟันด้านใกล้กลางของรากใกล้กลาง และบริเวณกระดูกเบ้าฟันระหว่างรากฟันด้านใกล้กลางของรากใกล้กลาง และช่องเอ็นยึดปริทันต์แคบลง เส้นใยคอลลาเจนสูญเสียการเรียงตัว ในวันที่ 3 ไม่ปรากฏนิวเคลียสของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ เหลือแต่เพียงเส้นใยคอลลาเจนภายในเอ็นยึดปริทันต์ ทางด้านตึงพบมีการยึดของเอ็นยึดปริทันต์บริเวณด้านใกล้กลางของรากด้านใกล้กลาง พบเซลล์ของสตีโอคลาสต์จำนวนเล็กน้อย บริเวณผิวกระดูกเบ้าฟันทางด้านใกล้กลางของรากฟันใกล้กลาง และรากฟันใกล้กลางเริ่มมีการพอกเพิ่มกระดูก โดยพบเซลล์ของสตีโอบลาสต์จำนวนเล็กน้อยบริเวณด้านตึงของฟันกรามล่างซี่แรก ส่วนฟันกรามซี่ที่สองและซี่ที่สามในระยะเวลา 1 ถึง 3 วัน ลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์เหมือนกลุ่มควบคุม คือ จะมีลักษณะการเคลื่อนฟันตามธรรมชาติไปทางด้านใกล้กลาง

ในระยะที่สอง (วันที่ 5, 7 และ 9) ยังคงพบบริเวณที่มีการตายของเอ็นยึดปริทันต์ด้านใกล้กลางของรากทั้งสองของฟันกรามซี่แรก ปรากฏเซลล์ของสตีโอคลาสต์บริเวณส่วนใกล้ตัวฟันของกระดูกเบ้าฟันระหว่างรากฟันและบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันด้านใกล้กลางของรากใกล้กลาง ในวันที่ 9 ปรากฏการพอกเพิ่มกระดูกชัดเจนบริเวณด้านตึงของเอ็นยึดปริทันต์

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของเอ็นยึดปริทันต์ปรากฏเมื่อให้แรงมากขึ้นและเมื่อเวลาของการให้แรงเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 9 โดยการละลายกระดูกเบ้าฟันเริ่มปรากฏชัดเจนในวันที่ 3 และเพิ่มมากขึ้นจนถึงวันที่ 9 ส่วนการพอกเพิ่มของกระดูกเบ้าฟันเริ่มปรากฏชัดเจนในวันที่ 5 และปรากฏตลอดจนถึงวันที่ 9

Zaki และ Van Huysen (1963) ศึกษาการเคลื่อนที่ของฟันในหนูวิสตาร์ น้ำหนัก 220 กรัม 24 ตัว เมื่อได้รับแรงแยกฟันตามวิธีของ Waldo และ Rothblatt (1964) แต่เปลี่ยนมาใช้แผ่นยางกันน้ำลาย (dental rubber dam) กว้าง 2 มิลลิเมตรหนา 0.14 มิลลิเมตร ศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ ที่เวลา 6, 12, 24 และ 72 ชั่วโมง พบว่าแผ่นยางกันน้ำลายแยกฟันทำให้ฟันกรามบนซี่แรกเคลื่อนไปทางด้านใกล้กลาง และฟันกรามบนซี่ที่สองเคลื่อนไปทางด้านใกล้กลาง ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับการเคลื่อนฟันตามธรรมชาติ เมื่อศึกษาบริเวณด้านกดและด้านตึงที่ระดับคอฟันเทียบกับระดับรากฟัน แสดงการเคลื่อนที่แบบทึบปิง การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ที่พบในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน มีดังนี้

6 ชั่วโมง ด้านกดพบนิวเคลียสของไฟโบรบลาสต์หดตัว (pyknotic) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่พบไฮยาลินเซชัน (hyalinization) พบการละลายของกระดูกเบ้าฟันจากชั้นในของช่องไซกระดูก โดยเซลล์ของสตีโอคลาสต์ทางด้านตึง พบนิวเคลียสของ

ไฟโบรบลาสท์ยาวขึ้นตามทิศทางของเอ็นยึดปริทันต์ที่ถูกดึง ไม่พบการพอกเพิ่มของกระดูกในช่วงเวลานี้

12 ชั่วโมง ด้านกดพบไฮยาลินในเข้ชั้นตลอดแนวกระดูกที่ถูกกด การละลายกระดูกเบ้าฟันยังคงเกิดจากชั้นในช่องไซกระดูก โดยมีหลอดเลือดมาเลี้ยงบริเวณที่เกิดการละลาย ทางด้านตั้ง ปรากฏหลอดเลือดชัดเจนตรงกึ่งกลางเอ็นยึดปริทันต์ นิวเคลียสของไฟโบรบลาสท์ที่เคยยาวเปลี่ยนลักษณะเป็นรูปกลม

24 ชั่วโมง เอ็นยึดปริทันต์ทางด้านกดถูกบีบอย่างรุนแรง เกิดไฮยาลินในเข้ชั้นที่มีขอบเขต และตำแหน่งต่าง ๆ กัน ที่ด้านตั้ง เซลล์ในเอ็นยึดปริทันต์เพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณใกล้ผิวกระดูกเบ้าฟัน พบออสติออยด์ที่ปลายเส้นใยปริทันต์ โดยมีออสติโอพลาสท์อยู่บนผิวของออสติออยด์นั้น

72 ชั่วโมง ด้านกดเอ็นยึดปริทันต์ยังคงถูกกดและเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ผิวกระดูกปกคลุมด้วยออสติโอคลาสท์จำนวนมาก โดยมีหลอดเลือดอยู่ใกล้กับเซลล์ชนิดนี้เป็นจำนวนมาก ส่วนบริเวณที่เกิดไฮยาลินในเข้ชั้นไม่พบเซลล์ออสติโอคลาสท์และหลอดเลือด

Zaki และ Van Huysen (1963) สรุปว่า การให้แรงขนาดสูง ๆ ในฟันหลายรากในหนูที่กำลังเจริญเติบโตทำให้เกิดการเคลื่อนฟันแบบทึบปึง เมื่อเอ็นยึดปริทันต์ได้รับแรงจะเกิดไฮยาลินในเข้ชั้น และการละลายกระดูกเบ้าฟันทางด้านกด โดยเป็นการละลายจากภายในช่องไซกระดูก หากแรงกระทำมีขนาดพอเหมาะจะไม่ทำให้เกิดเนื้อเยื่อในเอ็นยึดปริทันต์ตาย การละลายเริ่มจากผิวกระดูกด้านนอก (direct bone resorption) จากการศึกษาครั้งนี้พบลักษณะเด่น คือ ด้านตั้งจะพบหลอดเลือดขนาดใหญ่อยู่กึ่งกลางช่องเอ็นยึดปริทันต์ ส่วนด้านกดจะพบหลอดเลือดขนาดเล็กที่มีความสัมพันธ์กับบริเวณที่กำลังมีการละลายกระดูก

Azuma (1970) ศึกษาการเคลื่อนฟันในหนูวิสตาร์ น้ำหนัก 220 ถึง 240 กรัม จำนวน 53 ตัว โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกใช้ยางจัดฟันกว้าง 1 มิลลิเมตร หนา 0.7 มิลลิเมตร กลุ่มที่ 2 ใช้ยางจัดฟันขนาดกว้าง 1 มิลลิเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร ให้แรงแยกฟันกรามบนขวาซี่แรกกับซี่ที่สองตามวิธีของWaldo และ Rothblatt (1954) โดยขนาดแรงที่ให้ในกลุ่มแรกประมาณ 140 ถึง 200 กรัม และในกลุ่มที่สองประมาณ 80 ถึง 130 กรัม แล้วศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคศาสตร์ในช่วงเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมง จนถึง 21 วัน ผลการศึกษาทางจุลกายวิภาคศาสตร์ที่พบในช่วงเวลาต่าง ๆ กันมีดังนี้

6 ชั่วโมง ด้านใกล้กลางของรากฟันใกล้แก้มใกล้กลางของฟันกรามบนซี่แรก (ด้านกด) เอ็นยึดปริทันต์ถูกกด พบหลอดเลือดขนาดเล็ก น้อยลง ในกลุ่มแรกนิวเคลียสของไฟโบรบลาสท์มีการหดตัว ในเอ็นยึดปริทันต์ พบเซลล์ออสติโอพลาสท์ได้ในบางบริเวณ มีการเรียงตัวที่ไม่ปกติของเส้นใยคอลลาเจน ส่วนบริเวณยอดกระดูกระหว่างรากฟันด้านใกล้กลางของรากฟันใกล้แก้มใกล้กลางของฟันกรามบนซี่แรก (ด้านตั้ง) พบการยึดตัว

ของเอ็นยึดปริทัศน์และไฟโบรบลาสท์ มีการลดลงของจำนวนเซลล์ของสตีโอคลาสท์ทั้ง 2 กลุ่ม บริเวณกึ่งกลางของช่องเอ็นยึดปริทัศน์ พบเส้นใยพรีคอลลลาเจน

12 ชั่วโมง บริเวณด้านกุดมีการหดตัวของนิวเคลียสของไฟโบรบลาสท์มากขึ้น เกิดไฮยาลินแซชั่น พบเซลล์ของสตีโอคลาสท์เพิ่มขึ้นทั้งทางด้านผิวกระดูกเบ้าฟัน และภายในช่องไซกระดูกใกล้เคียง ๑ กับบริเวณที่มีไฮยาลินแซชั่นในทั้ง 2 กลุ่ม เส้นใยของเอ็นยึดปริทัศน์บริเวณนี้เรียงตัวไม่ปกติ บริเวณด้านตึงเส้นใยเอ็นยึดปริทัศน์ยึดตัว และมีการเพิ่มขึ้นของเซลล์ไฟโบรบลาสท์บริเวณกึ่งกลางเอ็นยึดปริทัศน์ ระยะเวลาไม่พบเซลล์ของสตีโอคลาสท์ทางด้านตึงอีกแล้ว

1 วัน บริเวณด้านกุดไม่พบโครงสร้างใด ๆ ภายในบริเวณที่เกิดไฮยาลินแซชั่น ไม่ปรากฏหลอดเลือดขนาดเล็กภายในเอ็นยึดปริทัศน์ พบการละลายกระดูกจากภายในช่องไซกระดูกบริเวณกระดูกเบ้าฟันใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดไฮยาลินแซชั่น ส่วนบริเวณที่ไกลออกไปพบการละลายกระดูกจากผิวกระดูกเบ้าฟัน ช่องกระดูกที่ละลายไปแล้วจะถูกปกคลุมด้วยชั้นของเซลล์ของสตีโอคลาสท์ บริเวณด้านตึงปรากฏเซลล์ของสตีโอคลาสท์บริเวณผิวกระดูกเบ้าฟัน มีเซลล์ไฟโบรบลาสท์เพิ่มขึ้นบริเวณกึ่งกลางเอ็นยึดปริทัศน์ มีการผอมละลายการดึงตัวของเอ็นยึดปริทัศน์ที่มีมาตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ในทั้ง 2 กลุ่ม มีการพอกเพิ่มของออสติออยด์, กระดูก และเคลือบรากฟัน

2 วัน บริเวณด้านกุดยังคงพบการเกิดไฮยาลินแซชั่น พบเซลล์ของสตีโอคลาสท์จำนวนมาก รวมทั้งการละลายของกระดูกเบ้าฟันใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดไฮยาลินแซชั่น พบช่องลาคูนา (lacuna) อยู่ห่างจากบริเวณไฮยาลินแซชั่น โดยมีไฟโบรบลาสท์ หลอดเลือดขนาดเล็ก และเส้นใยคอลลลาเจนบรรจุภายใน โดยเส้นใยบางส่วนฝังเข้าไปในกระดูกเบ้าฟัน

