บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้าบทความในอดีต ไม่ค่อยพบข้อมูลที่เกี่ยวกับสปริงขดลวดชนิดเปิดมากนัก งานชิ้นแรกสุดที่มีลักษณะคล้ายขดลวดเป็นงานของ Byrnes ในปี 1886 เขาเชื่อมแผ่นทองที่พับไว้ระหว่างตัวยึดสองด้าน ทำให้ช่องกลางยึดเปิด-ปิดได้ที่รอยพับนั้น((1919 quoted in Born,1955)

ในปี1934 Arnold ได้พิมพ์เอกสารอธิบายการใช้ขดลวดกับลวดโค้งทางด้านใกล้ลิ้นเพื่อขยายขากรรไกร และสังเกตว่าแรงที่เกิดจากขดลวดที่ทำจากโลหะมีค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวด 0.010 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวด 0.040 นิ้ว มีค่าเท่ากับแรงจากขดลวดที่ทำจากเหล็กกล้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวด0.007หรือ 0.008 นิ้ว (1934 quoted in Born,1955)

ในปีเดียวกัน Johnson ศึกษาสปริงขดลวดชนิดเปิด ขาใช้แรงอัด 4 ออนซ์ ที่ฟันกรามโดยใช้สปริงขดลวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวด 0.009 นิ้ว และ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวด 0.030 นิ้ว โดยบีบสปริง 1/32 นิ้ว ต้านกับแรงของแรงอัดจากอิลาสติก 5 หรือ 6 ออนซ์ ที่ใช้ระหว่างขากรรไกรบนและล่าง (1934 quoted in Born, 1955)

ในปี 1941 Johnson ได้ตีพิมพ์บทความเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของสปริงขดลวดชนิดเปิด ที่เป็นพื้นฐานของการใช้สปริงขดลวดในทุกวันนี้ เขาได้อธิบายถึงปัจจัย ที่มีผลต่อแรงจากสปริงขดลวดชนิดเปิด ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเหล่านี้กับการแสดงออกของสปริง ดังนี้ (1941 quoted in Born,1955)

1. สปริงที่ทำจากโลหะมีค่า มีประสิทธิภาพเพียงครึ่งหนึ่งของสปริงที่ ทำจากสเตนเลสสตีล

2. สปริงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวดเท่ากัน ถ้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเล็กลง แรงจะน้อยลงด้วย

3. สปริงที่มีขนาดยาวขึ้น จะให้แรงที่น้อยลงเมื่อกดสปริงเป็นระยะเท่า ๆ กัน

4. สปริงที่พอดีกับลวดโค้งมากเกินไป จะติด และสูญเสียประสิทธิภาพไปกับแรงเสียดทาน

ในปี 1944 Oppenheim ได้ทำการทดลอง 3 ครั้งกับลิง Macaca rhesus โดย 2 ใน 3 ของการทดลองได้ใช้ลวดโค้งแบบเรียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.030 นิ้ว ใส่ในท่อข้างแก้มที่เชื่อมติดบริเวณฟันกรามและกรามน้อย และผูกเพื่อเชื่อมฟันหน้ากับลวดเหล็กกล้าที่มัดอยู่ พบว่าสปริงขดลวดที่ให้แรงคงที่เป็นสปริงที่ทำจากเหล็กกล้า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวด 0.010 นิ้ว ยาว 1 ซม. แต่ละขดลวดห่างกัน 1 มม. ถูกอัดอยู่ระหว่างปลายด้านใกล้กลางของท่อกับลวดที่เชื่อมกับลวดโค้งเป็นตัวกั้นสปริง ในระยะทางต่าง ๆ กัน คือ ระยะเท่ากับ 1/2 ของความยาวสปริงเริ่มต้น และ 2/3 ของความยาวเริ่มต้น เมื่อใส่สปริงระหว่างท่อกับ ตัวกั้น วัดแรงได้ 180 กรัม และ 120 กรัม ตามลำดับ เมื่อใช้สปริง 2 ตัว ตัวละข้าง แรงรวมที่ฟันได้รับจะเป็น 360 และ 240 กรัมตามลำดับ แต่เมื่อใช้สปริงไปนาน ๆ สปริงจะเริ่มล้าลงไปเรื่อย ๆ เนื่องจากตัววัสดุเองและช่วงเวลานานของการบีบตัว หลังจากนั้นห้าวัน สปริงตัวที่ให้แรง 120 กรัม มีความยาวเหลือเพียง 8 มม. ดังนั้น การใช้งานในปากผู้ป่วยจึงมีแต่ค่าประมาณ เพราะไม่สามารถวัดแรงขณะสปริงอยู่ในปากได้ และ ปฏิกริยาของผู้ป่วยแต่ละรายก็แตกต่างกันด้วย ในการใช้งานจึงมีเกณฑ์แต่เพียงว่าไม่ทำให้ฟันเจ็บหรือโยก เท่านั้น (1944 quoted in Born, 1955)

ในปี 1947 Nagamoto เขียนบทความอธิบายวิธีการทำสปริงขดลวดชนิดปิดแบบเดี่ยวและคู่ แต่ผลการทดลองคล้ายกับสปริงขดลวดชนิดเปิด และเป็นสปริงที่มีความละเอียดมาก (1947 quoted in Born, 1955)

ต่อมาในปี 1951 Bell มีบทความเกี่ยวกับสปริงขดลวด และ แรงอัดของอิลาสติก เขาสรุปว่า ถ้าต้องการแรงมาก ๆ ควรเลือกสปริงที่ทำจากลวดขนาดใหญ่ และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวดขนาดเล็ก โดยระวังการสูญเสียแรงไปกับความเสียดทาน เขาบีบสปริงครึ่งหนึ่งของความยาวก่อนทดสอบเพื่อให้ได้แรงคงที่ ทดสอบกับสปริงยาว 20 30 และ 40 มม.และ พบว่าการเคลื่อนที่โดยใช้สปริงยาว 40 มม. ได้ผลดีที่สุด เมื่อสปริงสั้นลง แรงที่วัดได้ต่อมิลลิเมตรเพิ่มขึ้น แต่ฟันมีการเคลื่อนที่น้อยลง (Bell, 1951)

จากนั้นในปี 1955 Born ได้พิมพ์บทความเกี่ยวกับ ลักษณะของสปริงขดลวดชนิดเปิด เขาทดลองกับสปริงหลายแบบที่มีขนาดลวด ขนาดช่องว่างในขดลวดต่าง ๆ กัน และใช้ลวดโค้งขนาดต่าง ๆ กัน โดยกดสปริงที่ความยาวต่าง ๆ กัน จากชนิดของวัสดุที่มีใช้ในช่วงเวลานั้นเขาได้สรุปเกณฑ์การเลือกใช้สปริงขดลวดว่า เราไม่สามารถกำหนดแรงได้ ต้องใช้ความรู้สึกเจ็บและการโยกของฟัน แต่มีผู้แนะนำว่าการปรับแรงในผู้ป่วยทุกรายควรกดสปริงเป็นระยะทาง 1/4 นิ้ว หรือ 1/32 นิ้ว

Born แสดงตารางความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นผ่าศูนย์กลางลวด เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวด ปริมาณการกดสปริงและแรงที่ได้ และ ได้อธิบายวิธีการใช้สปริงขดลวด โดยพันลวดรอบแกน และยืดออก 2 เท่า ของความยาวเดิม ปลายข้างหนึ่งของสปริง ยึดติดกับแบรกเก็ต หรือตัวหยุดบนลวดโค้ง ปลายอีกข้างหนึ่งพับไว้ ให้สามารถปรับแรงได้ภายหลัง Born สนับสนุนว่า การเคลื่อนฟันควรใช้แรงขนาดต่ำ ๆ เป็นแรงชนิดต่อเนื่อง และแรงนั้นสามารถได้มาจากการใช้สปริงขดลวดที่ยืดออกตามวิธีดังกล่าว

Born(1955) สรุปว่า สปริงขดลวดจะให้แรงต่อเนื่องที่สม่ำเสมอ เมื่อใช้สปริงยาวขึ้น สามารถปรับแรงได้ถูกต้องมากขึ้น เพราะ สามารถปรับความยาวได้มาก เพื่อให้ได้แรงขนาดที่ต้องการ ไม่จำเป็นต้องปรับแรงบ่อย ๆ เมื่อต้องใช้สปริงที่มีความยาวจำกัด สามารถปรับขนาดของแรงโดยเลือกสปริงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางลวดขนาดต่าง ๆ ให้ได้แรงเท่าที่ต้องการ

ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1950 ก็ไม่ปรากฏว่ามีข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวกับลักษณะของสปริงขดลวดชนิดเปิดอีก แม้จะมีการทดลองเกี่ยวกับสปริงขดลวดชนิดปิดโดย Webb, Caputo และ Chaconas ในปี 1978 และงานของ Chaconas กับ Caputo ในปี 1978 ผลการทดลองเป็นผลของขนาดลวด ขนาดช่องว่างภายในขดลวด และชนิดของโลหะที่มีผลต่อแรงของสปริงขดลวดชนิดปิด (Chaconas,1984)

