



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

EVALUACIÓN IN VITRO DE LA
RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y
RESISTENCIA A LA FRICCIÓN DE
BRACKETS METÁLICOS EXPUESTOS
A BEBIDAS CARBONATADAS

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
ORTODONCIA

EDGAR LAZO ALIAGA

LIMA-PERÚ

2023

ASESOR

Mg. CARLOS YURI LIÑAN DURAN

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

MG. JANETT MAS LOPEZ

PRESIDENTE

MG. PABLO CESAR SANCHEZ BORJAS

VOCAL

MG. LILLIE ELIZABETH ABANTO SILVA

SECRETARIA

DEDICATORIA

A mis hijos Edgar Manuel y Mateo Enrique que son mi vida, a Carlita mi esposa y a mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos Yuri Liñán Durán y al Dr. Roberto León por el apoyo constante durante todo este trabajo.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Trabajo de investigación autofinanciado.



DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	LAZO ALIAGA EDGAR

(Agregar filas adicionales si hay más autores)

Pertencientes al programa de la **MAESTRÍA EN ORTODONCIA**, autores del trabajo titulado: **EVALUACIÓN IN VITRO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y RESISTENCIA A LA FRICCIÓN DE BRACKETS METÁLICOS EXPUESTOS A BEBIDAS CARBONATADAS**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRO EN ORTODONCIA** bajo la modalidad de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	LIÑAN DURAN CARLOS YURI	FAEST	MAESTRÍA

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **19%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **2805556920**; fecha de entrega: **06-11-2025**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 06 de noviembre de 2025**

Firma del asesor
N° DNI: 10490448
ORCID: 0000-0003-2669-842X

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. DESARROLLO TEMÁTICO	2
II.1. DOCENCIA UNIVERSITARIA ESTOMATOLÓGICA	2
II.2. ANÁLISIS CRÍTICO DE LITERATURA ESTOMATOLÓGICA	8
II.3. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN ESTOMATOLOGÍA	17
III. CONCLUSIONES	37
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
V. ANEXOS	

RESUMEN

Introducción: En odontología se utiliza una amplia gama de compuestos en los materiales dentales con diversas propiedades fisicoquímicas; la colocación de estos materiales en la cavidad bucal puede alterar su composición por diversos factores por lo que es necesario el estudio de estos cambios. Mediante el presente portafolio se analizará las estrategias para realizar un curso, el desarrollo de un silabo y un proyecto de investigación in vitro de los cambios estructurales de los brackets a la exposición de bebidas carbonatadas. **Desarrollo temático:** Se realizó un silabo, un análisis crítico de literatura y un proyecto de investigación de los cambios estructurales de los brackets metálicos al ser expuestos a bebidas carbonatadas. **Conclusiones:** El desarrollo de los trabajos descritos permitirá al profesional odontólogo contar e implementar un instrumento que orienta tanto al docente como al estudiante en el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el silabo. Así mismo el análisis crítico de literatura del artículo de revisión nos permite evaluar críticamente la calidad del artículo y demostrar que el autor ha investigado ampliamente la literatura. Finalmente, el proyecto de investigación permitirá al Ortodoncista elegir el juego de bracket metálico ideal con tendencias mínimas de rugosidad y menor fricción.

Así como también se podrá manifestar al paciente de las alteraciones que se producen en los brackets al ser instalados en las piezas dentales de la cavidad oral expuestas a bebidas carbonatadas.

Palabras clave: Brackets metálicos, rugosidad, fricción y bebidas carbonatadas

ABSTRACT

Introduction: In dentistry, a wide range of compounds are used in dental materials with diverse physicochemical properties; The placement of these materials in the oral cavity can alter its composition due to various factors, which is why it is necessary to study these changes. Through this portfolio, the strategies to carry out a course, the development of a syllabus and an in vitro research project of the structural changes of the brackets to the exposure of carbonated drinks will be analyzed. **Thematic development:** A syllabus, a critical analysis of the literature and a research project on the structural changes of metal brackets when exposed to carbonated drinks were carried out. **Conclusions:** The development of the works described will allow the dental professional to count and implement an instrument that guides both the teacher and the student in the teaching-learning process through the syllable. Likewise, the critical analysis of the literature of the review article allows us to critically evaluate the quality of the article and demonstrate that the author has extensively researched the literature. Finally, the research project will allow the Orthodontist to choose the ideal metal bracket set with minimal roughness and less friction. Likewise, the patient can be informed of the alterations that occur in the brackets when they are installed in the teeth of the oral cavity exposed to carbonated drinks.

Keywords: Metal brackets, roughness, friction and carbonated drinks.

I. INTRODUCCION

En el presente estudio se ha desarrollado un silabo de un curso denominado: cambios estructurales de brackets metálicos, mediante el cual se llevará los conceptos básicos, estrategias didácticas, evaluación y certificación del curso.

Así mismo se realizó un análisis crítico de una literatura de un artículo de revisión mediante dos revisiones de calidad del reporte escrito: CRIS para estudios in vitro y calidad metodológica del estudio: AXIS adaptada para estudios in vitro.

Finalmente, se realizó un proyecto de investigación que se denomina evaluación in vitro de la fricción y rugosidad superficial de brackets metálicos expuestos a bebidas carbonatadas para determinar que bracket metálico tiene mayor fricción y rugosidad superficial.

II. DESARROLLO TEMÁTICO

II.1. DOCENCIA UNIVERSITARIA ESTOMATOLÓGICA

FACULTADES DE MEDICINA, DE ESTOMATOLOGÍA Y DE ENFERMERÍA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
UNIDAD DE POSGRADO Y ESPECIALIZACIÓN
EDUCACIÓN CONTINUA

I. DATOS GENERALES

1.1.	Nombre del curso	:	Cambios estructurales de brackets metálicos
1.2.	Código	:	NR
1.3.	Dirigido a	:	Cirujanos dentistas generales y especialistas
1.4.	Organizado por	:	Unidad de posgrado y especialización
1.5.	Semestre académico	:	2023-I
1.6.	Tipo de asignatura	:	Educación continua
1.7.	Prerrequisito	:	Ninguno
1.8.	Modalidad	:	Presencial
1.9.	Créditos	:	1 crédito
			Horas teóricas: 8 horas
			Horas prácticas: 16 horas
			Horas de estudio independiente: 10 horas
1.10.	Duración	:	Del 03 de julio al 15 de agosto de 2023
1.11.	Coordinador	:	Esp. Edgar Lazo Aliaga egdar.lazo@upch.pe

II. RESULTADO DE APRENDIZAJE

Al término del curso el estudiante será capaz de:

Describir los cambios estructurales de la superficie de los brackets expuestos a los factores de la cavidad oral (algunas como saliva artificial y bebidas carbonatadas).

III. CONTENIDOS

Ortodoncia

- Biomecánica para cierre de espacios
- Técnica de deslizamiento
- Biocompatibilidad de dispositivos metálicos
- Fuerzas de fricción en Ortodoncia
- Rugosidad superficial en Ortodoncia

Cavidad Oral

- Concepto
- Características de la cavidad oral
- Biocompatibilidad de los brackets en la cavidad oral

<p>Brackets metálicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Composición de los brackets Tipos de brackets Marcas de brackets metálicos <p>Factores que producen cambios estructurales en los brackets</p> <ul style="list-style-type: none"> PH salival Suero fisiológico Saliva Bebidas carbonatadas Consumo de alimentos

<p>IV. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS</p> <p>Clase magistral: Exposición de los temas por un experto siguiendo una estructura determinada, con ayudas audiovisuales y recursos de comunicación no verbal, procurando la interacción con los participantes</p> <p>Práctica de laboratorio: Se harán demostraciones de los brackets de diferentes marcas expuestos a la bebidas carbonatadas como la Inka Kola® Coca cola® y saliva artificial, luego llevarlos al microscopio electrónico de barrido para la toma microfotografía para luego escanearla y analizar en el software Gwyddion 2.54 para la identificación de los cambios estructurales en la superficie de los brackets.</p>

<p>V. EVALUACIÓN</p> <p>El curso desarrolla sesiones de aprendizaje presenciales y práctica de laboratorio.</p> <p>La asistencia a sesiones presenciales (teóricas y prácticas) es obligatoria, debiendo acudir puntualmente en las fechas y horas programadas.</p> <p>Para la nota final del curso se considerará el siguiente porcentaje:</p> <table border="1" data-bbox="422 1370 1214 1527"> <thead> <tr> <th>Aspectos a evaluar</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Evaluación teórica</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Evaluación práctica</td> <td>70%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>100 %</td> </tr> </tbody> </table> <p>La nota final se expresa en escala vigesimal, con valores de dos decimales. No hay redondeo a la cifra inmediata superior o inferior. La nota mínima aprobatoria es once (11.00).</p> <table border="1" data-bbox="481 1709 1153 1834"> <tbody> <tr> <td>Equivalencia</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.00 – 10.99</td> <td>Desaprobado</td> </tr> <tr> <td>11.00 – 20.00</td> <td>Aprobado</td> </tr> </tbody> </table>	Aspectos a evaluar	Porcentaje	Evaluación teórica	30%	Evaluación práctica	70%	Total	100 %	Equivalencia		0.00 – 10.99	Desaprobado	11.00 – 20.00	Aprobado
Aspectos a evaluar	Porcentaje													
Evaluación teórica	30%													
Evaluación práctica	70%													
Total	100 %													
Equivalencia														
0.00 – 10.99	Desaprobado													
11.00 – 20.00	Aprobado													

VI. CERTIFICACIÓN

Certificado: Se otorgará cuando el participante haya aprobado satisfactoriamente las actividades programadas consignándose en el documento la calificación obtenida.

