

การเปรียบเทียบปริมาณแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิม และลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำ 3 ชนิด ที่มุมกระทำต่างกัน

จินจุฑา ตันติไชยบริบูรณ์

นักศึกษาหลังปริญญา ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัชร เพ็ชรบุปผ์

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิยรัตน์ อภิวัฒนกุล

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

ทันตแพทย์หญิงจินจุฑา ตันติไชยบริบูรณ์

นักศึกษาหลังปริญญา ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนอังรีดูนังต์ ปทุมวัน กทม. 10330

โทร: 02-2188754, 02-2188930-1

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของปริมาณแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำ เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตต่างกัน โดยกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้คือ แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดมาตรฐานสำหรับฟันเขียว ขนาด 0.018 นิ้ว x 0.025 นิ้ว (Stainless steel bracket, mini dyna-lock, 3M Unitek) และลวด 4 ชนิด ขนาด 0.016 นิ้ว x 0.022 นิ้ว ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Archwire, Ormco), ลวดเบต้าไทเทเนียม (Beta III Titanium Archwire, 3M Unitek), ลวดทีเอ็มเอชฮันนีดิว (Colored TMA Honeydew, Ormco), และลวดเบต้าไทเทเนียมที่ปลอดนิกเกิล (Nickel-Free Titanium Beta III Archwire, Mase) นำลวดและแบร็กเกตเหล่านี้มาทดสอบที่มุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตเป็น 0 องศา และที่มุมวิกฤต (1 องศา) ประเมินค่าแรงเสียดทานสถิตจากการใช้เครื่องทดสอบลวดด้วยนิวเวอร์แซล โดยการทดสอบแต่ละครั้งกระทำที่อุณหภูมิห้อง ในสภาวะแห้ง และได้มีการเปลี่ยนลวดและแบร็กเกตใหม่ทุกครั้ง นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนในการวิเคราะห์ความแตกต่างของแรงเสียดทานสถิตของลวดชนิดต่าง ๆ เมื่อมีมุมกระทำเดียวกัน และใช้การทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระกันในการวิเคราะห์ความแตกต่างของแรงเสียดทานสถิตที่มุมกระทำต่างกันเมื่อลวดเป็นชนิดเดียวกันจากการทดสอบพบว่า เมื่อมีมุมกระทำ 0 องศา ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำทั้ง 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำทั้ง 3 ชนิด เมื่อมีมุมกระทำเป็น 1 องศา พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดทีเอ็มเอชฮันนีดิวมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าลวดเบต้าไทเทเนียมที่ปลอดนิกเกิล และลวดเบต้าไทเทเนียมที่ปลอดนิกเกิลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมกับลวดทีเอ็มเอชฮันนีดิว นอกจากนี้พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมกระทำเพิ่มเป็น 1 องศา ในลวดทุกชนิด แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดเบต้าไทเทเนียม ($p < .05$) สรุปว่าที่มุม 0 องศา ลวดเบต้าไทเทเนียมทั้ง 3 ชนิด มีแรงเสียดทานสถิตที่ไม่แตกต่างกัน แต่ที่มุมวิกฤต 1 องศา ลวดทีเอ็มเอชฮันนีดิวให้แรงเสียดทานสถิตที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับลวดเบต้าไทเทเนียมอีก 2 ชนิด ดังนั้นหากจำเป็นต้องเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไกลในลวดเบต้าไทเทเนียม ลวดทีเอ็มเอชฮันนีดิว น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากแรงเสียดทานเป็นหลัก

บทนำ

แรงเสียดทานเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่เมื่อวัตถุชนิดหนึ่งเคลื่อนผ่านไปบนวัตถุอีกชนิดหนึ่ง โดยแรงเสียดทานนี้เกิดระหว่างวัตถุ 2 ชนิด ที่สัมผัสกัน และมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ แรงเสียดทานมี 2 ประเภท ได้แก่ แรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์

โดยแรงเสียดทานสถิต คือ แรงจำเป็นที่น้อยที่สุดที่ทำให้วัตถุที่หยุดนิ่งเริ่มเกิดการเคลื่อนที่ ส่วนแรงเสียดทานจลน์ คือ แรงต้านการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล (sliding motion) ของวัตถุหนึ่งไปบนอีกวัตถุหนึ่งซึ่งเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่¹⁻⁵ แรงเสียดทานเป็นผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน (coefficient of friction) กับแรงปกติ (normal force) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานเป็นค่าคงที่ซึ่งอยู่ระหว่าง 0-1 และเป็นค่าที่ได้มาจากการทดลอง โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานอาจขึ้นอยู่กับความหยาบสัมพัทธ์ (relative roughness) ของพื้นผิวที่สัมผัสกัน ลักษณะของพื้นผิว และความแข็งของพื้นผิว ส่วนแรงปกติ คือ แรงที่มีทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวที่สัมผัสกัน โดยอาจจะตั้งฉากกับพื้นผิวใดพื้นผิวหนึ่ง หรือ ทั้งสองพื้นผิว^{4,5}