ต่อมาในปี 1984 Chaconas ได้ทดสอบสปริงขดลวดชนิดเปิดโดยใช้เครื่องทดสอบอินสตรอน ลวดที่เป็นแกนกลาง เป็นลวดกลมขนาด 0.016 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.018 x 0.022 นิ้ว พบว่าแรงจะลดลงเมื่อขนาดช่องว่างภายในขดลวดเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อขนาดช่องว่างในขดลวดลดลง แรงที่ได้นอกจากจะเพิ่มขึ้นแล้ว แรงที่สูงที่สุดยังเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อกดสปริงเท่า ๆ กันและทดสอบกับสปริงทุกชนิดได้ผลเช่นเดียวกัน ผลของขนาดและรูปร่างของลวดโค้งไม่มีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบกับสปริงที่มีขนาดช่องว่างใน ขดลวดใช้กับลวดเหลี่ยมจะให้ระยะการกดมากกว่าลวดกลมขนาดเล็ก

ผลการทดลอง จากสปริงที่มีขนาดช่องว่างภายในขดลวดเท่ากัน สปริงที่ทำจากลวดเส้นใหญ่กว่า จะให้แรงมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบแรงจากสปริงที่มีขนาดลวดเท่ากันและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ในขดลวดเท่ากัน แต่เป็นสปริงที่ผลิตโดยผู้ผลิตต่างกัน พบว่าลวดต่างชนิดกัน แม้จะมีขนาดเท่ากัน แต่แรงที่ ได้จะไม่เท่ากัน

ในระหว่างที่มีการเคลื่อนฟัน โดยใช้สปริงที่มีความแข็งตึงต่ำ ๆ แรงที่ได้จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังนั้น ควรเลือกใช้สปริงที่มีขนาดช่องว่างภายในขดลวดขนาดใหญ่และทำจากลวดขนาดเล็กในงาน ทางทันตกรรมจัดฟัน เนื่องจากแรงที่ได้จะคงที่มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม

ขนาดของสปริงขดลวดชนิดเปิดที่จะใช้ต้องพิจารณาถึงขนาดของแรงที่ต้องการด้วย(Chaconas, 1984)

ในการใช้สปริงขดลวดชนิดเปิดนี้ ในปี 1951 Bellได้แนะนำให้กดสปริงครึ่งหนึ่งของความยาวเริ่มต้นเพื่อให้ได้แรงที่คงที่ โดยสภาวะในช่องปากและระยะเวลานานในการใช้สปริงจะไม่มีผลไปเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของสปริงขดลวด ต่อมามีการแนะนำให้กดสปริงประมาณ 1/3 ของความยาวเริ่มต้น แต่ จากการทดลองของ Chaconas ในปี 1984 พบว่า เมื่อกดสปริงเป็นระยะทางดังกล่าว แรงที่ได้จะมีช่วงกว้างขึ้น อยู่กับชนิดของลวด บางครั้งได้แรงมากถึงขั้นเป็นแรงออร์โทปีดิก ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้เคลื่อนฟัน ดังนั้น ผู้ใช้จึงควรระวังขนาดของแรงที่จะได้จากการกดสปริง เพื่อให้แน่ใจว่าได้แรง ที่มีขนาดตามต้องการมาใช้เคลื่อนฟัน

สปริงขดลวดที่มีช่องว่างภายในขดลวดขนาดใหญ่ และใช้ลวดโค้งเป็นลวดเหลี่ยมสามารถออกแรงกดได้เป็นระยะทางที่ยาวกว่า เมื่อเทียบกับลวดโค้งที่เป็นลวดกลม ซึ่งตรงกับความจริงที่ว่า เมื่อใช้ลวดเหลี่ยม สปริงจะโค้งงอน้อยกว่าลวดกลม และผลนี้จะมากขึ้นเมื่อช่องว่างภายในขดลวดโตขึ้นในปี 1984 Chaconas พบว่า สปริงขดลวดชนิดเปิดที่ ขนาดช่องว่างและขนาดลวดเท่ากัน สปริงโครมอัลลอยมีความแข็งมากที่สุด สปริงเอลจิลอยมีความแข็งน้อยที่สุด ส่วนสปริงเพอมาโครมและไฮ-ที อยู่ในระดับกลาง

เนื่องจากความแตกต่างของมุมพิทช์ หรือระยะระหว่างแต่ละขดลวด จากแต่ละบริษัทไม่เท่ากัน จากความรู้เบื้องต้นทางกลศาสตร์ชีวภาพทราบว่า สปริงที่มีจำนวนขดลวดมากจะให้แรงขนาดน้อย และให้แรงที่ เหมาะสมที่สุดในการเคลื่อนฟัน การวิจัยของ Chaconas พบว่า สปริงขดลวดชนิดเปิดที่มีมุมพิทช์ขนาดเ เล็กที่สุด(เอลจิลอย) จะให้แรงน้อยกว่าสปริงที่มีมุมพิทช์ขนาดโตขึ้น (ออร์มโก) (Chaconas,1984)

จากรายงานของ Miura ในปี 1986 กล่าวถึง คุณสมบัติที่ดีเลิศของโลหะแจแปนนีสนิกเกิลไททาเนียม เมื่อนำมาใช้เป็นลวดโค้ง พบว่าได้แรงคงที่ เพราะมีคุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติก นอกจากนั้นยังไม่มีการเปลี่ยนรูปถาวรอีกด้วย เนื่องจากมีคุณสมบัติสปริงตัวกลับที่ดีเลิศและจากงานวิจัยของ Miura ในปี 1988 แสดงว่า ลวดสามารถถูกดัด และเปลี่ยนแปลงแรงกดให้มากน้อยตามต้องการได้ โดยไม่สูญเสียคุณสมบัติทางกลศาสตร์ไป ด้วยขบวนการผ่านความร้อน

จากคุณสมบัติที่ดีเลิศดังกล่าว จึงมีการนำลวดแจแปนนีสไนไท มาผลิตเป็นสปริงขดลวดชนิดปิดและชนิดเปิด Miura ได้ทดสอบสปริงดังกล่าวในปี 1988 ด้วยเครื่องมือออโตกราฟมะชีน ใช้โหลดเซลขนาดสูงสุด 1 กิโลกรัม สำหรับสปริงขดลวดชนิดเปิดทำการทดสอบแรงอัด โดย ใช้สปริงขดลวดชนิดเปิดยาว 50 มม. ขนาดลวด 0.009 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

ในขดลวด 0.030 นิ้ว มีแกนกลางขนาดครึ่งหนึ่ง ของช่องว่างในขดลวด กดด้วยความเร็ว 10 มม./นาที ที่อุณหภูมิ 37 ± 1°C การทดสอบเปรียบเทียบสปริงขดลวดที่ทำจากโลหะแจแปนนีสไนไท สเตนเลสสตีล และโคบอลต์-โครเมียม-นิกเกิล พบว่า สปริงขดลวดชนิดเปิดที่ทำจากโลหะอื่นเกิดการเสียรูปอย่างถาวรเมื่อถูกกดจนขดลวดชิดกัน ในขณะที่โลหะผสมแจแปนนีสไนไทให้แรงที่คงที่ และไม่เกิดการเสียรูปถาวร

นอกจากนั้นสปริงขดลวดชนิดสเตนเลสสตีล จะให้กราฟโหลด-ดีเฟลคชัน เป็นความสัมพันธ์เส้นตรงจนถึงขีดยืดปฏิภาคที่อยู่ต่ำกว่าขีดยืดหยุ่นเล็กน้อย ซึ่งความสัมพันธ์นี้สามารถแสดงด้วยตัวเลขตามสูตรดังนี้

$$F = \frac{Gd^4x}{8D\,N}$$

เมื่อ d = เส้นผ่าศูนย์กลางลวด

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องว่างภายในขดลวด

N = จำนวนขดลวด

G = โมดูลัสเฉือน

x = หน่วยการยืดหดตัว หรือความเครียด

F = แรง

อย่างไรก็ตาม สูตรนี้ไม่ได้นำมาใช้ในทางคลินิก เนื่องจากสูตรนี้คำนวณจากพฤติกรรมยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ของสปริงขดลวดที่ไม่มีความเครียดเลยในตอนเริ่มต้น แต่ในการผลิตสปริงขดลวดทางทันตกรรมจัดฟัน มักจะทำให้เกิดความเครียดตกค้างอยู่ภายในสปริง นอกจากนั้น สูตรนี้ยังไม่รวมถึงแนวโน้มที่จะโค้งงอของสปริงเมื่อถูกกด ดังนั้น ค่าที่วัดได้จากการทดลองน่าจะถูกต้องกว่าผลการคำนวณ เมื่อจะนำมาใช้ในทางคลินิก (Chaconas,1984)