บริเวณด้านตึง ปรากฏเซลล์ของสตีโอคลาสท์และซีเมนโตบลาสท์ (cemento-blast) มีการพอกเพิ่มกระดูกเบ้าฟันชัดเจน มีเส้นใยกระดูก (bone trabeculae) สร้างขึ้นตามแนวการยึดตัวของเอ็นยึดปริทัศน์ เริ่มปรากฏการพอกเพิ่มของเคลือบรากฟัน บริเวณผิวรากฟัน

3 วัน บริเวณด้านกุดมีการละลายกระดูกเป็นบริเวณกว้างมากขึ้น การละลายเข้าไปใกล้บริเวณไฮยาลินแซชั่น พบโครงสร้างโยงใยของเส้นใยคอลลลาเจนขนาดเล็กในเนื้อเยื่อกรานูเลชัน (granulation tissue) ภายในช่องลาคูนา เส้นใยส่วนใหญ่ฝังตัวในกระดูกยกเว้นบริเวณที่ปรากฏเซลล์ของสตีโอคลาสท์

บริเวณด้านตึง ปรากฏเส้นใยกระดูกเรียงตัวตามแนวมัดเส้นใยเอ็นยึดปริทัศน์ที่ยึดตัว และมีการฝังตัวของมัดเส้นใยเข้าไปในกระดูกเบ้าฟัน

5 วัน บริเวณด้านกด เอ็นยึดปริทันต์บริเวณที่เกิดไฮยาลินเซชั่นถูกแทนที่ด้วยเนื้อเยื่อกลูมาเลสชั่น บริเวณด้านตั้ง ชั้นของกระดูกที่พอกเพิ่มหนาขึ้น เส้นใยกระดูกสร้างขึ้นในแนวขนานกับมัดของเส้นใยเอ็นยึดปริทันต์

7 วัน บริเวณด้านกด พบบริเวณไฮยาลินเซชั่นเพียงเล็กน้อย รวมทั้งพบเซลล์ odontoclast เล็กน้อยเช่นกัน พบการละลายของรากฟันบริเวณใกล้คอฟันในชั้นเนื้อบางแผ่นในกลุ่มแรก ภายในช่องรากพบเส้นใยชนิดพรีคอบลลาเจน

บริเวณด้านตั้ง พบเซลล์ odontoblast น้อยมาก ทั้งๆ ที่ในวันแรกๆ พบมาก มัดเส้นใยเอ็นยึดปริทันต์ฝั่งตัวลึกขึ้นในกระดูกเบ้าฟัน

14 วัน บริเวณด้านกด พบเนื้อเยื่อกลูมาเลสชั่นแทนที่ไฮยาลินเซชั่นทั้งหมด พบเซลล์ odontoclast เล็กน้อยมากใกล้ๆ บริเวณนี้ ในชั้นเนื้อบางแผ่นของกลุ่มแรกพบเซลล์ odontoclast (odontoclast) และการละลายของรากฟัน บริเวณด้านตั้งปรากฏเซลล์ odontoblast น้อยมาก ตลอดแนวที่กระดูกสร้างขึ้นใหม่

21 วัน บริเวณด้านกด พบเซลล์ odontoblast, odontoclast และ การพอกเพิ่มของกระดูก ในขณะที่บริเวณด้านตั้งสามารถพบเซลล์ odontoclast และบริเวณที่มีการละลายกระดูก บริเวณที่มีการละลายของรากฟันมีการซ่อมสร้างโดยเคลือบรากฟันที่สร้างขึ้นใหม่ (secondary cementum) ความกว้างของช่องเอ็นยึดปริทันต์ทั้งด้านกดและด้านตั้งเท่ากัน

Azuma (1970) สรุปการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อปริทันต์ของฟันกรามหนูวิสตาร์ เมื่อได้รับแรงเคลือบฟันตามตารางที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | gr | con | 6h | 12h | 1d | 2d | 3d | 5d | 7d | 14d | 21d | |
|-----------------|---------------------|-----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|---|
| Mesial side | Osteoblast | (1) | + | - | - | - | - | - | - | ± | ± | |
| | | (2) | + | ± | - | - | - | - | - | ± | + | |
| | Osteoclast | (1) | - | - | ± | + | + | + | + | + | - | - |
| | | (2) | - | - | ± | + | + | + | + | + | - | - |
| | Odontoclast | (1) | - | - | - | - | - | - | ± | + | + | - |
| | | (2) | - | - | - | - | - | - | ± | + | + | - |
| | Osteoid tissue | (1) | + | - | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | | (2) | + | - | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | Bone apposition | (1) | ± | - | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | | (2) | ± | - | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | Bone resorption | (1) | - | - | - | + | + | + | + | + | ± | - |
| | | (2) | - | - | - | + | + | + | + | + | ± | - |
| | Cementum apposition | (1) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | | (2) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| Root resorption | (1) | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | |
| | (2) | - | - | - | - | - | - | - | ± | ± | ± | |
| Hyalinization | (1) | - | ± | + | + | + | + | + | ± | - | - | |
| | (2) | - | - | + | + | + | + | + | + | - | - | |
| Distal side | Osteoblast | (1) | - | - | - | ± | + | + | + | ± | - | - |
| | | (2) | - | - | - | ± | + | + | + | ± | - | - |
| | Osteoclast | (1) | + | ± | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | | (2) | + | ± | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | Odontoclast | (1) | ± | ± | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | | (2) | ± | ± | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | Osteoid tissue | (1) | - | - | - | ± | + | + | + | + | - | - |
| | | (2) | - | - | - | ± | + | + | + | + | - | - |
| | Bone apposition | (1) | - | - | - | - | + | + | + | + | - | - |
| | | (2) | - | - | - | - | + | + | + | + | - | - |
| | Bone resorption | (1) | + | ± | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | | (2) | + | ± | - | - | - | - | - | - | - | ± |
| | Cementum apposition | (1) | - | - | - | - | + | + | + | + | - | - |
| | | (2) | - | - | - | - | + | + | + | + | - | - |
| Root resorption | (1) | ± | - | - | - | - | - | - | - | - | ± | |
| | (2) | ± | - | - | - | - | - | - | - | - | ± | |
| Hyalinization | (1) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | (2) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |

gr: groups. con: controls. h: hours. d: days.

ตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของฟันกรามซี่แรก (Azuma, 1970)

Rygh (1972a, 1972b) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดและเซลล์ในเอ็นยึดปริทันต์ด้านกอดของฟันกรามในหนูวิสตาร์ทั้ง 2 เพศ จำนวน 55 และ 67 ตัวตามลำดับ ด้วยการให้แรงจากเครื่องมือที่สร้างขึ้น โดยทำปลอกโลหะรัดฟันตัดหน้าบนทั้ง 2 ซี่ และมีขนาด 0.028 นิ้ว เชื่อมติดกับปลอกโลหะรัดฟัน ทำเป็นโครงลวดหลักแล้วเชื่อมติดด้วยสปริงขนาด 0.010 นิ้ว ดันฟันจากด้านใกล้ลิ้นของฟันกรามที่แรกให้เคลื่อนไปทางด้านใกล้แก้ม ให้แรงขนาด 5-25 กรัม เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 30 นาทีถึง 28 วัน การเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคศาสตร์ที่ศึกษาในด้านกอดให้ผลดังนี้

ในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับแรง เอ็นยึดปริทันต์ด้านใกล้แก้มบริเวณใกล้ยอดกระดูกเบ้าฟัน มีความกว้างสม่ำเสมอในช่วง 80-140 ไมโครเมตร และปรากฏหลอดเลือดหลายขนาด ซึ่งภายในมีเม็ดเลือดแดงอยู่บ้าง พบหลอดเลือดบริเวณใกล้กระดูกเบ้าฟัน

ในกลุ่มทดลอง เมื่อให้แรงเป็นระยะเวลา 30 นาที มีการกดเอ็นยึดปริทันต์เล็กน้อยบริเวณใกล้กับยอดกระดูกเบ้าฟัน โดยลดขนาดความกว้างเหลือ 70-90 ไมโครเมตร สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ต่าง ๆ น้อย

2 ชั่วโมง เอ็นยึดปริทันต์แคบลงเหลือความกว้างประมาณ 60 ไมโครเมตร พบมีการหดตัวของนิวเคลียสของเซลล์เอ็นยึดปริทันต์ บางเซลล์ไม่ปรากฏไซโทพลาสซึม พบมีการขยายตัวของหลอดเลือดภายในเอ็นยึดปริทันต์ บริเวณใกล้ยอดกระดูกเบ้าฟัน และใกล้ปลายราก ใกล้กับบริเวณด้านกอด

6 ถึง 12 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคศาสตร์มีมากขึ้น บางบริเวณไม่ปรากฏเซลล์ พบเป็นบริเวณที่เรียบสม่ำเสมอภายในเอ็นยึดปริทันต์

24 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของเซลล์มีมากขึ้น บริเวณที่ไม่ปรากฏเซลล์มีมากขึ้น และขยายบริเวณเข้าใกล้บริเวณที่มีการละลายกระดูก บริเวณนี้คือบริเวณไฮยาลินเซชั่น

2-3 วัน บริเวณด้านกอดเกิดไฮยาลินเซชั่นเป็นส่วนใหญ่ บางบริเวณอาจพบเซลล์ที่มีแต่นิวเคลียสหดตัวและปราศจากไซโทพลาสซึม ความกว้างของเอ็นยึดปริทันต์อยู่ในช่วง 15-40 ไมโครเมตร

5 วัน ความกว้างของช่องเอ็นยึดปริทันต์ถูกกดเหลือประมาณ 15-20 ไมโครเมตร ปรากฏบริเวณไฮยาลินเซชั่นโดยตลอดบริเวณด้านกอด พบหลอดเลือดที่ผิดปกติใกล้กับกระดูกเบ้าฟัน พบการละลายกระดูกจากด้านในกระดูกเบ้าฟัน

7 วัน บริเวณไฮยาลินเซชั่นลดลงอย่างมาก พบการซ่อมสร้างของเนื้อเยื่อมีเซลล์และหลอดเลือดเกิดขึ้นใหม่ในช่องเอ็นยึดปริทันต์

Heller และ Nanda (1979) ศึกษาการเคลื่อนฟันในหนูสปรากดอลี (Sprague-dawley rat) เพศผู้ โดยใช้สปริงชนิดเกลียวบิดซึ่งมีขั้วดี คือ แรงเคลื่อนฟัน

