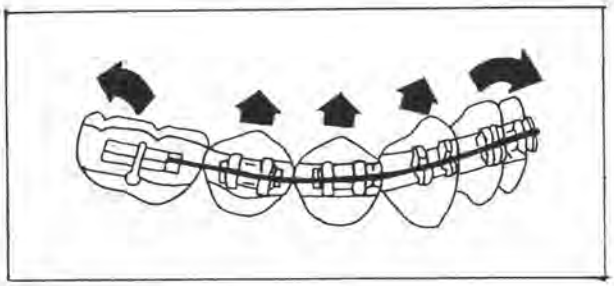
บทที่ ๒

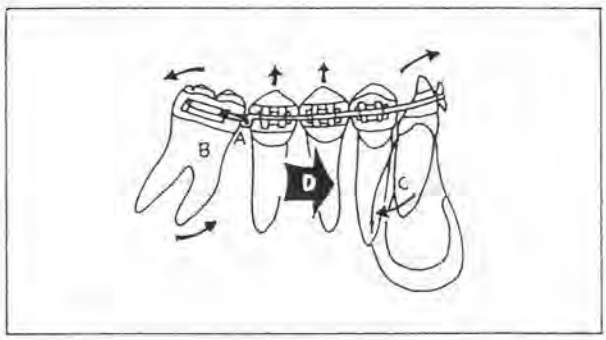
วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

หลักการพื้นฐานของการกดฟันหน้า (Basic Principle of Anterior Intrusion)

การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าผลข้างเคียงจากการใช้ลวดโค้งต่อเนื่องเพื่อปรับระดับฟันและแก้ไขการหมุนของฟันทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของฟันหน้าไปทางด้านริมฝีปาก (flare labially) พร้อมๆกับการงอกยาวของฟันกรามน้อยและการตั้งขึ้น (upright) ของฟันกรามซึ่งเป็นผลที่ไม่พึงปรารถนา (Barton, 1972; Burstone, 1962, 1966, 1975, 1977; Greig, 1983; Ricketts และคณะ, 1979) โดยเฉพาะในรายที่มีเคิร์ฟ ออฟ สปี ชันในการแก้ไขลักษณะฟันสบลึกโดยการกดฟันหน้าก็เช่นเดียวกัน พบว่าลักษณะฟันสบลึกที่ดูดีขึ้นไม่ได้เกิดจากการกดฟันหน้าเพียงอย่างเดียว แต่เนื่องมาจากฟันหลังงอกยาวและมีการเอียงของตัวฟันหน้าไปทางด้านใกล้ริมฝีปาก เนื่องจากลวดที่ใช้ปรับระดับฟันในระยะแรกๆ ของการรักษาเป็นลวดกลมทำให้ไม่สามารถควบคุมแนวแกนของฟันได้ (รูปที่ ๑) ต่อมาได้มีผู้พยายามนำวิธีการยึดลวดด้านหลัง (cinched back or tieback) ของลวดโค้งต่อเนื่องเพื่อไม่ให้ลวดขยับมาทางด้านหน้าด้วยวิธีการนี้แม้ฟันหน้าจะไม่เคลื่อนไปทางด้านริมฝีปาก แต่เมื่อกดฟันไปได้ระยะหนึ่งรากฟันจะเคลื่อนไปติดกับผิวกระดูกทึบทางด้านใกล้ลิ้น (lingual cortical plate) ของกระดูกขากรรไกรล่างทำให้ไม่สามารถกดฟันหน้าได้ต่อไป ขณะเดียวกันฟันกรามจะล้มมาทางด้านหน้าเนื่องจากผิวกระดูกทึบช่วยเสริมหลักยึดให้กับฟันหน้า (รูปที่ ๒)



รูปที่ ๑ แสดงผลที่เกิดขึ้นจากการปรับระดับฟันด้วยลวดโค้งต่อเนื่อง (Ricketts และคณะ, 1979)



รูปที่ ๒ แสดงผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นจากการใช้ลวดโค้งต่อเนื่องร่วมกับการยึดลวดทางด้านหลังขณะกดฟันหน้า (Ricketts และคณะ, 1979)

<u>หลักการกดฟันหน้าด้วยเซ็กเมนเต็ด อินทรูซีฟ อาร์ช เทคนิค</u>

ปี ค.ศ.1950 Burstone ได้พัฒนาวิธีแก้ไขฟันสบลึกโดยนำหลักการของเซ็กเมนเต็ดอาร์ชมาประยุกต์ กล่าวคือ จำแนกฟันในขากรรไกรเป็น ๒ หน่วย ได้แก่ หน่วยหลักยึด (anchorage unit) ประกอบด้วยฟันหลังทุกซี่ซึ่งใช้เป็นหลักยึด และหน่วยเคลื่อนที่ (active unit) ประกอบด้วยฟันทุกซี่ซึ่งต้องการให้เคลื่อนที่ ในการแก้ไขฟันสบลึก ฟันหน้าซึ่งเป็นหน่วยเคลื่อนที่จะถูกกดด้วยอินทรูซีฟ อาร์ช

ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในอินทรูซีฟ อาร์ช เทคนิค (รูปที่ ๓)

๑. เครื่องมือที่ใช้ในหน่วยหลักยึด ประกอบด้วย

ก. ลวดยึดฟันหลัง (buccal stabilizing unit) ซ้ายและขวา ใช้ลวด

ขนาดใหญ่เพื่อยึดฟันหลังแต่ละข้างไว้ด้วยกันโดยลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.๐๑๘" x 0.๐๒๕" หรือ 0.๐๑๙" x 0.๐๒๕" หรือ 0.๐๒๑" x 0.๐๒๕" หรือใช้ลวดที เอ็ม เอ (TMA) ขนาด 0.๐๑๖" x 0.๐๒๐" หรือ 0.๐๑๙" x 0.๐๒๕"

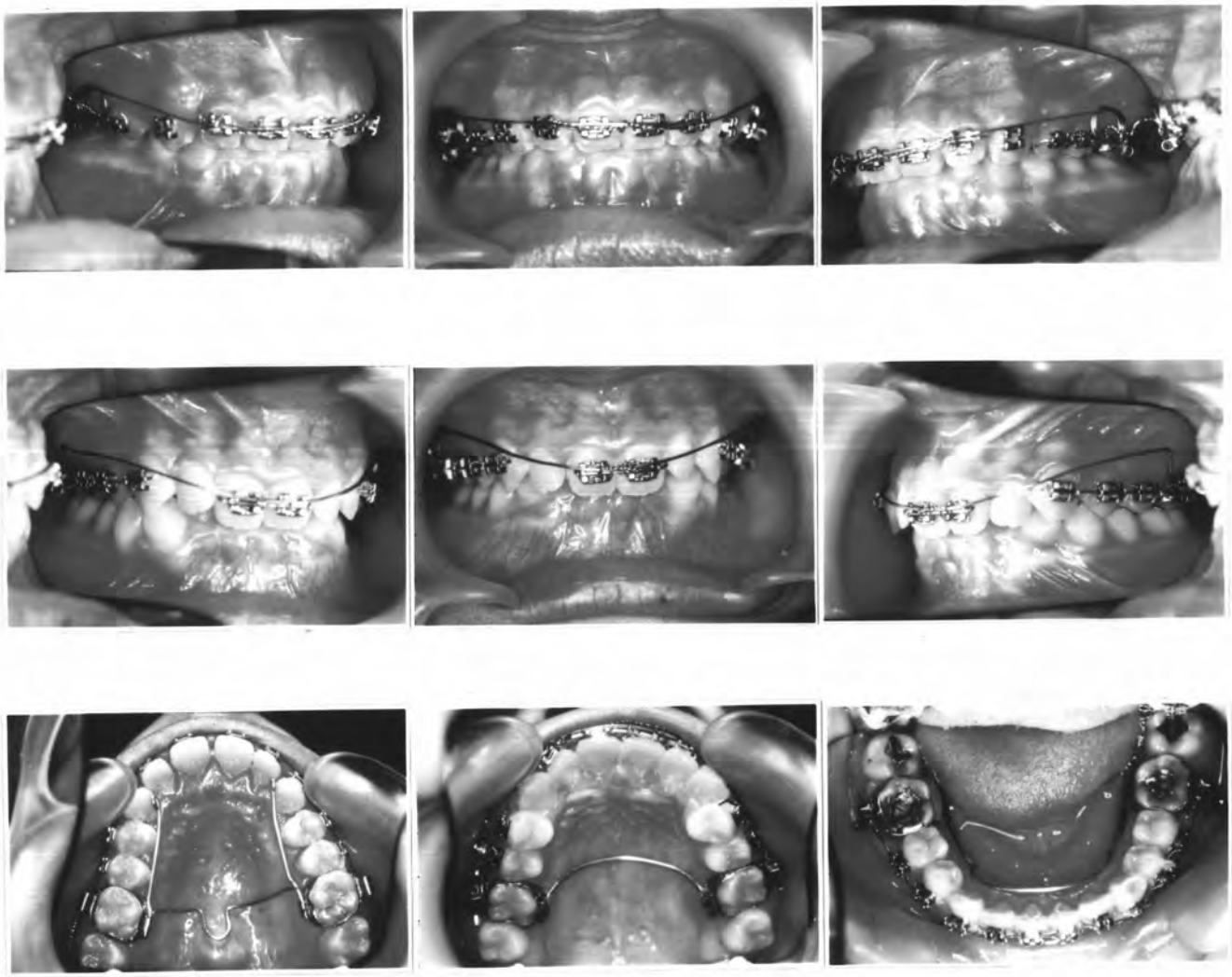
ข. ทรานซ์ พาราทัล อาร์ชในขากรรไกรบนหรือลิงกวล อาร์ชในขากรรไกรล่าง เพื่อเชื่อมฟันหลังด้านซ้ายและขวาไว้ด้วยกันโดยใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.๐๓๖" หรือลวดที เอ็ม เอ ขนาด 0.๐๓๒" x 0.๐๓๒"

๒. เครื่องมือที่ใช้ในหน่วยเคลื่อนที่ คือ

ก. ลวดยึดฟันหน้า ใช้ลวดขนาดเดียวกับลวดยึดฟันหลังซึ่งใช้ยึดฟันหน้าทุกซี่ที่ต้องการกดไว้ด้วยกัน

ข. สปริงกดฟันหน้า ทำจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.๐๑๘" x 0.๐๒๒" หรือ 0.๐๑๘" x 0.๐๒๕" หรือลวดทีเอ็มเอ ขนาด 0.๐๑๖" x 0.๐๒๒" หรือ 0.๐๑๗" x 0.๐๒๕" บริเวณด้านหน้าต่อด้านใกล้กลางของหลอดโลหะเสริมซึ่งปลายลวดกดฟันสอดอยู่ดัดเป็นอีลิกซ์ (helix) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๓ มิลลิเมตร จำนวนสองรอบครึ่ง จากอีลิกซ์ลวดจะโค้งไปตามความโค้งของขากรรไกร ตำแหน่งของลวดส่วนหน้าจะวางอยู่ที่ช่องปากส่วนนอกบริเวณฟันหน้า เมื่อนำลวดมาผูกบริเวณจุดกึ่งกลางของลวดยึดฟันหน้าจะเกิดแรงกดต่อฟันหน้าทุกซี่ที่ลวดนั้นยึดอยู่ ขนาดของแรงกด (ตารางที่ ๑) วัดจากแรงที่ใช้ในการยกลวดมาที่ระดับร่องของแบรกเก็ตบริเวณกึ่งกลางฟันตัดซี่กลาง เมื่อผูกลวดกดฟันทางด้านหน้าเข้ากับลวดยึดฟันหน้าแล้ว ต้องยึดลวดกดฟันบริเวณอีลิกซ์เข้ากับตะขอด้านใกล้กลางของหลอดโลหะด้านใกล้แก้มด้วยลวดมัดฟัน เพื่อป้องกันฟันหน้าเคลื่อนที่มาทางด้านใกล้ริมฝีปาก

019189



รูปที่ ๓ แสดงลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในอินทรูซีฟ อาร์ช เทคนิค

ตารางที่ ๑ แสดงขนาดของแรงกดฟันที่ Burstone (1985) แนะนำให้ใช้

ฟันซี่ที่ถูกกด	ขนาดของแรงกดต่อข้าง (กรัม)	ขนาดของแรงกดทั้งหมดต่อจุดกึ่งกลาง (กรัม)
1 1	15–20	30–40
21 12	30–40	60–80
321 123	60	120
1 1	12.5	25
21 12	25	50
321 123	50	100
3	25	
3	25	

ในการกดฟันหน้าด้วยอินทรูซีฟ อาร์ช เทคนิคยึดหลักสำคัญในการกดฟันหน้าให้มีประสิทธิภาพ ๖ ประการ คือ

๑. การควบคุมขนาดและความคงที่ของแรงและโมเมนต์ (moment)

๒. การให้แรงเป็นจุดสัมผัสต่อหน่วยเคลื่อนที่

๓. การให้แรงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของหน่วยเคลื่อนที่

๔. การเลือกกดฟันเฉพาะตำแหน่ง

๕. การควบคุมหลักยึด

๖. การหลีกเลี่ยงกลไกที่ทำให้เกิดฟันงอกยาว

การควบคุมขนาดและความคงที่ของแรงและโมเมนต์

Burstone (1962, 1966) แนะนำว่า การกดฟันหน้านั้นจะต้องใช้แรงที่มีขนาดน้อยที่สุดที่สามารถกดฟันหน้าเพื่อไม่ให้เกิดผลข้างเคียง ได้แก่ การเกิดการสูญเสียหลักยึดจากโมเมนต์ที่มีขนาดสูงและการละลายของรากฟัน

ขนาดของแรงทางทันตกรรมจัดฟัน (Reitan, 1975) สามารถจำแนกได้ดังนี้

๑. แรงขนาดต่ำ (low force) ซึ่งถ้าให้แรงกระทำเป็นระยะเวลานานพอสามารถทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้ในอัตราที่ช้ามากจนไม่เกิดประโยชน์ในทางคลินิก

๒. แรงขนาดพอเหมาะ เป็นขนาดของแรงที่เหมาะสมในการทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด กล่าวคือ อัตราการเคลื่อนที่ของฟันสูงสุดในระยะเวลาอันสั้น โดยฟันเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อรองรับฟันน้อยที่สุดและผู้ป่วยเกิดความรู้สึกเจ็บปวดน้อยที่สุด ซึ่ง Schwarz กล่าวว่าแรงขนาดพอเหมาะนี้ต้องไม่ทำให้เกิดการตีบตันของหลอดเลือดที่มาเลี้ยงเนื้อเยื่อปริทันต์ คือ มีค่าระหว่าง ๒๐-๒๖ กรัม/ตารางเซ็นติเมตร เท่ากับแรงดันของเลือดในหลอดเลือดฝอย

การวัดขนาดของแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันขึ้นกับ

๒.๑ พื้นที่ของรากฟันและรูปร่างของรากฟันแต่ละซี่ ซึ่งขึ้นกับ

๒.๑.๑ ผิวรากฟันด้านที่กระทำต่อแนวการเคลื่อนที่ของฟัน (projected surface)

๒.๑.๒ จำนวนฟัน ฟันหลายซี่มีพื้นที่รากฟันมากกว่าจึงช่วยในการกระจายแรงได้ดีกว่าฟันซี่เดียว

๒.๑.๓ จำนวนรากฟัน ฟันหลายรากย่อมรับแรงได้ดีกว่าฟันรากเดียว

ค่าเฉลี่ยของความเค้นที่เนื้อเยื่อปริทันต์ได้รับเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาขนาดของแรงที่ใช้เคลื่อนฟัน (ดังสูตร)

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{ขนาดของแรง}}{\text{พื้นที่ที่ได้รับแรงกระทำ}}$$

๒.๒ ชนิดของการเคลื่อนที่ของฟัน (type of orthodontic displacement)

ขนาดของแรงที่เหมาะสมกับลักษณะการเคลื่อนที่ของฟันชนิดต่าง ๆ

(ตารางที่ ๒)

ตารางที่ ๒ : แสดงขนาดของแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันชนิดต่างๆ (Gianelly, 1971)

ชนิดของการเคลื่อนฟัน	ขนาดของฟัน	ขนาดของแรงที่เหมาะสม (กรัม/ซี่)
๑. การเคลื่อนที่แบบทิปปิง	ฟันขนาดเล็ก(ฟันหน้า)	๒๐-๓๐
	ฟันขนาดใหญ่(ฟันเขี้ยว)	๔๐-๓๔
๒. การเคลื่อนที่แบบบอดิลีย์	ฟันขนาดเล็ก	๔๐-๔๐
	ฟันขนาดใหญ่	๑๔๐-๒๐๐
๓. การเคลื่อนที่แบบทอร์ค	ฟันขนาดเล็ก	๔๐
	ฟันขนาดใหญ่	๑๒๐-๑๔๐
๔. การเคลื่อนที่แบบเอ็กซ์ทรูซีฟ		๒๔-๓๐
๕. การเคลื่อนที่แบบอินทรูซีฟ		๑๔-๓๐

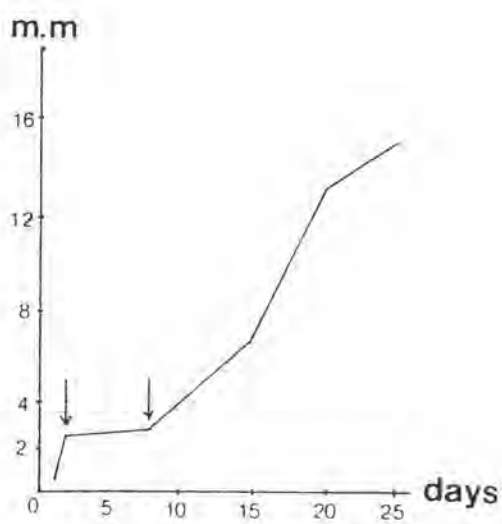
๒.๓ การตอบสนองทางชีวภาพของผู้ป่วยแต่ละราย ซึ่งขึ้นกับความหนาแน่นของกระดูก ความหนาของเนื้อเยื่อปริทันต์ อัตราการละลายของกระดูก อิทธิพลของผิวกระดูกทึบ

เมื่อให้แรงขนาดพอเหมาะกระทำบนตัวฟันจะเกิดการเคลื่อนที่ของฟันเป็น ๓ ระยะ คือ (รูปที่ ๔)

ก ระยะแรก เกิดขึ้นทันทีที่ฟันได้รับแรงและเกิดต่อเนื่องไปอีก ๒-๓ วัน โดยฟันจะเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วในระยะทางสั้น ๆของช่องปริทันต์ (periodontal space) จากนั้นจึงหยุดเคลื่อน

ข ระยะที่สอง (delay period) เป็นช่วงที่ฟันเคลื่อนที่น้อยมาก หรือไม่มีการเคลื่อนที่เลย ระยะนี้เกิดการทำลายของกระดูกโดยตรง (direct bone resorption) ใช้เวลาสั้นๆ เพียง ๓-๔ วัน

ค ระยะที่สาม ฟันจะเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างขนาดเล็กที่เกิดจากการละลายของกระดูกโดยตรง ถ้ายังคงมีแรงกระทำอยู่จะเกิดการละลายของกระดูกอย่างต่อเนื่องและฟันจะเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องทีละน้อยด้วยอัตราเร็วคงที่



รูปที่ ๔ แสดงการเคลื่อนที่ของฟันระยะต่าง ๆ จากการใช้แรงที่มีขนาดพอเหมาะ

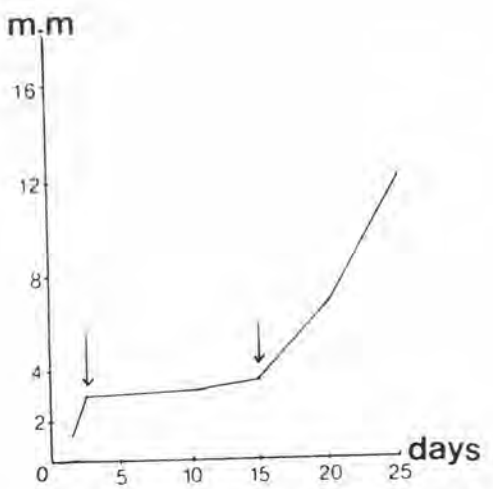
(Gianelly และ Goodman, 1971)