อีกประการหนึ่ง จากรายงานของ Miura ในปี1986 คุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติกของลวดโลหะผสม แจแปนนีสไนไท ทำให้หน่วยแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แทนที่จะทำให้ความเครียดเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและองค์ประกอบของสปริงเป็นสูตรได้และไม่สามารถใช้กับสูตรข้างต้นได้ด้วย จากการทดลองของ Miura ในปี 1988 ตัวอย่างสปริงขดลวดชนิดเปิด ที่เป็นโลหะผสมแจแปนนีสไนไท ยาว 50 มม. ให้แรงคงที่ขนาด 100 กรัม ตลอดช่วงที่สปริงถูกกดจนมีความยาว 42.5 ถึง 12.5 มม. นั่นคือ เมื่อกดสปริงขดลวดชนิดเปิด จาก 15 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ สปริงแสดงคุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติกออกมา ยกตัวอย่างการนำไปใช้ในคลินิก เช่น การปิดช่องว่างที่ฟันกรามน้อยถูกถอนไปขนาด 6 มม. ใช้สปริง

ไปใช้ในคลินิก เช่น การปิดช่องว่างที่ฟันกรามน้อยถูกถอนไปขนาด 6 มม. ใช้สปริงขดลวดชนิดเปิดยาว 10 มม.จะได้แรงคงที่ 100 กรัม ตลอดช่วงของการดึงฟันเขี้ยวโดยไม่ต้องปรับสปริงอีก ซึ่งไม่สามารถใช้สปริงขดลวดชนิดเปิด ที่ทำจากสเตนเลสสตีล มาให้แรงสม่ำเสมอเช่นนี้ได้

การศึกษาผลที่มีต่อคุณสมบัติทางกลศาสตร์ ของโลหะผสมแจแปนนีสไนไท ที่เป็นสปริงขดลวดชนิดเปิด

- ผลของเส้นผ่าศูนย์กลางลวด โดยทดสอบลวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.009 0.010 และ 0.012 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวดเป็น 0.030 นิ้ว พบว่าแรงกดของคุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติกเพิ่มขึ้น เป็นสัดส่วนกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดที่เพิ่มขึ้น

- ผลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องว่างภายในขดลวด ทดลองกับสปริงขดลวดที่ทำจากลวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.009 นิ้ว แต่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวด 0.020 0.027 และ 0.030 นิ้ว พบว่าเมื่อขนาดช่องว่างภายในขดลวดเพิ่มขึ้น แรงกดลดลง และพิสัยของคุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติกเพิ่มขึ้น

- ผลจากมุมพิทช์ของสปริงขดลวดชนิดเปิด ทดลองกับสปริงขดลวดชนิดเปิด 3 ชนิด (มุมพิทช์ขนาดเล็ก, ปานกลาง,และขนาดใหญ่) แต่ละชนิดยาว 10 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางลวด 0.009 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวด 0.030 นิ้ว หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่ามุมพิทช์ขนาดเล็ก ทำได้โดยยืดขดลวดเป็น 40 มม. มุมพิทช์ขนาดกลางยืดขดลวดเป็น 50 มม. และมุมพิทช์ขนาดใหญ่ยืดขดลวดเป็น 60 มม. ผลการทดสอบแรงอัดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมพิทช์ทั้ง 3 ขนาดของขดลวดกับคุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติก โดยแรงกดของคุณสมบัติดังกล่าวเกือบเท่ากันหมด แต่พิสัยของคุณสมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้นจากขนาดเล็กไปยังขนาดใหญ่

มีข้อสังเกตเพิ่มเติมว่า

- ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเพิ่มขึ้น ขณะที่เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวดลดลง แรงกดของคุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติกจะเพิ่มขึ้น

- เมื่อเปรียบเทียบ ระหว่างสปริงขดลวดชนิดปิด และชนิดเปิด พบว่า ชนิดเปิด จะมีแรงกดของคุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติกมากกว่าชนิดปิด นั่นคือ ได้แรงมากกว่า

แต่อย่างไรก็ตาม จากช่วงท้ายของกราฟ พบว่า คุณสมบัติซูเปอร์อิลาสติกจะลดลงเป็นศูนย์ในระยะสุดท้าย แรงกดก็ไม่เพียงพอที่จะเคลื่อนฟัน จึงแนะนำว่าควรเลือกสปริงที่ยาวกว่าระยะที่ต้องการเคลื่อนฟันเล็กน้อย และควรบีบสปริงให้แน่นในขณะที่ให้แรง วิธีนี้จะกำจัดแรงต่ำ ๆ ที่ระยะสุดท้ายไปได้ และฟันก็จะเคลื่อนไปจนถึงระยะสุดท้ายของการให้แรง (Miura, 1988)

ในปี 1991 Gianelly รายงานการใช้สปริงขดลวดชนิดเปิดที่ทำจากโลหะแจแปนนีสไนไท ซูเปอร์อิลาสติก ให้แรง 100 กรัม เคลื่อนฟันกรามบนถอยหลัง 1-1.5 มม.ต่อเดือน โดยมีหลักยึดเป็นเครื่องมือแนนซ์ ที่ยึดด้วยซีเมนต์ ที่ฟันกรามน้อยซี่แรกโดยร่วมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น การเคลื่อนฟันกรามบนถอยหลังเพื่อแก้ไขการสบฟันชนิดคลาสทูโดยใช้สปริงนี้อาศัยความร่วมมือจากผู้ป่วยน้อยมาก สปริงนี้ใช้ร่วมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นที่มีร่องในแนวดิ่งขนาด 0.020 นิ้ว โดยมีเครื่องมือแบบแนนซ์ ที่คล้ายกับแบบที่ใช้ควบคุมหลักยึด เมื่อใช้แม่เหล็กเคลื่อนฟันกรามถอยหลัง ยึดด้วยซีเมนต์กับฟันกรามน้อยซี่แรก เครื่องมืออยู่บริเวณ ฟันหน้าถึงฟันกราม และมีระนาบกัดสบที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้ฟันหลังแยกจากกันเล็กน้อย

ลวดโค้งที่ใช้ มีขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ทำตัวหยุดไว้ที่ปีกด้านไกลกลางของแบรกเก็ตฟันกรามน้อยซี่แรก ใส่ขดลวดระหว่างฟันกรามน้อยซี่แรกและฟันกราม ให้แรงแก่ขดลวด โดยบีบเข้าไป 8 ถึง 10 มม. และให้ชนกับฟันกราม โดยใช้ตะขอหรือตัวลวดช่วย

เนื่องจากแรงปฏิกิริยาของขดลวด ทำให้ลวดเคลื่อนไปข้างหน้า แต่จะถูกป้องกันด้วยตัวหยุดที่ยันไว้กับแบรกเก็ตของฟันกรามน้อย ไม่ให้ลวดเคลื่อนผ่านฟันกรามน้อยซี่แรกไปได้ แรงปฏิกิริยาจึงถูกส่งไป ยังเครื่องมือแนนซ์ สำหรับส่วนที่ใช้เป็นหลักยึด นอกจากจะประกอบด้วยเพดานและฟันหน้าแล้ว ยังเพิ่มสปริงตั้งฟัน ขนาดลวด 0.018 นิ้ว ใส่ในช่องแนวดิ่งของฟันกรามน้อย โดยทิศทางของแรงทำให้ตัวฟันเคลื่อนไปทางด้านไกลกลาง

ในกรณีที่ฟันกรามซี่ที่สองขึ้นมา ถ้าเห็นว่าจำเป็นต้องเพิ่มหลักยึด ทำได้โดยการติดตะขอสำหรับ ดึงยางคลาสทู ที่ระหว่างฟันตัดซี่ข้างกับฟันเขี้ยว เพื่อเพิ่มหลักยึดโดยใช้แรงจากยางคลาสทู

ถ้าไม่พบว่าเกิดการเสียหลักยึด โดยที่ฟันกรามเคลื่อนไปข้างหลังได้เรื่อย ๆ ก็ไม่ต้องดึงยาง จะใช้ยางก็ต่อเมื่อเสียหลักยึดอย่างน้อย 1 มม. ถ้าไม่ใช้จะทำให้ฟันหน้าเคลื่อนออกไปทางด้านหน้า จากการนำมาใช้ในคลินิก Gianelly รายงานว่า มีการใช้แรงคลาสทูควบคุมตำแหน่งฟันหน้าถึง 25 เปอร์เซนต์ ของผู้ป่วย ที่มีฟันกรามซี่ที่สองขึ้น

เมื่อฟันกรามอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ จึงถอดเครื่องมือแนนซ์และขดลวดออก คงตำแหน่งฟันกรามด้วยลวดขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว ที่มีตัวหยุดที่ท่อข้างฟันกราม และใช้ไฮพูลเฮดเกียร์ ตั้งรากฟันกรามต่อไป (Gianelly et al., 1991)

จากการศึกษาของ Boshart et al (1990) กล่าวว่าระดับของแรงที่ได้จากสปริงขดลวดชนิดเปิด มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปได้ ตามอิทธิพลของสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้

1. ชนิดของโลหะผสมที่ประกอบขึ้นเป็นขดลวด

2. ขนาดของลวดที่ขดเป็นสปริง
3. ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของขดลวด
4. มุมที่ขดลวดทำกับเส้นตั้งฉากแนวแกนสปริงหรือมุมพิทช์
5. จำนวนขดลวดทั้งหมดในสปริง
6. ความยาวของสปริง