การเคลื่อนที่ทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อปิดช่องว่างมี 2 วิธี⁶ ได้แก่ การเคลื่อนที่แบบเซกเมนต (segmental หรือ sectional mechanic) และการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล (sliding mechanic) ซึ่งการเคลื่อนที่แบบเซกเมนตจะมีการใช้โคลส-ซึ่งลูปชนิดต่าง ๆ (closing loops) ฟันจะเคลื่อนไปตามลูปที่ถูกแอคทีเวท (activated) ซึ่งระบบแรงนี้เราสามารถออกแบบให้เกิดอัตราที่แรงกระทำต่อฟันต่ำ (low load-deflection rate) และสามารถควบคุมอัตราส่วนระหว่างแรงและโมเมนต์ได้ (moment-force ratio) ส่วนการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล แบร็กเกตจะเคลื่อนไปตามลวด หรือ ลวดเคลื่อนไถลผ่านแบร็กเกตหรือท่อ (tube) ปัจจัยหลักที่แตกต่างกันระหว่างการเคลื่อนที่ทั้ง 2 วิธี คือ แรงเสียดทาน เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบเซกเมนตจะไม่มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นระหว่างแบร็กเกตและลวด ซึ่งเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบไร้แรงเสียดทาน (friction-free หรือ frictionless technique) แต่วิธีการนี้จะทำให้เกิดการหมุนของฟันที่ไม่ต้องการทั้งในระนาบหน้าหลังและระนาบขวาง (sagittal and transverse planes) ซึ่งทำให้มีความจำเป็นต้องปรับระดับฟันเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม แรงเสียดทานมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล ซึ่งแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ช้าลง และต้องการหลักยึด (anchorage) ที่เพิ่มขึ้น แต่ฟันจะถูกเคลื่อนไปตามลวดทำให้ลดปัญหาการหมุนของฟันที่ไม่ต้องการ³ โดยแรงที่จะทำให้การเคลื่อนที่ของฟันจะต้องมีค่าเท่ากับแรงเสียดทานรวมกับแรงที่เหมาะสม (optimal force) ดังนั้นปริมาณแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นต้องถูกควบคุมให้น้อยที่สุดเพื่อสามารถให้แรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่ฟันได้โดยไม่ต้องเพิ่มแรงสำหรับแรงเสียดทานที่มากเกินไป^{5,7}

ปริมาณแรงเสียดทานขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความกว้างของร่องแบร็กเกต ระยะห่างระหว่างแบร็กเกต ระยะห่าง

ระหว่างแบร็กเกตและลวด รูปร่างและขนาดของลวด มุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกต (bracket/wire angulation) ชนิดของวัสดุที่ใช้ และขนาดแรงในการมัดฟัน ลักษณะพื้นผิวของลวดและร่องแบร็กเกต และวัสดุที่ใช้ผลิตลวดและแบร็กเกต^{8,9} โดยจากหลายการศึกษาพบว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดน้อยที่สุด ขณะที่ลวดเบต้าไทเทเนียมและแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมทำให้เกิดแรงเสียดทานมากที่สุด^{1-3,10} อย่างไรก็ตาม ลวดเบต้าไทเทเนียมมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น การให้แรงที่น้อยกว่า เนื่องจากมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้สามารถใช้ลวดที่มีขนาดใหญ่กว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมแต่ให้แรงที่เท่ากัน หรือน้อยกว่า จึงสามารถควบคุมแรงบิดหมุน (torque) ได้ นอกจากนี้ลวดเบต้าไทเทเนียมยังมีอัตราการคืนกลับของลวดหลังจากที่แอคทีเวทแล้ว (springback, YS/E) มากกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้สามารถเพิ่มระยะการทำงานสำหรับการเคลื่อนที่ฟัน หมายถึง สามารถแอคทีเวทลวดได้ในระยะที่มากกว่าโดยที่ไม่ทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวร อีกทั้งยังให้แรงที่นุ่มนวล สม่าเสมอ และคงที่ นอกจากนี้ ลวดเบต้าไทเทเนียมยังสามารถถูกดัดให้เป็นรูปต่าง ๆ ได้ง่าย (formability) เช่น รูปส่วนโค้งขากรไกร (arch form) การดัดรูปแบบต่าง ๆ สามารถเชื่อมกับโลหะได้ (weldability) และมีคุณสมบัติเข้ากับเนื้อเยื่อร่างกายได้ดี (biocompatibility) เนื่องจากลวดเบต้าไทเทเนียมไม่มีส่วนประกอบของนิกเกิล¹¹⁻¹⁴

ตามที่ไดกล่าวข้างต้น ลวดเบต้าไทเทเนียมมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ยกเว้นเรื่องแรงเสียดทาน ทำให้มีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของลวดเบต้าไทเทเนียมให้มีแรงเสียดทานที่ต่ำลง วิธีการฝังด้วยไอออน (ion implantation) เป็นขบวนการหนึ่งที่ปรับปรุงคุณสมบัติของแรงเสียดทานโดยที่ไม่ทำให้คุณสมบัติทางกลอื่น ๆ ที่ต้องการเสียไป โดยขบวนการนี้เกิดขึ้นในตู้สุญญากาศที่มีไอระเหยของไอออน ซึ่งไอออนจะแทรกซึมเข้าไปในผิวลวดเกิดเป็นชั้นของสารประกอบไทเทเนียมซึ่งจะมีความแข็งแรงมาก โดยไม่ทำให้ขนาดลวดเปลี่ยนแปลง และไม่เกิดการแยกออกเป็นชั้น ๆ เหมือนกับวิธีการเคลือบผิวลวด การฝังด้วยไอออนทำให้ลวดมีผิวหน้าที่มีแรงกด (compressive force) มากขึ้น และเพิ่มความแข็ง (hardness) ที่ผิวหน้าลวดทำให้ลวดสามารถทนต่อการล้า (fatigue) และการหัก (fracture) อีกทั้งยังช่วยลดการเกิดรอยที่ผิวหน้าลวดได้ และที่สำคัญคือลดค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานให้ใกล้เคียงกับกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีความจำเป็นในการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล ลวดที่ผ่านการฝังด้วย