๓. แรงขนาดมาก (heavy force) เมื่อให้แรงที่มีขนาดมากกระทำต่อฟัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟันได้เช่นกัน แต่ลักษณะการเคลื่อนที่แตกต่างจากการให้แรงขนาดพอเหมาะ จากการศึกษาทางคลินิกพบว่า เมื่อให้แรงขนาดมากกระทำต่อฟันจะเกิดการเคลื่อนที่ ๓ ระยะ คือ (รูปที่ ๔)

ก ระยะแรก เกิดขึ้นทันทีหลังจากให้แรงกระทำต่อฟัน และแรงเกิดต่อเนื่องไปอีก ๒-๓ วัน โดยฟันจะเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วในระยะทางสั้น ๆ ของช่องปริทันต์ จากนั้นฟันจะหยุดเคลื่อน

ข ระยะที่สอง เป็นช่วงที่ฟันเคลื่อนที่น้อยมาก หรือไม่มีการเคลื่อนที่เลย ประมาณ ๒-๓ สัปดาห์ เนื่องจากเกิดการละลายของกระดูกโดยอ้อม (indirect) จึงไม่มีการเคลื่อนที่ของฟันเลยจนกว่าบันเดิล โบน (bundle bone) จะถูกทำลาย ปริมาณของกระดูกที่ถูกทำลายมีจำนวนมากจึงใช้เวลานาน และหลังจากการละลายจะเกิดช่องว่างขนาดใหญ่

ค ระยะที่สาม ฟันจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและเป็นระยะทางมากเข้าไปในช่องว่างที่เกิดขึ้นนั้น การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วร่วมกับแรงกระทำที่ยังคงมีอยู่ จะทำให้เอ็นยึดปริทันต์ (periodontal ligament) ถูกแรงกดมาก จนเกิดการตีบตันของหลอดเลือด และเกิดไฮยาลิไนเซชัน (hyalinization) ขึ้นใหม่



รูปที่ ๔ แสดงการเคลื่อนที่ของฟันระยะต่าง ๆ เมื่อได้รับแรงขนาดมาก

(Gianelly และ Goodman, 1971)

๔. แรงขนาดสูงมากเกินไป (excessive force) เมื่อกระทำต่อฟันอาจทำให้ฟันที่ต้องการเคลื่อนหยุดอยู่กับที่เป็นเวลานาน จนอาจกลายเป็นแรงขนาดพอเหมาะของฟันหลักยึดที่มีขนาดใหญ่กว่า ผลก็คือทำให้หลักยึดเคลื่อนมาทางด้านหน้าเกิดภาวะการสูญเสียของหลักยึดขึ้น และถ้าแรงที่มีขนาดมาก ๆ นี้ยังคงอยู่ต่อไป จะทำให้เอ็นยึดปริทันต์ถูกกดมากจนฟันชิดกับผิวกระดูกเบ้าฟัน (alveolar proper) เกิดการตีบตันของหลอดเลือด ขาดสารอาหารหล่อเลี้ยง เกิดไฮยาลิไนเซชันบริเวณกว้าง ตามด้วยการทำลายของกระดูกโดยอ้อม นอกจากนี้ยังอาจเกิดการละลายของรากฟัน การตายของเนื้อเยื่อประสาทฟันทางด้านที่ถูกยึด (tension side) มีการฉีกขาดของเอ็นยึดปริทันต์และหลอดเลือด ผู้ป่วยอาจมีฟันโยกหรือมีอาการปวดมาก มีการยับยั้งการสร้างกระดูกและกระตุ้นการทำลายของกระดูกแทน อันเป็นเหตุให้เกิดผลเสียมากมายตามมา

Reitan (1975) กล่าวว่า การให้แรงกระทำอย่างต่อเนื่อง และการกระตุ้นซ้ำ (reactivation) ที่เร็วเกินไป จะยิ่งเพิ่มปริมาณและระยะเวลาในการเกิดไฮยาลิไนเซชัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการละลายของกระดูกโดยอ้อมนานขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยอายุมาก

Storey (1973) กล่าวว่าขนาดของแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ผิวรากฟัน การใช้แรงมากเกินไปจะทำให้เกิดการละลายของกระดูกแบบ อันเดอร์มายนิง (undermining resorption) จากการที่เนื้อเยื่อปริทันต์ถูกบีบให้ชิดกับกระดูกรองรับฟัน จนเกิดการฉีกขาดของเส้นเลือด ฟันจะไม่เคลื่อนที่จนกว่าร่างกายจะสามารถกำจัดเนื้อเยื่อตาย (necrotic tissue) ได้หมด และสร้างเนื้อเยื่อใหม่ขึ้นมาทดแทน ดังนั้นฟันจึงเคลื่อนที่อย่างไม่ต่อเนื่อง

จากการศึกษาของ Dellinger (1967) โดยการกดฟันกรามน้อยในลิง พบว่าการใช้แรงมากเกินไปในการกดฟันจะมีผลต่อฟันหลังที่เป็นหลักยึดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากจะมีแรงในแนวดิ่งที่มีขนาดเท่ากับแรงกดฟัน และมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงกดฟัน กระทำต่อฟันหลังในลักษณะที่ทำให้เกิดการยื่นยาวของฟันหลังและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดมาก เนื่องจากขนาดของแรงที่มาก ร่วมกับระยะแขนของสปริงกดฟันที่ยาวมาก จึงส่งผลให้เกิดการเอียงตัวไปทางด้านหลังของฟันกรามและเกิดการสูญเสียของหลักยึด จากการลอยตัวของฟันกรามในระหว่างการกดฟันหน้า

จากทฤษฎีและการศึกษาต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้นล้วนแต่สนับสนุนหลักการในเรื่องขนาดของแรง ตามวิธีการของ Burstone เพื่อให้ผลในการกดฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ความคงที่ของแรงและโมเมนต์สามารถกำหนดได้จากสปริงที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

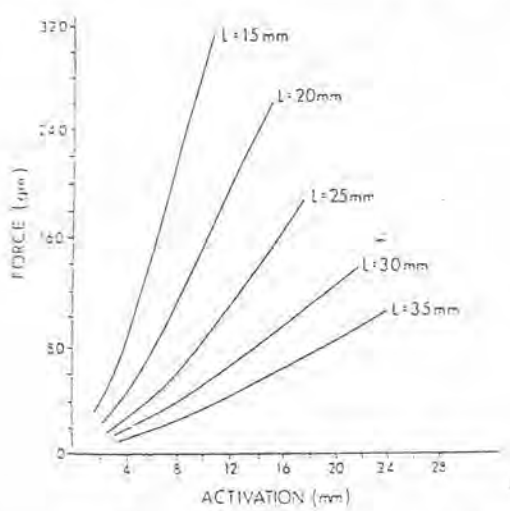
๑. อัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ต่อแรงของสปริงควรมีขนาดเหมาะสม เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของจุดหมุน และอัตราส่วนนี้ควรคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ของฟัน

๒. สปริงควรให้แรงคงที่อยู่นาน และสามารถวัดขนาดของแรงที่เกิดขึ้นได้

๓. เครื่องมือต้องไม่มีความเสียดทาน (friction) เพื่อมิให้เกิดการสูญเสียของแรงขณะที่ฟันเคลื่อนที่ไปหรือสามารถวัดขนาดของแรงที่กระทำต่อฟันได้

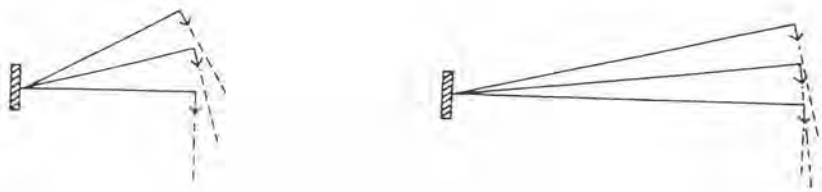
๔. สปริงควรมีโหลด-ดีเฟล็กชัน เรตต่ำ มีอีลาสติก ลิมิต (elastic limit) สูง มีโมดุลัสของการยืดหยุ่นต่ำ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของสปริง

ดังนั้นในการออกแบบสปริงกดฟันหน้าจึงมีการเพิ่มความยาวของลวดจากระยะแขนของสปริงที่วัดตั้งแต่ด้านใกล้กลางของฟันกรามไปถึงจุดกึ่งกลางระหว่างฟันตัดซี่กลาง ต่างจากการใช้ลวดโค้งต่อเนื่องซึ่งความยาวของลวดจะถูกจำกัดจากระยะระหว่างแบรกเก็ตของฟันแต่ละซี่ และการดัดอีลิกซ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๓ มิลลิเมตรจำนวนสองรอบครึ่ง เป็นการเพิ่มความยาวของสปริงกดฟันหน้าทำให้มีโหลด-ดีเฟล็กชัน เรตต่ำ (รูปที่ ๖) กล่าวคือ แรงกดของสปริงที่ลดลงต่อหน่วยระยะทางที่ฟันเคลื่อนที่ไปภายหลังแอ็กติเวตมีขนาดน้อย จึงทำให้แรงคงที่อยู่ตลอดเวลา



รูปที่ ๖ กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวของสปริงที่เพิ่มขึ้นทำให้โหลด-ดีเฟล็กชัน เรตลดลง (Burstone, 1977)

นอกจากนี้แขนของสปริงที่ยาวยังช่วยให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนแปลงไปจากแนวเดิมน้อย เมื่อฟันเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิม (รูปที่ ๗) และเนื่องจากสปริงมีโหลด-ดีเฟล็กชัน เรตต่ำ จึงทำให้การวัดขนาดแรงกดฟันมีความเที่ยงตรงมากกว่า



รูปที่ ๗ แสดงการปรียบเทียบความยาวของแขนของสปริงซึ่งมีผลต่อทิศทางของแรง

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่ทำให้ระดับของแรงและโมเมนต์คงที่ และสามารถวัดขนาดได้ คือ การกำจัดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในสปริงกดฟัน ตามวิธีการของ Burstone นั้นสปริงกดฟันไม่ถูกผูกเข้าสู่ร่องของแบรกเก็ตของฟันหน้าที่ต้องการกดโดยตรง แต่ผูกสปริงกับจุดกึ่งกลางทางด้านใกล้ริมฝีปากของลวดยึดฟันหน้า

การให้แรงเป็นจุดสัมผัสต่อหน่วยเคลื่อนที่

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า สปริงกดฟันไม่ถูกผูกเข้าสู่ร่องของแบรกเก็ตของฟันหน้าซี่ที่ต้องการกดแต่จะผูกเข้ากับจุดกึ่งกลางของลวดยึดฟันหน้าระหว่างฟันตัดซี่กลางทั้งสอง เปรียบเสมือนการให้แรงกระทำต่อวัตถุเป็นจุดสัมผัสทำให้สามารถวัดและคาดคะเนระบบของแรงที่เกิดขึ้นต่อฟัน กำจัดแรงเสียดทานและหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดทอร์คต่อฟันหน้า ทั้งนี้เพราะการนำสปริงกดฟันซึ่งทำจากลวดเหล็กมาใส่ในร่องของแบรกเก็ตของฟันหน้า จะเกิดการบิดตัวของลวดขณะที่ฟันถูกกด

กรณีที่เกิดการทอร์คราก ไปทางด้านใกล้ริมฝีปากจะยิ่งส่งเสริมให้ขนาดของแรงกดฟันเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มแนวโน้มที่ทำให้เกิดการสูญเสียหลักยึด

ในทางตรงกันข้าม ถ้าลักษณะที่เกิดเป็นการทอร์คราก ไปทางด้านใกล้ลิ้นจะส่งผลให้แรงกดฟันลดลงจากทิศทางของแรงซึ่งหักล้างกัน และถ้าการทอร์คราก ไปทางด้านใกล้ลิ้นนั้นมีมากกว่าแรงกดจะทำให้เกิดฟันหน้ายื่นยาว

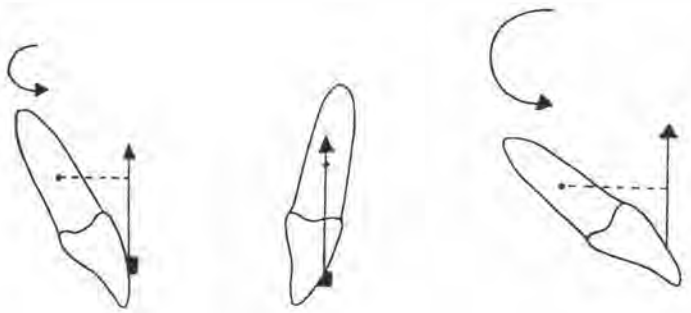
ดังนั้นการให้แรงกระทำเป็นจุดสัมผัสต่อหน่วยเคลื่อนที่ทั้งหมดจึงเป็นการลดผลข้างเคียง ลดแรงเสียดทานของสปริง และสามารถปรับการเรียงตัวของฟันหน้าด้วยลวดยึดฟันหน้าไปพร้อมๆ กับการกดฟันได้

การให้แรงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของหน่วยเคลื่อนที่

แรงจากสปริงกดฟันต้องผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของหน่วยเคลื่อนที่โดยไม่ทำให้เกิดการหมุนของฟันหน้าไปทางด้านใกล้ริมฝีปากหรือทางด้านใกล้ลิ้นขณะกดฟัน โดยตำแหน่งที่แรงกระทำประมาณจากจุดศูนย์กลางความต้านทานของรากฟันที่ถูกกด

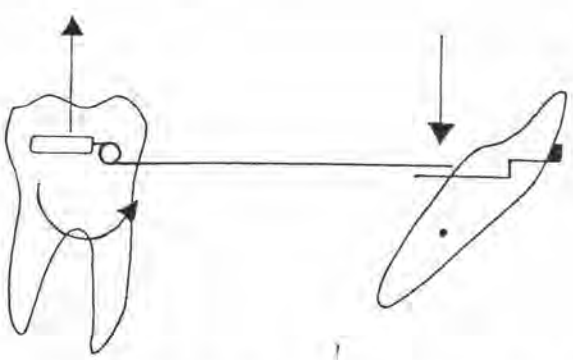
ตามปกติแรงกดฟันกระทำทางด้านใกล้ริมฝีปากของฟันหน้า จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตัวฟัน (crown) ไปทางด้านใกล้ริมฝีปากขณะที่รากฟันเคลื่อนที่ไปทางด้านใกล้ลิ้น (รูปที่ ๘ ก) ในกรณีเช่นนี้จะให้ผลดีต่อการกดฟันหน้าที่มีตำแหน่งหลุบเข้า (retroclination) ในผู้ป่วยที่มีการสบฟันผิดปกติประเภทที่ ๒ ดิวิชัน ๒ (รูปที่ ๘ ข)

ในรายที่มีฟันยื่น แรงกดซึ่งกระทำทางด้านหน้าต่อจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันหน้าจะทำให้เกิดโมเมนต์สูงและส่งผลให้รากฟันเคลื่อนที่ไปทางด้านใกล้ลิ้นมากขึ้น (รูปที่ ๘ ค) ในกรณีเช่นนี้ต้องใช้กลไกการกดฟันที่ต่างจากปกติ โดยการดัดลวดยึดฟันหน้าให้มีปลายทั้งสองข้างยื่นออกมาทางด้านหลังมากขึ้น และสปริงกดฟันหน้าต้องแยกจากกันเป็นด้านซ้ายและด้านขวาเพื่อยึดกับลวดยึดฟันหน้าแต่ละข้าง (รูปที่ ๙) หรือในกรณีที่ฟันหน้ามีลักษณะซ้อนเกและแนวแกนของฟันผิดปกติมาก จำเป็นต้องถอนฟันกรามน้อยเพื่อใช้ในการจัดเรียงฟันหน้า อาจใช้วิธีการเคลื่อนฟันเขี้ยวไปทางด้านหลังเป็นลำดับแรก เพื่อให้มีเนื้อที่เพียงพอในการปรับแนวแกนของฟันหน้าให้ถูกต้องหลังจากนั้นจึงเริ่มกดฟันหน้า



ก ข ค

รูปที่ ๘ แสดงผลจากการเอียงตัวของฟันหน้าต่อแนวของแรงกดฟันที่กระทำต่อจุดศูนย์กลางความต้านทาน (Burstone, 1977; Burstone และ Hanley, 1985)



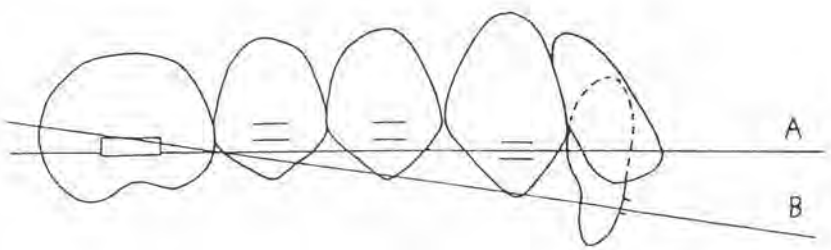
รูปที่ ๙ แสดงลักษณะของลวดยึดฟันหน้าซึ่งมีปลายยื่นมาด้านหลังเพื่อยึดกับสปริงกดฟัน (Burstone, 1977)

การเลือกกดฟันเฉพาะตำแหน่ง

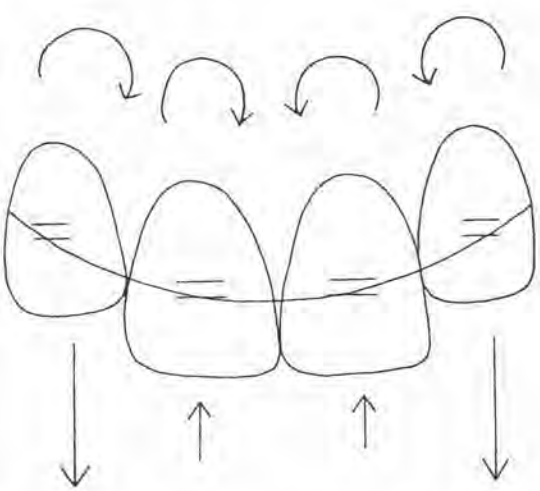
การกดฟันควรพิจารณาตำแหน่งฟันซี่ที่ต้องการแก้ไขและระนาบบดเคี้ยวภายหลังการกดฟัน ในผู้ป่วยที่มีฟันสบลึกจากการสบฟันผิดปกติประเภทที่ ๒ ดิวิชัน ๒ (รูปที่ ๑๐) การกดฟันหน้าบนต้องพิจารณาระดับของฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้างเป็นสำคัญ ในกรณีที่ระดับของฟันทั้งสองแตกต่างกันมากต้องกดฟันตัดซี่กลางสองซี่ให้มีระดับเท่ากับฟันตัดซี่ข้างก่อน จากนั้นจึงกดฟันทั้งสี่ซี่ให้มีระดับตามที่กำหนดเพื่อป้องกันไม่ให้ฟันตัดซี่ข้างงอกยาวจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดจากการกดฟันตัดซี่กลาง และเกิด

การเอียงตัวของรากฟันไปทางด้านใกล้กลาง (รูปที่ ๑๑) เนื่องจากแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยามีขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงข้ามกันร่วมกับขนาดพื้นที่รากฟันตัดซี่ข้างน้อยกว่า และการงอกยาวของฟันเกิดได้ง่ายกว่าการกดฟันด้วยจิงทำให้ฟันซี่ดังกล่าวเกิดการงอกยาวได้ง่ายกว่า

ในทำนองเดียวกันผู้ป่วยที่มีการสบฟันประเภทที่ ๒ ดิวิชัน ๑ อาจต้องเลือกกดทั้งฟันหน้าบนและฟันหน้าล่างให้ได้ระดับถูกต้อง



รูปที่ ๑๐ แสดงลักษณะการกดฟันในรายที่มีการสบฟันผิดปกติประเภทที่ ๒ ดิวิชัน ๒ แทนที่จะเกิดการกดฟันลงไปดังเส้นตรง A กลับเกิดการเปลี่ยนแปลงของระนาบบดเคี้ยวดังเส้นตรง B (Burstone, 1977)



รูปที่ ๑๑ แสดงผลของแรงปฏิกิริยาในการกดฟันตัดซี่กลางทำให้ฟันตัดซี่ข้างงอกยาวและรากฟันเอียงตัวไปทางด้านใกล้กลาง (Burstone, 1977; Burstone และ Hanley, 1985)