ผลการทดลองพบว่า ขนาดของลวดมีผลอย่างมากต่อความยืดหยุ่นของสปริง นั่นคือ เมื่อขนาดของลวดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราโหลด-ดีเฟลคชันเพิ่มขึ้นตาม โดยสปริงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวด 0.008 0.009 และ 0.010 นิ้ว มีค่า 41.2 70.6 และ 105.9 กรัม/มม. ตามลำดับ

เมื่อขนาดของมุมพิทช์ หรือมุมระหว่างขดลวดกับเส้นตั้งฉากแนวแกนสปริงเพิ่มขึ้น อัตราโหลด-ดีเฟลคชันเพิ่มขึ้นด้วย จำนวนขดลวดและความยาวของลวด มีผลต่อความยืดหยุ่นของสปริงมาก คือ เมื่อจำนวนขดลวดต่อหน่วยความยาวลดลง จะลดความยาวของลวดในสปริงด้วยซึ่งทำให้อัตราโหลด-ดีเฟลคชันเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าความยาวลวดในสปริงเอลจิลอยมากกว่าไฮ-ที โดยเฉลี่ย 44 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นไฮ-ทีจึงมีค่าความยืดหยุ่นของสปริงสูงกว่าเอลจิลอยโดยเฉลี่ย 40 เปอร์เซ็นต์

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวด มีผลน้อยมากต่อความยืดหยุ่นของสปริง คือ เมื่อขนาดเพิ่มขึ้น อัตราโหลด-ดีเฟลคชันลดลง นั่นคือ จากการทดลอง สปริงยาว 10 มม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ขดลวด 0.030 และ 0.032 นิ้ว พบว่า สปริงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขดลวด 0.030 นิ้ว มีค่าอัตราโหลด-ดีเฟลคชันมากกว่าสปริงขนาด 0.032 นิ้ว 8 เปอร์เซนต์

เมื่อความยาวของสปริงเพิ่มขึ้น อัตราโหลด-ดีเฟลคชันมีค่าลดลง การจะเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นๆได้ ต้องเปรียบเทียบเมื่อมีความยาวสปริงเท่ากัน แต่จากการทดลองพบว่าสปริงที่เหมือนกันอัตราโหลด-ดีเฟลคชันเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาว จึงนำข้อมูลของการศึกษาอื่น ๆ มาคำนวณอัตราโหลด-ดีเฟลคชันให้เป็นขนาดมาตรฐานเดียวกัน คือ 10 มม. พบว่า ในสปริงชนิดเดียวกันสปริงสั้นจะมีความแข็งตึงมากกว่าสปริงยาว ในอัตราส่วนความยาวของสปริงที่ยาวต่อสปริงที่สั้น

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า เอลจิลอยมีความแข็งน้อยกว่าสเตนเลสสตีล รวมทั้ง Boshart แสดงไว้ในปี 1990 ว่า สปริงเอลจิลอย มีความแข็งน้อยกว่า ไฮ-ที ทู สเตนเลส 29 เปอร์เซนต์ เมื่อวัดจากสปริงที่มีขนาดลวด 0.008 นิ้ว

Miura รายงานในปี 1988 ว่าในสปริงขนาด 0.009 x 0.030 นิ้ว ที่ทำจากโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิกเกิล มีความแข็งน้อยกว่าสเตนเลสสตีล 11 เปอร์เซ็นต์ขณะที่ Chaconas

ในปี1984 พบว่า สปริงขนาด 0.010 x 0.030 นิ้ว โลหะผสม โคบอลต์-โครเมียม-นิกเกิลมีความแข็งน้อยกว่าสเตนเลสสตีล 32 เปอร์เซนต์ Chaconas รายงานว่า สปริงไฮ-ที ทู ยาว 10 มม. มีจำนวนขดลวด 14 ขด สปริงเอลจิลอยมี 20 ถึง 25 ขด โดยความยาวของลวดในสปริง แปรผันตามจำนวนของขดลวด ความยาวของลวดมีผลต่ออัตราโหลด-ดีเฟลคชัน โดยลวดยาวขึ้น จะมีอัตราโหลด-ดีเฟลคชันลดลง

Boshartและคณะ ในปี 1990 รายงานว่าสิ่งที่มีผลต่ออัตราของสปริงมากที่สุด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวด รองลงมาคือขนาดมุมพิทช์โดยที่มุมพิทช์ของสปริงขดลวดชนิดเปิด ที่ทำจากสเตนเลสสตีล มีค่ามากกว่า มุมพิทช์ของสปริงที่ทำจากโลหะผสมเอลจิลอย 7.5 องศา ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนขดลวดที่สปริงเอลจิลอยมี 20 ถึง 25 ขด และสปริงสเตนเลสสตีลมี 14 ขด (สปริงยาว 10 มม.). ความแตกต่างของจำนวนขดลวดต่อหน่วยความยาวระหว่างสปริงแต่ละชนิดมีผลต่อปริมาณการให้แรง โดยสปริงที่มีจำนวนขดลวดต่อหน่วยความยาวน้อย จะมีช่องว่างระหว่างขดลวดมากกว่า ดังนั้น สปริงสเตนเลสสตีลจะถูกบีบได้ระยะทางมากกว่าสปริงเอลจิลอย นั่นคือจากการทดลองเขาสามารถกดสปริงสเตนเลสสตีลยาว 10 มม.ได้เป็นระยะทาง 5.4 ถึง 6.0 มม. เทียบกับสปริงเอลจิลอยที่สามารถกดได้เพียง 4.2 ถึง 4.8 มม. และจากการทดลองยังพบว่าการนำสปริงขดลวดชนิดเปิด ไปผ่านความร้อน ไม่พบความเปลี่ยนแปลงในช่วงความยาวของการกดสปริง

<u>ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปฏิกริยาของเนื้อเยื่อต่อแรงในการเคลื่อนฟัน</u>

การบำบัดรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อแก้ไขการสบฟันที่ผิดปกติให้ได้ผลดีที่สุด จำเป็นต้องทราบ ปฏิกริยาของเนื้อเยื่อต่อแรงในการเคลื่อนฟันดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนฟันตามสรีรวิทยา (Gianelly and Goldman, 1971; Proffit and Field, 1986; Reitan, 1985; จินตนา ศิริชุมพันธ์, 2533)

เป็นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของฟัน ที่เกิดขึ้นระหว่างและภายหลังการงอกของฟัน รวมถึงการเคลื่อนแบบทิปปิงภายในเบ้าฟันขณะมีการใช้งาน เป็นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของฟันที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ในเด็ก ๆ ฟันซี่ที่กำลังงอกจะเคลื่อนตัวไปสู่ตำแหน่งปกติของมัน ถ้าบริเวณนั้นมีช่องว่างเพียงพอ เมื่อฟันงอกถึงระนาบการสบฟันแล้วการบดเคี้ยวจะค่อย ๆ ทำให้ฟันสึกไปเรื่อย ๆ ฟันจะพยายามเคลื่อนตัวอยู่เสมอ เพื่อรักษาระยะห่างระหว่าง

ขากรรไกรบนล่างไว้และเพื่อให้ฟันสบกันได้ตามปกติ ตลอดจน ทำให้ความสัมพันธ์กับฟันข้างเคียงคงที่ ไม่เกิดช่องห่าง

2. การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน

(Proffit and Field, 1986; จินตนา ศิริชุมพันธ์, 2533)

การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันมีความคล้ายคลึงกับการเคลื่อนฟันตามสรีรวิทยา โดยอาศัยหลักการว่า ถ้ามีแรงมากระทำที่ฟันเป็นเวลานานพอ ฟันจะเคลื่อนที่ไป ในขณะที่กระดูกรอบ ๆ ฟันจะมีการปรับรูปร่าง โดยกระดูกบางบริเวณมีการละลายออกไป และกระดูกบริเวณอื่นมีการพอกตัวขึ้นมาใหม่ การเคลื่อนที่ของฟันเป็นไปอย่างรวดเร็วระหว่างการรักษา ซึ่งอาศัยแรงจากเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นได้มากกว่าการเคลื่อนฟันตามสรีรวิทยา และสังเกตได้ชัดเจนกว่า

ปัจจัยที่มีอิทธิพล ต่อการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน ประกอบด้วย

1. ชนิดของการเคลื่อนฟัน
2. ขนาดของแรง
3. ระยะเวลาที่ให้แรง
4. อายุของผู้ป่วย

<u>ชนิดของการเคลื่อนฟัน</u>

(Geigerand Hirschfeld, 1974; Gianelly and Goldman, 1971; Nikolai, 1985; Proffit and Field, 1986; Reitan, 1985; จินตนา ศิริชุมพันธ์, 2533)

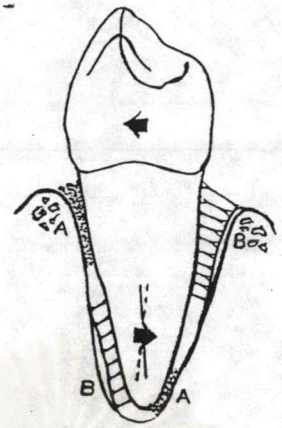
ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการเคลื่อนฟัน 2 แบบ ได้แก่

