บทที่ 2
วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

เมื่อใดก็ตามที่ผิวสัมผัสของวัตถุคู่ใดคู่หนึ่งไถลผ่านกัน แต่ละผิวต่างก็จะออกแรงเสียดทานต่อกันในทิศทางขนานกับผิวที่สัมผัสกัน แรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุนี้จะมีทิศตรงข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่ไปเมื่อเทียบกับอีกวัตถุหนึ่ง แรงเสียดทานดังกล่าวจะต้านการเคลื่อนที่เสมอถึงแม้ว่าจะไม่มีการเคลื่อนที่ระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุเลยก็ตามก็อาจเกิดแรงเสียดทานระหว่างผิววัตถุซึ่งสัมผัสกันได้ ถ้ามีความพยายามที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของผิวสัมผัส (Nikolai, 1985)

ความเสียดทานมีหลายประเภท (สมศักดิ์ คำปลิว, 2526) (อรุณ คุณวาสี, 2529) คือ

1. ความเสียดทานแบบแห้ง

ความเสียดทานแบบแห้ง เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งซึ่งไม่ได้หล่อลื่นและผิวสัมผัสนั้นไถลหรือพยายามไถลผ่านกัน แรงเสียดทานที่ผิวแรกกระทำต่อผิวที่สองจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศที่ไถลไปหรือพยายามไถลของผิวที่สอง บางครั้งอาจเรียกความเสียดทานแบบนี้ว่า ความเสียดทานแบบคูลอมบ์

2. ความเสียดทานของของไหล

แรงเสียดทานในของไหล (ของเหลวหรือแก๊ส) เกิดขึ้นระหว่างชั้นย่อย ๆ ในของไหลที่เคลื่อนที่ โดยเป็นผลรวมจากแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของของไหลกับพื้นผิวของช่องทางที่มันไหลผ่าน แรงเสียดทานนี้ส่วนใหญ่จะเนื่องมาจากความหนืดของของไหล

3. ความเสียดทานในการกลิ้ง

ความเสียดทานในการกลิ้ง เป็นความต้านทานต่อการกลิ้งของวัตถุที่มีลักษณะกลม เช่น ล้อรถยนต์ ลูกปืนในเครื่องยนต์ เป็นต้น ในปัจจุบันยังไม่พบทฤษฎีในการกลิ้ง ความเสียดทานในการกลิ้งนี้นับได้ว่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความเสียดทานแบบแห้ง

4. ความเสียดทานภายใน

ความเสียดทานภายในจะพบในของแข็งทุกชนิดที่ได้รับแรงกลับไปกลับมา การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะทำให้มีแรงเสียดทานภายในแล้วเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน วัสดุที่ยืดหยุ่นได้ดีก็จะมีการสูญเสียน้อย แต่ถ้าเป็นวัสดุที่มีช่วงยืดหยุ่นจำกัดก็อาจเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร การเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรนี้เองทำให้มีความเสียดทานภายในเกิดขึ้น

<u>กฎของความเสียดทาน</u>

กฎของความเสียดทานที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นเพียงกฎง่าย ๆ ยังขาดความสะดวกในการใช้และให้ความถูกต้องที่ไม่สมบูรณ์นัก ในการพิจารณากฎของความเสียดทานในกรณีวัตถุเป็นของแข็งไถลผ่านกันนี้จะต้องถือว่าผิวนั้นแห้ง (ไม่มีการหล่อลื่น) และไถลผ่านกันโดยไม่มีการกลิ้ง กฎของความเสียดทานมีดังนี้

1. แรงเสียดทานจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศที่วัตถุเคลื่อนที่

2. แรงเสียดทานจะมากหรือน้อย ขึ้นกับชนิดของเนื้อวัตถุที่สัมผัสกัน

3. แรงเสียดทานไม่ขึ้นกับพื้นที่ (ทั้งขนาดและรูปร่าง) ของผิวสัมผัสคู่ใด ๆ ซึ่งกฎข้อนี้คลุมตั้งแต่พื้นที่ผิวสัมผัสขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่

4. ระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่ง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าคงที่

5. ระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่ง ขนาดของแรงเสียดทานไม่ขึ้นกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน แต่เป็นปฏิภาคกับขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่ผิวสัมผัส

6. ความเสียดทานอันเกิดจากวัตถุที่มีน้ำหนักเท่ากัน จะมีขนาดเท่ากันไม่ว่าพื้นที่ผิวสัมผัสจะเท่ากันหรือไม่ก็ตาม

7. แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ถ้าน้ำหนักของวัตถุเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า

8. ที่ความเร็วต่ำความเสียดทานไม่ขึ้นกับความเร็ว ที่ความเร็วสูงความเสียดทานมีค่าลดลง

9. ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่ขึ้นกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉากและไม่ขึ้นกับพื้นที่ของผิวสัมผัส

10. ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตเสมอ

ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในขณะที่ต่างฝ่ายต่างอยู่นิ่งเมื่อเทียบกับอีกฝ่ายหนึ่ง เรียกว่า "ความเสียดทานสถิต" แรงเสียดทานสถิตที่มากที่สุดจะเป็นแรงที่น้อยที่สุดที่พอดีทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ หลังจากเกิดการเคลื่อนที่แล้วแรงเสียดทานระหว่างวัตถุจะลดลงบ้าง ซึ่งความเสียดทานระหว่างวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แล้ว เรียกว่า "ความเสียดทานจลน์"

อัตราส่วนของขนาดแรงเสียดทานที่มากที่สุดกับขนาดแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก เรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ใช้สัญญลักษณ์ว่า μ_s และถ้าให้ F_s แทนขนาดแรงเสียดทานสถิต ก็จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$F_s \leq \mu_s N \text{ เมื่อ } N \text{ เป็นแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก}$$

สำหรับอัตราส่วนระหว่างขนาดแรงเสียดทานจลน์กับแรงปฏิกิริยาตั้งฉากเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ใช้สัญญลักษณ์ว่า μ_k และถ้าให้ F_k แทนขนาดแรงเสียดทานจลน์ก็จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้คือ

$$F_k = \mu_k N$$

เมื่อวัตถุคู่ใดก็ตามสัมผัสกัน ในขณะที่ดูด้วยตาเปล่าอาจเห็นว่าแนบสนิทกันดี แต่เมื่อมองขยายไปแล้วจะพบว่า พื้นที่ที่สัมผัสกันนั้นมีเพียงเล็กน้อยเพราะพื้นผิวมีแต่ความขรุขระ ไม่มีทางทำให้พื้นผิวของวัตถุราบเรียบอย่างสมบูรณ์ได้ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ชนิดของผิวสัมผัส แผ่นฟิล์มที่อาจจับคลุมอยู่บนผิวหน้าของวัตถุ อุณหภูมิ และระดับความสกปรก ตัวอย่างเช่น ถ้าประกบผิวหน้าของโลหะคู่หนึ่งที่ทำความสะอาดมาเป็นอย่างดีโดยวางอยู่ในห้องสูญญากาศ จะพบว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นกว่าปกติ ทั้งนี้เพราะไม่เกิดฟิล์มออกไซด์ระหว่างผิวสัมผัส แต่ถ้าประกบกันในบรรยากาศธรรมดาก๊าซออกซิเจนในอากาศจะออกซิไดส์โลหะ เกิดเป็นโลหะออกไซด์

กันไม่ให้โมเลกุลของโลหะทั้งสองอยู่ชิดกัน จึงทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในบรรยากาศน้อยกว่าในสูญญากาศ

การลดความเสียดทาน

การลดความเสียดทานสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารหล่อลื่น การใส่ลูกปืนเข้าไปในเครื่องจักร เป็นต้น แรงเสียดทานของวัตถุที่กลิ้งจะน้อยกว่าเมื่อวัตถุมีการไถล ทั้งนี้เป็นเพราะในการกลิ้ง จุดสัมผัสจริง ๆ จะถูกทำให้ขาดด้วยแรงดึง ไม่ใช้แรงเฉือนเหมือนการไถลของวัตถุ

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปฏิกิริยาของเนื้อเยื่อต่อแรงในการเคลื่อนฟัน

การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อแก้ไขการสบฟันที่ผิดปกติให้ได้ผลดีที่สุดจำเป็นต้องทราบปฏิกิริยาของเนื้อเยื่อต่อแรงในการเคลื่อนฟันด้วยซึ่งมีสาระโดยสังเขปดังนี้ (Proffit, 1986)

1. การเคลื่อนฟันตามสรีรวิทยา

การเคลื่อนฟันตามสรีรวิทยาเป็นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของฟันที่เกิดขึ้นระหว่างการงอกของฟันรวมถึงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของฟันภายหลังจากฟันงอกเต็มที่แล้ว ในเด็กฟันซี่ที่กำลังงอกจะเคลื่อนตัวสู่ตำแหน่งปกติของมันถ้ามีช่องว่างเพียงพอ เมื่อฟันงอกเต็มที่แล้วการบดเคี้ยวจะค่อยๆ ทำให้ฟันสึกไปเรื่อยๆ ฟันจะพยายามเคลื่อนตัวอยู่เสมอเพื่อให้ฟันสบกันได้ตามปกติและรักษาระยะห่างระหว่างขากรรไกรบนล่างไว้ ตลอดจนคงความสัมพันธ์กับฟันข้างเคียงไว้ด้วย

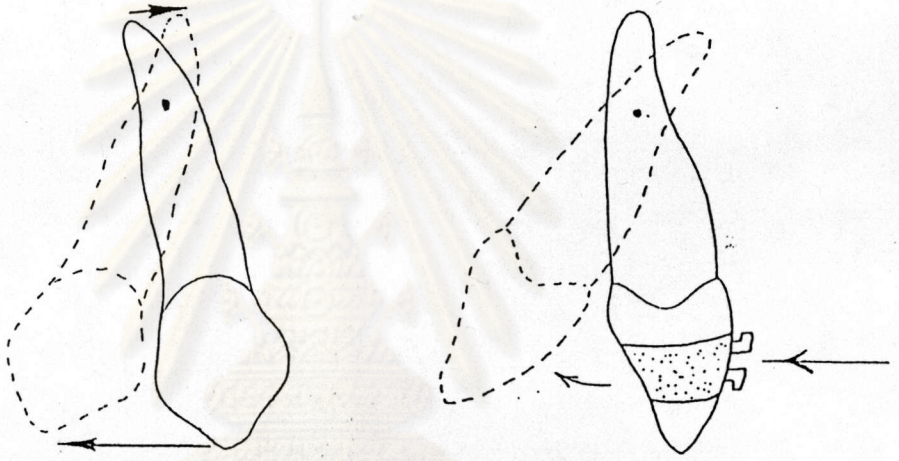
2. การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน

การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันอาศัยหลักการว่า ถ้ามีแรงมากระทำที่ฟันเป็นเวลานานพอ ฟันจะเคลื่อนที่ไปในขณะที่กระดูกรอบๆฟันจะมีการปรับรูปร่าง โดยกระดูกบางบริเวณมีการละลายออกไปและกระดูกบริเวณอื่นมีการพอกตัวขึ้นมาใหม่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันมีอยู่ 4 ประการคือ ลักษณะของการเคลื่อนฟันขนาดของแรงที่ใช้ ระยะเวลาที่ให้แรง และอายุของผู้ป่วย

2.1 ลักษณะของการเคลื่อนฟัน (Reitan, 1985)

2.1.1 การเคลื่อนฟันแบบทิปปิง

การเคลื่อนฟันแบบทิปปิง เป็นการเคลื่อนฟันที่ตัวฟันเคลื่อนไปในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่รากฟันจะเคลื่อนไปในทิศทางตรงกันข้ามแต่มีระยะทางน้อยกว่า โดยมีจุดหมุนอยู่ที่รากฟันในแนวแกนฟัน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในแนวดิ่งได้ ขึ้นอยู่กับกายวิภาคของรากฟันและอวัยวะที่รองรับฟัน ขนาดของแรงและตำแหน่งที่แรงมากระทำ การเคลื่อนฟันแบบนี้มีชื่อเรียกอื่นๆอีกคือ การเคลื่อนฟันแบบทิปปิงของตัวฟัน หรือการเคลื่อนที่ของตัวฟัน



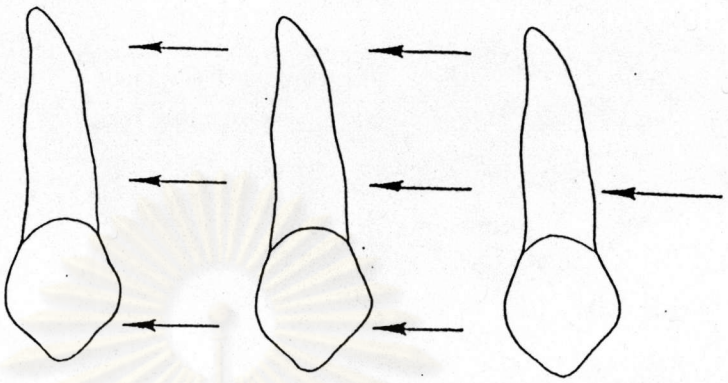
ก ข

รูปที่ 1ก แสดงการเคลื่อนแบบทิปปิงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง

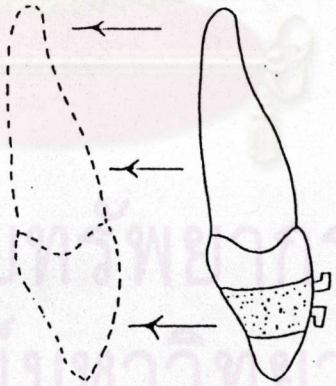
รูปที่ 1ข แสดงการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงในแนวด้านข้างแก้ม-ด้านลิ้น

2.1.2 การเคลื่อนฟันแบบบอดิลีย์

การเคลื่อนฟันแบบบอดิลีย์ เป็นการเคลื่อนฟันที่มีตัวฟันและรากฟันเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันด้วยอัตราที่เท่ากันและปราศจากการหมุน การเคลื่อนฟันแบบอดิลีย์นี้ต้องใช้แรงในการเคลื่อนฟันมากกว่าการเคลื่อนฟันแบบทิปปิง ในทางปฏิบัติสามารถทำได้โดยจัดให้มีแรงและโมเมนต์กระทำต่อฟันในขนาดที่พอเหมาะเพื่อให้เกิดผลเหมือนมีแรงเดี่ยวกระทำผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน



รูป 2ก แสดงการเคลื่อนฟันแบบบอดิลีย์ในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง

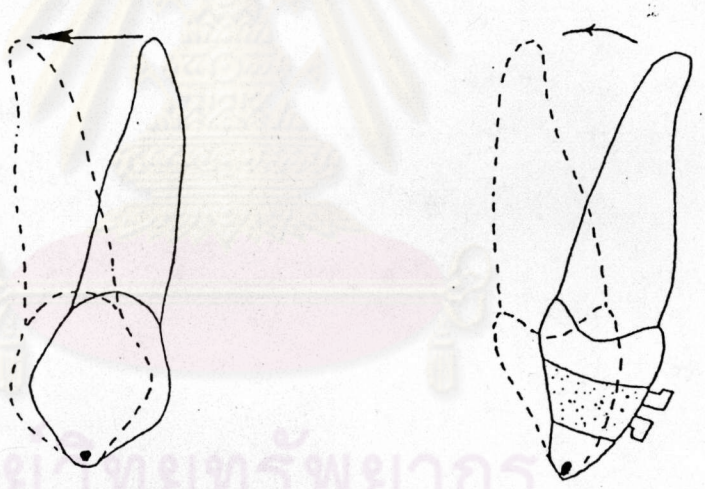


รูปที่ 2ข แสดงการเคลื่อนฟันแบบบอดิลีย์ในแนวด้านข้างแก้ม-ด้านลิ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 การเคลื่อนฟันแบบทอร์ก

การเคลื่อนฟันแบบทอร์ก เป็นการเคลื่อนรากฟันไปในทิศทางที่ต้องการ โดยให้ตัวฟันอยู่ที่เดิม ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีจุดหมุนอยู่ที่ปลายตัวฟัน แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้รากฟันเคลื่อนที่ไปโดยให้ตัวฟันอยู่กับที่ได้ ตัวฟันมักจะเคลื่อนที่ไปบ้างเล็กน้อย การเคลื่อนฟันแบบทอร์กนี้มีชื่อเรียกอื่น ๆ อีก เช่น การเคลื่อนรากฟัน หรือ ทอร์กรากฟัน



ก ข

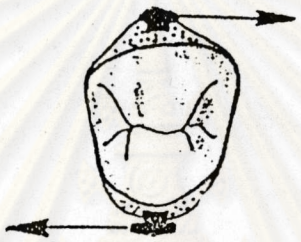
รูปที่ 3ก การเคลื่อนฟันแบบทอร์กในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง

รูปที่ 3ข การเคลื่อนฟันแบบทอร์กในแนวด้านช้างแก้ม-ด้านลิ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 การเคลื่อนฟันแบบหมุน (Rotational movement)

การเคลื่อนฟันแบบหมุน เป็นการเคลื่อนที่ของฟันรอบแนวแกน โดยให้แรงกระทำบนตัวฟันสองตำแหน่งในทิศทางตรงกันข้าม การเคลื่อนฟันแบบนี้ไม่ต้องใช้แรงมากนัก แต่เป็นการเคลื่อนฟันที่ค่อนข้างยากเพราะมักเคลื่อนกลับเสมอ

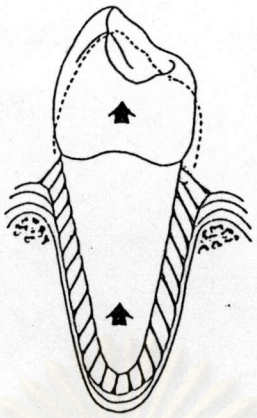


รูปที่ 4 แสดงการเคลื่อนฟันแบบหมุน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5 การเคลื่อนฟันแบบเอ็กซ์ทรูซีฟ

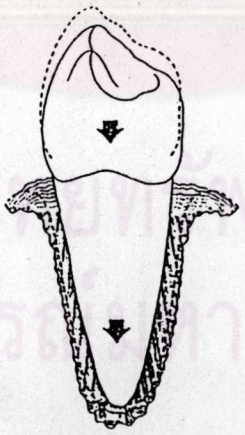
การเคลื่อนฟันแบบเอ็กซ์ทรูซีฟ เป็นการเคลื่อนฟันไปทางด้านบดเคี้ยว การเคลื่อนฟันแบบนี้จะได้ผลดีถ้ากระทำในระยะที่ผู้ป่วยยังมีการเจริญเติบโต เพราะนอกจากฟันจะเคลื่อนไปทางด้านบดเคี้ยวแล้ว ยังเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเจริญในแนวดิ่งของกระดูกอีกด้วย



รูปที่ 5 แสดงการเคลื่อนฟันแบบเอ็กซ์ทรูซีฟ

2.1.6 การเคลื่อนฟันแบบอินทรูซีฟ

การเคลื่อนฟันแบบอินทรูซีฟ เป็นการเคลื่อนฟันไปทางรากฟัน โดยทั่วไปจะได้ผลดีในผู้ป่วยที่ยังมีการเจริญเติบโตเช่นกัน



รูปที่ 6 แสดงการเคลื่อนฟันแบบอินทรูซีฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ขนาดของแรง

2.2.1 แรงขนาดต่ำ

แรงขนาดต่ำที่กระทำต่อฟันเป็นระยะเวลานานพอ สามารถทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้ในอัตราที่ช้ามากจนไม่เกิดประโยชน์ในทางคลินิก

2.2.2 แรงขนาดพอเหมาะสำหรับการเคลื่อนฟัน

แรงขนาดพอเหมาะสำหรับการเคลื่อนฟันเป็นแรงที่สามารถเคลื่อนฟันชี่ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วโดยทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อน้อยที่สุดและผู้ป่วยเกิดความเจ็บปวดน้อยที่สุดทำให้ฟันเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง

จากการศึกษาเกี่ยวกับแรงขนาดพอเหมาะสำหรับฟันแต่ละชี่ พบว่า (Gianelly, 1971)

การเคลื่อนฟันแบบทิปปิง	ฟันตัด	ใช้แรง 20-30 กรัม
	ฟันเขี้ยว	ใช้แรง 50-75 กรัม
การเคลื่อนฟันแบบทอร์ก	ฟันตัด	ใช้แรง 50 กรัม
	ฟันเขี้ยว	ใช้แรง 120-150 กรัม
การเคลื่อนที่แบบอติลีย์	ฟันตัด	ใช้แรง 40-50 กรัม
	ฟันเขี้ยว	ใช้แรง 150 กรัม
การเคลื่อนฟันแบบเอ็กซ์ทรูซีฟ		ใช้แรง 25-30 กรัม
การเคลื่อนฟันแบบอินทรูซีฟ		ใช้แรง 15-50 กรัม

2.2.3 แรงขนาดหนัก

เมื่อแรงขนาดหนักกระทำต่อฟัน จะทำให้เอ็นปริทันต์ถูกกดเกิดการตีบตันของหลอดเลือดทำให้ขาดสารอาหารมาหล่อเลี้ยง จึงเกิดการตายของเนื้อเยื่อปริทันต์ชนิดไม่ติดเชื้อซึ่งเรียกว่า ไฮยาลินไนเซชัน ผลที่ตามมาก็คือ เกิดการละลายของกระดูกแบบอ้อม ในทางคลินิกถ้ามีแรงขนาดหนักมากระทำที่ตัวฟัน ระยะ 2-3 วันแรก ฟันจะเคลื่อนที่เร็วมากแต่เป็นระยะทางสั้น ๆ หลังจากนั้นฟันจะหยุดเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่น้อยมากเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ แล้วฟันจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในระยะที่สาม ดังนั้นการใช้แรงขนาดหนักในฟันที่อยู่กับที่เป็นเวลานาน อาจทำให้ฟันที่เป็นหลักยึดเคลื่อนที่มาข้างหน้าเกิดการสูญเสียหลักยึดได้

2.2.4 แรงสูงมาก

แรงสูงมากที่กระทำต่อตัวฟัน จะทำให้เอ็นปริทันต์ถูกกดจนหลอดเลือดตีบตัน ขาดสารอาหารมาหล่อเลี้ยง เกิดไฮยาลินไนเซชัน และการละลายของกระดูกแบบอ้อมเป็นบริเวณกว้าง รากฟันละลาย ฟันตาย ฟันโยกมากและผู้ป่วยจะรู้สึกปวดมากด้วย

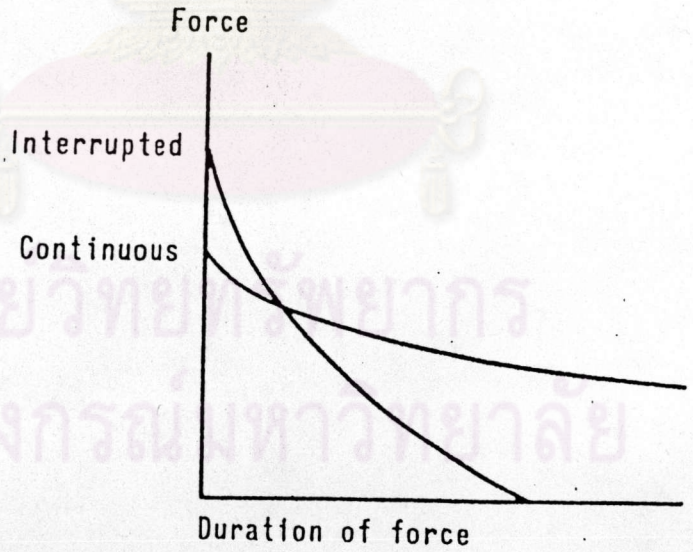
2.3 ระยะเวลาที่ให้แรง

2.3.1 แรงต่อเนื่อง

แรงต่อเนื่องเป็นแรงที่ฟันได้รับอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่ใส่เครื่องจัดฟัน เช่น แรงจากสปริงต่าง ๆ เป็นต้น แรงดังกล่าวจะลดลงบ้างเล็กน้อยเมื่อฟันเคลื่อนที่หรือเครื่องมืออ่อนกำลังลง แต่ก็ยังคงมีแรงอยู่ตลอดเวลา

2.3.2 แรงอินเตอร์รัปท์

แรงอินเตอร์รัปท์เป็นแรงที่ฟันได้รับในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่นานพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนของฟัน เมื่อฟันเคลื่อนตัวไปแล้วเครื่องมือจะทำหน้าที่พยุงให้ฟันอยู่กับที่โดยไม่มีแรงมากระทำ เช่น การมัดฟันเข้ากับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน การทำทอร์ก เป็นต้น



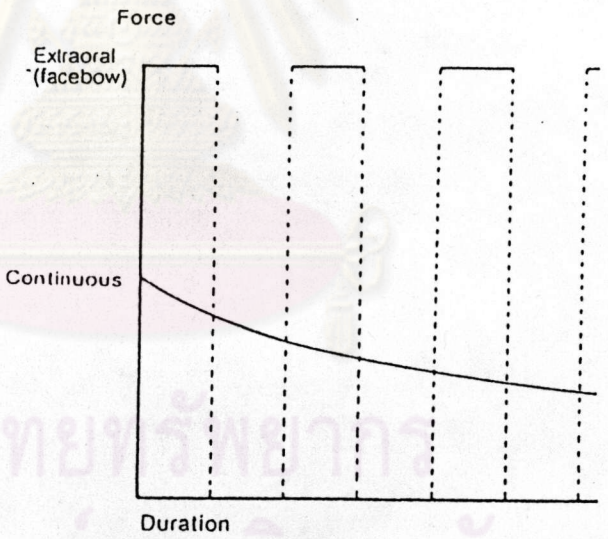
รูปที่ 7 แสดงความแตกต่างของขนาดแรงและระยะเวลาระหว่างแรงต่อเนื่องและแรงอินเตอร์รัปท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเคลื่อนฟันโดยการใช้แรงอินเตอร์รัปท์มีข้อดีคือมีระยะพักมากพอเพื่อให้เนื้อเยื่อรอบๆ ฟันมีการจัดตัวใหม่เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องมือถูกปลุกฤทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

2.3.3 แรงเป็นระยะ

แรงเป็นระยะ เป็นแรงที่ฟันได้รับในระยะเวลาอันสั้นแล้วมีช่วงหยุดแรงสลับกันไปเรื่อย ๆ เช่น แรงจากสปริงในเครื่องมือจัดฟันชนิดถอดได้แรงจากเครื่องมือนอกช่องปาก (Extraoral force) ซึ่งฟันจะได้รับแรงขณะที่ผู้ป่วยใส่เครื่องมือและจะไม่มีแรงมากระทำขณะที่ผู้ป่วยถอดเครื่องมือ



รูปที่ 8 แสดงความแตกต่างของขนาดแรงและระยะเวลาระหว่างแรงต่อเนื่องและแรงเป็นระยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การถอดเครื่องมือเป็นระยะเวลาสั้นๆไม่ทำให้เกิดผลเสีย แต่ถ้าถอดเครื่องมือนานมากไป ฟันที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะเกิดการเคลื่อนกลับ การใส่เครื่องมือเพื่อเคลื่อนฟันไปในทิศทางเดิมจะยุ่งยากและเสียเวลามากขึ้น

2.4 อายุของผู้ป่วย

การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันสามารถเกิดได้ทุกช่วงอายุ แต่เมื่ออายุมากขึ้นการเคลื่อนฟันจะเกิดได้ช้าลง ถ้าให้แรงเท่ากันในระยะเวลานานเท่ากัน จะพบว่าการเคลื่อนฟันในผู้ป่วยอายุน้อยเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าผู้ป่วยอายุมาก

<u>ความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น</u>

Proffit และ Fields (1986) คิดว่าความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นขึ้นอยู่กับ

- พื้นที่ที่แบรกเก็ตสัมผัสกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน
- แรงที่ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ถูกกดเข้ากับร่องแบรกเก็ต ซึ่งหมายถึงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและแรงที่ใช้ระหว่างผิวสัมผัสของแบรกเก็ตกับลวด โดยพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแบรกเก็ตกับลวดไม่ได้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียดทานเลย เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสจะเป็นการเพิ่มพื้นผิวที่สร้างความเสียดทานในอัตราเดียวกันกับการลดแรงต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นผลต่าง ๆ จงสมดุลย์ซึ่งกันและกัน ส่วน Tidy (1989) มีความเชื่อตามกฎของความเสียดทานที่ว่า "ความเสียดทานใด ๆ จะเป็นปฏิภาคกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก" ซึ่งในกรณีที่แบรกเก็ตเกิดการไถลไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันแรงปฏิกิริยาตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสของแบรกเก็ตและลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน จะเกิดขึ้นจาก

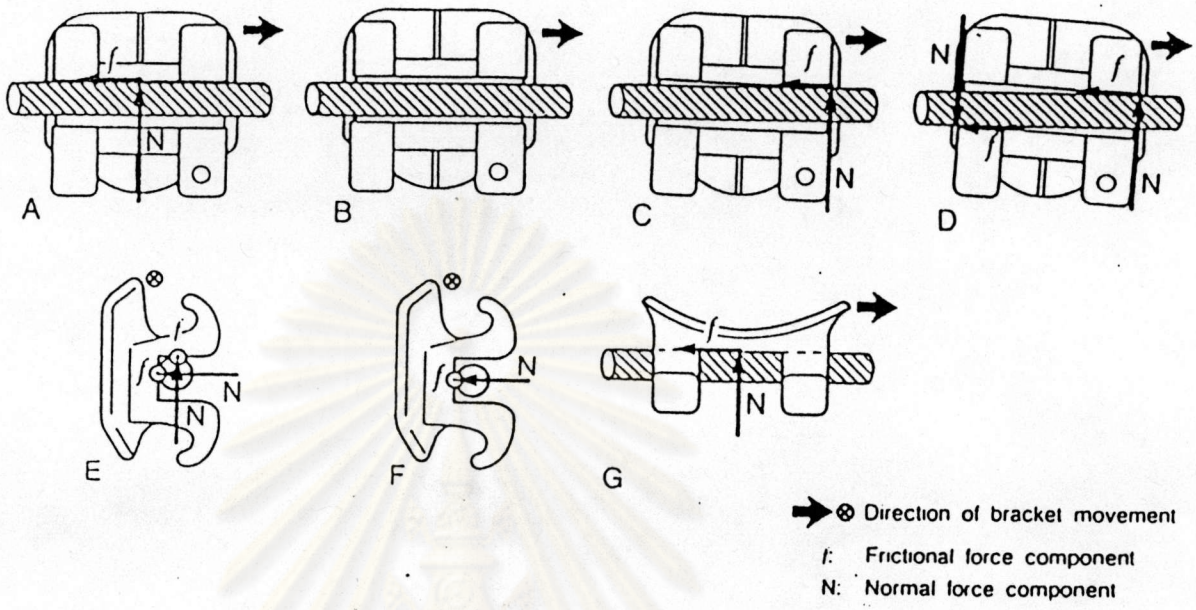
1. การมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับแบรกเก็ตซึ่งอยู่นอกแนวการเรียงตัวของฟัน
2. แรงจากการมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับฐานของร่องแบรกเก็ต
3. ทอร์กซึ่งมีฤทธิ์ในลวดเหลี่ยม

4. ความต้านทานที่จุดสัมผัส 2 จุดระหว่างแบรกเก็ตและลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันในขณะที่ฟันมีการเคลื่อนแบบบอดิลีย์ และมีแนวโน้มที่จะเกิดการล้มเอียงของฟัน

ความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น มีทั้งความเสียดทานสถิตและความเสียดทานจลน์ ในขณะที่เราทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลวดผ่านแบรกเก็ตหรือทำให้แบรกเก็ตเคลื่อนที่ไปตามลวด จะเกิดแรงอยู่ 2 ชนิด (Kapilla, 1989) คือ แรงเสียดทานซึ่งจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของผิวสัมผัส และแรงปฏิกิริยาตั้งฉากซึ่งจะมีทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัสและตั้งฉากกับแรงเสียดทานด้วย

ในขณะที่ฟันเคลื่อน ความสัมพันธ์ระหว่างแบรกเก็ตและลวดอาจเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่าง ๆ (รูปที่ 9) ดังนั้น ขนาดและทิศทางของแรงเสียดทานตลอดจนแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก จะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9 แรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่เกิดจากลวดกระทำต่อแบรก-เก็ตฟันเขี้ยวล่างด้านซ้าย ซึ่งไม่ได้แสดงการมัดลวดเข้ากับร่องแบรก-เก็ตเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

รูป A ถึง D เป็นรูปทางด้านหน้าของแบรกเก็ต แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแบรกเก็ตกับลวดในลักษณะต่าง ๆ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉากระหว่างการเคลื่อนฟันด้วย

รูป E และ F เป็นรูปทางด้านใกล้กลางของแบรกเก็ต แทนการเคลื่อนที่ของแบรกเก็ตในแนวตั้งฉากเข้าไปในหน้ากระดาษ

รูป G เป็นรูปทางด้านบดเคี้ยวของแบรกเก็ตและลวด [จาก Kapilla, Angolkar, Duncanson Jr. และ Nanda (1989)]

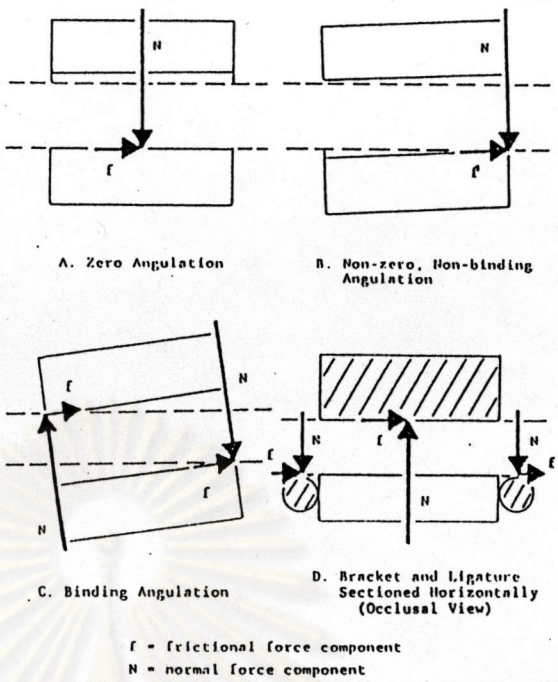
Frank และ Nikolai (1980) ได้อธิบายลักษณะของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นเอาไว้ว่า เมื่อพิจารณาทางด้านหน้าแล้ว จะพบว่าแรงปฏิกิริยาตั้งฉากมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

1. ในขณะที่แบรกเก็ตยังไม่เคลื่อนไปตามลวด แรงปฏิกิริยาตั้งฉากของลวดที่กระทำต่อแบรกเก็ตจะกระจายเหนือด้านบดเคี้ยว หรือด้านใกล้เหงือกของร่องแบรกเก็ต หรือกระจายเหนือขอบด้านใกล้กลาง และขอบด้านไกลกลางบนด้านเดียวกันของแบรกเก็ต ซึ่งแสดงไว้ในรูป 10A

2. เมื่อแบรกเก็ตเริ่มมีการล้มเอียง (Tip) ในแนวใกล้-กลางแต่ยังมีช่องว่าง ระหว่างลวดกับร่องแบรกเก็ต ลวดจะสัมผัสขอบของร่องแบรกเก็ตทางด้านใกล้กลางหรือด้านไกลกลางดังรูปที่ 10B

3. เมื่อแบรกเก็ตมีการเอียงมากขึ้นจนไม่มีช่องว่างระหว่างลวดกับร่องแบรก-เก็ตแรงปฏิกิริยาตั้งฉากจากลวดจะมี 2 แห่งคือ ที่ขอบของร่องแบรกเก็ตในแนวทะแยงมุมดังในรูปที่ 10C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10 แรงที่เกิดจากลวดกระทำต่อแบรกเก็ตในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งเมื่อแตกแรงแล้ว ในแนวดิ่งจะเป็นแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก ส่วนในแนวระดับจะเป็นแรงเสียดทาน ในแต่ละภาพแสดงให้เห็นว่าแบรกเก็ตเอียงไปทางด้านซ้ายเมื่อเทียบกับลวด [จาก Frank และ Nikolai (1980)]

แรงปฏิกิริยาตั้งฉากทั้งสามลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเป็นประจำระหว่างการดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน แรงปฏิกิริยาตั้งฉากทั้งสามลักษณะอาจมีความแตกต่างกันบ้างระหว่างลวดกลมและลวดเหลี่ยม ซึ่งอาจมีอิทธิพลต่อความเสียดทานด้วย เมื่อพิจารณาทางด้านบดเคี้ยว (รูป 10D) จะพบว่าแรงปฏิกิริยาตั้งฉากเกิดจากการสัมผัสระหว่างลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันกับร่องแบรกเก็ตทางด้านใกล้ลิ้น และเกิดจากการมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ารับร่องแบรกเก็ตด้วยลวดมัดแบรกเก็ต ยางมัดแบรกเก็ต หรือโอลดิง พิน ในการวิเคราะห์แผนผังของแรงทางด้านบดเคี้ยว ต้องพิจารณาด้วยว่าการมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับร่องแบรกเก็ตนั้น เรามัดเฉพาะขอบด้านใกล้กลางหรือขอบด้านไกลกลางของแบรกเก็ต เช่น ในกรณีฟันหมุน หรือมัดที่ขอบแบรกเก็ตทั้งสองด้าน

การดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันในทางคลินิกนั้น Frank และ Nikolai (1980) แยกแยะออกเป็น 3 ระยะด้วยกัน คือ

ระยะแรก จะเกิดการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงไปทางด้านไกลกลาง โดยแรงจากแหล่งกำเนิดมีมากกว่าความต้านทานของเนื้อเยื่อปริทันต์และความเสียดทานระหว่างแบรก-เก็ตกับลวด การเคลื่อนฟันแบบทิปปิงไปทางด้านไกลกลางนี้จะเกิดต่อไปเรื่อย ๆ เกิดการทำมุมของร่องแบรกเก็ต เมื่อเทียบกับลวดมากขึ้นจนกระทั่งช่องว่างระหว่างลวดกับร่องแบรกเก็ตหมดไป ฟันเขี้ยวจึงเริ่มเกิดการยึดเหนี่ยวขึ้น

ระยะที่สอง ฟันเขี้ยวยังคงเคลื่อนที่ไปทางไกลกลางต่อไปเรื่อย ๆ แต่ขณะนี้จะมีแรงคู่ควบที่เกิดจากการที่ลวดแตะกับขอบของร่องแบรกเก็ตในแนวทะแยงมุม แรงคู่ควบนี้จะมีทิศทางตรงข้ามกับแรงที่ทำให้ตัวฟันล้มเอียง ฟันเขี้ยวจึงเริ่มเปลี่ยนจากการเคลื่อนฟันแบบทิปปิง กลายเป็นการเคลื่อนฟันแบบบอดิลีย์

ระยะที่สาม ระยะนี้แรงจากแหล่งกำเนิดแรงจะค่อยๆลดลงในขณะเดียวกันแรงคู่ควบก็จะลดลงด้วย ฟันเขี้ยวในระยะนี้จึงเกิดการเคลื่อนรากฟัน เกิดการตั้งฟัน และเมื่อแรงจากแหล่งกำเนิดแรงลดลงมาจนเกือบเป็นศูนย์ การทำมุมของร่องแบรกเก็ตก็จะกลับสู่ช่วงท้ายของระยะที่หนึ่ง ปริมาณการเกิดการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงในระยะแรกนั้น Frank และ Nikolai (1980) คิดว่าขึ้นอยู่กับ