การควบคุมหลักยึด

การใช้สปริงกดฟันหน้าทำให้เกิดผลข้างเคียงต่อฟันที่ใช้เป็นหลักยึด ๒ ประการ คือ

๑. โมเมนต์ที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาซึ่งมีขนาดเท่ากับแรงกดฟันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ร่วมกับความยาวของแขนของสปริงกดฟัน ซึ่งมีระยะจากด้านใกล้กลางของฟันกรามไปยังจุดกึ่งกลางระหว่างฟันหน้ามีแนวโน้มทำให้ฟันหลังงอกยาว ป้องกันได้โดยใช้แรงกดฟันหน้าที่มีขนาดพอเหมาะร่วมกับการรวมฟันหลังทุกซี่เป็นหน่วยเดียวกันด้วยลวดยึดฟันหลังและลิงกวล อาร์ช

๒. โมเมนต์ที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาและแขนของสปริงในข้อ ๑ จะกระทำทางด้านใกล้แก้มของฟันหลัง ทำให้เกิดการล้มเอียงไปทางด้านใกล้ลิ้นของตัวฟันและรากฟันเอียงไปทางด้านใกล้แก้ม ป้องกันโดยการยึดฟันกรามด้านขวาและซ้ายด้วยทรานซ์ พาราทัล อาร์ช หรือ ลิงกวล อาร์ช และยังช่วยรักษาความกว้างของขากรรไกรให้คงที่

การหลีกเลี่ยงกลไกที่ทำให้เกิดการฟันงอกยาว

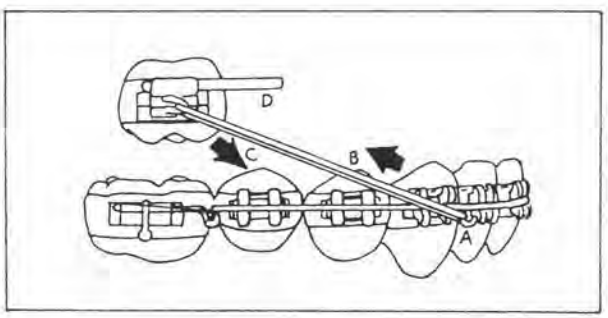
การงอกยาวของฟันเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าการกดฟันด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

๑. การงอกยาวของฟันไม่มีความต้านทานจากกระดูก (bony resistance) เหมือนการกดฟัน

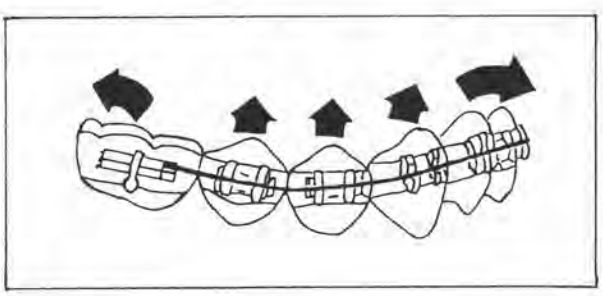
๒ ลักษณะของเส้นใย (fiber) ยึดรากฟันมีการเรียงตัวเอียงเฉียง (oblique) ขึ้น เมื่อได้รับแรงกระทำในทิศทางที่ออกจากเบ้าฟัน เส้นใยยึดรากฟันจึงเพียงแต่ถูกยึดขึ้นในทิศทางเดียวกันกับการเรียงตัว (passive arrangement) แต่การกดฟันนั้นมีการต้านทานของเส้นใยต่อแรงกดมากกว่า เพราะเส้นใยยึดรากฟันถูกกดเฉียงลงเกิดเป็นลักษณะที่เรียกว่า แฮมม็อก เอฟเฟ็ก (Hammock effect) โดยเส้นใยยึดรากฟันแสดงลักษณะคล้ายเปลญวณต้านต่อการกดฟัน จนกระทั่งมีการละลายของกระดูกที่ปลายรากฟันจึงมีการเคลื่อนที่ของฟันได้

อย่างไรก็ตามผลจากการกดฟันจะคงที่ (prognosis of retention) ดีกว่าการทำให้ฟันงอกยาว ถ้ามีการละลายของกระดูกบริเวณปลายรากฟันอย่างสมบูรณ์และยังมีแรงจากการบดเคี้ยวช่วยต้านการคืนกลับด้วย

กลไกที่ทำให้เกิดการงอกยาวของฟัน ได้แก่ การใช้ยางดึงระหว่างขากรรไกร (intermaxillary elastic) (รูปที่ ๑๒) เชอร์วิคอล เฮดเกียร์ และการดัดรีเวิร์ส เคิร์ฟ ออฟ สปี (รูปที่ ๑๓) รวมไปถึงการปรับระดับของฟันเขี้ยวที่อยู่สูงกว่าระนาบบดเคี้ยวหรือฟันเขี้ยวที่มีการเอียงของรากฟันไปทางด้านใกล้กลาง การรักษาควรใช้สปริงเฉพาะส่วนกดฟันเขี้ยวเข้าสู่ระนาบบดเคี้ยวของฟันซี่อื่นๆ หรือใช้สปริงตั้งรากฟันเขี้ยวให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องก่อน ไม่ควรปรับระดับฟันเขี้ยวไปพร้อมๆกับฟันซี่อื่นๆในขากรรไกร ดังเช่นการใช้ลวดโค้งต่อเนื่องหรือการใช้สปริงกดฟันหน้าทั้งหกซี่พร้อมๆกัน เพราะทำให้เกิดโมเมนต์ดึงยกฟันหลังให้งอกยาวขึ้น วิธีการของเช็กเมนเต็ด อาร์ช จึงออกแบบสปริงที่ใช้กดเฉพาะส่วนฟันเขี้ยวแยกออกจากสปริงที่ใช้กดฟันหน้า



รูปที่ ๑๒ แสดงผลของการใช้ยางดึงระหว่างขากรรไกรทำให้เกิดการงอกยาวของฟัน (Ricketts, 1979)



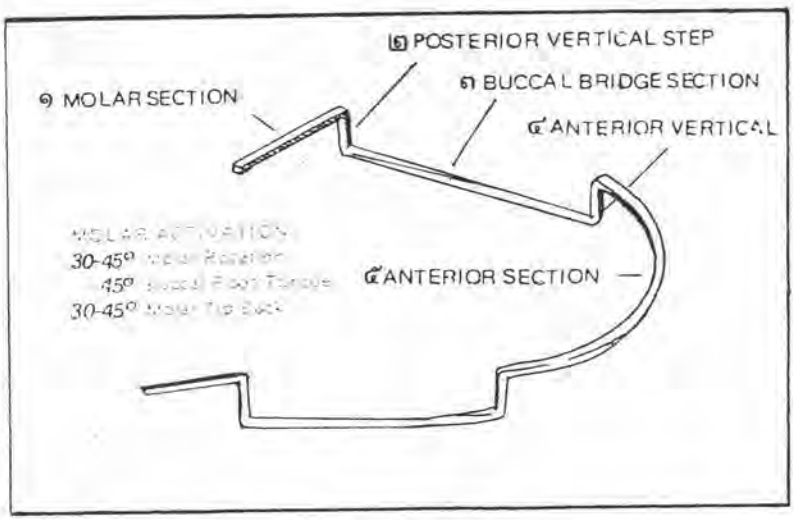
รูปที่ ๑๓ แสดงผลของการดัดรีเวิร์ส เคิร์ฟ ออฟ สปี ซึ่งทำให้ฟันหลังงอกยาว (Ricketts, 1979)

หลักการกดฟันหน้าด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช เทคนิค

การกดฟันหน้าด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช เริ่มพัฒนามาจากการที่ Ricketts และคณะ (1979) ได้พยายามใช้ฟันหน้าล่างกลับมาเป็นหลักยึดเพื่อแก้ไขการล้มเอียงของฟันหลังในรายที่ถอนฟัน โดยใช้ลวดกลมดัดเป็นลวดโค้งต่อเนื่องสอดยึดฟันกราม ฟันกรามน้อยและฟันหน้าไว้ด้วยกัน ในขณะที่ทำการดึงฟันเขี้ยวภายหลังเพื่อปิดช่องว่างจากการถอนฟัน ผลปรากฏว่าลวดลักษณะนี้สามารถช่วยรักษาตำแหน่งของฟันหลังไว้ได้และยังมีผลในการกดฟันหน้า ต่อมาเขาได้พัฒนาลวดโค้งต่อเนื่องจากลวดกลมมาเป็นลวดเหลี่ยมโดยดัดลวดบริเวณฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยให้มีระดับต่ำจากขอบเหงือกประมาณ ๓-๔ มิลลิเมตร ขึ้นกับความลึกของช่องปากส่วนนอก (vestibule) เพื่อป้องกันมิให้ลวดเสียรูปจากแรงบดเคี้ยวและช่วยรักษาความยาวของขากรรไกรเพื่อให้ฟันกรามน้อยและฟันเขี้ยวถาวรสามารถขึ้นได้ในกรณีที่เป็นระยะฟันชุดผสม ลวดโค้งดังกล่าวนี้เรียกว่า ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช

ส่วนประกอบของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช่ล่าง (รูปที่ ๑๔)
(Ricketts, 1976, Ricketts และคณะ, 1979)

๑. โมลาร์ เซ็กชัน (molar section)
๒. โพสทีเรีย เวอร์ติคอล สเต็ป (posterior vertical step)
๓. บัคคอล บริดจ์ (buccal bridge)
๔. แอนทีเรีย เวอร์ติคอล สเต็ป (anterior vertical step)
๕. แอนทีเรีย เซ็กชัน (anterior section)



รูปที่ ๑๔ แสดงส่วนประกอบของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชล่าง

(Ricketts และคณะ, 1979)

<u>บทบาทและหน้าที่ของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช</u> (Ricketts และคณะ, 1979)

๑. ปรับตำแหน่งของฟันกรามล่างเข้าสู่ผิวกระดูกทิบเพื่อเสริมหลักยึดของฟันหลัง จากตำแหน่งของฟันกราม ฟันกรามน้อยและฟันเขี้ยวของขากรรไกรซึ่งวางตัวอยู่ในขากรรไกรล่าง ทางด้านใกล้แก้มจะมีผิวกระดูกทิบของเอ็กซ์เทอร์นอล ออบลิก ริดจ์ (external oblique ridge) ซึ่งมีความหนาแน่นของกระดูกสูง และมีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยง (blood supply) น้อยมาก การมีเลือดหล่อเลี้ยงในกระดูกน้อยทำให้ขบวนการทางสรีรวิทยา (physiologic process) ของกระดูกถูกหน่วงเหนี่ยวให้ช้าลง เมื่อได้รับแรงฟันจึงเคลื่อนที่ได้ช้าลง จากหลักการที่ว่าฟันที่เป็นหลักยึดที่ดีที่สุดนั้นควรเป็นฟันที่ไม่เคยได้รับการรบกวนมาก่อน และจากข้อสนับสนุนทางคลินิกเกี่ยวกับการกดปุ่มฟันด้านใกล้ลิ้น (lingual cusp) ของฟันกรามให้จมลงเป็นการช่วยเพิ่มหลักยึดให้กับฟัน ดังนั้น Ricketts จึงออกแบบยูทิลิตี อาร์ชให้มีลักษณะทิปแบค เบนด์ ทอร์คและโรเตชัน เพื่อช่วยให้เกิดลักษณะการขึ้นของฟันกรามอย่างถูกต้องตั้งแต่เริ่มบำบัดรักษา และยังช่วยให้รากฟันกรามเคลื่อนไปสัมผัสกับผิวกระดูกทิบใต้เอ็กซ์เทอร์นอล ออบลิก ริดจ์ ทำให้ฟันกรามมีคุณสมบัติของหลักยึดที่ดี

๒. ปรับการเรียงตัวของฟันหน้าล่าง

ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชถูกออกแบบให้สามารถแก้ไขการเรียงตัวของฟันหน้าทั้ง ๔ ซี่ได้โดยไม่เกี่ยวข้องกับฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อย ทำให้ประสิทธิภาพในการแก้ไขฟันหน้าทั้ง ๔ ซี่มีมากกว่าการใช้ลวดโค้งต่อเนื่อง

๓. แบ่งแยกการรักษาเป็นส่วนของฟันหน้าและฟันหลัง

การรักษาส่วนใหญ่ คือ การพยายามดึงฟันเขี้ยวให้เข้าไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการ ในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของการสบฟันประเภทที่ ๒ นั้น มักพบว่าฟันหน้าล่างและฟันเขี้ยวงอกยาวกว่าปกติมาก การรักษาแยกเป็นเซ็กเมนต์โดยใช้ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชช่วยปรับหลักยึดของฟันกรามและกดฟันหน้าล่างทั้ง ๔ ซี่ให้ไปอยู่ในตำแหน่งที่ดีก่อน จึงค่อยกดฟันเขี้ยวล่างลงซึ่งทำได้ง่ายกว่าและไม่เกิดผลข้างเคียงดังเช่นการใช้ลวดโค้งต่อเนื่อง และทำให้การเคลื่อนฟันในส่วนของฟันหลังดำเนินไปได้อย่างอิสระโดยไม่รบกวนกับส่วนอื่น ๆ

๔. บทบาททางสรีรวิทยาของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชล่าง

การกดฟันหน้าล่างทำให้ฟันหน้าบนและล่างไม่สบกัน ดังนั้นขากรรไกรล่างจึงพยายามเคลื่อนตัวมาทางด้านหน้าเพื่อหาตำแหน่งที่ทำให้ฟันหน้าสบกันได้ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการสบฟันประเภทที่ ๒ ในขณะเดียวกันทำให้การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อคางลดลง การทำทอร์คต่อฟันกรามและฟันหน้าล่างตั้งแต่เริ่มรักษาโดยไม่เกี่ยวข้องกับฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อย ทำให้ฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยสามารถขึ้นได้ตามธรรมชาติจากแรงประคับประคองของลิ้นและกล้ามเนื้อแก้ม (buccal musculature)

๕. การรักษาให้มากกว่าที่ควรจะเป็น (overcorrection)

ปัญหาที่มักพบหลังจากการกดฟันก็คือการคืนกลับ ดังนั้นวิธีป้องกันการเกิดลักษณะฟันสบลึกใหม่ทำได้โดยกดฟันหน้าให้มากกว่าที่ควรจะเป็น การใช้ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ทำให้การแก้ไขโอเวอร์ไบท์ (overbite) และโอเวอร์เจท (overjet) ไม่ขึ้นแก่กัน โดยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชทำหน้าที่แก้ไขโอเวอร์ไบท์ขณะที่การแก้ไขฟันหลังสามารถกระทำไปพร้อมกันได้ด้วยเซ็กชันนอล อาร์ช (sectional arch) และถ้าพบว่าในระยะใดของการรักษายังปรากฏมีการกระแทกของฟันหน้าอยู่ก็อาจกลับมาใช้ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชได้อีก

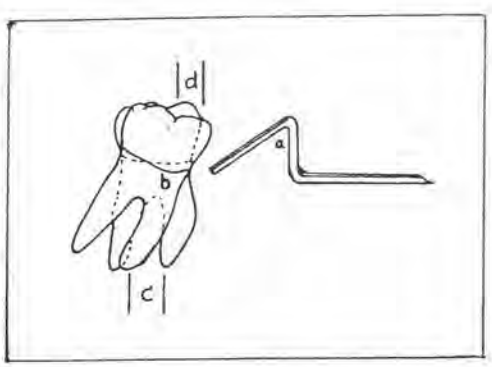
๖. บทบาทในระยะฟันชุดผสม

เนื่องจากลักษณะของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชมีการดัดลวดหักลงทางด้านเหงือกบริเวณฟันเขี้ยวและฟันกรามน้ำนมในระยะฟันชุดผสม จึงช่วยรักษาเนื้อที่เพื่อการขึ้นของฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อย

๗. การควบคุมความยาวของโค้งขากรรไกร (arch length)

การใช้ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชทำให้สามารถรักษาหรือเปลี่ยนแปลงความยาวของโค้งขากรรไกรได้ดังนี้

๗.๑ การตั้งฟันกรามล่าง (uprighting lower molar) ในผู้ป่วยที่มีเครีฟออฟ สปี ชัน การดัดทิปแบคทางด้านหลังของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ทำให้ฟันกรามล่างตั้งขึ้น ตัวฟันเอียงถอยไปด้านหลัง ทำให้ได้เนื้อที่จากบริเวณที่ฟันตั้งขึ้น (รูปที่ ๑๔)



รูปที่ ๑๔ แสดงผลของการตั้งฟันกรามซี่ที่หนึ่งล่าง (Ricketts และคณะ, 1979)

a คือ ลักษณะทิปแบค เบนด์ ต่อฟันกราม

b คือ จุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันกราม

c คือ ระยะทางที่รากฟันด้านไกล้กลางเคลื่อนตัวมาทางด้านหน้าจากผลของทิปแบค เบนด์

d คือ ระยะทางที่ตัวฟันเคลื่อนไปทางด้านไกลกลาง ทำให้ได้ความยาวของโค้งขากรรไกรเพิ่มขึ้น

๓.๒ การเคลื่อนฟันหน้าล่างไปทางด้านหน้า (lower incisors advancement) ในกรณีที่ตำแหน่งของฟันหน้าล่างอยู่ค่อนมาทางด้านใกล้ลิ้นมากกว่าปกติ สามารถใช้ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชเคลื่อนฟันหน้าออกไปทางด้านหน้า การเคลื่อนฟันไปทางด้านหน้าทำได้มากน้อยเพียงใดขึ้นกับความหนาของกระดูกบริเวณซิมฟายซิส (Symphysis) และความสวยงามของใบหน้า Ricketts (1979) กล่าวอ้างถึงกฎของ Steiner ที่ว่า ถ้าเคลื่อนฟันหน้าล่างมาทางด้านหน้า ๑ มิลลิเมตรจะทำให้ได้ความยาวของโค้งขากรรไกรเพิ่มขึ้น ๒ มิลลิเมตร ดังนั้นในกรณีที่ต้องการเนื้อที่ในขากรรไกรเพื่อใช้แก้ไขการสบฟันผิดปกติ สามารถนำริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชมาใช้ได้

๓.๓ การเคลื่อนฟันหลังไปทางด้านข้าง (lateral expansion) เนื่องจากการใช้ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชเคลื่อนเฉพาะฟันหน้าและฟันกราม ในขณะที่ฟันซี่อื่น ๆ ถูกปล่อยให้มีการขึ้นตามปกติ จึงมักพบว่ามีการขยายของขากรรไกรตามธรรมชาติบริเวณฟันหลัง จากกฎของ Ricketts (1979) กล่าวว่า ถ้าฟันในบริเวณฟันเขี้ยวขยายออกไปทางด้านข้าง ๑ มิลลิเมตร จะได้ความยาวของโค้งขากรรไกรเพิ่มขึ้น ๑ มิลลิเมตร ถ้าขยายบริเวณฟันกรามน้อยหรือฟันน้ำนม ๑ มิลลิเมตรจะได้ความยาวของโค้งขากรรไกรเพิ่มขึ้น ๐.๔ มิลลิเมตร และถ้าขยายฟันบริเวณฟันกราม ๑ มิลลิเมตรจะได้ความยาวของโค้งขากรรไกรเพิ่มขึ้น ๑/๓ มิลลิเมตร

๓.๔ การรักษา"อี"สเปส ("E"Space) ซึ่งเป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นเมื่อฟันกรามน้ำนมซี่ที่สองหลุดไป เนื่องจากฟันกรามน้อยซี่ที่สองที่ขึ้นแทนที่มักมีขนาดเล็กกว่าฟันกรามน้ำนม ทำให้ช่องว่างที่เหลือในขากรรไกรล่างจะมีประมาณ ๓.๔ มิลลิเมตร (จากวิธีการของ Nance) การใช้ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช จะช่วยรักษาช่องว่างนี้ไว้เพื่อใช้แก้ไขความผิดปกติของฟันซี่อื่น ๆ

สรีรวิทยาและกลไกของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชล่าง

การออกแบบริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชให้มีลักษณะพิเศษต่างๆ เช่น ทิปแบค เบนด์ ทอร์ค และโรเตชัน เพื่อประโยชน์ในการเคลื่อนฟันดังนี้

