Chulalongkorn University Dental Journal

Volume 31 | Issue 2 Article 4

2008-05-01

The comparison of frictional force in two passive self-ligating brackets and a conventional bracket

Buntoon Chotiwannaporn

Porntip Chiewcharat

Niramol Chamnannidiadha

Follow this and additional works at: https://digital.car.chula.ac.th/cudj

Part of the Dentistry Commons

Recommended Citation

Chotiwannaporn, Buntoon; Chiewcharat, Porntip; and Chamnannidiadha, Niramol (2008) "The comparison of frictional force in two passive self-ligating brackets and a conventional bracket," *Chulalongkorn University Dental Journal*: Vol. 31: Iss. 2, Article 4.
DOI: 10.58837/CHULA.CUDJ.31.2.4
Available at: https://digital.car.chula.ac.th/cudj/vol31/iss2/4

This Original article is brought to you for free and open access by the Chulalongkorn Journal Online (CUJO) at Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Dental Journal by an authorized editor of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

ว ทันต จุฬาฯ 2551;31:159-68
CU Dent J. 2008;31:159-68

บทวิทยาการ
Original Article

การเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงสองชนิดและแบร็กเกตธรรมดา

บัณฑูร โชติวรรณพร ท.บ., วท.ม. (ทันตกรรมจัดฟัน)[1]
พรทิพย์ ชิวชรัตน์ ท.บ. (เกียรตินิยม), ท.ม. (ทันตกรรมจัดฟัน), อ.ท. (ทันตกรรมจัดฟัน)[2]
นิรมล ชำนาญนิธิอรรถ ท.บ. (เกียรตินิยม), Dr. med. dent. (ทันตกรรมจัดฟัน), อ.ท. (ทันตกรรมจัดฟัน)[2]

[1]นิสิตปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรง 2 ชนิด คือ ดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ที่มีการออกแบบการยึดจับลวดแบบบานสไลด์และสมาร์ทคลิปที่มีคลิป 2 ข้างเพื่อยึดจับลวด และแบร็กเกตธรรมดาเจมินี่ที่มัดด้วยวงอีลาสโทเมอร์

วัสดุและวิธีการ เป็นการทดลองในสภาวะแอคตีฟที่แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 30 ตัวอย่าง โดยใช้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว ที่มุมวิกฤต 3 องศา เคลื่อนผ่านร่องแบร็กเกตมาอ่านค่าแรงเสียดทานที่ได้จากเครื่องลอยด์ ยูนิเวอร์แซลเทสติ้ง แล้วทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทิศทางเดียวของค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบแบบพหุคูณของค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตใน 3 กลุ่มด้วยการวิเคราะห์แทมเฮนที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลการศึกษา แบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานที่น้อยที่สุด (0.203 ± 0.083 นิวตัน) รองลงมาเป็นสมาร์ทคลิป (0.297 ± 0.074 นิวตัน) และแบร็กเกตธรรมดามีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานที่มากที่สุด (1.865 ± 0.404 นิวตัน) จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานในทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

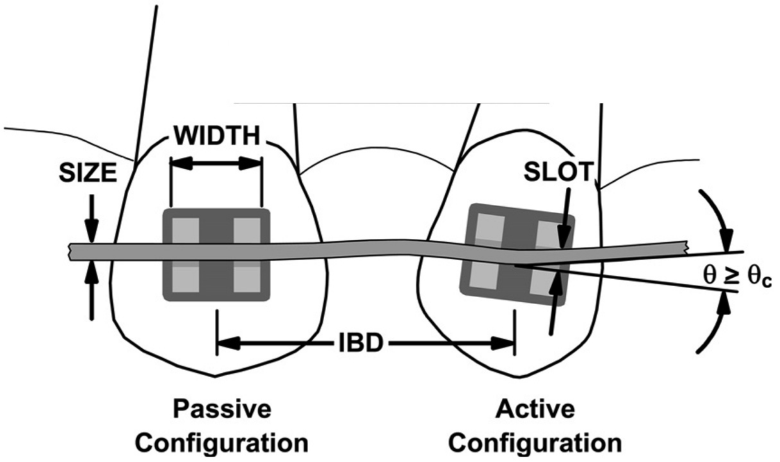
สรุป ในสภาวะแอคตีฟ แบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์และแบร็กเกตสมาร์ทคลิปมีแรงเสียดทานน้อยกว่าแบร็กเกตธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และระหว่างเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรง 2 ชนิด พบว่าแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ มีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบร็กเกตสมาร์ทคลิปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(ว ทันต จุฬาฯ 2551;31:159-69)

คำสำคัญ: *เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรง; แบร็กเกตธรรมดา; แรงเสียดทานสถิต; สภาวะแอคตีฟ*