Se otorgara 01 crédito académico a quienes hayan participado en las prácticas de laboratorio y puedan describir los cambios estructurales de los brackets metálicos expuestas a bebidas carbonatadas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Doomen RA, Nedeljkovic I, Kuitert RB, Kleverlaan CJ, Aydin B. Corrosion of orthodontic brackets: qualitative and quantitative surface analysis [published online ahead of print, 2022 May 23]. *Angle Orthod*. 2022;92(5):661-668. doi:10.2319/072321-584.1
2. Zurita M. Coca-Cola: ¿Cómo la empresa logra crecer en Perú en medio del aumento de la inflación? [fecha de acceso 25 de octubre del 2022] URL disponible en: <https://forbes.pe/negocios/2022-09-06/coca-cola-como-logra-crecer-aceleradamente-la-marca-peru-en-medio-del-alza-de-la-inflacion/>
3. Rongo R, Valletta R, Bucci R, Rivieccio V, Galeotti A, Michelotti A, et al. In vitro biocompatibility of nickel-titanium esthetic orthodontic archwires. *Angle Orthod* [Internet]. 2016 [citado el 25 de octubre de 2022];86(5):789–95. Disponible en: <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/86/5/789/59327/In-vitro-biocompatibility-of-nickel-titanium>
4. Reshma Mohan, Ravindra Kumar Jain. An in vitro comparative evaluation of surface roughness characteristics of different orthodontic archwires: An atomic force microscopy study. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 2022, 16(2), 91-94 doi: 10.34172/joddd.2022.015 <https://joddd.tbzmed.ac.ir>
5. Shruthi DP, Patil GS, Prithviraj DR. Comparative Evaluation of Ion Release in Bonded and Nonbonded Stainless Steel Brackets with Use of Different Mouthwashes: An In vitro Study. *Contemp Clin Dent*. 2020;11(1):15-9.
6. Shahi S, Özcan M, Maleki Dizaj S, et al. A review on potential toxicity of dental material and screening their biocompatibility. *Toxicol Mech Methods*. 2019;29(5):368-77.
7. Wendl B, et al. Metal release profiles of orthodontic bands, brackets, and wires: an in vitro study. *Schwermetallfreisetzungsprofile aus kieferorthopädischen Bändern Brackets und Drähten: Eine In-vitro-Untersuchung*. *J Orofac Orthop*. 2017;78(6):494-503.
8. Wendl B, Wiltsche H, Lankmayr E, et al. Metal release profiles of orthodontic bands, brackets, and wires: an in vitro study. *Schwermetallfreisetzungsprofile aus kieferorthopädischen Bändern*

Brackets und Drähten: Eine In-vitro-Untersuchung. J Orofac Orthop. 2017;78(6):494-503. doi:10.1007/s00056-017-0107-z

9. Do-Yoon Kima, Bum-Soon Limb, Seung-Hak Baeka. Frictional property comparisons of conventional and self-ligating lingual brackets according to tooth displacement during initial leveling and alignment: an in vitro mechanical study. Korean J Orthod 2016;46(2):87-95

VIII. PROFESORES DEL CURSO E INVITADOS

Grad o o Título	Nombre	Apellidos	Departa mento Académi co	Condicio n Docente /Invitado	Correo electrónico
Esp.	Edgar	Lazo Aliaga	Ninguno	Contrata do	edgar.lazo@upch.pe

IX. PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

N° de Sesión	Grupo	Fecha	Horario	Contenido	Estrategias de aprendizaje	Docente
1	Todos	03 Julio	08:00pm a 10:00pm	Ortodoncia Biomecánica para cierre de espacios Técnica de deslizamiento Biocompatibilidad de dispositivos metálicos Fuerzas de fricción en Ortodoncia Rugosidad superficial en Ortodoncia	Clase magistral presencial	Edgar Lazo Aliaga
2	Todos	05 Julio	08:00pm a 10:00pm	Cavidad Oral Concepto Características de la cavidad oral Biocompatibilidad de los brackets en la cavidad oral	Clase magistral presencial	Edgar Lazo Aliaga
3	Todos	07 Julio	08:00pm a 10:00pm	Brackets metálicos Composición de los brackets Tipos de brackets Marcas de brackets metálicos	Clase magistral presencial	Edgar Lazo Aliaga
4	Todos	10 Julio	08:00pm a 10:00pm	Factores que producen cambios estructurales en los brackets: PH salival Suero fisiológico Saliva Bebidas carbonatadas	Clase magistral presencial	Edgar Lazo Aliaga

				Consumo de alimentos		
5	Todos	15 Julio	08:00am a 12:00pm	Práctica de exposición de los factores a los distintos tipos de brackets metálicos.	Clase práctica demostrativa presencial	Edgar Lazo Aliaga
6	Todos	22 Julio	08:00am a 12:00pm	Práctica de exposición a las bebidas carbonatadas de los distintos tipos de brackets metálicos.	Clase práctica demostrativa presencial	Edgar Lazo Aliaga
7	Todos	05 Agosto	08:00am a 12:00pm	Práctica con Microscopio Electrónico de Barrido para la toma microfotografía de la ranura de los brackets	Clase práctica demostrativa presencial	Edgar Lazo Aliaga
8	Todos	12 Agosto	08:00am a 12:00pm	Práctica con el Software Gwyddion 2.54 para la identificación de los cambios estructurales en la superficie de los brackets	Clase práctica demostrativa presencial	Edgar Lazo Aliaga
9	Todos	15 Agosto	09:00am a 11:00am	Examen teórico/práctico		Edgar Lazo Aliaga

II.2. ANÁLISIS CRÍTICO DE LITERATURA ESTOMATOLÓGICA

II.2.1. Información general

Información	Descripción
Título	An in vitro comparative evaluation of surface roughness characteristics of different orthodontic archwires: An atomic force microscopy study
Autores	Mohan R, Jain RK
Revista	Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects
Año de publicación	2022
País	India
Tipo de estudio	In vitro
Objetivo	
Evaluar y comparar la rugosidad de la superficie (RS) de cinco diferentes tipos de arcos de ortodoncia fabricados por dos fabricantes diferentes.	
Metodología	
Se evaluaron 10 especímenes de cinco arcos de alambre diferentes, que comprenden tres tipos de alambres con memoria de forma, SmartArch (Ormco), Damon (Ormco), NiTi activado por calor (HANT) (G&H Orthodontics), alambre de acero inoxidable (SS) (Ormco) y NiTi convencional (G&H Orthodontics); los cuales fueron examinados por microscopía de fuerza atómica (AFM). El procesamiento de las imágenes 3D se realizó mediante el software Gwyddion, a partir del cual se documentaron la raíz cuadrática media (rms), la rugosidad promedio (Ra) y la altura máxima (mh) del perfil de la superficie escaneada.	
Resultados	
La rugosidad de la superficie (RS) media de los alambres de acero inoxidable (SS) fue la menor ($Ra=8,70\pm 0,17$), seguida de los alambres NiTi ($10,29\pm 2,00$) con diferencia significativa entre ellos ($p<0,05$). Entre los tres alambres con memoria de forma, los alambres HANT tuvieron la menor RS ($Ra=22,97\pm 16,56$) en comparación con los alambres SmartArch ($Ra=25,55\pm 3,78$) y los alambres Damon ($Ra=25,67\pm 4,54$), pero la diferencia no fue significativa ($p > 0,05$).	
Conclusiones	
Los alambres SS de Ormco tuvieron la menor RS, seguidos por los alambres NiTi de ortodoncia de G&H. Los tres alambres con memoria de forma diferente probados no tuvieron diferencias significativas en los valores de RS.	

II.2.2. Calidad del reporte escrito: CRIS para estudios in vitro

Secciones	Item	Recomendación	Descripción	Página
Título y resumen				
Título y resumen	1a	Identifica en el título que es un estudio in vitro/laboratorio.	Sí, se puede identificar en el título el estudio in vitro realizado.	91
	1b	Resumen estructurado del diseño, métodos, resultados y conclusiones.	Sí, sí lleva un resumen estructurado compuesto por antecedentes, métodos, resultados y conclusión.	91
Introducción				
Antecedentes y objetivos	2a	Antecedentes científicos y explicación de los motivos del estudio	Sí, adjunta evidencia científica y explica los motivos del estudio.	91
	2b	Objetivos específicos o hipótesis	Si, si lleva objetivo general que es medir y comparar la topografía de la superficie de cinco arcos diferentes de dos fabricantes diferentes que utilizan AFM. No incluye objetivos específicos o hipótesis	91
Métodos				
Intervenciones	3	La intervención para cada grupo, incluyendo cómo y cuándo se administraron realmente, tienen suficiente detalle para permitir su reproducción.	Sí, sí explica al detalle sobre la intervención para cada grupo, las muestras se analizaron mediante microscopía de fuerza atómica Se utilizó el software Gwyddion para procesar las imágenes 3D. La rugosidad superficial promedio (Ra), la raíz cuadrada media (rms) y la altura máxima (mh) fueron los parámetros evaluados por el software. Si, si tiene suficiente detalle para permitir su reproducción.	92

Resultados (outcomes)	4	Medidas de resultado primarias y secundarias completamente definidas, incluyendo cómo y cuándo fueron evaluadas.	Si, al ver el estudio se identifica que cuenta con variables primarias como la media y desviación estándar de la rugosidad de la superficie (Ra), la raíz cuadrática media (rms) y la altura máxima (mh) los cuales fueron evaluados mediante el software Gwyddion, por lo tanto si fueron definidas los resultados primarios. No cuenta con resultados secundarios. No, no explica cuando fueron evaluados	92
Tamaño muestral	5	Explica cómo se determinó el tamaño muestral.	No, no explica cómo se obtuvo el tamaño muestral.	92
Randomización:				
Generación de la secuencia	6	Menciona el método utilizado para generar la secuencia de asignación aleatoria.	No, no aplica.	-
Mecanismo de ocultación de la asignación	7	Indica el mecanismo usado para implementar la secuencia de asignación aleatoria (como contenedores numerados secuencialmente), descripción de las medidas adoptadas para ocultar la secuencia hasta la asignación de las intervenciones.	No, no aplica porque no hubo control.	-
Implementación	8	Determina quién generó la secuencia de asignación aleatoria, quién enroló las muestras y quién las asignó a la intervención.	No, no aplica porque no hubo control.	-