การเคลื่อนฟันแบบทิปปิ้ง

เป็นการเคลื่อนฟันที่ตัวฟันเคลื่อนไปในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่รากฟันจะเคลื่อนไปในทิศทางตรงกันข้ามแต่มีระยะทางน้อยกว่า โดยมีจุดหมุนอยู่ที่รากฟันในแนวแกนฟัน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ในแนวดิ่งได้ขึ้นอยู่กับ กายวิภาคของฟัน อวัยวะที่รองรับฟัน ขนาดของแรง และตำแหน่งที่แรงมากระทำ เช่น

- ในกรณีที่เป็นฟันรากเดียว จุดหมุนจะอยู่ภายในราก แต่กรณีที่เป็นฟันหลายราก จุดหมุนจะอยู่บริเวณกระดูกเบ้ารากฟันที่อยู่ระหว่างรากฟัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

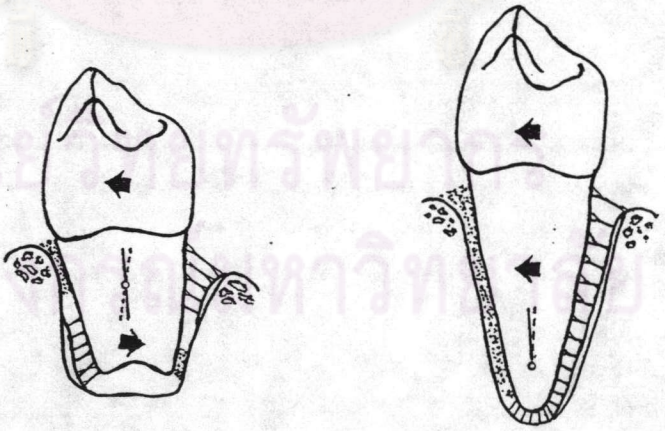


รูปที่1 แสดงการเคลื่อนที่แบบทิปปิง เกิดบริเวณที่ถูกกด 2 จุด (A) และ บริเวณ ที่ถูกดึง 2 จุด (B)

- ในรายที่รากฟันยังพัฒนาไม่เต็มที่จุดหมุนจะเคลื่อนไปทางด้านบดเคี้ยว เนื่องจากขนาดของรากฟันที่สั้น และการขาดแรงต้านทานจากเส้นใยบริเวณปลายราก ทำให้ตัวฟันและรากฟันเคลื่อนไปในทิศทางตรงข้ามกัน ในปริมาณที่เท่ากัน

- ในรายที่มีอายุมาก เส้นใยบริเวณปลายรากจะสมบูรณ์ดีซึ่งจะต่อต้านการเคลื่อนที่ของปลายรากกรณีนี้ จุดหมุนจะเคลื่อนไปทางปลายราก ทำให้เกิดการเคลื่อนของตัวฟันมาก ขณะที่รากฟันเคลื่อนเพียงเล็กน้อย

- ในรายที่มีการทำลายของสันกระดูกเบ้าฟัน เนื่องจากโรคปริทันต์จุดหมุนจะเคลื่อนไปทางปลายราก



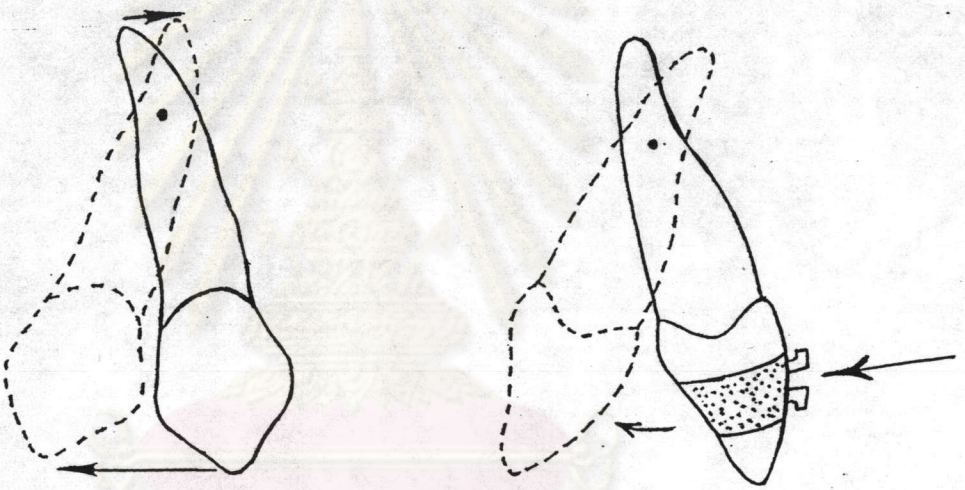
รูปที่2 แสดงจุดหมุนกรณีที่รากฟันยังพัฒนาไม่เต็มที่และกรณีที่มีรากฟันพัฒนาสมบูรณ์แล้ว

- ในรายที่ใช้แรงสูงมาก ทำให้รากฟันชนกับสันกระดูกเบ้าฟัน จะเกิดการละลายของสันกระดูกเบ้ารากฟันเป็นปริมาณมาก ถ้ายังมีแรงกระทำอยู่ พบว่าจุดหมุนจะเคลื่อนไปทางด้านบดเคี้ยว

- ตำแหน่งที่แรงกระทำบนตัวฟัน สามารถเปลี่ยนแปลงจุดหมุนได้ โดยถ้าให้แรงกระทำบริเวณกลางตัวฟัน จุดหมุนจะอยู่ประมาณรอยต่อส่วนกลาง 1/3 กับ ส่วนปลาย 1/3 ของรากฟัน

ถ้าให้แรงกระทำบริเวณปลายตัดของฟัน จุดหมุน จะเคลื่อนไปทางด้านบดเคี้ยว

ถ้าให้แรงกระทำบริเวณคอฟันจุดหมุนจะเคลื่อนไปทางปลายราก



ก ข

รูปที่ 3 ก แสดงการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงในแนวใกล้กลาง - ไกลกลาง

ข แสดงการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงในแนวด้านข้างแก้ม - ด้านลิ้น

การเคลื่อนที่แบบทิปปิงประกอบด้วย

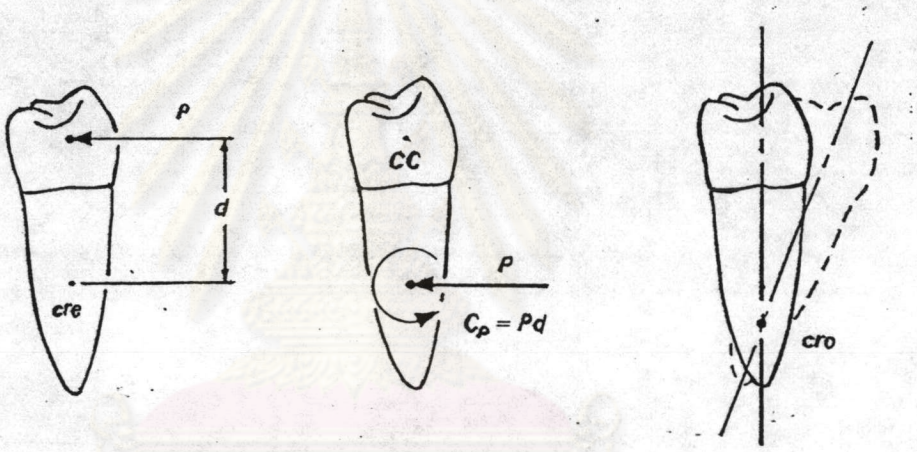
ระบบแรง : เป็นการเคลื่อนของฟัน ที่เกิดจากแรงลัพธ์เพียงแรงเดียวกระทำกับตัวฟันโดยไม่ผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทาน

อัตราแรงคู่ควบ - แรง : C/F = 0 : มีแรงเพียงแรงเดียว โดยไม่มีแรงคู่ควบกระทำกับฟัน (แรงคู่ควบ = 0)

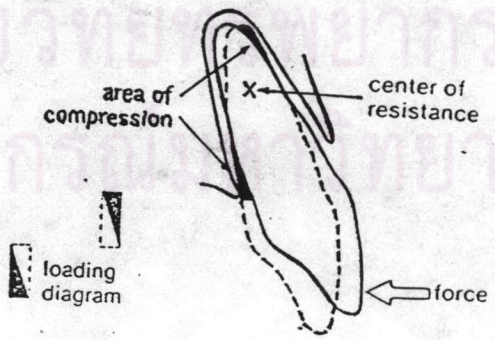
จุดศูนย์กลางการหมุน : อยู่ประมาณรอยต่อส่วนกลาง 1/3 กับส่วนปลายราก 1/3 ของ

รากฟันซึ่ง Gottlieb and Orban อ้างถึงใน Gianelly and Goldman (1971) กล่าวว่าเอ็นยึดปริทันต์บริเวณนี้จะแคบที่สุดเนื่องจากการละลายของกระดูก ขึ้นกับขนาดของแรงกดที่กระทำต่ออวัยวะปริทันต์ ดังนั้น การเคลื่อนฟันแบบนี้ จะเกิดแรงกดบริเวณจุดศูนย์กลางการหมุนน้อยที่สุด มีการกระจายของแรง = 0

