



Investigación original

Comportamiento mecánico *in vitro* de cadena y ligadura distal elástica inmersas en antisépticos

Lupita Carolina León Coutiño ¹, Gabriel Sáez Espínola ²,
Arcelia F. Meléndez Ocampo ³

¹. Egresada de la especialidad de Ortodoncia, Facultad de Odontología, División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México

². Profesor Ortodoncia UNAM, Facultad de Odontología, DEPeI. Ciudad de México, México.

³. Profesor Metodología e Investigación, UNAM, Facultad de Odontología, DEPeI. Ciudad de México, México.

Autor de correspondencia

Esp. Lupita Carolina León Coutiño
E-mail: lu.lecout@gmail.com

Fecha recibido: octubre 2021

Fecha aceptado: agosto 2023

Citar como:

León Coutiño LC, Sáez Espínola G, Meléndez Ocampo AF. Comportamiento mecánico *in vitro* de cadena y ligadura distal elástica inmersas en antisépticos. *Rev Mex Ortodon.* 2021; 9(2): 1-11. DOI: 10.22201/fo.23959215p.2021.9.2.86353

RESUMEN

Introducción. Las cadenas elastoméricas y la ligadura distal elástica, son utilizadas en ortodoncia durante la fase de cierre de espacios, por lo cual es necesario utilizar el material más eficiente para este fin. **Objetivo.** Evaluar la pérdida de fuerza de las cadenas elastoméricas (3M Unitek) y ligadura distal elástica (3M Unitek) los días 0, 7, 14 y 21, así como los efectos de la clorhexidina al 0.12% y triclosán sobre su comportamiento mecánico. **Material y método.** Se utilizaron 90 muestras de cadena elastomérica y 90 muestras de ligadura distal elástica; se sometieron a pruebas de tensión a una distancia constante. **Resultados.** Las diferencias de fuerza entre las medias de la cadena y ligadura distal expuestas a las tres soluciones no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Se identificaron cambios significativos en las mediciones en los diferentes intervalos de tiempo.

La cadena presentó un promedio mayor de pérdida de fuerza en los primeros 7 días manteniéndose constante hasta los 21 días y con fuerzas biológicas. La ligadura distal presentó pérdida de fuerza hasta los 14 días y a partir de ahí su fuerza ya no es funcional para el movimiento dental. **Conclusiones.** El tiempo es el factor más importante en la pérdida de fuerza de los elastómeros. La fuerza que se mantiene en la cadena es biológica y constante por más tiempo en comparación con la ligadura distal elástica.

Palabras Clave: Cadena elastomérica, ligadura distal elástica, *in vitro*, clorhexidina, triclosán.

INTRODUCCIÓN

En los tratamientos de ortodoncia una de las fases que requiere mayor tiempo para llevarse a cabo es la del cierre de espacios en casos de extracciones de premolares. Acelerar esta etapa utilizando el material más eficiente reducirá el tiempo total del tratamiento, aumentando la cooperación del paciente y disminuyendo posibles efectos secundarios¹. Las fuerzas biológicas ideales para estos movimientos dentales se basan en ejercer fuerzas ligeras y continuas; una forma común, práctica y poco costosa para realizar estos movimientos puede llevarse a cabo con técnicas de deslizamiento y con ayuda de materiales elastoméricos², por ejemplo, con cadenas elastoméricas o ligadura distal elástica.

A mediados de los años sesenta se comenzaron a utilizar materiales elásticos para mantener el arco dentro del slot del bracket; con lo cual se comenzó a desarrollar y patentar el proceso de un material elastomérico; más tarde la compañía Unitek compró los productos y comenzó a comercializarlos con los ortodoncistas en 1968³. De esta forma las cadenas elastoméricas son introducidas ofreciendo beneficios como un bajo costo, fáciles de utilizar y requerir mínima o nula cooperación del paciente.

En 1970 Andreasen y Bishara compararon elásticos de látex y Alastik Unitek para el cierre de espacios y encontraron que a las 24 horas de ser colocados se había perdido 74% de su fuerza inicial mientras que los de látex sólo perdieron 42%⁴. En 1975 Hershey y Reynolds compararon tres tipos de cadenas y encontraron que después de 24 horas se había perdido un 50% de la fuerza inicial mientras que un remanente del 40% de la fuerza inicial se mantuvo después de cuatro semanas. Además, notaron que la fuerza más constante fue dada por las cadenas manufacturadas por estampado y no por inyección⁵. Para 1976, Wong realizó un estudio de dos cadenas diferentes, sumergiéndolas en agua a 37°C y reportó que en las primeras 24 horas ocurre una pérdida entre 50 a 75% de la fuerza inicial⁶. Kovatch *et al.* evaluaron los niveles iniciales de fuerzas de Unitek Alastiks que fueron estiradas el 30% de su tamaño original y recomendaron el estirar lentamente los módulos para su colocación⁷.