Cegamiento	9	En caso sea afirmativo, ¿indica a quién se cegó tras la asignación a las intervenciones (por ejemplo, a los profesionales sanitarios, a los que evalúan los resultados) y cómo se hizo?	No, no aplica porque no hubo control.	-
Métodos estadísticos	10	Menciona los métodos estadísticos usados para comparar los grupos para resultados primarios y secundarios	Sí, sí menciona los métodos estadísticos; las pruebas estadísticas se realizaron con SPSS 23.0.0. Se utilizaron estadísticas descriptivas junto con ANOVA de una vía, seguido de pruebas post hoc de Tukey, para comparar las características de la superficie de los diferentes arcos de ortodoncia.	92
Resultados				
Especímenes analizados	11a	Indica el número de especímenes incluidos en cada grupo de análisis.	No, no indica el número de especímenes en cada grupo.	92
Resultados y estimación	11b	Describe los resultados primarios y secundarios, de cada grupo, y la magnitud estimada del efecto y su precisión (como el intervalo de confianza del 95%, valor de p, etc.)	No, no describe al detalle los resultados solo de forma general presenta los resultados de ANOVA para la comparación estadística de las diferencias en los parámetros de topografía superficial entre los diferentes arcos y los Valores de p del análisis estadístico de los parámetros de rugosidad del arco (ANOVA con pruebas post hoc de Tukey).	92
Discusión				

Limitaciones	12a	Establece las limitaciones, abordando las fuentes de posibles sesgos, imprecisiones y, si procede, multiplicidad de análisis.	No, no establece las limitaciones.	-
Generalización	12b	Indicar la generalización (validez externa, aplicabilidad) de los resultados.	No, no indica la generalización de los resultados.	-
Interpretación	12c	Interpretación coherente con los resultados, sopesando los beneficios y los perjuicios, y teniendo en cuenta otras pruebas pertinentes.	Si, si interpreta los resultados comparando estadísticamente los parámetros de topografía superficial como la rugosidad superficial (Ra), la raíz cuadrática media (rms) y la altura máxima (mh) de los diferentes arcos de alambres.	92
Otra información				
Protocolo	24	Indica dónde puede consultarse el protocolo completo, si está disponible	No, no indica dónde puede consultarse el protocolo completo. Sin embargo, este estudio fue aprobado por la Junta de Revisión Científica de Saveetha Dental College con el número de autorización ética IHEC/SDC/ORTHO-1903/21/171.	93
Financiamiento	25	Menciona las fuentes de financiamiento y otras ayudas (como suministros), papel de los financiadores	No, no menciona fuentes de financiamiento y otras ayudas.	93

II.2.3. Calidad metodológica del estudio: AXIS adaptada para estudios in vitro

Introducción	Sí	No	No sé	¿Por qué?	Página
1. ¿Fueron los objetivos del estudio claros?	X			Describe los parámetros de la topografía superficial para comparar entre los diferentes arcos de alambre	91
Métodos					
2. ¿Fue el estudio diseñado apropiadamente para los objetivos propuestos?	X			Fue diseñado para evaluar y comparar la rugosidad de la superficie (SR) de cinco tipos diferentes de arcos de ortodoncia fabricados por dos fabricantes diferentes.	92
3. ¿Fue el tamaño de muestra justificado?		X		No indica cómo se obtuvo el tamaño muestral.	-
4. ¿Fueron los especímenes tomados de una población de base apropiada?				No aplica	-
5. ¿Fue el proceso de selección de especímenes congruente con la población de investigación?				No aplica	-
6. ¿Se midieron adecuadamente los resultados de acuerdo con los objetivos del estudio?	X			Se midieron los resultados de acuerdo con los objetivos del estudio como la rugosidad de la superficie (Ra), la raíz cuadrática media (rms) y la altura máxima (mh) los cuales fueron evaluados mediante el software Gwyddion.	92
7. ¿Se midieron correctamente los resultados con el uso de instrumentos o medidas que	X			Se midieron los resultados con el uso de instrumentos que han sido publicadas previamente.	92

<p>hayan sido experimentadas, probadas o publicadas previamente?</p>					
<p>8. ¿Está claro que se usó para determinar significancia estadística, estimadores de precisión, o ambos? (por ejemplo: valores p, intervalos de confianza)</p>	X			<p>Se usó los valores de p para determinar la significancia estadística, en cual fueron claros y expresados en el presente estudio ya que realizaron las comparaciones entre los parámetros de la topografía superficial entre los diferentes arcos.</p>	92
<p>9. ¿Fueron los métodos (incluye métodos estadísticos) suficientemente descritos para permitir que estos sean repetidos?</p>	X			<p>Fueron descritos claramente los métodos porque la comparación estadística de las diferencias en los parámetros de topografía superficial entre los diferentes arcos los realizo con valores de p (ANOVA con pruebas post hoc de Tukey)</p>	92
Resultados					
<p>10. ¿Fueron descritos adecuadamente los datos básicos?</p>	X			<p>Se describieron las medias y las desviaciones estándar de los tres parámetros de rugosidad utilizados para analizar cuantitativamente la topografía de la superficie de cada arco de alambre.</p>	92
<p>11. ¿Si es apropiado, la información de los individuos con no respuesta fue descrita?</p>				<p>No aplica</p>	
<p>12. ¿Fueron los resultados consistentes internamente?</p>	X			<p>Los resultados guardan relación con los instrumentos utilizados ya que fueron evaluados cuantitativamente los tres parámetros de rugosidad</p>	92

				superficial de los tres diferentes arcos de alambres.	
13. ¿Fueron los resultados presentados descritos en la metodología?	X			Los resultados presentados corresponden a los descritos en la metodología, ya que se mencionó de los tres parámetros de la topografía superficial y las pruebas estadísticas a utilizar.	92
Discusión					
14. ¿Fueron las discusiones y conclusiones de los autores justificados por los resultados?	X			Varios estudios llegaron a la conclusión de que los arcos de alambre de acero presentaban rugosidad superficial más baja.	92
15. ¿Fueron discutidas las limitaciones del estudio?		X		Sólo determinaron el uso de microscopía de fuerza atómica luego de analizar varios estudios	92
Otros					
16. ¿Existieron algunas fuentes de financiación o conflictos de interés que puedan afectar la interpretación de los resultados por los autores?		X		No hubo financiamiento ni conflicto de interés.	94
17. ¿Se obtuvo aprobación ética o consentimiento de los participantes?	X			Hubo y fue aprobado por la Junta de Revisión Científica de Saveetha Dental College con el número de autorización ética IHEC/SDC/ORTHO-1903/21/171.	94

Adaptado de:

1. Krithikadatta J, Gopikrishna V, Datta M. CRIS Guidelines (Checklist for Reporting In-vitro Studies): A concept note on the need for standardized guidelines for improving quality and transparency in reporting in-vitro studies in experimental dental research. *J Conserv Dent*. 2014;17(4):301–304.
2. Downes MJ, Brennan ML, Williams HC, et al. Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). *BMJ Open* 2016;6:e011458.
3. Plaza-Ruiz SP. Estudios transversales analíticos. En: Barbosa-Liz DM, Pineda-Vélez EL, Agudelo-Suárez AA. *Odontología basada en la evidencia: de la teoría a la práctica*. Medellín: Corporación para Investigaciones Biológicas; 2020.

II.3. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN ESTOMATOLOGÍA

TÍTULO

Evaluación in vitro de la rugosidad superficial y resistencia a la fricción de brackets metálicos expuestos a bebidas carbonatadas.

RESUMEN

Antecedentes: Durante el tratamiento de ortodoncia los brackets están expuestos a diferentes factores intraorales, como la humedad, las fluctuaciones de pH/temperatura, fuerzas mecánicas, los alimentos, bebidas y acumulación de placa. Estos factores pueden hacer que los brackets se deterioren a través de los procesos de corrosión y a las fuerzas de fricción, por lo que afectaría en el retraso del tiempo de tratamiento de ortodoncia al aumentar la rugosidad de la superficie y la mecánica de deslizamiento al aumentar la fricción. **Material y métodos:** Estudio in vitro, los especímenes serán 240 brackets metálicos de cuatro marcas diferentes: American Orthodontic (Master/Mini Master Series™), 3M (Unitek™ Miniature Twin), Morelli (Ortodontia Max) y Azdent (bracket Azdent), el cual serán expuestas a las bebidas carbonatadas como la Inka kola®, Coca Cola® y a la saliva artificial en diferentes tiempos. La evaluación de la rugosidad superficial será de un área específico en la ranura del brackets mediante microfotografías con el microscopio electrónico de barrido para luego ser procesados en el Software Gwyddion® y así determinar la rugosidad promedio de los brackets metálicos expuestos a bebidas carbonatadas. Para analizar la fuerza de fricción de los brackets y arcos de acero inoxidable se utilizara la máquina de prueba universal, en el cual el arco de alambre se desplazará a lo largo del bracket a una velocidad de 5 mm/min durante 1 minuto, para así determinar los niveles de fuerza que se registrarán mediante una celda de

carga de 10 Newtons. Los datos recolectados se recopilarán y tabularan con el programa Microsoft Excel 2013 y se analizaran en el programa STATA versión 17.0; la comparación de grupos será mediante la prueba de ANOVA, seguido de la prueba post hoc de Tukey ($p < 0.05$).

Estudio in vitro, los especímenes serán 240 brackets metálicos de cuatro marcas diferentes: American Orthodontic (Master/Mini Master Series™), 3M (Unitek™ Miniature Twin), Morelli (Ortodontia Max) y Azdent (bracket Azdent). Las variables de estudio son fricción, rugosidad, sustancias de inmersión y marca de brackets.

Palabras clave: Brackets metálicos, rugosidad, fricción y bebidas carbonatadas.