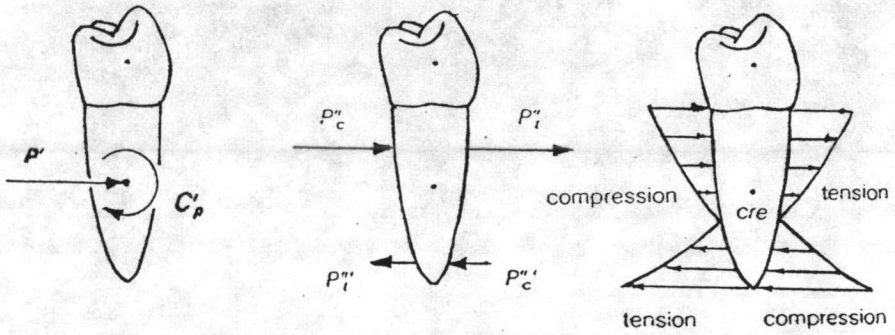
การตอบสนองของอวัยวะปริทันต์ : เกิดขึ้นบริเวณที่ถูกแรงกด 2 ตำแหน่ง อยู่คนละด้านของเบ้ารากฟัน โดยด้านหนึ่งอยู่บริเวณสันกระดูกเบ้าฟัน อีกด้านหนึ่งอยู่บริเวณปลายราก ในทำนองเดียวกันก็จะเกิดบริเวณที่ถูกแรงดึงขึ้นอีก 2 ตำแหน่งด้วยเช่นเดียวกัน



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 4 แสดงการเคลื่อนที่แบบทิปปิง

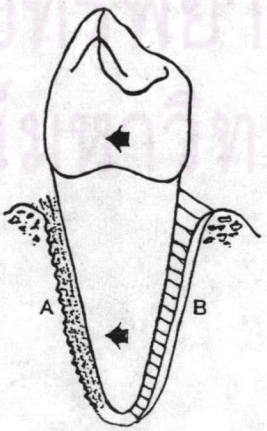
ก. ระบบแรง

ข. พื้นที่ของกระดูกเบ้ารากฟันที่มีแรงกระทำ

ค. การกระจายของแรงในส่วนของอวัยวะปริทันต์

การเคลื่อนที่แบบบอดิลี

เป็นการเคลื่อนฟันที่มีตัวฟันและรากฟัน เคลื่อนไปในทิศทางเดียวกัน ด้วยอัตราที่เท่ากันและปราศจากการหมุน การเคลื่อนฟันแบบบอดิลีนี้ ต้องใช้แรงในการเคลื่อนฟันมากกว่าการเคลื่อนฟันแบบทิปปิง ในทางปฏิบัติ สามารถทำได้โดย จัดให้มีแรง และ โมเมนต์กระทำต่อฟันในขนาดที่พอเหมาะ เพื่อให้เกิดผลเหมือนมีแรงเดียวกระทำผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันโดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของเบ้ารากฟันตลอดทั้งด้าน ด้านหนึ่งเป็นด้านที่มีแรงกด อีกด้านหนึ่งเป็นด้านที่มีแรงดึง



รูปที่ 5 แสดงการเคลื่อนที่แบบบอดิลี เกิดแรงกด (A) และแรงดึง (B)

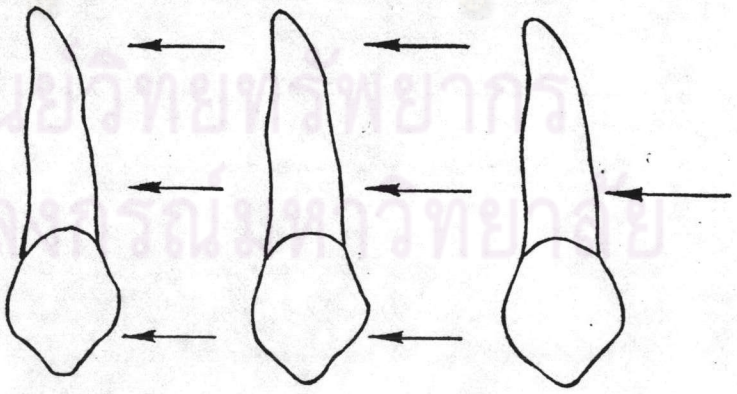
Tulley and Campbell (1965) อ้างถึงใน Crabb and Wilson แนะนำให้ใช้ขนาดความเค้น 20 - 25 กรัม/ตารางเซนติเมตร ของพื้นที่ผิวรากฟันของฟันรากเดียว ต่อมาในปี 1970 จึงได้มีการเรียกชื่อพื้นที่ดังกล่าวว่า พื้นที่ผิวฟันส่วนที่มีการเคลื่อนที่ไป หรือเรียกว่า Projected root area

Walther (1967) กล่าวถึงใน Crabb and Wilson ว่าการใช้ขนาดแรงน้อยๆในช่วงแรกต่อมา จะสามารถเพิ่มขนาดแรงได้ถึง 50 กรัม สำหรับการเคลื่อนฟันรากเดียว

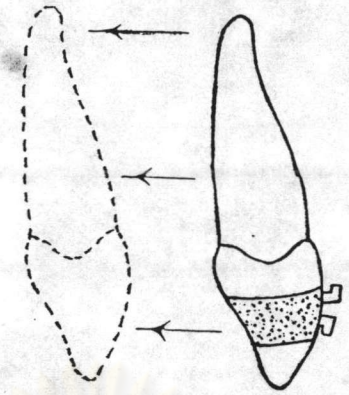
Burstone and Groves (1961) ศึกษาขนาดแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันหน้าบนแบบทิปปิงและเป็นแรงต่อเนื่อง ในเด็ก 22 คน อายุเฉลี่ย 9 ขวบ ที่มีฟันหน้าบนยื่นโดยใช้สปริงที่ให้แรงโดยเฉลี่ย 13 กรัม/มิลลิเมตร พบว่าขนาดแรงที่เหมาะสมที่ทำให้ฟันมีการเคลื่อนที่ในอัตราที่เหมาะสมที่สุด คือ แรงขนาด 50 - 75 กรัม สอดคล้องกับการศึกษาของ Reitan (1967)

Gianelly and Goldman (1971) กำหนดแรงคงที่ในการเคลื่อนฟันหน้าบนแบบทิปปิงมีขนาดแรงที่เหมาะสมคือ 50 - 75 กรัม

จากการที่พื้นที่ผิวบริเวณรากฟันที่มีแรงกระทำไม่เท่ากัน ในการเคลื่อนที่แต่ละแบบดังนั้น แรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่แต่ละแบบจึงไม่เท่ากัน Reitan (1957) กล่าวว่าในการเคลื่อนฟันแบบบอดิลีมักจะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวรากฟันทั้งหมด แต่การเคลื่อนที่แบบทิปปิงจะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวรากฟันบางส่วนเท่านั้น ทำให้ต้องใช้แรงในการเคลื่อนที่แบบบอดิลีมากกว่าทิปปิง สอดคล้องกับ Hocevar (1981) ที่กล่าวว่า การเคลื่อนฟันแบบทิปปิง ต้องการแรงน้อยกว่าแต่เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าแบบบอดิลี



รูปที่ 6 แสดงการเคลื่อนฟันแบบบอดิลี ในแนวใกล้กลาง - ไกลกลาง



รูปที่ 7 แสดงการเคลื่อนฟันแบบบอดิลี ในแนวด้านข้างแก้ม - ด้านลิ้น

การเคลื่อนฟันแบบบอดิลีประกอบด้วย

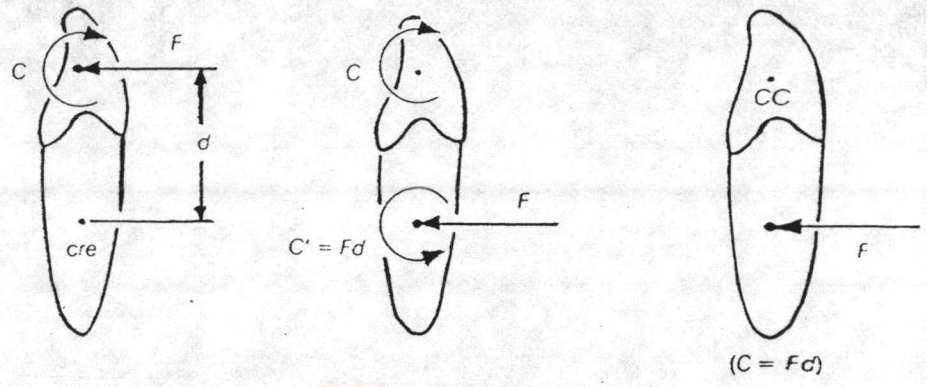
ระบบแรง : เป็นการเคลื่อนที่ของฟัน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแนวแกนฟัน เกิดจากแรงเดียวกระทำกับฟัน ผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันพอดีแต่ในทางคลินิกไม่สามารถทำได้ เนื่องจากจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน อยู่ในรากฟัน จึงต้องมีแรงคู่ควบเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อให้มีแรงลัพธ์เป็นแรงเดียวผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน

โมเมนต์ของแรงคู่ควบ มีค่าเท่ากับ โมเมนต์ของแรงเดียวที่กระทำ แต่มีทิศทางตรงข้าม

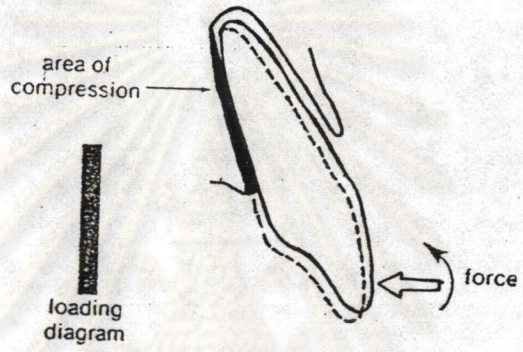
อัตราแรงคู่ควบ - แรง : C/F = d (ระยะจากแบรกเกตถึงจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน โดยปกติ d = 8-10) (Burstone, 1976; Proffit and Field, 1986)

จุดศูนย์กลางการหมุน : อยู่ที่อนันต์

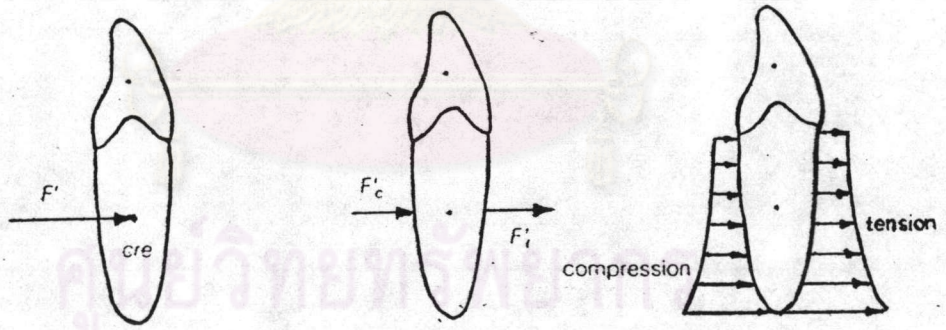
การตอบสนองของอวัยวะปริทันต์ : มีการกระจายของความเครียด ไม่สม่ำเสมอ เพราะรากเป็นรูปเทเปอร์ จุดที่มีความเครียดที่สุดคือบริเวณปลายรากฟันเนื่องจากปลายรากฟันมีพื้นที่น้อยที่สุด



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 8 แสดงการเคลื่อนฟันแบบบอดิลี

ก. ระบบแรง

ข. พื้นที่ของกระดูกเบ้ารากฟันที่มีแรงกระทำ

ค. การกระจายของแรงในส่วนของอวัยวะปริทันต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการศึกษาของ Schwarz ในปี 1932 (Hixon et al., 1969; Gianelly and Goldman,1971; Crabb and Wilson, 1972; จินตนา ศิริชุมพันธ์, 2533) ขนาดแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่ของฟันต้องไม่ทำให้เกิดการตีบของหลอดเลือดที่มาเลี้ยงอวัยวะปริทันต์ โดยความเค้นนั้นต้องมีขนาดระหว่าง 20 - 26 กรัม/ตารางเซนติเมตรของพื้นที่ผิวรากฟัน หรือ 15 - 20 มม.ปรอท ซึ่งเป็นแรงดันของเลือดในหลอดเลือดฝอย และจะทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้ประมาณ 1มม./เดือน ถึงแม้จะมีค่าแตกต่างกันบ้างในแต่ละบุคคล ถ้าความเค้นมากกว่า 26 กรัม/ตารางเซนติเมตร จะทำให้เนื้อเยื่อปริทันต์ขาดเลือดมาเลี้ยง เกิดการตายเฉพาะส่วนของเนื้อเยื่อได้

Oppenheim (1942) อ้างถึงใน Crabb and Wilson แนะนำให้ใช้แรงน้อย ร่วมกับมีช่วงการพัก เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อปริทันต์

Reitan (1947) กล่าวถึงการเพิ่มขนาดแรงมากขึ้นเพื่อเคลื่อนฟันแบบบอดิลี พบว่าไม่เกิดการละลายของรากฟันเพิ่มขึ้น

Hemley (1955) อ้างถึงใน Crabb and Willson กล่าวว่า แรงที่ใช้ต้องไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่มากกว่าระยะความกว้างของเนื้อเยื่อปริทันต์

Reitan (1956) อ้างถึงใน Crabb and Willson แนะนำให้ใช้แรงเริ่มต้น 25 กรัม ในผู้ใหญ่ และ 30 - 40 กรัมในเด็ก ต่อมาให้แรงได้มากถึง 100 - 150 กรัม

Jarabak and Fizzell (1963) กำหนดความเค้นที่เหมาะสมคือ 2 - 2.5 กรัม/ตารางมิลลิเมตร ของพื้นที่ผิวกระดูกที่ติดกับรากฟันที่ถูกกดขณะเคลื่อนแบบทิปปิง

<u>สิ่งที่มีอิทธิพลต่อขนาดแรงที่เหมาะสม</u>

(จินตนา ศิริชุมพันธ์ 2533; นิรมล อิฐรัตน์, 2535; Reitan, 1957; Gianelly and Goldman,1971; Burstone, 1977; Nikolai, 1985; Proffit and Field, 1986)

1. ขนาดของฟันแต่ละซี่ โดยขึ้นอยู่กับรูปร่างและความยาวของรากฟัน
2. ชนิดของการเคลื่อนฟัน
3. ความแตกต่างในแต่ละบุคคล เช่น ความหนาแน่น และลักษณะการเรียงตัวของกระดูก
4. อายุ

ข้อเสียของการใช้ขนาดแรงที่ไม่เหมาะสม

ถ้าให้แรงมากกว่าแรงที่เหมาะสม จะทำให้เกิด

1. อัตราการเคลื่อนที่ลดลง (Hixon et al., 1969)
2. ความเจ็บปวด และฟันโยกมาก (Bustone, 1982)
3. รากฟันละลาย หรือฟันตาย
4. การเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ
5. หลักยึดมีการเคลื่อนที่ (Burstone, 1982)

ถ้าให้แรงน้อยกว่าแรที่เหมาะสม จะทำให้เกิด

1. ฟันไม่เคลื่อนที่ หรือเคลื่อนที่ช้ากว่ากำหนด
2. การเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

<u>ขนาดของแรง</u>

(กาลัญ กลั่นกลิ่น, 2533; จินตนา ศิริชุมพันธ์, 2533; นิรมล อิฐรัตน์, 2535; Gianelly and Goldman,1971; Reitan,1975)

1. แรงขนาดต่ำ

แรงขนาดต่ำ ๆ ที่ให้เป็นระยะเวลานานพอ จะสามารถทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้แต่เป็นการเคลื่อนในอัตราที่ช้ามาก

2. แรงขนาดพอเหมาะ เป็นแรงที่มีขนาดเหมาะสม ในการใช้เคลื่อนฟันได้อย่างรวดเร็ว โดยทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อน้อยที่สุด และผู้ป่วยเกิดความเจ็บปวดน้อยที่สุด เป็นแรงที่ไม่รบกวนความมีชีวิตของเอ็นยึดปริทันต์ และมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกระดูกแบบที่มีการละลายกระดูกโดยตรง ซึ่งทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอ

แรงขนาดพอเหมาะ ไม่ทำให้เกิดการตีบของหลอดเลือดที่มาเลี้ยงเอ็นยึดปริทันต์ โดยขนาดความเค้นอยู่ระหว่าง 20 - 26 กรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นแรงดันของเลือดในหลอดเลือดฝอย จากการศึกษาเกี่ยวกับแรงขนาดพอเหมาะสำหรับฟันแต่ละซี่ พบว่า

ตารางที่ 1 แสดงแรงที่เหมาะสมของการเคลื่อนฟัน

ชนิดของการเคลื่อนฟัน	ชนิดฟัน	ขนาดของแรงที่ใช้
การเคลื่อนฟันแบบทิปปิง	ฟันตัด	ใช้แรง 20 - 30 กรัม
	ฟันเขี้ยว	ใช้แรง 50 - 75 กรัม
การเคลื่อนฟันแบบบอดิลี	ฟันตัด	ใช้แรง 40 - 50 กรัม
	ฟันเขี้ยว	ใช้แรง 150 กรัม

3. แรงขนาดหนัก เมื่อแรงขนาดหนักกระทำต่อฟัน จะทำให้เอ็นยึดปริทันต์ถูกกด เกิดการตีบตันของหลอดเลือด ทำให้ขาดสารอาหารมาหล่อเลี้ยง จึงเกิดการตายของเนื้อเยื่อปริทันต์ชนิดไม่ติดเชื้อ ซึ่งเรียกว่า ไฮยาลิไนเซชัน ขึ้น ผลที่ตามมาก็คือเกิดการละลายของกระดูกแบบอ้อม ในทางคลินิกถ้ามีแรงขนาดหนักมากระทำที่ตัวฟัน ระยะ 2 - 3 วันแรกฟันจะเคลื่อนที่เร็วมาก แต่เป็นระยะทางสั้น ๆ หลังจากนั้นฟันจะหยุดเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่น้อยมากเป็นเวลา 2- 3 อาทิตย์แล้วฟันจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในระยะที่สาม ดังนั้น การใช้แรงขนาดหนักในฟันที่อยู่กับที่เป็นเวลานานอาจทำให้เกิดการสูญเสียหลักยึดได้