- การทำมุมของร่องแบรกเก็ตตั้งแต่เริ่มแรก
- ลักษณะการตัดลวดแบบเกเบิล (Gable)
- ความกว้างของแบรกเก็ต
- ขนาดร่องแบรกเก็ต
- ขนาดของลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน

ส่วนการเคลื่อนฟันแบบทิปปิงที่เพิ่มขึ้นในระยะที่สองนั้น ขึ้นอยู่กับการหมดฤทธิ์ของแหล่งกำเนิดแรงและความแข็งตึงของลวดในการดัดแบบออร์เดอร์ที่สอง ซึ่งความแข็งตึงของลวดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวด วัสดุที่ใช้ทำลวด และระยะห่างระหว่างแบรกเก็ต

Drescher, Bouraual และ Schumacher(1989) แบ่งแยกการดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันออกเป็น 4 ระยะด้วยกันคือ

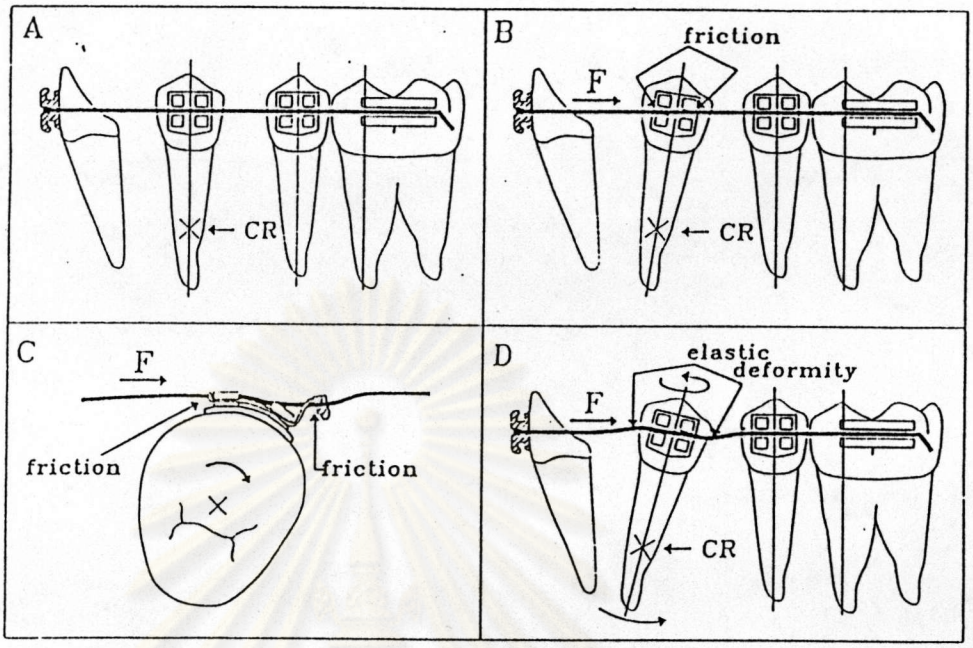
ระยะแรก เป็นระยะที่มีการปรับฟันให้อยู่ในระดับที่ดีแล้ว และยังไม่มีการให้แรงแก่ฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ระยะนี้ลวดและร่องแบรกเก็ตจะอยู่ในแนวเดียวกัน (รูป 11A)

ระยะที่สอง เมื่อมีการให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ฟันจะเริ่มล้มเอียงและหมุนเนื่องจากจุดที่แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมากระทำอยู่เหนือจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน (รูป 11B, 11C)

ระยะที่สาม การให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางอย่างต่อเนื่องจะทำให้ลวดเกิดการผิดรูปในช่วงยืดหยุ่น ในขณะเดียวกันแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่างลวดและแบรกเก็ตจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางหายไป การผิดรูปในช่วงยืดหยุ่นของลวดจะทำให้เกิดการต้านทานการล้มเอียง และต้านทานการหมุนของฟัน (รูป 11D)

การเคลื่อนฟันไปตามลวดจะเกิดการเคลื่อนที่ของฟันตั้งแต่ระยะที่หนึ่งถึงระยะที่สามซ้ำ ๆ กันหลายหน อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยหลายประการที่มาเกี่ยวข้อง เช่น แรงจากการบดเคี้ยวที่อาจมีผลต่อการเคลื่อนที่ของฟันทั้งสามระยะเสียไปโดยทำให้ลวดเกิดการผิดรูปอย่างถาวรได้

ระยะที่สี่ เป็นระยะที่ลวดเกิดการผิดรูปร่างอย่างถาวรจากปัจจัยอื่น ๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ระยะนี้เป็นระยะที่ต้องพยายามหลีกเลี่ยง

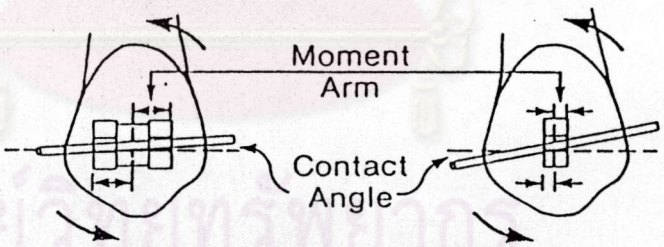


รูปที่ 11 แสดงการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันทั้งสามระยะ
ระยะแรก เป็นระยะที่ฟันมีการปรับระดับดีแล้วก่อนการให้แรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง (รูป 11A)
ระยะที่สอง เมื่อฟันได้รับแรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ฟันจะล้มเอียง (รูป 11B) และหมุน (รูป 11C) ทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน และเกิดแรงเสียดทานขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่างลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันกับลวดมัดแบรกเก็ตด้วย
ระยะที่สาม เมื่อลวดได้รับแรงในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางอย่างต่อเนื่องจะทำให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเกิดการผิดรูปร่างในช่วงยืดหยุ่น แรงเสียดทานที่จุดสัมผัสจึงค่อย ๆ สูงขึ้น เกิดการต้านทานการล้มเอียงและต้านการหมุนของฟัน (รูป 11D) [จาก Dresher, Bourauel และ Schumacher (1989)]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น

1. ความกว้างของแบรกเก็ต

ในการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันนั้น จะเกิดความเสียดทานระหว่างลวดกับแบรกเก็ตขึ้น ความเสียดทานดังกล่าว Proffit และ Fields (1986) แนะว่าเกิดจากแรงที่แบรกเก็ตสัมผัสกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันและมุมสัมผัสระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน(รูปที่ 12) แบรกเก็ตที่กว้างกว่าสามารถลดปริมาณของแรงที่ขอบร่องแบรกเก็ตและลดมุมสัมผัสระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันลงได้ด้วย ดังนั้นแบรกเก็ตที่กว้างจึงมีข้อดีในการลดแรงเสียดทานลง อย่างไรก็ตามแบรกเก็ตที่กว้างจะมีระยะห่างระหว่างแบรกเก็ตบนฟันแต่ละซี่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นส่วนของลวดระหว่างฟันแต่ละซี่จึงค่อนข้างสั้น ทำให้การสปริงและระยะการทำงานของลวดน้อยลง และยังทำให้การควบคุมแรงในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันยุ่งยากขึ้นด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงไม่ควรใช้แบรกเก็ตที่กว้างเกินไป แบรกเก็ตที่เหมาะที่สุดควรกว้างประมาณครึ่งหนึ่งของความกว้างตัวฟัน ส่วนในฟันซ้อนเกควรใช้แบรกเก็ตแคบ เพราะจะมีระยะระหว่างแบรกเก็ตบนฟันแต่ละซี่มาก ช่วยให้ลวดมีความสามารถในการบิดตัวสูงขึ้น



รูปที่ 12 ความกว้างของแบรกเก็ตจะเป็นตัวพิจารณาความยาวของแขนโมเมนต์ ซึ่งควบคุมตำแหน่งรากฟันในแนวใกล้กลางไกลกลาง ความกว้างของแบรกเก็ต ยังมีอิทธิพลต่อมุมสัมผัสของลวด และแบรกเก็ตด้วย แบรกเก็ตที่กว้างกว่าจะมีมุมสัมผัสที่เล็กกว่า [จาก Proffit และ Fields (1986)]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับ Thurow (1982) คิดว่าแบรกเก็ตและลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันมีผิวสัมผัสราบเรียบ จึงถือว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากันตลอดผิวสัมผัส ดังนั้นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเสียดทานก็คือ แรงที่เกิดขึ้นระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน แบรกเก็ตที่แคบจะเกิดแรงเสียดทานมากกว่าแบรกเก็ตที่กว้างเพราะ

1. แบรกเก็ตที่แคบจะเกิดแรงที่ผิวสัมผัสระหว่างแบรกเก็ตและลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันมากกว่าแบรกเก็ตที่กว้างกว่า ตลอดจนเพิ่มความเป็นไปได้ในการทำให้ลวดเป็นรอย

2. แบรกเก็ตแคบจะทำให้เกิดการล้มเอียงของตัวฟันได้มากกว่าแบรกเก็ตที่กว้าง จึงทำให้มีแรงเสียดทานมากกว่า

ในการศึกษาของ Kamiyama และ Sasaki ตลอดจนการศึกษาของ Tidy (1989) พบว่าแรงเสียดทานเป็นปฏิภาคผกผันกับความกว้างของแบรกเก็ต แต่การศึกษาของ Frank และ Nikolai (1980) Freeney, Morton และ Burstone (1988) Kapilla, Angolkar, Duncanson Jr. และ Nanda (1989) กลับให้ผลตรงกันข้าม คือ แรงเสียดทานจะเพิ่มตามขนาดความกว้างของแบรกเก็ต ที่เป็นเช่นนี้ Kapilla, Angolkar, Duncanson Jr. และ Nanda (1989) เชื่อว่าเกิดจากการใช้ยางมัดแบรก-เก็ต แบรกเก็ตที่กว้างจะเกิดการยืดของยางมัดแบรกเก็ตมาก จึงเกิดแรงปฏิกิริยาตั้งฉากจากการมัดยางมากกว่าแบรกเก็ตที่แคบ ผลที่ตามมาจึงพบว่าแบรกเก็ตที่กว้างเกิดความเสียดทานมากกว่าแบรกเก็ตแคบ ๆ ในการศึกษาของ Dresher, Bourauel และ Schumacher (1989) ก็พบว่าแบรกเก็ตแคบให้แรงเสียดทานสูง แต่แบรกเก็ตขนาดกลางและแบรกเก็ตกว้างจะให้แรงเสียดทานน้อยเท่า ๆ กัน การที่แบรกเก็ตให้แรงเสียดทานสูงดังกล่าว Dreshcer, Bourauel และ Schumacher (1989) ให้ความเห็นว่าแบรกเก็ตแคบจะทำให้เกิดการล้มเอียงของตัวฟันได้ง่ายกว่าแบรกเก็ตกว้าง จึงเกิดแรงเสียดทานสูงกว่า

ส่วนการศึกษาของ Andreasen และ Quevedo Garner, Allai และ Moore (1986) พบว่าความกว้างของแบรกเก็ตไม่มีความเกี่ยวข้องกับความเสียดทานเลย

นอกจากนี้ Perterson, Spencer และ Andreasen (1982) ก็พบเช่นกันว่าขนาดความกว้างของแบรกเก็ตไม่มีผลต่อปริมาณแรงเสียดทานสถิตในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดไนตินอลทุกขนาดเช่นกัน

2. ขนาดของร่องแบรกเก็ตและความอิสระในการเคลื่อนที่ของลวด

การเคลื่อนฟันโดยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น บางครั้งก็จำเป็นต้องเคลื่อนลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันผ่านแบรกเก็ตและบัคคัล ทิวบ์ หรืออาจต้องเคลื่อนแบรกเก็ตไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน Proffit และ Fields (1986) แนะนำให้ใช้ลวดที่มีขนาดเล็กกว่าร่องแบรกเก็ต ในกรณีที่ต้องการลดความเสียดทานลงซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องมีช่องว่างระหว่างลวดกับร่องแบรกเก็ตตั้งแต่ 0.002 นิ้ว (0.05 มิลลิเมตร) ขึ้นไป ถ้ามีช่องว่างระหว่างลวดกับร่องแบรกเก็ตน้อยกว่า 0.002 นิ้ว จะเกิดความเสียดทานมากขึ้น (1982) ยิ่งในกรณีที่มีรอยขรุขระบนลวดด้วยแล้วฟันอาจจะหยุดเคลื่อนที่เลยก็ได้

จากการศึกษาของ Tidy (1989) พบว่าความเสียดทานที่เกิดจากการใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว และ 0.018x0.025 นิ้ว ทดลองกับแบรก-เก็ตขนาดร่อง 0.018 นิ้ว และขนาดร่อง 0.022 นิ้ว ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว และ 0.019 x 0.025 นิ้ว ที่ทดลองกับแบรกเก็ตมีผลต่อความเสียดทานน้อยมาก อย่างไรก็ตามลวดที่มีความกระชับกับร่องแบรกเก็ตมาก ๆ ก็มีโอกาสเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างลวดกับร่องแบรกเก็ตได้เช่นกัน

3. ขนาดของลวด

Frank และ Nikolai (1980) ได้ทำการศึกษาทดสอบหาความเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตกับลวด พบว่าแรงเสียดทานมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของลวด ลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้แรงเสียดทานมากขึ้น รูปร่างหน้าตัดของลวดก็มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานด้วย โดยที่ลวดเหลี่ยมจะมีแรงเสียดทานมากกว่าลวดกลม

Tidy (1989) พบว่าการใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.018 x 0.025

นิ้วแทนลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว จะทำให้เกิดแรงเสียดทานสูงขึ้นประมาณ ร้อยละ 30

Echols (1975) ได้ทดลองวัดแรงเสียดทานสถิตที่ใช้ในการทำให้ลวดขนาดต่าง ๆ ไถลผ่านแบรกเก็ตขนาดร่อง 0.022 นิ้ว Echols พบว่าลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต้องการแรงในการเคลื่อนที่มากกว่า

Riley, Garrett และ Moon (1979) ตลอดจน Garner, Allai และ Moore (1986) พบว่าการเปลี่ยนลวดกลมไปเป็นลวดเหลี่ยมและการเพิ่มขนาดของลวดเหลี่ยมจะทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Peterson, Spencer และ Andreasen (1982) สร้างเครื่องมือเลียนแบบการดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน จุดประสงค์ก็เพื่อต้องการทราบว่าลวดไนตินอลต้องการแรงในการไถลผ่านแบรกเก็ตน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจริงหรือไม่ ผลการทดลองพบว่า ในกรณีลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดของลวดจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณแรงที่ต้องเอาชนะแรงเสียดทาน แต่ในกรณีของลวดไนตินอลไม่เป็นเช่นนั้น พวกเขาพบว่าเมื่อแบรกเก็ตเอียงทำมุมกับลวด 15 องศา ลวดเหลี่ยมไนตินอลขนาด 0.019x0.025 นิ้ว ต้องการแรงที่จะเอาชนะความเสียดทานน้อยกว่าลวดกลมไนตินอลขนาด 0.020 นิ้ว

Baker, Neiberg, Weimer และ Hanna (1987) ได้ศึกษาทดลองเพื่อประเมินแรงเสียดทานที่เปลี่ยนไปเมื่อใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดต่าง ๆ (0.018 นิ้ว 0.020 นิ้ว และ 0.018 x 0.025 นิ้ว) กับแบรกเก็ตขนาดร่อง 0.022 x 0.028 นิ้ว ในภาวะต่าง ๆ คือ ภาวะแห้ง ภาวะเปียกด้วยน้ำลายเทียมและภาวะเปียกด้วยกลีเซอรีน ผลการทดลองพบว่า ลวดกลมขนาด 0.020 นิ้ว ให้ความเสียดทานน้อยที่สุดทั้งสามภาวะที่เป็นเช่นนี้พวกเขามีความเห็นว่าเป็นเพราะลวดกลมขนาด 0.020 นิ้วมีความกว้างในแนวด้านบดเคี้ยว-ด้านใกล้เหงือกมากกว่าลวดกลมขนาด 0.018 นิ้ว และมากกว่าลวดเหลี่ยมขนาด 0.018x0.025 จึงมีช่องว่างระหว่างร่องแบรกเก็ตกับลวดน้อย มุมที่ลวดจะเอียงเมื่อเทียบกับแบรกเก็ตจึงมีน้อย ดังนั้นจึงเกิดการยึดเหนี่ยวน้อยด้วย นอกจากนี้ลวดกลมขนาด 0.020 นิ้ว ยังมีความแข็งตึงมากกว่าลวดกลมขนาด 0.018 นิ้ว ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวขณะได้รับแรงน้อยกว่า

จากการศึกษาของ Kapila, Angolkar, Duncanson Jr. และ Nanda

(1989) เพื่อประเมินผลของขนาดลวด และชนิดของลวดที่มีผลต่อแรงเสียดทานระหว่างการเลื่อนแบบการดึงฟันเขี้ยว โดยใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ลวดนิเกิล-ติตาเนียม และลวดบีตา-ติตาเนียมขนาดต่าง ๆ ทดสอบกับแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม ผลจากการทดลองพบว่าการเพิ่มขนาดลวดทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้น ในกรณีการควบคุม 2 มิติ จะพบว่าลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ขนาด 0.016 นิ้วในแบรกเก็ตขนาดร่อง 0.018 นิ้วแบบมีเดียม ทวิน ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.018 นิ้วในแบรกเก็ตขนาดร่อง 0.022 นิ้วแบบมีเดียมทวินและลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิลขนาด 0.018 นิ้วแบรกเก็ตขนาดร่อง 0.022 นิ้วแบบไวด์ทวินมีความเสียดทานต่ำ

กรณีการควบคุม 3 มิติจะพบว่าลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ขนาด 0.016 x 0.016 นิ้วในแบรกเก็ตขนาดร่อง 0.018 นิ้วแบบมีเดียม ทวิน และลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.017x0.017 นิ้ว ในแบรกเก็ตร่อง 0.022 นิ้วแบบมีเดียม ทวิน มีความเสียดทานต่ำ

จากการศึกษาของ Tidy (1989) นั้นกลับพบว่าขนาดของลวดมีอิทธิพลต่อความเสียดทานน้อยมาก ผลการศึกษาของ Tidy แตกต่างจากการศึกษาอื่น ๆ ที่เป็นเช่นนี้ Tidy ให้ความเห็นว่า ในกรณีที่แบรกเก็ตอยู่นอกแนวการเรียงตัวของฟัน ความแข็งตึงของลวดจะมีอิทธิพลต่อแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่จุดสัมผัส ลวดที่มีความแข็งตึงสูงจะทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่จุดสัมผัสมาก ความเสียดทานจึงมากตามไปด้วย แต่ในกรณีที่แบรกเก็ตมีการเรียงตัวอยู่ในแนวที่ดีแล้วความแข็งตึงของลวดจะไม่มีผลต่อความเสียดทานเลย

สำหรับ Drescher, Bourauel และ Schumacher (1989) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดลวดต่อความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น โดยใช้ลวด 5 ขนาดคือลวดกลม 0.016 นิ้ว, 0.018 นิ้ว ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว, 0.017 x 0.025 นิ้ว และ 0.018 x 0.025 นิ้ว ทดลองกับแบรกเก็ตที่มีร่องขนาด 0.018 นิ้ว Drescher, Bourauel และ Schumacher พบว่า ลวดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้เกิดความเสียดทานสูงขึ้น แต่ลวดกลมขนาด 0.016 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว จะให้แรงเสียดทานค่อนข้างน้อยและไม่แตกต่างกันเลย ส่วนลวดเหลี่ยมขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว จะให้แรงเสียดทานสูงที่สุด

4. แรงจากการมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับร่องแบรกเก็ต

ผลการทดลอง Frank และ Nikolai (1980) ที่เกี่ยวกับแรงจากการมัดลวดพบว่าถ้าแบรกเก็ตเอียงทำมุมกับลวดไม่มาก ไม่เกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สองแล้วแรงจากการมัดจะมีอิทธิพลต่อความเสียดทานสูง