II.3.1. INTRODUCCIÓN

En odontología se utiliza una amplia gama de compuestos por lo que el uso clínico exitoso de los materiales dentales se basa en sus propiedades fisicoquímicas (1). Para el tratamiento de las maloclusiones se utilizan diversos dispositivos metálicos ortodónticos como brackets que son instalados en cada pieza dentaria de la cavidad oral de los pacientes,(2) durante 1 a 2 años generalmente, el cual pueden sufrir procesos de degradación.(3)

Las bandas, los brackets y los alambres de ortodoncia están hechos universalmente de acero inoxidable que contiene aproximadamente 8% a 12 % de níquel y 17% a 22% de cromo (4) y es uno de los materiales más populares utilizados en ortodoncia debido a sus favorables propiedades mecánicas y su adecuada resistencia a la corrosión, a pesar que existe una película protectora pasiva sobre la aleación de acero inoxidable, los iones metálicos pueden liberarse de la superficie del metal en la cavidad oral por diversos factores a través de los procesos de disolución. (3)

Durante los tratamientos de Ortodoncia la técnica de movimiento más común es la de deslizar un diente con bracket sobre un alambre el cual tiene algunas ventajas, como la reducción del tiempo de tratamiento, comodidad para el paciente, así como el control tridimensional de los movimientos dentarios, no obstante, presenta un problema en la técnica de deslizamiento; la fricción entre el alambre y el bracket (5), por lo que es necesario una aplicación de fuerza mayor de hasta el 40-60 % de la fuerza inicial para superar este problema, lo que pone en peligro el anclaje y así como también aumentará el peligro de reabsorción de la raíz (6).

La fricción se conoce como: la fuerza resistiva entre superficies con movimiento opuesto, se divide en estática y cinética; donde la fricción estática se opone al inicio del movimiento mientras que la fricción cinética se opone a la continuación del movimiento (07). Sin embargo, esta clasificación ha sido criticada por ser arbitraria, debido a los resultados de Rossouw et al. y Moore et al. que no reveló diferencias significativas entre ellos (08-10)

En general, las fuerzas de fricción son altas tanto en superficies muy ásperas como muy lisas y tienen una influencia negativa en la eficiencia del movimiento de los dientes a lo largo del arco. En cualquier etapa del tratamiento en ortodoncia, los dientes individuales y los segmentos de dientes deben moverse con la menor fricción posible en contraste con los dientes que se usan para anclaje (11).

En los brackets y arcos una superficie muy rugosa genera un valor alto debido al contacto y el enclavamiento entre los picos de la superficie y el valle, mientras que una superficie muy lisa da como resultado grandes áreas de adherencia que continúan aumentando durante el movimiento deslizante, (12) por lo que puede afectar las características de fricción, el comportamiento frente a la corrosión y la biocompatibilidad. Los estudios han demostrado que todas estas propiedades influyen en el rendimiento clínico de los brackets y arcos de ortodoncia,(13) es debido a que la fricción entre el arco y el bracket se debe a diversos factores, como el tamaño, forma, material del arco, la angulación del bracket con respecto al alambre, la fuerza de ligadura, el ancho, material, diseño del bracket, la lubricación y la rugosidad de la superficie. (14) Así como también por diversos factores dentro

de la cavidad oral como las fuerzas masticatorias, los cambios de temperatura, el pH salival, variedad de microorganismos, consumo de bebidas y alimentos pueden llevar a la disolución, degradación o formación de compuestos químicos en los brackets (2), generando cambios estructurales en sus propiedades físicas y químicas (15,16), prolongando así el tiempo del tratamiento de las maloclusiones en ortodoncia, a través de los procesos de degradación, pero también debido a las fuerzas de fricción. Se ha descubierto que los cambios estructurales de los brackets metálicos de ortodoncia afecta el tratamiento de ortodoncia al aumentar la rugosidad de la superficie y afecta la mecánica de deslizamiento al aumentar la fricción (17).

Por otra parte, el consumo de bebidas carbonatadas se ha incrementado en estos últimos años especialmente por adolescentes, las bebidas carbonatadas más consumidas en el Perú son la Inka kola® y Coca Cola®; consumidas especialmente por adolescentes y adultos jóvenes de 15 a 28 años de edad (18) que generalmente reciben tratamiento ortodóntico, este consumo es uno de los factores que puede intensificar los cambios estructurales de los diversos dispositivos metálicos; el cual se correlaciona con un mayor riesgo de producir diferentes enfermedades en la salud general y en la salud oral (19-20).

En Ortodoncia se busca nuevos materiales que produzcan menor fricción durante la mecánica de deslizamiento. La fricción y la rugosidad son factores cruciales para delimitar el tiempo y efectividad del tratamiento que se pretende realizar, por lo que ha sido de preocupación de los profesionales de la salud en desarrollar más

investigaciones relacionadas a los cambios estructurales de los dispositivos metálicos ortodóntico por diversos factores. La presente investigación se enfocará en analizar y comparar la fricción, rugosidad, la relación que tienen entre sí y el grado de incidencia en el tratamiento ortodóntico para establecer la alternativa más adecuada en la selección del bracket y el consumo de bebidas carbonatadas durante el tratamiento.

No se han realizado estudios de la fuerza de fricción y rugosidad superficial de brackets metálicos expuestos a bebidas carbonatadas, por lo que la pregunta de investigación es ¿Existe mayor rugosidad superficial y resistencia a la fricción de brackets metálicos expuestos a bebidas carbonatadas in vitro?

II.3.2 OBJETIVOS

II.3.2.1 Objetivo general

Evaluar in vitro la rugosidad superficial y resistencia a la fricción de brackets metálicos expuestos a bebidas carbonatadas.

II.3.2.2 Objetivos específicos

1. Determinar in vitro la rugosidad superficial de los brackets metálicos AO, 3M, MO y AD, expuestas a la Inka Kola® Coca Cola® y saliva artificial a los T0 inicial, T1 1er día, T2 3er día y T3 6to día, mediante Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) y el software Gwyddion.
2. Determinar in vitro la resistencia a la fricción de los brackets metálicos AO, 3M, MO y AD, expuestas a la Inka Kola® Coca Cola® y saliva artificial a los T0 inicial, T1 1er día, T2 3er día y T3 6to día, mediante la Máquina de prueba universal.
3. Comparar in vitro la rugosidad superficial y resistencia a la fricción de los brackets metálicos AO, 3M, MO y AD, expuestas a la Inka Kola® Coca Cola® y saliva artificial a los T0 inicial, T1 1er día, T2 3er día y T3 6to día mediante la Máquina de prueba universal y el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) y el software Gwyddion.

II.3.3 MATERIAL Y MÉTODOS

1. Tipo del estudio

In vitro

2. Muestra

En el presente estudio el tamaño muestral se determinará tomando como referencia el artículo base revisado realizado por Reshma M et al. (7), quienes emplearon una muestra base de 10 especímenes por grupo. En el presente estudio, los grupos serán:

- Grupo 1: 60 brackets de American Orthodontic (Master/Mini Master Series™) de procedencia americana.
- Grupo 2: 60 brackets de 3M (Unitek™ Miniature Twin) de procedencia alemana.
- Grupo 3: 60 brackets de Morelli (Ortodontia Max) de procedencia brasileña.
- Grupo 4: 60 brackets de Azdent (bracket Azdent) de procedencia china.

Por lo que en el presente proyecto se seleccionará 04 brackets de las piezas para caninos de cada juego de brackets de diferentes marcas por cada grupo; por lo tanto, la muestra a estudiar será de 240 brackets, de acuerdo a los criterios de inclusión.

Cada grupo estará subdividido en 3 grupos por cada bebida carbonatada: Inka kola®, Coca Cola® y saliva artificial; y 4 tiempos. Todos los brackets presentan un slot de 0.022*0.028 y serán proveídos por la distribuidora oficial de cada marca considerando al menos 4 lotes diferentes para cada grupo.

3. Criterios de selección

3.1 Criterios de inclusión: Brackets de acero inoxidable de cuatro marcas diferentes: American Orthodontic (Master/Mini Master Series™), 3M (Unitek™ Miniature Twin), Morelli (Ortodontia Max) y Azdent (bracket Azdent), con slot de 0.022 x 0.028", sistema Roth.

3.2 Criterios de exclusión: Brackets con fracturas en su estructura o con otro material en su composición diferente al acero inoxidable.

4. Definición operacional de variables (Anexo 1)

4.1 Fricción: Fuerza tangencial sobre una superficie que se opone al deslizamiento de un objeto a través de una superficie adyacente con la que está en contacto. Operacionalmente es la fuerza de resistencia entre dos superficies (la ranura de un brackets y el arco de alambre) que se oponen al movimiento, en la misma dirección, pero en sentido opuesto y se medirá con una máquina de prueba universal (Universal Testing Machine, Instron R 3366, Instron Corp, Norwood, Mass). Es de tipo cuantitativa, continua, de razón y con valores en Newtons (N) Cn (centi-Newton).

4.2 Rugosidad: Conjunto de irregularidades que posee una superficie, que vienen normalmente determinadas por las características del material, el proceso de transformado de la pieza o las aportadas por el propio recubrimiento. Conjunto de irregularidades que posee una superficie, la mayor o menor rugosidad de una superficie depende de su acabado superficial. Este, permite definir la microgeometría de las superficies para hacerlas válidas para la función para la que

hayan sido realizadas. Operacionalmente esta medida es empleada para caracterizar la textura de la superficie; la rugosidad evalúa las pequeñas desviaciones verticales de la superficie nominal que vienen normalmente determinadas por las características del material, el proceso de transformado de la pieza o las aportadas por el propio recubrimiento y se analizará con el microscopio electrónico de barrido y el software Gwyddion 2.54. Es de tipo cuantitativa, continua, de razón y con valores en Nanómetros (um) nanómetros (um).