En 1978 Ash y Nikolai compararon la pérdida de fuerza de cadenas abiertas *in vivo*, en agua y en aire, y concluyeron que las cadenas *in vivo* presentan una mayor pérdida de fuerza a los 30 minutos que aquellas que están en aire⁸. Dieron por hecho que los factores de la cavidad oral modifican los rangos de degradación de las cadenas. Sin embargo, ambas mantenían niveles de fuerza de 160 gr, que de acuerdo con Mohammed *et al.*⁹, así como con Baty *et al.*, constituye una fuerza suficiente para el movimiento dental¹⁰. Mousavi realizó un estudio en donde comparó cadenas elastoméricas de diferente longitud: cerrada, intermedia y abierta; y concluyó que la cadena cerrada presenta un mejor comportamiento físico, manteniendo la fuerza inicial por

más tiempo comparándola con la cadena intermedia y abierta². Baty *et al.*¹⁰ y Von Fraunhofer *et al.*¹¹ compararon cadenas de colores y cadenas color gris, y concluyeron que las cadenas de color necesitaban colocarse más estiradas para obtener niveles óptimos de fuerza.

La importancia de conocer los factores que pueden modificar el comportamiento mecánico de los materiales elastoméricos radica en poder elegir el material que nos proporcione el tratamiento más eficiente y cuánto tiempo se puede mantener con fuerzas biológicas útiles para la fase de cierre de espacios.

MATERIAL Y MÉTODO

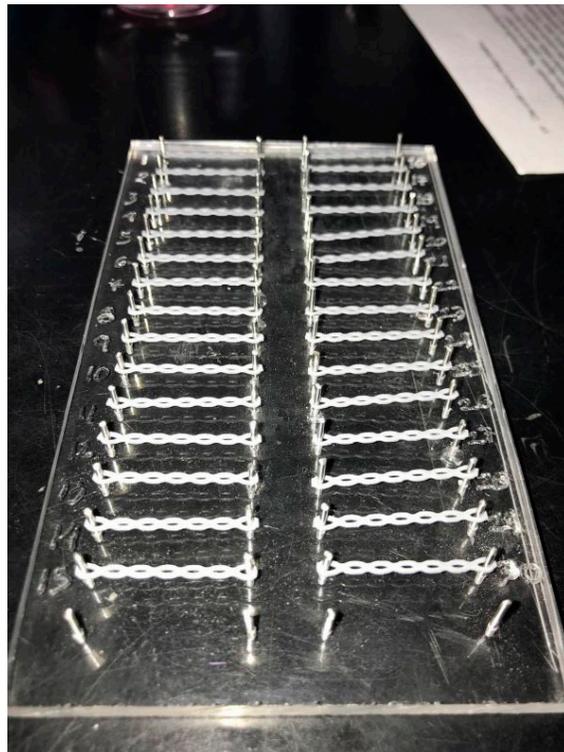
El estudio se llevó a cabo en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México (DEPeI UNAM), en el Laboratorio de BioMateriales Dentales. Se utilizaron cadenas elastoméricas Alastik Chain 3M Unitek cerradas de color gris, elaboradas por estampado con lote IC3WI y módulos grises Alastik Silver Easy-To-Tie Ligature 3M Unitek elaborados por inyección, con lote HM9VS (Figura 1). Los criterios de inclusión fueron todas aquellas cadenas cerradas y módulos elásticos que correspondieran a la marca, color, tamaño y lote mencionados anteriormente. Los criterios de exclusión fueron todas aquellas cadenas y módulos que no correspondieran a esa marca, color, tamaño y lote, así como aquellos materiales que estuvieran dañados o maltratados a simple vista, o cuyo empaque hubiera estado abierto.



Figura 1. Imagen de microscopía óptica de módulo elastomérico 3M (inyección) y cadena elástica 3M (estampado).

Para establecer la distancia a la que se mantendrían estiradas las muestras, se realizó una medición en 41 pacientes de la Clínica de Ortodoncia, DEPeI, UNAM, con tratamiento ortodónico listos para comenzar la fase de cierre de espacios. Esta medida se tomó del gancho de la banda o tubo del primer molar superior a la mitad de la distancia entre el canino y lateral del mismo cuadrante, mediante un calibrador digital Mitutoyo en ambos cuadrantes obteniendo 82 mediciones, en donde la media fue de 25.6mm. Se realizaron seis bases de acrílico transparente en donde se colocaron 32 pares de postes metálicos, confeccionados de acero inoxidable de calibre 0.045", a una distancia de 25.6mm entre cada uno de ellos. Las soluciones de inmersión utilizadas (dos antisépticos bucales y saliva artificial) fueron Bexident® Encías Colutorio Clorhexidina 0.12%, Bexident® Triclosán Encías y saliva artificial elaborada en el laboratorio de Biomateriales dentales, DEPeI, UNAM. Las pruebas piloto fueron realizadas mediante un dinamómetro digital Macmesin AFG 50N, para establecer fuerzas entre 300-400 gr¹²; utilizando siete eslabones de las cadenas y en la ligadura distal una distancia total de 23.1mm, con ligadura metálica de calibre 0.010" SS de la marca TP Orthodontics, Inc®.

