บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

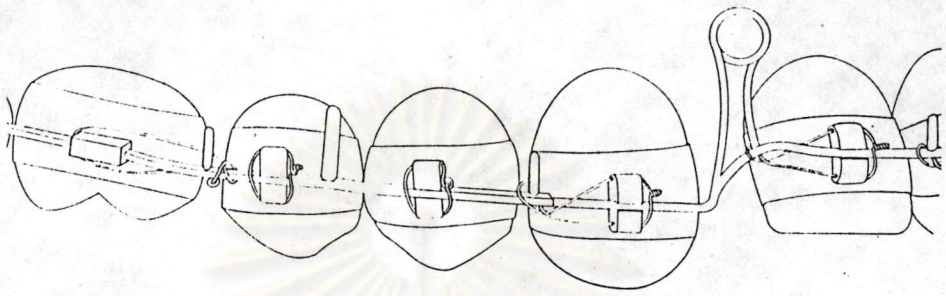
1. <u>ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช สำหรับฟันบน</u>

ในอดีตมีการใช้ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช โดยการเชื่อมลูปด้วยไฟฟ้า เพื่อทำให้เกิดแรงในการเคลื่อนฟันหน้าในแนวระนาบ โดยมีขั้นตอนในการเตรียมลวด ดังต่อไปนี้ (Fisher, 1957)

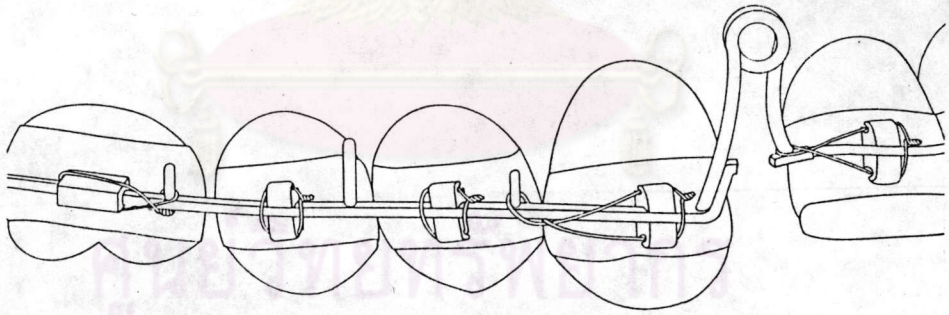
1. ปรับปรุงลวดโค้งแบบ II-A canine spur appliance ที่มีลวดบริเวณฟันหน้าเป็นลวดกลมใช้ในกรณีต้องการเคลื่อนฟันแบบทิปปิง และ II - B canine spur appliance ที่มีลวดบริเวณฟันหน้าเป็นลวดเหลี่ยม เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่แบบบอดิลี และเมื่อต้องการลดโอเวอร์ ไบท์ (over bite) ให้ทำ step up ร่วมด้วยบริเวณระหว่างฟันหน้าข้าง และฟันเขี้ยว

2. เชื่อมลูปที่ทำจากลวดกลมขนาดใหญ่เข้ากับลวดโค้ง โดยการเชื่อมด้วยไฟฟ้า ลูปมีความสูง 5/10 นิ้ว (7.9375 มม.) ขาด้านในห่างกัน 1/16 นิ้ว (1.5875 มม.) เชื่อมให้ขาลูปห่างจากจุดกึ่งกลางระหว่างฟันหน้าข้าง และฟันเขี้ยวเท่ากัน ถ้าลวดโค้งมี step up ให้ตัดขาลูปไม่เท่ากัน โดยขาด้านหน้าสั้นกว่าด้านหลังเท่ากับระยะที่ทำ step up

3. ตัดลวดโค้งที่อยู่ระหว่างขาลูปออกก่อนที่จะทำการปรับลวด เรียกลวดโค้งแบบใหม่นี้ว่า II-D Edgewise Arch ปรับลวดโดยผูกตะขอหน้าต่อฟันกรามแท้ซี่แรกกับท่อข้างแก้มให้มีแรงดึงเกิดขึ้น (tie back) ทำให้ขาลูปอ้าออกจากกันเล็กน้อย นอกจากนี้ถ้าต้องการเคลื่อนฟันหน้าไปด้านซ้ายหรือขวาให้ผูกแบรกเกตของฟันหน้าบนซี่ข้าง กับขาลูปด้านใกล้กลางเพื่อปรับแนวกึ่งกลางฟันบน (Midline)



ก.



ข.

รูปที่ 4 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช

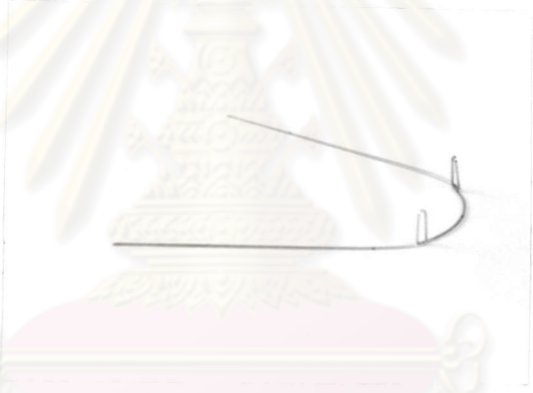
ก. แบบ II-A ที่เชื่อมลูปด้วยไฟฟ้าและทำ step up

ข. แบบ II-D

ต่อมามีวิวัฒนาการดัดลูปในลวดโค้งที่บริเวณระหว่างฟันหน้าข้าง และฟันเขี้ยว โดยไม่ต้องเชื่อมลูปติดกับลวดโค้ง ซึ่งลักษณะของลูปมีหลายแบบ ดังนี้

1. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Simple closed loop

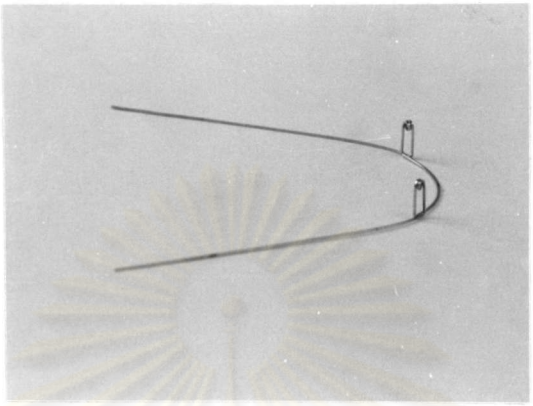
ใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 หรือ 0.016 x 0.022 นิ้ว ชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม หรือโคบอลต์ - โครเมี่ยม (Ricketts และ คณะ 1980) ลูปแบบนี้ถ้าแรงจากการปรับลวดมากจะทำให้โอกาสของการสูญเสียหลักยึดเพิ่มขึ้น จึงควรใช้ในผู้ป่วยที่ต้องการลดโอเวอร์ เจท(over jet)เพียงเล็กน้อย (วัชระ เพชรคุปต์, 2527)



รูปที่ 5 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Simple closed loop

2. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Closed loop with helix

ใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 หรือ 0.016 x 0.022 นิ้ว ชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม หรือโคบอลต์ - โครเมี่ยม (Ricketts และ คณะ 1980 ; Hilger, 1987) ลูปแบบนี้ทำให้ลวดมีดีเฟลคชันที่ดีมาก แรงจึงไม่มากเกินไป ทำให้ไม่เกิดแรงต่อหลักยึดฟันหลังมาก เหมาะสำหรับลดโอเวอร์ เจท ในผู้ป่วยที่มีโอเวอร์ เจท มาก การควบคุมตำแหน่งในแนวดิ่งของฟันหน้าทำได้ โดยการทำ step up ในลวดด้วย (วัชระ เพชรคุปต์, 2527)

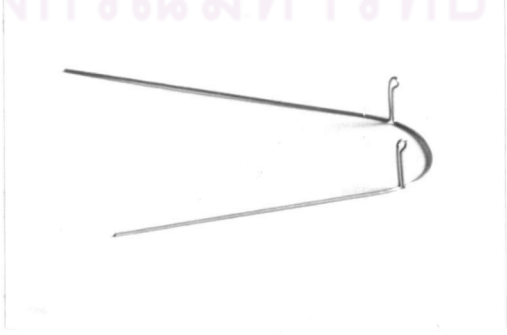


รูปที่ 6 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Closed loop with helix

3. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Bull loop

ใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว เหมาะสำหรับผู้ป่วยที่จะลดโอเวอร์ เจท หรือปิดช่องว่างเพียงเล็กน้อย เพราะมีระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรน้อย แรงที่เกิดจากการปรับลวดแบบ bull loop จะมากกว่าแบบ Simple closed loop และ Closed loop with helix (วัชระ เพชรคุปต์, 2527 ; Proffit และคณะ, 1986)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Bull loop

4. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Double keyhole loop หรือ Delta loop (Graber และ Swain, 1985; Proffit และคณะ, 1986)

ออกแบบโดย John Parker แห่ง Alameda รัฐแคลิฟฟอเนีย ซึ่งProffit และคณะ แนะนำว่าเป็นการออกแบบที่ดีที่สุด สามารถเพิ่มแรงบิด(Torque) และการกดฟัน (Intrusion) ร่วมด้วยได้ ใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.021 x 0.025 นิ้ว สอดเข้าสลอตขนาด 0.022 นิ้ว และใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว สอดเข้าสลอตขนาด 0.018 นิ้ว ของเครื่องมือเอดจ์ไวส์ชนิดที่มีแบรกเกตแคบโดยดัดลูปสูง 7 มม. ซึ่งใช้ลวดในการทำลูปยาว 10-12 มม. การปรับขาลูปให้ชิดกันทำโดยดึงปลายลวดครั้งละ 0.5 - 1.5 มม.

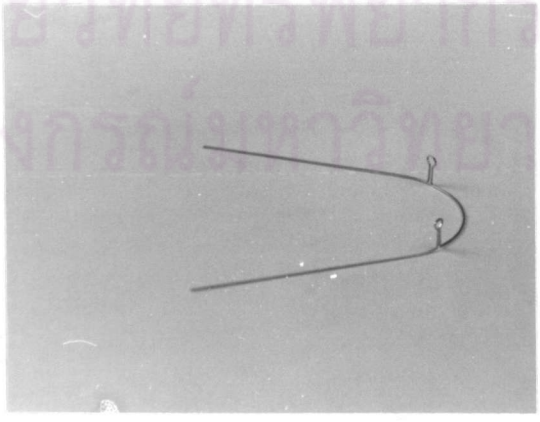
ข้อดีของลูปแบบนี้ (Graber และ Swain, 1985)

ก. สามารถใช้ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช ชนิดนี้ได้ทั้งปิดช่องว่างบริเวณที่ถอนฟัน และช่องว่างที่กระจายอยู่ให้ชิดกัน (Space consolidation)

ข. ใช้เคลื่อนฟันได้ทั้งฟันหน้าและฟันหลัง

ค. เคลื่อนฟันได้ทั้งแบบทิปปิง และบอดิลี โดยเพิ่มความยาวลวด ในแนวระนาบ เพื่อเพิ่มโมเมนต์ในการเคลื่อนฟันแบบบอดิลี

ง. การปรับขาลูปให้ชิดกันเมื่อไม่มีแรงจากลูป ทำให้เพิ่มความแข็งแรงของลวด (Proffit และคณะ)



รูปที่ 8 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Double keyhole loop หรือ Delta loop

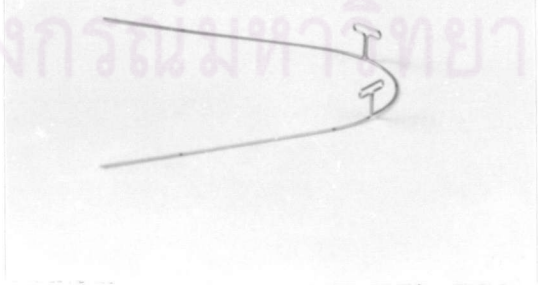
5. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Stoner T loop (Stoner และ Lindquist, 1969, Vol. 1)

ใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ลูปแบบนี้มีขาลูปด้านใกล้กลางอยู่หลังต่อปีกของแบรกเกตด้านไกลกลางของฟันหน้าข้าง 1 มม. และปรับลวดโดยการ งอลวดด้านหลังขึ้น(cinch back) หรือใช้ยาง(elastic)ดึงให้ลูปเกิดแรงใช้ในฟันบนและปรับลวดทุก 3 อาทิตย์ โดยปรับลวดครั้งละ 1 - 1.5 มม. (Graber และ Swain, 1985; Proffit และคณะ, 1986)

ข้อดี - เป็นลวดที่ให้ผลทางคลินิกดีมาก (Graber และ Swain)