4.3 Sustancias de inmersión: Solución que puede o no producir cambios en la corrosión de los brackets. Operacionalmente son sustancias a las cuales serán expuestos los brackets metálicos y se analizará la composición de las sustancias asignadas. Es de tipo cualitativa, politómica, nominal y valores: Inka Cola®, Coca Cola® y saliva artificial (control).

4.4 Marca de brackets: Brackets metálicos son aleaciones de acero inoxidable que están formados por dos partes: la base y las aletas, están compuestos generalmente de cromo, níquel y en diferentes proporciones cobre, hierro, manganeso, silicio, molibdeno y titanio. Operacionalmente los brackets contiene 17% a 22% de Cromo, 8% a 12% de Níquel y en diferentes proporciones carbono, manganeso, silicio, molibdeno y titanio, y se analizan según la marca comercial. Es de tipo cualitativa, politómica, nominal y valores: American Orthodontic (Master/Mini Master Series™), 3M (Unitek™ Miniature Twin), Morelli (Ortodontia Max) y Azdent (bracket Azdent).

4.5 Periodo de evaluación: Intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo. Operacionalmente es el período en el que transcurre cada toma de datos en el estudio. Es de tipo cualitativa, politómica, nominal y valores: T0 inicial, T1 1er día, T2 3er día y T3 6to día.

5. Procedimientos y técnicas

El presente estudio se desarrollará siguiendo las normas para las pruebas auxiliares de brackets ortodónticos (International Organization for Standardization 21606-2007) (10, 27).

5.1 Capacitación y calibración

Será necesario que el investigador principal reciba la capacitación del profesional de laboratorio privado a cargo del uso del microscopio electrónico de barrido, en cuanto a las colocación, posición y distancia del bracket en el dispositivo para realizar la toma de un área en la ranura del bracket; sin embargo, este profesional será quien manobra dicho microscopio, procesando las imágenes para el posterior análisis. De igual forma, otro profesional será quien manobre la máquina de ensayo universal; es relevante mencionar que dicho laboratorio cuenta con las certificaciones requeridas y los equipos se encuentran calibrados.

5.2 Procedimientos de las muestras

Esta etapa se desarrollará en las instalaciones de los Laboratorios de Investigación en Salud Oral de la Facultad de Estomatología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). Se utilizará el protocolo de inmersión para las bebidas

carbonatadas Inca Kola®, Coca Cola® y saliva artificial; del protocolo adoptado por Van Keygen y Von Fraunhofer (28,29)(8,9), basado en promediar el consumo diario de refrescos en 330ml al día que equivale a un total de 60 minutos para un mes, con un tiempo de permanencia en boca de esta bebida como promedio de 5 segundos antes que se produzca el aclarado salival. Los 60 minutos que equivale al consumo de bebidas carbonatadas por un mes, se realizará en 6 días, cada día 10 min de exposición de bebidas carbonatadas, tratando de simular el consumo de las bebidas carbonatadas.

5.3 Evaluación de la rugosidad superficial

Se realizará la toma de un punto en la ranura de los brackets mediante el microscopio electrónico de barrido para luego ser procesados mediante el Software Gwyddion® y así determinar la rugosidad promedio de los brackets metálicos expuestos a bebidas carbonatadas. Esta evaluación se realiza en los diferentes tiempos.

5.4 Evaluación de la resistencia a la fricción

Para analizar la resistencia a la fricción entre brackets se utilizara la máquina de prueba universal, en una placa acrílica de $4 \times 15 \times 50$ mm se unirá los brackets con un adhesivo de cianoacrilato y alineado con un segmento de alambre redondo de acero de 0,016", con una distancia entre brackets de 7 mm. Así, las ranuras de los brackets quedan paralelas a la prueba del eje vertical de la máquina. El alambre se desplazará a lo largo del bracket a una velocidad de 5 mm/min durante 1 minuto. Los niveles de fuerza se registrarán mediante una celda de carga de 10 Newton. La

fuerza de rozamiento se calculará a partir del valor medio de las fuerzas registradas en milímetros entre el primer y el quinto milímetro de desplazamiento, sin tener en cuenta el rozamiento estático inicial, medido en Newton (N). Esta evaluación se realiza en los diferentes tiempos. Toda la información, se registrará en una ficha de recolección de datos (Anexo 2).

6. Plan de análisis

Los datos recolectados se recopilarán y tabularan con el programa Microsoft Excel 2013 y se analizaran en el programa STATA versión 17.0; el estudio tendrá un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia menor a 0.05. Luego se procederá a describir los valores mediante promedios y desviación estándar; luego la comparación de grupos será mediante la prueba de ANOVA, seguido de la prueba post hoc de Tukey ($p < 0.05$), siempre y cuando la normalidad sea establecida mediante la prueba de Shapiro Wilks, caso contrario será Kruskal Wallis y U de Mann Whitney para la comparación de pares.

7. Aspectos éticos

El presente proyecto de investigación es un estudio in vitro, por lo que se puede optar por la exoneración por parte del Comité Institucional de Ética de la UPCH; sin embargo, se requiere la aprobación de la Dirección Universitaria de Asuntos Regulatorios de la Investigación (DUARI) de la UPCH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Shahi S, Özcan M, Maleki Dizaj S, et al. A review on potential toxicity of dental material and screening their biocompatibility. *Toxicol Mech Methods*. 2019; 29(5):368-77.
2. Chaturvedi TP, Upadhayay SN. An overview of orthodontic material degradation in oral cavity. *Indian J Dent Res*. 2010; 21:275-84.
3. Mau-Chin Lin, Sheng-Chieh Lin, Tzu-Hsin Lee, Her-Hsiung Huang. Análisis de Superficie y Resistencia a la Corrosión de Diferentes Brackets de Ortodoncia de Acero Inoxidable en Saliva Artificial. *Angle Orthod*. 2006; 76 (2): 322–329. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2006\)076\[0322:SAACRO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2006)076[0322:SAACRO]2.0.CO;2)
4. Chia-Tze Kao, Tsui Hsien Huang. Variaciones en las características superficiales y comportamiento frente a la corrosión de brackets metálicos y alambres en diferentes soluciones electrolíticas. *European Journal of Orthodontics*. 2010; 32(5): 555–560, <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp146>
5. Nahla Elhelbawy, Mohamed Ellaithy. Evaluación comparativa de alambres y brackets de acero inoxidable recubiertos con nanopartículas de quitosano u óxido de zinc por fricción: un estudio in vitro. *Ortodoncia Internacional*. 2021; 19(2) 274-280 <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2021.01.009>
6. Cash A, Curtis R, Garrigia-Majo D, McDonald F. A comparative study of the static and kinetic frictional resistance of titanium molybdenum alloy archwires in stainless Steel brackets. *Eur J Orthod*. 2004; 26:105–11.
7. Burrow S. Friction and resistance to sliding in orthodontics: a critical review. *Am J of Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 35:442–7

8. Rossouw P, Kamelchuk L, Kusy R. A fundamental review of variables associated with low velocity frictional dynamics. *Semi Orthod.* 2003; 9:223–35.
9. Moore M, Harrington E, Rock W. Factors affecting friction in the preadjusted appliance. *Eur J Orthod.* 2004; 26:579–83.
10. Wichelhaus A, Eichenberg T, Gruber P, Bamidis EP, Stocker T. Friction Force Adjustment by an Innovative Covering System Applied with Superelastic NiTi Brackets and Wires-An In-Vitro Study. *Materials (Basel).* 2022; 15;15(12):4248. doi: 10.3390/ma15124248. PMID: 35744316; PMCID: PMC9230937.
11. Proski R, Bagby M, Erickson L. Static frictional force and surface roughness of NiTi arch wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1991; 100:341–8.
12. Savoldi F, Papoutsi A, Dianiskova S, Dalessandri D, Bonetti S, Tsoi JKH, et al. Resistance to sliding in orthodontics: misconception or method error?. A systematic review and a proposal of a test protocol. *Korean J Orthod* 2018; 48:268–80.
13. Lalithapriya S, Kumaran NK, Rajasigamani K. Evaluación in vitro de la competencia para diferentes brackets linguales en la mecánica de deslizamiento. *J Ortodoncia Sci* 2015; 4: 19-25)
14. Zeinab B, Shahla M, Ali R, Vahid M, Ahmad R. Evaluation of the Corrosion of Five Different Bracket - Archwire Combination: An In-vitro Analysis Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *J Dent Shiraz.*2016; 17(3):262-7.
15. Siargos B, Bradley TG, Darabara M, Papadimitriou G, Zinelis S. Galvanic corrosion of metal injection molded (MIM) and conventional brackets with nickel-titanium and copper-nickel-titanium archwires. *Angle Orthod.* 2007; 77:355–60.
16. Doomen RA, Nedeljkovic I, Kuitert RB, Kleverlaan CJ, Aydin B. Corrosion of orthodontic brackets: qualitative and quantitative surface analysis. *Angle Orthod.*

2022; 92(5):661-68.

17. Datum. Responsabilidad social: Un nuevo factor con incidencia en las decisiones de compra del consumidor peruano. (Consultado el 17 de julio de 2023).

Disponible en URL: http://www.datum.com.pe/new_web_files/files/pdf/x2.pdf

18. Reshma M, Ravindra KJ. An in vitro comparative evaluation of surface roughness characteristics of different orthodontic archwires: An atomic force microscopy study. *Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2022; 16(2):91-4.

19. Van Eygen I, Vannet BV, Wehrbein H. Influence of a soft drink with low pH on enamel surfaces: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005; 128(3):372-7.

20. Von Fraunhofer JA, Rogers MM. Dissolution of dental enamel in soft drinks. *Gen Dent*. 2004; 52(4):308-12.

PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

Presupuesto

Concepto	Cantidad	Precio unidad (S/.)	Precio total (S/.)
Brackets (American Orthodontic, 3M Unitek, Morelli y Azdent)	8	S/ 500.00	S/ 4 000.00
Bebidas carbonatadas (Inca Kola®, Coca Cola®)	24	S/ 3.00	S/ 72.00
Saliva artificial	2 litros	S/ 400.00	S/ 800.00
Horno para secado y almacenado de los especímenes	01	S/ 200.00	S/ 200.00
Microscopio electrónico de barrido	01	S/ 2000.00	S/ 2000.00
Máquina universal	01	S/ 1500.00	S/ 1500.00
Pasajes y viáticos	01	S/ 500.00	S/ 500.00
Total (S/.)			S/ 9072.00

Cronograma

Actividades	Septiembre 2023	Octubre 2023	Noviembre 2023	Diciembre 2023
Presentación del protocolo	X			
Aceptación del protocolo	X			
Recojo de datos		X		
Procesamiento de datos		X		
Análisis de los resultados			X	
Informe final			X	
Presentación de resultados				X

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo	Categoría Escala	Valor
Marca de Brackets	Los brackets metálicos son aleaciones de acero inoxidable que están formados por dos partes: la base y las aletas, están compuestos generalmente de cromo, níquel y en diferentes proporciones cobre, hierro, manganeso, silicio, molibdeno, titanio, según la AIIS	Los brackets contiene 17% a 22% de Cromo, 8% a 12% de Níquel y en diferentes proporciones carbono, manganeso, sílice, molibdeno, titanio, según la AIIS	Cualitativa	Politómica Nominal	1: AO® (Bracket American Orthodontic) 2: 3M® (Bracket 3M) 3: MO® (Bracket Morelli) 4: AD® (Bracket Azdent)
Sustancias de inmersión	Solución que puede o no producir cambios en la corrosión de los brackets.	Sustancias a las cuales serán expuestos los brackets metálicos.	Cualitativa	Politómica Nominal	1: Inka Cola® 2: Coca Cola® 3: Saliva artificial (control)
Fricción	La fricción es una fuerza tangencial sobre una superficie que se opone al deslizamiento de un objeto a través de una superficie adyacente con la que está en contacto. La fuerza de fricción es paralela a la superficie y opuesta, en sentido,	La fricción es la fuerza de resistencia entre dos superficies (la ranura de un brackets y el arco de alambre) que se oponen al movimiento, en la misma dirección pero en sentido opuesto	Cuantitativa	Continua De razón	Cn (centi-Newtons)

	a su movimiento.				
Rugosidad	La rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee una superficie. La mayor o menor rugosidad de una superficie depende de su acabado superficial. Este, permite definir la microgeometría de las superficies para hacerlas válidas para la función para la que hayan sido realizadas.	Medida empleada para caracterizar la textura de la superficie. La rugosidad evalúa las pequeñas desviaciones verticales de la superficie nominal que vienen normalmente determinadas por las características del material, el proceso de transformado de la pieza o las aportadas por el propio recubrimiento.	Cuantitativa	Continua De razón	um (Nanómetros)
Periodo de evaluación	Intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo.	Período en el que transcurre cada toma de datos en el estudio.	Cualitativa	Politémica Nominal	1: T0 inicial 2: T1 1er día 3: T2 3er día 4: T3 6to día.

Anexo 2. Ficha de recolección de datos

Código	Marca de Brackets	Sustancias de inmersión	Fricción	Rugosidad	Periodo de evaluación

III. CONCLUSIONES

Del presente trabajo de investigación se concluye que:

- El Sílabo es un instrumento muy importante que orienta tanto al docente como al estudiante en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- El análisis crítico de literatura del artículo de revisión ha sido de gran importancia ya que nos permite evaluar críticamente la calidad del artículo y demostrar que el autor ha investigado ampliamente la literatura.
- El proyecto de investigación permitirá al Ortodoncista elegir el juego de bracket metálico ideal con tendencias mínimas de rugosidad y menor fricción.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Shahi S, Özcan M, Maleki Dizaj S, et al. A review on potential toxicity of dental material and screening their biocompatibility. *Toxicol Mech Methods*. 2019; 29(5):368-77.
2. Chaturvedi TP, Upadhayay SN. An overview of orthodontic material degradation in oral cavity. *Indian J Dent Res*. 2010; 21:275-84.
3. Mau-Chin Lin, Sheng-Chieh Lin, Tzu-Hsin Lee, Her-Hsiung Huang. Análisis de Superficie y Resistencia a la Corrosión de Diferentes Brackets de Ortodoncia de Acero Inoxidable en Saliva Artificial. *Angle Orthod*. 2006; 76 (2): 322–329. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2006\)076\[0322:SAACRO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2006)076[0322:SAACRO]2.0.CO;2)
4. Chia-Tze Kao, Tsui Hsien Huang. Variaciones en las características superficiales y comportamiento frente a la corrosión de brackets metálicos y alambres en diferentes soluciones electrolíticas. *European Journal of Orthodontics*. 2010; 32(5): 555–560, <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp146>
5. Nahla Elhelbawy, Mohamed Ellaitly. Evaluación comparativa de alambres y brackets de acero inoxidable recubiertos con nanopartículas de quitosano u óxido de zinc por fricción: un estudio in vitro. *Ortodoncia Internacional*. 2021; 19(2) 274-280 <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2021.01.009>
6. Cash A, Curtis R, Garrigia-Majo D, McDonald F. A comparative study of the static and kinetic frictional resistance of titanium molybdenum alloy archwires in stainless Steel brackets. *Eur J Orthod*. 2004; 26:105–11.
7. Iwasaki L, Beatty M, Nickel J. Friction and orthodontic mechanics: clinical studies of moment and ligation effects. *Semin Orthod*. 2003; 9:290–7.

8. Kusy R, Whitley J, Mayhew M, Buckthal J. Surface roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. *Angle Orthod* 1988; 8:33–45.
9. Burrow S. Friction and resistance to sliding in orthodontics: a critical review. *Am J of Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 35:442–7
10. Rossouw P, Kamelchuk L, Kusy R. A fundamental review of variables associated with low velocity frictional dynamics. *Semi Orthod*. 2003; 9:223–35.
11. Moore M, Harrington E, Rock W. Factors affecting friction in the preadjusted appliance. *Eur J Orthod*. 2004; 26:579–83.
12. Wichelhaus A, Eichenberg T, Gruber P, Bamidis EP, Stocker T. Friction Force Adjustment by an Innovative Covering System Applied with Superelastic NiTi Brackets and Wires-An In-Vitro Study. *Materials (Basel)*. 2022; 15;15(12):4248. doi: 10.3390/ma15124248. PMID: 35744316; PMCID: PMC9230937.
13. Proski R, Bagby M, Erickson L. Static frictional force and surface roughness of NiTi arch wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1991; 100:341–8.
14. Savoldi F, Papoutsi A, Dianiskova S, Dalessandri D, Bonetti S, Tsoi JKH, et al. Resistance to sliding in orthodontics: misconception or method error?. A systematic review and a proposal of a test protocol. *Korean J Orthod* 2018; 48:268–80.
15. Mohan R, Jain RK An in vitro comparative evaluation of surface roughness characteristics of different orthodontic archwires: An atomic force microscopy study. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects* 2022 16(2): 91–94.
16. Lalithapriya S, Kumaran NK, Rajasigamani K. Evaluación in vitro de la competencia para diferentes brackets linguales en la mecánica de deslizamiento. *J Ortodoncia Sci* 2015; 4: 19-25)

17. Zeinab B, Shahla M, Ali R, Vahid M, Ahmad R. Evaluation of the Corrosion of Five Different Bracket - Archwire Combination: An In-vitro Analysis Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *J Dent Shiraz*.2016; 17(3):262-7.
18. Siargos B, Bradley TG, Darabara M, Papadimitriou G, Zinelis S. Galvanic corrosion of metal injection molded (MIM) and conventional brackets withnickel-titanium and copper-nickel-titanium archwires. *Angle Orthod*. 2007; 77:355–60.
19. Doomen RA, Nedeljkovic I, Kuitert RB, Kleverlaan CJ, Aydin B. Corrosion of orthodontic brackets: qualitative and quantitative surface analysis. *Angle Orthod*. 2022; 92(5):661-68.
20. Datum. Responsabilidad social: Un nuevo factor con incidencia en las decisiones de compra del consumidor peruano. (Consultado el 17 de julio de 2023). Disponible en URL: http://www.datum.com.pe/new_web_files/files/pdf/x2.pdf
21. Reshma M, Ravindra KJ. An in vitro comparative evaluation of surface roughness characteristics of different orthodontic archwires: An atomic force microscopy study. *Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2022; 16(2):91-4.
22. Van Eygen I, Vannet BV, Wehrbein H. Influence of a soft drink with low pH on enamel surfaces: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005; 128(3):372-7.
23. Von Fraunhofer JA, Rogers MM. Dissolution of dental enamel in soft drinks. *Gen Dent*. 2004; 52(4):308-12.
24. Doomen RA, Nedeljkovic I, Kuitert RB, Kleverlaan CJ, Aydin B. Corrosion of orthodontic brackets: qualitative and quantitative surface analysis [published online ahead of print, 2022 May 23]. *Angle Orthod*. 2022;92(5):661-668. doi:10.2319/072321-584.1
25. Zurita M. Coca-Cola: ¿Cómo la empresa logra crecer en Perú en medio del aumento de la inflación? [fecha de acceso 25 de octubre del 2022] URL disponible

en: <https://forbes.pe/negocios/2022-09-06/coca-cola-como-logra-crecer-aceleradamente-la-marca-peru-en-medio-del-alza-de-la-inflacion/>

26. Rongo R, Valletta R, Bucci R, Rivieccio V, Galeotti A, Michelotti A, et al. In vitro biocompatibility of nickel-titanium esthetic orthodontic archwires. *Angle Orthod* [Internet]. 2016 [citado el 25 de octubre de 2022];86(5):789–95. Disponible en: <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/86/5/789/59327/In-vitro-biocompatibility-of-nickel-titanium>

27. Reshma Mohan, Ravindra Kumar Jain. An in vitro comparative evaluation of surface roughness characteristics of different orthodontic archwires: An atomic force microscopy study. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 2022, 16(2), 91-94 doi: 10.34172/joddd.2022.015 <https://joddd.tbzmed.ac.ir>

28. Shruthi DP, Patil GS, Prithviraj DR. Comparative Evaluation of Ion Release in Bonded and Nonbonded Stainless Steel Brackets with Use of Different Mouthwashes: An In vitro Study. *Contemp Clin Dent*. 2020;11(1):15-9.

29. Shahi S, Özcan M, Maleki Dizaj S, et al. A review on potential toxicity of dental material and screening their biocompatibility. *Toxicol Mech Methods*. 2019;29(5):368-77.

30. Wendl B, et al. Metal release profiles of orthodontic bands, brackets, and wires: an in vitro study. *Schwermetallfreisetzungsprofile aus kieferorthopädischen Bändern Brackets und Drähten: Eine In-vitro-Untersuchung*. *J Orofac Orthop*. 2017;78(6):494-503.

31. Wendl B, Wiltsche H, Lankmayr E, et al. Metal release profiles of orthodontic bands, brackets, and wires: an in vitro study. *Schwermetallfreisetzungsprofile aus kieferorthopädischen Bändern Brackets und Drähten: Eine In-vitro-Untersuchung*. *J Orofac Orthop*. 2017;78(6):494-503. doi:10.1007/s00056-017-0107-z

32. Do-Yoon Kima, Bum-Soon Limb, Seung-Hak Baeka. Frictional property comparisons of conventional and self-ligating lingual brackets according to tooth displacement during initial leveling and alignment: an in vitro mechanical study. *Korean J Orthod* 2016;46(2):87-95

33. Krithikadatta J, Gopikrishna V, Datta M. CRIS Guidelines (Checklist for Reporting In-vitro Studies): A concept note on the need for standardized guidelines

for improving quality and transparency in reporting in-vitro studies in experimental dental research. *J Conserv Dent.* 2014;17(4):301–304.

34. Downes MJ, Brennan ML, Williams HC, et al. Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). *BMJ Open* 2016;6:e011458.

35. Plaza-Ruiz SP. Estudios transversales analíticos. En: Barbosa-Liz DM, Pineda-Vélez EL, Agudelo-Suárez AA. *Odontología basada en la evidencia: de la teoría a la práctica.* Medellín: Corporación para Investigaciones Biológicas; 2020.

An in vitro comparative evaluation of surface roughness characteristics of different orthodontic archwires: An atomic force microscopy study

Reshma Mohan, Ravindra Kumar Jain^{*✉}

Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopaedics, Saveetha Dental College and Hospital, Saveetha Institute of Medical and Technical Sciences, Saveetha University, Tamil Nadu, India

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 28 July 2021
Accepted: 1 Feb. 2022
Published: 15 Oct. 2022

Keywords:

Atomic force microscopy
Orthodontic archwire
SmartArch wire
Surface roughness
Surface treatment

Abstract

Background. The present study evaluated and compared the surface roughness (SR) of five different types of orthodontic archwires made by two different manufacturers.

Methods. In this in vitro study, 10 samples of five different archwires comprising of three types of shape memory wires, SmartArch (Ormco), Damon (Ormco), Heat-activated NITI (HANT) G&H Orthodontics), Stainless Steel wire (SS) (Ormco), and conventional NITI G&H Orthodontics) were examined by atomic force microscopy (AFM). The processing of 3D images was carried out using Wydillon software, from which the root mean square (rms), the roughness average (Ra), and the maximum height (mh) of the scanned surface profile were documented. The data were analyzed with one-way ANOVA followed by post hoc Tukey tests for in-group comparisons.

Results. The mean SR of SS wires was the least (Ra=8.70±0.17), followed by NITI wires (10.29±2.00) with a significant difference between them (P<0.05). Among the three shape-memory wires, the HANT wires had the least SR (Ra=22.97±16.56) compared to SmartArch wires (Ra=25.55±3.78) and Damon wires (Ra=25.67±4.54), but the difference was not significant (P>0.05).

Conclusion. The SS wires by Ormco had the least SR followed by G&H orthodontics NITI wires. The three different shape-memory wires tested had no significant difference in SR values.

Introduction

Several properties explored in the search for an ideal archwire in orthodontics include biostability, friction, formability, weldability, resilience, and spring-back.¹ Of late, a variety of alloys for orthodontic archwires have been introduced due to the groundbreaking research work carried out in orthodontic materials. The orthodontist can now choose an ideal wire for the necessary clinical condition. The surface roughness (SR) of archwires determines the surface area in contact and can affect the frictional characteristics, corrosion behavior, and biocompatibility.² Studies have shown that all these properties influence the clinical performance of orthodontic archwires.³ Furthermore, surface topography can critically alter the frictional characteristics and corrosion resistance, affecting the efficiency of archwires.⁴ SR can also influence plaque accumulation and this, in turn, has an essential role in other properties previously described.⁵ Archwires used for orthodontic treatment are subjected to various mechanical, chemical, and thermal stresses in the patient's mouth and the surface topography of the wire can influence wires.

SR analysis of different archwires is important for evaluating archwire performance. Previously, SR

evaluation was performed with surface profilometry,² where a thin tip is employed in a single line of a selected area to scan the surface topography. The disadvantage of this method was that measuring surface defects near the scan line was difficult. Also, profilometry is a more invasive technique that could deteriorate the surface while scanning. The demand for non-invasive techniques leads to the introduction of new analysis methods, such as optical methods⁶ and the scanning tunneling microscope method.⁶ With these techniques, it became possible to perform a surface analysis on preselected areas of archwires without directly interacting with them. Scanning probe microscopy involves the following types: the atomic force microscope (AFM),⁷ scanning tunneling microscopes, and the magnetic force microscope. As the AFM can provide 3D images of surface morphology with high resolution, it is considered the most suitable tool for quantifying surface topography.^{2,8,9} It belongs to a class of tools that use a scanning probe that uses the interatomic interactions to acquire information on the detected surfaces using sensors.^{8,10,11} These sensors consist of sharp points that interact with the specimen surface. In addition to obtaining 3D images in the AFM technique, 2D images are also prepared simultaneously, and the samples can be

*Corresponding author: Ravindra Kumar Jain, Email: ravindrakumar@saveetha.com

© 2022 The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

re-assessed without being destroyed.² The main drawback of AFM is the small scan size and slow scanning speed, which often impedes the complete evaluation of the sample.

This study aimed to measure and compare the surface topography of five different archwires by two different manufacturers using AFM.

Materials and Methods

Five different rectangular cross-sections of orthodontic archwires were considered for this study: SmartArch wires (Ormco), Damon wires (Ormco), HANT wires (G&H Orthodontics), NITI wires (G&H Orthodontics), and SS wires (Ormco). Ten samples from each wire group were used. From the ten samples, 5 mm of wire was cut from the end of the archwires. These were viewed under the AFM under ambient conditions.

The samples were tested using atomic force microscopy at the Department of Metallurgical and Materials Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai. The Department is equipped with a Digital Instruments Dimension™ 3100 Atomic Force Microscope, which is used for surface profiling with high resolution at the Angstrom level.

A metal holder with cyanoacrylate glue was used to attach the samples. Five areas of the archwire surface were randomly selected and assessed for each sample. The Gwyddion software was used to process the 3D images. The average surface roughness (Ra), the root mean square (rms), and the maximum height (mh) were the parameters assessed by the software. The arithmetic mean of absolute values and root mean square of the scanned surface were represented by Ra and rms, respectively, whereas mh represented the maximum height of the surface profile peak.

Statistical tests were performed using SPSS 23.0.0. Descriptive statistics were used along with one-way ANOVA, followed by post hoc Tukey tests, to compare the surface characteristics of the different orthodontic archwires.

Results

In all the wires tested, many topographic irregularities were reported. The 3-D AFM topography images of all the tested wires were assessed (Figure 1). The two-dimensional images were also analyzed to evaluate the nanodomain dimensions. Table 1 depicts the means and standard deviations of the three roughness parameters used to analyze the surface topography of each archwire quantitatively.

Table 2 presents the results of ANOVA for statistical comparison of differences in surface topography parameters between the different archwires. Among the five archwires, the least SR was reported in SS wires (Ra = 8.69 ± 0.18), followed by conventional NITI wires (Ra = 10.29 ± 2.12), HANT wires (Ra = 22.97 ± 16.55), SmartArch wires (Ra = 25.55 ± 3.78), and Damon wires

Table 1. Means and standard deviations of the surface roughness average (Ra), the root mean square (rms), and the maximum height (mh)

Archwires	Ra, Mean ± SD	rms, Mean ± S.D	mh, Mean ± SD
HANT wire	22.97 ± 16.55	20.31 ± 6.38	286.68 ± 64.57
Damon Q wire	25.67 ± 4.54	34.31 ± 8.72	258.16 ± 63.39
SmartArch wire	25.55 ± 3.78	32.25 ± 5.04	346.53 ± 89.41
Stainless steel wire	8.69 ± 0.18	14.49 ± 1.61	208.41 ± 57.42
NITI wire	10.29 ± 2.12	15.99 ± 3.50	171.16 ± 35.73

Table 2. P values from statistical analysis of archwire roughness parameters (ANOVA with post hoc Tukey tests)

Tukey multiple comparison tests	Ra	rms	mh
HANT wire vs. Damon wires	ns	***	ns
HANT wires vs. SmartArch wires	ns	***	ns
HANT wires vs. NITI wires	**	ns	*
HANT wires vs. Stainless steel wires	**	ns	ns
Damon wires vs. SmartArch wires	ns	ns	**
Damon Wires vs. NITI wires	***	***	*
Damon wires vs. Stainless steel wires	***	***	ns
SmartArch wires vs. NITI wires	***	***	***
SmartArch wires vs. Stainless steel wires	***	***	***
NITI wires vs. Stainless Steel wires	ns	ns	ns

ns indicates not significant.