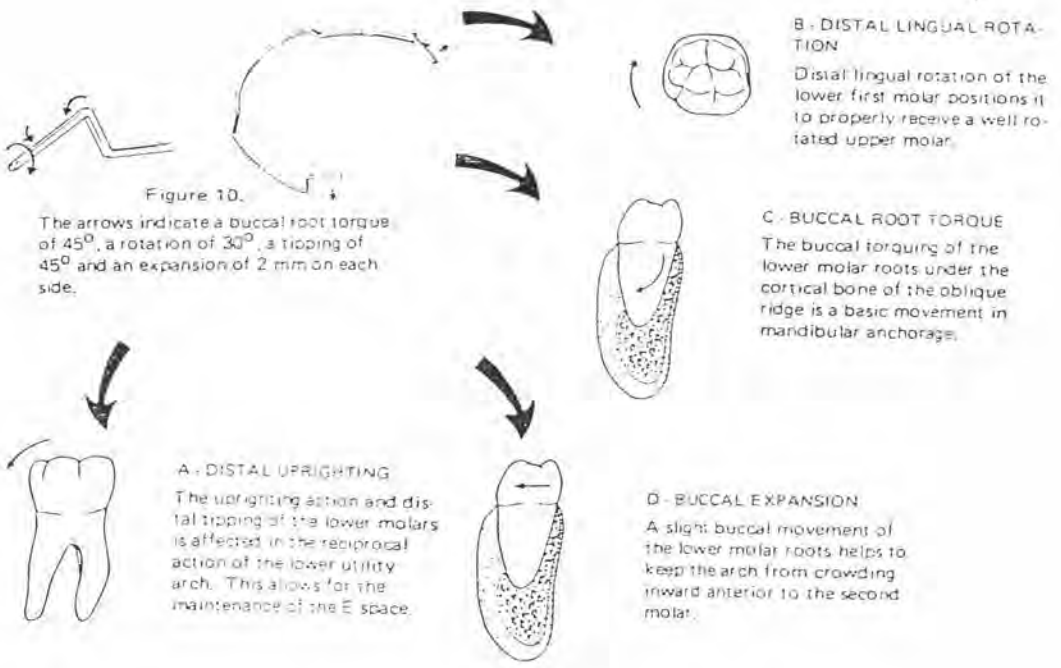
๑. การดัดทิปแบคที่ฟันกรามล่างเป็นมุม ๓๐-๔๔° (รูปที่ ๑๔ และ ๑๕)

ทิปแบค เบนด์นี้ทำให้ฟันกรามล่างตั้งตรง โดยตัวฟันเคลื่อนไปทางด้านหลังและ

รากฟันเคลื่อนมาทางด้านหน้า แต่เนื่องจากฟันกรามซี่ที่หนึ่งล่างถูกรองรับด้วยผิวกระดูกทึบด้านใกล้แก้ม และฟันกรามซี่ที่สองทางด้านไกลกลาง ดังนั้นการขึ้นของฟันกรามซี่ที่หนึ่งตามธรรมชาติจะถูกบังคับด้วยส่วนรองรับทั้งสองให้มีทิศทางการหมุนทางด้านไกลกลางอยู่แล้ว เมื่อมีการตัดทิปแบค เบนด์ ฟันจะตั้งตรงขึ้นในลักษณะที่มีการหมุนทางด้านไกลกลางด้วย ดังนั้นการทำทิปแบคเบนด์จึงต้องทำร่วมกับการตัดโรเตชันไปทางด้านไกลกลางทุกครั้ง ในผู้ป่วยที่ถอนฟันและมีการดึงฟันร่วมด้วย การตัดโรเตชันไปทางด้านไกลกลางจะต้องมีมากกว่าในรายที่ไม่ได้ถอนฟัน เพื่อป้องกันการหมุนทางด้านใกล้กลางของฟันกรามล่าง

๒. การทำทอร์คของฟันกรามล่างไปทางด้านใกล้แก้มเป็นมุม ๓๐-๔๔° (รูปที่ ๑๖)

การบิดลวดให้เกิดทอร์คเพื่อเคลื่อนรากฟันกรามไปทางด้านใกล้แก้ม ทำให้ตัวฟันเคลื่อนที่ไปทางด้านใกล้ลิ้นด้วยในลักษณะที่เป็นสัดส่วนกัน เนื่องจากจุดศูนย์กลางของความต้านทานของฟันตามปกติในระนาบด้านหน้าอยู่ต่ำกว่ารอยต่อของเคลือบฟันและซีเมนตัม (Cementoenamel junction) เพียงเล็กน้อย ถ้าต้องการให้เกิดการเคลื่อนที่เฉพาะรากฟันไปทางด้านใกล้แก้มเพียงอย่างเดียวในขณะที่ตัวฟันอยู่ในตำแหน่งค่อนข้างคงที่ อาจกระทำได้โดยการขยายส่วนโค้งของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชให้กว้างออกทางด้านข้าง เพื่อช่วยเป็นแรงผลักดันรากฟันไปสัมผัสกับผิวกระดูกทึบด้านใกล้แก้มมากขึ้นซึ่งมีผลดีต่อการสร้างหลักยึด ดังนั้นในการตัดทอร์คนี้ต้องทำร่วมกับการขยายส่วนของลวดออกทางด้านข้างด้วย ตามปกติจะขยายออกข้างละประมาณ ๑ เซ็นติเมตร ก่อนใส่ลวดเข้าในหลอดโลหะด้านใกล้แก้ม



รูปที่ ๑๖ แสดงลักษณะการดัดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ในล่วนฟันกราม

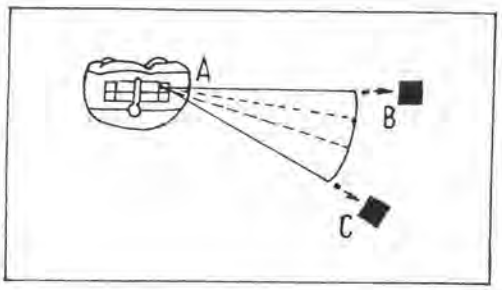
(Ricketts และคณะ, 1979)

๓. ระยะความยาวของแขนของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ต่อฟันหน้าล่าง

ความยาวของแขนของลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช มีผลต่อทอร์คของลวดบริเวณฟันหน้า ขณะที่กดฟันหน้าแรงกดฟันมีทิศทางเคลื่อนลงไปทางรากฟันตามรัศมีความโค้งของลวด โดยมีจุดศูนย์กลางของรัศมีนั้นอยู่ที่ฟันกราม ทำให้ฟันหน้าค่อยๆ ถูกทอร์คให้ตัวฟันเอียงไปทางด้านใกล้ริมฝีปากจากการบิดตัวของลวดทางด้านหน้า (รูปที่ ๑๗) ผลคือฟันหน้าจะถูกเคลื่อนไปจนรากฟันสัมผัสกับผิวกระดูกทึบของชิมฟายซิส ทำให้ผลในการกดฟันหน้าลดลงหรืออาจไม่เกิดขึ้นเลย และยังเพิ่มการเอียงของตัวฟันหน้าไปทางด้านใกล้ริมฝีปาก (labial crown tipping)

ดังนั้นในการกดฟันหน้าด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชจึงต้องสร้างทอร์คในแอนทีเรียเซ็กชัน ปริมาณของทอร์คมากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะแนวแกนของฟันตั้งแต่เริ่มแรกรวมไปถึงความสัมพันธ์ของฟันต่อชิมฟายซิสและรูปหน้า เช่น ในรายที่มีลักษณะใบหน้าเป็นแบบเบร์ชี (Brachy facial type) ฟันหน้าล่างมักตั้งตรงอยู่แล้วและระดับฟันไม่อยู่สูงในสันเหงือก การเกิดทอร์คของรากตามปฏิกิริยาดังกล่าวจะมีผลน้อยต่อการกดฟันหน้าล่าง แต่ในผู้ป่วยที่ฟันหน้าล่างเอียงตัวฟันไปทางด้านใกล้ริมฝีปากมาก ๆ การกดฟันหน้าล่างจะต้องปรับแนวแกน

ของฟันหน้านั้น โดยการทำทอร์คราก ฟันไปทางด้านใกล้ริมฝีปากประมาณ ๕-๑๐° เพื่อป้องกันปลายรากฟันเคลื่อนไปชนกับผิวกระดูกทึบทางด้านใกล้ลิ้นจึงสามารถกดฟันได้ดี (รูปที่ ๑๔ และรูปที่ ๑๕)

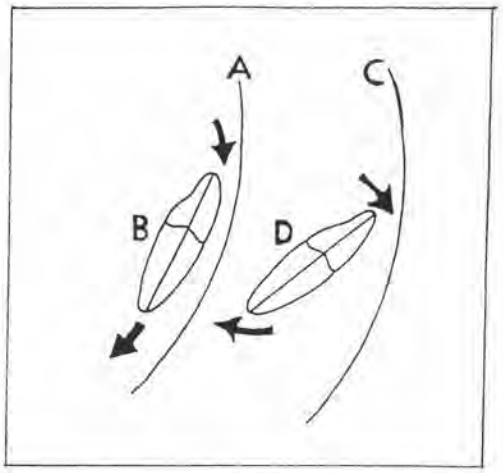


รูปที่ ๑๓ แสดงแขนของลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ซึ่งเคลื่อนที่เป็นรัศมีของวงกลมตามลักษณะของแรงกดฟันหน้าล่าง (Ricketts และคณะ, 1979)

A คือ จุดศูนย์กลางการหมุน

B คือ ลักษณะหน้าตัดของลวดทางด้านหน้าแสดงทอร์คเป็น 0° ขนานกับแนวแกนของฟันหน้าล่างซึ่งตั้งตรง

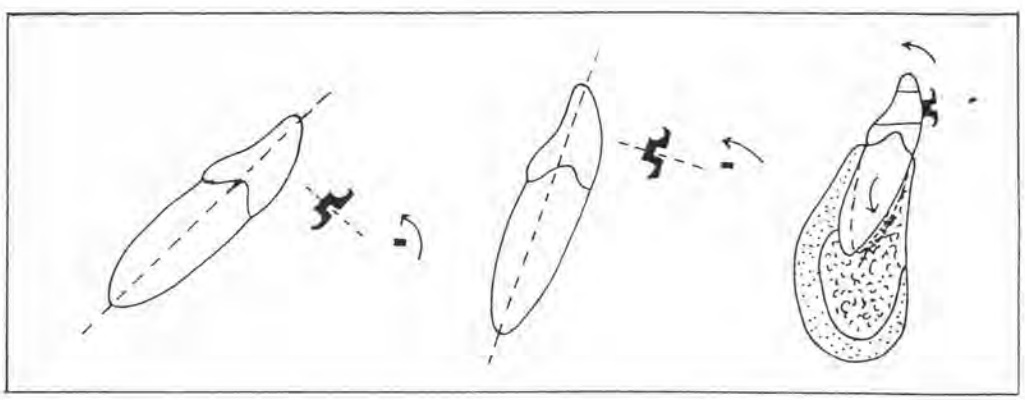
C คือ ลักษณะของทอร์คซึ่งเปลี่ยนตามการกดฟัน มีผลทำให้ฟันหน้าล่างเอียงตัวฟันไปทางด้านหน้า



รูปที่ ๑๘ (A) แสดงส่วนโค้งตามแนวการกดฟันทางด้านหน้าซึ่งเกือบขนานกับแนวแกนฟันหน้าทำให้ผลการกดฟันมีประสิทธิภาพกว่า (B)

(C) คือส่วนโค้งเดียวกันกระทำต่อฟันหน้าที่เอียงตัวไปทางด้านใกล้ริมฝีปากจะทำให้เกิดการเอียงของฟันมากขึ้น (D)

(Ricketts และคณะ, 1979)

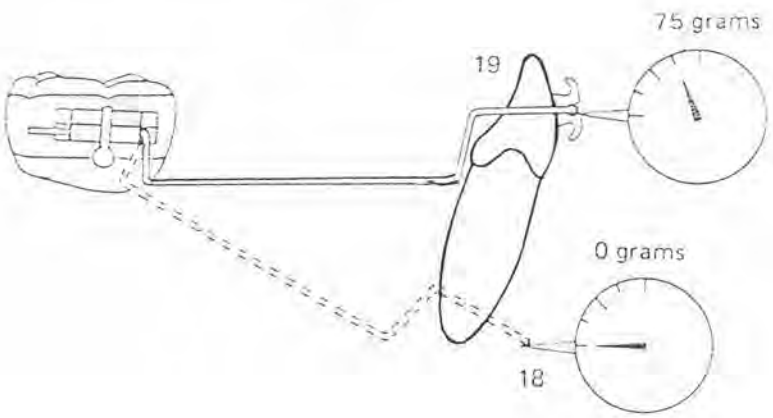


รูปที่ ๑๙ แสดงผลของทอร์คในแอนทีเรีย เซ็กชันกระทำต่อฟันหน้าล่าง

(Ricketts และคณะ, 1979)

๔. ขนาดของแรงกดฟันหน้าล่าง ๖๐-๘๐ กรัม

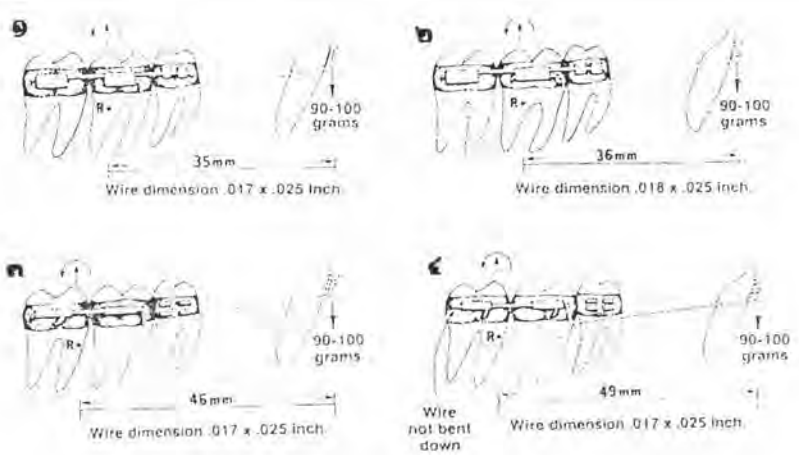
แรงกดฟันหน้าล่าง เกิดจากริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชซึ่งใช้ลวดเอลจิลอยสีฟ้าขนาด 0.๐๑๖ x 0.๐๑๖" ดัดให้มีทิปแบค เบนด์ ทอร์ค และโรเตชันของฟันกรามซี่ที่หนึ่งล่างตามที่ Ricketts กำหนด โดยทอร์คบริเวณฟันหน้าล่างและแขนของสปริงที่ยาวเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดแรงขนาดต่ำ ๆ และต่อเนื่อง ซึ่งเป็นแรงที่เหมาะสมในการกดฟันและป้องกันการทำลายของเนื้อเยื่อรองรับฟัน (Ricketts และคณะ, 1979) และยังลดการรบกวนจากแรงบดเคี้ยวที่อาจทำให้ลวดเปลี่ยนรูปไปจากสภาพเดิมอย่างถาวร ขนาดของแรงที่ Ricketts (1979) แนะนำให้ใช้ในการกดฟันหน้าล่าง ๔ ซี่ คือ แรง ๖๐-๘๐ กรัม โดยวัดที่ระดับของแบรกเก็ตตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างแบรกเก็ตของฟันตัดซี่กลาง (รูปที่ ๒๐)



รูปที่ ๒๐ แสดงการวัดขนาดของแรงกดฟันหน้าล่างซึ่งเกิดจากลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช (Ricketts และคณะ, 1979)

งานวิจัยทางคลินิกซึ่งเกี่ยวข้องกับการกดฟันหน้า

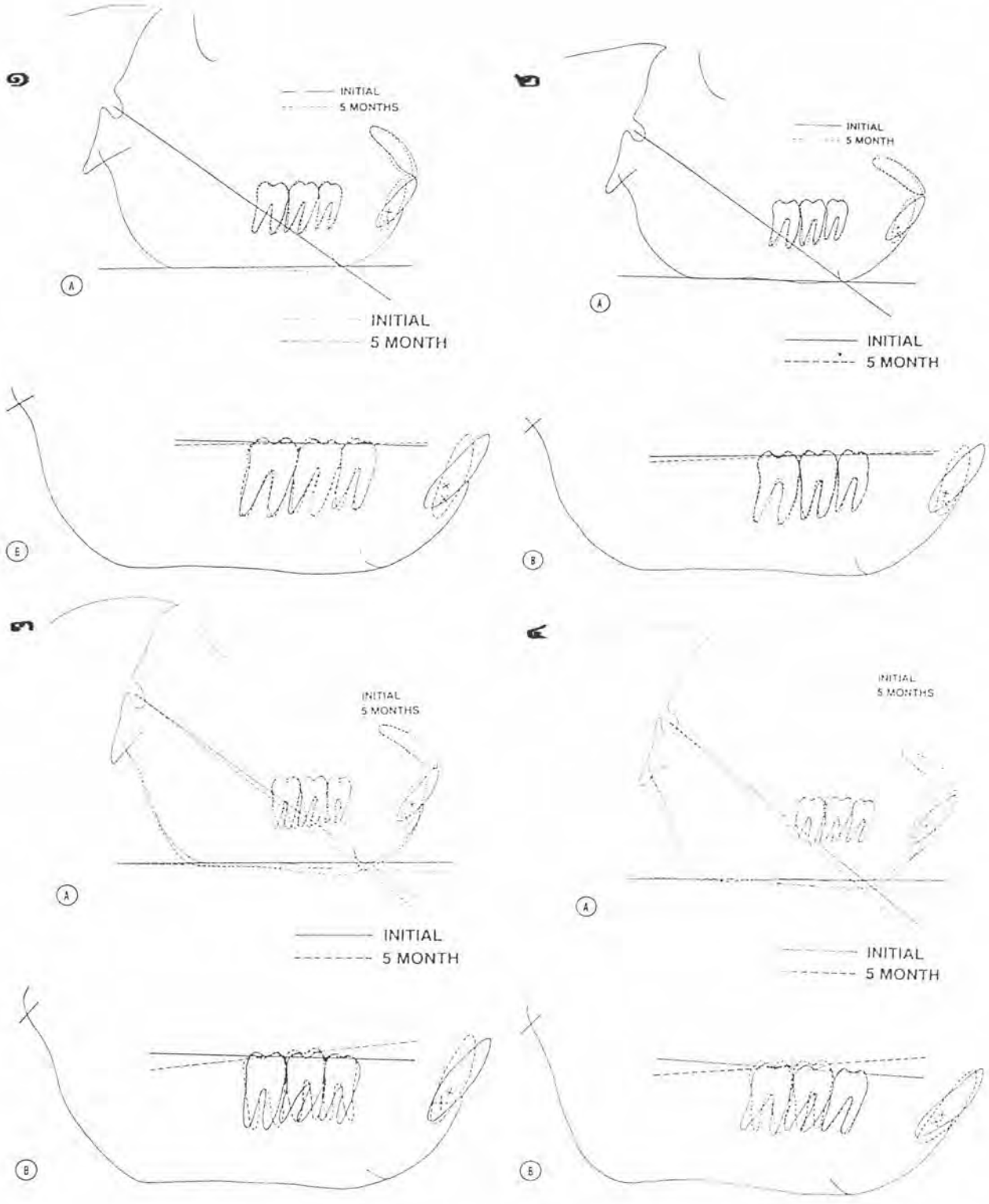
Woods (1988) ศึกษากลไกการกดฟันหน้าล่างด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชในลิงบาบูน เพศเมียซึ่งมีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจำนวน ๔ ตัว ขนาดของแรงกดฟันที่ใช้คือ ๕๐ และ ๑๐๐ กรัม ซึ่งเป็นขนาดของแรงตามที่ Burstone กำหนดในการกดฟันหน้าบนของมนุษย์ ระยะเวลาการศึกษา ๔ เดือน ฟันหลักยึดที่ใช้ในลิงตัวที่ ๑ และตัวที่ ๒ ได้แก่ ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามซี่ที่สองยึดรวมกันด้วยลวดเอลจิลอยสีฟ้าขนาด 0.๐๑๖" x 0.๐๑๖" (รูปที่ ๒๑) หลักยึดสำหรับลิงตัวที่ ๓ และตัวที่ ๔ ได้แก่ ฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามซี่ที่สอง (รูปที่ ๒๑) ขนาดร่องของแบรกเก็ตที่ใช้คือ 0.๐๑๘" ยูทิลิตี อาร์ชที่ใช้กับลิงตัวที่ ๑, ๓ และ ๔ ทำจากลวดเอลจิลอยสีฟ้าขนาด 0.๐๑๗" x 0.๐๒๕" ในลิงตัวที่ ๒ ใช้ลวดขนาด 0.๐๑๘" x 0.๐๒๕" โดยเพิ่มลูป (loop) นำไปทำกรรมวิธีผ่านความร้อน (heat treatment) ก่อนนำไปใส่ในหลอดโลหะด้านใกล้แก้มของฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามซี่ที่สอง โดยพับปลายลวดทางด้านหลังต่อหลอดโลหะด้านใกล้แก้มของฟันกรามซี่ที่สองลงทางด้านเหงือก ยกเว้นลิงตัวที่ ๔ ซึ่งไม่ได้พับปลายลวดลง ผลการศึกษาประเมินจากภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้าง และแบบจำลองฟันก่อนและหลังการกดฟัน (รูปที่ ๒๒



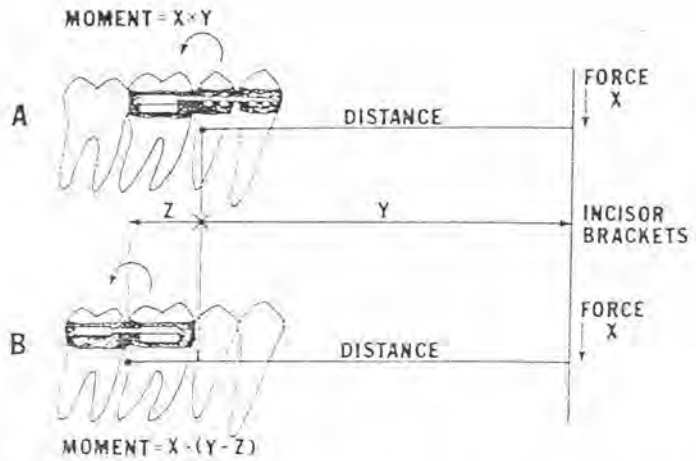
รูปที่ ๒๑ แสดงลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการกดฟันหน้าล่างในลิงแต่ละตัว (๑) ลิงตัวที่ ๑ (๒) ลิงตัวที่ ๒ (๓) ลิงตัวที่ ๓ และ (๔) ลิงตัวที่ ๔ (Woods, 1988)

ผลการศึกษาพบว่าฟันหน้าล่างถูกกดลงในแนวดิ่ง (เมื่อวัดจากจุดอ้างอิงภายในซึ่งได้แก่จุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันหน้าล่าง) ร่วมกับมีการเอียงของตัวฟันหน้าล่างไปทางด้านหลังในลิงทั้งสี่ตัว แต่ในลิงตัวที่ ๔ นั้นการเอียงของตัวฟันหน้าล่างไปทางด้านหลังมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับที่พบในลิงตัวอื่น มีการละลายของปลายรากฟันหน้าล่างในลิงทุกตัว พบการเอียงของฟันหลักยึดไปทางด้านหลัง ยกเว้นในลิงตัวที่ ๓ ซึ่งมีการเอียงของฟันกรามน้อยซี่ที่สองไปทางด้านหลังด้วยแม้ว่าฟันกรามน้อยซี่ที่สองนี้ไม่ได้ถูกรวมในหลักยึด นอกจากนี้ยังมีการงอกยาวของฟันหลักยึดในลิงตัวที่ ๓ และ ๔ ซึ่งส่งผลให้ตำแหน่งของขากรรไกรล่างหมุนตามเข็มนาฬิกาไปทางด้านหลังมากขึ้น กล่าวคือมีการสูญเสียหลักยึดเกิดขึ้น

จากการศึกษานี้ Woods สรุปว่าการปรับระดับฟันโดยใช้วิธีการกดฟันหน้าให้ได้ผลโดยไม่เกิดการงอกยาวของฟันหลังควรรวมฟันหลังทั้งหมดที่มีอยู่ให้เป็นหน่วยเดียวกันด้วยหลักการของเซ็กเมนเต็ด อาร์ช เทคนิค และแรงกดฟันควรมีขนาดพอเหมาะ การกดฟันควรกระทำอย่างช้า ๆ และต่อเนื่อง การเตรียมหลักยึดขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการรักษา ถ้าต้องการกดฟันหน้าล่างโดยไม่ทำให้เกิดการหมุนของขากรรไกรล่าง (ดังลิงตัวที่ ๑ และ ๒) การเตรียมหลักยึดควรออกแบบให้จุดศูนย์กลางความต้านทานของหลักยึดอยู่ในตำแหน่งหน้าที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดผลของโมเมนต์ซึ่งกระทำต่อฟันหลักยึด แต่ถ้าการปรับระดับฟันนั้นต้องการให้มีการกดฟันหน้าร่วมกับการงอกยาวของฟันหลัง (ดังลิงตัวที่ ๓ และ ๔) จุดศูนย์กลางความต้านทานของหลักยึดควรอยู่ในตำแหน่งที่ค่อนไปทางด้านหลังต่อขากรรไกรมากขึ้นเพื่อเพิ่มขนาดของโมเมนต์ โดยขนาดของโมเมนต์สามารถเพิ่มขึ้นได้จากขนาดของแรง หรือจากระยะทางจากจุดศูนย์กลางความต้านทานของหลักยึดไปยังจุดให้แรงกดฟันหน้า (รูปที่ ๒๓) อย่างไรก็ตามการเพิ่มขนาดของแรงกดฟัน ทำให้ประสิทธิภาพของการกดฟันหน้าลดลง และส่งผลให้เกิดการทำลายของเนื้อเยื่อรองรับฟัน ดังนั้นจึงควรใช้การเพิ่มระยะทางแทน การพับปลายลวดกดฟันทำให้ปลายรากฟันของฟันกรามเอียงมาทางด้านหน้าจึงมีผลต่อฟันกรามน้อยซี่ที่สองซึ่งอยู่ข้างเคียงและมีผลต่อการเอียงตัวของฟันหน้าไปทางด้านหลังเนื่องจากความยาวของลวดกดฟันถูกควบคุม แต่เมื่อไม่พับปลายลวดกดฟัน ฟันหลักยึดจะเอียงตัวฟันไปทางด้านหลัง (ดังเช่นลิงตัวที่ ๔) และฟันหน้าล่างมีการเอียงไปทางด้านหลังน้อย



รูปที่ ๒๒ แสดงผลของการกดฟันหน้าล่างในลิงทั้งสี่ตัวตามลำดับจากการซ้อนทับ (superimposition) ภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างก่อนและหลังการกดฟัน (Woods, 1988)



รูปที่ ๒๓ แสดงความแตกต่างของโมเมนต์ที่กระทำต่อฟันหลักยึดซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางความต้านทานของหลักยึด (Woods, 1988)

นอกจากนั้นการควบคุมหลักยึดในแนวดิ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึง ผู้ป่วยซึ่งมีลักษณะโครงสร้างใบหน้าแบบโดลิโช (Dolichofacial) มีโอกาสเกิดลักษณะการงอกยาวของฟันหลังได้ง่ายไม่ว่าจะใช้ลวดโค้งต่อเนื่องหรือใช้เซ็กเมนเต็ด อาร์ช ดังนั้นการปรับระดับฟันจึงควรหลีกเลี่ยงกลไกที่จะทำให้เกิดการงอกยาวของฟันหลัง สำหรับลักษณะโครงสร้างใบหน้าแบบมีโซ (Mesofacial) และแบบเบร์ชี (Brachyfacial) นั้น การหดตัวของกล้ามเนื้อแมสซีเตอร์ (Masseter) และอินเทอร์นัล เทอริกอยด์ (Internal Pterygoid) มีแนวโน้มที่จะดึงฟันเข้าสู่กระดูกเบ้าฟันจากทิศทางการดึงของกล้ามเนื้อซึ่งค่อนข้างตั้งฉากกับระนาบบดเคี้ยว ดังนั้นจึงเกิดการงอกยาวได้น้อยกว่า และ Woods ยังกล่าวว่า การศึกษานี้อาจนำไปใช้เป็นแนวทางในการกดฟันกับมนุษย์ที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว สำหรับในรายที่ยังมีการเจริญเติบโตเป็นการยากที่จะแยกผลของการเจริญเติบโตออกจากผลที่เกิดจากการกดฟันอย่างแท้จริง อย่างไรก็ตามวิธีการกดฟันน่าจะอาศัยหลักการเดียวกัน ในขากรรไกรบนสามารถออกแบบเครื่องมือที่ช่วยในการควบคุมการงอกยาวในแนวดิ่งได้โดยการใช้ ไฮ พุล เฮดเกียร์ (High pull Headgear) หรือ เจ-อุค เฮดเกียร์ (J-hook Headgear) ร่วมกับการใช้ทรานซ์ พาราทัล อาร์ช

Greig (1983) ศึกษาการแก้ไขฟันสบลึกโดยใช้ยูทิลิตี อาร์ชล่างในผู้ป่วย ๑๑ คน เป็นเพศชาย ๕ คน เพศหญิง ๖ คน อายุเฉลี่ย ๑๒-๑๔ ปี มีลักษณะการสบฟันผิดปกติประเภทที่ ๒ ลักษณะของลวดยูทิลิตี อาร์ชที่ใช้ดัดตามที่ Ricketts กำหนดโดยใช้ลวดเอลจิลอยสีฟ้าขนาด 0.๔ x 0.๔ มม. ให้แรงกดฟัน 0.๖-0.๘ นิวตัน ใช้ลวดยูทิลิตี อาร์ชหลังจากปรับการเรียงตัวของฟันด้วยลวดกลม มี ๑ รายใช้ลวดยูทิลิตี อาร์ชที่มี "ที" ลูป (T-loop) ผลการศึกษาประเมินจากภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างก่อนและหลังการรักษา (๔ เดือนหลังจากใส่ลวดกดฟัน) ปริมาณการกดฟันวัดจากจุด I ซึ่งอยู่บนแนวแกนฟันที่ตำแหน่ง ๒/๓ ของความยาวฟันจากปลายฟันหน้าล่าง (รูปที่ ๒๔)

รูปที่ ๒๔ แสดงจุดและค่าที่ใช้วัดในภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้าง (Greig, 1983)

ผลการศึกษาพบว่า จากการสังเกตในคลินิก ขนาดของโอเวอร์ไบท์มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระดับของฟันเขี้ยว ฟันกรามซี่ที่หนึ่งเอียงไปทางด้านไกลกลางและด้านใกล้ลิ้นร่วมกับมีการขยายของขากรรไกรบริเวณฟันกรามน้อยแต่ความกว้างของขากรรไกรระหว่างฟันกรามซี่ที่หนึ่งซ้ายและขวาไม่เปลี่ยนแปลง ไม่มีการงอกยาวของฟันกรามซี่ที่หนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระดับของฟันกรามน้อย จากภาพรังสีพบว่า โอเวอร์ไบท์ลดลงเฉลี่ย ๔.๒ มม. การกดฟันที่แท้จริง (เมื่อใช้ I เป็นจุดอ้างอิง) เฉลี่ย ๑.๑ มม. ฟันหน้าเอียงตัวไปทางด้านใกล้ริมฝีปาก ความยาวของใบหน้า

เพิ่มขึ้นซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเจริญเติบโต หรือการงอกยาวของฟันกรามซี่ที่หนึ่งจากผลของการรักษา ขนาดของโอเวอร์ไบท์ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับความยาวของใบหน้าที่เพิ่มขึ้นและการงอกยาวของฟันหลัง

Mc. Fadden และคณะ (1989) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกดฟันหน้ากับการละลายของปลายรากฟันในผู้ป่วย ๓๘ ราย อายุเฉลี่ย ๑๓.๑ ปี เพศชายอายุเฉลี่ย ๑๓.๓ ปี เพศหญิงอายุเฉลี่ย ๑๓ ปี ผู้ป่วยทุกรายมีลักษณะฟันสบลึก โดยปลายฟันหน้าบนสบคร่อมปลายฟันหน้าล่างมากกว่า ๔ มม. หรือปลายฟันหน้าล่างสบติดเพดาน ๓ รายมีลักษณะการสบฟันผิดปกติประเภทที่ ๑ ๓๐ ราย มีการสบฟันผิดปกติประเภทที่ ๒ ดิวิชัน ๑ และ ๕ รายมีการสบฟันผิดปกติประเภทที่ ๒ ดิวิชัน ๒ ระยะเวลาการรักษาเฉลี่ย ๒๘.๘ $\pm$ ๓.๔ เดือน ๒๔ ราย (๖๓%) รักษาโดยไม่ถอนฟัน ๑๔ ราย (๓๗%) รักษาโดยถอนฟันร่วมด้วย ผู้ป่วยทุกรายไม่มีประวัติของการเกิดภยันตราย (trauma) ต่อฟันหน้ามาก่อน มีฟันหน้าครบทุกซี่ และไม่มีการตกแต่งเปลี่ยนแปลงของปลายฟันหน้าตลอดระยะเวลาการรักษา เทคนิคที่ใช้กดฟันได้แก่ ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ขนาดของแรงกดฟัน ๒๐-๒๕ กรัม/ซี่ ผลการศึกษาประเมินจากภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างและภาพรังสีปลายรากฟัน (periapical radiograph) ก่อนและหลังการรักษา

ผลการศึกษาพบว่ารากฟันหน้าบนสั้นลงโดยเฉลี่ย ๑.๔๔ มม. (๑๓.๒% ของความยาวรากฟันเดิม) และรากฟันหน้าล่างสั้นลงเฉลี่ย ๐.๖๑ มม. (๔.๓% ของความยาวรากฟันเดิม) การละลายของรากฟันมีความสัมพันธ์กับความกว้างของซิมฟายซิสและระยะเวลาในการจัดฟัน แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกดฟันหน้า อายุ เพศ โครงสร้างใบหน้าของผู้ป่วย และการถอนฟัน แต่ในรายที่มีการละลายของรากฟันอย่างรุนแรงอยู่แล้ว พบว่าการละลายของรากฟันมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับการกดฟันหน้าและระยะเวลาในการจัดฟัน ดังนั้นการควบคุมระยะเวลาในการจัดฟันมีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะเมื่อกดฟันหน้าบน และผู้ป่วยซึ่งมีแนวโน้มของการเกิดการละลายของรากฟันควรได้รับการดูแลและกระตุ้นเตือนในการดูแลสุขภาพช่องปากระหว่างการจัดฟัน

Otto, Anholm และ Engel (1980) ศึกษาเปรียบเทียบการกดฟันในผู้ใหญ่และในเด็กตามลักษณะโครงสร้างใบหน้าในผู้ป่วย ๔๔ ราย (ผู้ใหญ่ ๒๔ ราย อายุเฉลี่ย ๒๓.๐๔ $\pm$ ๘.๑๗ ปี เด็ก ๓๑ ราย อายุเฉลี่ย ๑๑.๔๓ $\pm$ ๑.๓๖ ปี) ได้รับการรักษาโดยวิธีกดฟันหน้าด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ผลการศึกษาประเมินจากภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้าง ภาพรังสีพานอรามิก (panoramic radiograph) และภาพรังสีปลายรากฟันก่อนและหลังการรักษา

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของการกดฟัน (เมื่อวัดจากปลายรากฟัน) ในผู้ใหญ่ ๒.๖๒ มม. ในเด็ก ๒.๐๘ มม. ขนาดของโอเวอร์ไบท์ที่ลดลงเกิดจากการกดฟันหน้าเป็นปัจจัยหลัก แม้จะมีการเอียงของตัวฟันหน้าไปทางด้านใกล้ริมฝีปากร่วมกับการเพิ่มความยาวของใบหน้าส่วนล่างร่วมด้วยก็ตาม องค์ประกอบทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ต่อขนาดของโอเวอร์ไบท์ที่ลดลง ปริมาณการกดฟันหน้าไม่สัมพันธ์กับอายุของกลุ่มตัวอย่าง จากภาพรังสีปลายรากฟันและภาพรังสีพานอรามิกก่อนและหลังการรักษา พบการเปลี่ยนแปลงของปลายรากฟันในผู้ใหญ่มากกว่าที่พบในเด็ก ลักษณะโครงสร้างใบหน้าไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการกดฟันหน้า

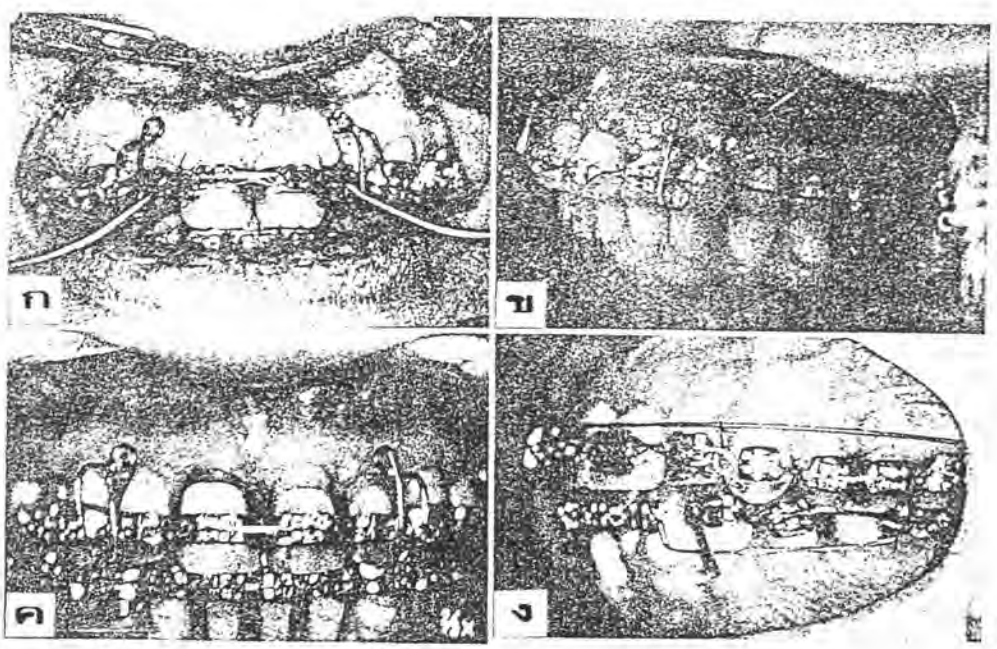
Melsen, Agerbaek และ Markenstam (1989) ศึกษาผลของการกดฟันหน้าในผู้ใหญ่ต่อภาวะการสูญเสียขอบกระดูก (marginal bone) ในผู้ป่วย ๓๐ ราย (ชาย ๕ คน หญิง ๒๕ คน) อายุ ๒๒-๒๕ ปี มีลักษณะการสบฟันผิดปกติซึ่งต้องแก้ไขโดยการกดฟันหน้า ผู้ป่วย ๒๔ รายมีการเคลื่อนที่ของฟันหน้าบนอันเนื่องมาจากการลุกลามของโรคปริทันต์ ๖ ราย มีการเคลื่อนที่ของฟันหน้าจากการถอนฟันหลัง ผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความยาวของตัวฟันมากกว่าปกติ มีโอเวอร์เจท ๓-๑๓ มม. โอเวอร์ไบท์ ๓-๑๔ มม. ก่อนการจัดฟันผู้ป่วยทุกรายได้รับการรักษาโรคปริทันต์ โดย ๑๔ รายได้รับการทำศัลยปริทันต์ เพื่อกำจัดร่องลึกปริทันต์ให้เหลือความลึกไม่เกิน ๓ มม. หลังการผ่าตัด ๑ สัปดาห์ทำการติดเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นเพื่อรักษาฟันสบลึกซึ่งแบ่งเป็น ๔ ประเภท ดังนี้

๑. ผู้ป่วย ๑ ราย รักษาโดยใช้เอดช์ไวส์ เทคนิคร่วมกับ เจ-ฮุค ในการกดฟันขนาดของแรงกดข้างละ ๑๐๐ กรัม (รูปที่ ๒๕ ก)

๒. ผู้ป่วย ๔ ราย ได้รับการรักษาด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช (0.016"x0.016") ร่วมกับไอ พุล เฮดเกียร์ (รูปที่ ๒๔ ข)

๓. ผู้ป่วย ๓ ราย ได้รับจัดฟันโดยกดฟันด้วยลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.017"x 0.024"ที่มีลูป (รูปที่ ๒๔ ค)

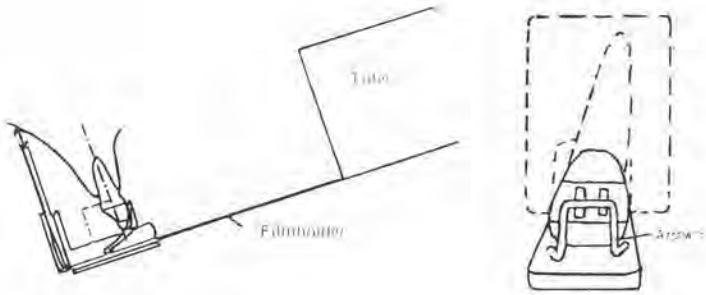
๔. ๒๒ รายที่เหลือรักษาได้รับการจัดฟันใช้อินทรูซีฟ อาร์ช ทั้งฟุล (full) และเซ็กเมนเต็ด ตามที่ Burstone กำหนด (รูปที่ ๒๔ ง) ให้แรงกด ๑๐-๒๐ กรัม/ซี่ ขึ้นกับปริมาณกระดูกรองรับฟัน



รูปที่ ๒๔ แสดงลักษณะของเครื่องมือจัดฟันที่ใช้ (Melsen และคณะ, 1989)

ระหว่างการจัดฟันผู้ป่วยทุกรายได้รับการดูแลและควบคุมสภาวะปริทันต์ตามความจำเป็น ระยะเวลาการจัดฟัน ๖-๑๘ เดือน

ผลการศึกษาประเมินจากหุ่นจำลองแบบฟัน ภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างและภาพรังสีปลายรากฟันก่อนและหลังรักษา ภาพรังสีปลายรากฟันถ่ายโดยใช้เทคนิคขนาน (parallel tecnic) โดยการยึดฟิล์มดังรูปที่ ๒๖

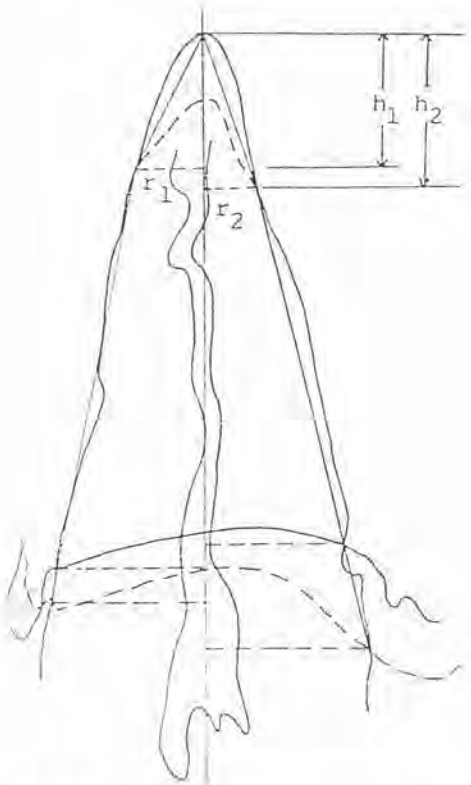


รูปที่ ๒๖ แสดงลักษณะการยึดฟิล์มในการศึกษานี้เพื่อให้สามารถถ่ายภาพรังสี โดยใช้เทคนิคขนาน (Melsen และคณะ, 1989)

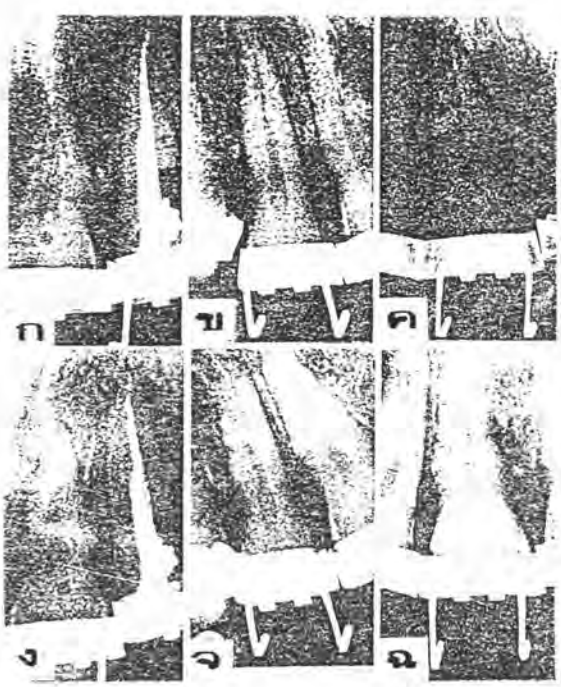
การเปลี่ยนแปลงระดับของขอบกระดูกและความยาวของรากฟันที่ละลายคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวรากฟันเดิม โดยใช้ภาพรังสีปลายรากฟันขยายขนาด ๘ เท่า วาดภาพโครงสร้างของรากฟันภายในและภายนอก ลวดยึดฟิล์ม ความโค้งของกระดูกเบ้าฟันและระดับของขอบกระดูก นำภาพก่อนและหลังรักษามาทำการซ้อนทับ โดยใช้โพรงประสาทฟันและลวดยึดฟิล์มเป็นตำแหน่งอ้างอิง (รูปที่ ๒๗ และ ๒๘) ผลการกดฟันต่อความยาวของกระดูกรากฟันประเมินจากพื้นที่ของกระดูกเบ้าฟันที่ล้อมรอบรากฟันเป็นรูปกรวย (cone) พื้นที่รากฟันที่เหลือและระดับของขอบกระดูก (รูปที่ ๒๙)

ปริมาณการเคลื่อนที่ของฟันหน้าชี่ที่ยาวที่สุดประเมินจากภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้าง โดยใช้ระนาบเพดาน (palatal plane) และเส้นที่ลากตั้งฉากกับระนาบเพดานผ่าน Ptm เป็นระนาบอ้างอิงสังเกตการเปลี่ยนแปลงของจุดศูนย์กลางความต้านทาน ปลายรากฟัน และปลายฟันหน้า

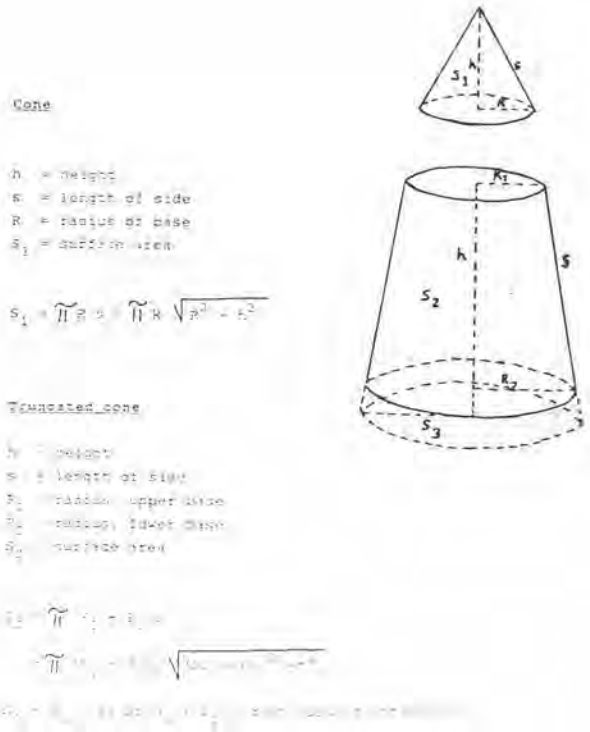
สภาพเหงือกประเมินจากหุ่นจำลองแบบฟันโดยวัดความสูงของตัวฟันจากปลายฟันหน้าไปยังขอบเหงือกที่ต่ำที่สุดทุกด้านของฟัน การวัดร่องลึกปริทันต์ก่อนรักษาต้องไม่เกิน ๓ มม.



รูปที่ ๒๗ แสดงการซ้อนทับภาพวาดซึ่งขยายจากภาพรังสีปลายรากฟัน ๘ เท่า (Melsen และคณะ, 1989)



รูปที่ ๒๘ แสดงภาพรังสีปลายรากฟันของฟันหน้า ๓ ซี่ ก่อนการกดฟัน (ก, ข และ ค) และฟันซี่เดียวกันหลังการกดฟัน (ง, จ และ ฉ)(Melsen และคณะ, 1989)



รูปที่ ๒๕ แสดงภาพจำลองของลักษณะกรวยที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ของกระดูกเบ้าฟันที่ยึดรากฟัน (Melsen และคณะ, 1989)

ผลการศึกษาพบว่า การกดฟันหน้าซึ่งแสดงจากการเคลื่อนที่ของฟันหน้าซี่ที่ยาวที่สุดของผู้ป่วยแต่ละราย (รูปที่ ๓๐) มีปริมาณการกดฟันแตกต่างกันมาก เมื่อพิจารณาจากปลายฟัน ปลายรากฟัน และจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันหน้า เนื่องจากมีการเอียงตัวของฟันจากกลไกในการจัดฟันซึ่งนอกเหนือจากการกดฟันเพียงอย่างเดียว การกดฟันที่มากที่สุดของปลายฟันหน้า คือ ๔.๐ มม. แต่การกดฟันอย่างแท้จริงพิจารณาจากจุดศูนย์กลางความต้านทานมีค่า ๐-๓.๔ มม. และพบการกดฟันที่มากที่สุดโดยมีการละลายของรากฟันน้อยที่สุดเมื่อใช้ อินทรูซีฟ อาร์ช เทคนิค

ความยาวของตัวฟันลดลง ๑.๐๘ $\pm$ ๑.๑๔ มม. โดยลดมากที่สุดทางด้านใกล้ลิ้น (๓.๘ มม.) และเพิ่มมากที่สุดทางด้านข้างของฟัน (๑.๓ มม.) ระดับของขอบกระดูกอยู่ที่ประมาณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน ผู้ป่วยทุกรายมีการละลายของรากฟัน ๑-๓ มม. กระดูกยึดรากฟันเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย ๖-๘% (ต่ำที่สุด -๑๔% และมากที่สุด +๒๒%) เมื่อคำนวณจากพื้นที่ของผนังกระดูกเบ้าฟัน

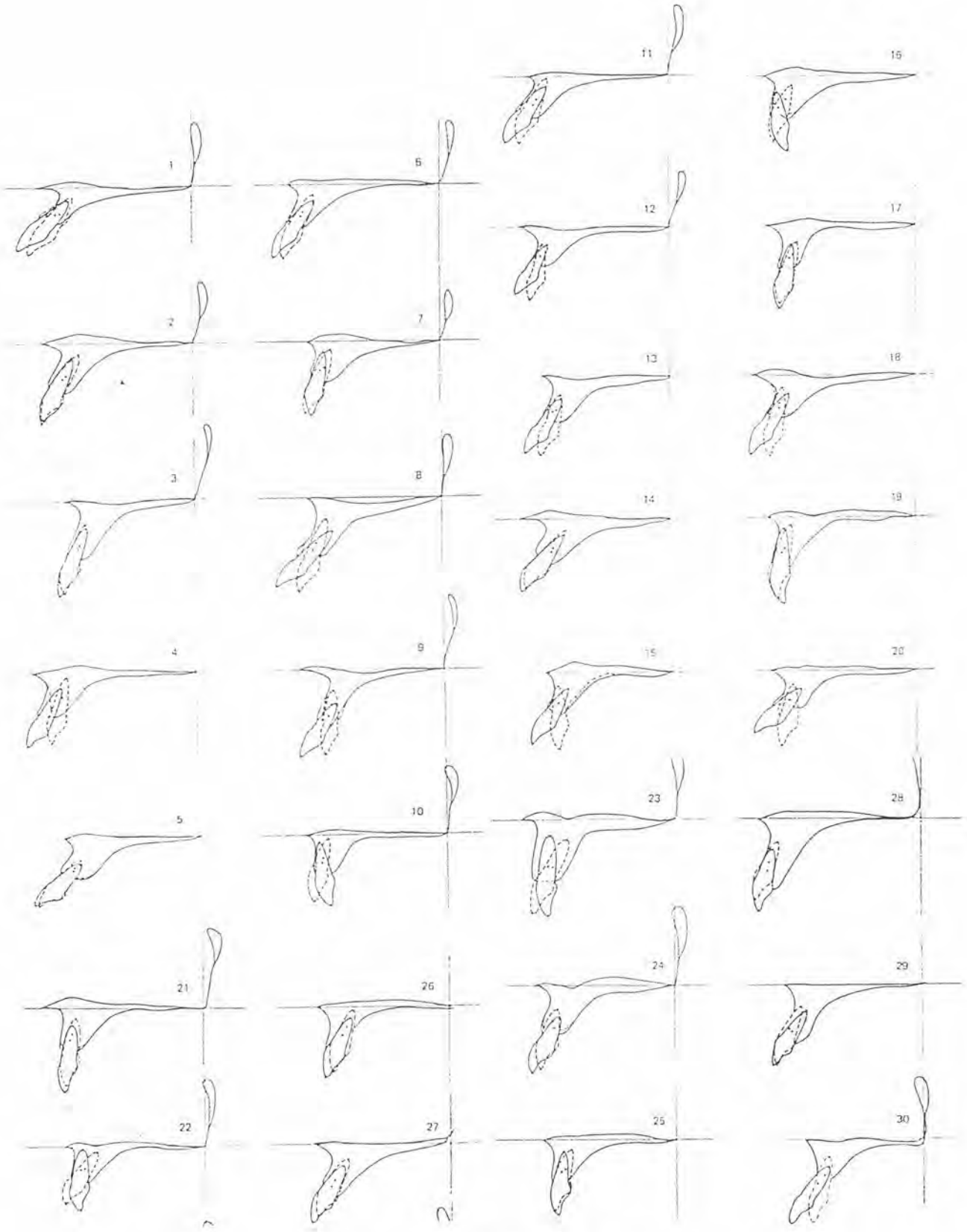
การสูญเสียของกระดูกพบน้อยที่สุดเกือบเป็น ๐ ในผู้ป่วย ๓ รายที่มีการสบฟันผิดปกติประเภทที่ ๒ ดิวิชัน ๒ ซึ่งมีการถอนฟันกรามน้อยไปมากกว่าหนึ่งซี่ในขากรรไกรล่าง เกือบทุกรายมีความลึกของร่องลึกปริทันต์ประมาณ ๓ มม. หรือมากกว่าเล็กน้อย โดยเฉพาะทางด้านใกล้ลิ้นของฟันหน้าซึ่งพบว่ามี ๔ รายเป็นร่องลึกปริทันต์เทียม (pseudopocket) เนื่องจากการเอียงของฟันหน้าไปทางด้านใกล้ลิ้น แต่ไม่มีฟันซี่ใดต้องได้รับการรักษาทางด้านปริทันต์ (periodontal therapy)

จากการศึกษานี้ และคณะสรุปว่า การกดฟันเกิดขึ้นได้อย่างเด่นชัดเมื่อ

๑. ใช้แรงขนาดต่ำ (๔-๑๔ กรัม/ซี่) ร่วมกับการให้แนวแรงผ่านหรือเกือบผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของส่วนฟันหน้าที่ต้องการกด

๒. สภาพเหงือกของผู้ป่วยต้องมีสุขภาพดี

๓. ไม่มีการรบกวนจาก perioral function



รูปที่ ๓๐ แสดงภาพรังสีแสดงลักษณะฟันซึ่งถูกกดในผู้ป่วยแต่ละราย

(Melsen และคณะ, 1989)

เมื่อพิจารณาจากลักษณะ ชนิด และขนาดของลวดกดฟัน และระบบแรงที่เกิดขึ้นจากลวดกดฟันทั้งสองเทคนิคแล้ว ผลการกดฟันหน้าด้วยลวดกดฟันทั้งสองประเภทควรแตกต่างกัน แต่การศึกษาที่ผ่านมาถึงผลของลวดกดฟันหน้านั้น เป็นการศึกษาทางคลินิกซึ่งเกิดจากลวดกดฟันแต่ละประเภท (Greig, 1983; Mc Fadden และคณะ, 1989; Otto และคณะ, 1980) งานวิจัยทางคลินิกในเชิงเปรียบเทียบผลระหว่างลวดกดฟันทั้งสองประเภท มีเพียงการศึกษาของ Melsen และคณะ (1989) ซึ่งแม้จะพบว่าประสิทธิภาพของลวดกดฟันทั้งสองประเภทแตกต่างกัน แต่จำนวนกลุ่มตัวอย่างจำกัด ความแตกต่างที่พบอาจเนื่องมาจาก องค์ประกอบอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนฟัน นอกเหนือจากลักษณะของลวดกดฟันที่แตกต่างกัน ได้แก่ การตอบสนองทางชีวภาพของผู้ป่วย อายุและการเจริญเติบโตของผู้ป่วย ลักษณะการสบฟันผิดปกติก่อนเริ่มรักษา ระยะเวลาการรักษา พฤติกรรมและความร่วมมือของผู้ป่วย อันเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้

ดังนั้นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อวิเคราะห์การกระจายของความเค้นที่เกิดจากลวดกดฟันหน้าทั้งสองประเภทโดยวิธีโฟโตอีลาสติก จึงเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งสามารถแสดงให้เห็นผลแตกต่างของลวดกดฟันหน้าทั้งสองแบบ โดยควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวกับผู้ป่วยได้

หลักการพื้นฐานของโฟโตอีลาสติก เทคนิค

(Basic Principle of Photoelastic Technique)

โฟโตอีลาสติกเทคนิค คือ วิธีการวิเคราะห์ความเค้นและความเครียด (strain) ที่เกิดขึ้นในสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารที่เรียกว่า ไบรีฟรินเจนท์ หรือ ดับเบิล รีแฟรกชัน ซึ่งสามารถทำให้แสงลำแสงเดียวเมื่อเดินทางผ่านสารขณะที่มีความเค้นอยู่ภายในแยกเป็นสองลำแสง และเดินทางด้วยความเร็วต่างกัน โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของความเค้นหลัก (principle stress) ภายในวัตถุ นิยมใช้ในการวิเคราะห์การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในวัตถุที่ไม่มีรูปทรงเรขาคณิต หรือมีโครงสร้างซับซ้อน ลักษณะของความเค้นศึกษาจากภาพถ่ายจากเครื่องมือโพลาริสโคป

โฟโตอีลาสติกเทคนิคเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบเครื่องจักรกลทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรม (Dixon, 1959) สำหรับในวงการทันตแพทย์นั้น Zak เป็นคนแรกที่นำวิธีการโฟโตอีลาสติกมาใช้ศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดจากกลไกการจัดฟัน (orthodontic mechanics) ในกระดูกเบ้าฟันในปี ค.ศ.1935 ต่อมาได้มีนักวิจัยอีกหลายท่าน (Caputo, Chaconas และ Hayashi, 1974; Caputo และ Standlee, 1987; Craig, El-Ebrashi และ Farah, 1973; Standlee และคณะ, 1972; Wylie และ Caputo, 1982) ใช้วิธีการโฟโตอีลาสติกทดสอบและวิเคราะห์การกระจายของความเค้นที่เกิดจากเครื่องมือทางทันตกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพและออกแบบเครื่องมือตลอดจนวัสดุที่ใช้ในทางทันตกรรมให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังนำมาใช้ศึกษาลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในโครงสร้างทางชีวภาพ (biologic structure) เช่น กระดูกขากรรไกรบน-ล่าง รวมไปถึงอวัยวะในช่องปากต่อการตอบสนองของแรงจากการบดเคี้ยว (masticatory force) และแรงดึงของกล้ามเนื้อรอบช่องปาก เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของกระดูกขากรรไกร (Alexandridis, Thanos และ Caputo, 1981; Mehta และคณะ, 1976; Ralp และ Caputo, 1975) ในประเทศไทย ทัศนีย์ บันทราภิวัฒน์ (2529) ใช้วิธีการทางโฟโตอีลาสติกศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดจากเครื่องมือเคลื่อนฟันเบี้ยวชนิดต่างๆ ซึ่งการศึกษาในแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากสารไบรีฟรินเจนท์

สามารถแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงของเครื่องมือชนิดต่างๆ ได้อย่างชัดเจน

หลักการของโฟโตอีลาสติก ประกอบด้วย

๑. แบบจำลอง

๒. วิธีการวิเคราะห์

๓. เครื่องมือโพลาริสโคป

๑. แบบจำลอง : การวิเคราะห์ความเค้นด้วยวิธีการโฟโตอีลาสติกจะต้องใช้แบบจำลองซึ่งสร้างขึ้นจากสารไบรีฟรินเจนท์ตามลักษณะของโครงสร้างที่ต้องการศึกษา (Caputo และ Standlee, 1987) สารไบรีฟรินเจนท์ที่นิยมใช้ได้แก่ บาคีไลต์ (Bakelite) เซลลูลอยด์ เจลลาติน (Celluloid gelatin) หรือ เรซินสังเคราะห์ (Synthetic resin) คุณสมบัติของสารมีลักษณะโปร่งใส (transparent) ยืดหยุ่นได้ (elasticity) และมีคุณสมบัติสมลักษณ์ทางแสง (isotropic material) กล่าวคือ เมื่อปราศจากความเค้นหรือความเครียดจะมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทางในเนื้อสาร เมื่อได้รับแรงจะเปลี่ยนเป็นอสมลักษณ์ทางแสง (anisotropic material) ซึ่งมีคุณสมบัติขึ้นกับทิศทางของแรงและของแสงที่ผ่านในเนื้อสาร เมื่อมองผ่านเครื่องมือโพลาริสโคปซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของแสงโพลาไรซ์ (polarized light) จะพบการตอบสนองต่อแสงโดยคลื่นแสงเคลื่อนที่ตามแนวแกนของความเค้นหลักภายในวัตถุ การเปลี่ยนแปลงของแสงโพลาไรซ์จากความเค้นภายในกลายเป็นสองลำแสงซึ่งเดินทางด้วยความเร็วต่างกันทำให้เกิดคลื่นแสงที่มีช่วงคลื่นต่างกัน ความเร็วของแสงขึ้นกับขนาดของความเค้น และผลของความเค้นปรากฏเป็นแถบสี (array of colored patterns) ในสาร ถ้าใช้แสงสีขาวจะให้รูปแบบของความเค้นเป็นแถบสีทุกสีของสเปกตรัม (spectrum) แต่ถ้าใช้แสงสีเดียวที่มีความถี่และความยาวคลื่นแสงเดียวกัน (monochromatic light) จะให้รูปแบบของความเค้นเป็นแถบมืดและแถบสว่างแทน โดยที่รูปแบบของแถบไม่เปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและคุณภาพ (Caputo และ Standlee, 1987) คลื่นแสงที่มีช่วงคลื่นต่างกัน 180 องศาเมื่อรวมกันจะหักล้างกันปรากฏเป็นแถบมืด ส่วนคลื่นแสงที่มีช่วงคลื่นเหมือนกันจะเสริมกันปรากฏเป็นแถบสว่าง แถบมืดและแถบสว่าง

ซึ่งมีลำดับที่เท่ากันหรือตรงกันเรียกว่า ไอโซโครมาติก ฟรินจส์ (isochromatic fringes) ลำดับที่ของแถบสว่างและแถบมืดจะสัมพันธ์กับความเค้นที่กระทำต่อวัตถุ (รูปที่ ๓๑)

รูปที่ ๓๑ รูปแบบของความเค้นภายในแบบจำลองฟันซึ่งได้รับแรงกระทำในบริเวณต่างๆ วิเคราะห์โดยวิธีโฟโตอีลาสติก (Caputo และ Standlee, 1987)

หลักการสร้างแบบจำลอง (Caputo และ Standlee, 1987) พิจารณาดังต่อไปนี้

๑) แบบจำลองที่ใช้ศึกษาจะต้องสัมพันธ์ และสามารถจำลองลักษณะและรูปทรงของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งอาจเป็นแบบจำลองที่มีโครงสร้างสองมิติ (รูปที่ ๓๒) หรือสามมิติ (รูปที่ ๓๓) ขนาดของแบบจำลองนั้นอาจมีขนาดเล็กกว่า ใหญ่กว่า หรือเท่ากับของจริงขึ้นกับความเหมาะสมและความสามารถในการอ้างอิงไปใช้ได้

๒) การสร้างแบบจำลองจะต้องเลียนแบบคุณสมบัติเชิงกลของระบบที่ต้องการศึกษา แม้ว่าในบางกรณีอาจไม่สามารถจำลองคุณสมบัติของโครงสร้างที่ต้องการศึกษาได้ทั้งหมด นั่นคือจะต้องพิจารณาคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดมาจัดกระทำให้ตรงกับปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์มากที่สุด

๓) แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะต้องสัมพันธ์กับวิธีการวิเคราะห์

๒. วิธีการวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติกเทคนิค (Caputo และ Standlee, 1987) แบ่งเป็น

๒.๑ การวิเคราะห์แบบสองมิติ (Two dimensional stress analysis) เป็นการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่สร้างด้วยสารไบรีฟรินเจนท์ซึ่งมีรูปทรงสองมิติ โดยศึกษาในระนาบเดียว (one plane) เช่น ระนาบด้านข้าง (sagittal plane) ของฟัน แรงที่กระทำต่อแบบจำลองจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกับแบบจำลองนั้น

ข้อดีของวิธีนี้คือ การสร้างแบบจำลองไม่ยุ่งยากและสามารถให้แรงกระทำในสภาวะที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งต่อแบบจำลองเดียวกันโดยนำมาทดสอบในสภาวะใหม่ได้เนื่องจากไม่มีกระบวนการตัดแบบจำลองออกเป็นชิ้น ๆ ทำให้นำแบบจำลองเดิมมาใช้ใหม่ได้เมื่อทำให้ปราศจากความเค้นหลงเหลือก่อนนำมาทดสอบในครั้งต่อไป

ข้อเสียเปรียบของวิธีนี้คือ ไม่สามารถเลียนแบบลักษณะตามธรรมชาติของโครงสร้างที่มีรูปทรงสามมิติได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากเป็นการทดสอบในระนาบเดียว

๒.๒ การวิเคราะห์แบบสามมิติ (Three dimensional stress analysis) เป็นการศึกษาความเค้นในแบบจำลองที่สร้างจากสารไบรีฟรินเจนท์ซึ่งมีลักษณะรูปทรงสามมิติ วิธีนี้หลังจากให้แรงกระทำต่อแบบจำลองตามสภาวะที่ต้องการศึกษาแล้ว จะต้องนำแบบจำลองไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนในเตาอบ โดยค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละน้อยจนถึงอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature) ซึ่งระดับอุณหภูมินี้ขึ้นกับชนิดของสารไบรีฟรินเจนท์แล้วทิ้งแบบจำลองไว้ที่อุณหภูมิวิกฤตนี้ประมาณ 5 ชั่วโมง จึงค่อย ๆ ลดอุณหภูมิในเตาอบลงทีละน้อยจนถึงอุณหภูมิห้องเพื่อรักษาสภาพความเค้นไว้ วิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่า สเตรส ฟรีซชิง โพรเซส (stress freezing process) จากนั้นจึงนำแบบจำลองไปตัดเป็นแผ่นบาง ๆ (sliding process) ด้วยเครื่องตัด แล้วจึงนำแต่ละชิ้นไปวิเคราะห์ความเค้น

ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถวิเคราะห์ความเค้นในโครงสร้างที่มีรูปทรงสามมิติได้อย่างสมบูรณ์

ข้อด้อยของวิธีนี้คือ กระบวนการวิเคราะห์ยุ่งยาก เสียค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลามากเนื่องจากการทดสอบแต่ละครั้งจะต้องใช้แบบจำลองใหม่ต่อสภาวะก้ารให้แรงกระทำครั้งหนึ่งๆ

หรือต่อเครื่องมือแต่ละชิ้น ซึ่งจะต้องควบคุมตัวแปรในเรื่องความแตกต่างของการหล่อแบบจำลองแต่ละชุด และกระบวนการตัดแบบจำลองต้องถูกต้องและมีความเที่ยงตรงสูง

๒.๓ การวิเคราะห์แบบกึ่งสามมิติ (Quasi three dimensional stress analysis) เป็นการศึกษาในแบบจำลองที่เคลือบด้วยสารไบรีฟรินเจนท์ เรียกว่า โฟโตอีลาสติก โคทติง เทคนิค (Photoelastic coating technique) แปลผลโดยวิธีการสะท้อนแสงจากผิวแบบจำลองโดยใช้แบบจำลองสองมิติหรือสามมิติ ศึกษาความเค้นจากแบบจำลองโดยไม่เกี่ยวข้องกับความหนาของแบบจำลอง

ข้อดีของวิธีนี้คือ การวิเคราะห์ความเค้นไม่ต้องใช้กระบวนการสเตรส ฟรีซชิง และการตัดแบบจำลองเช่นเดียวกับการวิเคราะห์แบบสามมิติ และการวิเคราะห์ไม่ถูกจำกัดเฉพาะความเค้นในระนาบเดียว เช่น การวิเคราะห์แบบสองมิติ

ข้อด้อยของวิธีนี้คือ ไม่สามารถวิเคราะห์การกระจายของความเค้นในแบบจำลองสามมิติได้อย่างแท้จริง เพราะเป็นการวิเคราะห์ความเค้นที่ผิวเท่านั้น

๒.๔ การวิเคราะห์ร่วม (Combined technique application) กล่าวคือ ใช้วิธีการแบบที่ ๑,๒ หรือ ๓ ร่วมกัน โดยอาจวิเคราะห์โครงสร้างที่ซับซ้อนด้วยแบบจำลองสองมิติก่อน และอาศัยการทดสอบของแบบจำลองสองมิติเป็นพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์สามมิติในส่วนที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีขึ้นต่อไป

รูปที่ ๓๒ แบบจำลองสารไบรีฟรินเจนท์รูปทรงสองมิติ (Caputo และคณะ, 1974)

รูปที่ ๓๓ แบบจำลองสารไบรีฟรินเจนท์รูปทรงสามมิติ

(Caputo และ Standlee, 1987)

๓. <u>เครื่องมือโพลาริสโคป</u> : การวิเคราะห์ความเค้นด้วยวิธีโฟโตอิลาสติกใช้แสงในช่วงความถี่ที่ตาสามารถมองเห็นได้ (visible light) โดยใช้เครื่องมือโพลาริสโคปซึ่งอาศัยกระบวนการโพลาไรเซชันและการรบกวน (interference) ของแสงที่เป็นคลื่นตามขวางมาอธิบาย ซึ่งส่วนของเครื่องมือประกอบด้วย

๓.๑ แหล่งกำเนิดแสง เป็นแสงสีขาวซึ่งทำให้เกิดแถบสีของสเปกตรัม หรือแสงสีเดียวที่มีความถี่และความยาวคลื่นเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดแถบมืดและแถบสว่างแสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้น

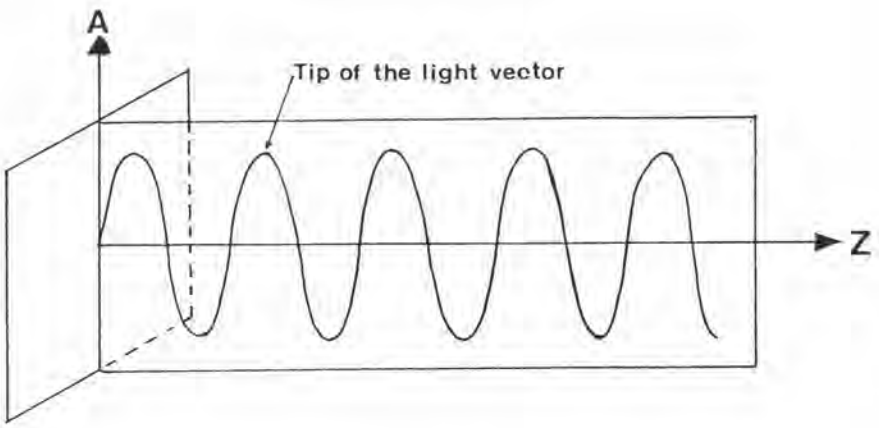
๓.๒ โพลาไรเซอร์ (Polarizer) ทำหน้าที่กรองแสงจากแหล่งกำเนิดให้เหลือเพียงระนาบเดียวก่อนผ่านไปยังแบบจำลอง เรียกว่า แสงโพลาไรซ์ ซึ่งมีระนาบการสั่นสะเทือนอยู่ในระนาบเดียว ในทางโฟโตอิลาสติกสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

๓.๒.๑ แสงโพลาไรซ์ระนาบเดียว (Plane polarized light) เกิดจากการบังคับให้เว็กเตอร์ (vector) ของการสั่นของคลื่นแสงอยู่ในระนาบเดียวตลอดเวลา เรียกว่า ระนาบของโพลาไรเซชัน (รูปที่ ๓๔)

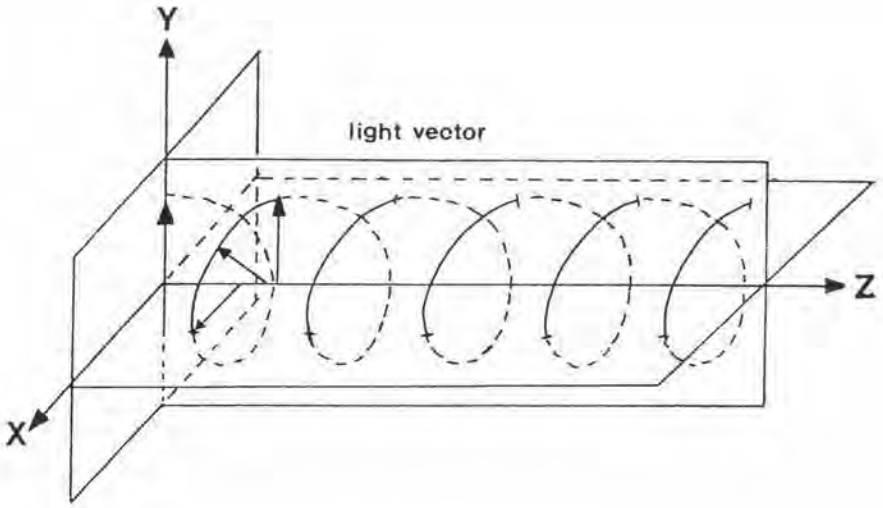
๓.๒.๒ แสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม (Circular polarized light) เกิดขึ้นเมื่อระนาบการสั่นเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่จุดยอดของคลื่นแสงเคลื่อนที่เป็นเกลียวของวงกลมไปรอบแกน Z (รูปที่ ๓๔)

๓.๒.๓ แสงโพลาไรซ์เกลียววงรี (Elliptically polarized light) จุดยอดของคลื่นแสงเคลื่อนที่เป็นเกลียวแบบวงรีไปรอบแกน Z

ในทางปฏิบัติสามารถเปลี่ยนแสงโพลาไรซ์ระนาบเดียวเป็นแบบเกลียววงกลมหรือเกลียววงรี หรือเปลี่ยนจากแบบเกลียวเป็นแบบระนาบเดียวได้โดยใช้ควอเตอร์ เวฟ เพลต (Quater wave plates)



รูปที่ ๓๔ แสดงแสงโพลาไรซ์ระนาบเดียว จุดยอดของคลื่นแสงเคลื่อนที่ไปตามระนาบของโพลาไรเซชัน



รูปที่ ๓๔ แสดงแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม

๓.๓ ควอเตอร์ เวฟ เพลต คือ แผ่นกรองแสงที่สามารถแยกระนาบการสั่นสะเทือนของลำแสงออกเป็น ๒ ทิศทางทำมุมตั้งฉากต่อกันและลำแสงทั้งสองมีความเร็วไม่เท่ากัน ในเครื่องมือโพลาริสโคประนาบเดียว (Plane polariscope) จะไม่มีควอเตอร์ เวฟ เพลต แต่ในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป (Circular Polariscope) จะมีควอเตอร์ เวฟ เพลต ๒ แผ่น ทำหน้าที่ดังต่อไปนี้ (รูปที่ ๓๖)

แผ่นที่ ๑ วางต่อจากโพลาไรเซอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงโพลาไรซ์ระนาบเดียวเป็นแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม เมื่อแสงผ่านแบบจำลองที่มีคุณสมบัติเป็นสารไบรีฟรินเจนท์ ซึ่งได้รับแรงกระทำ จะหักเหแสงเป็นสองลำแสงตั้งฉากกันตามแนวความเค้นหลักในวัตถุ แต่ละลำแสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามแกนที่เรียกว่า ฟาส แอกซีส (fast axis) และ สโลว์ แอกซีส (slow axis)

แผ่นที่ ๒ ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลมกลับไปเป็นแสงโพลาไรซ์ระนาบเดียวใหม่ โดยวางต่อจากแบบจำลองให้ฟาส แอกซีสขนานกับ สโลว์ แอกซีสของควอเตอร์ เวฟ เพลตแผ่นแรก

๓.๔ อะนาไลเซอร์ (Analyzer) เป็นโพลาไรเซอร์ แผ่นที่ ๒ วางต่อด้านหลังของควอเตอร์ เวฟ เพลต แผ่นที่ ๒ การเปลี่ยนมุมของอะนาไลเซอร์ให้ขนานหรือตั้งฉากกับโพลาไรเซอร์แผ่นแรกและกับควอเตอร์ เวฟ เพลต จะให้ภาพเป็นภาพสว่างหรือภาพมืดก็ได้

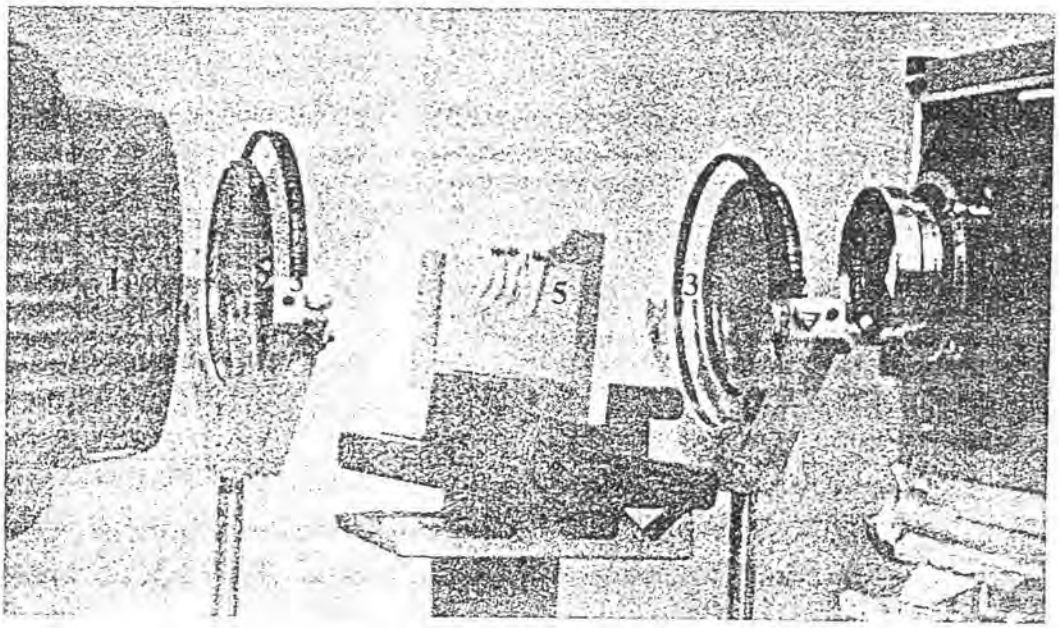
การทดลองแบบภาพมืดกระทำได้โดยการจัดเครื่องมือให้ควอเตอร์ เวฟ เพลตทั้งสองแผ่นวางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ขนะเดียวกับโพลาไรเซอร์และอะนาไลเซอร์วางตั้งฉากซึ่งกันและกันด้วย (รูปที่ ๓๗) หรือจัดให้ควอเตอร์ เวฟ เพลตทั้งสองแผ่นวางขนานกันขณะที่โพลาไรเซอร์และอะนาไลเซอร์วางขนานกันด้วย เมื่อยังไม่วางแบบจำลองลงไปจะปรากฏเป็นภาพมืดหมด แต่เมื่อนำแบบจำลองที่มีแรงกระทำมาวางระหว่างเครื่องมือชนิดนี้ จะปรากฏเป็นแถบมืดแสดงปริมาณความเค้นที่เกิดขึ้น แถบมืดอันดับแรกที่ปรากฏ เรียกว่า ซีโร ออร์เดอร์ เมื่อความเค้นเพิ่มขึ้นจะมีแถบมืดเพิ่มขึ้นเป็นลำดับที่ ๑,๒,๓,.....(n) ตามลำดับ