บทนำ

การเคลื่อนฟันโดยใช้เครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่น จำเป็นต้องอาศัยการให้แรงผ่านไปยังแบร็กเกต (bracket) ที่ยึดติดบนผิวเคลือบฟันเพื่อดึงฟันให้เคลื่อนไปในตำแหน่งที่ต้องการ จึงมักพบบ่อยที่ฟันไม่สามารถเคลื่อนไปในตำแหน่งต่าง ๆ ได้ เนื่องมาจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนฟันไปบนลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน (arch wire) มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนฟัน ได้แก่ แบร็กเกต ลวด วิธีการและวัสดุที่ใช้ยึดลวดกับแบร็กเกต ตลอดจนสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เมื่อลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันที่ใส่อยู่ในร่องแบร็กเกตได้รับแรงกระทำผ่านไปยังแบร็กเกต แรงจะถ่ายทอดสู่ฟันแต่ละซี่ซึ่งแรงดังกล่าวนี้จะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของฟันทำให้เกิดโมเมนต์ของแรง (moment of force) มีผลทำให้ฟันมีการล้มเอียง (tipping) จนกระทั่งมุมของร่องแบร็กเกตสัมผัสกับลวดในเวลาเดียวกันถึง 2 ตำแหน่ง ในขณะที่อีกระนาบหนึ่งฟันจะมีการหมุน (rotation) เล็กน้อยจนกระทั่งลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันสัมผัสกับฐานของร่องแบร็กเกตและฝาปิดทางด้านหน้าของแบร็กเกตหรือลวดผูกมัด (ligature wire) มุมที่ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเริ่มมีการสัมผัสกันกับแบร็กเกตนี้เรียกว่ามุมวิกฤต (critical angle) และสภาวะที่ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันและร่องแบร็กเกตสัมผัสกันในลักษณะที่มีมุมวิกฤตเกิดขึ้นเรียกว่าสภาวะแอกตีฟ (active configuration) (รูปที่ 1) การเคลื่อนที่ของฟันจะเกิดขึ้นทันทีที่มีแรงกระทำที่แบร็กเกตและเกิดก่อนที่จะมีการเลื่อนไถลของฟันเนื่องจากฟันอยู่ในกระดูกเบ้าฟันที่ยึดอยู่ด้วยเอ็นยึดปริทันต์ (periodontal ligament) ที่ยืดหยุ่นได้ เมื่อฟันเริ่มเลื่อนไถลไปบนลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน ถ้าลวดโค้งนี้มีความแข็งตึง (stiffness) เพียงพอจะไม่เกิดการผิดรูป (deform) ทำให้ฟันจะยังคงรักษาสภาพการล้มเอียงและหมุนเล็กน้อยในขณะที่มีการเลื่อนไถลอย่างต่อเนื่องไปบนลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน[1] โดยปกติเมื่อฟันได้รับแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟัน ฟันจะเคลื่อนเป็นระยะทางประมาณ 1 มิลลิเมตรต่อเดือนหรือ 0.23×10^{-4} มิลลิเมตรต่อนาที ดังนั้นจากการเคลื่อนที่ที่ช้ามากในลักษณะดังกล่าวทำให้ค่าแรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction) มีค่าใกล้เคียงหรือเหมือนกับค่าแรงเสียดทานสถิต (static friction)[2]



IBD	=	inter bracket distance
θ	=	angle
θ_c	=	critical angle

รูปที่ 1 แสดงสภาวะพาสสีฟและแอคตีฟในระหว่างที่มีกลไกการเลื่อนไถล

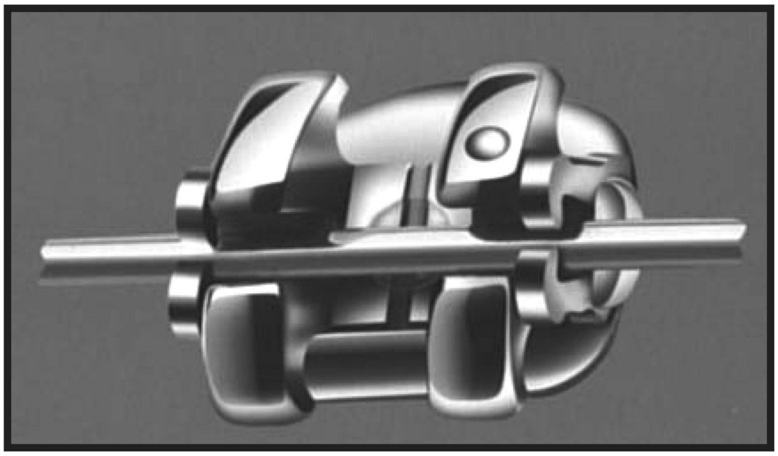
Fig. 1 demonstrates passive and active configuration in sliding mechanic.