- T loop ที่ดัดขาในแนวระนาบขนานกันจะหลีกเลี่ยงการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงได้ และเป็นการออกแบบที่ทำให้ช่วงของทอร์ก (range of torque) เพิ่มขึ้น เพราะมีปริมาณลวดในแนวระนาบมาก

- ในผู้ป่วยที่ต้องการให้เกิดการเปิดของไบท์ (bite opening) ให้ทำ Reverse curve of spee ในลวดด้านหลังและลวดด้านหน้าทำ gingival curvature



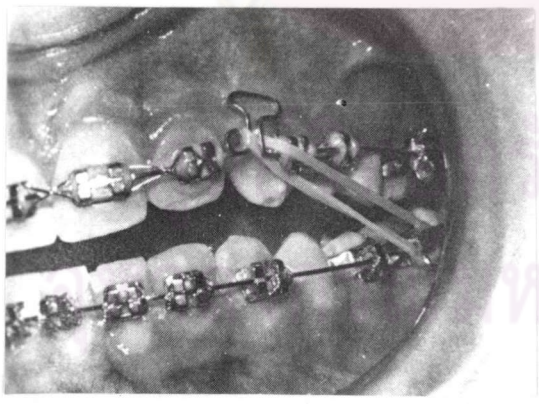
รูปที่ 9 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ T loop

6. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Modified " T " loop

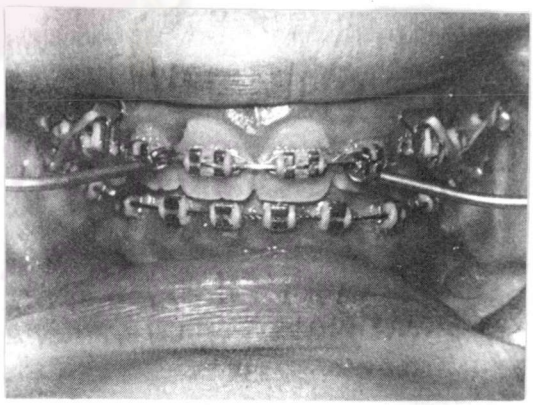
Tayer (1981) แนะนำให้ใช้ลวดเหล็กสแตนเลส Blue Elgiloy ขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว โดยใช้กับสลอต 0.018 นิ้ว และ ขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว โดยใช้กับสลอต 0.022 นิ้ว ลักษณะลูปเป็นรูปตัว T ที่มีฮีลิกซ์บริเวณมุมของขาด้านใกล้กลางทำให้สามารถเพิ่มทอร์กได้ดียิ่งขึ้น อาจเปิดไบท์โดยใช้ยางแบบคลาสทูเกี่ยวยางได้ 2 ลักษณะตามรูปที่ 10 ข,ค หรือใช้ร่วมกับ High pull Head gear ในการกดฟันหน้าก็ได้ (รูปที่ 10 ง)

ก

ข



ค



ง

รูปที่ 10 แสดง ก. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Modified "T" loop

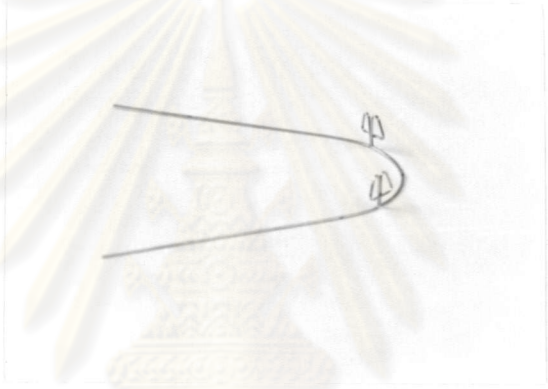
ข. วิธีเพิ่มทอร์กโดยการใช้ยาง แบบที่ 1

ค. วิธีเพิ่มทอร์กโดยการใช้ยาง แบบที่ 2

ง. วิธีใช้เครื่องมือนอกปากช่วยในการกดฟันหน้าบน

7. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Double delta loop (Ricketts และคณะ, 1980)

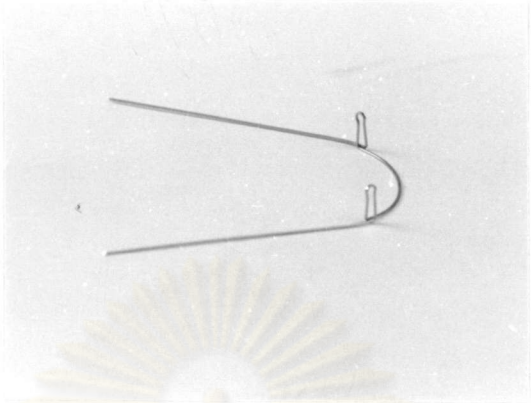
ใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว ชนิด Blue Elgiloy ลูปแบบนี้ใช้ประโยชน์ในการปิดช่องว่างที่กระจายอยู่ให้ชิดกัน(Space consolidation) และปิดช่องว่างบริเวณที่ถอนฟันเพื่อการจัดฟัน ซึ่งแนะนำให้ปรับลวดครั้งละ 1-2 มม.



รูปที่ 11 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Double delta loop

8. ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Closed loop ของ Hickham (1986)

แนะนำให้ใช้ลวดเหลี่ยมเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.017 x 0.022 นิ้ว ใช้ในการเคลื่อนฟันหน้าถอยหลัง แต่ถ้าต้องการเคลื่อนฟันหน้าถอยหลังพร้อมทั้งการเคลื่อนฟันเขี้ยวไปด้านไกลกลาง อาจใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ก็ได้

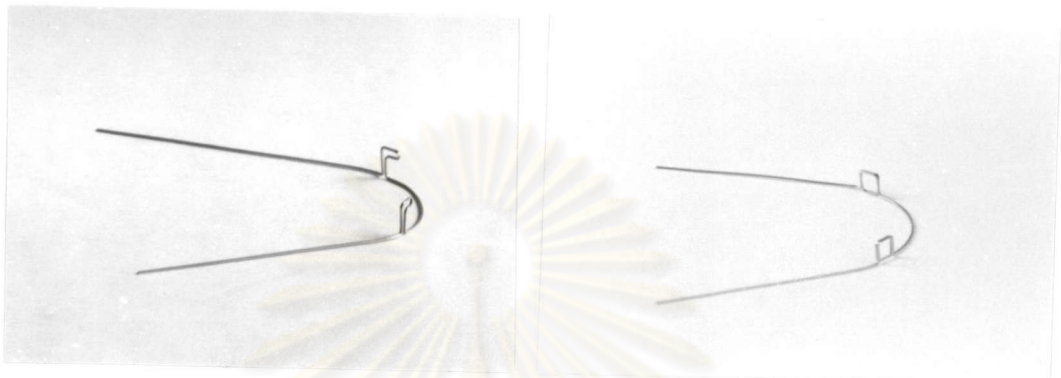


รูปที่ 12 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Closed loop ของ Hickham

นอกจากนี้ยังมีการออกแบบลูปในลวดคอนแทรกชัน อาร์ช เป็นแบบต่าง ๆ อีก (Stoner และ Lindquist, 1969 Vol. 1) เช่น

- L loop (รูปที่ 13 ก)
- Box loop (รูปที่ 13 ข)
- Drag loop (รูปที่ 13 ค) เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก ข

ค

รูปที่ 13 ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช

ก. แบบ L loop

ข. แบบ Box loop

ค. แบบ Drag loop

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. สิ่งที่มีอิทธิพลต่อแรงของเครื่องมือทันตกรรมจัดฟัน

ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงในเครื่องมือทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่นมีหลายประการ แต่ที่สำคัญและให้ผลโดยตรงต่อการเคลื่อนฟัน ได้แก่ ลวดซึ่งแบ่งกล่าวเป็น 2 ลักษณะ(Ricketts และคณะ, 1980; Burstone, 1981; Swartz, 1981; Graber และ Swain, 1985; Nikolai, 1985; Quinn และ Yoshikawa, 1985; Lipsett, Faulkner และ El - Rayes ; 1990) คือ

1. คุณสมบัติภายในลวด (Intrinsic wire property) คือ ชนิดของลวดที่เกี่ยวข้องกับโมดุลัสของการยืดหยุ่น (Young's Modulus) หรือ ความแข็งติงของลวด (Wire stiffness)

2. ปัจจัยภายนอก (Extrinsic factor) ได้แก่

ก. แบบของลูป

ข. ขนาดลวด

Burstone, Graber และ Swain กล่าวว่า แรงจากเครื่องมือทันตกรรมจัดฟันจะเกี่ยวข้องตามสมการ ดังต่อไปนี้

$S = W_s \times A_s$: S = Appliance load-deflection rate

W_s = Wire stiffness

A_s = Design stiffness factor

Appliance stiffness = Wire stiffness x Design stiffness

และ $W_s = M_s \times C_s$: M_s = Material stiffness

C_s = Cross-section stiffness

Wire stiffness = Material stiffness x Cross-section stiffness

ความแข็งติงจากชนิดของวัสดุ (Material stiffness) ที่ใช้ทำลวดจะเกี่ยวข้องกับความแข็งติงในช่วงยืดหยุ่น (Elastic stiffness) และ โมดุลัสของการยืดหยุ่น

ในปัจจุบัน ลวดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันมีหลายชนิด มีทั้งข้อดี และข้อเสีย (Burstone และ Goldberg, 1980; Sarkar และคณะ, 1983; Drescher, Bouraude และ Schumacher, 1989; Kapila และ Sachdeva, 1989; เจน รัตนไพศาล, 2533) ดังนั้น การเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

ชนิดของลวดที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่

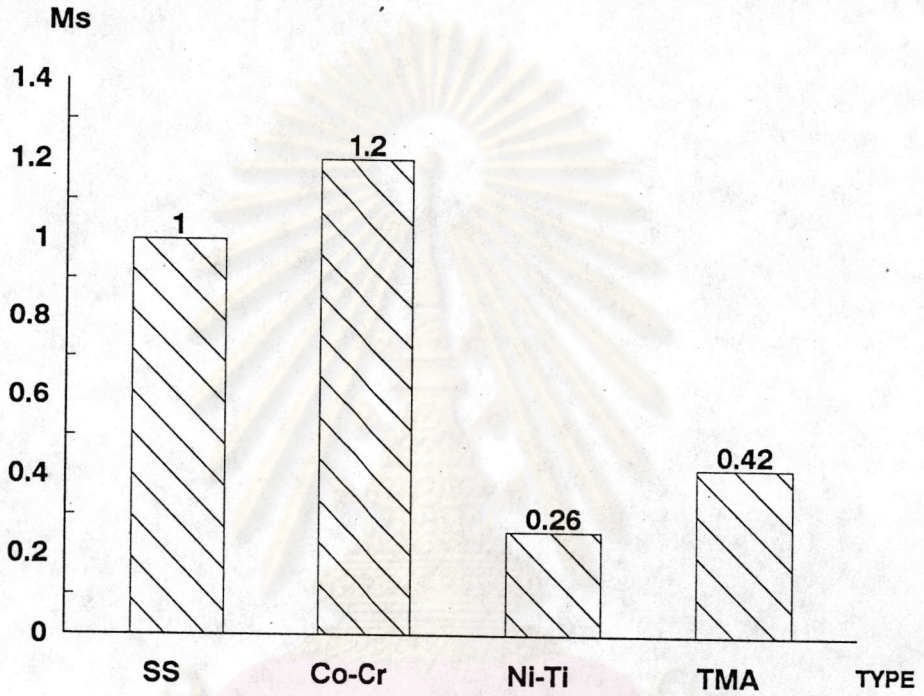
1. ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม มีโมดุลัสของการยืดหยุ่น (23-29 x 10^6 psi.) และความทนแรงดึงสูงมาก (tensile strength = 330x10^3 psi.) ทำให้เกิดแรงจากการปรับลวดมากจึงมักใช้ลวดขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อเสียในเรื่องการควบคุมการเคลื่อนฟัน แต่มีสปริงแบคเพียงพอ, ดัดเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ดีมาก, เชื่อมด้วยไฟฟ้าและการบัดกรีได้, มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดี, ความเสียดทานน้อยและราคาปานกลาง จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

2. ลวดโคบอลต์-โครเมียม (ลวดเอลจิลอย) มีคุณสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเมื่อทำการอบด้วยความร้อน แต่ดัดเป็นรูปร่างได้ง่ายกว่า เหมาะในการดัดลวดที่มีการออกแบบที่ยุ่งยาก และทนการกัดกร่อนในช่องปากได้ดีที่สุด แต่ราคาแพงกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