Las pruebas se corrieron en una máquina Instron a una velocidad de carga de 0.5mm/min con unidad de medición en Newtons (1N= 102 gramos fuerza); 90 muestras de cadena y 90 de ligadura, cada muestra fue colocada en la máquina Instron y se midió la fuerza de tensión al ser estiradas a la distancia de 25.6mm, una vez hecha la medición se colocaron en la base acrílica (Figura 2). De las 90 muestras de cadena y ligadura, 30 de cada grupo permanecieron en inmersión en saliva artificial durante 21 días; 30 en clorhexidina al 0.12% y 30 en triclosán durante 21 minutos respectivamente, posteriormente fueron enjuagadas a presión con agua purificada, y se colocaron en saliva artificial 21 días. Todas las muestras permanecieron en un ambiente de temperatura controlada a 37°C en una estufa modelo Red Line by Binder. Las medidas de tensión se realizaron al inicio, a los 7 días, 14 días y 21 días.



Para comparar el porcentaje de pérdida de fuerza entre los tres grupos se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de una vía (factor). Para evaluar el porcentaje de pérdida entre las mediciones a los 7,14 y 21 días para cada solución, se utilizó el análisis de ANOVA para medidas repetidas. En ambos casos se utilizó la prueba post-hoc de Bonferroni, se estableció un nivel de significancia de $p < 0.05$, y se utilizó el paquete estadístico SPSS® 18.0.

RESULTADOS

La pérdida de fuerza en la cadena elastomérica no fue diferente en los medios de saliva, clorhexidina o triclosán (Tabla 1), sin embargo, al evaluar la pérdida de fuerza en el tiempo de la cadena elastomérica para cada solución se muestra una tendencia de disminución estadísticamente significativa. Para las cadenas sumergidas en saliva se encontraron diferencias entre la medición basal y a los 7, 14 y 21 días, para la clorhexidina y el triclosán todas las comparaciones fueron estadísticamente significativas, excepto entre los intervalos de 7 a 14 días (Tabla 2).

Tabla 1.
Efecto de tres soluciones sobre la pérdida de fuerza de la cadena elastomérica

Soluciones		Pérdida de fuerza en Mega Pascales Diferencia de Medias (IC 95 %)	p
Saliva ^a	Triclosán ^b	-0.70 (-1.53-.013) ^{ab}	0.098
	Clorhexidina ^c	-0.001 (-.085-.082) ^{ac}	0.974
Triclosán ^b	Saliva ^a	0.070 (-.013-.153) ^{ba}	0.098
	Clorhexidina ^c	0.069 (-.014-.152) ^{bc}	0.104
Clorhexidina ^c	Saliva ^a	0.001 (-.082-.085) ^{ca}	0.974
	Triclosán ^b	-0.069 (-.152-.014)	0.104

Prueba de ANOVA, significancia $p < 0.05$

Tabla 2.
Comparación del efecto de tres soluciones en cuatro mediciones de tiempo sobre la pérdida de fuerza de la cadena elastomérica.

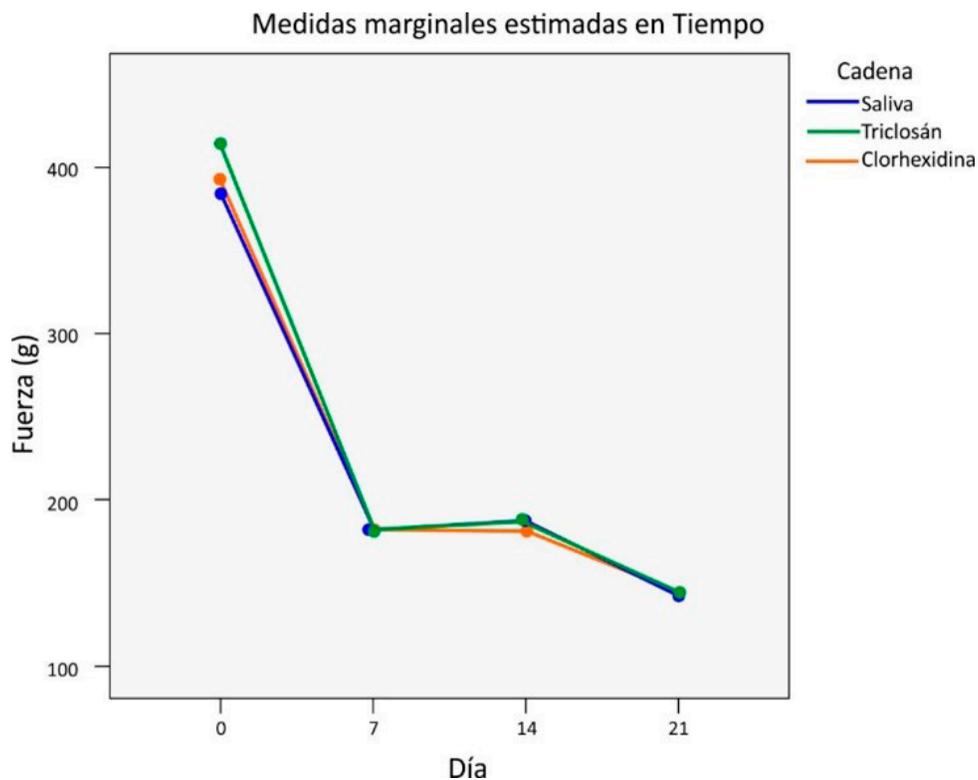
	Tratamiento		Pérdida de fuerza en Mega Pascales Diferencia de Medias (IC 95 %)	p	
Saliva	Medición basal ^a	7 días ^b	2.047 (1.996-2.098)	0.000*	
		14 días ^c	1.984 (1.907-2.062)	0.000*	
		21 días ^c	2.422 (2.372-2.472)	0.000*	
	7 días	14 días ^c	-0.063 (-0.113- -0.012)	0.009*	
		21 días ^c	0.375 (0.344-0.407)	0.000*	
	14 días	21 días ^c	0.438 (0.381-0.494)	0.000*	
	Triclosán	Medición basal ^a	7 días ^b	2.311 (1.745- 2.876)	0.000*
			14 días ^c	2.280 (1.708- 2.851)	0.000*
			21 días ^c	2.691 (2.119- 3.262)	0.000*
7 días ^b		14 días ^c	-0.031 (-0.068- 0.006)	0.153	
		21 días ^c	0.380 (0.341- 0.420)	0.000*	
14 días ^c		21 días ^c	0.411 (0.372- 0.451)	0.000*	

Tabla 2. Continúa

Tratamiento		Pérdida de fuerza en Mega Pascales Diferencia de Medias (IC 95 %)	p	
Clorhexidina	Medición basal ^a	7 días ^b	2.118 (2.088- 2.147)	0.000*
		14 días ^c	2.116 (2.09- 2.142)	0.000*
		21 días ^c	2.496 (2.465- 2.527)	0.000*
	7 días ^b	14 días ^c	-0.001 (-0.03- 0.027)	0.923
		21 días ^c	0.378 (0.347- 0.409)	0.000*
	14 días ^c	21 días ^c	0.380 (0.349- 0.41)	0.000*

Prueba de ANOVA para medidas repetidas, *significancia p<0.05

En la Gráfica 1 se observa que la tendencia de pérdida de fuerza para las tres soluciones es muy marcada entre la medición basal y los 7 días, sin embargo, para la medición que va de los 7 a los 14 días se produjo un ligero aumento en la fuerza en los tres grupos, aunque para la medición a los 21 días se produjo una disminución de la fuerza. Así mismo en el grupo de ligadura distal elástica, se encontró que no existe diferencia en la pérdida de fuerza al compararlas en las tres soluciones (Tabla 3). Además, al evaluar la pérdida de fuerza en el tiempo al estar sumergidas en saliva, clorhexidina y triclosán se observa una tendencia de disminución estadísticamente significativa. Para las ligaduras sumergidas en saliva y clorhexidina encontramos diferencias entre la medición basal y a los 7,14 y 21 días, para el triclosán todas las comparaciones fueron estadísticamente significativas, excepto entre los 14 y 21 días (Tabla 4).