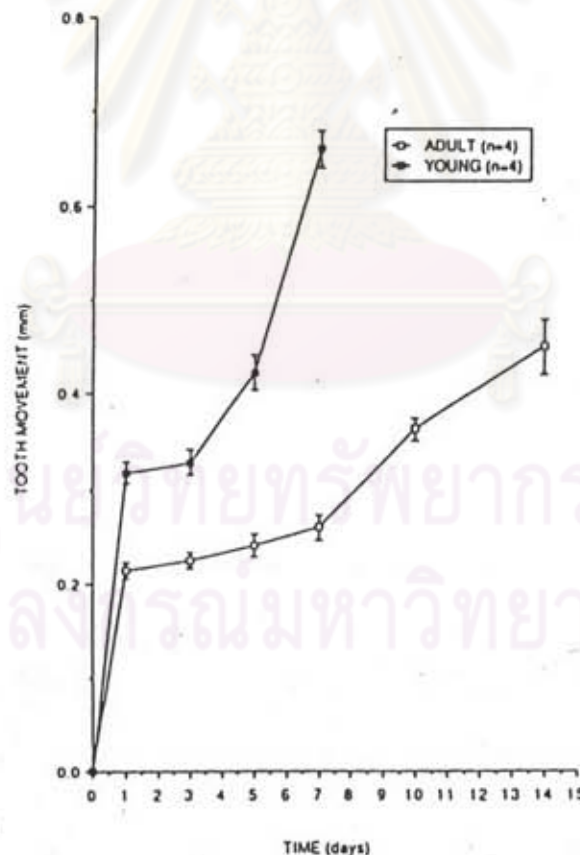
จากสปริงจะมีลักษณะคงที่ ต่างจากการใช้ยางแยกฟันซึ่งมีข้อเสีย คือ ยางจะหลุดออก จากซอกฟันภายในเวลา 5 วัน ซึ่งจะไม่สามารถศึกษาในระยะเวลาไม่นานนี้ได้ และแรงที่เกิดขึ้น จะสูงในระยะเริ่มการทดลองและลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการศึกษาในครั้งนี้ใช้สปริงเกลียว ปิดขนาด 0.006 x 0.020 นิ้ว ยาว 1/4 นิ้ว คล้องจากซอกฟันระหว่างฟันกรามบนซี่แรกกับ ซี่ที่สอง ไปยังรูที่เจาะบนฟันตัดขวาด้วยลวดมัดฟัน จึงให้เกิดแรงขนาด 50 กรัม เคลื่อนฟัน เป็นเวลา 9 วัน ทำการศึกษาที่ด้านตั้งของฟันด้านใกล้กลางของรากด้านใกล้กลาง และด้าน ตั้งของฟันด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางของฟันกรามบนขวาซี่แรก เนื่องจากฟันกราม จะเคลื่อนตัวตามธรรมชาติไปในทิศทางใกล้กลาง ดังนั้น ก่อนจะเคลื่อนฟัน บริเวณที่จะ ศึกษาด้านตั้งย่อมเกิดการละลายกระดูกอยู่ก่อน เมื่อให้แรงเคลื่อนฟันในทิศทางใกล้กลาง จะเกิดการสร้างกระดูกใหม่บนบริเวณที่เคยมีการละลายกระดูก เกิดเป็นเส้นรีเวอร์สเซล (reversal line) นำภาพถ่ายจากแผ่นขึ้นเนื้อมาขยายขนาด 5 x 7 นิ้ว หาพื้นที่ของการ สร้างกระดูกจากเส้นรีเวอร์สเซล โดยอาศัยเครื่องวัดเพลนิมิเตอร์ (planimeter) การศึกษา พบว่าด้านใกล้กลางของรากใกล้กลาง มีการสร้างกระดูกอยู่ในช่วง 0.42 ถึง 1.95 ตาราง มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 1.15 ± 0.48 ตารางมิลลิเมตร ส่วนด้านใกล้กลางของรากใกล้กลาง มีการสร้างกระดูกอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.58 ตารางมิลลิเมตร และมีค่าเฉลี่ย 0.458 ± 0.27 ตารางมิลลิเมตร แสดงว่าหากทำการเคลื่อนฟันในลักษณะเดียวกันนี้ ย่อมสามารถตรวจพบ เซลล์ออสติโอคลาสต์ที่มาสสร้างกระดูกได้ที่กระดูกเบ้าฟันด้านใกล้กลางต่อรากใกล้กลาง ของฟันกรามบนซี่แรก

King และ Fischlschweiger (1982) ทำการศึกษาการเคลื่อนฟันหนู สปรากฏอสี น้ำหนัก 300 กรัม โดยวิธีของ Heller และ Nanda (1979) ด้วยแรงที่เกิด จากสปริงขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อหาขนาดของแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันเป็นเวลา 14 วัน โดยพิจารณาจากระยะทางที่ฟันเคลื่อนที่ไปโดยใช้เครื่องวัดความหนาขนาดต่าง ๆ กัน แทรก ระหว่างฟันกรามบนซี่แรกและซี่ที่สอง พิจารณาร่วมกับการละลายกระดูกด้วยวิธี โบนรี ทอพชั่นแอสเส (bone resorption assay) และเปรียบเทียบรอยกร่อนของเคลือบรากฟัน ตั้งแต่รอยต่อเคลือบรากฟันกับเคลือบฟันไปยังปลายราก พบว่าแรงขนาด 40 กรัม สามารถกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนฟัน การละลายกระดูก โดยไม่ทำให้เกิดการกร่อนของ เคลือบรากฟันอย่างมีนัยสำคัญ และวันที่ 5 ของการเคลื่อนฟันมีการตอบสนองของกระดูก เบ้าฟันต่อแรงเคลื่อนฟันปรากฏชัดเจน

Bridges, King และ Mohammed (1988) ศึกษาผลของอายุต่อการเคลื่อน ฟัน และความหนาแน่นของแร่ธาตุในกระดูกเบ้าฟัน โดยศึกษาในหนูสปรากฏอสี 2 กลุ่ม

กลุ่มแรกอายุ 21-28 วัน จำนวน 20 ตัว กลุ่มที่สองอายุ 3 เดือน จำนวน 28 ตัว การให้แรงเคลื่อนฟันใช้สปริงเกลียวปิดเช่นเดียวกับการทดลองของ Heller และ Nanda (1979) โดยใช้แรงเคลื่อนฟัน 60 กรัม วัดระยะการเคลื่อนฟันโดยวัดช่องห่างระหว่างฟันกรามที่แรกและซี่ที่สอง และวัดความหนาแน่นของแร่ธาตุในกระดูกเบ้าฟันเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากเคลื่อนฟัน 1, 3, 5, 7, 10 และ 14 วัน ผลการศึกษามีพบว่า

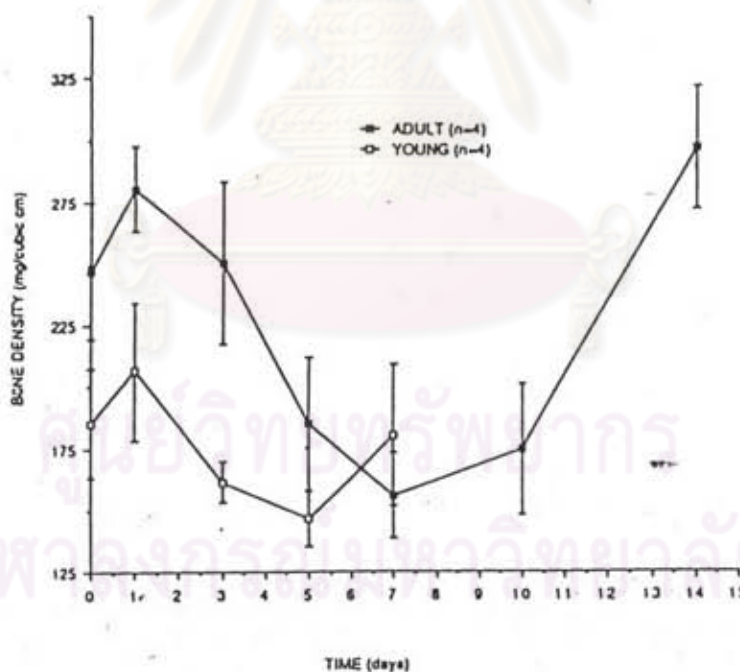
ในทั้ง 2 กลุ่มอายุ ให้ผลของระยะการเคลื่อนฟันในรูปแบบคล้ายกัน คือมีการเคลื่อนฟันแบ่งเป็น 3 ระยะ โดยระยะแรกเป็นการเคลื่อนฟันอย่างรวดเร็ว โดยคุณสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) ของเนื้อเยื่อ ในระยะนี้หนูกลุ่มอายุน้อยเคลื่อนได้มากกว่ากลุ่มอายุมาก ระยะที่สอง เป็นระยะที่มีการเคลื่อนฟันเล็กน้อย เพราะเกิดไฮยาลินเซชั่น และมีการละลายกระดูกจากด้านในของกระดูกเบ้าฟัน ในระยะนี้หนูกลุ่มอายุน้อยมีช่วงเวลาด้านกว่ากลุ่มอายุมาก และในระยะสุดท้าย เป็นช่วงที่จะมีการซ่อมสร้างกระดูกและมีการเคลื่อนฟัน ระยะนี้หนูกลุ่มอายุน้อยจะเคลื่อนฟันได้เร็วกว่าหนูกลุ่มอายุมาก (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 กราฟแสดงการเคลื่อนฟันในหนูกลุ่มอายุน้อย เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มอายุมาก (Bridges และคณะ, 1988)

การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของแร่ธาตุในกระดูกเบ้าฟัน ในหนูทั้ง 2 กลุ่ม มีรูปแบบคล้าย ๆ กัน แต่ในหนูกลุ่มอายุน้อยจะมีความหนาแน่นของแร่ธาตุน้อยกว่าที่ระยะเวลาเคลื่อนฟันเท่ากัน การลดลงของความหนาแน่นของแร่ธาตุของกระดูกเบ้าฟันพบในช่วงระยะที่สองซึ่งมีการทำลายกระดูก และการเริ่มสร้างกระดูกใหม่ซึ่งมีแร่ธาตุน้อย และกลับเพิ่มสูงขึ้นในระยะเวลาเคลื่อนฟันระยะที่ 3 เพราะเริ่มมีการสร้างกระดูกเพิ่มขึ้น(รูปที่ 3)

ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในหนูอายุน้อยมีความหนาแน่นของกระดูก น้อยกว่า จึงทำให้มีความยืดหยุ่นของกระดูกมากกว่า, มีการซ่อมสร้างของกระดูกง่ายกว่าและ มีช่วงที่สองของการเคลื่อนฟันสั้นกว่า เพราะมีการละลายกระดูกจากภายในกระดูกเบ้าฟันเร็วกว่าหนูในกลุ่มอายุมาก



รูปที่ 3 กราฟแสดงความหนาแน่นของกระดูกในหนูกลุ่มอายุน้อย เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มอายุมาก (Bridges และคณะ , 1988)

แม้ว่าจากการศึกษาที่ผ่านมาจะพบว่ายางแยกพื้นจะมีข้อด้อย แต่ Inubushi (1990) ได้นำวิธีดังกล่าวมาดัดแปลง โดยใช้ยาง 3 ขนาดความหนา คือ 0.65 มม. x 1.0 มม. x 1.0 มม., 1.0 มม. x 1.0 มม. x 1.0 มม. และ 1.5 มม. x 1.0 มม. x 1.0 มม. แทรกระหว่างพื้นกรรมบนที่แรกและที่สองในหนูวิสตาร์เพศผู้ น้ำหนัก 220-250 กรัม จำนวน 97 ตัว เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของการไหลเวียนของเลือดเริ่มแรก (initial blood flow changes) กับการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ทางด้านกดหระมีการเคลื่อนพื้น โดยนำหนู 6 ตัวไปวัดการไหลเวียนของเลือดในเหงือก 17 ตัว นำไปวัดการไหลเวียนของเลือดในเอ็นยึดปริทันต์ และ 75 ตัวนำไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ โดยแบ่งเป็นกลุ่มละ 25 ตัว สำหรับแต่ละความหนาของแผ่นยาง ภายหลังแยกพื้น ทำให้หนูตายที่เวลา 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ช่วงเวลาละ 5 ตัว การศึกษาทางจุลกายวิภาคศาสตร์ ทำเฉพาะบริเวณใกล้แก้มใกล้กลางของรากฟันใกล้กลางของฟันกราม นำแผ่นสไลด์ขึ้นเนื้อไปฉายด้วยเครื่องโฟโตไมโครกราฟ (photomicrograph) และลอกด้วยกระดาษลอกลายอะซิเตด (acetate tracing paper) วัดระยะลงมาจากยอดกระดูกเบ้าฟัน 600 ไมโครเมตร นับจำนวนของสติโอบลาสต์และช่องของฮาว-ชิพบนผิวกระดูก พบว่าแรงขนาดมากซึ่งเกิดจากยางที่มีความหนามาก มีผลลดการไหลเวียนของเลือดภายในเอ็นยึดปริทันต์ที่ถูกด การลดการไหลเวียนของเลือดในเหงือกจะใช้เวลาานกว่าในเอ็นยึดปริทันต์ ในการกลับสู่สภาวะการไหลเวียนปกติ นอกจากนี้แรงขนาดมากยังกระตุ้นให้เกิดไฮยาลินแซชั่นได้เร็ว และเป็นบริเวณกว้างกว่าแรงขนาดน้อย แรงขนาดมากจะมีผลต่ออวัยวะปริทันต์เป็นบริเวณกว้าง และพบออสติโอบลาสต์จำนวนมาก แม้ว่าแรงจะมีขนาดไม่มากแต่การละลายของรากฟันอาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการรวมแรงในบางบริเวณ นอกจากนี้ยังพบออสติโอบลาสต์จำนวนมากใกล้กับหลอดเลือด จึงมีความเป็นไปได้ว่าออสติโอบลาสต์มีความสัมพันธ์กับหลอดเลือดระหว่างการเคลื่อนพื้น

จากการศึกษาของ Inubushi (1990) จะเห็นว่าแผ่นยางขนาดบางที่สุดมีขนาด 0.65 มม. ซึ่งหนากว่าของ Zaki และ Van Huysen (1963) ที่มีขนาด 0.14 มม. จากการศึกษานี้ของ Zaki และ Van Huysen พบว่าการเกิดไฮยาลินแซชั่นและการละลายกระดูกเบ้าฟันจากภายใน เป็นการตอบสนองต่อแรงขนาดมาก แสดงให้เห็นว่าการศึกษานี้ของ Inubushi เป็นการเปรียบเทียบแรงขนาดมาก 3 ขนาด ซึ่งแรงขนาดมากดังกล่าวไม่เหมาะสำหรับการเคลื่อนพื้น

King และคณะ (1991) ศึกษาการเคลื่อนที่ของฟันเมื่อมีแรงกระทำขนาดต่างกันในหนูสปรากอดลีเพศผู้ อายุ 180-200 วัน จำนวน 72 ตัว วิเคราะห์การเคลื่อนพื้นจาก

ภาพรังสีกะโหลกศีรษะหนูในวันที่ 1, 3, 5, 7, 10 และ 14 ภายหลังจากทดลอง โดยวัดระยะจากคลิท(cleat)ที่ติดบนด้านบดเคี้ยวของฟันกรามที่เคลื่อนฟันเทียบกับจุดคงที่ คือ เข็มดึงเส้นประสาทฟันที่ฝังใต้เหงือกด้านใกล้ลิ้นต่อฟันกรามซี่แรกและอมัลกัมที่ฝังในกระดูกไซโกมา (zygomatic bone) แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเป็นสปริงชนิดเกลียวมัด จากคลิทที่ติดบนฟันกรามซี่แรกมายังฟันตัดบน ให้แรง 3 ขนาด คือ 20, 40 และ 60 กรัม ผลการศึกษาพบว่าขนาดของแรง 20 กรัม ทำให้ฟันเคลื่อนที่น้อยกว่าแรงขนาด 40 และ 60 กรัม อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แรงขนาด 40 กรัมและ 60 กรัมทำให้ฟันเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกัน โดยการเปลี่ยนแปลงของกระดูกเบ้าฟันเนื่องมาจากแรงที่กระทำให้มีการเคลื่อนฟันเกิดขึ้นสูงสุด เมื่อได้รับแรงระหว่าง 20-40 กรัม ถ้าได้รับแรงมากกว่า 40 กรัมจะไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนฟันเพิ่มมากขึ้น

การศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของฟันและอวัยวะรอบรากฟัน ในคนและสัตว์ทดลอง เมื่อได้รับแรงเคลื่อนฟัน

Reitan และ Kvam (1971) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของฟันและอวัยวะรอบรากฟันต่อแรงเคลื่อนฟัน โดยทำการศึกษาในคน 28 คน อายุเฉลี่ย 11.5 ปี ได้รับแรงเคลื่อนฟันขนาด 20-200 กรัม กระทำกับฟันกรามน้อยบน โดยศึกษาจากลักษณะจุลกายวิภาคศาสตร์ของฟันและอวัยวะรอบรากฟัน ส่วนในสัตว์ทดลองประกอบด้วย ลิง (*Macaca mulatta*) 2 ตัว ทำการเคลื่อนฟันหน้าบนและล่างด้วยแรงขนาด 60-200 กรัม สุนัข ศึกษาในฟันจำนวน 32 ซี่ที่ได้รับแรง 20-300 กรัม และในหนู ศึกษาในฟันกรามบนซี่แรกที่ได้รับแรงขนาด 4-30 กรัม ให้เคลื่อนในทิศทางใกล้แก้ม ผลการศึกษาพบว่า

ในทั้งคนและสัตว์ทดลองเมื่อได้รับแรงเคลื่อนฟัน ทำให้เกิดการเคลื่อนฟันชนิดทึบปิง การเปลี่ยนแปลงของเอ็นยึดปริทันต์ด้านกดพบว่า ช่องเอ็นยึดปริทันต์แคบลง โดยเฉพาะบริเวณใกล้ ๆ ยอดกระดูกเบ้าฟันด้านกด ในคนมีการละลายกระดูกเบ้าฟันจากภายในช่องไซกระดูกตามหลังการเกิดไฮยาลิโนเซชั่น ในสัตว์ทดลอง การเกิดไฮยาลิโนเซชั่นเกิดขึ้นในเวลารวดเร็วกว่าคน โดยเฉพาะในสัตว์ขนาดเล็ก เช่น หนู ซึ่งพบบริเวณไฮยาลิโนเซชั่นเกิดขึ้นภายหลังให้แรงเพียง 6 ชั่วโมง

ในสุนัขและหนูที่มีความหนาแน่นของกระดูกมากกว่าในคน จะพบการสูญเสียของเอ็นยึดปริทันต์ในด้านกด เมื่อได้รับแรงเป็นปริมาณมากและเวลานาน

ในคน ลิง และสุนัข จะพบการละลายของกระดูกเบ้าฟันจากด้านในช่องไขกระดูกได้เร็วเมื่อมีการเคลื่อนฟันในทิศทางใกล้กลางไกลกลาง แต่จะเกิดช้าเมื่อเคลื่อนในทิศทางใกล้แกมใกล้ลิ้น รวมทั้งจะมีการชดเชยโดยมีการพอกเพิ่มกระดูกบริเวณด้านเยื่อหุ้มกระดูกเมื่อมีการเคลื่อนฟันทางด้านใกล้แกม ในหนูเมื่อมีการเคลื่อนฟันทางด้านใกล้แกมกลับมีการพบการละลายของกระดูกจากด้านในกระดูกพรุน ใต้ต่อเยื่อหุ้มกระดูกด้านตรงข้ามกับบริเวณด้านกดของกระดูกเบ้าฟัน

ในหนูพบการละลายของรากฟันเป็นช่องลาคูนาใกล้กับบริเวณไฮยาลินแซชั่นในชั้นเยื่อบางแผ่นซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนฟันในด้านกด และด้านตั้งพบมีเนื้อเยื่อขดลวดยืดหยุ่นน้อยมาก ทำให้มีการพอกเพิ่มของกระดูกที่ด้านกดของกระดูกเบ้าฟันช้า เมื่อเปรียบเทียบกับคน ลิง และสุนัข

สรุปจากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของกระดูกเบ้าฟัน เอ็นยึดปริทันต์ และเซลล์ในหนูเมื่อได้รับแรงทางทันตกรรมจัดฟัน ตามระยะเวลาต่าง ๆ ปรากฏผลดังนี้

2 ชั่วโมง ช่องเอ็นยึดปริทันต์ด้านกดแคบลง มีการหดตัวของนิวเคลียสของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ในเอ็นยึดปริทันต์ ยังไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงของกระดูกเบ้าฟัน เซลล์ของสติโอบลาสต์และเซลล์ของสติโอบลาสท์

6 ชั่วโมง ช่องเอ็นยึดปริทันต์ด้านกดแคบลง นิวเคลียสของไฟโบรบลาสต์มีการหดตัว เริ่มปรากฏการละลายของกระดูกเบ้าฟันด้านกดจากด้านในของกระดูกพรุนโดยเซลล์ของสติโอบลาสท์และยังคงปรากฏเซลล์ของสติโอบลาสท์ในบางบริเวณ ด้านตั้งมีการยึดตัวของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ในช่องเอ็นยึดปริทันต์ เซลล์ของสติโอบลาสท์มีจำนวนลดลง ยังไม่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ของสติโอบลาสท์ และไม่ปรากฏการพอกเพิ่มของกระดูกเบ้าฟัน

1 วัน ช่องเอ็นยึดปริทันต์ด้านกดถูกบีบอย่างมาก มีการสูญเสียการเรียงตัวของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ บางบริเวณมีการตายของเซลล์ไฟโบรบลาสต์ เกิดเป็นบริเวณไฮยาลินแซชั่น พบการละลายตัวของกระดูกเบ้าฟันใกล้กับบริเวณไฮยาลินแซชั่น ปรากฏเซลล์ของสติโอบลาสท์มากขึ้นแต่ไม่พบเซลล์ของสติโอบลาสท์ บริเวณด้านตั้งช่องเอ็นยึดปริทันต์กว้างขึ้น มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ไฟโบรบลาสต์ ในช่องเอ็นยึดปริทันต์มากขึ้น การตั้งตัวของเซลล์ไฟโบรบลาสต์เริ่มลดลง ปรากฏการพอกเพิ่มของกระดูก และเซลล์ของสติโอบลาสท์ที่ผิว

- กระดูกเบาพื้นมากขึ้น
- 2-3 วัน บริเวณด้านกด ภายในช่องเอ็นยึดปริทันต์เกิดบริเวณไฮยาลิน-
เซชั่นเป็นบริเวณกว้างมากขึ้น เซลล์ไฟโบรบลาสต์สูญเสียการเรียง
ตัว และในบางเซลล์ไม่ปรากฏนิวเคลียส มีการละลายตัวของกระดูก
เบาพื้นมากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณใกล้ ๆ กับบริเวณไฮยาลินเซชั่น
พบเซลล์ของสติโอบลาสต์มากขึ้น พบหลอดเลือดเป็นจำนวนมากอยู่
ใกล้กับบริเวณที่พบเซลล์ของสติโอบลาสต์ บริเวณด้านตึงปรากฏ
การพอกเพิ่มของกระดูกเบาพื้น โดยมีการสร้างเส้นใยกระดูก
ตามแนวการยึดตัวของเอ็นยึดปริทันต์ ปรากฏเซลล์ของสติโอบ-
ลาสต์เพิ่มมากขึ้น
- 4-6 วัน บริเวณด้านกด ยังคงปรากฏบริเวณไฮยาลินเซชั่นในช่องเอ็น-
ยึดปริทันต์ และในบางบริเวณถูกแทนที่ด้วยเนื้อเยื่อกลานูเลชั่น
การละลายของกระดูกปรากฏมากกว่า 2-3 วันแรก ผิวกระดูก
เบาพื้นเกิดการละลายมีลักษณะขอบไม่เรียบ ปรากฏเซลล์ของสติ-
โอบลาสต์ตามผิวกระดูกเบาพื้นที่มีการละลาย ปรากฏหลอดเลือด
มากขึ้นและในบางบริเวณพบมีเลือดออกภายในช่องเอ็นยึดปริทันต์
ด้านกด บริเวณด้านตึงมีการพอกเพิ่มของกระดูกเบาพื้นมากขึ้น
มีการสร้างเส้นใยกระดูกตามแนวการตึงตัวของเอ็นยึดปริทันต์
และยังคงปรากฏเซลล์ของสติโอบลาสต์
- 7-9 วัน บริเวณด้านกด มีการลดลงของบริเวณไฮยาลินเซชั่นอย่างมาก
ในช่องเอ็นยึดปริทันต์พบการซ่อมสร้างของเนื้อเยื่อ และหลอดเลือด
ภายในช่องเอ็นยึดปริทันต์ ปรากฏเซลล์ของสติโอบลาสต์
จำนวนเล็กน้อยเท่านั้น บริเวณด้านตึง มีดเส้นใยเอ็นยึดปริทันต์มี
การฝังตัวเข้าสู่ผิวกระดูกเบาพื้นที่สร้างขึ้นใหม่ พบเซลล์ของสติโอบ-
ลาสต์น้อยมาก
- 14-21 วัน บริเวณด้านกด ภายในช่องเอ็นยึดปริทันต์พบเนื้อเยื่อกลานูเลชั่น
แทนที่บริเวณไฮยาลินเซชั่นทั้งหมด ไม่ปรากฏการละลายกระดูก
พบเซลล์ของสติโอบลาสต์น้อยมาก และบางบริเวณพบ เซลล์ของสติ
โอบลาสต์ บริเวณด้านตึง ปรากฏเซลล์ของสติโอบลาสต์น้อยมาก
ตลอดแนวกระดูกที่สร้างใหม่และในบางบริเวณก็ปรากฏเซลล์ของสติ
โอบลาสต์ ความกว้างของช่องเอ็นยึดปริทันต์ด้านกดและด้านตึง
เท่ากัน

สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกระดูกเบาพันธุ์ เมื่อได้รับแรงเคลื่อน-
 พันทางทันตกรรมจัดฟัน โดยวิธีวัดระยะการเคลื่อนฟันนั้น King และ Fischlschweiger
 (1982) พบว่า แรงขนาด 40 กรัมจะทำให้เกิดการตอบสนองของกระดูกเบาพันธุ์สูงสุดเมื่อใช้
 วิธีวัดระยะการเคลื่อนฟัน โดยในช่วง 1-4 วันแรก การเคลื่อนฟันจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงวันที่ 4
 ในวันที่ 4-7 เป็นช่วงช้าของการเคลื่อนฟัน และภายหลังจากวันที่ 7 จะปรากฏการเคลื่อน
 ฟันอย่างชัดเจนอีกครั้ง โดยวัดระยะได้เพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 14 Bridges และคณะ (1988)
 ศึกษาการเคลื่อนฟันโดยใช้แรงขนาด 60 กรัม พบว่าหนูกลุ่มอายุ 21-28 วัน มีช่วงช้า
 ของการเคลื่อนฟัน 3 วัน และตั้งแต่วันที่ 3 เป็นต้นไปสามารถวัดระยะการเคลื่อนฟันได้เพิ่มขึ้น
 อย่างชัดเจน ในกลุ่มอายุ 3 เดือนมีช่วงช้า 7 วัน ภายหลังจาก 7 วันสามารถวัดระยะการเคลื่อน
 ฟันได้เพิ่มขึ้นชัดเจนจนถึงวันที่ 14 King และคณะ (1991) ศึกษาการตอบสนองของ
 กระดูกเบาพันธุ์ ภายหลังจากให้แรงขนาด 20, 40 และ 60 กรัม โดยวัดระยะของการเคลื่อน
 ฟันเปรียบเทียบกับจุดคงที่บนกะโหลกศีรษะในภาพรังสี พบว่าแรงขนาด 40 กรัมเป็นขนาด
 แรงที่ทำให้เกิดการตอบสนองของกระดูกเบาพันธุ์สูงสุด และระยะของการเคลื่อนฟันจะเริ่ม
 ปรากฏชัดเจนในวันที่ 6 เป็นต้นไปจนถึง 14 วัน

กลไกการปรับเปลี่ยนรูปร่างกระดูก(Bone Remodeling)

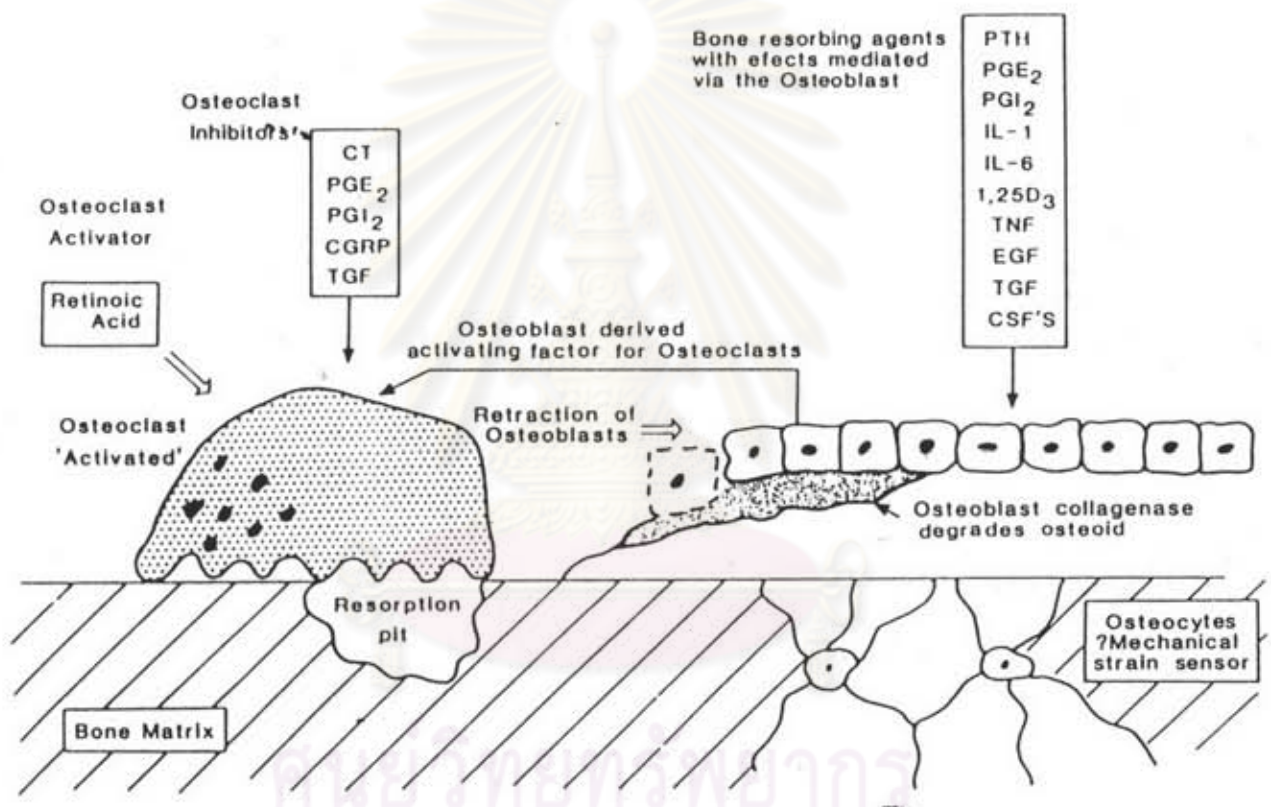
เซลล์ของสตีโอบลาสต์มีบทบาททั้งในด้านการสร้างและการละลายของขบวนการ
 การปรับเปลี่ยนรูปร่างกระดูก โดยเซลล์ของสตีโอบลาสต์นั้นมี รีเซปเตอร์ (receptors)
 สำหรับฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการละลายกระดูก โดยเมื่อเซลล์ของสตีโอบลาสต์ถูกกระตุ้น
 จะมีการสร้างสารตัวกลาง (mediators) ที่จะไปกระตุ้นเซลล์ของสตีโอบลาสต์ทั้งในด้าน
 การชักนำและการทำหน้าที่ละลายกระดูก นอกจากนี้เซลล์ของสตีโอบลาสต์ยังสามารถสร้าง
 ตัวกั้นทางกายภาพ (physical barriers) มาควบคุมเซลล์ของสตีโอบลาสต์ในการทำหน้าที่
 ละลายกระดูก โดยผิวกระดูกปกติจะปกคลุมด้วยออสติออยด์ (osteoid) เป็นชั้นบางๆ เพื่อ
 ป้องกันการละลายผิวกระดูกจากเซลล์ของสตีโอบลาสต์ที่ไม่ได้ควบคุม เซลล์ของสตีโอบลาสต์
 สามารถสร้างเอนไซม์เมทัลโลโปรตีนเอส (metalloproteinases) เช่น คอลลาจีเนส
 (collagenase) มากำจัดออสติออยด์ โดยเอนไซม์ดังกล่าวถูกสร้างมาในรูปแบบแฝง (latent
 form) และจะถูกกระตุ้นด้วยพลาสมิโนเจน แอกติเวเตอร์ (plasminogen activator)
 ขณะเดียวกันเซลล์ของสตีโอบลาสต์ก็สร้างกลไกการควบคุมโดยตัวยับยั้ง TIMP (tissue
 inhibitor of metalloproteinases) เพื่อป้องกันการทำลายคอลลาเจนอย่างไม่ได้
 ควบคุม แสดงให้เห็นว่าขบวนการละลายกระดูกเกิดขึ้นในบางกรณี โดยมีเซลล์ของสตีโอบ-
 ลาสต์เป็นตัวควบคุม

เซลล์ยอซติโอบลาสท์สามารถหลั่งสารอัลคาไลน์ ฟอสฟาเตส (alkaline phosphataes), คอลลาเจนชนิดที่ 1 (type I collagen), ยอซติโอแคลซิน (osteocalcin), ยอซติโอเนคติน (osteonectin), ปัจจัยการเจริญเติบโต (growth factor), ไทโตคายน์ (cytokines), คอลลาจีเนส, TIMP และ ฟลาสมิโนเจนแอคทีเวเตอร์ ซึ่งสารเหล่านี้มีผลต่อการทำงานของเซลล์ยอซติโอบลาสท์

เซลล์ยอซติโอไซท์ (osteocyte) เป็นรูปสุดท้ายของเซลล์ยอซติโอบลาสท์ในการสร้างกระดูก ชั้นตอนนี้เซลล์จะมีขนาดเล็กลงสัมผัสกับเซลล์ข้างเคียงด้วย ร้างแหไซโตพลาสมิคโปรเซส (cytoplasmic process) ซึ่งเซลล์ยอซติโอไซท์เหล่านี้จะไวต่อการกระตุ้นของแรงกายภาพต่อผิวกระดูก โดยสัญญาณที่ส่งผ่านกันทางไซโตพลาสมิคโปรเซสนี้เองเชื่อว่าเป็นตัวเริ่มต้นในการควบคุมการสร้างและการละลายกระดูก

เซลล์ยอซติโอบลาสท์ต่างจากเซลล์ยอซติโอบลาสท์ตรงที่ไม่ค่อยมีหน้าที่ในการหลั่งสาร และเป็นเซลล์ที่มีการเคลื่อนที่เร็ว การเคลื่อนที่ดังกล่าวมิได้ถูกควบคุมโดยตรงจากฮอรโมนที่เกี่ยวข้องกับการละลายกระดูก เช่น ฮอรโมนพาราไทรอย (PTH) หรือ 1,25 ไดไฮดรอกซีวิตามินดี 3 ($1,25(OH)_2D_3$) แต่มีฮอรโมนบางตัวที่มีผลโดยตรงต่อเซลล์ยอซติโอบลาสท์คือ แคลซิโทนิน (calcitonin) และ พรอสตาแกลนดิน (prostaglandins) ฮอรโมนทั้งสองเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเซลล์ยอซติโอบลาสท์ ในขณะที่สารกระตุ้นการทำงานโดยตรงของเซลล์ยอซติโอบลาสท์และมีผลต่อการละลายกระดูกคือ วิตามินเอเมตาโบไลต์ (vitamin A metabolites), เรตินอล (retinol) และกรดเรติโนอิก (retinoic acid)

การทดลองที่สำคัญอื่นๆ มีส่วนแสดงให้เห็นว่า เมื่อเลี้ยงเซลล์ยอซติโอบลาสท์ร่วมกับเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายเซลล์ยอซติโอบลาสท์ แล้วกระตุ้นด้วยสารที่ทำให้เกิดการละลายกระดูก เช่น ฮอรโมนพาราไทรอย, 1,25 ไดไฮดรอกซีวิตามินดี 3, อินเตอร์ลูคินหมายเลข 1 (IL-1) และ ทูเมอร์เนโครซิสแฟกเตอร์ (TNF) พบว่ามีการละลายตัวของกระดูกมากขึ้น ซึ่งให้เห็นว่า เซลล์ยอซติโอบลาสท์ สามารถหลั่งสารตัวกลางที่กระตุ้นเซลล์ยอซติโอบลาสท์ได้โดยตรง (Sandy, 1992) (รูปที่ 4)



ศูนย์วิทยการพยาบาล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4 แสดงกลไกที่เกี่ยวข้องกันระหว่างเซลล์ออสติโอบลาสต์ และเซลล์ออสติโอคลาสต์
ขณะที่เกิดการปรับเปลี่ยนรูปร่างกระดูก (Sandy, 1992)

พลาสติกโมดูล

ประวัติ

อีลาสโตเมอร์สังเคราะห์ (synthetic elastomers) เริ่มเข้ามามีบทบาททางทันตกรรมจัดฟันตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1960 (De Genova และคณะ, 1985) โดยเริ่มแรกผลิตเป็นลาเท็กซ์ อีลาสติก (Latex elastics) ซึ่งใช้ในเทคนิคเบกก์ (Begg technique) ในการดึงฟันทั้งในซากรรไกรเดียวกัน (Intramaxillary traction) และระหว่างซากรรไกรบนและล่าง (Intermaxillary traction) (Rock, Wilson และ Fisher, 1985) ต่อมาก็มีการผลิตออกมาเป็นลักษณะห่วงยางเล็ก ๆ ต่อกันเป็นโซ่ยาว เรียกว่า พลาสติกโมดูล เข้ามาแทนที่การใช้ลาเท็กซ์ อีลาสติกในการดึงฟันในซากรรไกรเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นการใช้ปิดช่องว่างทั่ว ๆ ไปในซากรรไกร (generalized space closure) การแก้ไขการหมุนตัวของฟัน (rotational correction) การเลื่อนเส้นกึ่งกลางฟัน (dental midline shifting) การปิดช่องว่างระหว่างฟันตัดซี่กลาง (diastema closure) และการมัดลวดเข้าในสลอตของแบรคเกต (ligature tie) (Young และ Sandrik, 1979 ; De Genova และคณะ, 1985 ; Rockและคณะ , 1985 ; Ferriter, Meyers และ Lorton, 1990) แต่ที่ใช้กันมากคือการดึงฟันซี่ยาวถอยหลัง (canine distalization) ในกรณีที่มีการถอนฟันร่วมด้วย (extraction case) ในเทคนิค เอ็ดจ์ไวส์ (Edgewise technique) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา (Rock และคณะ , 1985)

ข้อดีและข้อเสียของพลาสติกโมดูล

ในการปิดช่องว่างโดยเฉพาะในกรณีเคลื่อนฟันซี่ยาวถอยหลังมาแทนที่ฟันกรามน้อยที่ถูกถอนไปนั้น สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นกับเครื่องมือที่เลือกใช้ เช่น สปริงเกลียวปิดช่องว่าง (close coil spring) สปริงเกลียวเปิดช่องว่าง (open coil spring) สปริงดึงฟัน (retraction spring) ชนิดต่าง ๆ แม่เหล็ก (magnet) ลูปปิดช่องว่าง (closing loop) และอีลาสติกแบบโซ่และแบบด้าย (elastic chain and tread) ซึ่งเครื่องมือแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป เช่น สปริงเกลียวทั้ง 2 แบบ จะทำให้ยากต่อการรักษาความสะอาด สปริงดึงฟันชนิดต่าง ๆ และลูปปิดช่องว่างก็มักจะระคายเคืองหรือทิ่มแทงเหงือกและเนื้อเยื่อในช่องปากจนเกิดบาดแผลได้ ส่วนแม่เหล็กก็เป็นเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่ ราคาแพง และเคี้ยวอาหารติดได้ง่าย (von Fraunhofer, Coffelt และ Orbell,

1992) ในขณะที่พลาสติกโมดูลมีข้อดีหลายประการ (Sons, Van der Plas และ Gianelly, 1986 ; Andreasen และ Bishara, 1970 ; Young และ Sandrik, 1979 ; Brantley และคณะ, 1979 ; Ferriter และคณะ, 1990 ; von Fraunhofer และคณะ, 1992) ได้แก่

1. ไม่ต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ป่วยในการเปลี่ยนเนื่องจาก ทันตแพทย์จัดฟันจะเป็นผู้ใส่พลาสติกโมดูลให้ผู้ป่วย และเปลี่ยนใหม่ในการนัดครั้งต่อไป ซึ่งต่างกับลาเท็กซ์ อีลาสติก ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ป่วยในการถอดเปลี่ยนทุก 1 ถึง 2 วัน
2. ใช้เวลาทำงานในคลินิกน้อย แตกต่างกับการใช้ลูปปิดช่องว่าง หรือสปริงดึงฟัน ซึ่งต้องใช้เวลากการตัดลวดมากกว่า
3. มีความแข็งแรงและทนต่อการชักดูได้ดีกว่าลาเท็กซ์ อีลาสติก
4. ผู้ป่วยมีสุขภาพช่องปากที่ดีกว่า เนื่องจากสามารถทำความสะอาดได้ง่ายกว่า โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สปริงเกลียวหรือแม่เหล็ก
5. ใช้เคลื่อนฟันได้หลายทิศทาง แล้วแต่จะปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้งาน
6. ผลิตจากวัสดุที่เข้ากันได้ (compatible) กับเนื้อเยื่อในช่องปาก
7. ใช้ได้ง่าย และราคาถูก

จากการที่พลาสติกโมดูล มีคุณสมบัติที่เหนือกว่าเครื่องมือที่ใช้ปิดช่องว่างชนิดอื่น ๆ อยู่หลายประการ ทำให้มีผู้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ก็พบว่ามีข้อเสียซึ่ง กลายเป็นปัญหาสำคัญสำหรับการนำไปใช้ทางคลินิกคือ การลดลงของคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น (degradation of the elastic properties) ซึ่งสิ่งสำคัญคือ การลดลงของแรง (force decay) และการลดลงของความเค้น (stress relaxation) อย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไป ผลที่ตามมาคือ ไม่เกิดแรงเคลื่อนฟันที่ต่อเนื่อง (continuous force) ซึ่งเป็นแรงชนิดที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการเคลื่อนฟัน (Proffit และคณะ, 1993)

การศึกษาเกี่ยวกับการลดลงของแรงในพลาสติกโมดูล

Proffit และคณะ (1993) กล่าวว่า แรงที่ได้จากพลาสติกโมดูลจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ

1. ขนาดของแรงเริ่มต้น
2. ระยะเวลาที่ผ่านไปนับตั้งแต่ทำการกระตุ้น (activation)
3. อัตราการลดลงของแรงจากพลาสติกโมดูล

ดังนั้นจากปัจจัยทั้ง 3 ประการนี้ ก็ย่อมจะต้องมีช่วงเวลาที่พลาสติกโมดูล ให้แรงที่มีขนาดเหมาะสม (optimal force) ที่ทันตแพทย์จัดฟันต้องการได้ ก่อนจะถึงการ นัดครั้งต่อไป

ทันตแพทย์จัดฟันสามารถควบคุมปัจจัย 2 ข้อแรกนั้นได้คือ ขนาดของแรงเริ่มต้น และระยะห่างระหว่างการนัดเปลี่ยนพลาสติกโมดูล แต่ปัจจัยข้อสุดท้ายคือ อัตราการ ลดลงของแรงจากพลาสติกโมดูลยังคงเป็นสิ่งที่ควบคุมไม่ได้ และยังไม่สามารถเข้าใจได้ กระจ่างนัก

Andreasen และ Bishara (1970) ได้เริ่มสังเกตการใช้พลาสติกโมดูล ใน ทางคลินิก พบว่ามีประสิทธิภาพดีในการปิดช่องว่างเล็ก ๆ ทั่ว ๆ ไป ในซากรรไกร แต่จะมี ประสิทธิภาพลดลงในการนำมาใช้เคลื่อนฟันซี่ยาวออกหลัง และสิ่งที่เขาให้ความสนใจมาก คือ การยึดตัวอย่างถาวรของพลาสติกโมดูลหลังจากใช้ไป 3 ถึง 4 สัปดาห์ พร้อมกับแรง เหลืออยู่น้อยมาก เขาจึงได้ทำการศึกษาความเปลี่ยนแปลงของแรงที่เกิดจาก พลาสติกโมดูล เปรียบเทียบกับแรงจากอีลาสติก(elastic) โดยเลียนแบบการดึงจากฟันกรามข้างหนึ่งไปยัง ฟันกราม อีกข้างหนึ่งในซากรรไกรเดียวกันเป็นเวลา 3 สัปดาห์ และได้ทำการศึกษานำ ร่อง (pilot study) ถึงสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 6 ชนิด เพื่อเลียนแบบสภาวะในช่อง ปากคือ

1. วัสดุแห้งที่อุณหภูมิต้อง
2. วัสดุแช่น้ำที่อุณหภูมิต้อง
3. วัสดุแช่น้ำลายสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต้อง
4. วัสดุแห้งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
5. วัสดุแช่น้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
6. วัสดุแช่น้ำลายสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

พบว่าอีลาสติกแช่น้ำที่อุณหภูมิต้อง และพลาสติกโมดูลแช่น้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ให้แรงที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการแช่น้ำลายสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ผลการศึกษานำร่องพบปรากฏการณ์สาร ประกอบที่เกิดขึ้นทั้งในอีลาสติก และ พลาสติกโมดูล คือ

1. มีการติดสีจากน้ำลาย
2. แรงจะลดลงมากที่สุดใน 24 ชั่วโมงแรก ในทุกสภาพแวดล้อม
3. แรงจะลดลงในสภาพแวดล้อมที่เปียกไม่ว่าจะเป็นน้ำหรือน้ำลายสังเคราะห์ มากกว่าในสภาพแวดล้อมที่แห้ง

สรุปผลการศึกษาค้างนี้พบว่า

1. พลาสติคโมดูลมีการเปลี่ยนแปลงความยาว โดยเกิดการยืดยาวอย่างถาวร มากกว่าอีลาสติค และพบการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรนี้ตั้งแต่เริ่มต้นให้แรงดึง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ถ้าดึงในระยะทางที่สั้นลง อัตราร้อยละของการเปลี่ยนแปลงนี้จะน้อยลงด้วย

2. มีการลดลงของแรงอย่างรวดเร็วในวันแรก โดยพลาสติคโมดูล จะมีแรงหลงเหลืออยู่ร้อยละ 25 ของแรงเริ่มต้น ส่วนอีลาสติคจะมีแรงหลงเหลืออยู่ร้อยละ 57 ถึง 58 ของแรงเริ่มต้น ตามขนาดของอีลาสติคที่ศึกษาคือ $3/4$ นิ้ว และ $5/8$ นิ้ว ตามลำดับ

3. อัตราการลดลงของแรงเป็นร้อยละต่อ 1 หน่วยเวลาเกิดสูงสุดใน 1 ชั่วโมงแรก โดยพลาสติคโมดูลมีอัตราการลดลงของแรงร้อยละ 55.7 และอีลาสติคขนาด $3/4$ นิ้ว มีอัตราการลดลงของแรงร้อยละ 26.4 และ 28.3 ตามลำดับ

4. เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน แรงที่หลงเหลืออยู่ตลอดช่วง 3 สัปดาห์ ของวัสดุทั้งสองชนิดค่อนข้างคงที่

5. พลาสติคโมดูลชนิดให้แรงมากจะให้แรงเริ่มต้นที่สูงกว่าชนิดมาตรฐาน แต่ก็จะมีอัตราการลดลงของแรงที่มากกว่าเช่นกันจนกระทั่งขนาดของแรงต่ำกว่าชนิด มาตรฐาน ภายใน 8 ชั่วโมง

พลาสติคโมดูลมีข้อดีที่เหนือกว่าอีลาสติคคือทันตแพทย์จัดฟันสามารถแน่ใจได้ว่า จะมีแรงกระทำต่อฟันที่ต้องการเคลื่อนที่ตลอดเวลา เพราะทันตแพทย์เป็นผู้ใส่พลาสติคโมดูลเข้ากับแบรคเกตเอง ในขณะที่การใช้อีลาสติคจะต้องให้ผู้ป่วยถอดใส่ตามที่กำหนดซึ่งอาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ถ้าผู้ป่วยไม่ร่วมมือ จากข้อมูลที่ได้เขาจึงแนะนำว่าควรให้แรงเริ่มต้น มีขนาดเป็น 4 เท่าของแรงที่ต้องการ เพื่อชดเชยแรงที่จะลดลงจน เหลือ ประมาณ 1 ใน 4 ของแรงเริ่มต้น ส่วนอีลาสติคก็แนะนำให้ใช้แรงเริ่มต้นมีขนาด 2 เท่าของแรงที่ต้องการ เพื่อชดเชยแรงที่จะลดลงจนเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของแรงเริ่มต้น

ในปีเดียวกันนั้นเอง Bishara และ Andreassen (1970) ก็ได้เสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับพลาสติคโมดูลและอีลาสติคอีกเรื่องหนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแรงที่เกิดจากวัสดุทั้งสองชนิด เมื่อใช้ดึงระหว่างซากรรโรกรบนและล่างในผู้ป่วย ที่มี การสบฟันประเภทที่สองและสาม (Class II and Class III traction) ในช่วงเวลา 3 สัปดาห์เช่นเดิม ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุทั้งสองมีการลดลงของแรงอย่างรวดเร็วในชั่วโมงแรก โดยอีลาสติคลดลง ร้อยละ 10 ส่วนพลาสติคโมดูลลดลงร้อยละ 45.3 และเมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน แรงจากอีลาสติคจะลดลงร้อยละ 17.2 ส่วนแรงจากพลาสติคโมดูลลดลงร้อยละ 54.7 และเมื่อครบ 3 สัปดาห์แล้ว อีลาสติคจะยังมีแรงหลงเหลืออยู่ร้อยละ 76.9 ส่วนพลาสติคโมดูลจะมีแรงหลงเหลืออยู่ร้อยละ 32.5 ขนาดของแรงที่เหลือนี้น้อยเกินกว่าจะเคลื่อนฟันได้ และถ้าแก้ไข

ด้วยวิธีให้แรงเริ่มต้นในขนาดมากขึ้น ก็จะทำให้ผู้ป่วยเกิดความไม่สบายในช่วง 2 - 3 ชั่วโมง แรก แต่เมื่อแรงลดลงแล้ว ก็จะทำให้ผู้ป่วยสบายขึ้นได้

2. อีลาสติกจะมีการลดลงของแรงน้อยกว่าพลาสติกโมดูล และนับว่าให้แรงที่มีขนาดค่อนข้างคงที่ตลอด 3 สัปดาห์

3. มีการยึดยารอย่างถาวรเกิดขึ้นในวัสดุทั้งสองชนิด โดยเกิดมากกว่าในพลาสติกโมดูล และพบว่าค่าของการยึดยารนี้จะแปรผันตามเวลาที่เปลี่ยนไป และระยะที่ใช้ในการดึงวัสดุให้ยึดออก

4. วัสดุทั้งสองชนิดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติและสิ่งแวดล้อม สังเกตได้ทางคลินิก โดยพบว่าอีลาสติกจะเปลี่ยนจากสีเหลืองคล้ายฟางข้าวไปเป็นสีค่อนข้างขาว และ พลาสติกโมดูลจะมีลักษณะโปร่งใส (transparent) น้อยลง หรือทึบแสง (opaque) มากขึ้น และจากการศึกษานำร่องยังพบว่า วัสดุทั้งสองชนิดมีการติดสีในน้ำลาย โดยเฉพาะพลาสติกโมดูล

จากรายงานผลการวิจัยทั้งสองเรื่องนี้ทำให้มีผู้สนใจศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกโมดูลตามมา โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นข้อเสียและเป็นปัญหาสำคัญในพลาสติกคือการลดลงของแรง และจากการศึกษาของ Andreassen และ Bishara (1970) กับ Bishara และ Andreassen (1970) ทำให้เกิดแนวทางที่จะศึกษาหาสาเหตุต่าง ๆ ที่มีผลต่อการลดลงของแรง โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในช่องปาก เช่น สภาพเปียก และแห้งที่พบว่าให้ผลการลดลงของแรงจากพลาสติกโมดูลต่างกัน (Andreassen และ Bishara, 1970) เป็นต้น

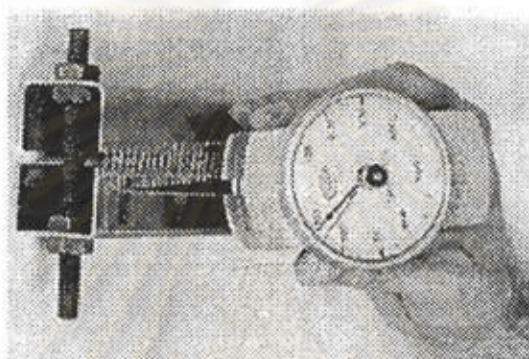
Andreassen และ Bishara (1970) จำกัดการศึกษาของตนเองเพียงศึกษาถึงแรงเริ่มต้น และอัตราการลดลงของแรงที่เกิดขึ้น เมื่อโมดูลถูกยึดเป็นระยะทางที่คงที่ ซึ่งในทางคลินิกแล้ว ฟันที่ถูกดึงจะไม่อยู่คงที่ แต่จะเคลื่อนไปตามแรงที่มากกระทำ ดังนั้น Hershey และ Reynolds (1975) จึงได้ศึกษาการลดลงของแรงของพลาสติกโมดูลเมื่ออยู่ในสภาวะที่เลียนแบบการเคลื่อนฟันจริงๆ โดยใช้เครื่องมือที่ประกอบด้วยโครงเหล็กกล้าไร้สนิม มีตะปูเกลียวเป็นตัวแบ่งแยกโครงเหล็กออกเป็นสองส่วน และใช้เป็นตัวปรับระยะทางให้โครงเหล็กแยกจากกันได้ตามต้องการเพื่อใช้เลียนแบบการเคลื่อนฟันเข้าหากัน โดยปรับตะปูเกลียวให้โครงเหล็กเคลื่อนเข้าหากันตามอัตราที่ต้องการ เชื่อมแบรคเกตชนิดเอ็ดจไวส์ (Edgewise Bracket) จำนวน 240 อันลงบนโครงเหล็ก ข้างละ 120 อัน เพื่อใช้เป็นที่ยึดโมดูล ทำให้ยึดโมดูลได้ครั้งละ 120 ชิ้น ระยะทางระหว่างแบรคเกตมีค่าระหว่าง 12 ถึง 34 มิลลิเมตร โดยเชื่อมแบรคเกตให้มีระยะทางระหว่างกันเท่ากันกลุ่มละ 10 คู่ และเพิ่มระยะทางขึ้นกลุ่มละ 2 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้ทดลองมีจำนวน 540 ชิ้น จากบริษัท 3 แห่ง ดังนี้

1. Alastik Modules ชนิดใส และ สีเทา จากบริษัท Unitek

2. Power Chain และ Link จากบริษัท Ormco Corporation

3. Elast-O จากบริษัท TP Laboratories

โมดูลจะถูกยึดบนโครงเหล็กครึ่งละ 120 ขึ้น แล้วแช่ในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ตามคำแนะนำของ Andreason และ Bishara (1970) การทดลองกระทำ โดยให้ระยะห่างระหว่างแบรคเกตคองที่ ลดลงตามอัตรา 0.25 มิลลิเมตร และ อัตรา 0.50 มิลลิเมตร ต่อ สัปดาห์ เพื่อเลียนแบบการเคลื่อนฟัน ใช้เครื่องมือวัดแรงที่เรียกว่า คาร์โป เกจ (Carpo Gauge) ซึ่งมีลักษณะเหมือน คอเร็กซ์ เกจ (Correx Gauge) (รูปที่ 5)

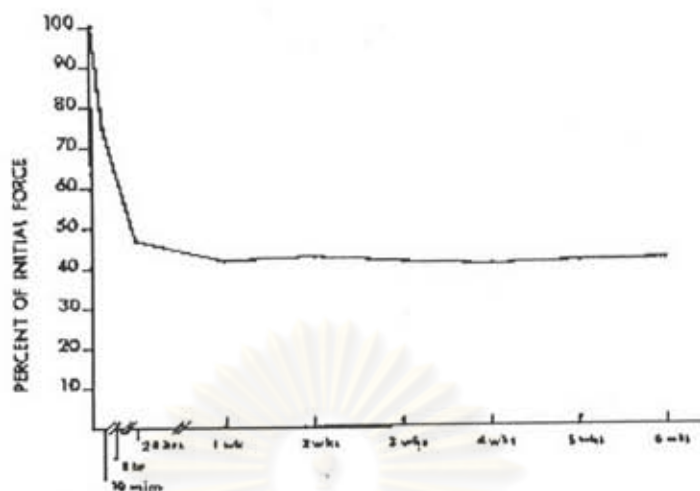


รูปที่ 5 แสดงโครงเหล็กกักไว้สนิม และเครื่องมือวัดแรงที่ใช้ในการวิจัย (Hershey และ Reynolds , 1975)

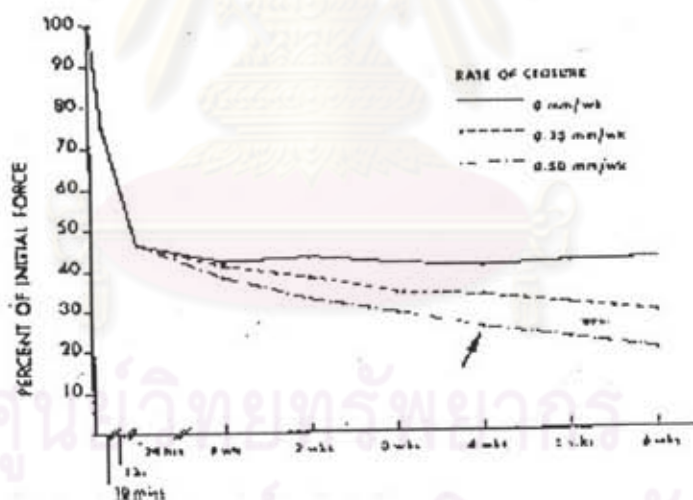
วัดแรงเป็นช่วงๆ จำนวน 10 ครั้ง ใน 6 สัปดาห์คือ วัดเมื่อตอนเริ่มต้นยึดโมดูลบนแบรคเกต , 10 นาที , 1 ชั่วโมง , 24 ชั่วโมง และ 1, 2, 3, 4, 5, 6 สัปดาห์ ทำการทดลองเปรียบเทียบเพื่อประเมินผลของเวลา , การเลียนแบบการเคลื่อนฟัน , แรงเริ่มต้น และความแตกต่างของโมดูลแต่ละบริษัท ผลการวิจัยพบว่า

1. โมดูลทุกบริษัทมีการสูญเสียแรงตามระยะเวลา โดยการสูญเสียเกิดขึ้นมากที่สุด ใน 24 ชั่วโมงแรก ถึงประมาณร้อยละ 50 หลังจาก 4 สัปดาห์ผ่านไป แรงจะคงเหลือประมาณร้อยละ 40 ของแรงเริ่มต้น และจะคงที่ต่อไปจนถึง 6 สัปดาห์ (รูปที่ 6)

2. การเลียนแบบการเคลื่อนฟัน จะเพิ่มอัตราการลดลงของแรง ถ้าอัตราการเคลื่อนฟันเป็น 0.25 มิลลิเมตร ต่อสัปดาห์ แรงจะหลงเหลือประมาณ 1 ใน 3 ของแรงเริ่มต้น หลังจาก 1 เดือนผ่านไป ถ้าอัตราการเคลื่อนฟันเป็น 0.5 มิลลิเมตร ต่อสัปดาห์ แรงที่วัดได้หลังจาก 1 เดือนผ่านไป จะเหลืออยู่ประมาณ 1 ใน 4 ของแรงเริ่มต้น (รูปที่ 7)



