

COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN *BRACKETS* DE AUTOLIGADO Y *BRACKETS* CONVENCIONALES LIGADOS CON LIGADURA ELASTOMÉRICA CONVENCIONAL Y LIGADURAS DE BAJA FRICCIÓN

COMPARISON OF RESISTANCE TO SLIDING PRODUCED BY SELF-LIGATING BRACKETS AND CONVENTIONAL BRACKETS LIGATED WITH CONVENTIONAL ELASTOMERIC LIGATURE AND LOW-FRICTION LIGATURES

MILENY NIETO URIBE¹, JUDITH PATRICIA BARRERA CHAPARRO², ERNESTO JOSÉ GONZÁLEZ CÁCERES³,
IVÓN LILIAN PARRA MAZO³, ALEIDA CRISTINA RODRÍGUEZ QUIJADA³

RESUMEN. Introducción: es importante para el ortodoncista conocer la resistencia al deslizamiento (RD) generada por el método de ligado usado durante la fase de cierre de espacio con mecánica de deslizamiento. El objetivo es comparar in vitro la RD de un tipo de bracket de autoligado con un tipo de bracket convencional combinado con ligaduras elastoméricas de baja fricción y ligadura elastomérica convencional. **Métodos:** se utilizaron brackets de autoligado SmartClip (3M[®]) y brackets convencionales Gemini (3M[®]), dos tipos de ligadura elastomérica de baja fricción Slide (Leone[®]), Synergy (RMO[®]) y un tipo de ligadura elastomérica convencional Sani-Tie (GAC[®]). Los sistemas de ligación de los brackets fueron probados con alambre de acero inoxidable calibre 0,019 × 0,025". La resistencia al deslizamiento de la combinación bracket/alambre/ligadura fue medida con un modelo experimental de tres brackets cementados en una placa acrílica, montada en una máquina Instron. Cada combinación fue probada 9 veces consecutivas en estado seco. **Resultados:** los brackets Gemini (3M[®]) con ligadura convencional Sani-tie (GAC[®]), reportaron valores promedio de 67,3 g y los brackets Gemini (3M[®]) con ligadura de baja fricción siliconada Synergy (RMO[®]) de 84,6 g. Los brackets SmartClip (3M[®]) y Gemini (3M[®]) con ligadura elastomérica de baja fricción Slide (Leone[®]) tuvieron valores promedio similares de 5,0 y 5,4 g, respectivamente, sin diferencias significativas (p = 0,999). **Conclusiones:** las ligaduras elastoméricas de baja fricción Slide (Leone[®]), mostraron fuerzas de resistencia al deslizamiento similares a los brackets de autoligado Smartclip (3M[®]).

Palabras clave: fricción, ligadura elastomérica, brackets de autoligado.

Nieto M, Barrera JP, González EJ, Parra IL, Rodríguez AC. Comparación de la resistencia al deslizamiento en *brackets* de autoligado y *brackets* convencionales ligados con ligadura elastomérica convencional y ligaduras de baja fricción. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2012; 23(2): 192-206.

ABSTRACT. Introduction: It is important for the orthodontist to be familiar with the sliding resistance (SR) generated by the ligation method used during the space closure phase with sliding mechanics. The objective of this article is to make an in vitro comparison of the SR produced by a self-ligating bracket and a conventional bracket in combination with low-friction and conventional elastomeric ligatures. **Methods:** SmartClip (3M[®]) self-ligating brackets and Gemini (3M[®]) conventional brackets were used, as well as two types of low-friction elastomeric ligature: Slide (Leone[®]) and Synergy (RMO[®]), and one type of conventional elastomeric ligature: Sani-Tie (GAC[®]). The brackets ligation systems were tested with stainless steel wire of 0.019 × 0.025" caliber. Sliding resistance of the bracket-wire-ligature combination was measured with an experimental model of three brackets bonded in an acrylic plate mounted on an Instron machine. Each combination was tested nine consecutive times in dry state. **Results:** The Gemini (3M[®]) brackets with a conventional Sani-Tie (GAC[®]) ligature reported mean values of 67.3 g, while the Gemini (3M[®]) brackets with low-friction Synergy (RMO[®]) silicone ligature obtained mean values of 84.6 g. The SmartClip (3M[®]) and Gemini (3M[®]) brackets with low-friction Slide (Leone[®]) elastomeric

- 1 Odontóloga. Especialista en Ortodoncia, docente de Posgrado de Ortodoncia. Fundación Universitaria San Martín.
- 2 Odontóloga, especialista en Epidemiología. Docente de Investigación. Facultad de Posgrados de Odontología. Fundación Universitaria San Martín.
- 3 Ortodoncistas. Posgrado de Ortodoncia. Fundación Universitaria San Martín.

- 1 Dentist. Orthodontist Specialist. Professor at the Orthodontics Graduate Program, Fundación Universitaria San Martín.
- 2 Dentist. Epidemiology Specialist. Research Instructor. Dentistry Graduate School, Fundación Universitaria San Martín.
- 3 Orthodontists. Orthodontics Graduate Program, Fundación Universitaria San Martín.

RECIBIDO: MAYO 3/2011-ACEPTADO: NOVIEMBRE 22/2011

SUBMITTED: MAY 3/2011-ACCEPTED: NOVEMBER 22/2011

ligature had similar mean values of 5.0 and 5.4 g respectively, with no significant differences ($p = 0.999$). **Conclusions:** The Slide (Leone®) low-friction elastomeric ligatures showed sliding resistance forces similar to the SmartClip (3M®) self-ligating brackets.

Key words: friction, elastomeric ligature, self-ligating brackets.

Nieto M, Barrera JP, González EJ, Parra IL, Rodríguez AC. Comparison of resistance to sliding produced by self-ligating brackets and conventional brackets ligated with conventional elastomeric ligature and low-friction ligatures. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2012; 23(2): 192-206.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento ortodóncico con extracciones requiere una fase de cierre de espacios, dicha fase se puede realizar de dos maneras; haciendo la retracción inicialmente de los caninos y luego retraer los cuatro dientes anteriores o con la mecánica de retracción en masa, retrayendo los seis dientes anteriores en un único momento.¹ Usualmente el cierre en masa se realiza con mecánica de deslizamiento, en la cual el alambre se desliza por los *brackets* posteriores para guiar el movimiento dental, esto requiere el menor grado de fricción posible para permitir el cierre del espacio de manera efectiva.^{2,3} La fuerza tangencial que se produce entre dos cuerpos que se encuentran en contacto cuando uno de estos se resiste al movimiento sobre el otro se denomina fricción,⁴ por lo tanto, un término más preciso para la fricción en ortodoncia es la resistencia al deslizamiento (RD), que se conoce como la oposición al movimiento encontrado por el *bracket* a medida que trata de deslizarse a lo largo del alambre o viceversa.⁵ Por consiguiente, la fuerza que debe aplicarse sobre los dientes tiene que superar la resistencia al deslizamiento para lograr el movimiento ortodóncico deseado.⁶