Gráfica 1. Medidas marginales estimadas en tiempo

Tabla 3.
Efecto de tres soluciones sobre la pérdida de fuerza de la ligadura distal elástica

Soluciones		Pérdida de fuerza en Mega Pascales Diferencia de Medias (IC 95 %)	p
Saliva ^a	Triclosán ^b	-0.050089 (-0.150871- 0.050693)	0.685
	Clorhexidina ^c	0.008879 (-0.091903- 0.109661)	1.000
Triclosán ^b	Saliva ^a	0.050089 (-0.050693- 0.150871)	0.685
	Clorhexidina ^c	0.058968 (-0.041813- 0.15975)	0.470
Clorhexidina ^c	Saliva ^a	-0.008879 (-0.109661- 0.091903)	1.000
	Triclosán ^b	-0.058968 (-0.15975- 0.041813)	0.470

Prueba de ANOVA, significancia p<0.05

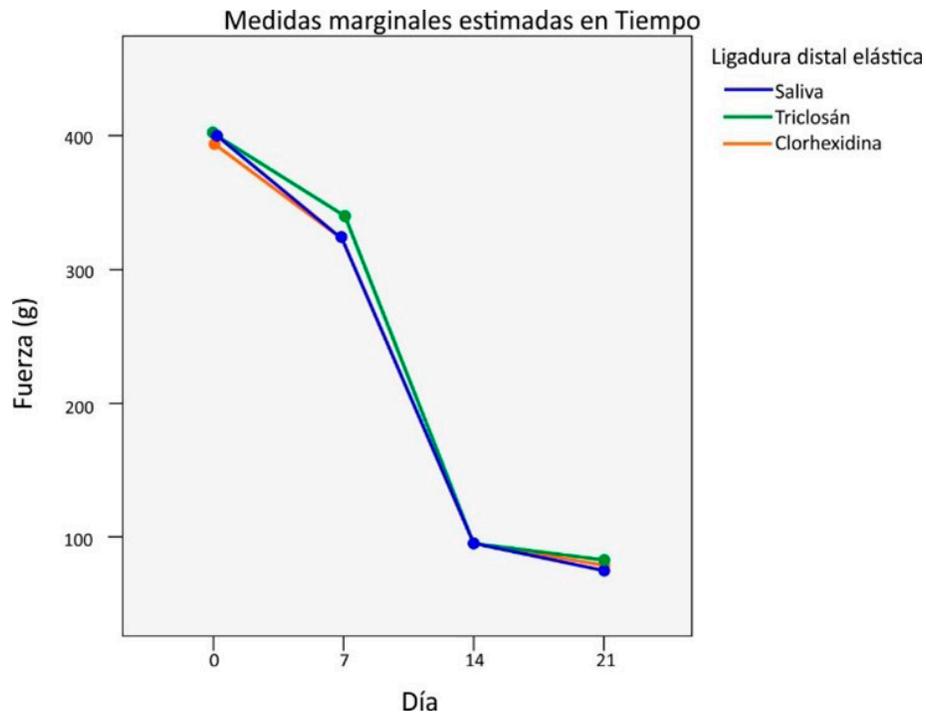
Tabla 4.
Comparación del efecto de tres soluciones en cuatro mediciones de tiempo sobre la pérdida de fuerza de la ligadura distal elástica

Grupo		Pérdida de fuerza en Mega Pascales Diferencia de Medias (IC 95 %)	p		
Saliva	Medición basal ^a	7 días ^b	0.779 (0.647- 0.911)	0.000*	
		14 días ^c	3.050 (2.885- 3.214)	0.000*	
		21 días ^c	3.273 (3.18- 3.366)	0.000*	
	7 días	14 días ^c	2.270 (2.139- 2.401)	0.000*	
		21 días ^c	2.494 (2.374- 2.614)	0.000*	
		21 días ^c	0.223 (0.111- 0.336)	0.000*	
	Triclosán	Medición basal ^a	7 días ^b	0.584 (0.387- 0.781)	0.000*
			14 días ^c	3.037 (2.85- 3.224)	0.000*
			21 días ^c	3.197 (3.045- 3.349)	0.000*
7 días ^b		14 días ^c	2.453 (2.234- 2.672)	0.000*	
		21 días ^c	2.613 (2.379- 2.847)	0.000*	
		21 días ^c	0.16 (-0.011- 0.331)	0.079	
Clorhexidina		Medición basal ^a	7 días ^b	0.690* (0.531- 0.849)	0.000*
			14 días ^c	2.970* (2.794- 3.145)	0.000*
			21 días ^c	3.160* (3.05- 3.271)	0.000*
	7 días ^b	14 días ^c	2.279* (2.08- 2.479)	0.000*	
		21 días ^c	2.470* (2.287- 2.653)	0.000*	
		21 días ^c	0.191* (0.002- 0.38)	0.047*	

Prueba de ANOVA para medidas repetidas, *significancia p<0.05

En la Gráfica 2 se observa que la tendencia de la pérdida de fuerza es constante, independientemente de la solución, sin embargo, la mayor pérdida de fuerza se encuentra entre la medición a los 7 y 14 días para las tres soluciones, y muy atenuada para la medición de los 14 a los 21 días. Además, se comparó el efecto de las soluciones en el tiempo para ambos grupos. Para la saliva la pérdida de fuerza entre la cadena y la ligadura distal en las cuatro mediciones mostró diferencias estadísticamente significativas, siendo mayor la pérdida de fuerza en la

cadena para las primeras dos mediciones e invirtiéndose en las siguientes dos. Para triclosán y clorhexidina todas las comparaciones fueron significativas a excepción de la medición basal. Así mismo observamos la misma tendencia de pérdida de fuerza entre los grupos que la mostrada en la saliva (Tabla 5).