Echols (1975) ให้ความเห็นเอาไว้ว่า ในการปฏิบัติงานทางคลินิกนั้นแรงที่จะใช้ในการเคลื่อนฟันนั้นควรจะคำนึงถึงแรงยึดเหนี่ยวของยางมัดแบรกเก็ตด้วย และเมื่อต้องการให้ลวดเกิดการไถลผ่านแบรกเก็ตแล้วก็ควรที่จะหลีกเลี่ยงการใช้ยางมัดแบรก-เก็ต

Thurow (1982) ให้ความเห็นว่า ลวดมัดแบรกเก็ตนั้นมีความแข็งแรงมาก ส่วนยางมัดแบรกเก็ตมีความยืดหยุ่นมากและความแข็งแรงต่ำ การใช้ลวดมัดแบรกเก็ตจึงเกิดแรงในการมัดสูงกว่าการใช้ยางมัดแบรกเก็ต จึงอาจทำให้ฟันหยุดเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่าด้วย Thurow แนะนำให้ระมัดระวังการหมุนของฟันในขณะที่ฟันเคลื่อนที่เมื่อใช้ยางมัดแบรกเก็ต และไม่ควรใช้แรงในการเคลื่อนฟันมาก เนื่องจากเราได้ใช้ยางมัดแบรกเก็ตแทนลวดมัดแบรกเก็ตแล้ว

Riley, Garrett และ Moon (1979) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดลวด วัสดุที่ใช้ทำแบรกเก็ต ชนิดของการมัด และเวลาในการมัดที่มีผลต่อขนาดแรงเสียดทาน พวกเขาพบว่าลวดมัดแบรกเก็ตทำให้เกิดแรงเสียดทานสูงเมื่อเทียบกับการใช้ยางมัดแบรกเก็ต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้กับแบรกเก็ตพลาสติก

5. วัสดุที่ใช้ทำลวด

จากการศึกษาของ Peterson, Spencer และ Andreasen (1982) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบว่า ลวดไนตินอลต้องการแรงในการไถลผ่านแบรกเก็ตน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจริงหรือไม่ ผลจากการทดลองพบว่า ในกรณีที่ไม่มีการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแรงที่ต้องใช้ในการทำให้แบรกเก็ตเริ่มเคลื่อนที่ไปตามลวดไนตินอลและลวดเหล็กกล้าไร้สนิม แต่ในกรณีที่มีการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันสูงขึ้นจาก 5 ถึง 10 องศาแล้ว ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมต้องการแรงที่จะเอาชนะความเสียดทาน

มากกว่าลวดไนตินอล ถ้าให้แบรกเก็ตเอียงทำมุมกับลวด 15 องศา จะพบว่าลวดไนตินอลขนาด 0.019x0.025 นิ้ว ต้องการแรงที่จะเอาชนะความเสียดทานน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมถึงร้อยละ 61

ในการศึกษาของ Garner, Allai และ Moore(1986) เพื่อเปรียบเทียบความเสียดทานระหว่างการเลียนแบบการดึงฟันเขี้ยวในลวด 3 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดไนตินอล และลวดบีตา-ติตาเนียม ผลจากการทดลองกลับพบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมใช้แรงในการทำให้แบรกเก็ตไถลไปตามลวดน้อยที่สุด ตามด้วยลวดไนตินอล ส่วนลวดบีตา-ติตาเนียมต้องการแรงในการทำให้แบรกเก็ตไถลไปตามลวดมากที่สุด

Kapilla, Angolkar, Duncanson Jr.และ Nanda (1990) ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินผลของขนาดลวดและชนิดของลวดที่มีต่อแรงเสียดทานระหว่างการเลียนแบบการดึงฟันเขี้ยว พบว่า ลวดบีตา-ติตาเนียมมีความเสียดทานมากกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล

Pratten, Popli, Germane และ Gunsolley (1990) ได้ศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบรกเก็ตเซรามิกและแบรกเก็ตกล้าไร้สนิม โดยให้ลวดไนตินอล และลวดเหล็กกล้าไร้สนิมผ่านร่องแบรกเก็ตอย่างอิสระ พวกเขาพบเช่นกันว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีความเสียดทานน้อยกว่าลวดไนตินอล

Tidy (1989) ได้ทำการศึกษาเพื่อดูผลของวัสดุที่ใช้ทำลวด Tidy พบว่าลวดไนตินอลมีความเสียดทานมากกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมประมาณ 2 เท่า ส่วนลวดบิตา-ติตาเนียม มีความเสียดทานมากกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมถึง 5 เท่า

Drescher, Bourauel และ Schumacher (1989) ได้ทำการศึกษาลวด 5 ชนิดคือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมชื่อการค้าว่า สเตนเลส สตีลมาตรฐาน คอร์ปอเรชัน ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมชื่อการค้าว่าไฮ-ที ของบริษัทยูนิเทค คอร์ปอเรชัน ลวดเอลจิลอยสีฟ้าของบริษัททรอกกี เมาเทน ออร์โธดอนติกส์ ลวดไนตินอลของบริษัทยูนิเทค คอร์ปอเรชัน และลวดบีตา-ติตาเนียมของบริษัทออร์มโก คอร์ปอเรชัน Drescher, Bourauel และ Schumacher พบว่าลวดไฮ-ทีให้แรงเสียดทานน้อยที่สุดตามด้วยลวดสเตนเลส สตีลมาตรฐาน ลวดเอลจิลอยสีฟ้า ลวดไนตินอล และลวดบีตา-ติตาเนียม ตามลำดับ

6. วัสดุที่ใช้ทำแบรกเก็ตและรูปแบบของแบรกเก็ต

Riley, Garrett และ Moon (1979) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุที่ใช้ทำแบรกเก็ตที่มีผลต่อขนาดของแรงเสียดทาน Riley, Garrett และ Moon พบว่าแบรกเก็ตพลาสติกมีความเสียดทานสูงกว่าแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม

Pratten, Popli, Germane และ Gunsolley (1990) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบรกเก็ตเซรามิก 2 ชนิดคือ ทรานส์เซนต์ ของบริษัทยูนิเทค คอร์ปอเรชัน และอัลยูร ของบริษัทจีเอซี อินเตอร์เนชันแนล อินคอร์ปอเรชัน กับแบรกเก็ตเหล็กไร้สนิม พบว่าแบรกเก็ตเซรามิกมีความเสียดทานสถิตสูงกว่าแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม แต่เมื่อเปรียบเทียบกันเองระหว่างแบรกเก็ตเซรามิกในการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ในเรื่องรูปแบบของแบรกเก็ตนั้น Frank และ Nilolai (1980) ได้เคยทำการศึกษาไว้แล้วพบว่าแบรกเก็ตแบบเบกก์ ของบริษัทอเมริกันออร์โธดอนติกส์ แบรกเก็ตแบบเอดจ์ล็อค ของบริษัทออร์มโก คอร์ปอเรชัน และแบรกเก็ตแบบเลวิส แอนตีทิป ของบริษัทอเมริกัน ออร์โธดอนติกส์ จะมีความแตกต่างจากแบรกเก็ตเอดจ์ไวส์แบบมาตรฐานที่มีความกว้างเท่ากันในกรณีที่มีการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดไม่มาก แบรกเก็ตแบบเบกก์และเอดจ์ล็อค มีความเสียดทานน้อยมากจนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีความเสียดทานเลยถ้าไม่ใช้ลวดหรือยางมัดแบรกเก็ต ส่วนในกรณีที่มีการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดมาก ๆ แบรก-เก็ตแบบเลวิส แอนตีทิปจะให้ความเสียดทานน้อยกว่าแบบอื่น ๆ ทั้งหมด

7. การทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน

Frank และ Nikolai (1980) ได้ศึกษาความเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตและลวด โดยมีตัวแปรที่ต้องการศึกษา 6 ตัวคือ ขนาดและรูปร่างของลวดความกว้างและรูปแบบของแบรกเก็ต การทำมุมออร์เดอร์ที่สอง ระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน วัสดุที่ใช้ทำลวด แรงจากการมัดลวด และระยะระหว่างแบรกเก็ต หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่า ในตัวแปรทั้งหมดที่ทำการศึกษา การทำมุมออร์เดอร์ที่สองระหว่าง

แบรกเก็ตกับลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันจะมีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานมากที่สุด ในกรณีที่มีการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดไม่มาก โดยไม่ทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สองระหว่างแบรกเก็ตกับลวด แล้วแรงจากการมัดจะมีอิทธิพลต่อความเสียดทานสูง ส่วนในกรณีที่มีการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดมาก ๆ จนเกิดการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สองแล้ว พบว่าความแข็งตึงของลวดในการโก่งงอมีอิทธิพลในการพิจารณาแรงเสียดทานด้วยซึ่งความแข็งตึงของลวดในการโก่งงอนี้ ขึ้นกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวด รูปร่าง วัสดุที่ใช้ทำลวดและระยะระหว่างแบรกเก็ต

Peterson, Spencer และ Andreason(1990) ได้ทำการศึกษาเพื่อดูว่าลวดไนตินอล ต้องการแรงในขณะไถลผ่านแบรกเก็ตน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมจริงหรือไม่ โดยใช้ลวดไนตินอลและเหล็กกล้าไร้สนิม 3 ขนาดคือ ลวดกลมขนาด 0.020 นิ้ว ลวดเหลี่ยมขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว และลวดเหลี่ยมขนาด 0.021 x 0.025 นิ้ว แบรกเก็ตเอียงทำมุมกับลวด 4 ระดับคือ 0, 5, 10 และ 15 องศา จากการทดลอง Peterson, Spencer และ Andreasen พบว่า

- เมื่อการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดมากขึ้น แรงเสียดทานในขณะที่แบรกเก็ตเริ่มเคลื่อนที่ไปตามลวดเหล็กกล้าไร้สนิม และลวดไนตินอลจะมากขึ้น

- เมื่อไม่มีการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวด จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแรงที่ต้องใช้ในการทำให้แบรกเก็ตเริ่มเคลื่อนที่ไปตามลวดไนตินอลและลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

- ถ้าการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดสูงขึ้นจาก 5 องศาถึง 10 องศา แล้วลวดเหล็กกล้าไร้สนิมต้องการแรงที่จะเอาชนะแรงเสียดทานมากกว่าลวดไนตินอล และเมื่อการทำมุมระหว่างแบรกเก็ตกับลวดสูงถึง 15 องศา ลวดไนตินอล ขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว ต้องการแรงที่จะเอาชนะความเสียดทานน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเดียวกันถึงร้อยละ 61

8. ภาวะเปียกและแห้ง

Thurow (1982) เคยเสนอแนะปัจจัย 2 ตัว ที่อาจจะช่วยลดแรงที่จำเป็นต้องใช้ในการเคลื่อนฟันลง ปัจจัยทั้งสองคือน้ำลายและทำงานของฟันระหว่างการบดเคี้ยว

Thurow เชื่อว่าน้ำลายเป็นสารหล่อลื่นที่ดีมาก ส่วนการทำงานของฟันระหว่างการบดเคี้ยวจะทำให้เกิดสิ่งซึ่ง Thurow เรียกว่า ผลวอล์คกิง (Walking effect) แบรกเก็ตจึงเคลื่อนไปตามลวดได้ง่ายขึ้น

Baker, Neiberg, Wiemer และ Hanna (1987) ได้ศึกษาทดลองเพื่อประเมินความเสียดทานในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดต่าง ๆ ที่เปลี่ยนไปจากภาวะแวดล้อม 3 ประการคือ ภาวะแห้ง, ภาวะเปียกด้วยน้ำลายเทียม และภาวะเปียกด้วยกลีเซอรีน พบว่าน้ำลายเทียมเป็นสารหล่อลื่นที่ดีสามารถลดแรงเสียดทานลงได้ร้อยละ 15 ถึงร้อยละ 19 แต่สำหรับกลีเซอรีน ยูเอสพี เมื่อใช้เป็นสารหล่อลื่น ปรากฏว่าไม่มีประสิทธิภาพในการลดแรงเสียดทานเลย เหตุที่กลีเซอรีนไม่ได้ช่วยลดความเสียดทานเลย เป็นเพราะความหนืดของกลีเซอรีน กลีเซอรีนมีความหนืดมากกว่าน้ำลายเทียมถึง 23 เท่า กลีเซอรีนจึงไม่เหมาะในการใช้เป็นสารหล่อลื่น

Stannard, Gau และ Hanna (1986) ได้ทำการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดบีตา-ติตาเนียม ลวดนิเกิล-ติตาเนียม และลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ขนาด 0.017x0.025 นิ้ว ที่ไถลผ่านที่จับเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเรียบ และที่จับเตตราฟลูออโรเอธีลีน ซึ่งมีชื่อการค้าว่า เทฟลอน การวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ดังกล่าว ทำการทดลองทั้งภาวะแห้งและภาวะเปียกด้วยน้ำลายเทียม โดยให้ลวดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 เซ็นติเมตรต่อนาที

พบว่าแรงเสียดทานจลน์ และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงขึ้นตามขนาดของแรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่มากขึ้นไม่ว่าจะเป็นลวดชนิดใดก็ตาม ในภาวะแห้งนั้นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไถลผ่านเทฟลอนมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยมาก ลวดบีตา-ติตาเนียมที่ไถลผ่านที่จับเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเรียบมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อย ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไถลผ่านที่จับเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเรียบมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยจนถึงปานกลาง สำหรับลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิลที่ไถลผ่านที่จับเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเรียบ มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง

ในภาวะเปียกด้วยน้ำลายเทียมก็ให้ผลคล้าย ๆ กัน โดยพบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไถลผ่านเทฟลอนมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยที่สุด ตามด้วยลวดบีตา-ติตาเนียม และลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไถลผ่านที่จับเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเรียบ ส่วนลวดนิเกิล-ติตาเนียม

I17199396

และลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิลที่ไถลผ่านที่จับเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเรียบ มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างสูง ในการทดลองในภาวะเปียกด้วยน้ำลายเทียมนี้ ตัวน้ำลายเทียมเองจะเพิ่มความเสียดทานให้กับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดบีตา-ติตาเนียมและลวดนิเกิล-ติตาเนียมเมื่อไถลผ่านที่จับเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเรียบ แต่น้ำลายเทียมไม่ได้เพิ่มความเสียดทานในกรณีที่ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมไถลผ่านเทฟลอนและในกรณีที่ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ไถลผ่านที่จับเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเรียบ

ตามปกติของเหลวจะช่วยลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสลง แต่ในการศึกษานี้ปรากฏว่า น้ำลายเทียมทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดบีตา-ติตาเนียม และลวดนิเกิล-ติตาเนียมเพิ่มขึ้น แต่ไม่เปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล หรือเทฟลอนเลย ทั้งนี้ Stannard, Gau และ Hanna คิดว่าเป็นไปตามทฤษฎีการยึดติดของความเสียดทานของ Robinowics ที่อธิบายว่าน้ำและของเหลวที่มีประจุไฟฟ้า ทำให้เกิดการยึดติดหรือมีการดึงดูดกันระหว่างชนิดไอออน การยึดเกาะของผิวสัมผัสที่ไม่ราบเรียบจึงเกิดในน้ำลายได้ง่าย ดังนั้นแรงที่จำเป็นต้องใช้ในการทำลายแรงดึงดูดดังกล่าวจึงสูงซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้สามารถพบได้ในวัสดุทางทันตกรรมชนิดอื่น ๆ ด้วย

ในการศึกษาของ Pratten, Popli, Germane และ Gunsolley(1990) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตเซรามิกและแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าน้ำลายเทียมเป็นตัวเพิ่มความเสียดทานสถิตเมื่อเทียบกับอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาของ Pratten และคณะ ให้ผลต่างไปจากการศึกษาของ Baker, Neilberg, Weimer และ Hanna ที่เป็นเช่นนี้ Pratten และคณะ คิดว่ามีสาเหตุมาจากแรงที่เกิดขึ้นระหว่างแบรกเก็ตกับลวด ในกรณีที่มีแรงเกิดขึ้นระหว่างแบรกเก็ตกับลวดน้อย น้ำลายจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น แต่ถ้ามีแรงเกิดขึ้นระหว่างแบรกเก็ตกับลวดสูง น้ำลายจะถูกดันออกจากจุดสัมผัสระหว่างแบรกเก็ตกับลวด จึงมีผลทำให้เกิดความต้านทานแบบเฉือนขึ้น

9. ความขรุขระของพื้นผิวลวด

การศึกษาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Garner,

Allai และ Moore (6) พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีผิวขรุขระน้อยกว่าลวดไนตินอล และลวดบิตา-ติตาเนียม Pratten, Popli, Germane และ Gunsolley (1990) ก็พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีผิวขรุขระน้อยกว่าลวดไนตินอล นอกจากนี้ Drescher, Bourauel และ Schumacher (21) ก็พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดเอลจิลอยมีสภาพผิวใกล้เคียงกัน และมีความขรุขระน้อยกว่าลวดไนตินอลกับลวดบิตา-ติตาเนียมด้วย

Kusy, Whitley, Mayhew และ Buckthal(1990) ได้ใช้เลเซอร์สเปก-โทรสโกปี แบบสเปกคูลาร์ รีเฟลกแทนซ์ เพื่อศึกษาลักษณะผิวของลวด 4 ประเภทที่นิยมใช้กันคือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ชื่อการค้า ไฮ-ที, ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ชื่อการค้า เอลจิลอยสีฟ้าและเอลจิลอยสีเหลือง, ลวดบีตา-ติตาเนียม ชื่อการค้า ทีเอ็มเอ และลวดนิเกิล-ติตาเนียม ชื่อการค้า ติตาแนล และลวดไนตินอล พบว่า ลวดไฮ-ที ที่ผิวราบเรียบที่สุด ตามด้วยลวดเอลจิลอยสีฟ้า ลวดเอลจิลอยสีเหลือง ลวดทีเอ็มเอ ลวดติตาแนล และลวดไนตินอล ตามลำดับ สำหรับลวดนิเกิล-ติตาเนียม 2 ชนิดที่มีสภาพผิวต่างกันนั้น Kusy และคณะสรุปว่าเกิดจากกรรมวิธีในการขัดซึ่งบริษัทแลนเซอร์แปซิฟิก ผู้ผลิตลวดติตาแนลอ้างว่าลวดติตาแนลได้ผ่านการขัดมาเป็นอย่างดีสามารถลดแรงเสียดทานลงได้ถึงร้อยละ 50

Kusy และ Whitley (1990) วัดความขรุขระของลวดทางทันตกรรมจัดฟัน 4 ชนิดคือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ลวดนิเกิล-ติตาเนียม และลวดบีตา-ติตาเนียม แล้ววัดความขรุขระของแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยวิธีสเปกคูลาร์รีเฟลกแทนซ์ พบว่าค่าออพติคัล อาร์เอ็มเอส เท่ากับ 0.04, 0.012, 0.22, 0.14 และ 0.15 m ตามลำดับ จากนั้น Kusy และ Whitley ได้นำลวดทั้ง 4 ชนิด แบ่งเป็น 3 กลุ่ม จำนวนเท่า ๆ กัน นำไปขัดตามวิธีโลหศาสตร์มาตรฐาน ให้แต่ละกลุ่มมีค่าอาร์เอ็มเอส 0.22, 0.14 และ 0.030 m แล้วจึงนำลวดทั้งสามกลุ่มไปทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ พบว่าการขัดให้ผิวของลวดขรุขระน้อยลงไม่ได้ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำลงไปด้วย พวกเขาคิดว่าน่าจะมีปัจจัยอื่นที่มีบทบาทสำคัญ เช่น สัมพรรคภาพทางเคมี ความเร็วในการไถล ตลอดจนน้ำลายที่อาจมีอิทธิพลต่อความเสียดทาน