สำหรับภาพสว่างทำได้โดยจัดควอเตอร์ เวฟ เพลต ทั้งสองแผ่นตั้งฉากซึ่งกันและกัน ขณะเดียวกับที่โพลาไรเซอร์และอะนาไลเซอร์วางขนานกัน (รูปที่ ๓๘) หรือจัดให้ควอเตอร์ เวฟ เพลตทั้งสองแผ่นวางขนานกันขณะเดียวกับที่โพลาไรเซอร์และอะนาไลเซอร์วางตั้งฉากกัน เมื่อยังไม่วางแบบจำลองลงไปจะปรากฏเป็นภาพสว่างหมด เมื่อนำแบบจำลองที่มีแรงกระทำมาวางระหว่างเครื่องมือนี้จะปรากฏแถบสว่างแสดงปริมาณความเค้นเช่นกัน แถบมืดในภาพมืดจะปรากฏเป็นแถบสว่างในภาพสว่างที่ตำแหน่งเดียวกัน และส่วนของแถบมืดในภาพสว่างจะปรากฏเป็นแถบสว่างในภาพมืด แถบมืดอันดับแรกเป็นฮาล์ฟ ออร์เดอร์ ต่อมาเป็น ๓/๒,๕/๒,.....(n+๑/๒) ตามลำดับ

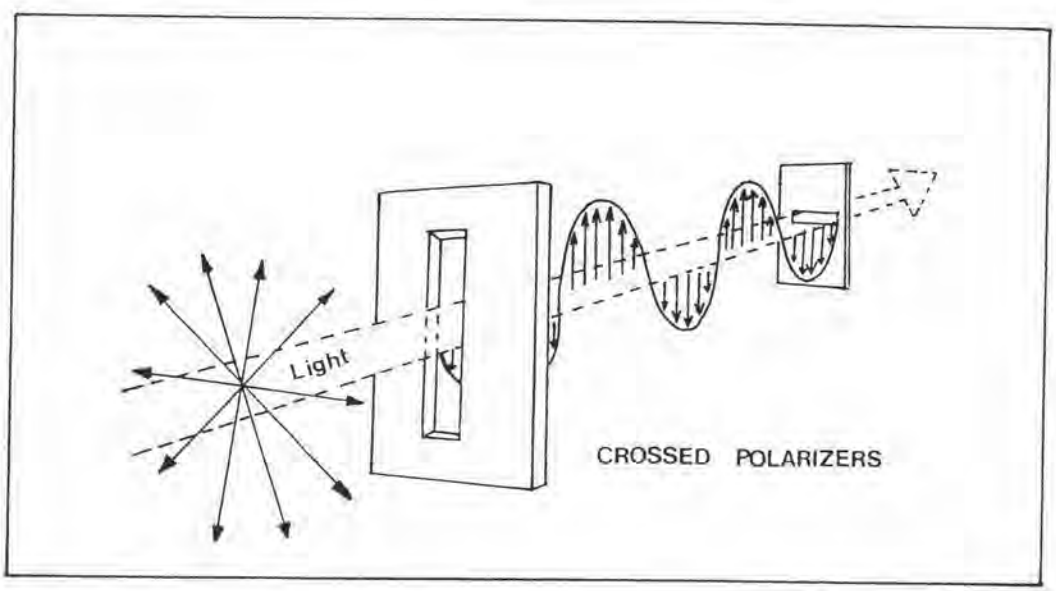
วิธีการวิเคราะห์โดยการนำแบบจำลองที่ต้องการศึกษาไปทดสอบภายใต้แสงโพลาไรซ์และวิเคราะห์จากภาพถ่ายของความเค้นในแบบจำลองซึ่งบันทึกไว้ การแปลผลพิจารณาดังต่อไปนี้

๑. จำนวนของแถบที่ปรากฏจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่กระทำ กล่าวคือ ถ้าจำนวนแถบมีมากกว่าแสดงถึงความรุนแรง (intensity) ของความเค้นที่สูงกว่า

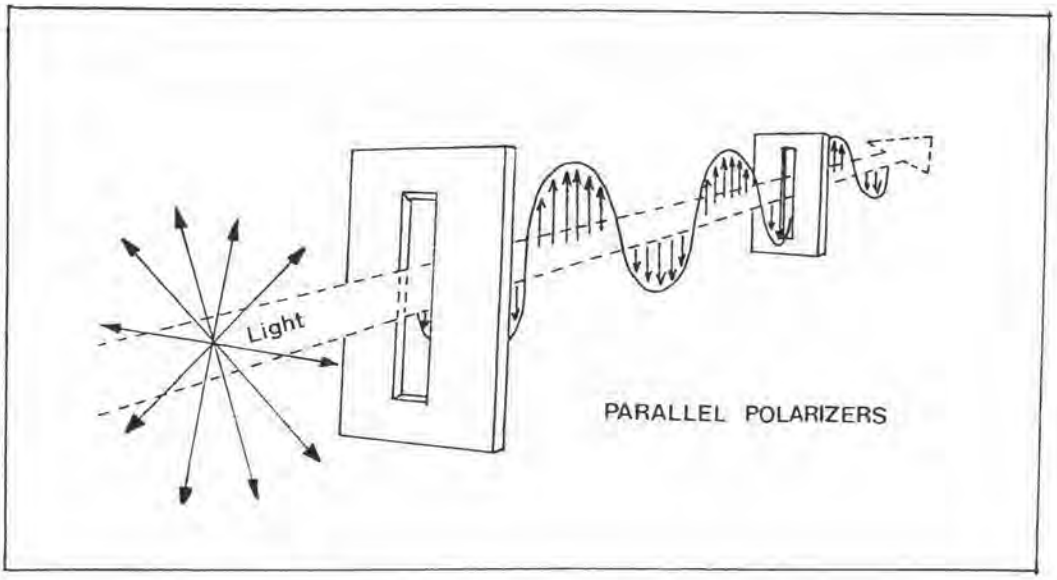
๒. ความถี่ของไอโซโครมาติก ฟรินจส์ ถ้ายิ่งเข้าใกล้กันมากเท่าไร แสดงว่าความเข้มของความเค้น (stress concentration) ยิ่งมีค่าสูง



รูปที่ ๓๖ แสดงการจัดเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป (Caputoและคณะ, 1974)



รูปที่ ๓๗ แสดงการจัดเครื่องมือโพลาริสโคปแบบระนาบเดียวโดยวางโพลาไรเซอร์ตั้งฉากซึ่งกันและกันให้ภาพมืด (Caputo และ Standlee, 1987)



รูปที่ ๓๘ แสดงการจัดเครื่องมือโพลาริสโคปแบบระนาบเดียวโดยวางโพลาไรเซอร์ขนานกันให้ภาพสว่าง (Caputo และ Standlee, 1987)

ประโยชน์ของการวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติก

๑ สามารถวัดความเค้นในแบบจำลองของโครงสร้างที่มีลักษณะซับซ้อนและมีรูปทรงไม่แน่นอนได้ เช่น โครงสร้างของอวัยวะต่างๆในช่องปาก กะโหลกศีรษะ เครื่องมือทางทันตกรรม ตลอดจนวัสดุบูรณะฟัน เช่น ฟันครอบ หรือ เครื่องจักรกลซึ่งใช้ในทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรม

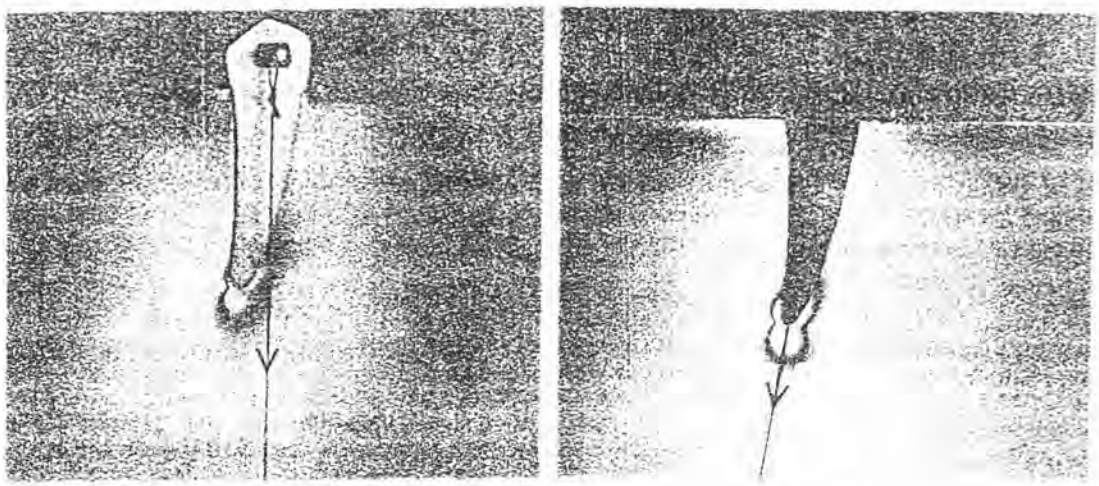
๒. สามารถวัดความเค้นซึ่งเกิดจากการให้แรงกระทำต่อโครงสร้างที่สนใจ เช่น แรงจากเครื่องมือจัดฟันต่อกระดูกเบ้าฟัน แรงจากการบดเคี้ยวต่อวัสดุบูรณะฟันหรือใช้ในทางอุตสาหกรรม เพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งและความเข้มของความเค้นซึ่งสามารถบ่งชี้จุดอ่อนของโครงสร้างนั้น อันเป็นสาเหตุให้เกิดความล้มเหลวจากการแตกหัก (brittle failure) ของวัตถุนั้น

๓. สามารถวัดขนาดและตำแหน่งของความเค้นในแบบจำลองทั้งหมดได้

การวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติก จะกระทำได้สำเร็จต้องประกอบไปด้วยการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม วิธีการวิเคราะห์ และเครื่องมือโพลาริสโคปที่สอดคล้องและสัมพันธ์กัน

งานวิจัยทางโฟโตอีลาสติกซึ่งเกี่ยวข้องกับการกดฟัน

โฟโตอีลาสติก เทคนิคได้เข้ามามีบทบาทต่องานวิจัยทางทันตแพทย์หลายสาขาโดยแสดงให้เห็นผลของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างที่ต้องการศึกษาในลักษณะของรูปแบบความเค้น เช่น วิเคราะห์ผลของแรงที่เกิดจากการทำงานของเครื่องมือทางทันตกรรม ประเมินประสิทธิภาพของวัสดุบูรณะฟันประเภทต่าง ๆ ในการต้านทานต่อแรงบดเคี้ยวและความสามารถในการกระจายแรงที่กระทำต่อวัสดุบูรณะหรือตัวฟันถ่ายทอดไปยังรากฟัน เนื้อเยื่อปริทันต์และกระดูกรองรับฟัน สำหรับในทางทันตกรรมจัดฟันมีการนำโฟโตอีลาสติก เทคนิคมาใช้ศึกษาผลของแรงที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือจัดฟัน เช่น สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดต่าง ๆ (Caputo, Chaconas และ Hayashi, 1974; ทัศนีย์, 2529) การใช้ยางดึงระหว่างขากรรไกร (de Alba y Levy, Caputo และ Chaconas, 1979) แต่ยังไม่ปรากฏรายงานการวิจัยใดที่นำโฟโตอีลาสติก เทคนิค ไปใช้ศึกษาผลของแรงกดที่กระทำต่อฟันหน้า งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการกดฟันโดยวิธีโฟโตอีลาสติก ได้แก่ การศึกษาของ Hayashi, Chaconas และ Caputo (1975) ซึ่งศึกษาการตอบสนองของกระดูกรองรับฟันต่อแรงที่ใช้เคลื่อนฟันทางทันตกรรม โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีแรงกระทำต่อตัวฟันจะเกิดการตอบสนองของเซลล์ภายในอวัยวะรองรับฟัน โดยการสร้างแบบจำลองฟันเขี้ยวและฟันกรามฝังตัวอยู่ในสารประกอบยูรีเทน นำมาทดสอบโดยการให้แรงกระทำในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการศึกษาเกี่ยวกับการให้แรงกดกระทำต่อฟันเขี้ยวและฟันกราม ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีของฟันรากเดียว ได้แก่ฟันเขี้ยว เมื่อให้แรงกดกระทำต่อฟันในทิศทางตั้งฉากกับยอดกระดูกเบ้าฟัน (alveolar crest) แต่ไม่ผ่านแนวแกนของฟัน (รูปที่ ๓๕ ก) จะเกิดความเค้นอัดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันด้านใกล้กลาง และพบมากที่บริเวณประมาณ ๑/๓ ของปลายรากฟัน โดยเฉพาะทางด้านใกล้กลาง แต่เมื่อให้แรงกดกระทำต่อฟันเขี้ยวตามแนวแกนของฟัน พบความเค้นอัดบริเวณปลายรากฟันสูงและมีการกระจายของความเค้นสมมาตรกัน (symmetry) ทั้งสองข้างของปลายรากฟัน (รูปที่ ๓๕ ข)



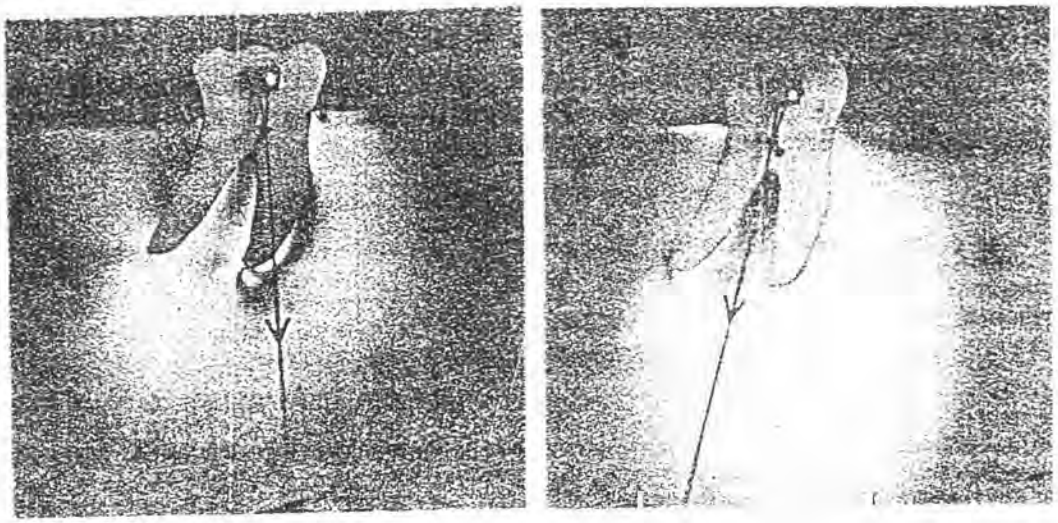
ก ข

รูปที่ ๓๙ แสดงภาพถ่ายโฟโตอีลาสติกซึ่งเกิดจากการให้แรงกระทำต่อฟันเขี้ยวในแบบจำลอง (Hayashi และคณะ, 1975)

ก แรงกดซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับยอดกระดูกเบ้าฟันโดยไม่ผ่านแนวแกนฟัน

ข แรงกดซึ่งมีทิศทางผ่านแนวแกนของฟันเขี้ยว

สำหรับกรณีของฟันสองรากได้แก่ ฟันกรามเมื่อให้แรงกดกระทำต่อฟันในทิศทางตั้งฉากกับยอดกระดูกเบ้าฟันโดยไม่ผ่านแนวแกนฟัน (รูปที่ ๔๐ ก) พบลักษณะของความเค้นอัดทางด้านใกล้กลางของรากฟันใกล้กลาง (mesial root) บริเวณ ๑/๒ ของปลายรากฟันและมีความเข้มของความเค้นสูงมากบริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลาง ส่วนบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันพบความเค้นอัดเพียงเล็กน้อย และพบลักษณะของความเค้นดึงที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันด้านไกลกลาง เมื่อปรับให้ทิศทางของแรงกดกระทำผ่านแนวแกนของฟันกราม (รูปที่ ๔๐ข) พบลักษณะการกระจายของความเค้นแตกต่างจากลักษณะอื่น กล่าวคือ มีการกระจายของความเค้นอัดไปตามด้านใกล้กลางและด้านไกลกลางของรากฟันทั้งสองเท่า ๆ กัน ความเข้มของความเค้นเพียงเล็กน้อยที่บริเวณปลายรากฟัน แต่พบความเค้นอัดสูงบริเวณระหว่างรากฟันทั้งสอง



ก ข

รูปที่ ๔๐ แสดงภาพถ่ายโฟโตอีลาสติกซึ่งเกิดจากการให้แรงกระทำต่อฟันกราม ในแบบจำลอง (ก) แรงกดซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับยอดกระดูกเบ้าฟัน แต่ไม่ผ่านแนวแกนฟัน (ข) แรงกดซึ่งมีทิศทางไปตามแนวแกนของฟันกราม (Hayashi และคณะ, 1975)

ผลการศึกษานี้ Hayashi และคณะสรุปว่า แรงกดฟันที่มีทิศทางตั้งฉากกับยอดกระดูกเบ้าฟันโดยไม่ผ่านแนวแกนฟัน พบการเคลื่อนที่แบบทิปปิงทั้งในฟันเขี้ยวและฟันกราม เนื่องจากมีความเค้นอัดมากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันด้านใกล้กลางและที่ปลายรากใกล้กลาง สำหรับแรงกดที่กระทำไปตามแนวแกนฟัน ลักษณะการกระจายของความเค้นเท่าเทียมกันและเป็นระเบียบไปตามรากฟันและมีลักษณะของการกดฟันอย่างแท้จริง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟันเขี้ยวและฟันกรามเมื่อใช้แรงขนาดเท่ากัน พบว่าความเข้มของความเค้นที่ปลายรากฟันเขี้ยวมีค่ามากกว่าที่ปลายรากฟันกรามเนื่องจากพื้นที่ผิวรากฟันกรามมีมากกว่าจึงกระจายแรงได้ดีกว่า นอกจากนี้เขายังสรุปว่า การกระจายของความเค้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับทิศทางของแรงและลักษณะรูปร่างของรากฟัน ปริมาณความเค้นขึ้นกับขนาดของแรงและพื้นที่ผิวรากฟัน

จากหลักการและงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การแก้ไขลักษณะฟันสบลึกให้ได้ผลดี โดยปราศจากผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์นั้น จะต้องใช้วิธีการกดฟันหน้าอย่างแท้จริง โดยไม่ทำให้เกิดการงอกยาวของฟันหลัง หรือการเคลื่อนตัวของฟันหน้าไปทางด้านใกล้ริมฝีปาก และปราศจากการสูญเสียของหลักยึด ซึ่งทั้ง Burstone และ Ricketts ได้กล่าวไว้ว่า ลวดกดฟันของเขาต่างมีคุณสมบัติและให้ประสิทธิภาพในการกดฟันเช่นเดียวกัน แต่จากงานวิจัยทางคลินิกที่ผ่านมาพบว่า ให้ข้อสรุปเกี่ยวกับผลของลวดกดฟันหน้าตามแบบของ Burstone และ Ricketts แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ป่วย นอกเหนือจากลักษณะที่แตกต่างกันของลวดกดฟันหน้าทั้งสองประเภท การใช้โฟโตอีลาสติก เทคนิค ในการวิเคราะห์การกระจายของความเค้นที่เกิดจากลวดกดฟันหน้านี้ จึงเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งสามารถควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวกับผู้ป่วยได้