ไอออน ได้แก่ ลวดที่เอ็มเอสีฟ้า (Colored TMA Aqua) ลวดที่เอ็มเอสีม่วงน้ำเงิน (Colored TMA Purple) ลวดที่เอ็มเอสีม่วงแดง (Colored TMA Violet) และลวดที่เอ็มเอสีฮันนีดิว (Colored TMA Honeydew) ซึ่งสีที่ต่างกันนี้เนื่องมาจากชนิดและความหนาของไอออนที่แตกต่างกัน¹⁴ การขัดตกแต่งผิวหน้า (polished surface finish) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ปรับปรุงลักษณะพื้นผิวของลวดเบต้าไทเทเนียมให้เรียบขึ้น ซึ่งเชื่อว่าสามารถลดขนาดแรงเสียดทานได้ ซึ่งได้แก่ ลวดเบต้าไทเทเนียมทรี (Beta III Titanium Archwire) และลวดเบต้าไทเทเนียมทรีปลอดนิกเกิล (Nickel-Free Titanium Beta III Archwire)^{15,16} Burstone และ Farzin-Nia¹⁴ ศึกษาค่าแรงเสียดทานของลวดเบต้าไทเทเนียมที่ผ่านการทำและไม่ได้ทำการฝังด้วยไอออน และลวดเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Archwire) พบว่าลวดเบต้าไทเทเนียมที่ผ่านการฝังด้วยไอออน มีค่าแรงเสียดทานลดลงใกล้เคียงหรือน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ขณะที่ Cash และคณะ² พบว่าลวดเบต้าไทเทเนียมที่ผ่านการฝังด้วยไอออนยังคงมีค่าแรงเสียดทานที่มากกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม และยังได้ผลว่าลวดเบต้าไทเทเนียมที่ผ่านการฝังด้วยไอออนบางชนิด เช่น ลวดที่เอ็มเอสีฟ้า ลวดที่เอ็มเอสีม่วงน้ำเงิน และลวดที่เอ็มเอสีม่วงแดง มีค่าแรงเสียดทานมากเท่ากับลวดเบต้าไทเทเนียมที่ไม่ได้ทำการฝังด้วยไอออน ถึงแม้ว่าการศึกษาข้างต้นจะขัดแย้งกัน แต่สิ่งที่เหมือนกันคือ ลวดที่เอ็มเอสีฮันนีดิวมีค่าแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดที่ฝังด้วยไอออนชนิดอื่น

ในปัจจุบันได้มีการผลิตลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีการปรับปรุงลักษณะพื้นผิวหน้าลวดให้มีแรงเสียดทานต่ำด้วยวิธีการฝังด้วยไอออน และการขัดตกแต่งผิวหน้า อย่างไรก็ตาม ลวดเบต้าไทเทเนียมที่ถูกปรับปรุงให้มีแรงเสียดทานต่ำมีอยู่หลายชนิด และการศึกษาส่วนใหญ่ศึกษาในลวดที่ฝังด้วยไอออน ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบลวดเบต้าไทเทเนียมที่ผ่านการฝังด้วยไอออนกับลวดที่ขัดตกแต่งผิวหน้าชนิดต่าง ๆ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาถึงปริมาณแรงเสียดทานสถิตของลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำโดยการปรับปรุงพื้นผิวหน้าด้วยการฝังด้วยไอออนหรือขัดตกแต่งผิวหน้า เพื่อให้ทราบว่าควรเลือกลวดเบต้าไทเทเนียมชนิดใดหากมีความจำเป็นต้องเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไถลด้วยลวดเบต้าไทเทเนียม ซึ่งการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไถลนั้นพบอยู่ในการเคลื่อนฟันเกือบทุกชนิด เช่น การเคลื่อนฟันเขี้ยว รวมถึงการปรับระดับฟัน และการแก้ไขการหมุนของฟันซึ่งเบร็กเกตจะเคลื่อนผ่านเส้นลวดไป

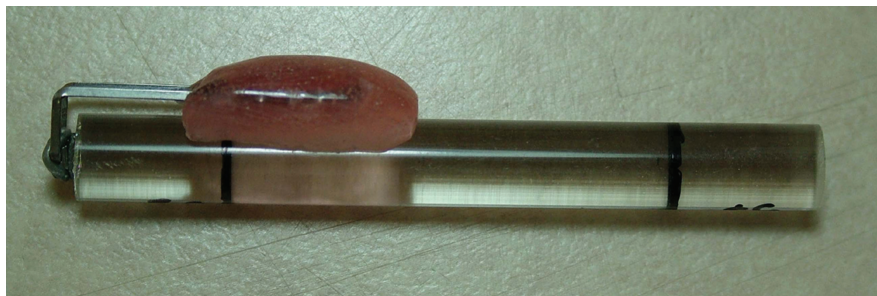
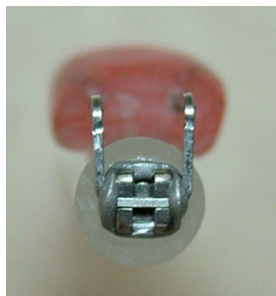
ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดของแรงเสียดทานสถิตระหว่างเบร็กเกตเหล็กกล้า

ไร้สนิมและลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำ 3 ชนิด ที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว รวมทั้งลวดเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและเบร็กเกตเท่ากัน และเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดของแรงเสียดทานสถิตในลวดชนิดเดียวกัน เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและเบร็กเกตต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.016 นิ้ว x 0.022 นิ้ว (Stainless Steel Archwire, Ormco) ลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำขนาด 0.016 นิ้ว x 0.022 นิ้ว 3 ชนิด ได้แก่ ลวดที่เอ็มเอสีฮันนีดิว (Colored TMA Honeydew, Ormco) ลวดเบต้าไทเทเนียมทรี (Beta III Titanium Archwire, 3M Unitek) และลวดเบต้าไทเทเนียมทรีปลอดนิกเกิล (Nickel-Free Titanium Beta III Archwire, Mase) และเบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับฟันเขี้ยวชนิดมาตรฐานขนาด 0.018 นิ้ว x 0.025 นิ้ว ที่มีมุมต่าง ๆ เป็น 0 องศา (Stainless Steel Bracket, Mini Dyna-lock, 3M Unitek)

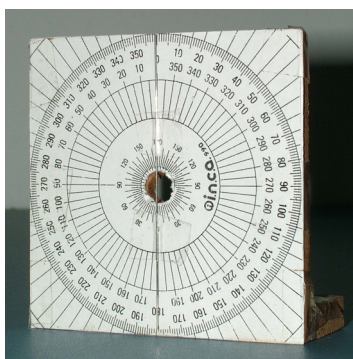
การทดลองนี้ได้แบ่งลวดและเบร็กเกตเป็น 8 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ชิ้น เท่า ๆ กัน โดย 4 กลุ่มแรก ถูกนำมาทดสอบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของลวด 4 ชนิด เมื่อมีมุมกระทำ 0 องศา และอีก 4 กลุ่มที่เหลือถูกนำมาทดสอบที่มุมวิกฤตหรือที่มุม 1 องศา โดยมุมวิกฤตนี้หมายถึง มุมที่ลวดกระทำกับเบร็กเกตและเกิดการยึดติดระหว่างลวดและเบร็กเกตที่มุมทแยง โดยค่ามุมวิกฤตหาได้จากความสัมพันธ์ของขนาดลวดในแนวดิ่ง ขนาดร่องเบร็กเกตในแนวดิ่ง และความกว้างของเบร็กเกตในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง¹⁷ (ดูจากดัชนี) โดยการทดลองทั้งหมดกระทำที่อุณหภูมิห้องในสภาวะแห้ง ลวดและเบร็กเกตจะถูกเปลี่ยนใหม่ทุกครั้งเพื่อป้องกันการสึกของวัสดุ วิธีการทดลองเริ่มจากนำเครื่องมือยึดลวดวางบนฐานของเครื่องทดสอบลloyd uniwersal (Lloyd Universal Testing Machine, Model LR10K) โดยมีอุปกรณ์ที่กำหนดฐานของเครื่องมือยึดลวดให้ได้ตำแหน่งเดิมทุกครั้ง หลังจากนั้นนำเบร็กเกตที่ยึดติดกับแท่งอะคริลิกแล้วต่อเข้ากับส่วนครอสเฮด (Crosshead) และตั้งมุมเบร็กเกตด้วยเครื่องมือตั้งมุมซึ่งทำจากแผ่นวงกลม 360 องศา จากนั้นยึดลวดและเบร็กเกตด้วยยางโพลียูรีเทน (รูปที่ 1-4) เมื่อตั้งความสัมพันธ์ของเครื่องมือเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มหาปริมาณแรงเสียดทานสถิตจากเครื่องทดสอบลloyd uniwersal โดยใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 100 นิวตัน และตั้งความเร็วของครอสเฮดที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 5 นาที ผลจะแสดงผ่านคอมพิวเตอร์เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระ-



รูปที่ 1 เครื่องมือสำหรับยึดแบร็กเกตให้ได้ตำแหน่งกึ่งกลางแท่งอะคริลิกเท่ากันทุกครั้ง
Fig. 1 An instrument for fixing a bracket at the center of acrylic pedestal



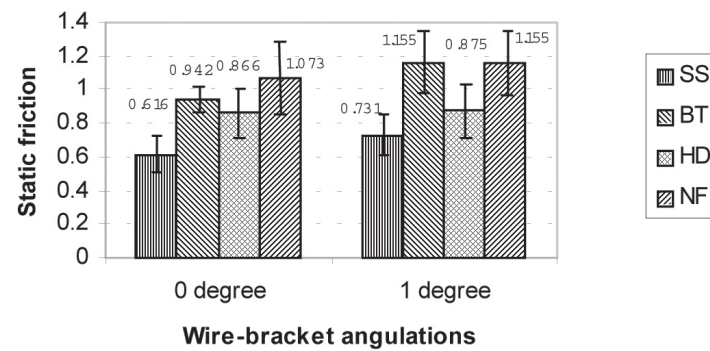
รูปที่ 2 แท่งอะคริลิกที่ติดแบร็กเกตแล้ว
Fig. 2 An acrylic pedestal with a bracket



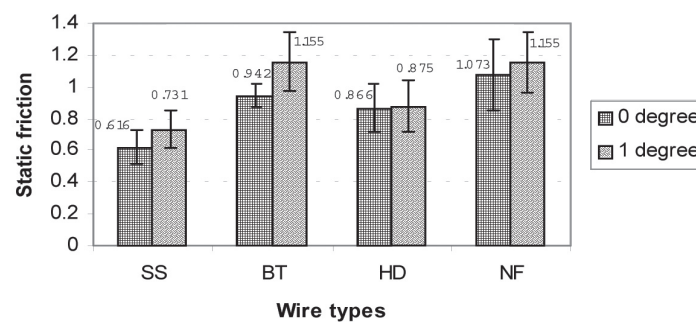
รูปที่ 3 เครื่องมือสำหรับปรับแบร็กเกตให้ได้มุมกระทำเป็นศูนย์และหนึ่งองศา
Fig. 3 An angle adjustment instrument



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของเครื่องมือก่อนเริ่มการทดลอง
Fig. 4 The relationship of instruments before the experiment



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดเบต้าไทเทเนียมทรีลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดิว และลวดเบต้าไทเทเนียมทรีปลดอดนิกเกิล ที่มุมกระทำ 0 และ 1 องศา
Fig. 5 Mean of static frictional force of stainless steel, Beta III Titanium, Colored TMA Honeydew, and Nickel-Free Titanium Beta III wires at second-order angulations of 0 and 1 degrees



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตที่มุมกระทำ 0 และ 1 องศาในลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดเบต้าไทเทเนียมทรีลวดที่เอ็มเอสี่ฮันนีดิว และลวดเบต้าไทเทเนียมทรีปลดอดนิกเกิล
Fig. 6 Mean of static frictional force at second-order angulations of 0 and 1 degrees in Stainless Steel, Beta III Titanium, Colored TMA Honeydew, and Nickel-Free Titanium Beta III wires

หว่างแรงและระยะทางที่แบร็กเกตเคลื่อนผ่านลวด ซึ่งแรงเสียดทานสถิตินี้หาได้จากจุดสูงสุดของกราฟจุดแรกก่อนที่จะมีการลดลงหรือคงที่ โดยวัดเป็นหน่วยนิวตัน

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำทั้ง 3 ชนิด รวมทั้งลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเมื่อมีมุมกระทำที่ 0 และ 1 องศา กระทำโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทิศทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตเมื่อมีมุมกระทำที่ 0 และ 1 องศา ในลวดชนิดเดียวกันโดยใช้การทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระกัน (Independent-Sample T Test) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยโปรแกรมสำเร็จรูปเอสพีเอสเอส (SPSS 11.5 for Windows)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 5 และ 6

จากผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดทั้ง 4 ชนิดเมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตเป็น 0 องศา และ 1 องศา มีค่าเรียงลำดับจากน้อยไปมาก คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดที่เอ็มเอสเอ็นนีดีว ลวดเบต้าไทเทเนียมทรี และลวดเบต้าไทเทเนียมทรีปลดตริกเกิล ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5

เมื่อศึกษาถึงขนาดแรงเสียดทานสถิตเมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตเป็น 0 องศา และ 1 องศา ของลวดชนิด

ต่าง ๆ พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตเพิ่มขึ้นเมื่อมุมกระทำเพิ่มขึ้นเป็น 1 องศา ในลวดทุกชนิด ดังแสดงในรูปที่ 6

ผลทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตของลวดทั้ง 4 ชนิด ที่มีมุมกระทำเดียวกัน โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวที่ระดับนัยสำคัญ .05 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าที่มุม 0 องศา ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าแรงเสียดทานสถิตน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าแรงเสียดทานสถิตของลวดเบต้าไทเทเนียมอีก 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่มุม 1 องศา ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดที่เอ็มเอสเอ็นนีดีวมีค่าแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดเบต้าไทเทเนียมทรี และเบต้าไทเทเนียมทรีปลดตริกเกิลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดที่เอ็มเอสเอ็นนีดีวมีค่าแรงเสียดทานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าแรงเสียดทานสถิตของลวดเบต้าไทเทเนียมทรีปลดตริกเกิลก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

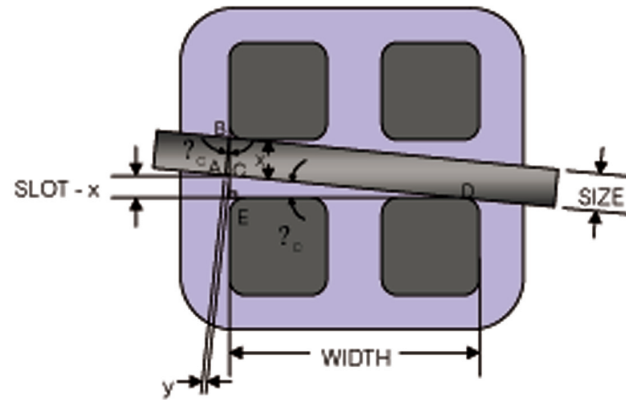
ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิต เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตต่างกัน ในลวดชนิดเดียวกัน โดยใช้การทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระกัน ที่ระดับนัยสำคัญ .05 พบว่าลวดทุกชนิดมีค่าแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อมีมุมกระทำเพิ่มขึ้น แต่พบค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีมุมกระทำเพิ่มเป็น 1 องศา เฉพาะลวดเหล็กกล้าไร้สนิม และลวดเบต้าไทเทเนียมทรี

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมและลวดทั้ง 4 ชนิด เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตเป็น 0 และ 1 องศา

Table 1 Mean of static frictional force and standard deviation (S.D.) of 4 wire-bracket couples at wire-bracket angulations of 0 and 1 degrees

Wire types \ Angle	0 degree		1 degree	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Stainless steel (SS)	0.616	0.105	0.731	0.118
Beta III Titanium (BT)	0.942	0.071	1.155	0.182
Colored TMA Honeydew (HD)	0.866	0.144	0.875	0.160
Nickel-Free Titanium Beta III (NF)	1.073	0.219	1.155	0.189

ดัชนี



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลวด ร่องแปรงเกิด ความกว้างของแปรงเกิดในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง และมุม θ_c
 Fig. 7 The relationship among wire size, bracket slot, bracket width, and θ_c

การหามุมวิกฤตสามารถหาได้จากสมการดังนี้ โดยดูจากรูปที่ 7

$$\tan\theta_c = \sin\theta_c / \cos\theta_c = (\text{ด้านตรงข้ามมุม } \theta_c) / (\text{ด้านที่ชิดมุม } \theta_c)$$

เมื่อพิจารณาที่สามเหลี่ยม EDC มุม θ_c คือ มุม EDC

$$\tan\theta_c = EC / ED = (\text{Slot} - x) / \text{Width} \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อพิจารณาที่สามเหลี่ยม ABC มุม θ_c คือ มุม ABC เนื่องจากเป็นสามเหลี่ยมคล้ายกับสามเหลี่ยม EDC

$$\cos\theta_c = \text{Size} / x$$

$$x = \text{Size} / \cos\theta_c \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อนำสมการที่ 2 มาแทนค่าในสมการที่ 1 จะได้

$$\tan\theta_c = [\text{Slot} - (\text{Size} / \cos\theta_c)] / \text{Width}$$

คูณด้วย $\cos\theta_c$ ตลอด จะได้

$$\sin\theta_c = [\text{Slot} (\cos\theta_c) - \text{Size}] / \text{Width}$$

$$\text{Size} = -\text{Width} (\sin\theta_c) + \text{Slot} (\cos\theta_c)$$

หารด้วย Slot ตลอด จะได้

$$\text{Size} / \text{Slot} = (-\text{Width} / \text{Slot}) \sin\theta_c + \cos\theta_c \quad \text{สมการที่ 3}$$

กรณีที่มุม θ_c น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 องศา $\sin\theta_c \approx \pi\theta_c / 180$ และ $\cos\theta_c \approx 1$ เมื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ 3 จะได้

$$\text{Size} / \text{Slot} = -(\text{Width} / \text{Slot})(\pi\theta_c / 180) + 1$$

คูณด้วย Slot / Width โดยตลอด จะได้

$$(\text{Slot} / \text{Width})(\text{Size} / \text{Slot}) = -\pi\theta_c / 180 + (\text{Slot} / \text{Width})$$

$$(\text{Slot} / \text{Width})(\text{Size} / \text{Slot}) - (\text{Slot} / \text{Width}) = -\pi\theta_c / 180$$

$$\theta_c = 180 / \pi [-(\text{Slot} / \text{width})(\text{Size} / \text{Slot}) + (\text{Slot} / \text{Width})]$$

$$\theta_c = (180 / \pi)(\text{Slot} / \text{width}) [-(\text{Size} / \text{Slot}) + 1]$$

$$\theta_c = \frac{180 / \pi [1 - (\text{Size} / \text{Slot})]}{(\text{Width} / \text{Slot})}$$

$$\theta_c = \frac{57.32 [1 - (\text{Size} / \text{Slot})]}{(\text{Width} / \text{Slot})}$$

เมื่อนำค่าจากการวัดขนาดลวดและแบร็กเกตมาแทนในสูตร จะได้

$$\theta_c = \frac{57.3(1-0.4064/0.4572)}{(2.55/0.4572)}$$

$$= 1.14$$

ดังนั้นได้ค่ามุมวิกฤตประมาณ 1 องศา

บทวิจารณ์

เมื่อมีการเคลื่อนฟันด้วยวิธีการเลื่อนไกลจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างลวดและแบร็กเกตขึ้น ซึ่งแรงเสียดทานนี้อาจทำให้เนื้อเยื่อที่รองรับฟันไม่ได้รับแรงในช่วงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟัน เนื่องจากแรงที่ให้กับฟันจะสูญเสียไปกับแรงเสียดทาน ส่วนแรงที่เหลือจึงส่งต่อไปยังเนื้อเยื่อที่รองรับฟันเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนฟัน แรงที่ให้กับฟันจึงต้องมีขนาดแรงที่เพียงพอในการเอาชนะแรงเสียดทาน และยังคงอยู่ในช่วงของแรงที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนฟันได้มากที่สุด^{1,6,18} ดังนั้นลวดที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก ทำให้การคาดคะเนขนาดแรงเสียดทานทำได้ยากจึงอาจส่งผลในกรณีที่มีเมื่อมีการให้แรงเพื่อชดเชยแรงเสียดทานแล้ว ปรากฏว่าแรงเสียดทานนั้นมีค่าน้อยกว่าที่คาดไว้ ทำให้แรงกระทำต่อฟันมากเกินไปและอาจไปพอดีกับแรงที่เหมาะสมของฟันที่เป็นหลักยึด ทำให้เกิดการสูญเสียหลักยึด และไม่สามารถที่จะลดการเหลื่อมของฟันในแนวราบ (overjet) ได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสบฟันและความสวยงาม โดยในการศึกษานี้พบว่าลวดเบต้าไทเทเนียมที่รีปอดนิกเกิลมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด จึงอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไกล

การวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดและแบร็กเกต และศึกษาในลวดขนาด 0.016 นิ้ว x 0.022 นิ้ว เนื่องจากเป็นขนาดลวดส่วนใหญ่ที่ใช้ในการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไกลในแบร็กเกตขนาด 0.018 นิ้ว x 0.025 นิ้ว และการเคลื่อนฟันที่เกิดขึ้นจริงทางคลินิกนั้นไม่ได้เป็นการเคลื่อนแบบต่อเนื่อง แต่จะเคลื่อนในลักษณะลំเลี้ยวและตั้งตรงเป็นช่วง ๆ ไป หมายถึงตัวฟันจะเคลื่อนที่แบบลំเลี้ยวไปก่อนจนกระทั่งเกิดมุมทแยงขึ้น

ระหว่างลวดและแบร็กเกต หลังจากนั้นจะเกิดแรงคู่ควบทำให้รากฟันตั้งตรง แล้วจึงเคลื่อนต่อไปด้วยวงจรี^{3,19-21} ดังนั้นการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไกลจึงขึ้นอยู่กับการเสียดทานสถิตมากกว่าแรงเสียดทานจลน์ และการที่เลือกศึกษาเฉพาะที่มุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตเป็น 0 และ 1 องศา เนื่องจากมุม 0 องศา เป็นมุมที่เกิดขึ้นหลังจากการที่ฟันมีการปรับระดับเรียบร้อยแล้ว และพร้อมที่จะทำการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไกล และมุม 1 องศา เป็นมุมวิกฤต²² ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อตัวฟันเริ่มเคลื่อนที่แบบลំเลี้ยวจนทำให้ลวดชนกับแบร็กเกตเป็นมุมทแยง ซึ่งการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนไกลจะเคลื่อนแบบลំเลี้ยวสลับกับตั้งตรงไปเรื่อย ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

จากผลการวิจัยที่ศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตของลวดเบต้าไทเทเนียมชนิดที่มีแรงเสียดทานต่ำทั้ง 3 ชนิด รวมทั้งลวดเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตเป็น 0 และ 1 องศา พบว่าที่มุม 0 องศา ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำทั้ง 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมา^{1-3,10,23-25} ที่พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมให้ค่าแรงเสียดทานน้อยที่สุด แต่ขัดแย้งกับผลการวิจัยของ Burstone และ Farzin-Nia¹⁴ ที่พบว่าลวดที่เอ็มเอสอีอันนี้ดิวมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานน้อยกว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งอาจเนื่องมาจากวิธีการทดลองที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้แผ่น 1 คู่ (Flats) แทนแบร็กเกต ความเร็วของครอสเฮด และการให้แรงกดแทนการมัดด้วยวงแหวนยาง ในการวิจัยครั้งนี้ได้ควบคุมตัวแปรที่อาจส่งผลกระทบต่อการศึกษา เช่น ขนาดลวด การมัดวงแหวนยาง

ขนาดแบร็กเกต มุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกต ตำแหน่งที่
ให้แรง เป็นต้น ดังนั้นค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตที่แตกต่างกัน
นี้น่าจะมาจากความหยาบพื้นผิวของลวดชนิดนั้น ๆ ซึ่งอธิบายโดย
การวิจัยของ Kusy และคณะ²⁶ ที่พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีพื้น
ผิวที่เรียบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลวดเบต้าไทเทเนียมที่ยังไม่มี
การปรับปรุงพื้นผิว อย่างไรก็ตาม ยังไม่เคยมีการศึกษาถึง
ลักษณะพื้นผิวของลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำทั้ง 3
ชนิดนี้ ที่มุม 1 องศาพบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมยังคงมีค่าเฉลี่ย
แรงเสียดทานสถิตที่น้อยที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับลวดที่เอ็มเอ
สียันนีดิว พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ
พบว่าลวดที่เอ็มเอสียันนีดิวยังมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตน้อยกว่าลวดเบต้าไทเทเนียมทรี และเบต้าไทเทเนียมทรีปลอดภัยเกิด
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย ซึ่งอาจเนื่องมาจากลวดที่เอ็มเอ
สียันนีดิวมีความแข็งผิว (surface hardness) มากกว่าลวดเบต้า
ไทเทเนียมอีก 2 ชนิด

จากผลการวิจัยที่ศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรง
เสียดทานสถิตเมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกตเป็น 0
และ 1 องศา ในลวดชนิดเดียวกัน พบว่าค่าเฉลี่ยแรงเสียดทาน
สถิตมีค่าเพิ่มขึ้นในลวดทุกชนิดเมื่อมุมกระทำระหว่างลวดและ
แบร็กเกตเพิ่มขึ้นจาก 0 องศา เป็น 1 องศา แต่ให้ผลที่แตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพียง 2 ชนิด คือ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม
และลวดเบต้าไทเทเนียมทรี ซึ่งแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีมุม
กระทำเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา^{4,21,27} เนื่อง
มาจากการบิดหมุนของแบร็กเกตทำให้เกิดการชนของลวดและ
แบร็กเกตเป็นมุมทแยง จึงทำให้แรงที่ลวดกดลงบนแบร็กเกตเพิ่ม
ขึ้น ทำให้มีค่าแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น

ถึงแม้ว่าการวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาถึงค่าเฉลี่ยแรงเสียดทาน
ของลวดเบต้าไทเทเนียมที่ยังไม่มีการปรับปรุงพื้นผิว แต่ได้มีการ
วิจัยมากมายที่ศึกษาถึงขนาดแรงเสียดทานของลวดเบต้าไทเท-
เนียมที่ยังไม่มีการปรับปรุงพื้นผิว โดยผลการวิจัยเหล่านี้ได้ค่า
เฉลี่ยของแรงเสียดทานอยู่ที่ 1.338 ถึง 6.16 นิวตัน^{2,18,21,28} เมื่อนำ
มาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยครั้งนี้พบว่ามีความมากกว่าค่าเฉลี่ย
ของลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำทั้ง 3 ชนิด ถึงแม้ว่า
การทดลองเหล่านี้ทำในสภาวะแห้งที่อุณหภูมิห้อง ลวดและ
ร่องแบร็กเกตมีขนาดเดียวกับในการวิจัยครั้งนี้ แต่วิธีการทดลอง
ในเรื่องความเร็วของครอสเฮด ขนาดความกว้างของแบร็ก-
เกต วิธีการมัดลวดเข้ากับฟัน และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
แตกต่างกัน จึงไม่อาจที่จะสรุปความแตกต่างของลวดทั้ง 2 ชนิด
นี้ได้ชัดเจน

จากผลการวิจัยสรุปว่า เมื่อมีมุมกระทำระหว่างลวดและ
แบร็กเกตเป็น 0 องศา พบว่าลวดเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าแรงเสียด-
ทานน้อยที่สุด แต่เมื่อมุมกระทำเพิ่มเป็น 1 องศา ซึ่งเปรียบเทียบ
พื้นเริ่มมีการเคลื่อนที่จนลวดชนกับแบร็กเกต พบว่า ลวดที่เอ็มเอ
สียันนีดิวมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำ-
คัญทางสถิติกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม และยังมีค่าน้อยกว่า
ลวดเบต้าไทเทเนียมอีก 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย
ดังนั้นเมื่อมีการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถลบนลวดเบต้าไทเทเนียม
ลวดที่เอ็มเอสียันนีดิวจึงน่าจะเป็นลวดที่เหมาะสมที่สุด

จากการศึกษาครั้งนี้ ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมยังคงมีค่าแรง
เสียดทานสถิตน้อยที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยครั้งถัดไปควรนำ
ลวดเบต้าไทเทเนียมที่มีแรงเสียดทานต่ำชนิดอื่นมาศึกษาเพิ่มเติม
ว่าจะมีชนิดใดหรือไม่ที่มีแรงเสียดทานต่ำใกล้เคียงกับลวดเหล็ก
กล้าไร้สนิม และเนื่องจากการทดลองนี้กระทำในห้องปฏิบัติการ
จึงไม่สามารถที่จะจำลองสภาพในช่องปากซึ่งมีหลายปัจจัยที่มี
อิทธิพลต่อแรงเสียดทานได้ เช่น น้ำลาย การเคี้ยว การกลืน
การกัด แรงจากกล้ามเนื้อ เป็นต้น ซึ่งในช่วงเวลาเหล่านี้อาจมีผล
ต่อขนาดแรงเสียดทานที่อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ดังนั้นการที่จะ
นำผลการวิจัยนี้ไปปรับใช้จริงในทางคลินิก จะต้องประเมินอย่าง
ระมัดระวัง

บทสรุป

ที่มุม 0 องศา ลวดเบต้าไทเทเนียมทั้ง 3 ชนิด มีแรงเสียด-
ทานสถิตที่ไม่แตกต่างกัน แต่ที่มุมวิกฤต 1 องศา ลวดที่เอ็มเอ
สียันนีดิวให้แรงเสียดทานสถิตที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับลวดเบต้า
ไทเทเนียมอีก 2 ชนิด ดังนั้นหากจำเป็นต้องเคลื่อนที่แบบเลื่อน
ไถลด้วยลวดเบต้าไทเทเนียม ลวดที่เอ็มเอสียันนีดิวน่าจะเป็นทาง
เลือกที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากแรงเสียดทานเป็นหลัก

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ไพฑูริย์
เดชะเลิศไพศาล และอาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ให้คำ-
ปรึกษาด้านสถิติที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ทันต-สยาม วิสาหกิจ จำกัด สำหรับ
แบร็กเกต และลวดเบต้าไทเทเนียมทรี และบริษัทแอคคอร์ดีคอร์-
ปอเรชั่น จำกัด สำหรับลวดเหล็กกล้าไร้สนิม ลวดที่เอ็มเอสียันนีดิว
และวงแหวนยาง

ขอขอบคุณ คุณอนุชาต ศรีจันบาล และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัย
ทันตวัสดุศาสตร์ที่ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการ
ใช้เครื่องทดสอบล้อยูนิเวอร์แซล

เอกสารอ้างอิง

- Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of conventional and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:403-9.
- Cash A, Curtis R, Garrigia-Majo D, McDonald F. A comparative study of the static and kinetic frictional resistance of titanium molybdenum alloy archwires in stainless steel brackets. *Eur J Orthod* 2004;26:105-11.
- Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. Frictional forces between bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:397-404.
- Frank CA, Nikolai RJ. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. *Am J Orthod* 1980;78:593-609.
- Loftus BP, Artun J, Nicholls JI, Alonzo TA, Stoner JA. Evaluation of friction during sliding tooth movement in various bracket-arch wire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:336-45.
- Nanda R, Ghosh J. Biomechanical considerations in sliding mechanics. In: Nanda R, editor. *Biomechanics in Clinical Orthodontics*. Philadelphia: WB Saunders; 1997. p. 188-217.
- Kapur R, Sinha PK, Nanda RS. Comparison of frictional resistance in titanium and stainless steel brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:271-4.
- Rossouw PE. Friction: An overview. *Semin Orthod* 2003;9(4):218-222.
- Braun S, Bluestein M, Moore BK, Benson G. Friction in perspective. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115:619-27.
- Ryan R, Walker G, Freeman K, Cisneros GJ. The effects of ion implantation on rate of tooth movement: an in vitro model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112:64-8.
- Burstone CJ, Goldberg AJ. Beta titanium: a new orthodontic alloy. *Am J Orthod* 1980;77:121-32.
- Brantley WA. Orthodontic wires. In: Eliades T, editor. *Orthodontic materials Scientific and Clinical Aspects*. New York: Thieme Stuttgart New York; 2001. p. 77-103.
- Kusy RP. A review of contemporary archwires: their properties and characteristics. *Angle Orthod* 1997;67:197-207.
- Burstone CJ, Farzin-Nia F. Production of low-friction and colored TMA by ion implantation. *J Clin Orthod* 1995;29:453-61.
- Masel. Online catalog: Nickel-Free Titanium Beta III.
- Unitek. Unitek Beta III Titanium Archwire Brochure.
- Kusy RP, Whitley JQ. Influence of archwire and bracket dimensions on sliding mechanics: derivations and determinations of the critical contact angles for binding. *Eur J Orthod* 1999;21:199-208.
- Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson MG Jr, Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112:138-44.
- Bednar JR, Gruendeman GW, Sandrik JL. A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:513-22.
- Edwards GD, Davies EH, Jones SP. The ex vivo effect of ligation technique on the static frictional resistance of stainless steel brackets and archwires. *Br J Orthod* 1995;22:145-53.
- Tselepis M, Brockhurst P, West VC. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:131-8.
- Kusy RP. Ongoing innovations in biomechanics and materials for the new millennium. *Angle Orthod* 2000;70:366-76.
- Vaughan JL, Duncanson MG Jr, Nanda RS, Currier GF. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:20-7.
- Tidy DC. Frictional forces in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:249-54.
- Krishnan V, Kumar KJ. Mechanical properties and surface characteristics of three archwire alloys. *Angle Orthod* 2004;74:825-31.
- Kusy RP, Whitley JQ, Mayhew MJ, Buckthal JE. Surface roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. *Angle Orthod* 1988;58:33-45.
- Articolo LC, Kusy RP. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115:39-51.
- Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG Jr, Nanda RS. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:117-26.

Original Article

A Comparison of the Static Frictional Force between Stainless Steel Bracket and Three Types of Low-Friction Beta Titanium Alloy Wires at Different Second-Order Angulations

Jinjutha Tantichaiboriboon

Postgraduate Student
Orthodontics department
Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

Vachara Phetcharakupt

Associate Professor
Orthodontics department
Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

Piyarat Apivatanagul

Associate Professor
Orthodontics department
Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

Correspondence to:

Jinjutha Tantichaiboriboon
Orthodontics department
Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University
Henry Dunant Road, Pathumwan, Bangkok 10330
Tel: 02-2188754, 02-2188930-1

Abstract

The purpose of this study was to assess the difference of static frictional force between stainless steel brackets and low-friction beta titanium alloy wires at different second-order angulations. Stainless steel brackets with 0.018 inch x 0.025 inch in slot (mini dyna-lock, 3M Unitek) were tested. Four types of orthodontic wire alloys with 0.016 inch x 0.022 inch in dimension used to this study included Stainless Steel Archwire (Ormco), Beta III Titanium Archwire (3M Unitek), Colored TMA® Honeydew (Ormco), and Nickel-Free Titanium Beta III Archwire (Masel). They were tested at second-order angulations of 0 degree and critical angle (1 degree). Static frictional force was evaluated using a Lloyd Universal Testing Machine. Each test was performed with a new bracket-wire sample. All experiments were carried out at a room temperature in the dry state. One-Way Analysis of Variance and multiple comparisons were used for testing the difference of static frictional force of wire types at the same second-order angulations. Independent-Sample t test was used for testing the difference of static frictional force of 2 second-order angulations in the same wire. The results showed that, at 0 degree, stainless steel wire had statistically significant lower static frictional force than the other 3 types of low-friction beta titanium alloy wires ($p < .05$). No significant differences were found among low-friction beta titanium alloy wires. At 1 degree, stainless steel wire and Colored TMA Honeydew wire showed lower static frictional force than Beta III Titanium and Nickel-Free Titanium Beta III wires with statistical significances ($p < .05$). No significant difference was found between Stainless Steel and Colored TMA Honeydew wires. The static frictional force was increased when the second-order angulations were increased to 1 degree. However, there were significant differences of static frictional force only in Stainless Steel wire and Beta III Titanium wire ($p < .05$).

At 0 degree, there were no statistical differences of static frictional force among three types of low-friction beta titanium wires. At 1 degree, however, Colored TMA Honeydew showed the lowest static frictional force when compared with the remained two types of low-friction beta titanium wires. Thus, when tooth movement with sliding mechanic on beta titanium wire is needed, Colored TMA Honeydew may be the optimal choice in such situation.

Key words: low-friction beta titanium alloy wire; static friction