3. ลวดนิเกิล-ติตาเนียม มีโมดุลัสของการยืดหยุ่น (4.8 x 10^6 psi.) และความทนแรงดึงน้อย(240 x 10^3 psi.) มีช่วงยืดหยุ่นมากและมีสปริงแบคสูง ใช้ในกรณีที่ต้องการดีเฟลคชันสูง (Deflection) แต่ให้แรงน้อย มีข้อเสีย คือ ดัดยาก, เชื่อมด้วยไฟฟ้าและการบัดกรีไม่ได้ และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนในช่องปากน้อยที่สุด

4. ลวดบีตา-ติตาเนียม มีคุณสมบัติต่างๆอยู่ระหว่างลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดนิเกิล-ติตาเนียม โดยมีโมดุลัสของการยืดหยุ่น (10 x 10^6 psi.)และความทนแรงดึงปานกลาง (180 x 10^3 psi.), มีช่วงยืดหยุ่นประมาณ 2 เท่าของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม มีสปริงแบคปานกลาง และสามารถเชื่อมด้วยไฟฟ้าได้ แต่มีข้อเสียในเรื่องความเสียดทานสูงที่สุด จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในกรณีเคลื่อนฟันไปตามลวด

ความแข็งติงของลวดชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม : โคบอลต์ - โครเมียม : นิเกิล - ติตาเนียม : บีตา - ติตาเนียม (Stainless steel : Cobalt - Chronium : Nickel - Titanium : β - Titanium)= 1 : 1.2 : 0.26 : 0.42(Burstone, 1981; Graber และ Swain, 1985) (รูปที่ 14)

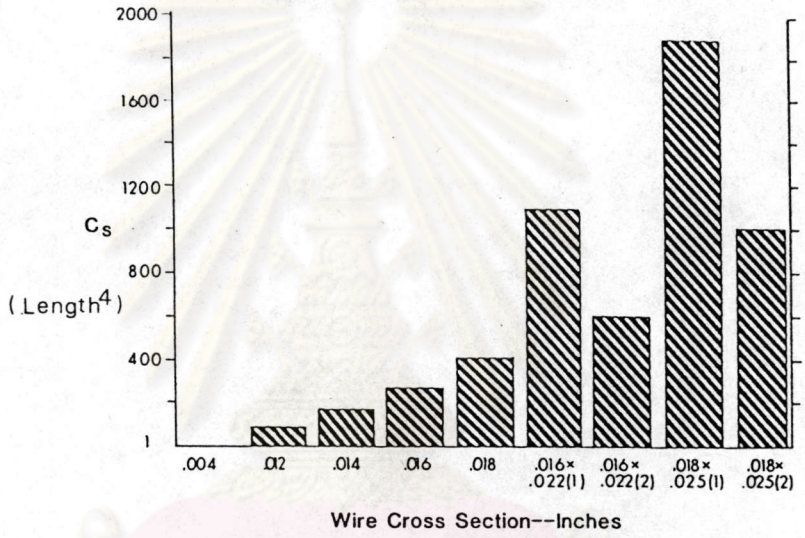


รูปที่ 14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแข็งติงของวัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบกับชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม (M_s)

ความแข็งติงจากขนาดลวด (Cross-section Stiffness)

ลวดขนาดเล็กมีความแข็งติงน้อยกว่าลวดขนาดใหญ่ เช่น ลวดกลมเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.014 : 0.016 : 0.018 นิ้ว = 150 : 256 : 410 = 1 : 1.7 : 2.7 ลวดเหลี่ยมเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.016 x 0.016 : 0.018 x 0.018 นิ้ว = 434 : 696 หรือ 1 : 1.6 ตามลำดับ (Burstone; 1981; Graber และ Swain, 1985) ทำให้ลวดขนาดเล็กมีแรงน้อยกว่าลวดขนาดใหญ่ (Chaconas, Caputo และ Hayashi, 1974; Lane และ Nikolai, 1980; Nikolai, 1985)

เมื่อเปรียบเทียบลวดหลาย ๆ ขนาดพบว่า การเปลี่ยนแปลงของขนาดลวดจะทำให้ความแข็งติงเปลี่ยนแปลงได้มากเป็น 10 หรือ มากกว่า 10 เท่า (Burstone, 1981; Graber และ Swain, 1985) (รูปที่ 15)



รูปที่ 15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ความแข็งติงของลวดขนาดต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Wire type	*Cross section (inches)*	*Cross section (mm.)*	*Order*	M_s	C_s	W_s $(M_s \times C_s)$
S.S.	0.009	0.229	—	1.00	25.63	25.63
S.S.	0.012	0.305	—	1.00	81.00	81.00
S.S.	0.014	0.356	—	1.00	150.06	150.06
S.S.	0.016	0.406	—	1.00	256.00	256.00
S.S.	0.018	0.457	—	1.00	410.06	410.06
S.S.	0.020	0.508	—	1.00	625.00	625.00
TMA	0.016	0.406	—	0.42	256.00	107.52
Nitinol	0.016	0.406	—	0.26	256.00	66.56
TMA	0.018	0.457	—	0.42	410.06	172.23
Nitinol	0.018	0.457	—	0.26	410.06	106.62
TMA	0.016 × 0.020	0.406 × 0.508	1st	0.42	848.83	356.51
TMA	0.016 × 0.020	0.406 × 0.508	2nd	0.42	543.15	228.16
TMA	0.016 × 0.022	0.406 × 0.556	1st	0.42	1129.79	474.51
TMA	0.016 × 0.022	0.406 × 0.556	2nd	0.42	597.57	250.98
S.S.	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	1st	1.00	1865.10	1865.10
S.S.	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	2nd	1.00	966.87	966.87
TMA	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	1st	0.42	1865.10	783.34
TMA	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	2nd	0.42	966.87	406.08
Nitinol	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	1st	0.26	1865.10	484.93
Nitinol	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	2nd	0.26	966.87	251.38
E_B	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	1st	1.19	1865.10	2219.47
E_B	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	2nd	1.19	966.87	1150.57
E_B*	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	1st	1.22	1865.10	2275.42
E_B*	0.018 × 0.025	0.457 × 0.635	2nd	1.22	966.87	1179.58
S.S.	0.021 × 0.025	0.533 × 0.635	1st	1.00	2175.95	2175.95
S.S.	0.021 × 0.025	0.533 × 0.635	2nd	1.00	1535.31	1535.31

*Heat-treated.
S.S. = Stainless steel.
E_B = Elgiloy blue.

ตารางที่ 1 แสดงความแข็งตึงของลวดชนิดต่าง ๆ และขนาดต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ความแข็งตึงจากลูปของเครื่องมือ</u> ได้แก่ การเพิ่มความยาวลวดโดยการเพิ่มลูป การออกแบบลูปเพื่อให้มีรูปร่างที่เหมาะสมโดยการกำหนดความสูงและความกว้างของลูปซึ่งจะส่งผลถึงความแข็งตึง, ระยะการปรับลวด, ขนาดแรงมากที่สุดในช่วงการยืดหยุ่น, ความเค้นและโมดุลัสของการยืดหยุ่นของลวด (Stoner, 1960; Mahler และ Goodwin, 1967; Weinstein, 1967; Stoller, 1971 ; Jarabak และFizzell, 1972, Vol. 1; Chaconas, Caputo และ Hayashi, 1974; Waters, Stephens และ Houston, 1975; Burstone และ Koenig, 1976; Williams, Caputo และ Chaconas,

1978; Lane และ Nikolai, 1980; Ricketts และคณะ, 1980; Thurow, 1982; Kobayashi, 1985; Nikolai, 1985; Quinn และ Yoshikawa, 1985; Proffit และคณะ, 1986; Water และ Ward, 1987)

การทำให้เกิดแรงในเครื่องมือที่มีลูปนั้นมีหลายวิธีด้วยกันซึ่งระยะการปรับลวดจะมีส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดแรงมากหรือน้อย (Jarabak และ Fizzell, 1972, Vol. 1; Williams, Caputo และ Chaconas, 1978; Ricketts และคณะ, 1980; Drake และคณะ, 1982; Lipsett, Faulkner และ El - Rayes, 1990)

ในลวดเหล็กล้วน พบว่า อัตราโหลด-ดีเฟลคชันแปรผันตามพื้นที่หน้าตัดของลวดที่มีการดัดลูป และแปรผกผันกับความยาวของลวด (Graber และ Swain, 1985)

การเปลี่ยนแปลงขนาดแรง ของเครื่องมือมีข้อจำกัดในขนาดลวด เนื่องจากต้องสัมพันธ์กับขนาดสลอตของแบรกเกตโดยทั่วไปใช้สลอตขนาด 0.018 นิ้ว ใช้ลวดคอนแทรกชันอาร์ช ขนาด 0.016 x 0.016 หรือ 0.016 x 0.022 นิ้ว และจากการศึกษาของ Graber และ Swain พบว่า การเพิ่มความยาวลวดจะให้ผลดีกว่าลดขนาดลวดเพราะทำให้ขนาดแรงมากที่สุดในช่วงการยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงน้อย แต่ระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงขนาดแรงในเครื่องมือจัดฟัน จึงเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความยาวหรือการออกแบบเครื่องมือเป็นส่วนใหญ่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>หลักการออกแบบลูป</u>

1. ควรออกแบบให้ง่ายที่สุด (Graber และ Swain, 1985; Proffitt และคณะ, 1986) เพราะลูปที่ยุ่งยากจะทำให้

ก. ผู้ป่วยได้รับความสบายน้อยลง และทำความสะอาดยากขึ้น

ข. เสียเวลาในการดัดลวดนาน (Chair time มาก)

ค. ลวดหักหรือเสียรูปร่างได้ง่าย

2. ลูปควรมีความปลอดภัยในการเคลื่อนฟัน (fail safe) หมายถึง ลูปจะหยุดให้แรงเอง ถ้าผู้ป่วยไม่กลับมาพบทันตแพทย์ตามนัดฟันก็จะเคลื่อนที่ตามที่ทันตแพทย์ต้องการเท่านั้น (Proffit และคณะ, 1986)

3. มีความแข็งแรงเพียงพอ ถ้าลวดยาวมากความแข็งตึงจะลดลง ทำให้ลวดมีการบิดเบี้ยวได้ง่าย (Hazel และ West, 1986; Proffit และคณะ)

4. ให้แรงที่เหมาะสม (optimum force) โดยไม่เปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Graber และ Swain, 1985)

5. ให้แรงคงที่ (Constant force) ตลอดระยะการรักษา (Graber และ Swain)

การออกแบบลูปที่สมบูรณ์ควรให้แรงที่ต่อเนื่อง โดยทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้ 1 มม. ต่อเดือน แต่ระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรไม่ควรเกิน 2 มม. เพราะถ้าผู้ป่วยไม่มาตามนัด 2 เดือนฟันจะหยุดเคลื่อนที่ โดยปกติจะปรับระยะลวด 1-2 มม. ต่อครั้ง (วัชระ เพชรคุปต์, 2527, Proffit และคณะ, 1986)

การออกแบบลูปขึ้นกับ (Nikolai, 1980)

1. ขนาดลวด : ลวดใหญ่มีความยาวมากให้แรงเท่ากับ ลวดขนาดเล็กแต่มีความยาวสั้นกว่า ดังนั้นลวดขนาดเล็กจึงออกแบบลูปได้ไม่ยุ่งยาก (Proffit และคณะ)
2. ชนิดของลวด : ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมให้แรงมากกว่าลวดติเตเนียม ดังนั้นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจึงต้องออกแบบลูปยุ่งยากกว่า (Proffit และคณะ)
3. พื้นที่ในการทำลูป : ถ้ามีพื้นที่มาก ทำลูปขนาดใหญ่ได้ ความสูงของลูปขึ้นกับความสูงของ Mucobuccal fold โดยทั่วไปในขากรรไกรบน ความสูงของลูปประมาณ 8 มม. ในขากรรไกรล่าง ความสูงของลูปประมาณ 6 มม.

ดังนั้นอาจทำฮีลิกซ์เพื่อเพิ่มความยาวลวดได้ (Fisher, 1957 ; วัชระ เพชรคุปต์, 2527)

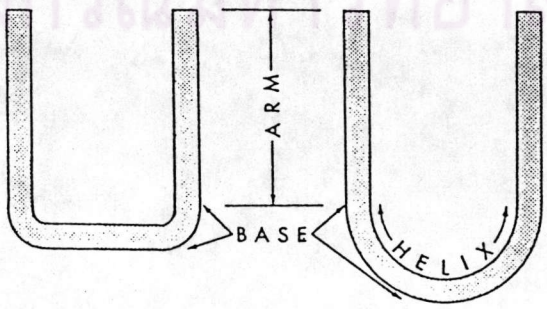
4. การทำงานของลูป : ลูปแบบเปิด(Opened loop)เหมาะสำหรับเปิดช่องว่าง ลูปแบบปิด (Closed loop)เหมาะสำหรับปิดช่องว่าง (Stoner, 1960; Stoller, 1971)

หน้าที่ของลูปในเครื่องมือทันตกรรมจัดฟัน ดังนี้

1. ลดขนาดแรง
2. ลดความแข็งตึง
3. เพิ่มระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร
4. เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของการยืดหยุ่น(elastic properties) ของลวด (Thurow, 1982) เช่น เพิ่มขีดยืดหยุ่น(elastic limit) (Kobayashi, 1985)
5. เป็นการเพิ่มส่วนประกอบของลวดโค้ง ทำให้สามารถทำหน้าที่ได้เพิ่มขึ้น เช่น ตะขอ(hook) ใช้เกี่ยวยางหรือ stop เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของฟันกรามแท้มาด้านหน้า (Thurow, 1982)

ส่วนประกอบของลูป (Thurow, 1982)

1. แขนของลูป (arm)
2. ฐานของลูป (base)
3. ฮีลิกซ์ (helix)



รูปที่ 16 แสดงส่วนประกอบของลูป

ส่วนประกอบของลูปมีผลต่อความแข็งตึง, ความแข็งแรงและระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวร ตามตารางที่ 2 โดย

1. แขนของลูป คือ ระยะจากส่วนโค้งของลูปถึงฐานของลูป

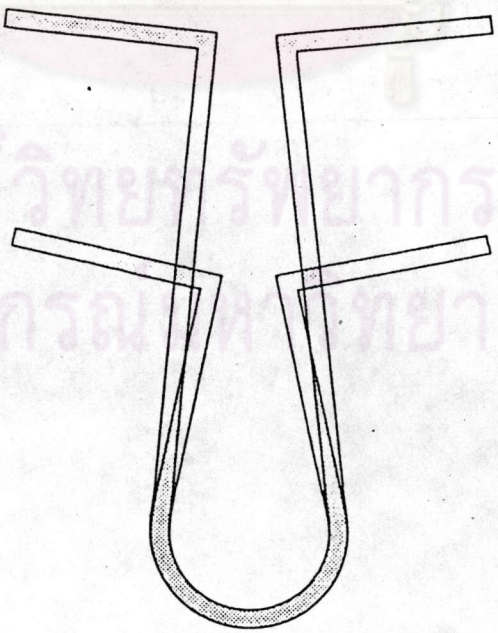
ความยาวของแขนลูปมีผลต่อ ความแข็งตึง, ระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวร, ความแข็งแรง และ การบิดเบี้ยว ดังนี้

1.1 ความยาวของแขนลูป เพิ่มขึ้น ความแข็งตึงจะลดลงโดยความยาวของแขนลูปเพิ่มขึ้น 2 เท่า ความแข็งตึงจะลดลง 4เท่า

1.2 ความยาวของแขนลูป เพิ่มขึ้น ระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวร จะเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรง (strength) ลดลง

1.3 ความยาวของแขนลูป เพิ่มขึ้นจะช่วยลดการบิดเบี้ยวของลวดลง นั่นคือช่วยลดการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงได้ (รูปที่ 17)

ความยาวของแขนลูปมีผลต่อขนาดแรงมากกว่าฐานของลูป(Thurow, 1982; Kobayashi, 1985)



รูปที่ 17 แสดงการเพิ่มความยาวของแขนลูปจะช่วยลดการบิดเบี้ยวของลวดลง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ฐานของลูป (base) เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างแขนของลูป จะมีผลต่อความแข็งติงน้อย แต่มีผลต่อระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวรมากกว่า โดยฐานของลูปเพิ่มขึ้นจะมีระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวรได้เพิ่มขึ้นและการเพิ่มความยาวฐานของลูปจะทำให้อัตราโมเมนต์ - แรงเพิ่มขึ้น (Burstone, 1976) แต่ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของลูป

3. ฮีลิกซ์(helix) เป็นส่วนของวงกลมเล็กที่ดัดซ้อนกันในส่วนของลูป การดัดฮีลิกซ์ควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดลวด ฮีลิกซ์ทำให้เกิดผลกระทบดังนี้

ก. ขนาดแรงลดลง (Stoner, 1960; Swartz, 1981)

ข. ความแข็งติงลดลงมาก เนื่องจากความยาวเพิ่มขึ้น ดังนั้น ถ้ามีฮีลิกซ์ขนาดใหญ่ ควรจะลดความสูงของลูปลง

ค. ระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวรเพิ่มขึ้น (Swartz; Kobayashi, 1985)

ง. ขนาดแรงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลง เนื่องจากมีอัตราโหลด-ดีเฟลคชันลดลง (Kobayashi)

จ. ลดการเกิดทิปปิงของฟันที่อยู่ใกล้ลูป (Jarabak และ Fizzell, 1972; Nikolai, 1985)

		Stiffness	Strength	Range
Arm length	A	$1/A^3$	1/A	A
Base length				
Diameter of helix	B	1/B	No effect	B
Number of helix				

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของลูปมีผลต่อความแข็งติง, ความแข็งแรงและระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

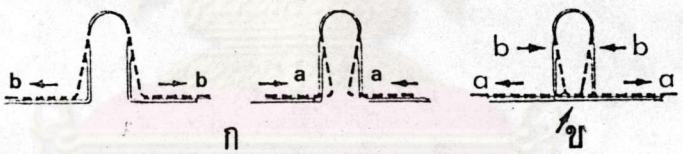
i17190089

จากการศึกษาของ Stoller (1971) พบว่า แบบของลูปจะมีผลต่อการทำงาน (Action) ของลูปมาก กล่าวคือ

1. การทำงานภายในโมเลกุลของลูปหรือฮีลิกซ์ (Internal molecular action of loop or helix) จะมีแนวโน้มกลับสู่สภาพเดิมภายหลังจากดัดให้เป็นลูปหรือฮีลิกซ์แล้วโดยกลับสู่สภาพลวดตรงก่อนดัด ดังนั้น ลูปแบบเปิดจึงมีแนวโน้มจะกลับสู่สภาพเดิม (รูปที่ 18 ก bb) จึงไม่เหมาะที่จะทำให้เกิดแรงโดยการขยายลูปควรให้แรงในลักษณะการกดลูปมากกว่า (รูปที่ 18 ก aa)

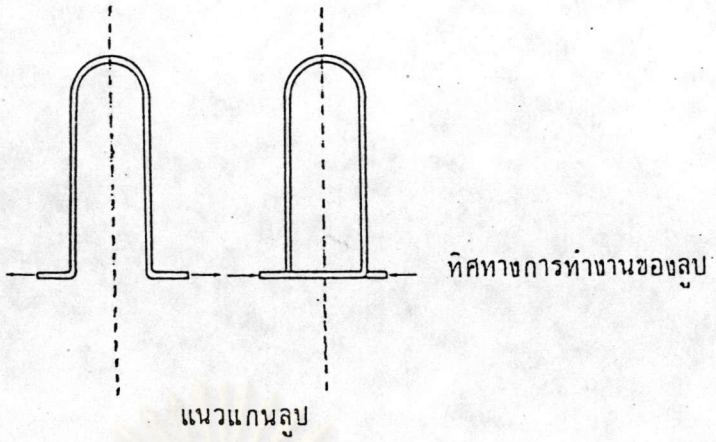
ลูปแบบปิดควรจะปรับลวดโดยการดึงขาสองข้างของลูปออกจากกัน (รูปที่ 18 ข aa)

Thurow (1982) กล่าวว่าประสิทธิภาพของแรงจะดีเมื่อให้แรงแก่ลูปไปตามทิศทางการม้วนลูป



รูปที่ 18 แสดงการทำงานของลูปแบบเปิด (ก) ลูปแบบปิด (ข)

2. ทิศทางการทำงานของลูป (loop action) จะตั้งฉากกับแนวแกนลูป โดยลูปที่มีแนวแกนอยู่ในแนวดิ่ง จะเหมาะสำหรับเคลื่อนฟันในแนวระนาบ และลูปที่มีแนวแกนอยู่ในแนวระนาบ จะเหมาะสำหรับเคลื่อนฟันในแนวดิ่ง (รูปที่ 19)



รูปที่ 19 แสดงการทำงานของลูปขึ้นอยู่กับแนวแกนลูป

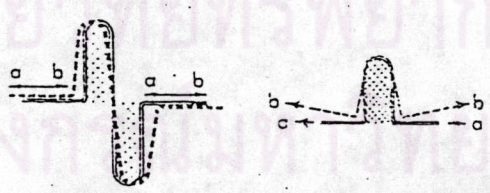
3. ชนิดของลูป

3.1 Balanced vertical loop

ลูปชนิดนี้สามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและทิศทางของแรง มีข้อเสีย คือ ขัดขวางการทำงานทางด้านบดเคี้ยว (รูปที่ 20 ก)

3.2 Unbalanced single vertical loop

ลูปชนิดนี้สร้างขึ้นเพื่อแก้ไขข้อเสียของ Balanced vertical loop. โดยเพิ่มความยาวลูปทำให้การบิดเบี้ยวลดลง (รูปที่ 20 ข)



ก ข

รูปที่ 20 แสดงทิศทางการทำงานของลูป ของ

ก. Balanced vertical loop (ตามแนว ab)

ข. Unbalanced single vertical loop (ตามแนว bb)

3.3 Horizontal loop จะควบคุมขนาดและทิศทางของแรงได้ดี และมีประสิทธิภาพ แบ่งเป็นลูปแบบต่างๆ ดังนี้ (รูปที่ 21)

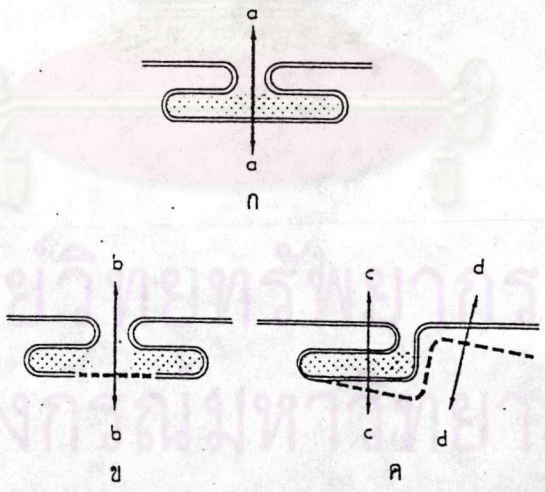
ก. Horizontal T loop

ดัดแปลงมาจาก Balanced vertical loop ทำให้ควบคุมทิศทางของการเคลื่อนที่ได้ดีและเป็นลูปที่ดีที่สุด (optimize design) เนื่องจากมีลวดในบริเวณส่วนฐานมาก ทำให้เพิ่มโมเมนต์ของการเคลื่อนฟัน(Burstone, 1976) นอกจากนี้ยังพบว่าให้แรงในแนวดิ่งได้อย่างแท้จริง ทำให้ปรับระดับฟันได้ด้วย

ข. Split T Horizontal loopเป็นลูปที่เหมาะในการกดฟันหน้าโดยฟันหลังคงที่

ค. Unbalanced T loop หรือ L loop

คือ Horizontal T loop ที่ทำข้างเดียว หรือเป็นรูปตัว L เหมาะกับกรณีที่ต้องการเคลื่อนฟันแบบทิปปิง



รูปที่ 21 แสดงทิศทางการทำงานของ

ก. Horizontal T loop (ตามแนว aa)

ข. Split T Horizontal loop (ตามแนว bb)

ค. Unbalanced T loop หรือ L loop (ตามแนว cc แต่ฟันมีการเคลื่อนที่ตามแนว dd)

3.4 Helical และ Box loop เป็นลูปที่ดัดวิธีเดียวกัน คือเป็นรูปวงกลม ที่เรียกว่า helical loop หรือลูปสี่เหลี่ยมที่เรียกว่า box loop ซึ่งถ้าจะควบคุมทิศทางของแรงให้ไม่มีการหมุนของ Helical หรือ Box loop ต้องให้ขาของลูปอยู่ตรงกลาง (รูปที่ 22 ก,ข)

ก

ข

รูปที่ 22 แสดงทิศทางการทำงานของลูป

ก. Helical loop (ตามแนว aa เกิดการหมุนของลูป ตามแนว bb ไม่เกิดการหมุนของลูป)

ข. Box loop (ตามแนว aa เกิดการหมุนของลูป ตามแนว bb ไม่เกิดการหมุนของลูป)

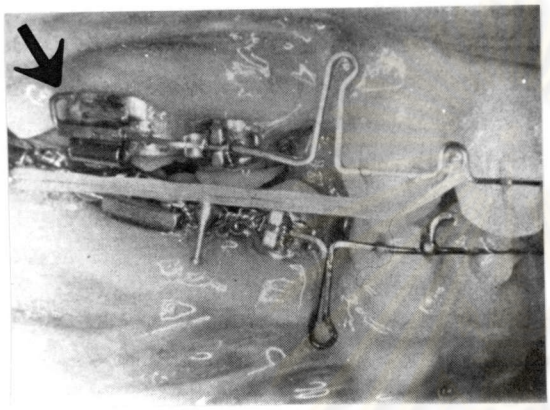
<u>วิธีทำให้เกิดแรงดึงในลูป</u>

1. งอปลายลวดด้านหลัง (Cinch back) (StonerและLindquist, 1969, Vol. 1 ; Ricketts และ คณะ, 1980 ; Proffit และคณะ, 1986) เป็นวิธีที่สะดวกและใช้โดยทั่วไปแต่มีข้อเสีย คือ เมื่อต้องถอดลวดออกมาปรับระนาบจะทำได้ยาก(รูปที่ 23ก)

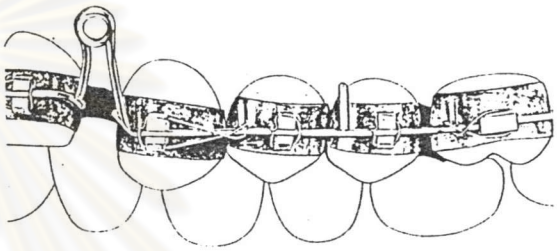
2. ผูกลวดมัดกับตะขอ (hook) หรือลูปที่อยู่หน้าต่อท่อข้างแก้มของฟันกรามแท้ชี่แรก (Teiback) มีข้อดี คือ เมื่อถอดลวดออกมาปรับระนาบจะทำได้ง่าย(Strang และ Thompson, 1958; Proffit และ คณะ) (รูปที่ 23 ข)

3. ใช้ยางดึงลูป เช่น Elastic Thread (Stoner และ Lindquist), Elastic traction class II (Walther, 1966; Tayer, 1981; Proffit และ คณะ), A-elastic chain module (Stoner และ Lindquist) วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ทำความสะอาดยาก และต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ป่วยในการเปลี่ยนยาง(รูปที่ 23 ค)

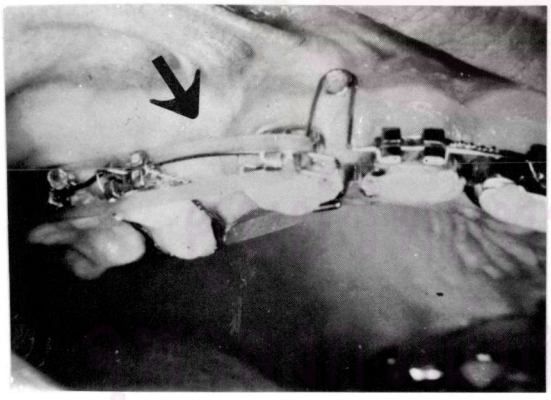
4. ใช้เครื่องมือนอกปากช่วยทำให้เกิดแรงที่ลูป เช่น Cervical Head gear ที่อาศัยส่วนของต้นคอส่งแรงไปยังลูปในช่องปาก (Fisher, 1957; Stoner และ Lindquist, 1969) (รูปที่ 23 ง)



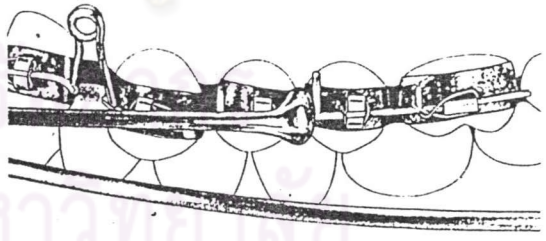
ก



ข



ค



ง

รูปที่ 23 แสดงวิธีทำให้เกิดแรงดึงของลูปในช่องปาก โดยการ

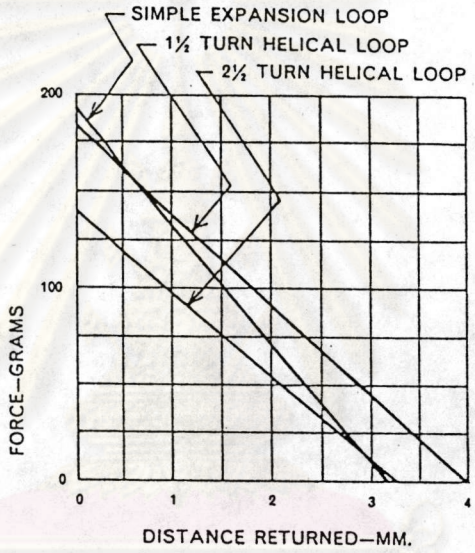
ก. งอปลายลวดด้านหลัง

ข. ผูกลวดมัดกับตะขอ

ค. ใช้ยางดึงลูป

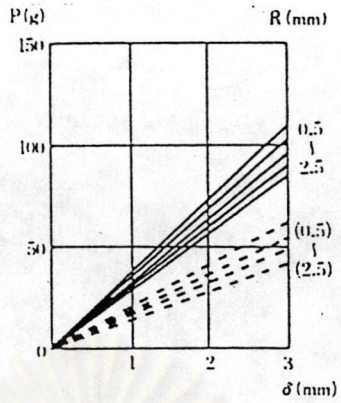
ง. ใช้เครื่องมือนอกปาก

Jarabak และ Fizzell (1977) ศึกษาแรงที่เกิดจากลูปแบบต่าง ๆ กัน พบว่า แรงเริ่มต้นจากการปรับลวดในลูปที่มีความยาวลวดน้อยจะให้แรงมากกว่า ลูปที่มีลวดยาวกว่า เช่น Simple vertical loop จะให้แรงเริ่มต้นมากกว่า Vertical loop with helix $1^1/_2$ - $2^1/_2$ รอบ แต่ระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวรจะน้อยกว่า

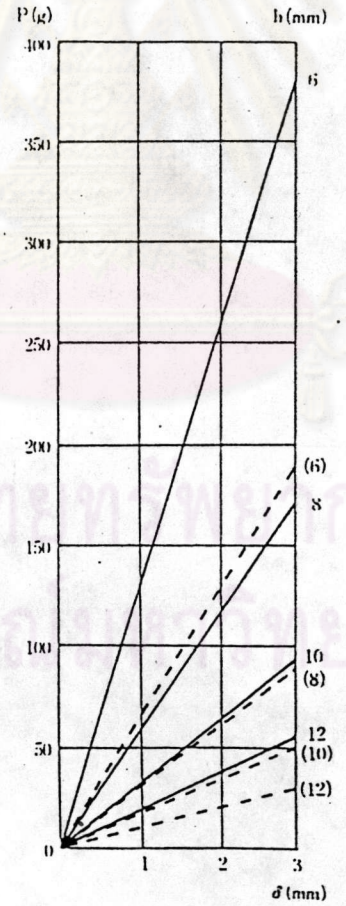


รูปที่ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดแรงของลูปในแนวดิ่งที่ไม่มีฮีลิกซ์ และมีฮีลิกซ์ $1^1/_2$ และ $2^1/_2$ รอบ

จากการศึกษาของ Kobayashi (1985) พบว่าความสูงและรัศมีความโค้งของลูป มีผลทำให้แรงลดลงทั้งในลูปที่มี และไม่มีฮีลิกซ์ โดยความสูงของลูปมีผลต่อขนาดแรงมากกว่ารัศมีความโค้งของลูป



รูปที่ 25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดแรง-ระยะการปรับลวดระหว่าง Simple loop กับ Helical loop โดยเปลี่ยนแปลงรัศมีความโค้งของลูป 0.5-2.5 มม. เมื่อมีความสูงของลูป 10 มม.



รูปที่ 26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดแรง-ระยะการปรับลวดระหว่าง Simple loop กับ Helical loop โดยเปลี่ยนแปลงความสูงของลูป 6-12 มม. เมื่อมีรัศมีความโค้งของลูป 1.5 มม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากทฤษฎีของแคสทิกเลียโน (Castigliono)

ดีเฟลคชันของ Simple loop

$$\delta_1 = \frac{2ph^3}{B}\left[\frac{1}{3} + \left(\frac{\pi}{2} - 1\right)\left(\frac{R}{h}\right) + (3.\pi)\left(\frac{R}{h}\right)^2 + \left(\frac{3\pi}{4} - \frac{7}{3}\right)\left(\frac{R}{h}\right)^3\right]$$

$$= \frac{2p}{B}\phi_1 (h,R)$$

ดีเฟลคชันของ Helical loop

$$\delta_2 = \frac{2ph^3}{B}\left[\frac{1}{3} + \left(\frac{3\pi}{2} - 1\right)\left(\frac{R}{h}\right) + 3(1 - \pi)\left(\frac{R}{h}\right)^2 + \left(\frac{9\pi}{4} - \frac{3}{7}\right)\left(\frac{R}{h}\right)^3\right]$$

$$= \frac{2p}{B}\phi_2 (h,R)$$

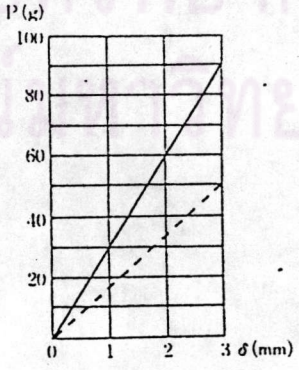
P = แรง

h = ความสูงของลูป

B = flexual rigidity ($E a^3 b/12$)

E = โมดุลัสของการยืดหยุ่น

a,b = ความสูงและความกว้างของลวดเหลี่ยม

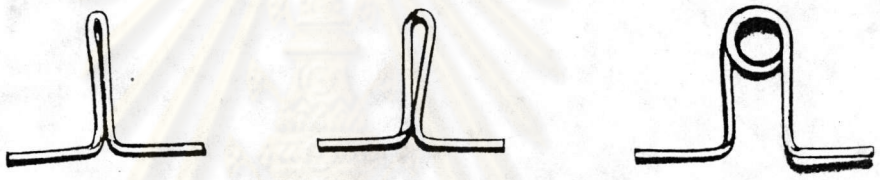


รูปที่ 27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดแรง - ระยะการปรับลวด ระหว่าง Simple loop กับ Helical loop ที่ใช้ลวดเอลจิลอย ขนาด 0.016 นิ้ว ลูปสูง 10 มม. และมีรัศมีความโค้งของลูป 1.5 มม.

พบว่า $_{2}$ / $_{1}$ = 1.83 หมายถึง ลูปที่มีฮีลิกซ์จะให้แรงน้อยกว่าเมื่อปรับลวดเท่ากัน

Burstone(1981), Graber และ Swain(1985) กล่าวว่า การเพิ่มความยาวลวดโดยการทำลูป มีผลดี ดังนี้

1. ทำให้มีความสามารถในการคืนตัว (flexibility) เพิ่มขึ้น
2. ระยะการปรับลวดเพิ่มขึ้นโดยไม่มีการเสียรูปอย่างถาวร
3. เพื่อลดการงอเป็นมุม ทำให้ลดการเสียรูปอย่างถาวรและลดการหักของลวด



รูปที่ 28 แสดงการดัดลวดที่มีการหักงอเป็นมุมแตกต่างกันมีผลต่อการเสียรูปอย่างถาวรและการหักของลวดจากมากไปน้อยตามลำดับ

นอกจากนี้ การเพิ่มความยาวโดยการทำฮีลิกซ์หรือเปลี่ยนรูปร่างลูปนั้น พบว่า

1. อัตราโหลดต่อดีเฟลคชัน(Load-deflection Rate)ลดลง
2. ระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวร เพิ่มขึ้น
3. ความยืดหยุ่นที่มากที่สุด(Maximum elastic)ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อแบบของลูปเหมาะสม ซึ่งแบบของลูปจะมีผลต่อแรงต่ออัตราของโหลด - ดีเฟลคชัน, ขนาดแรงที่มากที่สุด (Maximum load) และระยะดีเฟลคชันที่มากที่สุด (Maximum deflection) ตามตารางที่ 3 นอกจากนี้ ขนาดแรงยังขึ้นกับขนาดลวดโดยแปรผันตามขนาดลวดด้านที่ดัดลูปยกกำลัง 3 (h^3) และแปรผกผันกับความยาวลวดยกกำลัง 3 ($1/L^3$)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Design factor	Load-deflection rate	Maximum load	Maximum deflection
Addition of wire without changing length	Decreases	No change	Increases
Activation in direction of original bending		Increases	Increases
Alteration of cross section to rectangular form	If rate is maintained as constant	Increases as $\frac{1}{h}$	Increases as $\frac{1}{h}$

ตารางที่ 3 แสดงผลของการออกแบบลูปต่ออัตราโหลด - ดีเฟลคชัน, ขนาดแรงที่มากที่สุด และระยะดีเฟลคชันที่มากที่สุด

แต่ปริมาณลวดที่เพิ่มขึ้นสำคัญน้อยกว่าตำแหน่งที่เราเพิ่มลวดนั่น คือ แบบของลูปมีผลต่อขนาดแรงมากกว่าความยาวลวด (Burstone และ Koenig, 1976; Burstone, 1982; Nikolai, 1985)

Nikolai (1985) กล่าวถึง การดัดลวดมีผลต่อระยะการทำงานของลูป (loop range) โดยในส่วนของลูปที่มีการงอลวดมากจะมีระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวรลดลง และพบว่าลวดขนาดใหญ่ให้ความแข็งตึงเพิ่มขึ้นในทุกการออกแบบของลูป ตามตารางที่ 4

Wire Size (mils)	Loop description	Wire in loop (mm)	Stiffness (gm/mm)	Range (mm)
17 × 25	Teardrop	14	325	1.7
21 × 25			525	1.8
17 × 25	Bulbous	15	275	1.9
21 × 25			430	2.0
17 × 25	Reverse-	17.5	355	2.3
21 × 25	closing		610	2.5
17 × 25	Reverse-closing	25	245	2.5
21 × 25	with Helix		455	2.9

ตารางที่ 4 แสดงความแข็งตึง และระยะการปรับลวด เมื่อเปลี่ยนขนาดลวด, แบบของลูป และความยาวลวด

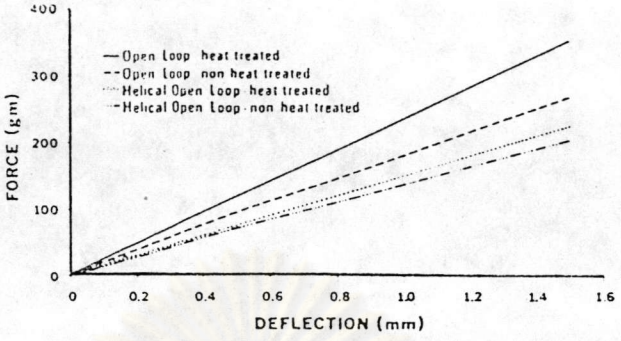
จากการทดลองของ Mahler และ Goodwin (1967) วัดอัตราดีเฟลคชันต่อแรง (Defection/Force) และขนาดแรงที่มากที่สุดในช่วงยืดหยุ่น (elastic force limit) ในลวดกลมเหล็กกล้าไร้สนิม 4 บริษัทและลวดกลมโคบอลต์ - โครเมียมบริษัทเดียว พบว่า การออกแบบเป็นสิ่งที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องมือมากที่สุด และการเพิ่มฮีลิกซ์จะทำให้แรงลดลงทั้งในลูปแบบเปิดและลูปแบบปิด ตารางที่ 5

Trade name	Open loop		Closed loop		Helical open loop		Helical closed loop	
	D/F	F.L.	D/F	F.L.	D/F	F.L.	D/F	F.L.
Australian	.46	430	.51	740	.71	350	.85	590
Oscar	.46	410	.51	690	.66	350	.81	570
Unitek	.44	450	.48	630	.70	390	.85	490
Unitek Hi-T	.43	530	.52	920	.67	570	.79	1060
Elgiloy red	.45	350	.53	670	.64	350	.80	510
Elgiloy green	.46	300	.49	550	.70	280	.87	420
Elgiloy yellow	.40	290	.44	410	.64	300	.81	370

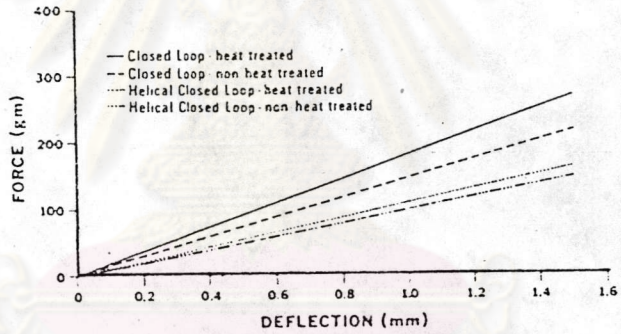
ตารางที่ 5 แสดงอัตราดีเฟลคชันต่อแรง (D/F) และขนาดแรงที่มากที่สุดในช่วงยืดหยุ่น (F.L.) เมื่อเปลี่ยนชนิดลวด และแบบของลูป

Williams, Caputo และ Chaconas (1978) ทำการทดลองในลวด Blue Elgiloy ขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว ที่มีแบบของลูปเป็นลูปแบบเปิดและแบบปิดทั้งมีฮีลิกซ์และไม่มีฮีลิกซ์ พบว่า

1. ลูปแบบปิดให้แรงได้น้อยกว่าลูปแบบเปิดเมื่อมีระยะการปรับลวด เท่ากัน
2. เมื่อเพิ่มฮีลิกซ์จะทำให้แรงลดลงทั้งในลูปแบบเปิด และลูปแบบปิด



รูปที่ 29 กราฟแสดงขนาดแรง(กรัม) และระยะการปรับลวด(มม.)ของลูปแบบเปิด ที่มีฮีลิกซ์และไม่มีฮีลิกซ์



รูปที่ 30 กราฟแสดงขนาดแรง(กรัม) และระยะการปรับลวด(มม.)ของลูปแบบปิด ที่มีฮีลิกซ์ และไม่มีฮีลิกซ์

ในปี ค.ศ.1974 Chaconas, Caputo และ Hayashi ทำการทดลองเปรียบเทียบผลของขนาดลวดและรูปร่างของลูปที่ใช้ดึงฟันเขี้ยวชนิดต่าง ๆ โดยทำการทดลองใน Squashed loop , Closed vertical loop , Closed vertical loop with helix และ Double closed loop with helix พบว่า (ตารางที่ 6)

1. ลวดขนาดเล็กให้แรงได้น้อยกว่าลวดขนาดใหญ่ ในทุกแบบของลูป
2. การเพิ่มความยาวลวดโดยการเปลี่ยนแบบของลูปจะทำให้แรงลดลง
3. ระยะการปรับลวดเพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงเพิ่มขึ้น ในทุกกลุ่มตัวอย่าง

Wire size (inches)	Activation (mm.)	Squashed loop	Closed vertical loop	Closed vertical loop with helix	Double closed loops with helix
	0.5	358	364	177	
0.017	1.0	637	650	385	
by	1.5	896	832	533	
0.025	2.0	1120	1040	728	
	2.5			858	
	0.5	356	338	188	
0.017	1.0	624	572	312	
by	1.5	832	831	455	
0.022	2.0	1025	1040	572	
	2.5			715	
	0.5	369	255	104	
0.016	1.0	554	468	273	
by	1.5	740	702	390	
0.022	2.0	870	909	520	
	2.5			624	
	0.5	260	182	112	
0.016	1.0	395	403	234	44
by	1.5	520	533	325	
0.016	2.0	624	689	417	97
	2.5		832	494	
	3.0			572	137
	3.5				
	4.0				156
	4.5				
	5.0				253

ตารางที่ 6 แสดงขนาดแรง (กรัม) เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดลวด, แบบของลูป และระยะการปรับลวด (มม.)

ในปี ค.ศ.1980 Lane และ Nikolai ทำการศึกษาลวดเหลี่ยมเหล็กกล้าไร้สนิม ของ 2 บริษัท ในแบบของลูป 3 แบบ ที่มีความสูงของลูป 7 มม. ได้แก่

Tear-drop ใช้ลวด 15 มม.

Simple reverse closing ใช้ลวด 18 มม.

Reverse closing with helix ใช้ลวด 25 มม.

จากตารางที่ 7 พบว่า 1. ลวดขนาดใหญ่ให้แรงได้มากกว่าลวดขนาดเล็กของทั้ง 2 บริษัท

2. ลวดต่างบริษัทกันจะมีคุณสมบัติในการให้ขนาดแรงจากการปรับลวดต่างกัน โดยลวดบริษัท Unitek ให้แรงได้มากกว่าลวดจากบริษัท TP

3. ลูปแบบต่างกันจะให้ขนาดแรงจากเครื่องมือต่างกัน โดย Simple reverse closing loop ให้แรงได้มากที่สุด รองลงมาเป็น Tear drop loop และ Reverse closing with helix จะให้แรงน้อยที่สุด ในทุกขนาด และทั้ง 2 บริษัท

นอกจากนี้ระยะการปรับลวดโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวรจะขึ้นอยู่กับขนาดลวดและแบบของลูป โดยขนาดลวดทำให้ระยะการปรับลวดนี้ลดลง (ตารางที่ 8)

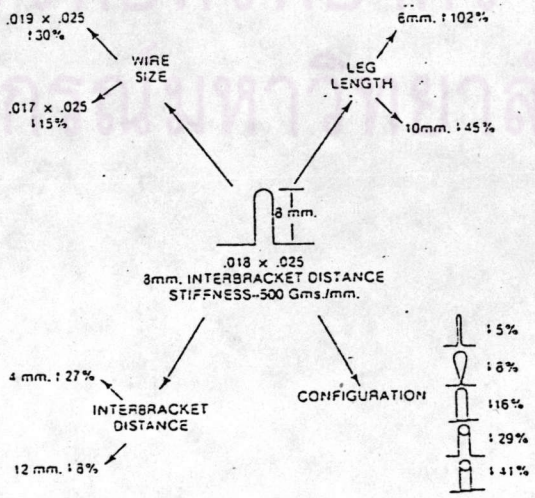
Loop	TP		Unitek	
	.019x.026"	.021x.027"	.019x.025"	.021x.025"
Tear-drop loop	365	576	448	591
Simple reverse closing loop	436	588	500	726
Reverse closing with helix loop	288	394	380	489

ตารางที่ 7 แสดงความแข็งตึง(กรัม/มม.) ของลวดบริษัท TP และ Unitek เมื่อมีแบบของลูป และขนาดลวดต่างกัน

Loop	TP		Unitek	
	.019x.026"	.021x.027"	.019x.025"	.021x.025"
Tear-drop loop	1.7	1.3	1.8	1.4
Simple reverse closing loop	1.9	1.8	2.6	2.0
Reverse closing with helix loop	2.4	2.2	3.0	2.8

ตารางที่ 8 แสดงระยะการปรับลวดที่มากที่สุด(มม.) ของลวดบริษัท TP และ Unitek เมื่อมีแบบของลูป และขนาดลวดต่างกัน

Proffit และคณะ (1986) กล่าวถึงขนาดลวด, ความสูงของลูป, แบบของลูป และระยะระหว่างแบรกเกต มีผลต่อขนาดแรง ตามรูปที่ 31



รูปที่ 31 แสดงสิ่งที่มีผลต่อขนาดแรงเป็นเปอร์เซนต์

Ricketts และคณะ (1980) ศึกษาแบบของลูปและระยะการปรับลวดคอนแทรกชัน อาร์ช มีผลต่อขนาดแรง ดังนี้

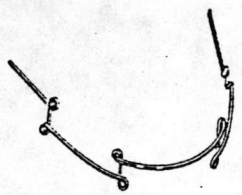
1. Mandibular Contraction utility arch

ระยะการปรับลวด 1 มม. ให้แรง 50 กรัม

2 มม. ให้แรง 150 กรัม

3 มม. ให้แรง 230 กรัม

4 มม. ให้แรง 300 กรัม



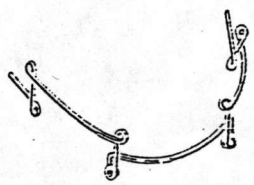
2. Maxillary Contraction utility arch

ระยะการปรับลวด 1 มม. ให้แรง 50 กรัม

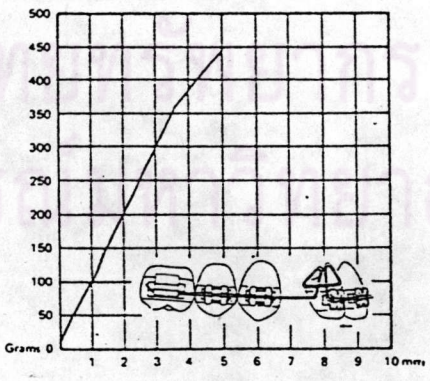
2 มม. ให้แรง 90 กรัม

3 มม. ให้แรง 140 กรัม

4 มม. ให้แรง 260 กรัม



นอกจากนี้ยังพบว่าลวดคอนแทรกชัน อาร์ช ขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว ชนิดโคบอลต์ - โครเมียม แบบ Double delta loop มีขนาดแรงเพิ่มขึ้น เมื่อระยะการปรับลวดเพิ่มขึ้น ตามรูปที่ 32 และแนะนำให้มีระยะการปรับลวดครั้งละ 2 มม.



รูปที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดแรง - ระยะการปรับลวดของลวดคอนแทรกชัน อาร์ช แบบ Double delta loop

3. <u>แบบของการเคลื่อนฟัน</u> (Type of Tooth Movement)

(Nikolai, 1985; Proffitt และคณะ, 1986)

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการเคลื่อนฟัน 3 แบบ ได้แก่

1. การเคลื่อนที่แบบทิปปิง (Tipping Movement)

เป็นการเคลื่อนตัวฟัน และรากฟันไปในทิศทางตรงข้ามกัน ประกอบด้วย

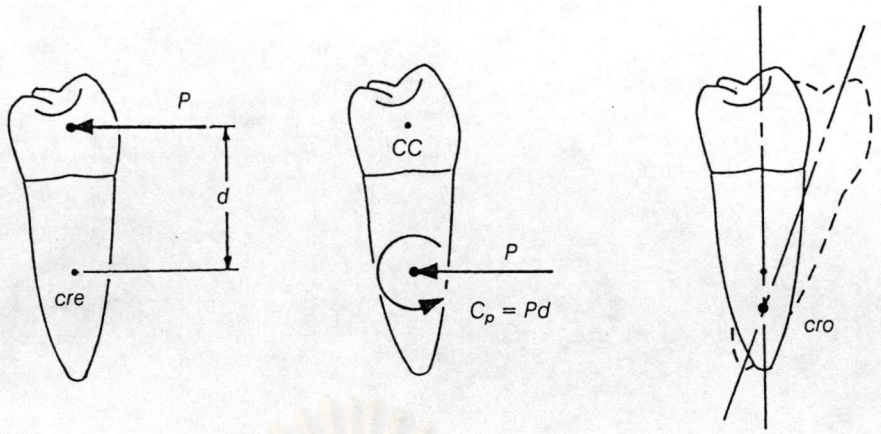
Force system : เป็นการเคลื่อนของฟันที่เกิดจากแรงลัพธ์เพียงแรงเดียว กระทำกับตัวฟัน โดยไม่ผ่าน Center of resistance (CRE) (รูปที่ 33 ก)

Couple-Force ratio : C/F = 0 : มีแรงเพียงแรงเดียว โดยไม่มีแรงคู่ควบกระทำกับฟัน (แรงคู่ควบ = 0)

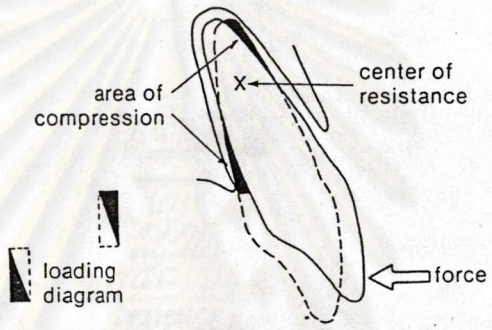
Center of rotation (CRO) : อยู่ประมาณรอยต่อ Middle Third กับ Apical Third ของรากฟัน ซึ่ง Gottlieb และ Orban อ้างถึงใน Gianelly และ Goldman (1971) กล่าวว่า เอนฮิด ปริทันต์ (periodontal ligament) บริเวณนี้จะแคบที่สุด และเนื่องจากการละลายของกระดูกขึ้นกับขนาดของแรงกดที่กระทำต่ออวัยวะปริทันต์ ดังนั้น การเคลื่อนฟันแบบนี้จะเกิดแรงกดบริเวณ CRO น้อยที่สุด มีการกระจายของแรง = 0

การตอบสนองของอวัยวะปริทันต์ : เกิดขึ้นบริเวณที่ถูกแรงกด (Pressure area) 2 ตำแหน่งอยู่คนละด้านของเบ้ารากฟัน (Socket) โดยด้านหนึ่งอยู่บริเวณสันกระดูกเบ้าฟัน (Alveolar bone crest) อีกด้านหนึ่งอยู่บริเวณปลายราก ในทำนองเดียวกันก็จะเกิดบริเวณที่ถูกแรงดึง (Tension area) ขึ้นอีก 2 ตำแหน่งด้วยเช่นเดียวกัน (รูปที่ 33 ค)

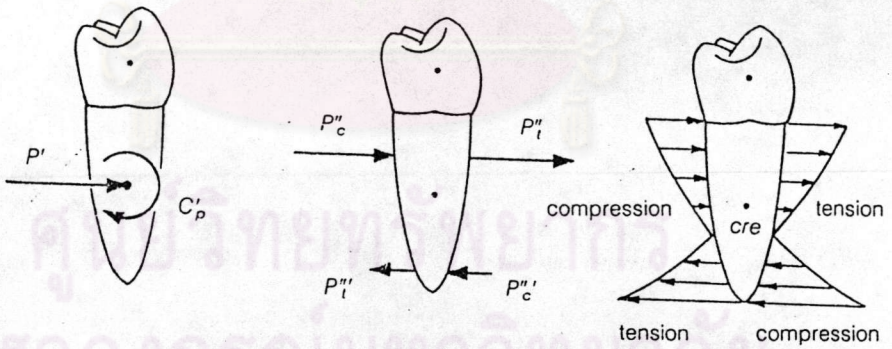
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 33 แสดงการเคลื่อนฟันแบบทิปปิง

ก. Force system

ข. พื้นที่ของกระดูกเบ้ารากฟันที่มีแรงกระทำ

ค. การกระจายของแรงในส่วนของอวัยวะปริทันต์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การเคลื่อนที่แบบบอดิลี (Bodily Movement)

เป็นการเคลื่อนที่ของตัวฟันและรากฟันไปในทิศทางเดียวกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของเบ้ารากฟันตลอดทั้งด้าน โดยด้านหนึ่งเป็นด้านที่มีแรงกด อีกด้านหนึ่งเป็นด้านที่มีแรงดึง ประกอบด้วย

Force system : เป็นการเคลื่อนที่ของฟันโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแนวแกนฟัน เกิดจากแรงเดียวกระทำกับฟันผ่าน CRE ของฟัน พอดีแต่ในทางคลินิกไม่สามารถทำได้ เนื่องจาก CRE อยู่ในรากฟันจึงต้องมีแรงคู่ควบเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อให้มีแรงผ่านจุด CRE (รูปที่ 34 ก)

โมเมนต์ของแรงคู่ควบ = โมเมนต์ของแรงเดียวที่กระทำ แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน

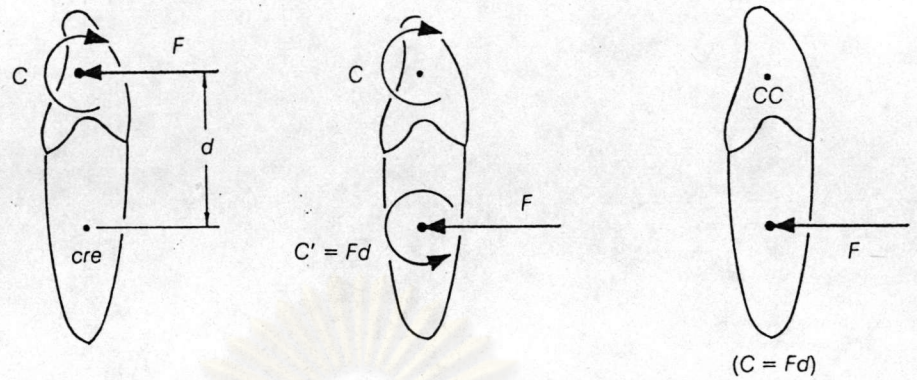
$M_{cre} = C' + C = 0$

Couple- Force ratio : C/F = d (ระยะจากแบกเกตถึงจุด CRE โดยปกติ d = 8-10) (Burstone, 1976; Proffitและคณะ, 1986)

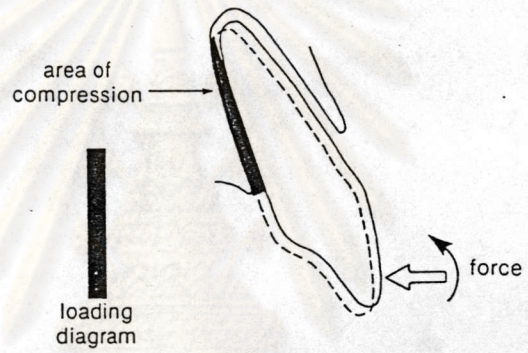
Center of rotation : อยู่ที่อนันต์ (Infinity , α)

การตอบสนองของอวัยวะปริทันต์ : มีการกระจายของความเครียด (Stress) ไม่สม่ำเสมอ เพราะรากเป็นรูป Taper จุดที่มีความเครียดที่สุด คือ บริเวณปลายรากฟัน เนื่องจากปลายรากฟันมีพื้นที่น้อยที่สุด (รูปที่ 34 ค)

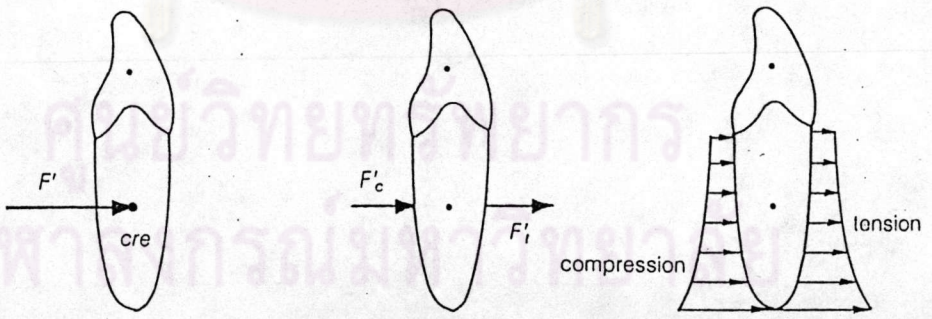
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 34 แสดงการเคลื่อนฟันแบบบอดิลี

ก. Force system

ข. พื้นที่ของกระดูกเบ้ารากฟันที่มีแรงกระทำ

ค. การกระจายของแรงในส่วนของอวัยวะปริทันต์

3. การกดฟัน(Intrusive Movement)

เป็นการเคลื่อนฟันไปทางปลายราก จะเกิดความดันขึ้นที่ Principal fibers และเกิดการผ่อนคลาย (relaxation) ของเส้นใยเหงือกเหนือกระดูกเบ้าฟัน (supra alveolar fibers) ดังนั้นจะเกิดการละลายของกระดูกตลอดด้านในของเบ้ารากฟันรวมทั้งบริเวณยอดของกระดูกเบ้ารากฟัน และเนื่องจากเกิดการผ่อนคลายของเส้นใยเหงือกเหนือกระดูกเบ้าฟัน ดังนั้นโอกาสคืนกลับจึงน้อยลง โดยเฉพาะในผู้ป่วยอายุน้อย

การเคลื่อนฟันในลักษณะนี้ ขึ้นกับ ขนาดของแรง และลักษณะทางกายวิภาค เช่น ความกว้างของ Periodontal space และความหนาแน่นของกระดูกเบ้ารากฟัน โดยทั่วไปจะได้ผลดี ถ้ากระทำในผู้ป่วยที่ยังมีการเจริญเติบโตอยู่ เพราะสามารถกดฟันซี่ที่ต้องการได้ ขณะเดียวกันจะมีการดึง(extrude) ฟันที่ใช้เป็นหลักยึด(Anchorage) ร่วมกับเกิดการเจริญเติบโตในแนวดิ่งของกระดูกเบ้าฟัน(alveolar process) บริเวณนั้นด้วย ในผู้ป่วยอายุมากต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพราะการเคลื่อนฟันชนิดนี้มีโอกาสทำให้เกิดการละลายของรากฟันบริเวณ 1/3 ของปลายรากฟันได้ เนื่องจากมีแรงกระทำในบริเวณที่แคบมาก คือ ปลายรากฟัน จึงต้องใช้แรงให้น้อยที่สุด(Bustone, 1977) จากDellinger's Research ปี ค.ศ.1967 ที่ศึกษาในลิง อ้างถึงใน Burstone (1977) พบว่า เมื่อใช้แรงมากในการกดฟันจะเคลื่อนน้อยลง แต่รากฟันละลายได้มากขึ้น ประกอบด้วย

Force system : เป็นการเคลื่อนที่ของฟันในแนวดิ่งตามแนวแกนฟัน เกิดจากแรงกระทำผ่าน CRE ตามแนวแกนฟัน แต่ในทางคลินิกไม่สามารถทำได้จึงต้องมีแรงคู่ควบเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อให้มีแรงผ่านจุด CRE ตามแนวแกนฟัน (รูปที่ 34 ก)

โมเมนต์ของแรงคู่ควบ = โมเมนต์ของแรงเดียวที่กระทำกับฟัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน

$$M_{cre} = C + C_1 = 0$$

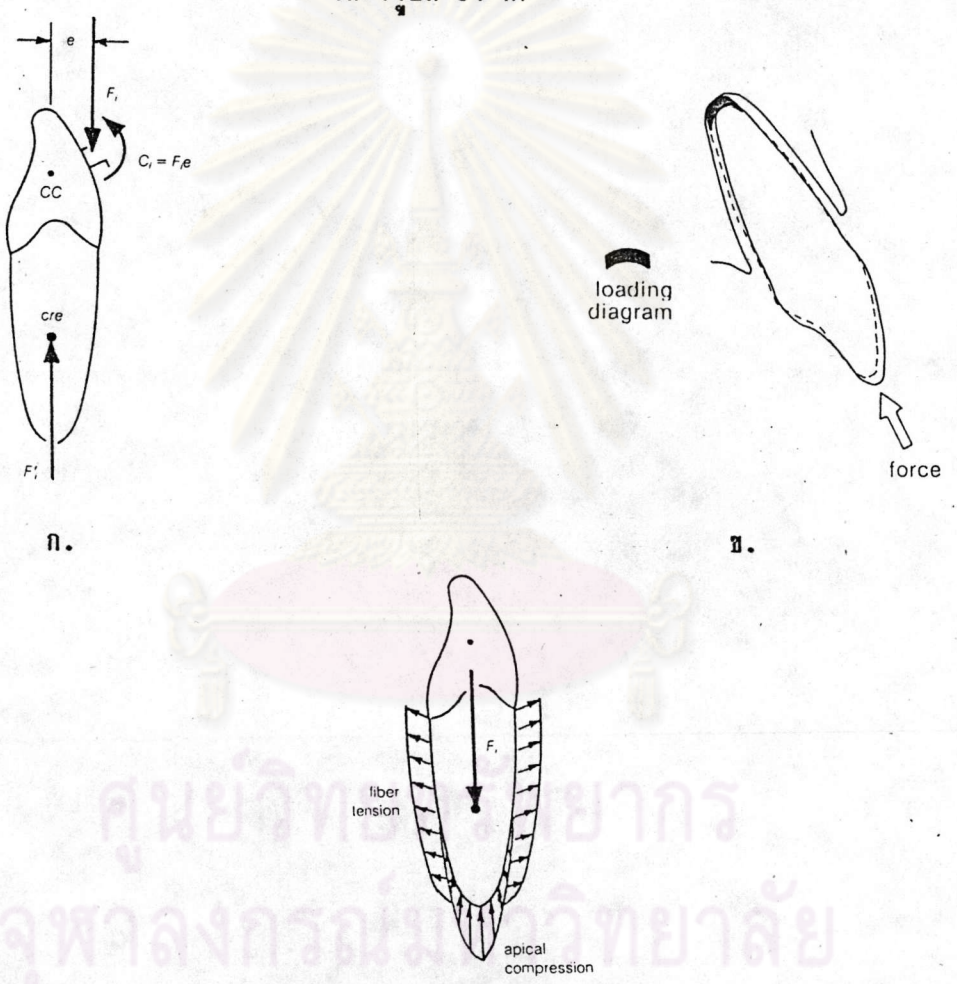
Couple-Force ratio : C/F = 0.5 ของความกว้างของตัวฟัน (Faciolingual crown width) (e)

$$M_{cre} = C_1 - F_1 e = 0$$

$$C_1 = F_1 e$$

Center of rotation : อยู่ที่อนันต์ (Infinity , α)

การตอบสนองของอวัยวะปริทันต์: Principle fiber ค่อนข้างเหมือนกันโดยตลอดราก แต่มีความดันที่ปลายรากฟันค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นบริเวณเล็กๆ อวัยวะปริทันต์อยู่ด้านข้างจะตอบสนองแบบแรงเฉือน เกิดการละลายของกระดูกที่ปลายรากฟัน ทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้ (รูปที่ 34 ค)



รูปที่ 35 แสดงการเคลื่อนฟันแบบกดฟัน

ก. Force system

ข. พื้นที่ของกระดูกเบ้ารากฟันที่มีแรงกระทำ

ค. การกระจายของแรงในส่วนของอวัยวะปริทันต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการศึกษาของ Schwarz ในปี 1932 (Hixonและคณะ 1969; Gianelly และGoldman, 1971; Crabbและ Wilson, 1972; จินตนา ศิริชุมพันธ์, 2533) กล่าวว่า ขนาดแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่ของฟันต้องไม่ทำให้เกิดการตีบ (Occlude) ของหลอดเลือดที่มาเลี้ยงอวัยวะปริทันต์โดยแรงดังกล่าว ต้องอยู่ระหว่าง 20 - 26 กรัม/ตารางเซนติเมตรของพื้นที่ผิวรากฟันหรือ 15 - 20 มม.ปรอท ซึ่งเป็นแรงดันของเลือดในหลอดเลือดฝอย และจะทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้ประมาณ 1 มม./เดือน ถึงแม้จะมีค่าแตกต่างกันบ้างในแต่ละบุคคล ซึ่งStandard British Textbook ก็เห็นด้วย ถ้าแรงมากกว่า 26 กรัม/ตารางเซนติเมตร จะทำให้เนื้อเยื่อปริทันต์ขาดเลือดมาเลี้ยงเกิดการตาย(เฉพาะส่วน) (Necrosis) ของเนื้อเยื่อได้

Oppenheim (1942) อ้างถึงในCrabbและWilson แนะนำให้ใช้แรงน้อยร่วมกับมีช่วงการพัก (periods of rest) เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อปริทันต์

Reitan (1947) กล่าวถึง การเพิ่มขนาดแรงมากขึ้นเพื่อเคลื่อนฟันแบบบอดิลี พบว่าไม่เกิดการละลายของรากฟันเพิ่มขึ้น

Hemley (1955) อ้างถึงใน Crabb และWilson กล่าวว่าแรงที่ใช้ต้องไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่มากกว่าระยะความกว้างของเนื่อเยื่อปริทันต์

Reitan (1956) อ้างถึงในCrabbและWilson แนะนำให้ใช้แรงเริ่มต้น 25กรัม ในผู้ใหญ่ และ 30-40 กรัม ในเด็กต่อมาให้แรงได้มากถึง 100-150 กรัม.

Jarabak และ Fizzell (1963) กำหนดขนาดแรงที่เหมาะสมคือ 2-2.5 กรัม ต่อตารางมิลลิเมตร ของพื้นที่ผิวกระดูกที่ติดกับรากฟันที่ถูกกดขณะเคลื่อนแบบทิปปิง

Tulley และ Campbell (1965) อ้างถึงในCrabb และ Wilson แนะนำให้ใช้ขนาดแรง 20-25 กรัม/ตารางเซนติเมตรของพื้นที่ผิวรากฟันของฟันรากเดียว ต่อมาในปี 1970 พื้นที่ผิวรากฟันดังกล่าว หมายถึง พื้นที่ผิวฟันส่วนที่มีการเคลื่อนที่ไปหรือ เรียกว่า Projected root area

Walther (1967) กล่างถึงใน Crabb และ Wilson กล่าวว่าการใช้ขนาดแรงน้อย ๆ ในช่วงแรกต่อมาจะสามารถเพิ่มขนาดแรงได้ถึง 50 กรัม. สำหรับการเคลื่อนฟันรากเดียว

Burstone และ Groves (1961) ศึกษาขนาดแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันหน้าบนแบบทิปปิง และเป็นแรงต่อเนื่อง (Continuous force) ในเด็ก 22 คนอายุเฉลี่ย 9 ขวบ ที่มีฟันหน้าบนยื่นโดยใช้Helical Tension spring ที่ให้แรงโดยเฉลี่ย 13 กรัมต่อมิลลิเมตร พบว่าขนาดแรงที่เหมาะสมที่ทำให้ฟันมีการเคลื่อนที่ในอัตราที่เหมาะสมที่สุด คือ แรงขนาด 50-75 กรัม สอดคล้องกับการศึกษาของ Reitan (1967)

Gianelly และ Goldman (1971) กำหนดแรงคงที่ในการเคลื่อนฟันหน้าบนแบบทิปปิงนั้นมีขนาดแรงที่เหมาะสมคือ 50-75 กรัม และ 325 กรัม สำหรับการเคลื่อนฟันหน้าบนทั้ง 4 ซี่ แบบบอดิลี

จากรูปที่ 33 ข, 34 ข และ 35 ข พบว่าพื้นที่ผิวที่มีแรงกระทำไม่เท่ากันดังนั้น แรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่แต่ละแบบจึงไม่เท่ากัน Reitan (1957) กล่าวว่า ในการเคลื่อนฟันแบบบอดิลีมักจะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวรากฟันทั้งหมด แต่การเคลื่อนที่แบบทิปปิงจะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวรากฟันบางส่วนเท่านั้น ทำให้ต้องใช้แรงในการเคลื่อนที่แบบบอดิลีมากกว่าทิปปิง สอดคล้องกับ Hocevar (1981) ที่กล่าวว่า การเคลื่อนฟันแบบทิปปิงต้องการแรงน้อยกว่าแต่เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าแบบบอดิลี

<u>สิ่งที่มีอิทธิพลต่อขนาดแรงที่เหมาะสม</u>

(จินตนา ศิริชุมพันธ์, 2533; Reitan, 1957; Gianelly และ Goldman, 1971; Burstone, 1977; Nikolai, 1985; Proffit และคณะ, 1986)

1. ขนาดของฟันแต่ละซี่ โดยขึ้นอยู่กับรูปร่างและความยาวของรากฟัน
2. ชนิดของการเคลื่อนฟัน
3. ความแตกต่างในแต่ละบุคคล เช่น ความหนาแน่นและลักษณะการเรียงตัวของกระดูก
4. อายุ

ข้อเสียของการใช้ขนาดแรงที่ไม่เหมาะสม

ถ้าให้แรงมากกว่าแรงที่เหมาะสม จะทำให้เกิด

ก. อัตราการเคลื่อนที่ลดลง (Hixon และคณะ, 1969)

ข. ความเจ็บปวด และฟันโยกมาก (Burstone, 1982)

ค. รากฟันละลาย/หรือ ฟันตาย (Pulp necrosis)

ง. การเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

จ. หลักยึดมีการเคลื่อนที่ (Burstone, 1982)

ถ้าให้แรงน้อยกว่าแรงที่เหมาะสม จะทำให้เกิด

ก. ฟันไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ช้ากว่ากำหนด

ข. การเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

	การเคลื่อนฟันแบบทิปปิง (กรัม)	การเคลื่อนฟันแบบบอดิลี (กรัม)	การกดฟัน (กรัม)
Burstone (1961, 1977)	50-75		25
Reitan(1967)	50-75		
GianellyและGoldman (1971)	50-75	150	15-50
Rickettsและคณะ (1980)			15-25
Proffitและคณะ (1986)	50-75	100-150	15-25

ตารางที่ 9 แสดงสรุปขนาดแรงที่เหมาะสมของการเคลื่อนฟันแบบทิปปิง, แบบบอดิลี และการกดฟัน

<u>สรุป</u>

ในการเคลื่อนฟันหน้าบนโดยใช้ลวดคอนแทรกชัน อาร์ชนั้นมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อขนาดแรง ได้แก่ ชนิดของลวด, ขนาดลวดและแบบของลูปซึ่งเกี่ยวข้องกับความยาวลวด ปัจจัยที่มีผลมากที่สุด คือ ขนาดลวด แต่มีข้อจำกัดจากขนาดสลอตของแบรกเกตที่ใช้ ดังนั้น แบบของลูปของลวดคอนแทรกชัน อาร์ช จึงมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดแรง มีผู้วิจัย หลายท่านที่กล่าวถึงขนาดแรงที่เหมาะสมของลวดคอนแทรกชัน อาร์ช ในการเคลื่อนฟันหน้าบน และการออกแบบลูปที่ส่งผลต่อการเคลื่อนฟันในลักษณะต่าง ๆ เช่น การเคลื่อนฟันแบบทิปปิงหรือ การเคลื่อนฟันแบบบอดิลี การเลือกใช้ลวดคอนแทรกชัน อาร์ช จึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัย ดังกล่าว เพื่อให้ได้ขนาด และทิศทางของแรงที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย