

การเปรียบเทียบความต้านทานเสียดทานของวิธีการมัดทางทันตกรรมจัดฟันแบบต่าง ๆ ในสภาวะเปียก

Comparison of Frictional Resistance of Various Orthodontic Ligation Methods in Wet Conditions

จรรยา อภิสริยะกุล¹, วิกันดา เขมาลีลากุล¹, ณัฐวิทย์ พรหมมา², ณัฐดนัย พงศ์สุเสนีย์³, ต้นฝน ตามัง³, นรวิษณุ นันทศักดิ์³, ปณิชา ธนาสารพูนผล³, ปฤษฎางค์ ศักดิ์สิทธิ์³ และ ปวริศร์ จุลภักดิ์³

Janya Apisariyakul¹, Wikanda Khemaleelakul¹, Nattawit Promma², Nutdanai Pongsusenee³, Tonfon Damang³, Norrawit Nuntasak³, Panicha Thanasarnpoonpol³, Prasadang Saksit³ and Pawarit Chullapak³

¹ภาควิชาทันตกรรมจัดฟันและทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

¹Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Chiang Mai

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai

³คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

³Faculty of Dentistry, Chiang Mai University, Chiang Mai

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดของวิธีการมัดทางทันตกรรมจัดฟันแบบต่าง ๆ โดยมัดลวดเส้นหลักเหล็กกล้าไร้สนิมแบบเส้นตรงขนาด 0.019 × 0.025 นิ้ว กับแบร์กเกตโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาตรฐานของฟันตัดซี่กลางบนขวา ขนาดร่องแบร์กเกต 0.022 × 0.028 นิ้ว แบ่งตัวอย่างเป็น 6 กลุ่มตามวิธีการมัด (กลุ่มละ 10 ตัวอย่าง) ได้แก่ มัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิม (กลุ่ม 1) และอีก 5 กลุ่ม มัดด้วยยางมัดแบบต่าง ๆ ดังนี้ แบบธรรมดา (กลุ่ม 2), แบบคล้องปีก 1 คู่ (กลุ่ม 3), แบบคล้องปีก 2 คู่ (กลุ่ม 4), แบบทแยง (กลุ่ม 5) และแบบไขว้รูปเลขแปด (กลุ่ม 6) จากนั้นทดสอบหาความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดโดยใช้เครื่องทดสอบวัสดุอนุกรมประสงค์ดึงลวดเส้นหลักในแนวตั้ง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวและทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยวิธีต้นเนท ที่ 3 พบว่าความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดที่เกิดจากวิธีการมัดทางทันตกรรมจัดฟันแบบต่าง ๆ ส่วนใหญ่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) การมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุคน้อยที่สุด (37.12 ± 15.15 กรัม) และไม่แตกต่างกับการมัดด้วยยางมัดแบบทแยง (44.10 ± 7.50 กรัม) ในขณะที่การมัดด้วยยางมัดแบบไขว้รูปเลขแปดทำให้มีความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุคนามากที่สุด (226.64 ± 37.94 กรัม)

คำสำคัญ: วิธีการมัดทางทันตกรรมจัดฟัน, ความต้านทานเสียดทานสถิต, ยางมัด

Abstract

The aim of this study was to compare the maximum static frictional resistance of the various orthodontic ligation methods. The 0.019”x0.025” straight stainless steel main archwires were ligated on 0.022”x0.028” slot maxillary right central incisor standard stainless steel brackets. The samples were divided into six groups according

to ligation methods (10 samples per group): stainless steel ligation (Group 1); and five elastomeric ligations which were conventional ligation (Group 2); one pair of wing ligation (Group 3); two pairs of wing ligation (Group 4); cross-wing ligation (Group 5); and figure of eight ligation (Group 6). Then, all samples were tested using a Universal Testing Machine. The main archwires were pulled vertically and the maximum static frictional resistance was calculated. In order to compare the mean maximum static frictional resistance among the groups, One-Way ANOVA and Dunnett's T3 multiple comparison test were used. Most ligation methods had different maximum static frictional resistance ($p < 0.05$). The least mean maximum static frictional resistance was in the stainless steel ligation group (37.12 ± 15.15 g), and was not significantly different from that in the cross-wing elastomeric ligation group (44.10 ± 7.50 g). The greatest static frictional resistance was in the figure of eight elastomeric ligation group (226.64 ± 37.94 g).

Keyword : Orthodontic ligation method, Static frictional resistance, Elastomeric ligature

Received Date: Jul 5, 2017

Accepted Date: Oct 6, 2017

doi: 10.14456/jdat.2018.15

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

จรรยา อภิสรียะกุล ภาควิชาทันตกรรมจัดฟันและทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โทรศัพท์: 053-944464-5
อีเมล: japisari@yahoo.com

Correspondence to:

Janya Apisariyakul. Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

Tel: 053-944464-5 E-mail: japisari@yahoo.com

บทนำ

ความต้านทานเสียดทาน เป็นแรงที่มีทิศทางตรงข้ามและขนานกับการเคลื่อนที่เมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างสองพื้นผิว โดยขนาดของความต้านทานเสียดทานจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (frictional coefficient) ระหว่างสองพื้นผิวนั้น ๆ และผลรวมของแรงปกติ (normal force) ในทุกระนาบของผิวสัมผัส¹ ในทางทันตกรรมจัดฟันแบ่งความต้านทานเป็นความต้านทานเสียดทานสถิต (static frictional resistance) ที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มให้แรงจากกระยะที่ฟันหยุดนิ่งจนกระทั่งฟันเริ่มเคลื่อนที่ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงที่ให้ จนกระทั่งถึงค่าที่มากที่สุดก่อนที่ฟันจะเริ่มเคลื่อนที่เรียกว่าความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุด (maximum static frictional resistance) และความต้านทานเสียดทานจลน์ (dynamic or kinetic frictional resistance) เป็นแรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่ฟันเคลื่อนที่ไปตามแรงที่ให้^{2,3}

ความต้านทานเสียดทานส่งผลต่อการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน โดยในการใช้เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นเคลื่อน

ฟันจะเกิดการเคลื่อนของแบร็กเกต (bracket) ที่ติดอยู่บนผิวฟันไปตามแนวลวดเส้นหลัก (main archwire) หรือลวดเส้นหลักจะมีการเคลื่อนผ่านร่อง (slot) ของแบร็กเกตซึ่งจะต้องใช้การมัด (ligation) เพื่อยึดลวดเส้นหลักเข้ากับร่องแบร็กเกตโดยอาศัยตัวมัด (ligature) เมื่อเริ่มให้แรงเคลื่อนฟันจะเกิดความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ (resistance to sliding) 3 ลักษณะ ได้แก่ ความต้านทานเสียดทาน เกิดในช่วงแรกเมื่อลวดเส้นหลักสัมผัสกับผิวของร่องแบร็กเกต ต่อมาเมื่อลวดเส้นหลักเริ่มสัมผัสกับมุมของปีกแบร็กเกต (bracket wing corner) เกิดการสัมผัสติด (binding) และการเคลื่อนฟันจะหยุดเมื่อมีการเปลี่ยนรูปร่างของลวดเส้นหลักบริเวณมุมของปีกแบร็กเกตเรียกว่าการเกิดรอยหยัก (notching)³

ในทางปฏิบัติทันตแพทย์จะต้องพิจารณาค่าความต้านทานเสียดทานเป็นกรณี เช่น ในขั้นตอนการปรับระดับ (leveling and alignment phase) หรือการเคลื่อนฟันมาปิดช่องว่างในวิธีการเคลื่อนฟันแบบเลื่อนที่ (sliding) ที่เกิดจากการถอนฟัน ขึ้น

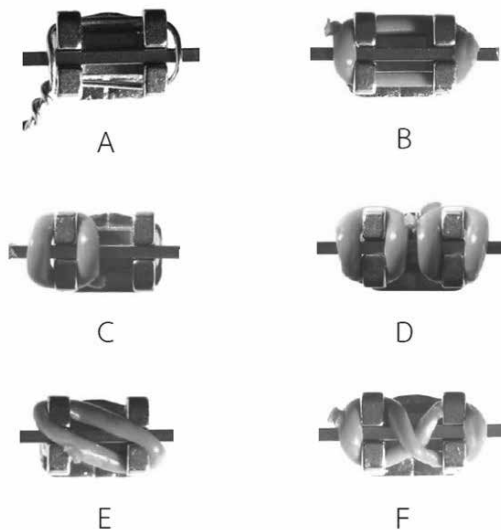
ตอนดังกล่าวควรมีความต้านทานเสียดทานน้อยเพื่อลดปริมาณแรงที่ใช้เคลื่อนฟัน เพราะหากมีความต้านทานเสียดทานมากเกินไปลดประสิทธิภาพของแรงที่ให้ จึงต้องใช้แรงให้มากกว่าความต้านทานเสียดทานเพื่อให้ฟันเคลื่อนไปได้ ซึ่งการใช้ปริมาณแรงมากเกินไปจะส่งผลเสียต่อรากฟันและอวัยวะปริทันต์⁴ อย่างไรก็ตามบริเวณที่ต้องการใช้เป็นหลักยึด (anchorage) ควรจะมีความต้านทานเสียดทานมากเพื่อช่วยต้านการเคลื่อนที่ของหลักยึด ส่วนการแก้ไขฟันบิดหมุนในช่วงแรกและการปรับทอร์ก (torque) ในขั้นสุดท้ายต้องการให้ลวดเส้นหลักแนบกับร่องแบร์กเกตมากที่สุดทำให้เกิดความต้านทานเสียดทานที่มากตามมา²

ความต้านทานเสียดทานขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ลวดเส้นหลัก^{5,6} แบร์กเกต^{6,7} สภาวะแวดล้อมในช่องปาก⁸ และการมัดลวดเส้นหลัก⁹ ซึ่งมีหลายการศึกษาที่ทดสอบความต้านทานเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการมัดที่แตกต่างกัน เช่น การใช้ยางมัดมัดแบบธรรมดา เกิดความต้านทานเสียดทานมากกว่าใช้ตัวมัดชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างมีนัยสำคัญ^{10,11} การใช้ยางมัดมัดแบบธรรมดา แบบทแยง และแบบไขว้รูปเลขแปด พบว่าความต้านทานเสียดทานที่เกิดขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้ยางมัดมัดแบบไขว้รูปเลขแปดมีความต้านทานเสียดทานมากกว่าการมัด

แบบธรรมดา^{4,12} และการมัดแบบทแยงตามลำดับ¹³ จึงเป็นที่น่าสนใจว่าการมัดในรูปแบบอื่น ๆ จะก่อให้เกิดความต้านทานเสียดทานแตกต่างกันหรือไม่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานเสียดทานสถิตที่เกิดจากวิธีการมัดทางทันตกรรมจัดฟันแบบต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกวิธีการมัดที่เหมาะสมกับการเคลื่อนฟันในขั้นตอนต่าง ๆ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาค่าความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดที่เกิดจากการมัดลวดเส้นหลักกับแบร์กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมโดยมีวิธีการมัดที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มที่ 1 มัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิม (รูปที่ 1A) กลุ่มที่ 2 มัดด้วยยางมัดมัดแบบธรรมดา (รูปที่ 1B) กลุ่มที่ 3 มัดด้วยยางมัดมัดแบบคอลลิงปีก 1 คู่ (รูปที่ 1C) กลุ่มที่ 4 มัดด้วยยางมัดมัดแบบคอลลิงปีก 2 คู่ (รูปที่ 1D) กลุ่มที่ 5 มัดด้วยยางมัดมัดแบบทแยง (รูปที่ 1E) กลุ่มที่ 6 มัดด้วยยางมัดมัดแบบไขว้รูปเลขแปด (รูปที่ 1F)



รูปที่ 1 การมัดลวดเส้นหลักด้วยวิธีการมัดแบบต่าง ๆ ของแต่ละกลุ่มการทดลอง

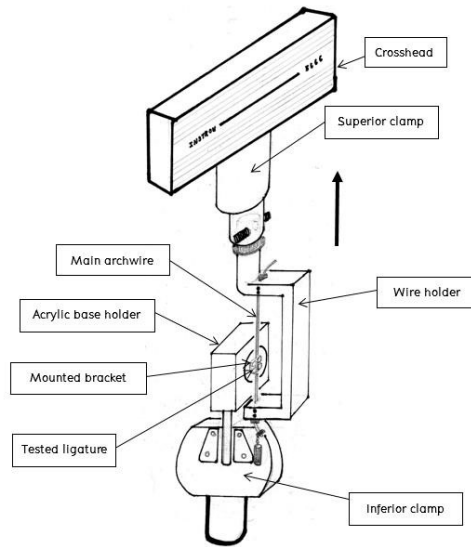
Figure 1 Various ligation methods on main arch wire for each experimental group.

- A: กลุ่มที่ 1 มัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิม (Group 1: Stainless steel ligation)
- B: กลุ่มที่ 2 มัดด้วยยางมัดมัดแบบธรรมดา (Group 2: Conventional elastomeric ligation)
- C: กลุ่มที่ 3 มัดด้วยยางมัดมัดแบบคอลลิงปีก 1 คู่ (Group 3: One pair of wing elastomeric ligation)
- D: กลุ่มที่ 4 มัดด้วยยางมัดมัดแบบคอลลิงปีก 2 คู่ (Group 4: Two pairs of wing elastomeric ligation)
- E: กลุ่มที่ 5 มัดด้วยยางมัดมัดแบบทแยง (Group 5: Cross-wing elastomeric ligation)
- F: กลุ่มที่ 6 มัดด้วยยางมัดมัดแบบไขว้รูปเลขแปด (Group 6: Figure of eight elastomeric ligation)

โดยในกลุ่มที่ 1 ใช้ลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมแบบสำเร็จรูป (Preformed Lig Ties Shorty, Ortho Technology, USA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัด 0.010 นิ้วและกลุ่มที่ 2-6 ใช้ยางมัดที่ทำจากวัสดุโพลีเอทิลีน (Quik-Stik, 3M Unitek, USA)

ทำการทดสอบความต้านทานเสียดทาน โดยใช้เครื่องทดสอบวัสดุอเนกประสงค์ (Universal testing machine) รุ่น Instron5566 (Instron Industrial Products, USA) โดยติดตั้งแท่นจับฐานอะคริลิกกับแขนจับส่วนล่าง (inferior clamp) และแท่นยึดลวดเส้นหลักกับแขนจับส่วนบน (superior clamp) (รูปที่ 2) ยึดลวดเส้นหลักเหล็กกล้าไร้สนิมแบบเส้นตรงหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.019x0.025 นิ้ว (Ormco, USA) กับแท่นยึดดังกล่าว นำฐานอะคริลิกซึ่งทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.75 นิ้ว เทภายในท่อด้วยปูนปลาสเตอร์ที่ชั้นล่างและอะคริลิกที่ชั้นบน ชัดผิวให้เรียบด้วยเครื่องขัดแล้วนำมาติดตั้งที่แท่นจับฐานอะคริลิก ใช้แบร็กเกตโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาตรฐาน (standard stainless steel bracket) ของฟันตัดซี่กลางบนขวา (Optimesh XRT, Ormco, USA) ขนาดร่องแบร็กเกต

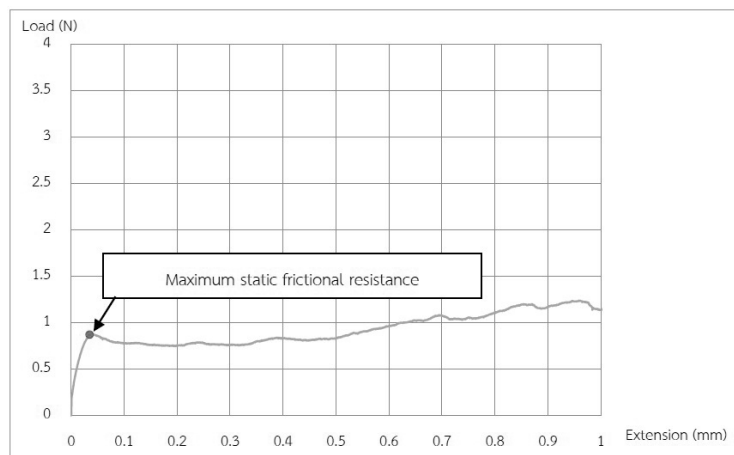
0.022x0.028 นิ้ว ทำการทา Transbond™ XT Light Cure Adhesive Paste (3M Unitek, USA) ที่ฐานแบร็กเกต และนำไปยึดติดกับฐานอะคริลิกที่ทา Transbond™ XT Light Cure Adhesive Primer (3M Unitek, USA) ไว้แล้ว จัดตำแหน่งแบร็กเกตให้ลวดเส้นหลักอยู่ในร่องแบร็กเกต แล้วฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง Light Emitting Diode (LED) ความเข้มแสง 1,250 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (Mini LED™, Acteon, France) เพื่อให้สารยึดติดแข็งตัว โดยเริ่มจากด้านบนซ้าย บนขวา ล่างขวา ล่างซ้าย ด้านละ 10 วินาทีตามลำดับ จากนั้นใช้ตัวมัดมัดลวดเส้นหลักตามวิธีการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ตรวจสอบชุดการทดสอบตามแบบจำลองการทดสอบ หยดน้ำลายเทียมที่บริเวณแบร็กเกตและตัวมัด โดยใช้หลอดหยดจำนวนสองหยดก่อนเริ่มการทดสอบ แล้วจึงเริ่มการทดสอบโดยใช้โหลดเซลล์ขนาด 50 นิวตันและตั้งค่าเครื่องทดสอบวัสดุอเนกประสงค์ให้แท่นยึดลวดเส้นหลักเคลื่อนที่ในแนวตั้งด้วยอัตราเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อนาทีเป็นระยะทาง 2 มิลลิเมตร ทำการทดสอบกลุ่มละ 10 ครั้ง โดยเปลี่ยนแบร็กเกต ตัวมัด และลวดเส้นหลักทุกครั้ง



รูปที่ 2 แบบจำลองการทดสอบความต้านทานเสียดทาน
Figure 2 Frictional resistance test model

ทำการอ่านค่าความต้านทานเสียดทานสถิติสูงสุด โดยการนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบวัสดุอเนกประสงค์ประมวลผลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2013 แปลงข้อมูลออกมา

เป็นแผนภูมิ ค่าความต้านทานเสียดทานสถิติสูงสุด คือ ค่าที่แผนภูมิแสดงจุดสูงสุด (peak) ในช่วงแรกของการทดลอง (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงการหาค่าแรงต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุด
Figure 3 Graph indicating a specific maximum static frictional resistance

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS statistic 17.0 ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุด และนำค่าที่ได้มาทดสอบการแจกแจงปกติโดยใช้สถิติทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk's test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับนัย

สำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่ามีความแตกต่างของค่าความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดระหว่างกลุ่มทดลองหรือไม่ แล้วจึงทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยภายหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Post-hoc tests) ใช้การทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparison tests) โดยวิธีต้นเนท ที่ 3 (Dunnett's T3) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อทดสอบว่ากลุ่มใดมีค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดแตกต่างกัน

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดของแต่ละกลุ่มทดลองเรียงลำดับจากน้อยไปมาก คือ มัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิม 37.12 ± 15.15 กรัม มัดด้วยยางมัดแบบทแยง 44.10 ± 7.50 กรัม มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 1 คู่

58.51 ± 13.01 กรัม มัดด้วยยางมัดแบบธรรมดา 92.01 ± 11.39 กรัม มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่ 118.48 ± 25.66 กรัม มัดด้วยยางมัดแบบไขว้รูปเลขแปด 226.64 ± 37.94 กรัม (ตารางที่ 1) (รูปที่ 4)

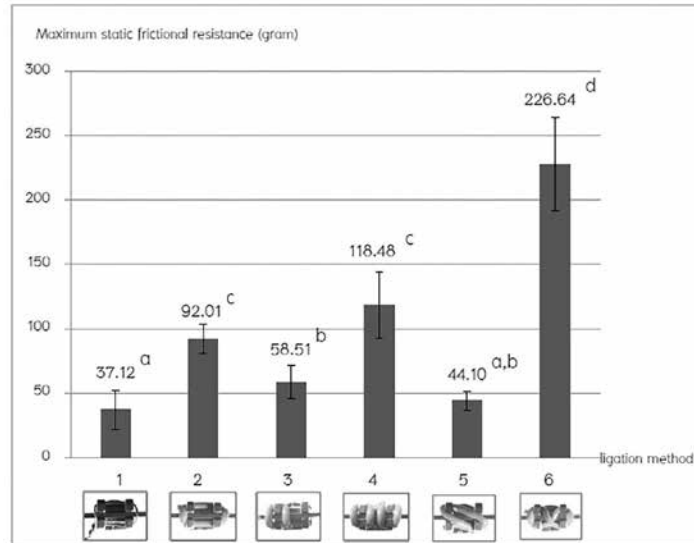
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและพิสัยความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดของกลุ่มทดลอง

Table 1 Means, standard deviations and ranges of maximum static frictional resistance of experimental groups.

Group	Ligation method	N	Maximum static frictional resistance (grams)			
			Mean	SD	Min	Max
1	Stainless steel ligation	10	37.12 ^a	15.15	14.29	61.30
2	Conventional elastomeric ligation	10	92.01 ^c	11.39	74.04	108.04
3	One-pair of wing elastomeric ligation	10	58.51 ^b	13.01	41.33	79.46
4	Two-pairs of wing elastomeric ligation	10	118.48 ^c	25.66	87.46	160.58
5	Cross-wing elastomeric ligation	10	44.10 ^{a,b}	7.50	35.00	57.92
6	Figure of eight elastomeric ligation	10	226.64 ^d	37.94	173.99	228.21

*ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ย: ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงถึงกลุ่มที่มีความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

*Superscript letters following mean values: the same letters indicate no significant difference in maximum static frictional resistance at p-value 0.05



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดที่เกิดจากการมัดลวดทางทันตกรรมจัดฟันแบบต่าง ๆ

- เมื่อ
1. คือการมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิม
 2. คือการมัดด้วยยางมัดแบบธรรมดา
 3. คือการมัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 1 คู่
 4. คือการมัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่
 5. คือการมัดด้วยยางมัดแบบทแยง
 6. คือการมัดด้วยยางมัดแบบไขว้รูปเลขแปด

* ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ย: ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงถึงกลุ่มที่มีความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Figure 4 Means and standard deviations of maximum static frictional resistance of orthodontic ligation methods

1. Stainless steel ligation
2. Conventional elastomeric ligation
3. One pair of wing elastomeric ligation
4. Two pairs of wing elastomeric ligation
5. Cross-wing elastomeric ligation
6. Figure of eight elastomeric ligation

*Superscript letters following mean values: the same letters indicate no significant difference in maximum static frictional resistance at p-value 0.05

จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดของกลุ่มทดลอง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่มีบางกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดไม่แตกต่างกัน ได้แก่ กลุ่มที่มัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมกับกลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบทแยง กลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบทแยงกับกลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 1 คู่ กลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบธรรมดา กับกลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่ (รูปที่ 4)

บทวิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้เลือกทดสอบความต้านทานเสียดทานสถิตสูงสุดเนื่องจากมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนฟันมากกว่าความต้านทานเสียดทานจลนดังที่ Burrow³ กล่าวว่าความต้านทานเสียดทานจลนมีความสัมพันธ์หรือมีผลต่อการเคลื่อนฟันบนแนวลวดเส้นหลักน้อยกว่าเพราะการเคลื่อนที่ของฟันบนแนวลวดเส้นหลักไม่ได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (continuous motion) สอดคล้องกับ

Guerrero และคณะ¹⁴ และ Pacheco และคณะ¹⁵ นอกจากนี้ Kahlon และคณะ¹ ได้แนะนำให้มีการประเมินความต้านทานเสียดทานสถิตก่อนการรักษาเพื่อป้องกันการสูญเสียหลักยึด

ในการศึกษาครั้งนี้ได้หยดน้ำลายเทียมก่อนทำการทดลอง เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของลวดผ่านร่องแบร็กเกตในสภาวะเปียกคล้ายกับสภาวะในช่องปาก ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปแน่ชัดเกี่ยวกับผลของน้ำลายเทียมที่มีต่อการทดสอบความต้านทานเสียดทาน^{13,14,16} โดย Kusy และคณะ¹⁶ พบว่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเสียดทานของกลุ่มทดลองที่ใช้ น้ำลายเทียมมีค่ามากกว่ากลุ่มทดลองในสภาวะแห้งและกลุ่มที่ใช้ น้ำลายจริง ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Suryawanshi และคณะ¹³ ที่พบว่าความต้านทานเสียดทานของกลุ่มทดลองที่ใช้ น้ำลายเทียมมีค่าน้อยกว่ากลุ่มทดลองที่อยู่ในสภาวะแห้ง

การมัดแบร็กเกตกับลวดเส้นหลักด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิม มีรูปแบบการมัดหลากหลายขึ้นอยู่กับผู้มัด พบว่าเมื่อควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้านทานเสียดทานอื่น ๆ ให้เหมือนกัน รูปแบบการมัดลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมที่ต่างกันอาจให้ความ

ด้านทานเสียตทานต่างกัน และมีความแปรปรวนได้ 2.7-3 เท่าในภาวะแห้ง¹⁷ ความต้านทานเสียตทานที่เกิดจากการมัดลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมจึงขึ้นอยู่กับผู้มัด¹⁸⁻²¹ ในการทดลองครั้งนี้ได้ควบคุมความแน่นของการมัดโดยจำลองการมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมแบบสำเร็จรูปใช้เข็มแพทวิจจับบริเวณเริ่มเกลียวของลวดมัดหมุนตามเข็มนาฬิกาจนเกลียวชนกับลวดเส้นหลัก พบว่าต้องหมุน 13 รอบจึงกำหนดให้ผู้มัดเป็นผู้ร่วมวิจัยคนเดียวในการมัดและใช้วิธีการมัดดังกล่าวสำหรับทุกชุดการทดลองในกลุ่มที่ใช้ลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิม

ความต้านทานเสียตทานทางทันตกรรมจัดฟันขึ้นกับหลายปัจจัย ในการศึกษาที่มุ่งศึกษาผลของวิธีการมัดลวดเส้นหลักที่มีต่อความต้านทานเสียตทาน จึงออกแบบการศึกษาให้ปัจจัยอื่นเป็นตัวแปรควบคุม ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานเสียตทานในการศึกษานี้คือชนิดของตัวมัดและวิธีการมัด

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของตัวมัด จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของความต้านทานเสียตทานสถิติสูงสุดในกลุ่มที่มัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นมีค่าน้อยกว่ากลุ่มอื่นที่มัดด้วยยางอย่างมีนัยสำคัญ (ยกเว้นกลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบทแยง) ซึ่งสอดคล้องกับ Vinay และคณะ¹¹ และ Gupta และคณะ¹² ที่พบว่าความต้านทานเสียตทานที่เกิดจากการมัดด้วยลวดมัดมีค่าน้อยกว่าการมัดด้วยยางมัด เนื่องจากการมัดด้วยตัวมัดที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานเสียตทานที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการมัดด้วยยางมัดแบบต่าง ๆ พบว่ามีความต้านทานเสียตทานที่แตกต่างกันซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gupta และคณะ¹², Venâncio และคณะ⁴ และ Suryawanshi และคณะ¹³ สาเหตุที่การมัดแต่ละแบบมีความต้านทานเสียตทานต่างกันแม้จะใช้ยางมัดชนิดเดียวกัน เนื่องจากการรัดตัวของยางมัดที่ต่างกัน ยางมัดที่ถูกยึดออก (load) มากกว่าจะทำให้เกิดพลังงานสะสมภายในยางมัดมากกว่า พลังงานสะสมที่มากขึ้นจะทำให้เกิดการรัดตัวของยางมัดมากขึ้น ดังนั้นยางมัดที่ยึดมากจึงเกิดการรัดตัวมากและการรัดตัวที่มากขึ้นนี้ทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสของยางที่สัมผัสกับลวดเส้นหลักที่มากขึ้นทำให้เกิดค่าความต้านทานเสียตทานที่มากขึ้นนอกจากนี้ยางมัดที่ถูกยึดออกไม่เท่ากันทำให้ลักษณะพื้นผิวของยางแตกต่างกัน ส่งผลให้สัมประสิทธิ์ความต้านทานเสียตทานแตกต่างกัน²²

เมื่อพิจารณาการมัดด้วยยางมัดแบบต่าง ๆ พบว่ากลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบทแยงแม้ยางมัดจะยึดมากกว่ากลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 1 คู่ แต่ค่าเฉลี่ยของความต้านทานเสียตทานทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเป็นเพราะลักษณะการวางตัวของแนวยางในการมัดแบบทแยงมียางมัดบางส่วนกด

กับส่วนบนของปีกแบร์กเกต ทำให้แรงจากการรัดตัวของยางบางส่วนกระจายไปยังปีกแบร์กเกตและกดบนลวดเส้นหลักน้อยลง ส่วนเหตุที่กลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบธรรมดา มีค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียตทานสถิติสูงสุดมากกว่ากลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 1 คู่ เนื่องจากยางมัดถูกยึดออกมากกว่า ทำให้เกิดการรัดตัวของยางมัดบนลวดเส้นหลักมากกว่า ส่วนกลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียตทานสถิติสูงสุดมากกว่ากลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 1 คู่ เป็น 2 เท่า ทั้งสองวิธีมีการยึดตัวของยางมัดใกล้เคียงกัน แต่กลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่ ลวดเส้นหลักจะถูกการรัดตัวของยาง 2 เส้นกดอยู่ทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับลวดเส้นหลักมากกว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียตทานสถิติสูงสุดที่เกิดในกลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบธรรมดา และกลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากกลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบธรรมดา มีการยึดออกของยางมัดมากกว่า ขณะที่กลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่ แม้จะมีการยึดออกของยางมัดน้อยกว่าแต่ใช้ยางมัด 2 เส้น ทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับลวดเส้นหลักมากกว่า ส่วนเหตุที่กลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบไขว้รูปเลขแปดมีค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียตทานสถิติสูงสุดมากที่สุด เนื่องจากมีการยึดของยางมัดมากที่สุด และมีปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับลวดเส้นหลักมาก ทำให้เกิดการรัดตัวของยางมัดบนลวดเส้นหลักมากกว่ากลุ่มอื่น

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง ทั้งปัจจัยด้านชีวภาพและปัจจัยด้านกลศาสตร์ ในส่วนของปัจจัยด้านชีวภาพการศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในห้องทดลองที่สามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้เหมือนกันในแต่ละกลุ่มทดลองเพื่อเปรียบเทียบเฉพาะผลของการมัดแบบต่าง ๆ ที่มีต่อความต้านทานเสียตทานสถิติสูงสุด แต่ในทางคลินิกแล้วยังมีปัจจัยด้านชีวภาพที่มีผลต่อความต้านทานเสียตทาน ได้แก่ น้ำลาย คราบจุลินทรีย์ การบิดเคี้ยวและการสบฟัน ความหนาแน่นของกระดูกกายวิภาคของฟัน พื้นผิวรากฟัน และระยะเวลาที่ยางมัดอยู่ในช่องปากก็มีผลต่อความต้านทานเสียตทาน²¹ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านกลศาสตร์ในทางกลศาสตร์วิธีการมัดเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความต้านทานเสียตทาน แต่ยังมีองค์ประกอบอื่นที่ทำให้เกิดความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ คือ การสัมผัสติดและการเกิดรอยหยักซึ่งมีผลต่อความต้านทานต่อการเคลื่อนที่มากกว่า^{23,24} ดังนั้นค่าความต้านทานเสียตทานสถิติสูงสุดที่วัดได้จากการศึกษานี้อาจแตกต่างจากที่เกิดขึ้นจริงในทางคลินิก การศึกษานี้จึงเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นที่จุดประเด็นเกี่ยวกับวิธีการมัดที่มีผลต่อ

การเคลื่อนฟัน และเป็นการศึกษานำร่องเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

การประยุกต์ใช้ในทางคลินิก

กรณีต้องการความต้านทานเสียดทานน้อย เช่น การปรับระดับฟันหรือการดัดฟันหน้าโดยให้ลวดเส้นหลักผ่านร่องแบร็กเกตของฟันหลัง อาจเลือกใช้การมัดด้วยยางมัดแบบทแยงหรือมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณฟันกรามน้อยและฟันเขี้ยว เนื่องจากผลการทดลองพบว่าความต้านทานเสียดทานสถิติสูงสุดที่เกิดจากการมัดสองแบบนี้มีค่าต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนในกรณีที่ต้องการความต้านทานเสียดทานมาก เช่น การสร้างหลักยึดทางทันตกรรมจัดฟันอาจเลือกใช้การมัดแบบไขว้รูปเลขแปด เนื่องจากผลการทดลองพบว่าให้ความต้านทานเสียดทานสถิติสูงสุดมากที่สุดจึงสามารถควบคุมตำแหน่งของลวดให้คงที่อยู่ในร่องแบร็กเกตได้ดีสอดคล้องกับ Suryawanshi³ และ คณะ และ Venâncio และคณะ⁴

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ตัวมัดและวิธีการมัดควรคำนึงถึงคุณสมบัติอื่น ๆ ประกอบ เช่นประสิทธิภาพในการควบคุมตำแหน่งฟัน ความสะดวกในการใช้งาน ความสามารถในการทำความสะอาดคราบจุลินทรีย์ของผู้ป่วย

บทสรุป

ค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียดทานสถิติสูงสุดเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้เป็น การมัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิม การมัดด้วยยางมัดแบบทแยง การมัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 1 คู่ การมัดด้วยยางมัดแบบธรรมดา การมัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่ และการมัดด้วยยางมัดแบบไขว้รูปเลขแปด ค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียดทานสถิติสูงสุดที่เกิดจากวิธีการมัดทางทันตกรรมจัดฟันแบบต่าง ๆ ส่วนใหญ่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นบางกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มัดด้วยลวดมัดเหล็กกล้าไร้สนิมกับมัดด้วยยางมัดแบบทแยง กลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบทแยงกับมัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 1 คู่ กลุ่มที่มัดด้วยยางมัดแบบธรรมดาและมัดด้วยยางมัดแบบคล้องปีก 2 คู่ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความต้านทานเสียดทานสถิติสูงสุดไม่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการสนับสนุนงบประมาณในการศึกษา

ครั้งนี้ ขอขอบคุณ ผศ.ทพญ.สุภัทสรสา ศิริบรรจงกราน อาจารย์ประจำภาควิชาทันตกรรมจัดฟันและทันตกรรมสำหรับเด็ก ที่เอื้อเฟื้อวัสดุที่ใช้ในการทดลอง คุณบุษยพรรณ อนุชน นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในการให้คำปรึกษาการใช้เครื่องทดสอบแรงเสียดทานและเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ ดร.ธนพัฒน์ ศาสตร์ระจุก นักวิจัยประจำฝ่ายงานบริการการศึกษาบริหารงานวิจัยและบริการวิชาการ คณะทันตแพทยศาสตร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องทดสอบวัสดุเอกประสงค์และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และทพญ.สรุชนี ไวยคณีนักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ เป็นอย่างสูงในการให้คำแนะนำและคำปรึกษาการออกแบบการทดลองรวมถึงเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. Kahlon S, Rinchuse D, Robison JM, Close JM. *In-vitro* evaluation of frictional resistance with 5 ligation methods and giannelly-type working wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138:67-71.
2. Smith DV, Rossouw PE, Watson P. Quantified simulation of canine retraction: Evaluation of frictional resistance. *Semin Orthod* 2003;9:262-80.
3. Burrow SJ. Friction and resistance to sliding in orthodontics: A critical review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:442-7.
4. Venâncio FR, Vedovello SAS, Tubel CAM, Degan VV, Lucato AS, Lealdim LN. Effect of elastomeric ligatures on frictional forces between the archwire and orthodontic bracket. *Braz J Oral Sci* 2013;12:41-5.
5. Angolkar PV, Kapila S, Duncanson Jr MG, Nanda RS. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:499-506.
6. Michelberger DJ, Eadie RL, Faulkner MG, Glover KE, Prasad NG, Major PW. The friction and wear patterns of orthodontic brackets and archwires in the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:662-74.
7. Tecco S, Festa F, Caputi S, Traini T, Di Iorio D, D'Attilio M. Friction of conventional and self-ligating brackets using a 10 bracket model. *Angle Orthod* 2005;75:1041-5.
8. Rossouw PE, Kamelchuk LS, Kusy RP. A fundamental review of variables associated with low velocity frictional dynamics. *Semin Orthod* 2003;9:223-35.
9. Jyothikiran H, Bansal S, Farhan A, Shivalinga BM. A comparison of frictional resistance between active and passive self-ligating brackets with conventional bracket systems. *World J Dent* 2011;2:302-8.
10. Khambay B, McHugh S, Millett D. Archwire seating forces

produced by different ligation methods and their effect on frictional resistance. *Eur J Orthod* 2005;27:302-8.

11. Vinay K, Venkatesh MJ, Nayak RS, Pasha A, Rajesh M, Kumar P. A comparative study to evaluate the effects of ligation methods on friction in sliding mechanics using 0.022" slot brackets in dry state: An in-vitro study. *J Int Oral Health* 2014;6:76-83.
12. Gupta A, Sable RB. The effect of various ligation methods on friction in sliding mechanics. *J Ind Orthod Soc* 2013;47:83-7.
13. Suryawanshi GR, Sundareswaran S, Philip K, Kumar S. *In vitro* evaluation of different methods of ligation on friction in sliding mechanics. *Orthodontics(Chic.)* 2013;14:e102-9
14. Guerrero AP, Guariza Filho O, Tanaka O, Camargo ES, Vieira S. Evaluation of frictional forces between ceramic brackets and archwires of different alloys compared with metal brackets. *Braz Oral Res* 2010;24:40-5.
15. Pacheco MR, Oliveira DD, Smith Neto P, Jansen WC. Evaluation of friction in self-ligating brackets subjected to sliding mechanics: An *in vitro* study. *Dental Press J Orthod* 2011;16:107-15.
16. Kusy RP, Whitley JQ. Influence of fluid media on the frictional coefficients in orthodontic sliding. *Semin Orthod* 2003;9:281-9.
17. Bazakidou E, Duncanson Jr MG, Nanda RS, Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112:138-44.

18. Smith DV. Frictional resistance evaluation of orthodontic brackets and archwires with sliding mechanics using quantified simulation of canine retraction. M.S. Thesis, University of Toronto. 2001.
19. Nair SV, Padmanabhan R, Janardhanam P. Evaluation of the effect of bracket and archwire composition on frictional forces in the buccal segments. *Indian J Dent Res* 2012;23:203-8.
20. Tecco S, Di Iorio D, Nucera R, Di Bisceglie B, Cordasco G, Festa F. Evaluation of the friction of self-ligating and conventional bracket systems. *Eur J Dent* 2011;5:310-7.
21. Nishio C, da Motta AFJ, Elias CN, Mucha JN. *In vitro* evaluation of frictional forces between archwires and ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:56-64.
22. Triana CA, Fajardo F. Dependence of some mechanical properties of elastic bands on the length and load time. *Eur J Phys* 2012;33:771-84.
23. Loftus BP, Årtun 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.
24. Kusy RP, Whitley JQ. Resistance to sliding of orthodontic appliances in the dry and wet states : Influence of archwire alloy, interbracket distance, and bracket engagement. *J Biomed Mater Res* 2000;52:797-811.