Gráfica 2. Medidas marginales estimadas en tiempo

Tabla 5.
Comparación de medias de la técnica de cadena y ligadura distal elástica en diferentes entornos y tiempo

	Pérdida de fuerza en Mega Pascales							
	(medición 1)		(medición 2)		(medición 3)		(medición 4)	
	Media (Intervalo de Confianza - 95%)	p	Media (IC- 95%)	p	Media (IC- 95%)	p	Media (IC- 95%)	p
Saliva								
Cadena	3.86(3.83- 3.89)	<0.001	1.81(1.78-1.84)	<.001	1.87(1.82-1.92)	<.001	1.43(1.41-1.46)	<0.001
Ligadura distal	4.01(3.95-4.07)		3.23(3.11-3.35)		0.96(.83-1.10)		0.742(0.678-0.806)	
Triclosán								
Cadena	4.13(3.73-4.54)	0.4818	1.82(1.80-1.84)	<.001	1.85(1.83-1.88)	<.001	1.44(1.43-1.46)	<0.001
Ligadura distal	3.99(3.92-4.05)		3.4(3.26-3.55)		0.957(.833-1.08)		.797(.718-.877)	
Clorhexidina								
Cadena	3.93(3.91-3.95)	0.8959	1.81(1.78-1.84)	<.001	1.81(1.78-1.84)	<.001	1.43(1.41-1.45)	0.971
Ligadura distal	3.93(3.86-4.00)		3.24(3.12-3.36)		0.966(.850-1.08)		0.775(0.723-0.828)	<0.001

Prueba t de student, significancia p< 0.05

DISCUSIÓN

Se han realizado múltiples estudios sobre las cadenas elastoméricas; sin embargo, existen muy pocos sobre la ligadura distal elástica. Por lo tanto, es importante conocer los factores que repercuten en la degradación de la fuerza inicial como longitud de estiramiento, tiempo de permanecer deformadas, método de fabricación, líquidos en contacto y pigmentos; para poder elegir el material que sea más eficiente. Los resultados de este estudio reportan que las cadenas elastoméricas no son capaces de mantener fuerzas constantes durante 21 días; lo mismo fue reportado en los estudios realizados por Baty *et al.*¹⁰, Hershey y Reynolds⁵ y Wong⁶. Después de los 21 días de permanecer estiradas las cadenas, la fuerza inicial remanente fue del 37%, en contraste con lo que Weissheimer *et al.*¹³ reportaron en su estudio, donde la fuerza remanente fue del 40-45%.

El patrón de degradación de la fuerza de las cadenas sufre la mayor pérdida durante los primeros días, después permanece más constante y al final de los 21 días la fuerza remanente es muy poca como para poder realizar movimientos dentales; esto mismo obtuvieron en sus estudios Mirhashemi *et al.*¹⁴, Lu *et al.*¹⁵, da Silva *et al.*¹⁶, Santos *et al.*¹⁷, Morales-Pulachet *et al.*¹⁸ y Balhoff *et al.*¹⁹.

En este estudio las cadenas elásticas hechas por estampado presentaron un mejor comportamiento mecánico, obteniendo resultados similares a los presentados por Hershey y Reynolds⁵, en comparación con los módulos elásticos utilizados en la ligadura distal, elaborados por medio de inyección. Para este estudio la longitud (25.6mm) a la que las muestras estuvieron sometidas se obtuvo del promedio de la medición de los pacientes bajo tratamiento ortodóncico que estuvieran listos para comenzar la fase de cierre de espacios; esta medida es similar a la que utilizaron en sus estudios Natrass *et al.*²⁰ y Freeman *et al.*²¹; a diferencia de la utilizada por otros autores basada en estirar las muestras de cadena elástica al doble de su tamaño original^{14,22} o a una medida arbitraria^{13,15,18,23}. Morales-Pulachet *et al.* describen que para el día 21 se mostró una degradación de la fuerza de un 80-82%¹⁸, lo cual es distinto a lo obtenido en este estudio, en que se obtuvo una degradación de 63%. La diferencia puede radicar en que la marca comercial de la cadena fue distinta en los estudios.

Las cadenas elastoméricas que estuvieron en inmersión de clorhexidina al 0.12% no presentaron cambios significativos en comparación con los otros grupos. Sin embargo, en el estudio de Omidkhoda *et al.*²⁴ sí se identificaron diferencias. El resultado de ese estudio puede atribuirse a que la clorhexidina tenía una mayor concentración, de 0.20%. Como ya se mencionó existen pocos estudios en donde se realicen pruebas mecánicas a la ligadura distal elástica, sin embargo, en el estudio de Mohammadi y Mahmoodi²⁵ se muestra un comportamiento similar al de las cadenas elastoméricas, donde la mayor pérdida de fuerza se da durante la primera semana y no hasta la segunda semana como lo obtenido en este estudio. Sin embargo, en ese estudio los módulos elastoméricos fueron pre estirados.

Ren *et al.*²⁶ describen que no hay evidencia clínica suficiente para establecer una fuerza biológica ideal para el movimiento dental. Sin embargo, en los estudios realizados en humanos se establece una fuerza entre 150-350g⁹. En la ligadura distal elástica se mantienen valores por encima de los 350g durante los primeros siete días lo cual podría relacionarse con reabsorción radicular y mayor molestia percibida por el paciente, como lo indican Halimi *et al.*²⁷ en su estudio; después del día siete la fuerza disminuye rápidamente por lo que durante la tercera semana del uso de ligadura distal elástica los valores remanentes de fuerza ya no son suficientes para el movimiento dental.

CONCLUSIONES

- El tiempo es el factor más importante en la pérdida de fuerza de los elastómeros.
- Las cadenas elastoméricas tienen una gran pérdida de fuerza en los primeros 7 días, sin embargo, después se mantiene constante hasta los 21 días, con fuerzas biológicas.
- La ligadura distal elástica sufre la mayor pérdida de fuerza hasta los 14 días. A partir de ahí su fuerza ya no es funcional para el movimiento dental.
- No hay cambios en el comportamiento mecánico de la cadena o ligadura distal si el paciente se encuentra bajo alguna terapia de antisépticos bucales como clorhexidina al 0.12% o triclosán.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barsoum HA, ElSayed HS, El Sharaby FA, Palomo JM, Mostafa YA. Comprehensive comparison of canine retraction using NiTi closed coil springs vs elastomeric chains: A split-mouth randomized controlled trial. *Angle Orthod.* 2021; 91(4): 441-448. DOI: 10.2319/110620-916.1
2. Mousavi SM, Mahboobi S, Rakhshan V. Effects of different stretching extents, morphologies, and brands on initial force and force decay of orthodontic elastomeric chains: An in vitro study. *Dent Res J (Isfahan)*. 2020;17(5):326-337. Disponible en: https://journals.lww.com/derj/fulltext/2020/17050/effects_of_different_stretching_extents,.2.aspx
3. Evans KS, Wood CM, Moffitt AH, Colgan JA, Holman JK, Marshall SD, et al. Sixteen-week analysis of unaltered elastomeric chain relating in-vitro force degradation with in-vivo extraction space tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017; 151(4): 727-734. DOI: 10.1016/j.ajodo.2016.10.020
4. Andreasen GF, Bishara S. Comparison of Alastik chains with elastics involved with intra-arch molar to molar forces. *Angle Orthod.* 1970; 40(3): 151-158. Disponible en: [https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article-pdf/40/3/151/1369455/0003-3219\(1970\)040_0151_coacwe_2_0_co_2.pdf](https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article-pdf/40/3/151/1369455/0003-3219(1970)040_0151_coacwe_2_0_co_2.pdf)
5. Hershey HG, Reynolds WG. The plastic module as an orthodontic tooth-moving mechanism. *Am J Orthod.* 1975; 67(5): 554-562. DOI: 10.1016/0002-9416(75)90300-0
6. Wong AK. Orthodontic elastic materials. *Angle Orthod.* 1976; 46(2): 196-205. Disponible en: [https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article-pdf/1369353/0003-3219\(1976\)046_0196_oem_2_0_co_2.pdf](https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article-pdf/1369353/0003-3219(1976)046_0196_oem_2_0_co_2.pdf)
7. Kovatch JS, Lautenschlager EP, Apfel DA, Keller JC. Load-extension-time behavior of orthodontic Alastiks. *J Dent Res.* 1976; 55(5): 783-786. DOI: 10.1177/00220345760550051201
8. Ash JL, Nikolai RJ. Relaxation of orthodontic elastomeric chains and modules in vitro and in vivo. *J Dent Res.* 1978; 57(5-6): 685-690. DOI: 10.1177/00220345780570050301
9. Mohammed H, Rizk MZ, Wafaie K, Almuzian M. Effectiveness of nickel-titanium springs vs elastomeric chains in orthodontic space closure: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res.* 2018; 21(1): 12-19. DOI: 10.1111/ocr.12210
10. Baty DL, Storie DJ, von Fraunhofer JA. Synthetic elastomeric chains: a literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994; 105(6): 536-542. DOI: 10.1016/S0889-5406(94)70137-7
11. Von Fraunhofer JA, Coffelt MT, Orbell GM. The effects of artificial saliva and topical fluoride treatments on the degradation of the elastic properties of orthodontic chains. *Angle Orthod.* 1992; 62(4): 265-274. Disponible en: [https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article-pdf/1372554/0003-3219\(1992\)062_0265_teoasa_2_0_co_2.pdf](https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article-pdf/1372554/0003-3219(1992)062_0265_teoasa_2_0_co_2.pdf)

12. McLaughlin RP, Bennett JC, Trevisi HJ. *Mecánica Sistematizada del Tratamiento Ortodóncico*. Madrid: Mosby; 2002.
13. Weissheimer A, Locks A, de Menezes LM, Borgatto AF, Derech CDA. In vitro evaluation of force degradation of elastomeric chains used in orthodontics. *Dental Press J Orthod*. 2013; 18(1): 55-62. DOI: 10.1590/s2176-94512013000100014
14. Mirhashemi AH, Saffarshahroudi A, Sodagar A, Atai M. Force-degradation pattern of six different orthodontic elastomeric chains. *J Dent (Tehran)*. 2012; 9(4): 204-15.
15. Lu TC, Wang WN, Tarng TH, Chen JW. Force decay of elastomeric chain--a serial study. Part II. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1993; 104(4): 373-377. DOI: 10.1016/S0889-5406(05)81336-8
16. Da Silva D, Kochenborger C, Marchioro EM. Force degradation in orthodontic elastic chains. *Rev odonto ciênc*. 2009; 24(3): 274-278. <https://revistaseletronicas.pucrs.br/index.php/fo/article/view/4408/4511>
17. Santos ACS, Tortamano A, Naccarato SRF, Dominguez-Rodriguez GC, Vigorito JW. An in vitro comparison of the force decay generated by different commercially available elastomeric chains and NiTi closed coil springs. *Braz Oral Res*. 2007; 21(1): 51-57. DOI: 10.1590/s1806-83242007000100009
18. Morales-Pulachet EC, Lavado-Torres A, Quea-Cahuana E. Degradación de fuerzas en cadenas elastoméricas de dos marcas diferentes. Estudio in vitro. *Kiru*. 2014;11(2):110-114. Disponible en: <https://portalrevistas.aulavirtualusmp.pe/index.php/Rev-Kiru0/article/view/125/104>
19. Balhoff DA, Shuldberg M, Hagan JL, Ballard RW, Armbruster PC. Force decay of elastomeric chains - a mechanical design and product comparison study. *J Orthod*. 2011; 38(1): 40-47. DOI: 10.1179/14653121141227
20. Natrass C, Ireland AJ, Sherriff M. The effect of environmental factors on elastomeric chain and nickel titanium coil springs. *Eur J Orthod*. 1998; 20(2): 169-176. DOI: 10.1093/ejo/20.2.169
21. Freeman DH, Johnston WM, Brantley WA, Firestone AR. Idealized force decay of orthodontic elastomeric chains follows Nutting equation. *Med Devices Sens*. 2021;4(1):e10145. DOI: 10.1002/mds3.10145
22. Eliades T, Eliades G, Silikas N, Watts DC. Tensile properties of orthodontic elastomeric chains. *Eur J Orthod*. 2004; 26(2): 157-162. DOI: 10.1093/ejo/26.2.157
23. Sánchez Herrera ML, Katagiri M, Álvarez Gayoso C. Estudio in vitro del deterioro de las propiedades elásticas de las cadenas elastoméricas. *Rev Odont Mex*. 2006; 10(2): 79-82. DOI: 10.22201/fo.1870199xp.2006.10.2.15906
24. Omidkhoda M, Rashed R, Khodarahmi N. Evaluation of the effects of three different mouthwashes on the force decay of orthodontic chains. *Dent Res J (Isfahan)*. 2015;12(4):348-352. DOI: 10.4103/1735-3327.161453
25. Mohammadi A, Mahmoodi F. Evaluation of force degradation pattern of elastomeric ligatures and elastomeric separators in active tieback state. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2015; 9(4): 254-260. DOI: 10.15171/joddd.2015.045
26. Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Angle Orthod*. 2003; 73(1): 86-92. Disponible en: [https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article-pdf/1374366/0003-3219\(2003\)073_0086_ofmfot_2_0_co_2.pdf](https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article-pdf/1374366/0003-3219(2003)073_0086_ofmfot_2_0_co_2.pdf)
27. Halimi A, Benyahia H, Doukkali A, Azeroual M-F, Zaoui F. A systematic review of force decay in orthodontic elastomeric power chains. *Int Orthod*. 2012; 10(3): 223-240. DOI: 10.1016/j.ortho.2012.06.013