รูปที่ 6 กราฟแสดงผลของเวลาต่อการลดลงของแรงของพลาสติกโมดูล โดยไม่มีการเคลื่อนที่ แสดงผลเป็นร้อยละของแรงเริ่มต้น (Hershey และ Reynolds , 1975)



รูปที่ 7 แสดงผลของการเลียนแบบการเคลื่อนที่เข้าหากันด้วยอัตราเร็วต่างกัน (Hershey และ Reynolds , 1975)

3. พบว่าลักษณะการลดลงของแรงไม่สัมพันธ์กับขนาดของแรงเริ่มต้น
4. โมดูลจากปริมาตร 3 แห่ง ให้แรงที่มีลักษณะการลดลงของแรงคล้ายคลึงกัน และนับได้ว่ามีความเท่าเทียมกันในทางคลินิก
5. จากข้อมูลของแรงที่วัดได้ พบว่า พลาสติกโมดูลให้แรงที่มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ได้อัตรา 4 ถึง 6 สัปดาห์

Wong (1976) ศึกษาความเปลี่ยนแปลงของแรงที่เกิดขึ้นของอีลาสติกและพลาสติกโมดูลและความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของวัสดุทั้งสองชนิดโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษากำลังความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) โดยการทดลองที่เรียกว่า Fracture Test

2. ศึกษาความเปลี่ยนแปลงของแรงเมื่อยึดวัสดุออกเป็นระยะทางคงที่

3. ศึกษาความเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสยึดหยุ่น
วัสดุที่ใช้คือ

1. 3/16 นิ้ว Latex Elastic ขนาด 4 1/2 ออนซ์

2. Ormco Power Chain

3. Unitek Alastik C2 Double และ Triple Loop

สภาพแวดล้อมในการทดลองแบ่งเป็น 3 ชนิด

1. แห้งและไม่ได้ยึดวัสดุเป็นระยะทาง 17 มิลลิเมตร

2. แห้ง และยึดเป็นระยะทาง 17 มิลลิเมตร เป็นเวลา 21 วัน

3. แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ยึดเป็นระยะทาง 17 มิลลิเมตร เป็น

เวลา 21 วัน

ผลการวิจัยพบว่า

1. จาก Fracture Test พบว่า Latex Elastic จะมีความแข็งแรง (Strength) ลดลงหลังจากยึดวัสดุเป็นเวลา 21 วัน ในน้ำ มากกว่า Ormco Power Chain และ Unitek Alastik

2. การลดลงของแรงของ Ormco Power Chain จะเหลือร้อยละ 50 ส่วน Unitek Alastik จะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 27 ในวันแรก หลังจากนั้นก็จะเกิดการลดลงของแรงต่อไปเรื่อยๆ ด้วยอัตราที่ช้าลงในช่วง 21 วัน ส่วน Latex Elastic จะมีแรงหลงเหลืออยู่ถึงร้อยละ 83 ในวันแรก และค่อยๆลดลงจนเหลือร้อยละ 50 เมื่อครบ 21 วัน

3. ทั้ง Latex Elastic , Ormco Power Chain และ Unitek Alastik จะมีโมดูลัสยึดหยุ่นลดลง เมื่อวัสดุถูกแช่ในน้ำ ตลอดการทดลอง มากกว่าวัสดุที่แห้ง

De Genova และคณะ (1985) ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านการลดลงของแรงของพลาสติกโมดูลต่างบริษัทคือ

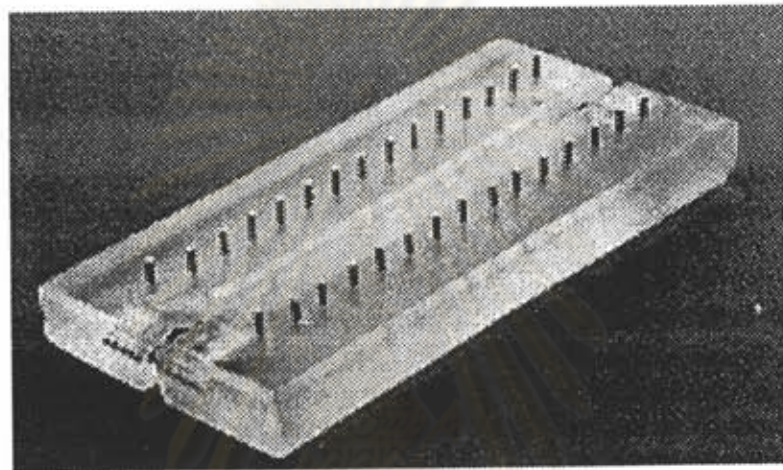
1. Power Chain II ของบริษัท Ormco Corporation

2. Energy Chain ของบริษัท Rocky Mountain Orthodontics

3. Elast-O Chain ของบริษัท TP Laboratories

โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของแรงของพลาสติกโมดูลทั้ง 3 ชนิด ซึ่งยึดเป็นระยะทางคงที่ตลอดเวลา 3 สัปดาห์ และ เมื่อลระยะเวลาทางที่ใช้ยึดโมดูล 0.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เพื่อเลียนแบบการเคลื่อนพัน

การทดลองใช้เครื่องมือสำหรับยึดโมดูล ซึ่งมีสกรูทางหันตกรรมจัดฟัน แบ่งครึ่งความยาว ทำให้สามารถตั้งระยะคงที่ และลระยะเวลาทางในการยึดโมดูลเลียนแบบการเคลื่อนพันได้ (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 แฉงเครื่องมือที่ใช้ยึดโมดูล ประกอบด้วยแท่งโพลีเอสเตอร์(Polyester) ที่มีหมุดเหล็กปักอยู่ 16 คู่ คนละข้างของสกรูซึ่งใช้หมุนเข้าหากัน เพื่อเลียนแบบการเคลื่อนพัน โมดูลจะถูกยึด โดยสวมลงบนหมุดเหล่านี้ได้พร้อมกันทีละ 15 เส้น (De Genova และคณะ, 1986)

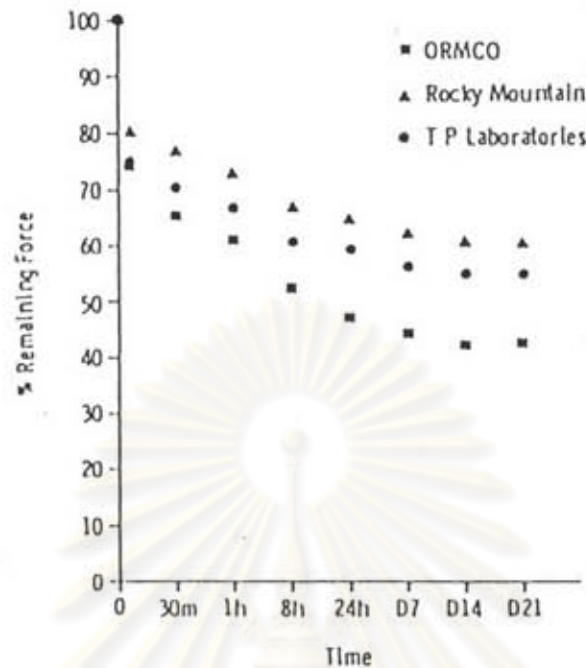
ระยะทางที่ใช้ในการทดลองคือ 20 มิลลิเมตร

เครื่องวัดแรงที่ใช้คือเครื่องวัดแรงแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Force Gauge)

โมดูลทั้งหมดถูกแช่ในน้ำลายสังเคราะห์ตลอดการทดลอง 3 สัปดาห์ การทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. เมื่อระยะทางที่ใช้คือ 20 มิลลิเมตรคงที่ตลอดการทดลอง วัดแรง 14 ครั้ง คือ ตอนเริ่มต้น , 6 และ 30 นาที , 1 , 8 และ 24 ชั่วโมง และ 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 14 , และ 21 วัน กับพลาสติกโมดูลกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 3 ชนิด พบว่า

Energy Chain มีอัตราการย่อยละเอียดของแรงที่เหลืออยู่สูงที่สุด รองลงมาคือ Elast-O Chain และ Power Chain II ตามลำดับ (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 กราฟแสดงอัตราการย่อยและเสถียรของแรงที่เหลืออยู่ของไม้อูททั้ง 3 บริษัท ที่ถูกดึงเป็นระยะทางคงที่ (De Genova และคณะ , 1986)

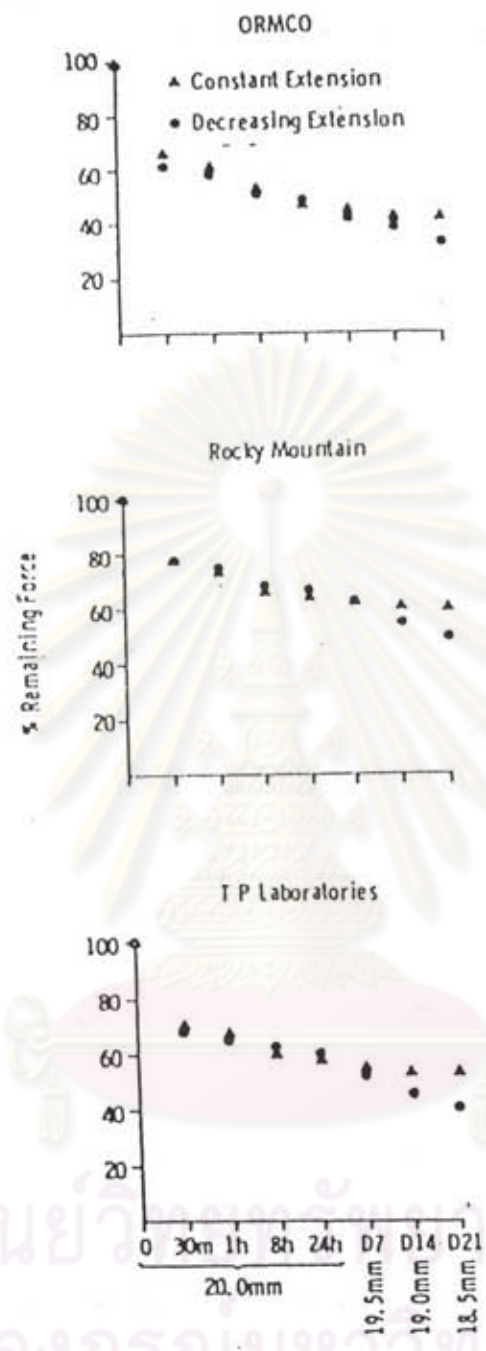
2. การทดสอบถึงผลของการลดระยะทางที่ใช้ในการยึดไม้อูทด้วยอัตรา 0.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ โดยการลดระยะทางจะกระทำเมื่อวัดแรงในช่วงนั้นสำเร็จเรียบร้อยแล้ว คคือ

2.1 ครั้งที่ 1 ลดระยะทางจาก 20 มิลลิเมตร เป็น 19.5 มิลลิเมตร เมื่อครบ 1 วัน

2.2 ครั้งที่ 2 ลดระยะทางจาก 19.5 มิลลิเมตร เป็น 19 มิลลิเมตร เมื่อครบ 7 วัน

2.3 ครั้งที่ 3 ลดระยะทางจาก 19 มิลลิเมตร เป็น 18.5 มิลลิเมตร เมื่อครบ 14 วัน

ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนพันคือ การลดระยะทางที่ยึดไม้อูทด้วยอัตรา 0.5 มิลลิเมตร ต่อ สัปดาห์ จะลดอัตราการย่อยของแรงที่เหลืออยู่อย่างมีนัยสำคัญเมื่อครบ 14 วัน (ลดระยะทางลง 1.0 มิลลิเมตร) และเมื่อครบ 21 วัน (ลดระยะทางลง 1.5 มิลลิเมตร) (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 กราฟแสดงอัตราการย่อยและเสถียรของแรงที่เหลืออยู่ของไหมดูลทั้ง 3 บริษัท เปรียบเทียบระหว่างการยึดไหมดูลเป็นระยะทางคงที่ และการลดระยะทางที่ยึดไหมดูลลง (De Genovaและคณะ , 1985)