*P < 0.05; **P < 0.01; and ***P < 0.001 indicate statistically significant differences between the two archwires.

(Ra = 25.67 ± 4.54), with significant differences between them (P < 0.05).

Among the NITI wires, conventional NITI wire exhibited the least SR, and the difference in SR was significant between them (P < 0.05). Among the shape memory wires, the HANT wires exhibited the least SR, but the difference was not significant (P > 0.05).

Discussion

In the present study, SS wires exhibited the least SR compared to NITI and shape-memory wires. Among the CuNITI archwires, the heat-activated NITI exhibited the least roughness characteristics. However, this was not statistically significant. Various studies have compared the SR of NITI and NITI-coated wires and TMA and TMA-coated wires, etc. However, fewer studies have compared the surface topography of shape memory wires with NITI and SS wires.

Stainless steel exhibited the least SR in the present study. D'Antò et al⁹ compared four nickel-titanium wires, three beta-titanium wires, and one stainless steel wire using AFM technology. Youstf and Abd El-Karim¹² compared stainless steel (SS), titanium molybdenum alloy (TMA), nitinol (NITI), and copper NITI wires. Both studies demonstrated that stainless steel wires had the lowest SR, frictional coefficient, and sliding resistance. Bourauel et al² compared 11 NITI wires, and Prosocki et al¹¹ compared 9 NITI wires with one SS wire and one beta-titanium wire. The authors in both studies noted that the SS wire had the smoothest surface. Additionally, Shin et al¹⁴ compared

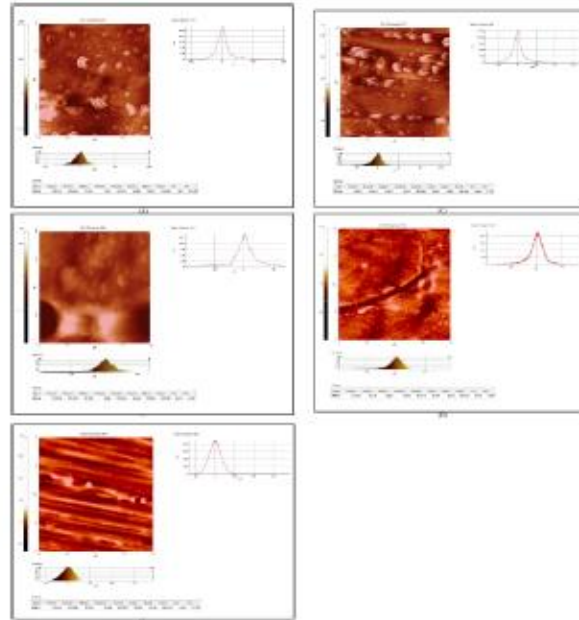


Figure 1. Representative three-dimensional AFM topography images of the eight samples of orthodontic archwires: (A) SmartArch wire, (B) Damon wire, (C) Heat-Activated NiTi, (D) Stainless Steel wire, and (E) NiTi wire.

NiTi and SS wires and reported that SS wires were smoother. Amint et al¹⁶ also observed similar results, but this was not statistically significant. However, they also reported that the NiTi wire of American Orthodontics was smoother than the SS wire, which could be attributed to random sampling methods. Also, the selected parts may have been compromised during manufacturing processes or delivery.

In the current study, the surface topographic characteristics of archwires were analyzed using AFM. AFM is a non-invasive method compared to surface profilometry and an established method; hence, we used it in our study. Yousif and Abd El-Karim¹² studied the comparison of SR of orthodontic archwires obtained using AFM and digital optical microscopy, reporting no significant difference between the values obtained from these methods, indicating that both methods are effective in determining the SR of archwires.

According to the Amontons-Coulomb Law (the first law of friction), the frictional coefficient of an archwire depends on the wire roughness and its physical characteristics.¹⁶ The frictional force between brackets and wires is an unfavorable factor that can influence the tooth movement during sliding mechanics. Several studies^{17,18} reported a correlation between SR and friction. However, the orthodontic movement of teeth is an intricate process

associated with several important factors. The production technique is one of the important factors affecting archwires' surface topography.⁹ It has been observed that the SR of a group of wires produced by the same manufacturer is almost the same in the given wires. Other factors that could influence the surface characteristics of a wire can be the materials used, the coatings used, and the manufacturing technique.^{19,20}

Conclusion

Within the limitations of the study, it was found that the surface quality of stainless steel wire was less rough compared to the other wires. All the tested shape-memory wires exhibited similar SR. Apart from influencing the effectiveness of sliding mechanics, the SR could also affect the corrosion nature and the appeal of orthodontic components. Hence, the surface quality of the orthodontic archwires should be enhanced during the manufacturing process.

Acknowledgments

We would like to express our sincere gratitude to our research supervisor Dr. Ravindra Kumar Jain, associate professor, Department of Orthodontics, Savitri Dental College and Hospitals, Chennai, for his guidance and encouragement with our work in all stages. We would also like to acknowledge Dr. Chirag Chauhan for his contribution to this study.

Authors' Contributions

Both authors have equally contributed to the design, conception, and preparation of this research.

Funding

No funding.

Ethics Approval

This study was approved by the Scientific Review Board of Saveetha Dental College with the ethical clearance number IHEC/SDC/ORTHO-1903/21/171.

Competing Interests

No conflicts of interest.

References

1. Kusy RP, Whitley JQ. Friction between different wire-bracket configurations and materials. *Semin Orthod.* 1997;3(3):166-77. doi: 10.1016/S1073-8746(97)80067-9.
2. Bourauel C, Fries T, Drescher D, Pletsch R. Surface roughness of orthodontic wires via atomic force microscopy, laser specular reflectance, and profilometry. *Eur J Orthod.* 1998;20(1):79-92. doi: 10.1093/ejo/20.1.79.
3. Wichelhaus A, Geserick M, Hübner R, Sander FG. The effect of surface treatment and clinical use on friction in NiTi orthodontic wires. *Dent Mater.* 2005;21(10):938-45. doi: 10.1016/j.dental.2004.11.011.
4. Whitley JQ, Kusy RP, Mayhew MJ, Buckthal JE. Surface roughness of stainless steel and electroformed nickel standards using a HeNe laser. *Opt Laser Technol.* 1987;19(4):189-96. doi: 10.1016/0030-3992(87)90065-x.
5. Vorburger TV, Teague EC. Optical techniques for on-line measurement of surface topography. *Prects Eng.* 1981;3(2):61-83. doi: 10.1016/0141-6359(81)90038-6.
6. Binnig G, Rohrer H, Gerber C, Weibel E. Tunneling through a controllable vacuum gap. *Appl Phys Lett.* 1982;40(2):178-80. doi: 10.1063/1.92999.
7. Binnig G, Quate CF, Gerber C. Atomic force microscope. *Phys Rev Lett.* 1986;56(9):930-3. doi: 10.1103/PhysRevLett.56.930.
8. D'Amò V, Rongo R, Ametrano G, Spagnuolo G, Manzo P, Martina R, et al. Evaluation of surface roughness of orthodontic wires by means of atomic force microscopy. *Angle Orthod.* 2012;82(5):922-8. doi: 10.2319/100211-620.1.
9. Wennerberg A, Ohlsson R, Rosén BG, Andersson B. Characterizing three-dimensional topography of engineering and biomaterial surfaces by confocal laser scanning and stylus techniques. *Med Eng Phys.* 1996;18(7):548-56. doi: 10.1016/1350-4533(95)00005-4.
10. Kakaboura A, Fragouli M, Rahiotis C, Siflikas N. Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter. *J Mater Sci Mater Med.* 2007;18(1):155-63. doi: 10.1007/s10856-006-0675-8.
11. Lee CJ, Park KH, Park YG, Park HK. A quantitative AFM analysis of nano-scale surface roughness in various orthodontic brackets. *Micron.* 2010;41(7):775-82. doi: 10.1016/j.micron.2010.05.013.
12. Yousef AA, Abd El-Karim UM. Microscopic study of surface roughness of four orthodontic arch wires. *Tanta Dent J.* 2016;13(4):199-207. doi: 10.4103/1687-8574.195714.
13. Prosski RR, Bagby MD, Erickson LC. Static frictional force and surface roughness of nickel-titanium arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;100(4):341-8. doi: 10.1016/0889-5406(91)70072-5.
14. Shin JS, Oh KT, Hwang CJ. In vitro surface corrosion of stainless steel and NiTi orthodontic appliances. *Aust Orthod J.* 2003;19(1):13-8.
15. Amini F, Rakhshan V, Poussi M, Rahimi H, Shariati M, Aghamohammadi B. Variations in surface roughness of seven orthodontic archwires: an SEM-profilometry study. *Korean J Orthod.* 2012;42(3):129-37. doi: 10.4041/kjod.2012.42.3.129.
16. Jackson G. *Book Reviews: Organizational Communication: The Essence of Effective Management.* Phillip V. Lewis. New York, NY: John Wiley & Sons, 1987. 337 pages. *J Bus Commun* (1973). 1987;24(3):66-8. doi: 10.1177/002194368702400312.
17. Tselepis M, Brockhuysen P, West VC. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;106(2):131-8. doi: 10.1016/S0889-5406(94)70030-3.
18. Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson MG Jr, Sinha P. Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997;112(2):138-44. doi: 10.1016/S0889-5406(97)70238-5.
19. Rudge P, Sherriff M, Bister D. A comparison of roughness parameters and friction coefficients of aesthetic archwires. *Eur J Orthod.* 2015;37(1):49-55. doi: 10.1093/ejo/cju004.
20. Mousavi SM, Shamoohammadi M, Rastegar Z, Skini M, Rakhshan V. Effect of esthetic coating on surface roughness of orthodontic archwires. *Int Orthod.* 2017;15(3):312-21. doi: 10.1016/j.ortho.2017.06.019.