La cantidad de fricción generada es proporcional a la fuerza con la que el *bracket* y el alambre se deben presionar simultáneamente y depende de factores como: el método de ligado,⁶⁻¹²⁻¹⁴ la composición del alambre,^{11, 15, 16} la deflexión del alambre,¹⁷ el calibre del arco,^{11, 15, 16} la distancia *interbracket*,¹⁸ el material del *slot* del *bracket*,¹⁹ la lubricación de la ligadura, entre otros.^{6, 10, 20-22}

En la práctica ortodóncica actual, el método de ligado de mayor uso son las ligaduras elastoméricas, porque facilitan la ligación del arco al *bracket*, resultando más cómodo para el paciente; sin embargo, producen mayor fricción que la ligadura metálica.^{6, 7, 23} En respuesta a este hecho, surgen nuevos materiales que favorecen la disminución de la RD, brindan mayor comodidad al paciente y reducen el tiempo de tratamiento y de consulta, tales como los *brackets* de autoligado y las ligaduras elastoméricas de baja fricción.^{11, 24, 25}

INTRODUCTION

The orthodontic treatment with extractions requires a space closure phase, which may be performed in two different ways: by retracting the canines initially and then the four anterior teeth, or by means of the “en masse” retraction technique, which means, retracting all the six anterior teeth at the same time.¹ The “en masse” space closure is usually made by means of sliding mechanics, consisting on sliding the archwire through the posterior brackets in order to direct the dental movement; it requires the lowest possible friction level to achieve effective space closure.^{2,3} The oblique force produced between two adjacent bodies when one of them opposes the movement of the other is called *friction*,⁴ a more precise term for friction in orthodontics is sliding resistance (SR), which is defined as the opposition the bracket finds as it tries to slide through the archwire or viceversa.⁵ Consequently, the force to be applied on the teeth has to be greater than the sliding resistance in order to achieve the desired orthodontic movement.⁶

The amount of friction produced is proportional to the strength with which the bracket and the wire must be simultaneously pressed and depends on factors such as: ligating method,⁶⁻¹²⁻¹⁴ wire composition,^{11, 15, 16} wire deflection,¹⁷ archwire caliber,^{11, 15, 16} interbracket distance,¹⁸ bracket slot material,¹⁹ ligature lubrication, and the like.^{6, 10, 20-22}

Current orthodontic practice makes extensive use of elastomeric ligatures because they facilitate the archwire-bracket union, resulting in more patient comfort; nevertheless, they produce more friction than metallic ligatures.^{6, 7, 23} As a consequence, new materials such as self-ligating brackets and low-friction elastomeric ligatures^{11, 24, 25} are being developed in order to reduce SR, provide the patient with more comfort, and reduce consultation and treatment time.

Los *brackets* de autoligado han ganado popularidad, debido a que su diseño se caracteriza por presentar un clip que sujeta el arco a *bracket* o una cubierta que actúa como una cuarta pared móvil que convierte la ranura en un tubo, lo que permite el paso del arco sobre el *slot* con menor resistencia al deslizamiento;¹³ sin embargo, los sistemas de autoligado tienen varias limitaciones, como son la dificultad para lograr la expresión completa de la prescripción del *bracket*, el manejo clínico en ocasiones es más problemático que con los soportes convencionales, debido a los frecuentes fracasos de los clips, los *brackets* son más voluminosos y más costosos, y la higiene oral es más difícil debido a la compleja geometría de los mismos.²⁴ Por tal motivo en la última década se han introducido al mercado las ligaduras elastoméricas de baja fricción, algunas de estas actúan como una cubierta pasiva sobre el *bracket* convencional, permitiendo el libre deslizamiento del alambre sobre el *slot*,¹¹ otras presentan en su composición, una adición de silicona con la finalidad de disminuir la RD,^{20, 21} por lo cual son altamente resistentes a la pigmentación, muy suaves y con un excelente estiramiento y recuperación. Adicionalmente, se debe considerar la relación existente entre la forma de colocación de la ligadura elastomérica y el diseño mismo del *bracket*.

Pocos estudios han evaluado la RD proporcionada por las nuevas ligaduras de baja fricción en comparación con los *brackets* de autoligado; el objetivo de este estudio fue comparar la RD de un tipo de *bracket* de autoligado con *brackets* convencionales combinados con ligaduras elastoméricas de baja fricción y ligadura convencional.

MÉTODOS

Se utilizó un modelo experimental que simulaba el segmento bucal posterior derecho del arco superior para determinar la RD producida por un tipo de *bracket* de autoligado y un tipo de *bracket* convencional ligado con tres mecanismos diferentes: una ligadura convencional y dos ligaduras de baja fricción.

El modelo consistió en una placa de acrílico rectangular (12 cm de largo x 4 de ancho x 5 mm de grosor), en la que se cementó un *bracket* del segundo premolar superior derecho, un tubo del primer molar superior derecho y un tubo del segundo molar superior derecho *slot* 0,022 x 0,028” de la casa comercial 3M® (Unitek Monrovia California, USA) a una distancia *interbracket*

Self-ligating brackets have become popular as their design includes a unique clip that attaches the archwire to the bracket, or a cover that works as a fourth mobile wall that turns the slot into a tube, allowing the archwire passing over the slot with less sliding resistance;¹³ nevertheless, self-ligating systems have several limitations, such as the difficulty to achieve full expression of the bracket's prescription; also, its clinical handling is often more complicated than conventional supports, due to frequent clip failure, brackets are larger and more expensive, and oral hygiene becomes more difficult due to the brackets complex geometry.²⁴ This is why during the last decade low-friction elastomeric ligatures have been introduced. Some of them act as a passive cover on the conventional bracket, allowing the free wire sliding on the slot,¹¹ and some other are provided with a silicone addition with the intention of reducing SR,^{20, 21} and therefore they are very soft and highly resistant to stains, and present excellent stretching and recovery properties. Additionally, attention must be paid to the relation between the way the elastomeric ligature is positioned and the design of the bracket itself.

Few studies have assessed the SR produced by the new low-friction ligatures in comparison to self-ligating brackets. The objective of this study was to compare the SR of a type of self-ligating bracket with that of conventional brackets combined with low-friction elastomeric ligatures and conventional ligature.

METHODS

An experimental model simulating the right buccal segment in the upper arch was used to determine the SR produced by a type of self-ligating bracket and a type of conventional bracket ligated with three different mechanisms: one conventional ligature and two low-friction ligatures.

The model consisted of a rectangular acrylic plate (12 cm long x 4 cm wide x 5 mm thick), in which a bracket was bonded to the upper right second bicuspid, as well as one tube of the right upper first molar 0.022 x 0.028” of the 3M® corporation (Unitek Monrovia California, USA), with an inter-bracket distance

de 8 mm entre cada uno, fueron cementados con resina fotocurable (Prime-Dent VLC Orthodontic, Chicago, USA), mediante la utilización de un dispositivo creado para la alineación de los aditamentos a evaluar, el cual elimina toda información activa que se pudiera expresar; este dispositivo fue tomado del estudio de Plaza (2010)²³ diseñado especialmente para este fin. Está compuesto por un cuerpo hecho en acero inoxidable y un segmento de alambre 0,021 x 0,025" también de acero inoxidable paralelo a la placa de acrílico, el cual fue insertado a través del *slot* de todos los aditamentos cementados en cada placa, con la finalidad de controlar la exactitud del cementado y expresar la prescripción de los *brackets*, permitiendo de esta manera en todos los grupos, que el deslizamiento del arco presentara la menor RD posible al momento de la medición (figuras 1, 2 y 3).

of 8 mm between them. They were bonded with self-curing resin (Prime-Dent VLC Orthodontic, Chicago, USA) using a device created for aligning the accessories to be evaluated, and eliminating all kind of active information that could be expressed. This device was adapted from the study by Plaza (2010),²³ especially designed for this purpose. It is made of a stainless steel body and a wire segment of 0.021 x 0.025" also made of stainless steel, parallel to the acrylic plate, which was inserted through the slots of all the bonded accessories in each plate in order to control bonding precision and to express the brackets prescription, thus allowing the archwire sliding in all the groups presenting the least possible SR at the time of measurement (figures 1, 2 and 3).



Figura 1. Dispositivo de alineación (vista lateral)

Figure 1. Alignment device (side view)



Figura 2. Dispositivo de alineación (vista frontal)

Figure 2. Alignment device (front view)

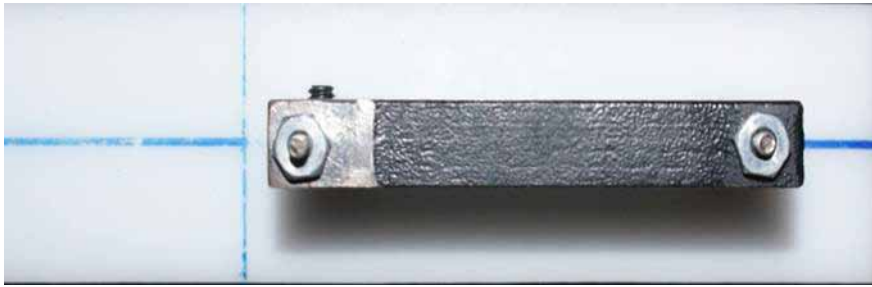


Figura 3. Dispositivo de alineación (vista superior)

Figure 3. Alignment device (upper view)

Se calculó una muestra probabilística de 9 modelos para cada combinación *bracket*-alambre-ligadura fueron en total 36 modelos de los cuales: 27 modelos correspondían a *brackets* convencionales Gemini (3M®), clasificados de la siguiente manera: 9 modelos ligados con ligadura elastomérica convencional Sani-Tie GAC®, 9 con ligadura elastomérica de baja fricción Slide® (Leone Orthodontic Products) y 9 con ligadura siliconada de baja fricción Synergy (RMO®). Los 9 modelos restantes correspondían a *brackets* de autoligado Smartclip (3M®).

Las placas acrílicas fueron marcadas al respaldo con un código para cada tipo de combinación *bracket*/ligadura, de manera que el evaluador de resultados desconociera el tipo de combinación medida: A1) Bracket Smartclip (3M®); B1) *bracket* Gemini (3M®) ligado con ligadura elastomérica (GAC®); B2) *bracket* Gemini (3M®), ligado con ligadura siliconada de baja fricción Synergy (RMO®); B3) *bracket* Gemini (3M®) con ligadura elastomérica de baja fricción Slide (Leone®). Cada combinación de *bracket*-ligadura fue medida con un alambre de calibre 0,019" x 0,025" de acero inoxidable.

La RD generada por cada modelo de prueba (alambre, *brackets* y ligaduras elastoméricas) fue obtenida utilizando una máquina de medición Instron 3344 (Instron Corp, cantón, Mass) modelo 2519-106 con capacidad de 2.000 N, con nivel de error de 0,1% y el dispositivo diseñado con base en el estudio de Plaza (2010)²³ elaborado en acero inoxidable, que fue pintado al horno para evitar imantación, a este dispositivo se le adaptaron los arcos sujetos con tornillos en la parte superior e inferior (figuras 4 y 5).

A probabilistic sample of 9 models for each *bracket*-wire-ligature combination was calculated, for a total of 36 models out of which: 27 corresponded to conventional Gemini (3M®), classified like this: 9 models were ligated with conventional Sani-Tie (GAC®) elastomeric ligature, 9 were ligated with low-friction Slide® (Leone Orthodontic Products) elastomeric ligature, and 9 with low friction Synergy (RMO®) silicon ligature. The 9 remaining models corresponded to self-ligating SmartClip (3M®) brackets.

The acrylic plates were marked on their backside with a code for each type of *bracket*/ligature combination, so that the evaluator would not know the kind of combination being assessed: A1) SmartClip (3M®) *bracket*; B1) Gemini (3M®) *bracket* ligated with elastomeric ligature (GAC®); B2) Gemini (3M®) *bracket* ligated with Synergy (RMO®) low-friction silicon ligature; B3) Gemini (3M®) *bracket* with low-friction Slide (Leone®) elastomeric ligature. Each *bracket*-ligature combination was measured with a stainless steel wire of 0.019" x 0.025" caliber.

The SR generated by each sample model (wire, brackets, and elastomeric ligatures) was obtained by using an Instron 3344 measurement device (Instron Corp, canton, Mass), 2519-106 model, with a capacity of 2.000 N and an error margin of 0.1%, as well as the stainless steel device that was designed based on the study by Plaza (2010)²³, which was oven-painted in order to avoid magnetization. This device was supplied with arches attached with screws in its upper and lower sections (figures 4 and 5).

Este dispositivo fue sujetado a la prensa inferior del equipo Instron, la cual es fija, y la placa acrílica fue asegurada en la prensa superior del Instron, la cual es móvil y se desliza en sentido vertical sobre el dispositivo de medición. Para cada modelo se hizo un desplazamiento de 8 mm, con una velocidad de 5 mm/min (figura 6).

This device was attached to the lower press of the Instron equipment, which is a fixed unit, and the acrylic plate was fastened to the upper press of the Instron, which is a mobile unit and slides in a vertical direction over the measurement device. A displacement of 8 mm was made for each model, with a speed of 5 mm/min (figure 6).



Figura 4. Equipo de medición Instron 3344 (Instron Corp, cantón, Mass) modelo 2519-106

Figure 4. Instron 3344 (Instron Corp, canton, Mass) model 2519-106 measurement equipment



Figura 5. Dispositivo de medición

Figure 5. Measurement device



Figura 6. Dispositivo de medición, sujeto a la prensa del Instron

Figure 6. Measurement device, attached to the Instron press

Se registraron los niveles de RD en gramos necesarios para mover el arco a lo largo de los tres *brackets* alineados y esos niveles fueron transmitidos a un computador.

Para cada tipo de combinación *bracket*-alambre-ligadura, se tomó una serie de nueve registros de la RD, bajo condiciones secas con temperatura ambiente de 20 ± 2 °C.

Después de cada prueba, se retiró el modelo y se colocó otro con un nuevo alambre y nueva ligadura, previa limpieza del *bracket* con etanol, para disminuir errores durante la medición de cada una de las combinaciones *bracket*-alambre-ligadura.

Análisis estadístico

Se digitó y depuró la información en Excel versión 2007, el procesamiento se realizó en el programa para ciencias sociales SPSS versión 15.0.

Para el análisis descriptivo se utilizó el promedio aritmético, el mínimo, el máximo y la desviación estándar; para determinar el grado de variabilidad se utilizó el coeficiente de variación (0-10% homogéneo, 10,1-20% medianamente homogéneo, > 20% heterogéneo).

El intervalo de confianza se determinó con nivel de confiabilidad al 95%; para determinar el supuesto de normalidad se utilizó la prueba Kolmogorov-Smirnov y para la homogeneidad de las varianzas se utilizó la prueba de Levene.

Para determinar diferencias en promedios de fricción se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente la prueba post-Hoc de Dunnett no asumiendo varianzas iguales.

El nivel de significancia fue $\alpha = 0,05$, para normalidad y heterogeneidad fue de $\alpha = 0,10$.

RESULTADOS

Se midió la resistencia al deslizamiento en 36 *brackets* y 72 tubos divididos en cuatro grupos de 9 *brackets* y 18 tubos: Gemini (3M®) con ligadura convencional Sani-Tie (GAC®), Gemini (3M®) con ligadura siliconada de baja fricción Synergy (RMO®), Gemini (3M®) con ligadura elastomérica de baja fricción Slide

All the SR levels were registered as grams needed to move the archwire along the three aligned brackets; these records were transmitted to a computer.

For each type of bracket-wire-elastomeric ligature combination, a series of nine SR records were taken, under dry conditions and at room temperature of 20 ± 2 °C.

After each test, the model was removed and substituted by another one with a new wire and a new ligature, provided that the bracket had been cleansed with ethanol in order to reduce errors during measurement of each bracket-wire-ligature combination.

Statistical analysis

The obtained data were recorded and refined in Excel, 2007 version; this procedure was completed in the SPSS version 15.0 software for social sciences.

The descriptive analysis used arithmetic average, minimum and maximum means, as well as standard deviation; to determine the variability level, variation coefficient was used (0-10% homogeneous, 10.1-20% moderately homogeneous, > 20% heterogeneous).

The confidence interval was determined at 95%; to determine the normality assumption the Kolmogorov-Smirnov was used, and for variance homogeneity the Levene test was applied.

To determine average friction differences, the variance analysis (ANOVA) was used, and later the Dunnett's post-Hoc test, not assuming equal variances.

The significance level was $\alpha = 0.05$, for normality and heterogeneity it was $\alpha = 0.10$.

RESULTS

After measuring sliding resistance in 36 brackets and 72 tubes divided in four groups of 9 brackets and 18 tubes: Gemini (3M®) with conventional Sani-Tie (GAC®), Gemini (3M®) low-friction Synergy (RMO®) silicone ligature, Gemini (3M®) with low-friction Slide

(Leone®) y SmartClip (3M®) utilizando un alambre de calibre 0,019 x 0,025" de acero inoxidable (Dentaurum®). Se observó que los *brackets* con mayor resistencia al deslizamiento fueron los convencionales Gemini (3M®) ligados con ligadura convencional Sani-Tie (GAC®) con promedio de 67,3 g y Gemini (3M®) ligados con ligadura siliconada de baja fricción Synergy (RMO®) con un promedio de 84,6 g. Los *brackets* SmartClip (3M®) y Gemini (3M®) con ligadura elastómerica de baja fricción Slide (Leone®), tuvieron valores promedio similares de 5,0 y 5,4 g, respectivamente y mayor coeficiente de variabilidad. Todas las referencias de los *brackets* cumplieron con el supuesto de una distribución de normalidad (prueba Kolgomorov-Smirnov) (tabla 1 y figura 7).

(Leone®) elastomeric ligature and SmartClip (3M®) using a stainless steel (Dentaurum®) wire of 0.019 x 0.025" caliber, we observed that the brackets with the greatest sliding resistance were the conventional Gemini (3M®) ligated with conventional Sani-Tie (GAC®), with an average of 67.3 g, as well as Gemini (3M®) ligated with low-friction Synergy (RMO®) silicon ligature, with an average of 84.6 g. The SmartClip (3M®) brackets and Gemini (3M®) brackets with low-friction Slide (Leone®) elastomeric ligature showed similar average values of 5.0 and 5.4 g, respectively, as well as a greater variability coefficient. All the bracket references complied with the assumption of normality of distribution (Kolgomorov-Smirnov test) (table 1 and figure 7).

Tabla 1. Estadística descriptiva de la resistencia al deslizamiento (g)

Brackets/ligadura	n	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza para la media al 95%		CV	Normalidad valor p
						Lim. inf.	Lim. sup.		
SmartClip	9	3,100	7,982	5,068	1,563	3,867	6,270	30,847	0,877
Gemini-GAC	9	58,140	75,537	67,316	5,990	62,712	71,921	8,899	0,958
Gemini-RMO	9	73,469	97,616	84,627	7,864	78,582	90,672	9,293	0,946
Gemini-Leone	9	1,818	8,080	5,406	2,208	3,709	7,103	40,843	1

CV = coeficiente de variación en %.

Table 1. Descriptive statistics of sliding resistance (g)

Brackets/ligature	n	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Confidence interval for the mean at 95%		VC	Normality value p
						Inf. lim	Sup. lim		
SmartClip	9	3.100	7.982	5.068	1.563	3.867	6.270	30.847	0.877
Gemini-GAC	9	58.140	75.537	67.316	5.990	62.712	71.921	8.899	0.958
Gemini-RMO	9	73.469	97.616	84.627	7.864	78.582	90.672	9.293	0.946
Gemini-Leone	9	1.818	8.080	5.406	2.208	3.709	7.103	40.843	1

VC = Variation coefficient in %

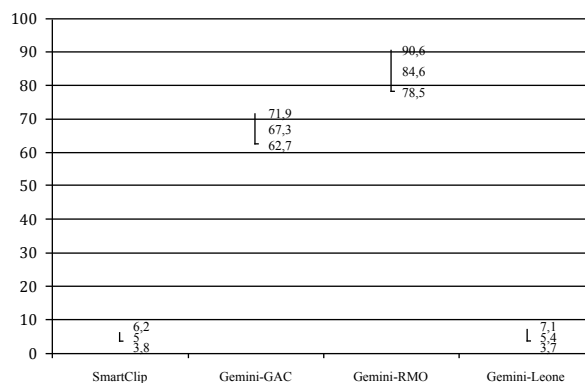


Figura 7. Medias e intervalos de confianza 95% de la RD (g)

Figure 7. SR mean and 95% confidence intervals (g)

Al aplicar la prueba ANOVA se encontró que las varianzas no fueron iguales en todas las combinaciones de resistencia al deslizamiento de los *brackets* (prueba de Levene, $p = 0,003$) (tabla 1). Se hicieron pruebas post-Hoc de Dunnett, en las que al comparar los promedios de RD, se encontraron diferencias entre todos los grupos de combinaciones *brackets*-alambre-ligadura, excepto cuando se compararon los *brackets* SmartClip (3M®) y los Gemini (3M®) con ligadura elastomérica de baja fricción Slide (Leone®) ($p = 0,99$) (tabla 2).

DISCUSIÓN

En el presente estudio se comparó la resistencia al deslizamiento (RD), generada por los *brackets* de autoligado pasivo (SmartClip 3M®) con la RD producida por los *brackets* convencionales (Gemini 3M®) combinados con tres tipos de ligaduras: ligadura elastomérica convencional

Application of the ANOVA test demonstrated that the variances were not equal in all the brackets sliding resistance combinations (Levene test, $p = 0,003$) (table 1). The Dunnett's post-Hoc tests were applied, and by comparing the average SR some differences were found among all bracket-wire-ligature combination groups, except when comparing the SmartClip (3M®) brackets and the Gemini (3M®) brackets with low-friction Slide (Leone®) elastomeric ligature ($p = 0.99$) (table 2).

DISCUSSION

The purpose of this study was to compare the sliding resistance (SR) generated by self-ligating passive 3M® (SmartClip) brackets and the one produced by conventional 3M® (Gemini) brackets in combination with three types of ligature: Conventional GAC®

Tabla 2. Comparaciones de los promedios de RD entre las combinaciones *bracket*-ligadura

Análisis de varianza ANOVA	Comparación de combinaciones de <i>brackets</i>		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Valor p	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite superior	Límite inferior
Prueba post-Hoc de Dunnett	SmartClip	Gemini-Sani-Tie	-62,2	2	0*	-68,8	-55,6
		Gemini-Sinergy	-79,5	2,6	0*	-88,1	-70,9
		Gemini-Slide	-0,3	0,9	0,999	2,5	- 3,2
	Gemini-Sani-Tie	SmartClip	62,2	2	0*	68,8	55,6
		Gemini-Sinergy	-17,3	3,2	0*	-27,8	- 6,7
		Gemini-Slide	61,9	2,1	0*	68,7	55
	Gemini-Sinergy	SmartClip	79,5	2,6	0*	88,1	70,9
		Gemini-Sani-Tie	17,3	3,2	0*	27,8	6,7
		Gemini-Slide	79,2	2,7	0*	87,9	70,5
	Gemini-Slide	SmartClip	0,3	0,9	0,999	3,2	- 2,5
		Gemini- Sani- Tie	-61,9	2,1	0*	-68,7	-55
		Gemini-Sinergy	-79,2	2,7	0*	-87,9	-70,5

* Significativo al 0,05.

Table 2. SR average comparison among the *bracket*-ligature combinations

ANOVA variance analysis	Bracket combinations comparison		Means difference (I-J)	Typical error	p value	Confidence interval at 95%	
						Superior limit	Inferior limit
Dunnett's post-Hoc test	SmartClip	Gemini-Sani-Tie	-62.2	2	0*	-68.8	-55.6
		Gemini-Sinergy	-79.5	2.6	0*	-88.1	-70.9
		Gemini-Slide	-0.3	0.9	0.999	2.5	- 3.2
	Gemini-Sani-Tie	SmartClip	62.2	2	0*	68.8	55.6
		Gemini-Sinergy	-17.3	3.2	0*	-27.8	- 6.7
		Gemini-Slide	61.9	2.1	0*	68.7	55
	Gemini-Sinergy	SmartClip	79.5	2.6	0*	88.1	70.9
		Gemini-Sani-Tie	17.3	3.2	0*	27.8	6.7
		Gemini-Slide	79.2	2.7	0*	87.9	70.5
	Gemini-Slide	SmartClip	0.3	0.9	0.999	3.2	- 2.5
		Gemini- Sani- Tie	-61.9	2.1	0*	-68.7	-55
		Gemini-Sinergy	-79.2	2.7	0*	-87.9	-70.5

* Significant at 0,05.

(Sani-Tie GAC®), ligadura elastomérica de baja fricción (Slide Leone®) y ligadura elastomérica de baja fricción (Synergy RMO®); para esto, se utilizó un dispositivo diseñado y fabricado específicamente para simular las condiciones clínicas del segmento posterosuperior derecho de la arcada dental, tomando como referencia un modelo experimental previo.²³

Los resultados de esta investigación indicaron que los *brackets* SmartClip 3M® y las ligaduras Slide Leone® en los *brackets* Gemini 3M® produjeron fuerzas de fricción significativamente inferiores comparadas con las ligaduras Sani-Tie GAC® y Synergy RMO® en los *brackets* Gemini 3M®, utilizando un arco de acero inoxidable de calibre 0,019 × 0,025”.

Similares hallazgos reportan estudios anteriores^{9-11, 13, 16, 26} en los que los *brackets* de autoligado generaron fuerzas de fricción menores que las ligaduras convencionales en *brackets* convencionales. Adicionalmente, en otros estudios^{11, 13, 14, 27} se halló que las ligaduras Slide Leone® en *brackets* convencionales, generaron fuerzas de RD significativamente menores que las ligaduras convencionales en *brackets* convencionales, debido a que este tipo de ligaduras una vez colocadas en el *bracket* crean una ligadura pasiva en el *slot* que hace que el arco quede libre para deslizarse, lo cual brinda capacidad para controlar adecuadamente la fricción durante las diferentes fases del tratamiento, semejando los *brackets* convencionales a tubos como lo reporta Baccetti.¹⁴

El comportamiento de la RD en este estudio muestra diferencias significativas para los *brackets* SmartClip 3M® (5,0 g) y para las ligaduras Slide Leone® en *brackets* Gemini 3M® (5,4 g) comparadas con las ligaduras Sani-Tie GAC® en *brackets* Gemini 3M® (67,3 g), similares a lo reportado por Gandini y colaboradores,¹³ quienes utilizaron un modelo experimental de un *bracket* y cuyos resultados oscilan entre 0,6 g para *brackets* SmartClip 3M®, 0,5 gr para ligaduras Slide Leone® y 153,3 g para una ligadura convencional en un *bracket* convencional. Por su parte, Plaza y colaboradores,²³ utilizando también un modelo de un *bracket* en medio seco reportaron valores de 0,2 N para *brackets* SmartClip 3M® y 2,2 N para ligaduras elastoméricas Sani-Tie GAC® en *brackets* Gemini 3M®. En otro estudio, Orsi y colaboradores²⁶ utilizando un modelo experimental de un *bracket* en medio húmedo, reportan valores de RD que oscilan entre 0,002 N para *brackets* SmartClip 3M®, 0,004 N

(Sani-Tie) elastomeric ligature, low-friction Leone® (Slide) elastomeric ligature and low-friction RMO® (Synergy) elastomeric ligature; for this purpose, a device was specifically designed and manufactured to simulate the clinical conditions of the right posterior-upper segment of the dental arch based on a previous experimental model.²³

The results of this study indicate that the SmartClip 3M® brackets and the SlideLeone® ligatures on Gemini 3M® brackets produced significantly lower friction forces in comparison with Sani-Tie GAC® and Synergy RMO® brackets on Gemini 3M® brackets, using 0.019 x 0.025” stainless steel wires.

Similar findings are reported by previous studies,^{9-11, 13, 16, 26} in which self-ligating brackets generated lower friction forces than conventional ligatures on conventional brackets. Additionally, other studies^{11, 13, 14, 27} found out that Slide Leone® ligatures on conventional brackets generated SR forces significantly lower than conventional brackets on conventional ligatures because, once attached to the brackets, this type of ligature creates a passive ligature on the slot, so that the archwire is free to slide, offering the possibility of adequately controlling friction during the diverse treatment phases, just like conventional brackets on tubes¹⁴ as reported by Baccetti.

The behavior of SR in this study shows significant differences for SmartClip 3M® brackets (5.0 g) and Slide Leone® ligatures on Gemini 3M® brackets 5.4 (5.4 g) compared to Sani-Tie GAC® ligatures on Gemini 3M® brackets (67.3 g), similar to what has been reported by Gandini et al,¹³ who used an experimental model of a bracket and whose results fluctuate between 0.6 g for SmartClip 3M® brackets, 0.5 g for Slide Leone® ligatures, and 153.3 g for a conventional ligature on a conventional bracket. Likewise, Plaza et al,²³ also using a bracket model in dry state, reported values of 0.2 N for SmartClip 3M® brackets and 2.2 N for Sani-Tie GAC® elastomeric ligatures on Gemini 3M® brackets. In another study, Orsi et al,²⁶ using an experimental model of a bracket in wet state, report SR values that fluctuate between 0.002 N for SmartClip 3M® brackets, 0.004 N

para ligaduras Slide Leone® y 2,796 N para una ligadura convencional en un *bracket* convencional. Aunque la RD, reportada en el presente estudio, es a diferente escala, se comporta de manera similar a los estudios presentados en la literatura.

Franchi y colaboradores²⁷ evaluaron la RD con un modelo de cinco *brackets* que reproducía el segmento bucal derecho, utilizando una ligadura elastomérica no convencional Slide Leone® en *brackets* convencionales y cuatro tipos de *bracket* de autoligado y encontraron diferencias no significativas entre la fricción producida por los *brackets* de autoligado y aquellos ligados con ligaduras Slide Leone®. De otro lado, Gandini y colaboradores¹³ reportaron valores promedio desde 0,1 a 1,2 g, utilizando un modelo de un *bracket* del incisivo central superior, de autoligado SmartClip 3M® y un tipo de *bracket* convencional (STEP® Leone Orthodontic Products), los cuales fueron ligados con una ligadura elastomérica no convencional (Slide Leone®) y una ligadura convencional (silver minimódulos, Leone Orthodontic Products®) en arcos NiTi superelástico 0,014" y acero inoxidable 0,019 x 0,025". Estos resultados coinciden con los obtenidos en este estudio donde se presentaron diferencias no significativas de RD entre *brackets* SmartClip 3M® y *brackets* convencionales ligados con ligaduras Slide Leone®. Las diferencias en los valores de RD entre los estudios pueden atribuirse al modelo intrínseco de cada estudio. Ahora bien, diferentes autores^{7, 23, 28-32} han reportado que la ligadura metálica genera menor RD en comparación con ligaduras elastoméricas convencionales; en este estudio se descartó el uso de la ligadura metálica como método de ligado del arco, debido a la dificultad para estandarizar la fuerza producida al momento de colocarlas; aunque existen estudios en los que se han reportado modelos de estandarización, para la utilización de las ligaduras metálicas.²³

En este estudio se usó un modelo experimental en medio seco, como lo han descrito otros autores.^{6, 8, 9, 11-14, 20, 21, 23, 27, 28} Chimenti y colaboradores²¹ indican que los módulos elásticos siliconados reducen la resistencia friccional estática en 23 a 43%, comparados con las ligaduras no siliconadas, aduciendo este comportamiento a que la concentración de silicona en la superficie permanece más alta en la condición seca y puede ser removida o ablandada por la saliva en la condición húmeda.

for Slide Leone® ligatures, and 2.796 N for a conventional ligature on a conventional bracket. Although the SR reported in the present study is of a different scale, it behaves similarly to the studies presented in the literature.

Franchi et al²⁷ evaluated SR with a model of five brackets that replicated the right oral segment, using a nonconventional Slide Leone® elastomeric ligature on conventional brackets and four types of self-ligating brackets, finding out no significant differences between the friction produced by self-ligating brackets and the ones ligated with Slide Leone® ligatures. Similarly, Gandini et al¹³ reported mean values ranging from 0.1 to 1.2 g, by using a model of a SmartClip 3M® self-ligating bracket of an upper central incisor, and a conventional bracket (STEP® Leone Orthodontic Products), which were ligated with a nonconventional (Slide Leone®) elastomeric ligature and a conventional ligature (silver mini modules, Leone Orthodontic Products®) on super elastic NiTi 0,014" and stainless steel 0.019 x 0.025" archwires. These results agree with the ones obtained in the present study which showed that there were no SR significant differences between SmartClip 3M® brackets and conventional brackets ligated with Slide Leone® ligatures. Differences in SR values among the studies may be due to the intrinsic model used in each study. Furthermore, several authors^{7, 23, 28-32} have reported metallic ligature generating lower SR in comparison to conventional elastomeric ligatures. This study omitted the use of metallic ligature as a method of archwire ligation due to the difficulty of standardizing the force produced at the moment of inserting them, although several studies have reported standardization models for using metallic ligatures.²³

This study used an experimental model in dry state, just as described by other authors.^{6, 8, 9, 11-14, 20, 21, 23, 27, 28} Chimenti et al²¹ suggest that silicon elastic modules reduce static frictional resistance in 23 to 43%, compared to non-silicon ligatures, attributing this behavior to the fact that silicon concentration in the surface remains higher in the dry state, and may be removed or softened by saliva in the wet state.

Otros autores¹⁰ reportan que la inmersión en saliva no genera efectos negativos sobre las ligaduras recubiertas de silicona. En contraste, Bortoly y colaboradores²⁰ no encontraron diferencias significativas en los valores de RD, entre ligaduras siliconadas sometidas a un medio húmedo y ligaduras siliconadas en medio seco.

Cuando se compararon los resultados de la RD obtenidos en este estudio para la ligadura Synergy RMO® con las ligaduras Sani-Tie GAC® en *brackets* Gemini 3M®, se observaron diferencias significativas con valores de 84,6 y de 67,3 g respectivamente, respecto a otra investigación²¹ en la que se encontraron valores menores de RD con las ligaduras siliconadas comparadas con las ligaduras elastoméricas no siliconadas debido a los diferentes métodos empleados en la cuantificación de los valores y las condiciones intrínsecas de cada estudio. Por su parte Hain y colaboradores¹⁰ reportan diferencias no significativas de RD entre la ligadura siliconada y la ligadura elastomérica convencional con 1,8 y 2 N, respectivamente. Aunque existe variabilidad en los resultados de los estudios mencionados, estos no son comparables entre sí, debido a las diferencias en las características de los materiales y métodos utilizados.

En otros estudios^{33, 34} utilizando ligaduras Synergy en *brackets* Synergy RMO®, demostraron fuerzas significativamente menores de RD, comparadas con ligaduras convencionales en *brackets* convencionales. El comportamiento variable de la ligadura Synergy RMO® en esta investigación se atribuye a que esta se diseñó principalmente para el sistema Synergy RMO®, dicha ligadura se coloca en las dos aletas centrales de las seis aletas que posee el *bracket* Synergy®, contactando en un solo punto del arco, proporcionando así menor RD; estas ligaduras al ser colocadas en las cuatro aletas del *bracket* Gemini 3M® como una ligadura convencional, contacta el arco en dos puntos, generando niveles más altos de RD. Por otra parte, las dimensiones de las ligaduras elastoméricas pueden influir de manera significativa sobre la RD, como lo reportan Chimenti y colaboradores.²¹ En el presente estudio la ligadura Synergy RMO®, por presentar menor tamaño con 0,110 en comparación con la ligadura Sani-tie GAC® con 0,120", podría ejercer mayor presión sobre el arco al colocarlas en el *bracket* Gemini 3M® aumentando los niveles de resistencia al deslizamiento.

Other authors¹⁰ state that immersion in saliva does not produce negative effect on silicon-covered ligatures. Conversely, Bortoly et al²⁰ did not find significant SR value differences among silicon ligatures implanted in a wet state and silicon ligatures in dry state.

When the Synergy RMO® ligature SR results obtained in this study were compared to Sani-Tie GAC® ligatures on Gemini 3M® brackets, significant differences were found, with values of 84.6 and 67.3 g respectively, in contrast to another study²¹ in which lower SR values were found in silicon ligatures compared to non-silicon elastomeric ligatures due to the difference in terms of methods used for data quantification and the intrinsic conditions of each study. Conversely, Hain et al¹⁰ reported no significant SR differences between silicon ligature and conventional elastomeric ligature, with 1.8 and 2 N respectively. Although the results of the aforementioned studies differ, they cannot be compared due to differences in terms of characteristics of the materials and methods used.

Other studies,^{33,34} using Synergy ligatures on Synergy RMO® brackets, demonstrated significantly lower SR forces, in comparison to conventional ligatures on conventional brackets. The variable behavior of the Synergy RMO® ligature in this study may be due to it being designed mainly for the Synergy RMO® system; this ligature is inserted in the two central wings out of the six wings that the Synergy® bracket has, thus making contact with a single spot of the archwire and producing less SR. When these ligatures are inserted in the fourth wings of the Gemini 3M® bracket as a conventional ligature, they make contact with two spots of the archwire, thus producing higher levels of SR. Moreover, dimensions of the elastomeric ligatures may significantly influence SR, as reported by Chimenti et al.²¹ In the present study, as the Synergy RMO ligature® is smaller (0.110"), in comparison to the Sani-Tie GAC® (0.120") ligature, it may apply greater pressure on the archwire once inserted in the Gemini 3M" bracket, thus increasing the levels of sliding resistance.

Por esto se recomienda a las casas comerciales suministrar información precisa acerca de las aplicaciones de las nuevas ligaduras de baja fricción para que el clínico tenga control sobre las características del material.

Los resultados de este estudio son una guía útil para el desarrollo de nuevos criterios y herramientas de trabajo para el ortodoncista, que pueden ser aplicadas en la práctica diaria, de manera que el clínico pueda ofrecer beneficios en cuanto a la efectividad de las biomecánicas aplicadas habitualmente en los tratamientos ortodóncicos. Estos resultados deben ser utilizados solo para las comparaciones, ya que un estudio *in vitro* no puede reflejar completamente el modo de resistencia a la fricción que se produce realmente *in vivo*, pues pueden influir la saliva, la acumulación de placa bacteriana y la temperatura de la cavidad oral como agentes coadyuvantes en el aumento de los valores de RD.

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, las ligaduras Slide Leone® en *brackets* convencionales Gemini 3M® producen niveles significativamente más bajos de RD que las ligaduras Sani-tie GAC® en *brackets* convencionales Gemini 3M®, de modo que se puede sugerir el uso de la ligadura Slide Leone® en *brackets* convencionales en la fase de cierre de espacio con mecánica de deslizamiento, con la expectativa que el alambre en el sector posterior se deslice de manera fácil y rápida, a través, del slot de los *brackets* posteriores. De ser así, este tipo de ligaduras representaría una alternativa a los *brackets* de autoligado una vez comprobada su eficacia en estudios *in vivo*, por sus niveles de RD similares demostrados en estudios *in vitro*.

Se encontró que el uso de las ligaduras elastoméricas de baja fricción Synergy RMO® proporcionan valores altos de RD cuando son utilizadas en *brackets* convencionales, por lo cual se recomienda su uso exclusivo con los *brackets* Synergy® o cuando se requiera aumentar la RD, controlando con esto la pérdida de torque o tip que se pueda generar en la fase de cierre de espacios con *brackets* convencionales. De igual manera se puede plantear la necesidad de realizar la comparación entre los diferentes tipos de ligado que presentan los *brackets* Synergy® debido a la versatilidad de su diseño de seis aletas.

Esta investigación proporciona evidencia científica como apoyo para futuras investigaciones, de manera que estos hallazgos orienten la toma de decisiones en la práctica al momento de escoger el método de ligado de los *brackets*.

This is why commercial firms are advised to provide precise information on the applications of the new low-friction ligatures, for the dental clinician to have more control on the characteristics of the material.

The results of this study pretend to be a practical guide in the development of new criteria and tools for orthodontists to apply in their everyday practice, so that they can offer benefits in terms of effectiveness of the biomechanics commonly used in orthodontic treatments. These results must be used only for comparisons, since an *in vitro* study cannot precisely reproduce the friction resistance that actually occurs *in vivo*, where saliva, bacteria plaque accumulation, and oral cavity temperature may influence as concomitant factors in SR rate increase.

Based on the results obtained in this study, Slide Leone® ligatures on conventional Gemini 3M® brackets produce significantly lower levels of SR than Sani-Tie GAC® ligatures on conventional Gemini 3M® brackets, so it is recommended to use the Slide Leone® ligature on conventional brackets during the space closure phase with a sliding mechanics, expecting that the wire at the posterior section easily and rapidly slides through the slots of posterior brackets. As a result, this type of ligatures would become an alternative to self-ligating brackets once their effectiveness has been proved in *in vivo* studies.

It has been proven that low-friction Synergy RMO® elastomeric ligatures produce high levels of SR when used on conventional brackets, so it is recommended to use them exclusively with Synergy® brackets or when in need of an RS increase, thus controlling torque loss during the space closure phase with conventional brackets. Also, it would be useful to perform comparisons among the different types of ligature offered by Synergy® brackets due to their versatile design of six wings.

This study offers scientific evidence as support for future research projects, so that these findings guide the decision-making process in the clinical practice when choosing the brackets' ligature method.

CONCLUSIONES

1. Los *brackets* de autoligado Smartclip 3M®, presentaron el comportamiento esperado, con la menor RD durante la fase de movimiento evaluado en el presente estudio.
2. Las ligaduras elastoméricas de baja fricción Slide Leone® en *brackets* convencionales Gemini 3M®, presentaron fuerzas de RD similares a los *brackets* de autoligado Smartclip 3M®, utilizando alambre de acero inoxidable de calibre 0,019" x 0,025".
3. Las ligaduras Synergy RMO® de baja fricción utilizadas en *brackets* convencionales Gemini 3M® presentan mayor RD que las ligaduras elastoméricas convencionales Sani-Tie GAG® en *brackets* convencionales Gemini 3M®, utilizando alambre de acero inoxidable de calibre 0,019 x 0,025".

CORRESPONDENCIA

Judith Patricia Barrera Chaparro
Carrera 18 N.º 80-94. Bogotá D. C.
Fundación Universitaria San Martín
Facultad de Posgrados de Odontología
Posgrado de Ortodoncia
Correo electrónico: barrerajudith@gmail.com

CONCLUSIONS

1. SmartClip 3M® self-ligating brackets presented the expected behavior, with the lowest SR during the movement phase assessed in this study.
2. Low-friction Slide Leone® elastomeric ligatures on conventional Gemini 3M® brackets presented similar SR forces to those of SmartClip 3M® self-ligating brackets, using stainless steel wire of 0.019" x 0.025" caliber.
3. Low-friction Synergy RMO® ligatures used on conventional Gemini 3M® brackets present higher SR than conventional Sani-Tie GAC® on conventional Gemini 3M® brackets, using stainless steel wire of 0.019" x 0.025" caliber.

CORRESPONDING AUTHOR

Judith Patricia Barrera Chaparro
Carrera 18 N.º 80-94. Bogotá D. C.
Fundación Universitaria San Martín
Facultad de Posgrados de Odontología
Posgrado de Ortodoncia
Email address: barrerajudith@gmail.com

REFERENCIAS / REFERENCES

1. Miles PG. Self-ligating vs. conventional twin brackets during en-masse space closure with sliding mechanics. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2007; 132(2): 223-225.
2. Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. Frictional forces between bracket and arch wire. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1989; 96(5): 397-404.
3. 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(2): 117-126.
4. Dowling PA, Jones WB, Lagerstrom L, Sandham JA. An investigation into the behavioural characteristics of orthodontic elastomeric modules. Br J Orthod 1998; 25(3): 197-202.
5. Thorstenson G, Kusy R. Influence of stainless steel inserts on the resistance to sliding of esthetic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. Angle Orthod 2003; 73(2): 167-175.
6. Hain M, Dhoptkar A, Rock P. The effect of ligation method on friction in sliding mechanics. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2003; 123(4): 416-242.
7. Thorstenson GA, Kusy RP. Effects of ligation type and method on the resistance to sliding of novel orthodontic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. Angle Orthod 2003; 73(4): 418-430.
8. Baccetti T, Franchi L, Camporesi M, Defraia E, Barbato E. Forces produced by different nonconventional bracket or ligature systems during alignment of apically displaced teeth. Angle Orthod 2009; 79(3): 533-539.
9. Griffiths HS, Sherriff M, Ireland AJ. Resistance to sliding with 3 types of elastomeric modules. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2005; 127(6): 670-675.
10. Hain M, Dhoptkar A, Rock P. A comparison of different ligation methods on friction. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2006; 130(5): 666-670.

11. Tecco S, Di Iorio D, Cordasco G, Verrocchi I, Festa F. An in vitro investigation of the influence of self-ligating brackets, low-friction ligatures, and archwire on frictional resistance. *Eur J Orthod* 2007; 29(4): 390-397.
12. Camporesi M, Baccetti T, Franchi L. Forces released by esthetic preadjusted appliances with low-friction and conventional elastomeric ligatures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131(6): 772-725.
13. Gandini P, Orsi L, Bertoncini C, Massironi S, Franchi L. In vitro frictional forces generated by three different ligation methods. *Angle Orthod* 2008; 78(5): 917-921.
14. Baccetti T, Franchi L. Friction produced by types of elastomeric ligatures in treatment mechanics with the preadjusted appliance. *Angle Orthod* 2006; 76(2): 211-216.
15. Thorstenson GA, Kusy RP. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self-ligating brackets with second-order angulation in the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 122(3): 295-305.
16. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Ricciardi A, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of stainless steel and esthetic self-ligating brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124(4): 395-402.
17. 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(5): 472-482.
18. Whitley JQ, Kusy RP. Influence of interbracket distances on the resistance to sliding of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132(3): 360-372.
19. Kusy RP, Whitley JQ. Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots. I. The dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990; 98(4): 300-312.
20. Bortoly TG, Guerrero AP, Rached RN, Tanaka O, Guariza-Filho O, Rosa EA. Sliding resistance with esthetic ligatures: an in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133(3): 340.e1-340.e7.
21. Chimenti C, Franchi L, Di Giuseppe MG, Lucci M. Friction of orthodontic elastomeric ligatures with different dimensions. *Angle Orthod* 2005; 75(3): 421-425.
22. 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(4): 361-370.
23. Plaza SP, Nieto M, Barrera JP, Triviño AL, Valencia A. Comparación de la resistencia al deslizamiento en brackets de autoligado y un bracket convencional. *Rev Venez Ortod* 2010; 27(1): 29-34.
24. Fortini A, Lupoli M, Cacciafesta V. A new low-friction ligation system. *J Clin Orthod* 2005; 39(8): 464-470.
25. Thomas S, Sherriff M, Birnie D. A comparative in vitro study of the frictional characteristics of two types of self-ligating brackets and two types of pre-adjusted edgewise brackets tied with elastomeric ligatures. *Eur J Orthod* 1998; 20(5): 589-596.
26. Orsi L, Giuntoli F, Gandini P. Dati sperimentali e conforme cliniche sulla biomecánica a bassa frizione. *Bollettino di Información Leone* 2008; 81: 4-7.
27. 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(1): 87-90.
28. 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(6): 1041-1045.
29. 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(6): 513-522.
30. Shivapuja PK, Berger J. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; 106(5): 472-480.
31. Khambay B, Millett D, McHugh S. Evaluation of methods of archwire ligation on frictional resistance. *Eur J Orthod* 2004; 26(3): 327-332.
32. Taylor NG, Ison K. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. *Angle Orthod* 1996; 66(3): 215-222.
33. Demicheli M, Migliorati M, Balboni C, Silvestrini Biavati A. Confronto tra differenti sistemi bracket/filo/legature misurazione in vitro dell'attrito su un'intera arcata. *Mondo Ortodóncico N* 2006; 4: 273-280.
34. Franchi L, Baccetti T, Camporesi M, Giuntini V. Forces released by nonconventional bracket or ligature systems during alignment of buccally displaced teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136(3): 316-317.