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบร็กเกต ในรูปแบบใหม่เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ทันตแพทย์จัดฟัน โดยใช้กลไกชิ้นส่วนของแบร็กเกตเองที่สามารถเปิดและปิดร่องแบร็กเกตทางด้านหน้าของแบร็กเกตโดยไม่ต้องใช้การมัดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันให้อยู่ในร่องแบร็กเกตด้วยลวดผูกมัดหรือวงอีลาสโทเมอร์ ที่เรียกว่า เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต (self-ligating bracket)[3] ซึ่งกลไกของแบร็กเกตชนิดนี้แตกต่างกันไปในแบร็กเกตแต่ละแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตเซลฟ์-ไลเกตติ้งแบร็กเกต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามรูปแบบของแรงกระทำ (mode of action) ที่แบร็กเกตมีต่อเส้นลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน[4] ได้แก่

1. เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรง (passive) เป็นแบร็กเกตที่มีฝาปิด-เปิด หรือคลิปจับลวดทางด้านหน้าที่ไม่ได้ส่งแรงกดลงไปยังลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟัน เช่น แบร็กเกตในระบบดามอน (DAMON®, Ormco, U.S.A.) สมาร์ทคลิป (SmartClip®, 3M Unitek, U.S.A.)

2. เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบมีแรง (active) เป็นแบร็กเกตที่จะส่งแรงกดไปยังลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อให้อยู่ภายในร่องแบร็กเกต เช่น แบร็กเกตสปีด (SPEED, Strite Industries Limited, Canada)

เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตระบบสมาร์ทคลิป ได้รับการพัฒนารูปแบบต่อมาจากแบร็กเกตในเครื่องมือระบบ MBT Versatile+ โดยยึดหลักปรัชญาที่ว่า มีคุณประโยชน์ใช้สอยมาก (maximum versatility) เป็นแบร็กเกตปีกคู่ขนาดกลาง (mid-size twin bracket) มีการกำหนดการใช้งาน (bracket prescription) และให้แรงในขนาดที่เบา (use of light force) เป็นแบร็กเกตสมาร์ทคลิปที่ใช้กลไกจาก นิทินอลคลิป (nitinol clip) 2 ตัวที่อยู่บนแบร็กเกตทำหน้าที่ปิด-เปิดแบบยืดหยุ่นเพื่อรองรับเส้นลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันที่จะใส่เข้าในร่องแบร็กเกต โดยที่ไม่มีประตูบานเลื่อน (sliding door) หรือสลัก (latch) (รูปที่ 2) เพราะเชื่อว่าประตูบานเลื่อนหรือสลักนี้จะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การติดของประตูบานเลื่อนทำให้เปิดไม่ออก หรือการที่ประตูบานเลื่อนเปิดค้างอยู่ตลอดเวลา หรือการเกิดการสะสมของแผ่นคราบจุลินทรีย์บนประตูบานเลื่อนนี้อาจกล่าวได้ว่าแบร็กเกตสมาร์ทคลิปนี้เป็นเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตอย่างแท้จริง (true self-ligating bracket) เนื่องจากคลิปจะปิดตัวเองโดยอัตโนมัติในทันทีที่ใส่เส้นลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้าในร่องแบร็กเกต โดยที่ไม่ต้องปิดประตูบานเลื่อนในภายหลังเหมือนเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตชนิดอื่น นอกจากนี้จากการที่แบร็ก-เกตสมาร์ทคลิปเป็นแบร็กเกตแบบคู่อย่างแท้จริง (true twin design) แล้วยังทำให้ทันตแพทย์มีทางเลือกในการยึดเส้นลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันให้เข้ากับร่องแบร็กเกตเพียงครึ่งเดียวด้วยลวดผูกมัดหรือยางวงอีลาสโทเมอร์ที่ใช้ทั่วไปในกรณีที่ฟันมีการซ้อนเกอย่างมาก[5]



รูปที่ 2 แบร็กเกตสมาร์ทคลิปที่มีนิทินอลคลิป 2 ตัว

Fig. 2 The SmartClip® bracket with two nitinol clips

เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตระบบดามอน ได้ถูกคิดค้นและพัฒนาโดย Dr. Dwight Damon โดยชนิดแรก คือ ดามอนเอสแอลวัน (DAMON SL I) ในปี ค.ศ. 1996[6] ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 ได้พัฒนาต่อมาเป็น ดามอนเอสแอลทู (DAMON SL II) ที่ได้ใช้กันอย่างแพร่หลาย และในปี ค.ศ. 2004 ได้พัฒนามาเป็นดามอนทรี (DAMON 3) และล่าสุดเมื่อปี ค.ศ. 2005 เป็นแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ (DAMON 3MX) ซึ่งเป็นแบร็กเกตรุ่นล่าสุดในระบบของดามอน โดยจะมีลักษณะของประตูบานเลื่อน ซึ่งถือเป็นผนังด้านที่ 4 ของร่องแบร็กเกตที่สามารถบังคับให้ลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันอยู่ภายในร่องแบร็กเกต ทำให้ร่องแบร็กเกตมีลักษณะคล้ายท่อ (tube) (รูปที่ 3) ซึ่งจะทำให้เครื่องมือในระบบนี้เป็นเครื่องมือแบบไร้แรง (passive appliance)[7]

ประโยชน์ของการใช้เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตที่ผู้ผลิตนำมาอ้างเปรียบเทียบกับการใช้แบร็กเกตธรรมดา (conventional bracket) มีอยู่หลายข้อ แต่ที่ชัดเจนและเป็นคุณประโยชน์หลักของการเลือกใช้เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตก็คือ ความสะดวกสบายของทันตแพทย์ที่ไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการยึดลวดโค้งทางทันตกรรมจัดฟันเข้ากับร่องแบร็กเกตด้วยลวดผูกมัดหรือยางวงอีลาสโทเมอร์ แต่ในปัจจุบันมักมีการกล่าวถึงประโยชน์อีกลักษณะหนึ่ง คือ การที่เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบร็กเกตธรรมดา[8] ซึ่งประโยชน์ของลักษณะนี้ทำให้ทันตแพทย์จัดฟันสามารถใช้แรงในการเคลื่อนฟันอย่างเหมาะสม (optimal force) ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน (periapical tissue) และทำให้เกิดการเคลื่อนฟันที่มากที่สุด[9]

มีนักวิจัยหลายท่านศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตธรรมดาและเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกต โดยผลการศึกษาต่าง ๆ สอดคล้องไปในทางเดียวกันว่า เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบร็กเกตธรรมดา[1,10-15] และมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงและแบบมีแรงพบว่า เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงมีแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบบมีแรง[10,13,15] ในขณะที่ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาแรงเสียดทานระหว่างสมาร์ทคลิปและดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ที่เป็นแบบไร้แรงเหมือนกัน ซึ่งเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตทั้ง 2 ชนิดนี้ได้มีบริษัทนำเข้ามาจัดจำหน่ายและใช้ภายในประเทศไทยได้ระยะเวลาหนึ่งแล้ว ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรง 2 ชนิด คือ แบร็กเกตสมาร์ทคลิปและดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ ขณะที่มีการเคลื่อนแบบเลื่อนไถลในลักษณะล้มเอียงภายใต้มุมวิกฤตโดยทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อนำผลที่ได้มาช่วยให้ทันตแพทย์จัดฟันสามารถเลือกใช้แบร็กเกตชนิดเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นในผู้ป่วยได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วัสดุและวิธีการ

กลุ่มตัวอย่าง

ในการศึกษาครั้งนี้กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรง 2 ชนิด และแบร็กเกตธรรมดา 1 ชนิด แต่ละชนิดมีจำนวน 30 ตัวอย่าง โดยลวดที่ใช้ทดสอบค่าแรงเสียดทานดังนี้

รูปที่ 3 แบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ที่มีประตูบานเลื่อน

Fig. 3 The Damon 3MX bracket with sliding door

1. เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงสำหรับฟันเขี้ยว ขนาด 0.022 นิ้ว x 0.028 นิ้ว คือ แบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ จำนวน 30 ตัวอย่าง

2. เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงสำหรับฟันเขี้ยว ขนาด 0.022 นิ้ว x 0.028 นิ้ว คือ แบร็กเกตสมาร์ทคลิป จำนวน 30 ตัวอย่าง

3. แบร็กเกตเหล็กกล้าไร้สนิมธรรมดาสำหรับฟันเขี้ยว ขนาด 0.022 นิ้ว x 0.028 นิ้ว คือ แบร็กเกตเจมินี่ จำนวน 30 ตัวอย่าง

4. ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว (Stainless steel, 3M Unitek, U.S.A.) จำนวน 90 เส้น

ทำการวัดความสูงของร่องแบร็กเกต ความกว้างในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของแบร็กเกตและความสูงลวดจำนวนชนิดละ 5 ตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) เพื่อคำนวณหาค่ามุมวิกฤตและกำหนดมุมกระทำระหว่างลวดและแบร็กเกต จากสมการดังนี้[16]

$$\text{มุมวิกฤต} = \frac{57.32\ (\text{CLEARANCE INDEX})}{(\text{BRACKET INDEX})}$$

CLEARANCE INDEX = 1-ENGAGEMENT INDEX

ENGAGEMENT INDEX = ขนาดลวดในแนวดิ่ง/ ขนาดร่องแบร็กเกตในแนวดิ่ง

BRACKET INDEX = ขนาดความกว้างแบร็กเกตในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง/ ขนาดร่องแบร็กเกตในแนวดิ่ง

จากการวัดขนาดของแบร็กเกต ร่องแบร็กเกตและความสูงของลวดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าความสูงเฉลี่ยของร่องแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์เท่ากับ 0.595 มิลลิเมตร ในขณะที่ความสูงเฉลี่ยของร่องแบร็กเกตสมาร์ทคลิปเท่ากับ 0.616 มิลลิเมตร สูงกว่าแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์อยู่ 0.021 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างในแนวใกล้กลางและไกลกลางพบว่า ความกว้างเฉลี่ยของแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์เท่ากับ 2.844 มิลลิเมตร ในขณะที่แบร็กเกตสมาร์ทคลิปมีความกว้างเท่ากับ 3.815 มิลลิเมตรกว้างกว่าแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์อยู่ 0.971 มิลลิเมตร ความสูงเฉลี่ยของลวดมีค่าเท่ากับ 0.478 มิลลิเมตรจากขนาดของแบร็กเกต ร่องแบร็กเกตและความสูงของลวดดังกล่าวเมื่อนำมาคำนวณหาค่ามุมวิกฤต พบว่าแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ แบร็กเกตสมาร์ทคลิปและแบร็กเกตเจมินี่ มีค่ามุมวิกฤต 2.362 2.002 และ 1.379 องศาตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ดังนั้นจึงกำหนดมุมกระทำในการทดลองครั้งนี้ที่ 3 องศาในทุก ๆ กลุ่มตัวอย่าง จากนั้นทำการสร้างตัวกำหนดตำแหน่งแบร็กเกตเพื่อให้ร่องแบร็กเกตในทุกกลุ่มตัวอย่างอยู่ในตำแหน่งและระนาบเดียวกัน จากนั้นนำไปทดสอบหาค่าแรงเสียดทานสถิตด้วยเครื่องลอยด์ยูนิเวอร์แซลเทสติ้ง (Lloyd universal testing machine) โดยกำหนดมุมกระทำระหว่างร่องแบร็กเกตกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.019 x 0.025 นิ้ว ที่ 3 องศา โดยแบร็กเกตเจมินี่ที่เป็นแบร็กเกตธรรมดาจะยึดลวดด้วยการใช้วงอีลาสโทเมอร์ อ่านค่าแรงเสียดทานสถิตที่ได้จากกราฟหน่วยเป็นนิวตันแล้วบันทึกผลจนครบทุกกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยความสูงร่องแบร็กเกต ความกว้างแบร็กเกต และค่ามุมวิกฤตในแบร็กเกตทั้ง 3 ชนิด

Table 1 Mean of height of bracket slot, width of bracket and critical angle of three bracket types

Bracket types	Height of bracket slot (mm.)	Width of bracket (mm.)	Critical angle (degree)
Damon 3MX	0.595	2.844	2.362
Smartclip	0.616	3.815	2.002
Gemini	0.560	3.400	1.379

ทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้อ่านค่าโดยเฉพาะจุดสูงสุดของเส้นกราฟที่ปรากฏจากเครื่องลอยด์ยูนอเวอร์แซลเทสติ้ง ภายหลังจากที่ทำการอ่านค่าและบันทึกผลในครั้งแรกแล้ว 1 เดือนถัดมา จึงทำการอ่านค่าอีกครั้งหนึ่งนำผลที่ได้จากการอ่านค่าในทั้งสองครั้งมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าที่อ่านได้ด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) และทดสอบความแตกต่างของค่าที่อ่านได้ด้วยสถิติที (paired T-test) และทดสอบด้วยสูตรของดาห์ลเบิร์ก (Dahlberg's formula) $\sqrt{(\Sigma d^2/2n)}$ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าแรงเสียดทานสถิตด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเอสพีเอสเอสสำหรับวินโดวส์เวอร์ชั่น 11.5 (SPSS for Windows, version 11.5) เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง และวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทิศทางเดียว (One way analysis of variance) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสถิติการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison test) ด้วยวิธีแทมเฮนทีทู (Tamhane's T2)

ผลการศึกษา

การทดสอบวัดความน่าเชื่อถือของผู้วัดจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพียร์สันและสถิติทีพบว่าการวัดค่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันและไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($r = 0.999$) ($P = 0.13$) และจากการทดสอบด้วยสูตรของดาห์ลเบิร์กที่ $n = 30$ พบว่าค่าที่คำนวณมาได้มีค่าเท่ากับ 0.02 นิวตัน ซึ่งมีขนาดที่ไม่มากกว่าค่าความผิดพลาดที่จะเกิดจากการอ่านค่าที่ได้จากเครื่องลอยด์ที่มีค่าเท่ากับ 0.02 นิวตัน[17] จากการทดสอบดังกล่าวทั้งหมดจึงสรุปว่าผู้วัดค่ามีความน่าเชื่อถือในการวัดค่า

จากการวัดค่าแรงเสียดทานสถิตของแต่ละกลุ่มสามารถคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ย (mean) ของขนาดแรงเสียดทานสถิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ค่าน้อยที่สุด (minimum) และค่ามากที่สุด (maximum) ของแรงเสียดทานสถิตใน 3 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ แบร็กเกตดามอนทรีเอ็ม-เอ็กซ์ สมาร์ทคลิป และเจมินี่ (ตารางที่ 2)

จากผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิตในแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์มีค่าน้อยที่สุด คือ 0.203 ± 0.083 นิวตัน ถัดมาเป็นสมาร์ทคลิป คือ 0.297 ± 0.074 นิวตัน และแบร็กเกตเจมินี่ที่เป็นกลุ่มควบคุมจะมีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานสถิตที่มากที่สุด คือ 1.865 ± 0.404 นิวตัน

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทิศทางเดียว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติแทมเฮนทีทู เพื่อ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงเสียดทานสถิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าน้อยที่สุด และค่ามากที่สุดของแบร็กเกต (นิวตัน) ในกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม

Table 2 Mean, standard deviation, minimum and maximum (newtons) of the static frictional resistance of three bracket types

Bracket types	Mean (N)	Standard Deviation (N)	Minimum (N)	Maximum (N)
Damon 3 MX (n = 30)	0.203	0.083	0.079	0.398
Smartclip (n = 30)	0.297	0.074	0.197	0.410
Gemini (n = 30)	1.865	0.404	1.060	2.864

พิจารณาค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตในแบร็กเกตคู่ใดที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3) พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกต ดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์และสมาร์ทคลิปมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลต่างของค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตทั้ง 2 ชนิดนี้อยู่ในช่วง 0.044 - 0.144 นิวตัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ และเจมินี่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลต่างของค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตทั้ง 2 ชนิดนี้อยู่ในช่วง 1.473-1.852 นิวตัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตสมาร์ทคลิปและเจมินี่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลต่างของค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตระหว่างแบร็กเกตทั้ง 2 ชนิดนี้อยู่ในช่วง 1.380-1.758 นิวตันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิจารณ์

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการทดลองหาค่าแรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถลระหว่างแบร็กเกตกับลวดเหล็กกล้าไร้สนิมภายใต้สภาวะแอกตีฟ ซึ่งได้มีการคำนวณหาค่ามุมวิกฤตที่มีในแบร็กเกตแต่ละชนิดแล้วทำการเพิ่มองศาขึ้นอีกเพื่อให้แน่ใจว่า แบร็กเกตทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองจะอยู่ภายใต้สภาวะแอกตีฟนี้ทั้งหมด จากการคำนวณค่ามุมวิกฤตในแบร็กเกตธรรมดา แบร็กเกตสมาร์ทคลิปและแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ได้ค่ามุมวิกฤตเป็น 1.379 2.002 และ 2.362 องศาตามลำดับ จึงได้กำหนดมุมที่ใช้ในทุกแบร็กเกตเท่ากับ 3 องศา ซึ่งมากกว่าค่าที่คำนวณได้เพื่อให้ใกล้เคียงค่ามุมวิกฤตที่เกิดขึ้นจริงและสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งพบว่าค่ามุมวิกฤตจากการคำนวณจะมีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤตที่เกิดขึ้นจริง[13] การเลือกใช้ค่าแรงเสียดทานสถิตในการศึกษาครั้งนี้เนื่องมาจากค่าของแรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้นในแบร็กเกตแต่ละชนิด เป็นจุดที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือในการวัดและอ่านค่า รวมทั้งการเคลื่อนฟันภายหลังได้รับแรงทางทันตกรรมจัดฟันที่เหมาะสมจะเกิดการเคลื่อนที่เป็นระยะทางที่น้อยมาก คือ 0.23×10^{-4} มิลลิเมตรต่อนาที ดังนั้นจากการเคลื่อนที่ที่ช้ามากในลักษณะดังกล่าวทำให้ค่าแรงเสียดทานจลน์มีความใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าแรงเสียดทานสถิต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา[18]

จากค่ามุมวิกฤตจะพบว่า แบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์จะมีค่ามุมวิกฤตประมาณ 2.362 องศา ในขณะที่แบร็กเกตสมาร์ทคลิปจะมีค่ามุมวิกฤตประมาณ 2.002 องศา แบร็กเกตที่มีมุมวิกฤตที่มากกว่าจะทำให้เกิดระยะปลอด (clearance) ในการล้มเอียงที่มากกว่า ทำให้เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ไปบนลวดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดที่น้อยกว่า จากการที่ขนาดของแบร็กเกตส่งผลถึงค่ามุมวิกฤตซึ่งจะมีผลต่อค่าแรงเสียดทานสถิตแบร็กเกตสมาร์ทคลิปจึงมีแนวโน้มที่น่าจะเกิดแรงเสียดทานที่มากกว่าเมื่อลวดล้มเอียงทำมุมในองศาเดียวกัน และจากผลการทดลองพบว่า แบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์มีค่าเฉลี่ยแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบร็กเกตสมาร์ทคลิป คือ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแรงเสียดทานสถิตด้วยสถิติแทมเฮนทีทู

Table 3 Analysis the mean of static friction using Tamhane's T2

TYPE	TYPE	Sig.	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Damon 3MX	Smartclip	.000	-0.144	-0.044
	Control	.000	-1.852	-1.473
Smartclip	Damon 3MX	.000	0.044	0.144
	Control	.000	-1.758	-1.380
Control	Damon 3MX	.000	1.473	1.852
	Smartclip	.000	1.380	1.758

0.203 และ 0.297 นิวตัน ตามลำดับ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการออกแบบระบบในการยึดจับลวดที่แตกต่างกัน กล่าวคือในแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ได้ใช้ระบบในการยึดจับลวดแบบที่เป็นฝาสไลด์ปิด-เปิดในลักษณะที่เป็นบานเลื่อน ในขณะที่แบร็กเกตสมาร์ทคลิปใช้ระบบในการยึดจับลวดแบบคลิปหนีบที่ด้านข้างทั้ง 2 ข้างของตัวแบร็กเกต ซึ่งเมื่อใส่ลวดลงไปในร่องแบร็กเกตสมาร์ทคลิป ลวดจะต้องถูกกดและเบียดให้คลิปที่ทำมาจากนิกเกิลไทเทเนียมนี้อ้าออกเพื่อรับลวดให้เข้าไปอยู่ภายในร่องแบร็กเกต ซึ่งถ้าลวดมีขนาดใหญ่ (0.019 x 0.025 นิ้ว) ที่ใช้ในการศึกษานี้พบว่า การกดให้ลวดผ่านคลิปเข้าไปภายในร่องแบร็กเกตนั้นต้องอาศัยแรงในการกดที่มากพอสมควร ทำให้ลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดรอยครูดขึ้นจากคลิปทั้งสองข้าง ทำให้เมื่อเคลื่อนลวดที่มีรอยครูดผ่านร่องแบร็กเกตอาจจะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นได้ ในขณะที่แบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ใช้ลักษณะของการเปิดปิดบานเลื่อนในการยึดจับลวด ทำให้ลวดไม่เกิดรอยเหมือนแบร็กเกตสมาร์ทคลิป จึงให้ผลแรงเสียดทานที่น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบแรงเสียดทานระหว่างแบร็กเกตธรรมดากับเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตพบว่า แบร็กเกตธรรมดามีแรงเสียดทานที่มากกว่าเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตเพราะแบร็กเกตธรรมดามีแรงกดที่ลวดจากการมัดด้วยวงอีลาสโทเมอร์เพื่อให้ลวดอยู่ภายในร่องแบร็กเกต ซึ่งต่างจากเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตทั้ง 2 ชนิดที่ไม่มีการมัดในลักษณะดังกล่าวทำให้แรงเสียดทานที่พบมีขนาดที่น้อยกว่า

มีการศึกษาในอดีตที่ทำการทดลองเปรียบเทียบแรงเสียดทานในการเคลื่อนที่ในลักษณะอื่นพบว่า การเคลื่อนที่แบบหมุนแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์มีแรงเสียดทานที่มากกว่าแบร็กเกตสมาร์ทคลิป ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างกันของการเคลื่อนที่แบบอินทรูชั่น (intrusion) และพบว่าแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์มีแรงเสียดทานที่มากกว่าแบร็กเกตสมาร์ทคลิปในลักษณะการเคลื่อนที่แบบทอร์ก (torque) ทั้งนี้เนื่องจากความสูงร่องแบร็กเกตและความกว้างแบร็กเกตที่แตกต่างกัน[18] และจากการทดลองในสภาวะพาสสีฟ (passive configuration) พบว่า แบร็กเกตทั้ง 2 ชนิดมีแรงเสียดทานที่ไม่แตกต่างกัน[19]

การศึกษาเรื่องแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะเคลื่อนฟันส่วนมากจะเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างลวดและแบร็กเกตรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งแต่ละบริษัทได้ผลิตรูปแบบของเซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแตกต่างกัน จึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานโดยเฉพาะในสภาวะแอกตีฟ เช่น ขนาดของแบร็กเกต รูปแบบการผลิตชิ้นส่วนของการยึดจับลวดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นข้อจำกัดในการเปรียบเทียบค่าแรงเสียดทานของแบร็กเกตแต่ละบริษัท จึงเสนอแนะให้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแรงเสียดทานในแบร็กเกตที่มีขนาดร่องแบร็กเกตที่เท่ากันในทุกส่วนและมีชิ้นส่วนของการยึดจับลวดที่คล้ายกัน อาจจะช่วยให้ทราบถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อแรงเสียดทานอย่างชัดเจนต่อไป

สรุป

ที่สภาวะแอกตีฟ เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตแบบไร้แรงมีค่าแรงเสียดทานที่น้อยกว่าแบร็กเกตธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่สภาวะแอคตีฟในแบร็กเกตทั้ง 3 ชนิด สามารถเรียงลำดับจากน้อยไปมากที่สุดได้ดังนี้ เซลฟ์ไลเกตติ้งแบร็กเกตดามอนทรีเอ็มเอ็กซ์ เซลฟ์-ไลเกตติ้งแบร็กเกตสมาร์ทคลิปและแบร็กเกตธรรมดา ซึ่งแบร็กเกตทั้ง 3 ชนิดนี้มีค่าแรงเสียดทานที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากฝ่ายวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบพระคุณอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ช่วยกรุณาแนะนำด้านสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัยบางส่วนจาก บริษัท ทันต-สยาม วิสาหกิจ จำกัด และ บริษัท แอคคอร์ด คอร์ปอเรชั่น จำกัด รวมทั้งความร่วมมือในการใช้เครื่องมือทดสอบต่าง ๆ จากเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณ รศ. ทพ. ดร. สุนทรา พันธ์มีเกียรติ ที่ได้สละเวลามาให้คำปรึกษาทางด้านสถิติ

เอกสารอ้างอิง

1. 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.
2. Braun S, Bluestein M, Moore BK, Benson G. Friction in perspective. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1999;115:619-27.
3. Harradine NW. Self-ligating brackets: where are we now? J Orthod. 2003;30:262-73.
4. Berger J. Self-ligation in the year 2000. J Clin Orthod. 2000;34:74-81.
5. The SmartClip Self-ligating appliance system: Technique guide. [Internet]. 2006 [cited 2008 Feb 22]. Available from: http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/orthodontics/Unitek/solutions/brackets/Smartclip.
6. Damon DH. The rationale, evolution and clinical application of the self-ligating bracket. Clin Orthod Res. 1998;1:52-61.
7. Graber TM. Orthodontics: current principles & techniques. 4th ed. St. Louis: Elsevier Mosby, 2005:753-852.
8. Harradine NW. Self-ligating brackets and treatment efficiency. Clin Orthod Res. 2001;4:220-7.
9. Nanda R. Biomechanics in clinical orthodontics. Philadelphia: WB Saunders Company,1997:188-217.
10. Sims AP, Waters NE, Birnie DJ, Pethybridge RJ. A comparison of the forces required to produce tooth movement in vitro using two self-ligating brackets and a pre-adjusted bracket employing two types of ligation. Eur J Orthod. 1993;15:377-85.
11. Read-Ward GE, Jones SP, Davies EH. A comparison of self-ligating and conventional orthodontic bracket systems. Br J Orthod. 1997;24: 309-17.
12. Sims AP, Waters NE, Birnie DJ. A comparison of the forces required to produce tooth movement ex vivo through three types of pre-adjusted brackets when subjected to determined tip or torque values. Br J Orthod. 1994;21:367-73.
13. Thorstenson GA, Kusy RP. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2002;121:472-82.
14. Thorstenson GA, Kusy RP. Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2001;120: 361-70.
15. Pizzoni L, Ravnholt G, Melsen B. Frictional forces related to self-ligating brackets. Eur J Orthod. 1998;20:283-91.
16. Kusy RP, Whitley JQ. Assessment of second-order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding. Angle Orthod. 1999;69:71-80.
17. LR Series & LS 100 Material Testing Machine user manual. [Internet]. 2008 [cited 2008 Feb 22]. Available from: http://www.wdturner.com/manu-als. html.
18. Yeh CL, Kusnoto B, Viana G, Evans CA, Drummond JL. *In-vitro* evaluation of frictional resistance between brackets with passive-ligation designs. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007;131:704e.11-22.
19. Franchi L, Baccetti T, Camporesi M, Barbato E. Forces released during sliding mechanics with passive self-ligating brackets or nonconventional elastomeric ligatures. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2008;133:87-90.

The comparison of frictional force in two passive self-ligating brackets and a conventional bracket

Buntoon Chotiwannaporn D.D.S., M.D.Sc. (Orthodontics)[1]
Porntip Chiewcharat D.D.S. (Hons), M.D.Sc. (Orthodontics), Diplomate, Thai Board of Orthodontics[2]
Niramol Chamnannidiadha D.D.S. (Hons), Dr.med.dent. (Orthodontics), Diplomate, Thai Board of Orthodontics[2]

[1]Graduate Student, Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University
[2]Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

---

Abstract

Objective The purpose of this study was to compare the frictional resistance of two types of passive self-ligating brackets and a conventional bracket. The two passive self-ligating brackets were Damon 3MX that kept the wire inside the slot by a sliding door and Smartclip that held the wire by two slipping clips while the conventional bracket (Gemini) kept the wire inside the slot by an elastomeric ring.

Materials and methods Three experimental groups were tested by using three different materials in active configuration. Each group consisted of 30 samples. At critical angle 3 degrees, static frictional resistance was evaluated by Lloyd universal testing machine while the 0.019 inch x 0.025 inch stainless steel wire was moved in the bracket slot. One-way analysis of variance and multiple comparisons with Tamhane's T2 were used to analyze the difference of the static frictional resistance among three groups at statistically significant level 0.05.

Results The findings revealed that Damon 3MX showed the lowest frictional resistance (0.203 ± 0.083 newton) followed by Smartclip (0.297 ± 0.074 newton) and Gemini (1.865 ± 0.404 newton), respectively. There were statistically significant differences of the frictional resistance among three groups at level 0.05.

Conclusion In the active configuration, Damon 3MX bracket and Smartclip bracket produced lower frictional force than the conventional bracket did. Between two self-ligating brackets, Damon 3MX demonstrated lower frictional force than that of Smartclip with statistical significance.

(CU Dent J. 2008;31:159-68)

Key words: *active configuration; conventional bracket; passive self-ligating bracket; static friction*