10. การกัดกร่อนของลวดทางทันตกรรมจัดฟัน

Riley, Garrett และ Moon (1979) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดลวด วัสดุที่ใช้ทำแบรกเก็ต ชนิดของการมัด และเวลาในการมัดที่มีผลต่อขนาดของแรงเสียดทาน พบว่าการมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันในน้ำกลั่น แรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นตามเวลาเนื่องจากมีการกัดกร่อนเกิดขึ้น

Sarkar, Redmond, Schwaninger และ Goldberg (1979) ได้ทำการทดสอบการกัดกร่อนของลวดทางทันตกรรมจัดฟัน 4 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมชื่อเพอร์มาโครม ของบริษัทยูนิเทค คอร์ปอเรชัน ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิลชื่อเอลจิลอย ของบริษัทรอกกี เมาเทน ออร์โธดอนติกส์ ลวดบีตา-ติตาเนียม ของบริษัทออร์มโก คอร์ปอเรชัน และลวดไนตินอล ของบริษัทยูนิเทค คอร์ปอเรชัน การทดสอบดังกล่าวทำในสารละลายเกลือแกง 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำอิเล็กโตรเคมิคัล ไซคลิก โพลา-ไรเซชัน ที่ความต่างศักย์ -500 ถึง +300 mV จากการทดสอบพบว่าลวดเพอร์มาโครม ลวดเอลจิลอย และลวดบีตา-ติตาเนียม ไม่มีการกัดกร่อน ส่วนลวดไนตินอลแสดงการกัดกร่อนที่ความต่างศักย์ +150 mV ซึ่งเมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราดตรวจดูจะพบว่าลวดไนตินอลมีการกัดกร่อนเป็นหลุม

Sarker และ Schwaninger (1980) ได้ศึกษาลักษณะการกัดกร่อนของลวดไนตินอลภายหลังจากใช้งานในคลินิกแล้ว 3 สัปดาห์ถึง 5 เดือน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็ก-ตรอนแบบส่องกราด และการวิเคราะห์การกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ พบว่าลวดไนตินอลดังกล่าวมีการกัดกร่อนเป็นหลุมกลม ๆ มากมาย และยังพบผลผลิตของการกัดกร่อน บนลวดไนตินอลแต่ละเส้นด้วย ซึ่งเมื่อทำการพิสูจน์แล้วจะพบว่าผลผลิตของการกัดกร่อนนั้นเต็มไปด้วยติตาเนียม อาจจะเป็นออกไซด์ผสมของติตาเนียมและนิเกิลก็ได้ สำหรับลวดไนตินอลที่หักนั้นจะพบว่าพื้นผิวตรงบริเวณที่หักจะมีลักษณะเป็นหลุมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน ซึ่งดูเหมือนว่าเป็นผลมาจากช่องว่างเล็ก ๆ ที่รวมกันภายในบริเวณขอบเกรน

Ckubardm von Fraunhofer และ Kuftinec (1980) ได้ศึกษาการกัดกร่อนของลวด 4 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ลวดบีตา-ติตาเนียม และลวดไนตินอล โดยวิธีวัดความต้านทานการเกิดโพลาไรเซชัน

และซีโค รีซิสแตนส์ แอมเมตรีย์ พบว่าลวดบีตา-ติตาเนียม และลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล มีความต้านทานการกัดกร่อนดีกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ส่วนลวดไนตินอลมีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและแสดงแนวโน้มที่จะเกิดหลุมบนผิวลวดได้ง่าย

Schwaninger, Sarkar และ Forter(1982) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ของลวดไนตินอลทั้งก่อนและหลังการแช่ในสารละลายเกลือแกง 1 เปอร์เซ็นต์ นานถึง 11 เดือน พบว่าลวดไนตินอลมีการกัดกร่อนให้เห็น แต่คุณสมบัติทางกายภาพของลวดไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการกัดกร่อนไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของลวดไนตินอลและเมื่อตรวจดูพื้นผิวบริเวณที่หักหลังการดัด 90 องศาหลาย ๆ ครั้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าพื้นผิวบริเวณที่หักมีลักษณะไม่ต่างกัน โดยพื้นผิวที่หักดังกล่าวจะเริ่มเกิดจากบริเวณที่มีความบกพร่องบนพื้นผิวลวดไนตินอลเกิดจากกรรมวิธีการผลิตไม่ได้เป็นผลมาจากการกัดกร่อน

Edie, Andreasen และ Zaytoun (1981) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนของพื้นผิวลวดไนตินอลและลวดเหล็กกล้าไร้สนิมภายหลังการใช้งานในคลินิกแล้วเป็นเวลา 1-8 เดือน พวกเขาพบว่าโดยทั่วไปลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีผิวราบเรียบกว่าลวดไนตินอล ลวดไนตินอลมีพื้นผิวเป็นลูกคลื่น ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของลวดไนตินอลทั้งก่อนและหลังการใช้งานในคลินิก ไม่พบความแตกต่างกันเลย เมื่อทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่พื้นผิวลวดแล้วก็พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างลวดทั้งสองชนิด แสดงว่าไม่มีเหตุผลใดน่าเชื่อว่าลวดไนตินอลเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเมื่อมีการใช้งานในคลินิก

Mayhew และ Kusy (1988) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกล และลักษณะพื้นผิวของลวดไนตินอลและลวดติตาแนลทั้งก่อนและหลังการทำให้ปราศจากเชื้อ 3 วิธี ซึ่งผ่านการยอมรับจากสมาคมทันตแพทย์อเมริกัน คือความร้อนแห้ง ไอฟอร์มัลดีไฮด์แอลกอฮอล์ และเครื่องนึ่งอัดไอน้ำ Mayhew และ Kusy พบว่าการทำให้ปราศจากเชื้อไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลและลักษณะพื้นผิวในลวดไนตินอลและลวดติตาแนล เมื่อทำเลเซอร์ สเปกโทรสโกปีเปรียบเทียบกันระหว่างลวดไนตินอลกับลวดติตาแนล พบว่าลวดไนตินอลมีสเปกคูลาร์ รีเฟลกทิวิตีย์ 1 - 4.6μW ส่วนลวดติตาแนลมีสเปกคูลาร์

รีเฟลกทิวิตีย์ 7.0-16.6 μW แสดงว่าลวดติตาแนลมีผิวราบเรียบกว่าลวดไนตินอล และถ้าทำการวัดความแข็งแรงระหว่างลวดไนตินอลและลวดติตาแนลแล้ว ลวดไนตินอลมีความแข็งแรงสูงกว่าประมาณร้อยละ 10

Buckthal และ Kusy (1988) ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและลักษณะพื้นผิวของลวดไนตินอลและลวดติตาแนล ทั้งก่อนและหลังการใช้ยาฆ่าเชื้อ 3 ชนิดซึ่งผ่านการยอมรับจากสมาคมทันตแพทย์อเมริกันแล้วคือ 2 เปอร์เซ็นต์กรดกลูทารัลดีไฮล์ คลอรีน ไดออกไซด์ และไอโอโดฟอร์ พบว่าน้ำยาฆ่าเชื้อทั้ง 3 ชนิดไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลและลักษณะพื้นผิวในลวดไนตินอลและลวดติตาแนล เมื่อทำเลเซอร์ สเปกโทรสโกปีแล้ว ลวดติตาแนลมีสเปกคูลาร์ รีเฟลกทิวิตีย์มากกว่าลวดไนตินอลประมาณ 5 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลระหว่างลวดไนตินอลกับลวดติตาแนล พบว่าลวดไนตินอลมีความแข็งแรงและความแข็งตึงสูงกว่าลวดติตาแนล

11. การเคลือบผิวลวด

Greenberg และ Kusy (1979) ได้ศึกษาหาสารเคลือบผิว ลวดทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อลดความเสียดทานและปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานการลื่นไหล โดยใช้เมทัลโพลีเมอร์ คอมโพสิท โคทติง เคลือบบนลวดเหล็กกล้าไร้สนิม และใช้พีทีเอฟอี เบสด์ โคทติง เคลือบบนลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิลให้มีความหนาเท่า ๆ กันตลอด จากนั้นนำลวดที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วไปทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน พบว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่เคลือบด้วยเมทัลโพลีเมอร์ คอมโพสิท โคทติงเท่ากับ 0.073 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิลที่เคลือบด้วยพีทีเอฟอี เบสด์ โคทติงเท่ากับ 0.028 เมื่อเทียบกับลวดทั้งสองชนิดที่ไม่ได้เคลือบผิวซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.162 ซึ่ง Greenberg และ Kusy ให้ความเห็นว่าควรมการศึกษาเพิ่มเติมอีก

Kusy, Andrews และ Norling (1989) ได้ทำการศึกษาเพื่อดูว่าการฉาบด้วยโลหะ และการฝังไอออน สามารถลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลงได้หรือไม่ โดยใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว 4 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโลหะ

ผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ลวดนิเกิล-ติตาเนียม ลวดบีตา-ติตาเนียม เคลื่อนที่ผ่านแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 5 ประเภท คือ แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมธรรมดา แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการฝังไอออนไนโตรเจน แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ฉาบด้วย Al_2O_3 + Ti C แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมฉาบด้วย Al_2O_3 และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมฉาบด้วย TiB_2 ตามลำดับ

ผลจากการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล ลวดนิเกิล-ติตาเนียม ลวดบีตา-ติตาเนียมที่เคลื่อนผ่านแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมธรรมดาเท่ากับ 0.16, 0.14, 0.24 และ 0.32 ตามลำดับ ในกรณีลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่เคลื่อนผ่านแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งผ่านการฝังไอออนไนโตรเจน สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ลดลงเหลือ 0.12 กรณีลวดบีตา-ติตาเนียมเคลื่อนผ่านเหล็กกล้าไร้สนิมที่ฉาบด้วย Al_2O_3 + Ti C สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ลดลงเหลือ 0.18 แต่ไม่พบว่าการฝังไอออนไนโตรเจนและการฉาบผิวโลหะด้วย Al_2O_3 + Ti C Al_2O_3 หรือ TiB_2 ช่วยลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิล และลวดนิเกิล-ติตาเนียมลงได้เลย

Kusy, Andrews และ Norling ให้ความเห็นหลังจากสรุปผลการทดลองว่า วัสดุที่ต้านทานการสึกหรอไม่จำเป็นต้องช่วยลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ลง ในการศึกษานี้พบว่าการฝังไอออนไนโตรเจนมีประโยชน์ดี

12. ความเร็วในการเคลื่อนที่

Kusy และ Whitley (1989) ศึกษาผลของความเร็วในการไถลของลวดที่อาจมีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยใช้ลวดเหลี่ยม 4 ชนิดคือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม 0.018x0.025 นิ้ว ชื่อการค้าสแตนดาร์ด เรกแทงกูลาร์ ของบริษัทยูนิเทค คอร์ปอเรชัน ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิลขนาด 0.018x0.025 นิ้ว ชื่อเอลจิลอยสีเหลือง ของบริษัทรอกกี เมาเทน ออร์โธดอนติกส์ ลวดนิเกิล-ติตาเนียมขนาด 0.018x0.025 นิ้ว ชื่อ ไนตินอล เอสอี ของบริษัทยูนิเทค คอร์ปอเรชัน และลวดบีตา-ติตาเนียม ขนาด 0.017 x0.025 นิ้ว ชื่อทีเอมเอ ของบริษัทออร์มโก คอร์ปอเรชัน ดึงลวดเหลี่ยม 2 ชนิดแรกไถลแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการขัดตามวิธีโลหศาสตร์มาตรฐานด้วยกระดาษซิลิคอน คาร์ไบด์

เปียก จนมีความเรียบถึงหมายเลข 400 (400 grit) แล้วทำการดึงลวดเหลี่ยม 2 ชนิดหลังผ่านเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเดียวกันที่ผ่านการขัดตามวิธีโลหศาสตร์มาตรฐานด้วยกระดาษซิลิคอน คาร์ไบด์เปียก จนมีความเรียบถึงหมายเลข 600 (600 grit) ซึ่งแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการขัดจนมีความเรียบถึงหมายเลข 400 และ 600 นั้นจะมีความเรียบมากกว่าแบรกเก็ตทั่ว ๆ ไป

ดึงลวดเหลี่ยมทั้ง 4 ชนิดผ่านแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยความเร็ว 10, 0.1, $5x10^{-2}$, $5x10^{-3}$ และ $5x10^{-4}$ มิลลิเมตรต่อนาทีตามลำดับ ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ลดลงนั้น สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดนิเกิล-ติตาเนียม จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง แต่สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกิลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของลวดบีตา-ติลาเนียมกลับมีค่าลดลง และเมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์แล้วจะพบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไถลผ่านแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำสุด ในขณะที่ลวดบีตา-ติตาเนียมที่ไถลผ่านแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดและมีความไม่แน่นอนสูงสุดด้วย

<u>การลดความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น</u>

Thurow (1982) แนะนำว่า แรงที่มีปริมาณมากกว่าแรงเสียดทานสถิต ทำให้เกิดการไถลตัวของลวดผ่านร่องแบรกเก็ตได้ แต่แรงที่มีปริมาณมาก ๆ ก็ไม่ได้ช่วยให้ฟันเคลื่อนที่มากไปด้วย แรงที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมหลักยึดได้ Thurow ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า การเพิ่มแรงในการเคลื่อนฟันไม่ได้ช่วยลดความเสียดทานลง เนื่องจากแรงเสียดทานเป็นปฏิภาคกับแรงระหว่างผิวสัมผัส การเพิ่มแรงในการเคลื่อนฟันจึงทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วย

การหลีกเลี่ยงหรือลดความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นให้น้อยลงนั้น Proffit และ Fields (1986) Drescher, Bourauel และ Schumacher (1989) แนะนำให้ดัดสปริง ลูป เข้าไปในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อให้ส่วนของลวดเคลื่อนที่พา

ฟันไปด้วย แทนที่จะใช้วิธีทำให้ฟันเคลื่อนไถลไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน สปริง ลูป ดังกล่าวอาจเป็นรีแทรคชัน สปริง หรือโคลสซิง ลูป ก็ได้ นอกจากนี้ Frank และ Nikolai (2) Proffit และ Fields (13) Thurow (18) เสนอให้ใช้ลวดที่มีขนาดเล็กกว่าร่องแบรกเก็ตในกรณีที่ต้องการลดความเสียดทานลง

Frank และ Nikolai (1980) ยังให้ข้อคิดเห็นต่อไปอีกว่า ในกรณีที่ไม่มีการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สอง เราสามารถที่จะทำการเคลื่อนฟันได้ง่ายมากโดยการทำให้มีแรงจากการมัดและให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างแบรกเก็ตกับลวดน้อยที่สุด ซึ่งควรพิจารณาใช้แบรก-เก็ตแบบเบกก์และเอดจ์ล็อคร่วมกับลวดกลมขนาดเล็ก ๆ เพราะเกิดความเสียดทานน้อยมาก ส่วนในกรณีที่มีการยึดเหนี่ยวออร์เดอร์ที่สองระหว่างการดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งทางทันต-กรรมจัดฟัน เราสามารถลดความเสียดทานให้น้อยลงได้ด้วยการ

- เพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างลวดกับร่องแบรกเก็ต
- เพิ่มความแข็งตึงของลวดในการโก่งงอให้มากที่สุด
- ลดความกว้างของแบรกเก็ตลงให้เหลือน้อยที่สุด สำหรับการดึงฟันเขี้ยวด้วยวิธีเอดจ์ไวส์ Frank และ Nikolai (1980) แนะนำให้ใช้ลวดเหลี่ยมขนาดใหญ่ร่วมกับแบรกเก็ตแคบ ๆ

Garner, Allai และ Moore (1986) แนะนำเอาไว้ว่าระหว่างการดึงฟันเขี้ยว ถ้าต้องการลวดที่มีความแข็งตึงสูง ควรใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมากกว่าลวดไนตินอล หรือลวดบีตา-ติตาเนียม ในกรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมหลักยึด ควรพิจารณาในการใช้ลวดไนตินอลและลวดบีตา-ติตาเนียมให้ดีเนื่องจากมีความต้านทานในการเคลื่อนที่มากกว่า

Kapilla, Angolkar, Duncanson Jr. และ Nanda (1990) แนะนำให้ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงแรงเสียดทานที่เกิดในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นบริเวณต่าง ๆ เพื่อป้องกันหรือส่งเสริมการเคลื่อนที่ของหลักยึดไปทางด้านใกล้กลาง ในกรณีที่ต้องการควบคุมหลักยึดดี ๆ ควรทำให้เกิดความเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตกับลวดที่ฟันเขี้ยวน้อย ๆ และทำให้เกิดความเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตกับลวดที่ฟันหลังมาก ๆ ความเสียดทานที่ฟันหลังจะทำหน้าที่ต้านการเคลื่อนที่ของฟันหลังไปทางด้านใกล้กลาง เช่น อาจใช้ลวดเหลี่ยมไนตินอลขนาด 0.016 x 0.016 นิ้ว ร่วมกับแบรกเก็ตขนาดร่อง 0.018 นิ้ว แบบ

มีเดียม ทวินที่ฟันเขี้ยว และใช้แบรกเก็ตขนาดร่อง 0.018 นิ้วแบบไวด์ทวินที่ฟันกรามและฟันกรามน้อย ซึ่งในกรณีนี้ความเสียดทานที่ฟันหลังจะมากกว่าความเสียดทานที่ฟันเขี้ยวประมาณ 2 เท่า สำหรับกรณีที่ต้องการการควบคุมหลักยึดน้อย ๆ ก็ควรทำให้ความเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตและลวดที่ฟันเขี้ยวมีมากกว่าฟันหลัง เช่น อาจจะใช้ลวดโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียม-นิเกินขนาด 0.019 x 0.025 นิ้วร่วมกับแบรกเก็ตขนาดร่อง 0.022 นิ้วแบบมีเดียม ทวินที่ฟันเขี้ยว และใช้แบรกเก็ตขนาดร่อง0.022 นิ้วแบบไวด์ ทวินที่ฟันหลังเป็นต้น

Pratten, Popli, Germane และ Gunsolley (1990) แนะนำว่าควรพิจารณาเลือกใช้แบรกเก็ตชนิดต่าง ๆ ให้ดี การใช้แบรกเก็ตเซรามิกจำเป็นต้องใช้แรงในการเคลื่อนฟันมากขึ้น มิฉะนั้นก็ต้องพยายามลดแรงจากการมัดลวดให้น้อยลง

Tidy (1989) แนะนำให้ลดความเสียดทานลงโดยการใช้แบรกเก็ตที่มีขนาดกว้างและเลือกใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมแทนที่จะใช้ลวดไนตินอลหรือลวดบีตา-ติตาเนียม และให้ความเห็นเพิ่มเติมว่าลวดกลมให้ความเสียดทานน้อยกว่าลวดเหลี่ยมในกรณีที่แบรกเก็ตอยู่นอกแนวการเรียงตัวของฟันเท่านั้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะลวดกลมไม่มีทอร์กซึ่งมีฤทธิ์เหมือนลวดเหลี่ยม ถ้าแบรกเก็ตอยู่นอกแนวการเรียงตัวของฟัน การใช้ลวดเหลี่ยมจะเกิดทอร์กซึ่งมีฤทธิ์ทำให้เกิดความเสียดทานมาก แต่ถ้าแบรกเก็ตมีการเรียงตัวที่ดีแล้ว ลวดกลม หรือลวดเหลี่ยมให้ความเสียดทานต่างกันน้อยมาก ในทางคลินิกจึงไม่จำเป็นต้องใช้ลวดกลมหรือทำให้ลวดเหลี่ยมในส่วนข้างแก้มมีลักษณะกลมมนเพื่อลดความเสียดทาน แต่ควรจะใช้ลวดเหลี่ยมแล้วปล่อยให้ฟันที่ปรับตัวหลาย ๆ เดือนก่อนที่จะเริ่มดึงฟันให้เคลื่อนที่

ในกรณีที่ทำการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันโดยใช้แบรกเก็ตขนาดร่อง 0.018 นิ้วนั้น Drescher Bourauel และ Schumacher (1989) แนะนำให้ใช้แบรกเก็ตกว้าง (4.2 มิลลิเมตร) หรือแบรกเก็ตขนาดกลาง (3.3 มิลลิเมตร) หลีกเลี่ยงการใช้ลวดที่มีผิวขรุขระ เช่น ลวดไนตินอล ลวดบีตา-ติตาเนียม เลือกใช้ลวดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้ว เนื่องจากลวดเหลี่ยมขนาด 0.016x0.022 นิ้วให้แรงเสียดทานเท่า ๆ กับลวดกลมขนาด 0.016 นิ้วแต่ควบคุมการเคลื่อนฟันได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังต้องพยายามเสริมหรือเพิ่มเติมหลักยึดให้เหมาะสมมากขึ้นด้วย

แรงเสียดทานสถิต เป็นแรงที่น้อยที่สุดที่ต้องการให้เริ่มเคลื่อนจากภาวะหยุดนิ่ง (Omana, Moore and Bagby, 1992)

แรงเสียดทานจลน์ เป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนของวัตถุที่ไถลผ่านกันด้วยอัตราเร็วคงที่

ในทางทันตกรรมจัดฟัน การเคลื่อนที่ฟันไปตามลวดโค้งจะเป็นวงจรการเกิดทิปปิงและตั้งตรงหลาย ๆ ครั้ง เคลื่อนที่ทีละน้อย ๆ ดังนั้นการปิดช่องว่างในทางจัดฟันจึงขึ้นกับแรงเสียดทานสถิตมากกว่าแรงเสียดทานจลน์ (Nikolai, 1980)

การเกิดแรงเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นนั้น เป็นสิ่งที่ไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้ ในขณะที่ฟันเคลื่อนที่ไปตามลวดนั้นจะเกิดแรงเสียดทานต้านการเคลื่อนที่ขึ้นที่ผิวสัมผัสของแบรกเก็ตกับลวด เช่น แรงเสียดทานที่เกิดในขณะดึงฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งเพื่อปิดช่องว่างในตำแหน่งที่ถอนฟันกรามน้อยซี่แรกไป หรืออาจเกิดแรงเสียดทานในขณะทำการดึงรั้งฟันหน้า เมื่อลวดเคลื่อนผ่านแบรกเก็ตฟันหลังและหลอดด้านข้างแก้ม นั่นคือต้องให้ฤทธิ์เกินกว่าแรงที่จะพอเพียงให้เกิดการเคลื่อนฟันเพียงอย่างเดียว ซึ่งในทางปฏิบัติควรคำนึงว่า เครื่องมือส่วนไหนที่จะมีแรงเสียดทาน และแรงที่จะสูญเสียไปในเครื่องมือที่ใช้เคลื่อนฟัน

<u>สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียดทานในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น</u>

1. ความกว้างของแบรกเก็ต
2. ขนาดของร่องแบรกเก็ต
3. ขนาดของลวด
4. แรงจากการมัดลวดโค้งเข้ากับร่องแบรกเก็ต
5. วัสดุที่ใช้ทำลวด
6. วัสดุที่ใช้ทำแบรกเก็ต
7. การทำมุมกันระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้ง
8. ภาวะเปียกและแห้ง
9. ความขรุขระของพื้นผิวลวด
10. การกัดกร่อนของลวดทันตกรรมจัดฟัน

11. การเคลือบผิวลวด

12. ความเร็วในการเคลื่อนที่

แบรกเก็ตแบบเซรามิกนั้นเริ่มได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย [Omana, Moore and Bagby (1992)] ทั้งในผู้ป่วยและทันตแพทย์จัดฟัน โดยจากการสำรวจพบว่ามีผู้ใช้แบรกเก็ตแบบเซรามิกสูงถึง 88% แม้ว่าจะพอทราบว่าแบรกเก็ตแบบเซรามิกก่อให้เกิดแรงเสียดทานที่มากกว่า และทำการปิดช่องว่างได้ยากกว่าแบรกเก็ตโลหะที่ใช้กันอยู่เดิม แต่ก็มีข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของแบรกเก็ตแบบเซรามิกไม่มากนัก

ถึงแม้แบรกเก็ตแบบเซรามิกจะมีสีคล้ายสีฟัน เป็นการเพิ่มความสวยงามแก่เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น แต่เซรามิกนั้นมีความเสียดทานสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม จึงต้องตระหนักว่าจะต้องใช้แรงในการเอาชนะแรงเสียดทานมากกว่าแรงที่เคยใช้กับแบรกเก็ตแบบเหล็กกล้าไร้สนิม

สิ่งสำคัญที่ได้จากการพิจารณาถึงความเสียดทานคือการที่ทราบถึงขนาดของมัน Proffit (1986) บอกว่าถ้าใช้ลวดขนาด 0.019x0.025 นิ้ว ใส่ในแบรกเก็ตที่มีขนาดร่อง 0.022 นิ้ว ความเสียดทานที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแบรกเก็ตชนิดเดี่ยวจะมีขนาดประมาณ 100 กรัม นั่นก็คือถ้าเคลื่อนฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งเพื่อปิดช่องว่างที่ถอนฟันไปซึ่งต้องใช้แรง 100 กรัมในการเคลื่อนฟันซี่นั้น ก็ต้องให้แรงเพิ่มอีก 100 กรัมเพื่อเอาชนะความเสียดทานคือต้องใช้แรงทั้งหมดเป็น 200 กรัม ซึ่งแรงปฏิกิริยาก็จะมีขนาด 200 กรัมนั้น จะเป็นแรงที่กระทำต่อฟันที่ใช้เป็นหลักยึด

การรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน อยู่บนพื้นฐานของระบบให้แรง ซึ่งผู้ปฏิบัติในปัจจุบันคิดว่าแรงที่น้อย ๆ และต่อเนื่องจะเคลื่อนฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เกิดความไม่สบายและมีการทำลายเนื้อเยื่อที่น้อยที่สุด ปัจจัยเช่น พื้นที่ผิวรากฟัน, รูปร่างรากฟัน, ความหนาแน่นของกระดูกเบ้ารากฟัน และสิ่งขัดขวางการสบฟัน ล้วนมีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของฟัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ก็เหมือนกับตัวแปรอื่นๆที่ต้องนำมาคิดเพื่อเปรียบเทียบขนาดของแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันในอัตราที่ยอมรับได้ในทางคลินิก แรงเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตกับลวดก็เป็นความซับซ้อนในการตัดสินใจและเป็นตัวแปรที่นอกเหนือไปจากแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันในทางชีววิทยา

เซรามิก แบรกเก็ตที่ผลิตโดยใช้การฉีดเข้าไปในแบบพิมพ์มีความเสียดทานน้อยกว่าแบบอื่น ๆ

Proffit(1986) กล่าวว่า เมื่อวัตถุหนึ่งเคลื่อนที่สัมผัสกับอีกวัตถุหนึ่ง จะเกิดแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสนั้นเพื่อต้านการเคลื่อนที่ โดยแรงเสียดทานจลน์ขึ้นอยู่กับ

1. พื้นที่ที่ผิวสัมผัส
2. แรงที่ผิวสัมผัสกันนั้นกระทำต่อกัน
3. ชนิดของพื้นผิวสัมผัส (หยาบหรือเรียบ)

ความเสียดทานสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยเหล่านี้ แต่ไม่สามารถกำจัดได้ทั้งหมด แรงเสียดทานจลน์เป็นปัจจัยหนึ่งในการควบคุมหลักยึดทางทันตกรรมจัดฟัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปิดช่องว่างโดยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น

ในการพิจารณาขนาดของแรงเสียดทานเมื่อแบรกเก็ตที่ติดกับฟันเคลื่อนที่ไปตามลวดโค้งหรือลวดโค้งเคลื่อนไปตามแบรกเก็ต ขณะที่ฟันซี่อื่นเคลื่อนไปด้วย ปัจจัยที่กล่าวมาแล้วก็จะเข้ามามีบทบาท โดยแรงเสียดทานทั้งหมดนั้นจะพิจารณาได้จากพื้นที่ของการสัมผัสกันระหว่างลวดกับแบรกเก็ต แรงที่ลวดกดแบรกเก็ตและชนิดของพื้นผิวสัมผัส

มีความเป็นไปได้ในห้องทดลองที่จะทำการวัดแรงเสียดทานจริงระหว่างลวดกับแบรกเก็ตต่าง ๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับขนาดของแรงเสียดทานต่อระดับของแรงที่ต้องใช้ในการเคลื่อนฟัน

เมื่อฟันเคลื่อนที่ไปตามลวดโค้ง แบรกเก็ตที่กว้างก็จะให้แรงที่ควบคุมตำแหน่งของรากฟันได้ง่ายกว่า เนื่องจากแบรกเก็ตที่กว้างกว่าก็จะใช้แรงน้อยกว่า เมื่อคำนึงถึงแรงเสียดทาน แบรกเก็ตที่กว้างกว่าก็จะมีข้อได้เปรียบที่จะลดแรงบนลวด เมื่อมันเคลื่อนไถลไปตามลวดโค้ง แรงเสียดทานก็จะลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามแบรกเก็ตที่กว้างกว่าก็จะมีพื้นที่ที่ลวดจะสัมผัสกับฐานของแบรกเก็ตได้มากกว่า ซึ่งปัจจัยอันนี้ก็จะไปทำให้ปัจจัยอีกอันสมดุลย์กัน แต่ผลจากการทดลองนั้นบ่งว่าความกว้างของแบรกเก็ตมีผลเพียงเล็กน้อยต่อความเสียดทาน

ขนาดของแรงกดระหว่างลวดกับแบรกเก็ตมีผลอย่างมากต่อความเสียดทาน ถ้าฟันถูกดึงไปตามลวดโค้ง มันก็จะล้มจนกระทั่งมุมของแบรกเก็ตสัมผัสกับลวด และเมื่อลวดเกิดการโค้งงอขึ้นเกิดการต้านการโค้งงอขึ้น ก็จะเกิดการเคลื่อนที่แบบบอดิลี่ย์ตามมา มุมที่เกิด

จากลวดกระทำต่อแบรกเก็ตถ้ายิ่งมากก็จะยิ่งเกิดแรงที่เป็นโมเมนต์ขึ้นแรงเสียดทานก็จะเพิ่มมากขึ้น

ลวดและแบรกเก็ตในทางทันตกรรมจัดฟันมีผิวหน้าที่ขัดเรียบ และในช่องปากน้ำลายก็จะเป็นตัวหล่อลื่นที่ดี ที่น่าสนใจคือลวดไนไทมีพื้นผิวที่ลื่นเมื่อเทียบกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม คือเมื่อมีปัจจัยอื่นเท่า ๆ กันลวดไนไทจะมีแรงเสียดทานต้านการเคลื่อนที่น้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม นั่นคือไม่ควรจะพยายามเคลื่อนฟันไปตามลวดที่มีผิวขรุขระไม่เรียบ

ความเสียดทานสามารถหลีกเลี่ยงได้ถ้าใช้สปริง โดยลวดจะเป็นส่วนที่พาฟันเคลื่อนไปพร้อมกับตัวมัน เรียกว่าสปริงดึงรั้ง ถ้าติดกับฟันเพียงซี่เดียว หรือจะเรียกโคลสซิง ลูป ถ้าต่อกับส่วนของลวดโค้ง 2 ส่วน สปริงนั้นแม้จะทำขึ้นยากในทางคลินิกแต่ก็ช่วยกำจัดความลำบากในการควบคุมหลักยึดจากการเกิดความเสียดทาน

Thurow (1982) กล่าวว่าความเสียดทานของแบรกเก็ตบนลวดโค้ง จะเป็นข้อพิจารณาเมื่อไรก็ตามที่ฟันต้องเคลื่อนไถลไปตามลวด

มี 2 ปัจจัยที่จะกำหนดความเสียดทานในสภาวะการณ์ใด ๆ คือ

1. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวคู่สัมผัส
2. แรงที่กระทำบนผิวคู่สัมผัสกันนั้น

พื้นที่ของการสัมผัสกันนั้นไม่ใช่ปัจจัย

เนื่องจากความเสียดทานของเครื่องมือชนิดติดแน่นจะลดการเคลื่อนของฟัน Pratten(1990) ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตในแนวระนาบระหว่างแบรกเก็ตแบบเหล็กกล้าไร้สนิมกับเซรามิก โดยให้ทั้งลวดเหลี่ยมชนิดไนไทนอลและเหล็กกล้าไร้สนิมผ่านในร่องของแบรกเก็ตทั้งสองชนิด การทดสอบกระทำในอากาศและในน้ำลาย ใส่แรง 300 กรัมให้แก่ลวดโค้งเพื่อเลียนแบบแรงปกติจนเกิดการเคลื่อนของฟันทำในทุกสภาวะ พบว่าแบรกเก็ตแบบเหล็กกล้าไร้สนิมก่อให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดไนไทนอล และแรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นในน้ำลายเทียมมากกว่าในอากาศ ภายใต้สภาวะที่ทำการทดลองปรากฏว่าแบรกเก็ตแบบเซรามิก, ลวดไนไทนอล และน้ำลาย ล้วนแต่เพิ่มแรงเสียดทานสถิต

Baker (1987) ศึกษาผลของน้ำลายต่อความเสียดทาน พบว่าน้ำลายจะไปลดความเสียดทานลง 15-19%

Andreason และ Quevedo (1970) พบว่าในการที่ให้แรงน้อย ๆ น้ำลายจะ

เป็นตัวหล่อลื่น แต่เมื่อให้แรงมาก ๆ น้ำลายอาจก่อให้เกิดความต้านทานแบบเฉือนต่อแรงเคลื่อนไถลนั้น

Pratten (1990) บอกว่าความหยาบของพื้นผิวมีส่วนอย่างมากที่ทำให้ความเสียดทานเหล็กกล้าไร้สนิมมีความเสียดทานที่ต่ำกว่าเซรามิกเนื่องจากการที่มีความหยาบของพื้นผิวน้อยกว่า ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่อดูเปรียบเทียบกันโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และพบว่าน้ำลายจะช่วยเพิ่มค่าแรงเสียดทานสถิตในทุกการทดลองที่ทำร่วมกัน ซึ่งสิ่งที่พบก็เป็นการค้านกับการที่เคยยอมรับกันว่าน้ำลายเป็นตัวหล่อลื่นให้แก่ลวดโค้งกับแบรกเก็ต

แบรกเก็ตแบบเซรามิกชนิด Polycrystalline ผลิตจากขบวนการ Sintering ซึ่งอนุภาค Aluminium oxide จะถูกรวมกับ binder ตัวหนึ่ง หลังจากนี้ของผสมจะถูกนำเข้าเครื่องเพื่อทำเป็นรูปร่างแบรกเก็ต แบรกเก็ตจะถูกทำ heat-treatment เพื่อขจัดความไม่สมบูรณ์ของพื้นผิว และลดความเครียดที่เกิดจากกระบวนการตัดแต่ง กรรมวิธีทางโรงงานนี้อาจจะก่อให้เกิดความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างภายในแบรก-เก็ต มีการรวมอนุภาค Aluminium oxide เข้ากับ binder อีกวิธีโดยการฉีดวัสดุเข้าไปในแบบพิมพ์แบรกเก็ต เพื่อกำจัดขั้นตอนทางเครื่องจักรกล

ส่วนแบรกเก็ตแบบเซรามิกชนิด Monocrystalline กระบวนการผลิตทางโรงงานโดยให้ความร้อนแก่ Aluminium oxide ที่อุณหภูมิ 2100 องศาเซลเซียสแล้วปล่อยให้วัตถุที่หลอมเหลวนั้นเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ วิธีนี้จะได้โครงสร้างผลึกที่บริสุทธิ์กว่าที่พบในแบรกเก็ตชนิด Polycrystalline และยังลดความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้าง ซึ่งแบรกเก็ตจะถูกทำเป็นรูปร่างโดยวิธีเดียวกันกับแบรกเก็ตชนิด Polycrystalline

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การปิดช่องว่างและแรงเสียดทาน</u>

การปิดช่องว่างในทางทันตกรรมจัดฟัน ได้จากการใช้

1. closing loops ที่ไร้แรงเสียดทาน
2. โดยการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้ง ด้วยกลวิธีของการเคลื่อนไถลไปนี้ก็จะเกิดแรงเสียดทานขึ้นระหว่างแบรกเก็ตกับลวด ซึ่งมีผลไปลดแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน

แรงเสียดทานส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวคู่สัมผัส และเกิดในแนวขนานกับผิวสัมผัส แรงเสียดทานไม่ขึ้นกับพื้นที่ที่สัมผัสกัน อย่างไรก็ตามความแข็งของพื้นผิว, ความหยาบและฟิล์ม รวมทั้งแรงเค้นเฉือน และอุณหภูมิ ล้วนมีอิทธิพลต่อแรงเสียดทาน

การศึกษาทางทันตกรรมจัดฟันจนถึงปัจจุบัน พบว่าแรงเสียดทานเกี่ยวข้องกับความต้านทานทางชีวภาพ, การทำมุมของแบรกเก็ต, ขนาดและรูปร่างของลวดโค้ง และชนิดของการผูกมัด ทั้งยังรวมถึงการตรวจสอบผลของความกว้างของแบรกเก็ตและชนิดของลวดโค้ง การศึกษาส่วนมากจะวัดแรงเสียดทานโดยเลียนแบบการเคลื่อนฟันเชิ้ยว

สรุป

1. แบรกเก็ตเซรามิกแบบที่ฉีดเข้าแบบพิมพ์ ซึ่งเรียบกว่าจะเกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าแบรกเก็ตเซรามิกแบบอื่น ๆ

2. แบรกเก็ตแบบเซรามิกและโลหะ ซึ่งกว้างกว่าจะก่อให้เกิดแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบรกเก็ตที่แคบกว่า ในขนาดร่องที่เท่ากัน

3. แรงที่ใช้เพิ่มขึ้นมาเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานนี้ มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการสูญเสียหลักยึดของฟันหลัง

Angolkar, Kapila, Duncanson และ Nanda (1990) ทำการศึกษาถึงแรงเสียดทานจากแบรกเก็ตเซรามิกเมื่อใช้ร่วมกับลวดโลหะชนิดต่าง ๆ และขนาดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบผลของแบรกเก็ตเซรามิกต่อแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม โดยทดสอบลวดขนาดต่าง ๆ กันของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม, โคบอลท์-โครเมียม, บีตา-ไททาเนียม และนิเกิล-ไททาเนียมในแบรกเก็ต monocrystalline ชนิดแผ่นขนาดกลางที่มีร่องขนาด 0.018 และ 0.022 นิ้ว พบว่าแรงเสียดทานของลวดในแบรกเก็ตเซรามิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อลวดเพิ่มขนาดขึ้น และลวดเหลี่ยมให้แรงเสียดทานมากกว่าลวดกลม ส่วนลวดบีตา-ไททาเนียม และนิเกิล-ไททาเนียม นั้นต่างก็มีแรงเสียดทานสูงกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม และโคบอลท์-โครเมียม ซึ่งก็เป็นสิ่งที่พบแบบเดียวกับที่พบในแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม แต่อย่างไรก็ตามลวดในแบรกเก็ตเซรามิกนั้นจะเกิดแรงเสียดทานที่มากกว่าในแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญ

Ireland, Sheriff และ McDonald (1991) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของแบรกเก็ตและลวดต่อแรงเสียดทาน โดยทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่ามาตรฐานของความเร็วของ crosshead ที่ใช้ดึงลวดผ่านแบรกเก็ต โดยใช้ความเร็วขนาด 50, 20, 10, 5, 1 และ 0.5 มม. ต่อนาที ผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเร็ว 0.5, 1 และ 5 มม. ต่อนาที ไม่มีแนวโน้มที่จะมีการลดหรือเพิ่มค่าเฉลี่ยที่ความเร็วของ crosshead กลุ่มนี้ และจะไม่ใช้ความเร็ว 10, 20, 50 มม. ต่อนาที เพราะไม่เป็นสภาพจริง ๆ ทางด้านคลินิก ผลจากการทดลองพบว่าลวดขนาด 0.017 x 0.025 นิ้ว เคลื่อนในแบรกเก็ตเซรามิกจะให้แรงเสียดทานน้อยกว่าลวดขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว และความเสียดทานจะขึ้นอยู่กับแรงที่กดลงมากับชนิดของวัสดุที่สัมผัสกัน แต่แบรกเก็ตเซรามิกจะมีความเสียดทานมากกว่าแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมเมื่อใช้ลวดเหลี่ยมขนาดเล็ก ผลของสิ่งแวดล้อมที่มากระทบคือการผูกมัดลวดเข้ากับแบรกเก็ต ในทางคลินิกจะใช้แบรกเก็ตชนิดอะไรก็ได้ในบริเวณด้านใกล้แก้ม แต่การเลือกลวดเพื่อเคลื่อนฟันดูจะสำคัญกว่า ปกติจะใช้ลวดขนาดใหญ่ในระยะดึงรั้งอยู่แล้ว การเลือกใช้ชนิดของลวดจึงดูจะมีผลกว่า

Drescher (1989) บอกว่าข้อได้เปรียบของการดึงรั้งแบบแยกส่วนคือไม่มีแรงเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตกับลวดโค้ง แต่กลวิธีดังกล่าวก็มีผลไม่พึงประสงค์ร่วมด้วยคือมีการหมุนของฟันในแนว sagittal และ ในแนว transversal ยังผลให้ต้องมีการทำการปรับระดับเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามการใช้ลวดโค้งต่อเนื่องเป็นการเคลื่อนฟันไปตามลวดโค้งซึ่งจะลดการหมุนที่ไม่พึงประสงค์ แต่ก็จะมีความเสียดทานซึ่งจะมีผลให้เคลื่อนฟันได้ช้าลงและต้องการหลักยึดเพิ่มขึ้น

Andreason และ Quevedo (1970) ทำการดึงลวดขนาดต่าง ๆ ผ่านแบรก-เก็ตแบบทำมุมสำเร็จพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดการทิปปิงและขนาดของลวดก็จะเพิ่มแรงเสียดทาน ส่วนอิทธิพลของความกว้างของแบรกเก็ตและการหล่อลื่นของน้ำลายนั้นไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา

Frank และ Nikolai (1980) ทำการทดลองแบบเดียวกัน และก็เห็นด้วยในด้านขนาดของลวด แต่ก็พบว่าแรงเสียดทานก็เพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างของแบรกเก็ตเพิ่มขึ้น เพื่อให้การเคลื่อนฟันเชี่ยวได้ผลดีที่สุด แนะนำให้ใช้วิธี Edgewise โดยใช้ลวดที่แข็งแรง

และใช้แบรกเก็ตแคบ

Bednar (1991) ทำการศึกษาในห้องทดลอง โดยเลียนแบบการดึงฟันเขี้ยว เพื่อใช้ประเมินความแตกต่างของความเสียดทานระหว่างลวดโค้งเหล็กกล้าไร้สนิมกับแบรกเก็ตชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมและเซรามิก ซึ่งผูกกันไว้ด้วยยางรัดแท่นโลหะกับลวด ลวดเหล็กกล้าสำหรับมัดฟัน และชนิดยึดกับลวดด้วยตัวเอง แบรกเก็ตมีร่องขนาด 0.018 x 0.025 นิ้ว ใช้ลวดโค้งขนาด 0.014, 0.016, 0.018, 0.016x0.016 และ 0.016x0.022 นิ้ว ออกแบบเครื่องมือให้เลียนแบบสถานการณ์ทางคลินิก ซึ่งฟันจะมีการล้มเล็กน้อยขณะที่เคลื่อนไปตามลวดโค้งภายใต้สภาวะการทดสอบ แบรกเก็ตแบบยึดกับลวดด้วยตัวเองไม่ได้แสดงให้เห็นว่าจะมีความเสียดทานน้อยกว่าแบรกเก็ตที่ผูกด้วยยางหรือลวดเหล็กกล้าสำหรับมัดฟัน โดยลวดเกือบทุกขนาดจะพบว่าแบรกเก็ตเซรามิกที่ผูกด้วยยางจะมีความเสียดทานมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบรกเก็ตและการผูกวิธีอื่น ๆ ความสำคัญในด้านคลินิกของการศึกษานี้เริ่มแจ่มชัดเมื่อมีการใช้แบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมกับฟันหลัง และใช้แบรกเก็ตเซรามิกในฟันหน้า เมื่อใช้กลวิธีการเลื่อนไถลฟันหน้าก็อาจจะมีความต้านทานต่อการเคลื่อนที่มากกว่าฟันหลังเนื่องจากแบรกเก็ตเซรามิกมีความเสียดทานมากกว่าซึ่งจะยังผลให้เกิดมีการสูญเสียหลักยึดมากกว่าที่คาดไว้

Berger (1990) ศึกษาผลของวิธีการผูกมัดแบบต่าง ๆ จากการศึกษาของเขาเมื่อวางแบรกเก็ตให้ร่องขนานกับลวดโค้ง พบว่าแบรกเก็ตแบบยึดกับลวดด้วยตัวเองให้แรงเสียดทานที่น้อยกว่าการผูกมัดด้วยยางหรือลวดเหล็กกล้า

แรงเสียดทานระหว่างลวดโค้งกับแบรกเก็ต เป็นปัจจัยสำคัญในการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน ความหยาบของผิวลวดโค้ง ก็มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดความเสียดทานเช่นเดียวกับการเลือกแบรกเก็ตและวิธีการผูกมัด ซึ่งปัจจุบันแบรกเก็ตในทางจัดฟันนั้นมีหลายแบบซึ่งทำจากวัสดุต่าง ๆ ที่มีความหยาบต่าง ๆ กัน

Kapila, Angolgar, Duncanson และ Nanda (1990) ทำการศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานที่เกิดจากลวดทางทันตกรรมจัดฟัน 4 ชนิดในแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าลวดบีตา-ไททาเนียม และไนไทก่อให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและโคบอลท์-โครเมียมในลวดเกือบทุกขนาด ขนาดของลวดจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดของแรงเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญ ลวดเกือบทุกขนาดจะเกิดแรงเสียดทานใน

แบรกเก็ตที่แคบต่ำกว่าในแบรกเก็ตที่ขนาดกว้างกว่า ลวดบีตา-ไททาเนียม ขนาด 0.017 x 0.025 นิ้วในแบรกเก็ตแฝดขนาดกว้าง (0.018 นิ้ว) จะมีระดับแรงเสียดทาน 336 กรัม ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.016 นิ้วในแบรกเก็ตเดี่ยวขนาดแคบ (0.018 นิ้ว) จะมีระดับแรงเสียดทาน 49 กรัม ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.018 นิ้วในแบรกเก็ตเดี่ยวขนาดแคบ (0.022 นิ้ว) จะมีระดับแรงเสียดทาน 40 กรัม ลวดไนไทขนาด 0.019 x 0.025 นิ้วในแบรกเก็ตแฝดขนาดกว้าง (0.022 นิ้ว) จะมีระดับแรงเสียดทาน 222 กรัม

การดึงรั้งฟันเขี้ยวและการปิดช่องว่างในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันด้วยกลวิธีเคลื่อนไถลจะเป็นการเคลื่อนของลวดสัมพันธ์กับร่องแบรกเก็ต ซึ่งการเคลื่อนของฟันและการตอบสนองต่อเนื้อเยื่อจะเกิดขึ้นได้เมื่อแรงที่ให้นั้นเพียงพอที่จะเอาชนะแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสของลวดกับแบรกเก็ต การที่เกิดมีแรงเสียดทานมากก็อาจจะทำให้ฟันเคลื่อนได้น้อยหรือไม่เคลื่อนเลย และอาจยังผลให้เกิดการสูญเสียหลักยึด

มีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อระดับของแรงเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตกับลวดซึ่งมีทั้งทางกลและทางชีวะ เช่นชนิดของแบรกเก็ต, ขนาดของร่อง, ความกว้างแบรกเก็ต, การทำมุม, รูปร่างของลวด, ขนาดของลวด, ชนิดของลวด รวมทั้งวิธีการผูกมัดและแรงที่ใช้ผูกมัด, น้ำลาย, คราบจุลินทรีย์, การกัดกร่อนก็มีผลต่อความเสียดทาน

Prososki, Bagby และ Erickson (1991) ทำการทดสอบแรงเสียดทานในแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าลวดโคบอลท์-โครเมียม, ไนไท (ยกเว้นเซนทาลอยและออโธนอล) จะมีแรงเสียดทานต่ำสุด ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและบีตา-ไททาเนียมจะมีแรงเสียดทานสูงที่สุด ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผิวราบขึ้นที่สุดขณะที่ลวดไนไท, มาเซนอลและออโธนอลที่ผิวหยาบที่สุด จึงไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวและค่าแรงเสียดทาน

Kusy และ Whitley (1990) ทำการศึกษาพบว่าผิวหน้าที่ขัดเรียบแตกต่างกันไม่ส่งผลต่อความเสียดทานอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความเร็วที่ใช้เคลื่อนไถลบางครั้งก็เปลี่ยนแปลงค่าของสัมพันธ์แรงเสียดทานสถิตและจลน์

แบรกเก็ตเซรามิก เป็นก้าวหนึ่งของการพัฒนาเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่นเพื่อสนองความต้องการของผู้ป่วยและทันตแพทย์จัดฟันในเรื่องความสวยงาม ความ

แข็งแรงคงทนของวัสดุและความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ความร้อน และการติดสีของสารอาหารในช่องปาก แต่แบรกเก็ตเซรามิกก็มีข้อเสียหลายประการอันเนื่องมาจากคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเป็นเหตุให้เกิดความล้มเหลวในการนำมาใช้

เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นได้พัฒนาจากการใช้ปลอกโลหะรัดฟันกับฟันทุกซี่ซึ่งมีข้อเสียในเรื่องความสวยงาม เนื่องจากเห็นสีของโลหะอย่างชัดเจนมาเป็นการใช้แบรกเก็ตชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม โดยยึดกับผิวฟันด้วยวัสดุยึดอะคริลิก หรือคอมโพสิต เรซิน หรือการเคลือบผิวแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยสารเคลือบที่มีสีเหมือนฟันแต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากความล้มเหลวในการเกาะติดของสารที่ใช้เคลือบผิวแบรกเก็ต ต่อมามีการพัฒนาแบรกเก็ตให้มีขนาดเล็กลง แต่ขนาดที่เล็กลงนั้นมีผลให้การทำงานของทันตแพทย์ยุ่งยากมากขึ้นในการจับแบรกเก็ตขณะนำไปติดบนผิวฟันอันอาจทำให้แบรกเก็ตหลุดเข้าไปในลำคอของผู้ป่วยได้ และขนาดที่เล็กลงอาจมีผลต่อการแก้ไขการเรียงฟันได้ไม่ดีพอ เพราะขาดความกว้างในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางที่เหมาะสมกับขนาดฟันโดยผลของขนาดที่เล็กลงไม่ได้ช่วยให้การมองเห็นของแบรกเก็ตนั้นดูสวยงามขึ้นมากกว่าข้อด้อยที่เกิดขึ้น ในระยะต่อมามีการนำวิธีการจัดฟันชนิดติดแน่น โดยยึดอุปกรณ์จัดฟันเข้ากับผิวฟันทางด้านใกล้ลิ้นของฟันทุกซี่ในช่องปาก แต่การจัดฟันตามเทคนิคนี้มีข้อจำกัดและยุ่งยากในการจัดกระทำ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาชนิดของวัสดุที่ใช้ในการทำแบรกเก็ตโดยใช้วัสดุที่มีความโปร่งแสง และมีสีใกล้เคียงกับฟัน ได้แก่ โพลีคาร์บอเนต แบรกเก็ต ซึ่งให้ความสวยงามในระยะแรกของการรักษา แต่ความไม่คงทนของวัสดุทำให้เกิดการแตกหักและไม่สามารถใช้งานได้ตลอดการรักษา รวมทั้งมีการหลุดได้ง่ายเมื่อใส่ในลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเพิ่มทอร์คในลวด

ปลายปี ค.ศ.1986 แบรกเก็ตเซรามิกเริ่มเข้ามามีบทบาทแทนแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมและแบรกเก็ตพลาสติกและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากข้อดีในเรื่องความสวยงามเพราะมีความโปร่งแสงเช่นเดียวกับแก้ว และคุณสมบัติพิเศษของเซรามิกที่มีความแข็งแรง คงทน และสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ความร้อนหรือการติดสีจากสารอาหารในช่องปาก อย่างไรก็ตามนักวิจัยหลายท่านกล่าวถึงคุณสมบัติเชิงกลของแบรกเก็ตเซรามิกว่า เนื่องจากความแข็งของวัสดุที่มีมากเกินไปร่วมกับโครงสร้างของการเรียงตัวของอะตอมในเนื้อเซรามิกเอง อันเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ทำให้แบรกเก็ต

เซรามิกมีความเปราะและความสามารถในการดูดซับความเค้นต่ำ จึงทำให้เกิดความล้มเหลวจากการแตกหักได้ง่าย

<u>รูปแบบของแบรกเก็ตเซรามิก</u>

1. ชนิดโพลีคริสตอลลีน อะลูมินา

ข้อดีของแบรกเก็ตชนิดนี้ คือขบวนการผลิตไม่ยุ่งยากสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

ข้อเสียคือมักมีปัญหาเรื่องความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้าง ที่เม็ดอนุภาคครอบนอก และมีปริมาณของสิ่งปนเปื้อนที่ไม่บริสุทธิ์สูงกว่าแบบโมโนคริสตอลลีน ซึ่งการมีสิ่งปนเปื้อนเพียงแค่ 0.001% หรือมีตำหนิเล็กๆ ที่ผิวของวัสดุก็สามารถทำให้เกิดการรวมตัวของความเค้นบริเวณดังกล่าวสูงกว่าปกติทำให้ความสามารถในการต้านต่อแรงซึ่งทำให้วัตถุแตกลดลงด้วย นั่นคือโอกาสที่แบรกเก็ตจะแตกหรือหักเมื่อได้รับแรงเพียงเล็กน้อยก็มีมากขึ้น

2. ชนิดซิงเกิล คริสตอลลีน อะลูมินา หรือโมโนคริสตอลลีน อะลูมินา

ข้อดีของแบรกเก็ตชนิดนี้คือ เกิดตำหนิหรือสิ่งปนเปื้อนที่ไม่บริสุทธิ์น้อย ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการแตกหักของแบรกเก็ตจากแรงกระทำจึงมีน้อยกว่าแบบแรก และแบรก-เก็ตชนิดนี้มีความใสมากกว่าด้วย

ข้อเสียคือ กระบวนการผลิตยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง

แบรกเก็ตเซรามิกที่ผลิตจำหน่ายทำมาในรูปของเอดจ์ไวส์ ทั้งแบบแผดสยาม, กึ่งแผดสยาม และแบบลูอิส/แลนด์ ยังไม่มีผลิตภัณฑ์ของบริษัทใดทำมาในรูปแบรกเก็ตเซรามิกแบบเบกก์

<u>คุณสมบัติทั่วไปของแบรกเก็ตเซรามิกเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะ</u>

1. คุณสมบัติทางเคมี โลหะหรือสารโลหะผสม สามารถถูกกัดกร่อนเป็นสนิมจากสารเคมีหรือสารอาหารในช่องปากได้ แต่เซรามิกมีคุณสมบัติต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสาร

เคมีสูงมาก สารละลายที่สามารถละลายเซรามิกได้จะต้องเป็นสารละลายเข้มข้นแบบกรดไฮโดรฟลูออริก นอกจากนี้เซรามิกยังต่อต้านการติดสีจากสารอาหารที่รับประทานเข้าไป ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนสีหรือดูดซับกลิ่นอันไม่พึงปรารถนาไว้กับวัสดุ จึงเป็นข้อดีที่นำมาใช้เป็นวัสดุทันตกรรมหลายชนิด

2. คุณสมบัติทางด้านความสวยงาม เซรามิกมีความโปร่งแสง และสะท้อนแสงได้เช่นเดียวกับฟัน สามารถผลิตให้สีเข้ากับสีของฟันได้ดี ต่างจากแบรกเก็ตโลหะซึ่งมีสีของโลหะและทึบแสงทำให้มองดูไม่สวยงาม คุณสมบัติข้อนี้ทำให้แบรกเก็ตเซรามิกเป็นที่ต้องการของตลาดมาก

3. คุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อน เซรามิกนำความร้อนได้น้อยเนื่องจากไม่มีอิเลคตรอนอิสระเช่นเดียวกับโลหะและทนต่อความร้อนสูง เพราะกระบวนการผลิตใช้ความร้อนสูงอยู่แล้ว สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนต่ำจึงทนอุณหภูมิสูงๆได้ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากอาหารต่าง ๆ ที่รับประทานเข้าไปในช่องปากได้ดี

4. คุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติข้อนี้ของเซรามิกขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุนั่นเอง ได้แก่

4.1 ความแข็ง

4.2 ความอ่อนตัวสามารถโค้งเปลี่ยนรูป

4.3 ความแข็งแรงดึง

4.4 ความแข็งแรงอัด

4.5 ความเหนียวซึ่งต้านต่อการแตกหัก

ความแข็งและความอ่อนตัวสามารถโค้งเปลี่ยนรูป เนื่องจากโลหะมีความแข็งน้อยกว่าเซรามิกมาก (เหล็กกล้าไร้สนิม 5.35 KHN, โพลีคริสตอลลีน 82.5 KHN และโมโนคริสตอลลีน 97.5 KHN) และมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปเมื่อได้รับแรงกระทำดีกว่า ดังนั้นเมื่อโลหะได้รับความเค้นจะมีการเลื่อนที่เม็ดอนุภาครอบนอก ทำให้เกิดการกระจายตัวใหม่ของความเค้นและลดปริมาณของความเค้นลงได้ โลหะจึงถูกเปลี่ยนรูปไปโดยไม่มีการแตกหักซึ่งการเปลี่ยนรูปนั้นอาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ หรือไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิม ขึ้นกับว่าแรงที่กระทำนั้นเกินกว่าระดับของการคืนกลับของโลหะนั้นหรือไม่ แต่เซรามิกมีความแข็งของเนื้อวัสดุมาก เนื่องจากมีทิศทางการเรียงตัวระหว่างอะตอมค่อน

ข้างเฉพาะ ซึ่งลักษณะของออกซิไดซ์ อะคอมมิก แลททิซนี้ไม่ยอมให้มีการเลื่อนไถลของพันธะระหว่างอะตอมและไม่มีการกระจายตัวใหม่ของความเค้น ดังนั้นเมื่อความเค้นมากถึงระดับวิกฤต พันธะระหว่างอะตอมเหล่านี้จะเกิดการหักทำให้เกิดความล้มเหลวจากการแตกหักซึ่งคุณสมบัตินี้เป็นข้อเสียในการนำไปผลิตแบรกเก็ต เนื่องจากการถอดแบรกเก็ตเซรามิกออกจากผิวฟันนั้นเซรามิกไม่สามารถโค้งตัวได้แบบแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม ขณะที่ถูกรื้อ ทำให้ต้องใช้แรงมากกว่าในการถอดแบรกเก็ต ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดอันตรายต่อฟันย่อมมีมากตามไปด้วย

ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงอัด เป็นความสามารถของวัตถุในการต้านความเค้นสูงสุดที่เกิดจากการดึงหรือการอัดกระแทกโดยปราศจากการแตกหัก Scott ได้ทดสอบคุณสมบัติในการต้านต่อแรงดึงของแบรกเก็ตเซรามิกเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตโลหะพบว่ามีค่าสูงกว่าแบรกเก็ตโลหะอย่างมีนัยสำคัญ และเขายังแสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงดึงของเซรามิกนั้นไม่เพียงเกี่ยวข้องกับปริมาณเนื้อวัสดุของเซรามิกเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับสภาพผิวของเซรามิกด้วย ซึ่งต่างจากความแข็งแรงดึงของโลหะที่เกิดขึ้นจากคุณสมบัติของก้อนวัสดุเท่านั้น โดยที่สภาพผิวของโลหะแทบไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงเลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่นำมาทำเป็นแบรกเก็ต รอยขูดขีดหรือรอยครูดเล็ก ๆ ตื้น ๆ บนผิวของเซรามิกมีผลทำให้ระดับความต้านทานต่อแรงหรือความเค้นของเซรามิกลดลง เพราะบริเวณเหล่านี้จะมีการรวมของความเค้นสูงทำให้วัตถุแตกได้ง่าย

ความเหนียวซึ่งต้านการแตกหักของเซรามิก เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ทันตแพทย์จัดฟันควรคำนึงอย่างมาก เพราะมีผลให้เกิดความล้มเหลวในการนำแบรกเก็ตเซรามิกมาใช้ ค่าความเหนียวซึ่งต้านต่อการแตกหักของเซรามิกต่ำกว่าค่าของเหล็กกล้าไร้สนิมมาก ศึกษาความเหนียวซึ่งต้านต่อการหักของเซรามิกเปรียบเทียบกับโลหะ โดยทดลองทำให้เกิดรอยขีดข่วนขนาดเท่ากันและเหมือนกับบนผิววัสดุของเซรามิกสองชนิด (PCA และ MCA) และแท่งเหล็กกล้าไร้สนิมแล้วนำไปบิดให้หัก พบว่าแรงที่ใช้ในการบิดแท่งสเตนเลส สตีลมีค่ามากกว่าแรงที่ใช้ในนารบิดแท่งเซรามิกอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือแม้เซรามิกจะมีความแข็งมาก แต่ถ้าเกิดรอยขีดข่วนหรือตำหนิเพียงเล็กน้อยในเนื้อวัสดุหรือบนผิววัสดุ บริเวณดังกล่าวจะมีความเค้นสูง แม้แต่รอยตัดที่เป็นมุมแหลมหรือมุมฉากก็ทำให้เกิดความเข้มของความเค้นสูง ซึ่งความเค้นในเนื้อวัสดุนี้ทำให้เกิดรอยร้าวภายในและแพร่กระจายไปอย่างรวดเร็วผ่านวัตถุ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทั้งชิ้นจนกระทั่งเกิดการแตกขึ้น

การติดแบรกเก็ตเซรามิก

การติดแบรกเก็ตกับผิวเคลือบฟัน โดยใช้วัสดุยึดทางทันตกรรมจัดฟันอาจเป็นแบบไม่ต้องผสม หรือแบบผสมสองส่วนเข้าด้วยกันก็ได้ การเลือกใช้วัสดุยึดจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้

1. ระยะเวลาในการทำงานพอเหมาะ
2. ระยะเวลาในการแข็งตัวเร็วและสามารถใส่ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันได้ทันทีที่แข็งตัว
3. กำลังความแข็งแรงยึดมีค่าสูงพอที่จะป้องกันไม่ให้แบรกเก็ตหลุดขณะทำการรักษาทันตกรรมจัดฟัน
4. การขจัดวัสดุยึดที่เกินออกได้ง่าย
5. การถอดแบรกเก็ตทำให้สะดวกและเกิดอันตรายต่อผิวฟันน้อย
6. ราคาไม่แพงจนเกินไป

กลไกการยึดติดของแบรกเก็ต

1. การยึดติดเชิงกล ได้จากการทำอันเดอร์คัทเป็นร่อง เป็นรู หรือเป็นตะแกรงถี่ เพื่อช่วยในการยึดติดของวัสดุยึดกับแบรกเก็ต สำหรับการยึดติดของวัสดุยึดกับผิวเคลือบฟันนั้นขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่าอะคริลิก แท็กยึดกับเคลือบฟันโดยการเกาะเกี่ยวระหว่างวัสดุยึดและเคลือบฟัน

Odegaard และ Segner เปรียบเทียบความแข็งแรงยึดของแบรกเก็ตเซรามิก และสรุปว่าแบรกเก็ตเซรามิกที่มีฐานเป็นตะแกรงถี่ดีกว่าแบบฐานเป็นร่อง โดยอธิบายว่าขณะที่วัสดุยึดแข็งตัว จะมีการหดตัวของเรซินบริเวณรอบ ๆ อันเดอร์คัทใต้ฐานแบรกเก็ต แต่เนื่องจากลักษณะของฐานแบรกเก็ตแบบร่องมีมุมและรอยบากที่มีความแหลมคม

เป็นผลให้เกิดความเค้นภายในเนื้อวัสดุยึด ทำให้ความแข็งแรงยึดของวัสดุกับฐานแบรกเก็ตดีกว่า

การศึกษาวิจัยต่างๆแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติของแบรกเก็ตเซรามิกให้ดีขึ้นเป็นความพยายามที่จะผสมผสานความต้องการในเรื่องความสวยงามของผู้ป่วย และคุณภาพของแบรกเก็ต โดยอาศัยข้อดีและจำกัดข้อเสียในเรื่องความเปราะและแตกได้ง่าย รวมไปถึงโอกาสที่จะทำให้เกิดการแตกของเคลือบฟัน ดังนั้นในการนำแบรกเก็ตเซรามิกมาใช้กับผู้ป่วยจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดปัญหาดังกล่าว เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับสิ่งที่ดีที่สุดและลดข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากความเข้าใจผิดในเรื่องคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งนิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางโดยไม่ได้พิจารณาถึงผลเสียที่อาจเกิดขึ้นจากความไม่ระมัดระวังในการใช้

<u>ข้อแนะนำในการนำแบรกเก็ตเซรามิกมาใช้ในคลินิก</u>

1. อายุของผู้ป่วย : ผู้ป่วยควรโตพอที่จะสามารถเข้าใจข้อจำกัดในการใช้และสามารถระมัดระวังได้โดยไม่ขาดความรับผิดชอบ กล่าวคือไม่ควรใช้ในเด็กเป็นอย่างยิ่ง

2. บุคลิกภาพของผู้ป่วย : ความจำเป็นที่จะต้องใช้เนื่องจากผู้ป่วยมีอาชีพการงานที่ต้องปรากฏต่อสังคม

3. ลักษณะการสบฟันและตำแหน่งในช่องปาก ห้ามใช้ในผู้ป่วยที่มีการสบฟันลึกเพราะอาจทำให้เกิดการกระแทก หรือขัดถูกับฟันคู่สบ เป็นเหตุให้เกิดการแตกและสึกของฟัน นิยมใช้ในฟันหน้าบนซึ่งต้องการประโยชน์ในเรื่องความสวยงามและไม่มีการกระทบกระแทกของฟันคู่สบ

ในกรณีที่มีการสบฟันแบบฟันหน้าล่างคร่อมฟันหน้าบน ควรแก้ไขตำแหน่งฟันที่ผิดปกติให้เรียบร้อยก่อน หรืออาจใช้วิธีใส่เครื่องมือจัดฟันแบบถอดได้ที่มีการยกไม่ให้ฟันสบกระแทก และทันตแพทย์ควรทำการตรวจอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการรักษาเพื่อไม่ให้เกิดผลเสียดังกล่าว

4. ควรอธิบายให้ผู้ป่วยทราบผลดีและผลเสียที่อาจเกิดขึ้นได้เพื่อผู้ป่วยจะได้เพิ่มความระมัดระวังในการดูแลเครื่องมือจัดฟัน เป็นการลดโอกาสของความเสี่ยง

5. ทันตแพทย์จัดฟันควรหลีกเลี่ยงการขีดข่วนหรือการทำให้เกิดรอยขูดขีดบนแบรกเก็ตขณะทำการรักษา การเปลี่ยนลวดโค้งทันตกรรมควรทำด้วยความระมัดระวัง อาจใช้ลวดที่มีรีซิเลียนซ์สูงการใส่ทอร์คควรค่อย ๆ เพิ่มปริมาณของทอร์ค หรือ หลีกเลี่ยงโดยการใช้แบรกเก็ตที่มีพรีทอร์ค การผูกลวดควรใช้ยางแทนลวดมัดฟัน นอกจากนี้การถอดแบรก-เก็ตเมื่อสิ้นสุดการรักษา ควรทำด้วยความระมัดระวังและใช้เทคนิคที่ถูกต้องนิ่มนวล

กล่าวคือทันตแพทย์จัดฟันจะต้องใช้ความรู้ความสามารถในการพิจารณาผลดี ความจำเป็นในการใช้ของผู้ป่วยและข้อเสียที่อาจเกิดขึ้น สามารถระมัดระวังและป้องกันผลเสียที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกใช้แบรกเก็ตได้ถูกต้องตามความเหมาะสมและบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์

Ghafari (1992) บอกว่าแบรกเก็ตเซรามิกเริ่มเป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีความสวยงาม สามารถทนทานต่อแรงทางทันตกรรมจัดฟันและการติดสีได้ดีกว่าแบรก-เก็ตพลาสติก การนำแบรกเก็ตมาใช้ในทางคลินิกอาจเกิดปัญหาแทรกซ้อนหลายอย่างซึ่งรวมถึงผลของการถอดแบรกเก็ตออกจากผิวเคลือบฟัน, การเกิดการสึกของฟันที่สบกับแบรก-เก็ตเซรามิก และการที่เครื่องมือจัดฟันมีความเสียดทานเพิ่มขึ้น การแก้ไขปัญหาที่เกิดนี้ได้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการเลือกใช้แบรกเก็ตชนิดเซรามิกกับฟันที่เหมาะสม เขาแนะนำว่าแบรกเก็ตโพลีคริสตอลลีนนั้นมีความเหมาะสมในทางทันตกรรมจัดฟันมากกว่าแบรกเก็ตโมโนคริสตอลลีน เนื่องจากโพลีคริสตอลลีนนั้นความแข็งแรงจะไม่ลดลงเมื่อเกิดการขีดข่วนที่มักจะเกิดขึ้นในการผูกลวดโค้งเข้ากับแบรกเก็ต

<u>สรุปการเลือกใช้แบรกเก็ตเซรามิก</u>

1. ควรเลือกใช้แบรกเก็ตเซรามิกอย่างระมัดระวัง โดยประเมินจากสภาพการสบฟันที่ผิดปกติและการวางแผนรักษาทางการจัดฟัน การนำความได้เปรียบด้านความสวยงามของเซรามิกมาใช้โดยต้องระวังการเกิดความเสียดทานและการสึกของฟันควรจำกัดให้ใช้ได้กับฟันหน้าและฟันเขี้ยวบนในรายที่จัดฟันแบบไม่ต้องถอนฟัน

เหตุผลหลักก็อยู่ที่เซรามิกมีความเสียดทานมากกว่า ซึ่งจะทำให้เคลื่อนฟันได้ยากขึ้นและยังจะทำให้เกิดผลต่าง ๆ ดังนี้

1.1 การสูญเสียหลักยึดในฟันหลัง ซึ่งถ้าเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้นก็ควรจะเสริมความแข็งแรงแก่หลักยึดด้วยเฮดเกียร์, พาลาตัล บาร์, แนนซ์โฮลดิ้ง อาร์ช การดึงรั้งฟันเขี้ยวก่อนดึงฟันหน้าก็จะช่วยลดการสูญเสียหลักยึด และสามารถทำการดึงรั้งฟันหน้าโดยตัดลวดให้ไม่ผ่านร่องของแบรกเก็ตฟันเขี้ยวที่เป็นเซรามิก

1.2 การที่เกิดมีฟันสบลึกเพิ่มขึ้นของฟันเขี้ยวและฟันหน้า ซึ่งสามารถแก้ได้โดยการทำโมเมนต์ชดเชยช่วยต้านทานผลที่ไม่พึงประสงค์นี้ เพราะจากที่มีฟันสบลึกเพิ่มขึ้นจะไปทำให้ฟันหน้าบนมาสบชนกับแบรกเก็ตฟันหน้าล่างที่เป็นเซรามิกทำให้เกิดการสึกของฟันได้ ดังนั้นการจะใช้แบรกเก็ตเซรามิกกับฟันหน้าล่างก็ควรเลือกใช้ในรายที่มีการสบฟันลึกไม่มากนัก

2. ผู้ป่วยควรได้รับทราบถึงผลอันไม่พึงประสงค์ของการใช้แบรกเก็ตเซรามิกและเป็นที่ยินยอมใช้เอง และทันตแพทย์ก็ควรจะเข้าใจข้อห้ามได้อย่างเด่นชัด

Andreasen และ Quevedo (1970) ศึกษาพบว่าลวดไนตินอลใช้แรงเอาชนะแรงเสียดทานที่น้อยกว่าของเหล็กกล้าไร้สนิม และพบว่าความกว้างของแบรกเก็ตมีความสำคัญต่อขนาดของแรงที่ต้องการเอาชนะแรงเสียดทานในการเลื่อนแบรกเก็ตไปตามลวดโค้ง การทดสอบนี้ใช้ลวด 2 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (18-8) กับไนตินอล (55%) และใช้ลวด 3 ขนาด 0.020, 0.019 x 0.025, 0.021 x 0.025 นิ้ว มีค่าของมุม 4 ค่า 0, 5, 10, 15 องศา, แบรกเก็ตแบบแฝดสยาม มีความกว้าง 0.001, 0.135, 0.185 นิ้ว โดยมีขนาดร่อง 0.022 x 0.028 นิ้ว ใช้ยางผูกลวดโค้งไว้กับแบรกเก็ต.

จากการศึกษามีข้อสรุปดังนี้

1. เมื่อมุมที่แบรกเก็ตทำกับลวดโค้งเพิ่มขึ้น จะมีแรงเสียดทานในลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเพิ่มขึ้น

2. เมื่อมุมที่แบรกเก็ตทำกับลวดโค้งเพิ่มขึ้น จะต้องใช้แรงในการเคลื่อนแบรกเก็ตผ่านลวดไนตินอลเพิ่มขึ้น

3. เมื่อไม่เกิดมุม ก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการใช้แรงเริ่มเคลื่อนแบรกเก็ตไปตามลวด

4. เมื่อมุมเพิ่มจาก 5° เป็น 15° ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมต้องให้แรงมากกว่า

ลวดไนตินอลในการเริ่มเคลื่อนที่

5. ขนาดมีความสำคัญต่อลวดเหล็กกล้าไร้สนิม โดยลวดขนาดใหญ่ขึ้นก็ต้องใช้แรงเอาชนะแรงเสียดทานมากขึ้น

6. ลวดไนตินอล ขนาดใหญ่ (0.019x0.025 นิ้ว) สามารถใช้ดึงรั้งโดยไม่เกิดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นที่มุม 15° ลวดไนตินอล 0.019x0.025 นิ้ว เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าในลวดไนตินอลขนาด 0.020 นิ้ว ซึ่งที่มุมขนาดนี้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมต้องให้แรง 505 กรัม แต่ลวดไนตินอลใช้เพียง 55 กรัม

7. ในการทดลองนี้ความกว้างของแบรกเก็ตไม่ให้ผลที่มีนัยสำคัญต่อขนาดของแรงที่ต้องเอาชนะแรงเสียดทานทั้งจากลวดไนตินอลและลวดเหล็กกล้าไร้สนิมในทุกขนาดและทุกมุม

Kapila และ Sachdeva (1989) กล่าวถึงลักษณะที่พึงประสงค์ของลวดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟันว่า ควรจะมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. มีความสามารถในการคืนกลับสูง ทำให้สามารถปลุกฤทธิ์ได้มากกว่า จึงมีผลให้เพิ่มช่วงเวลาการทำงานของเครื่องมือ และลดการปรับเปลี่ยนลวดให้น้อยลง นอกจากนี้ยังสามารถทำให้โค้งงอได้มาก โดยไม่เกิดการสูญเสียรูปทรงอย่างถาวร

2. มีความแข็งตึงต่ำ หมายถึง สามารถให้แรงน้อยและคงที่ในระยะเวลาก่อนการหมดฤทธิ์

3. สามารถตัดหรือทำให้เป็นรูปต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ง่าย โดยไม่เกิดการแตกหักของลวด

4. มีพลังงานสะสมสูง คือ มีคุณสมบัติมอดุลลัสของเรซิเลียนซ์

5. มีความเข้ากันได้ทางชีวะภาพ หมายความว่า ลวดนั้นจะต้องทนอยู่ในสภาวะแวดล้อมของสิ่งมีชีวิต โดยไม่เกิดการกัดกร่อนหรือการเสื่อมสภาพ และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตก็สามารถทนต่อลวดนั้นได้เช่นกัน และมีความสามารถคงคุณสมบัติในสภาพแวดล้อมได้ในระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้สามารถประเมินระยะเวลาที่ลวดยังมีคุณสมบัติหลังจากการผลิตและการใช้งาน

6. มีแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวน้อย ในการปิดช่องว่าง หรือการเคลื่อนฟันในลวดโค้งที่ใช้ทางทันตกรรมจัดฟัน จะเกิดแรงเสียดทานระหว่างแบรกเก็ตกับลวดถ้ามี

แรงเสียดทานมากจะทำให้สูญเสียหลักยึด หรือฟันไม่สามารถเคลื่อนไปในทิศทางที่ต้องการได้

7. สามารถเชื่อมต่อกับส่วนช่วยอื่นๆได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องมือ

นอกจากคุณสมบัติเหล่านี้แล้วยังกล่าวถึงการใช้งานของลวดต่าง ๆ ที่ใช้ทางทันตกรรมจัดฟันโดยสรุปดังนี้

ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นลวดที่ยังคงเป็นที่นิยมตั้งแต่เริ่มมีการนำมาใช้ทางทันตกรรมจัดฟัน เนื่องจากมีคุณสมบัติสามารถดัดเป็นรูปต่าง ๆ ได้ง่าย มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และคงคุณสมบัติในสภาพแวดล้อมต่างๆได้ดี มีความแข็งติงต่ำ มีคุณสมบัติเรซิเลียนซ์และราคาถูก

ลวดโคบอลต์-โครเมียม เป็นลวดที่มีคุณสมบัตินุ่มกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้สามารถดัดเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย การทำฮีท ทรีตเมนต์ จะทำให้คุณสมบัติของลวดชนิดนี้ดีกว่า คือมีความต้านทานต่อการล้าหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และใช้งานได้นานขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติเรซเลียนซ์ แต่การทำฮีท ทรีตเมนต์จะต้องทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้อุณหภูมิเกิน 900° F ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 1200° F จะเกิดผลเสียทำให้คุณสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเสียไป

ลวดนิเกิล-ไททาเนียม มีความสามารถในการคืนกลับสูง มีความแข็งติงต่ำ แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถดัดให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ และไม่สามารถเชื่อมกับส่วนช่วยอื่น ๆ ได้

ลวดบีตา-ไททาเนียม มีความสามารถในการคืนกลับพอประมาณ, ดัดให้เป็นรูปร่างตามที่ต้องการได้ และสามารถเชื่อมกับส่วนช่วยอื่น ๆ ได้

ลวดมัลติสแตรนด์ เป็นลวดที่ทำจากลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเส้นเล็ก ๆ บาง ๆ นำมาขดรวมกันเป็นเส้นเดียว มีคุณสมบัติที่ดีคือมีความสามารถในการคืนกลับดี มีความแข็งติงต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

การจะเลือกใช้ลวดทางทันตกรรมจัดฟันให้ได้ผลดีต่อการบำบัดรักษาจะต้องคำนึงถึงชนิดของลวด ขนาดที่เหมาะสม ตามคุณสมบัติของลวดแต่ละชนิดและสภาพการใช้งานในขณะนั้น