4. แรงขนาดสูงมาก แรงขนาดสูงมากที่กระทำต่อตัวฟัน จะทำให้เอ็นยึดปริทันต์ถูกกดจนหลอดเลือดตีบตัน ขาดสารอาหารมาหล่อเลี้ยง เกิดไฮยาลิไนเซชัน และการละลายของกระดูกแบบอ้อม เป็นบริเวณกว้าง รากฟันละลาย ฟันตาย ฟันโยกมากและผู้ป่วยจะรู้สึกปวดมากด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ระยะเวลาที่ให้แรง</u>

1. แรงต่อเนื่อง

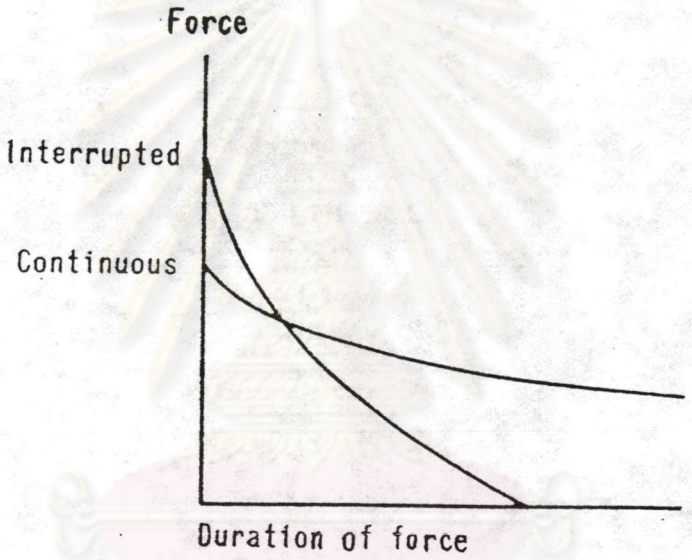
เป็นแรงที่ฟันได้รับอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่ใส่เครื่องมือ เช่น สปริงขดลวด แรงดันเก่าจะลดลงบ้าง เมื่อฟันเคลื่อนตัวหรือเครื่องมืออ่อนกำลังลง แต่ก็ยังคงมีแรงกระทำอยู่ตลอดเวลา

2. แรงอินเทอรัปท์

เป็นแรงที่ฟันได้รับในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่นานพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนของฟัน เมื่อฟันเคลื่อนตัวไปแล้วเครื่องมือจะทำหน้าที่พยุงให้ฟันอยู่กับที่โดยไม่มีแรงมากระทำ เช่นการมัด

ฟันเข้ากับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน เป็นต้น

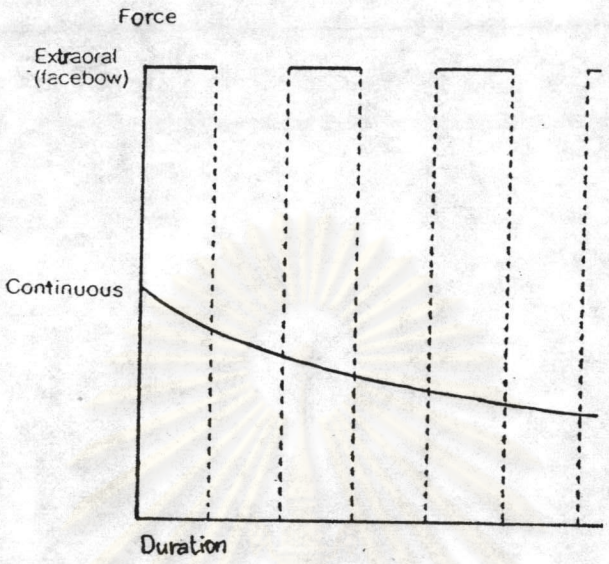
การเคลื่อนฟันโดยการใช้แรงอินเทอรัปท์ มีข้อดีคือ มีระยะพักมากพอ เพื่อให้เนื้อเยื่อรอบ ๆ ฟันมีการจัดตัวใหม่ เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น เมื่อเครื่องมือถูกปรับให้มีแรงอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 9 แสดงความแตกต่างของขนาดแรงและระยะเวลาระหว่างแรงต่อเนื่องและแรงอินเทอรัปท์

3. แรงเป็นระยะ

เป็นแรงที่ฟันได้รับในระยะเวลาอันสั้น แล้วมีช่วงหยุดแรงสลับกันไปเรื่อย ๆ เช่น แรงจากสปริงในเครื่องมือจัดฟันชนิดถอดได้ แรงจากเครื่องมือนอกช่องปากซึ่งฟันจะได้รับแรงขณะที่ผู้ป่วยใส่เครื่องมือ และจะไม่มีแรงมากระทำขณะที่ผู้ป่วยถอดเครื่องมือ



รูปที่ 10 แสดงความแตกต่างของขนาดแรงและระยะเวลา ระหว่างแรงต่อเนื่องและแรงเป็นระยะ

การถอดเครื่องมือเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ไม่ทำให้เกิดผลเสีย แต่ถ้าถอดเครื่องมือนานมากไป ฟันที่เคลื่อนไปแล้ว จะเกิดการคืนกลับ การใส่เครื่องมือเพื่อเคลื่อนฟันไปในทิศทางเดิมจะยุ่งยาก และเสียเวลามากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 แสดงสรุปขนาดแรงที่เหมาะสมของการเคลื่อนฟัน
(ค่าน้อย คือแรงสำหรับฟันตัด ค่ามาก คือแรงสำหรับฟันหลัง)

	การเคลื่อนฟันแบบทิปปิง (กรัม)	การเคลื่อนฟันแบบบอดิลี (กรัม)
Burstone (1961,1977)	50 - 75	----
Reitan (1967)	50 - 75	----
Gianelly and Goldman (1971)	50-75	150
Proffit and Field (1986)	50 - 75	100 - 150

<u>อายุของผู้ป่วย</u>

การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน สามารถเกิดได้ทุกช่วงอายุ แต่เมื่ออายุมากขึ้น การเคลื่อนฟันจะเกิดได้ช้าลง ถ้าให้แรงเท่ากันในระยะเวลานานเท่ากัน จะพบว่าการเคลื่อนฟันในผู้ป่วยอายุน้อย ทำได้ง่ายกว่าผู้ป่วยอายุมาก

<u>ลวดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน</u>

ในปัจจุบัน ลวดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันมีหลายชนิด มีทั้งข้อดี และข้อเสีย (เจน รัตนไพศาล, 2533; นิรมล อิฐรัตน์, 2535; Burstone and Goldberg, 1980; Sarkar et al., 1983; Drescher, Bouraude, and Schumacher, 1989; Kapila and Sachdeva, 1989) ดังนั้น การเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

ชนิดของลวดที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่

1. ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม มีโมดูลัสของการยืดหยุ่น (23 - 29 x 10^6 psi.) และความทนแรงดึงสูงมาก (330 x 10^3 psi.) ทำให้เกิดแรงจากการปรับลวดมาก จึงมักใช้ลวดขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อเสียในเรื่องการควบคุมการเคลื่อนฟัน แต่มีสปริงแบคเพียงพอ ดัดเป็น

รูปร่างต่าง ๆ ได้ดีมาก เชื่อมด้วยไฟฟ้าและการบัดกรีได้ มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดี ความเสียดทานน้อยและราคาปานกลาง จากคุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

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

3. ลวดนิกเกิล-ไททาเนียม มีโมดูลัสของการยืดหยุ่น (4.8×10^6 psi.) และความทนแรงดึงน้อย (240×10^3 psi.) มีช่วงยืดหยุ่นมาก และมีสปริงแบคสูง ใช้ในกรณีที่ต้องการดีเฟลคชันสูงแต่ให้แรงน้อย มีข้อเสียคือ ดัดยาก เชื่อมด้วยไฟฟ้าและการบัดกรีไม่ได้ และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนในช่องปากน้อยที่สุด

4. ลวดบีตา-ไททาเนียม มีคุณสมบัติต่าง ๆ อยู่ระหว่าง ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดนิกเกิล-ไททาเนียม โดยมีโมดูลัสของการยืดหยุ่น (10×10^6 psi.) และความทนแรงดึงปานกลาง(180×10^3 psi.) มีช่วงยืดหยุ่นประมาณ 2 เท่าของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม มีสปริงแบคปานกลาง และสามารถเชื่อมด้วยไฟฟ้าได้ แต่มีข้อเสียในเรื่องความเสียดทานสูงที่สุด จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในกรณีเคลื่อนฟันไปตามลวด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย