



Facultad de Ciencias de la Salud

Posgrado de Endodoncia

Tema:

**Fatiga cíclica de sistemas reciprocantes tras su empleo en canales con curvaturas
severas, estudio in vitro**

Artículo Científico para la obtención del Título de Especialista en Endodoncia

Postulante:

Guillermo Vladimir Palacios Morales

Tutor:

Dr. Alex Sánchez

Quito, junio 2025

Resumen

La fractura de instrumentos en endodoncia al preparar canales curvados es un problema clínico frecuente, especialmente al utilizar un archivo reciprocante dentro de configuraciones geométricas complejas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es Comparar la resistencia a la fatiga cíclica de tres sistemas de limas reciprocantes: WaveOne Gold, UMG y W File, al ser sometidos a pruebas de fatiga cíclica estática en modelos tridimensionales de canales curvos de acero inoxidable. Se utilizaron 18 limas de cada sistema, cada una con una longitud de 25 mm. Las primeras nueve limas de cada marca se utilizaron en canales con un radio de curvatura de 3 mm, las siguientes nueve en canales con radio de 5 mm, manteniéndose constante el ángulo de curvatura de 60°. La instrumentación se realizó con un Motopex de Woodpecker en modo reciprocante WaveOne Gold, a 350 rpm y con ángulos de corte de 170° antihorario y 50° horario. El análisis estadístico incluyó ANOVA y las pruebas de Tukey para determinar la significancia de las diferencias en el número de ciclos hasta la fractura (NCF). Los resultados indicaron que la réplica china mostró la mayor resistencia a la fatiga cíclica en ambas configuraciones geométricas con respecto a los otros dos sistemas ($p < 0.05$), que no se diferenciaron entre sí. Se concluye que el comportamiento mecánico de los sistemas de instrumentos reciprocantes difiere entre sistemas, y la réplica china parece ser una alternativa más duradera en condiciones controladas, incluso en canales con curvas agudas.

Palabras claves: : WaveOne Gold, Réplica China, W File, NFC

Declaración de aceptación de norma ética y derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Guillermo Vladimir Palacios Morales

firma

C.I. 1722639828

Dedicatoria

A mi madre, cuyo amor incondicional, fortaleza y apoyo silencioso han sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida.

A la memoria de mi padre, cuya integridad, ejemplo y dedicación siguen iluminando mi camino desde lo eterno, y cuya presencia siento en cada logro alcanzado.

A mi esposa, por su comprensión, paciencia y fe constante en mis sueños, aun en los momentos de mayor incertidumbre.

Y a mi hijo, inspiración diaria y razón profunda para construir un futuro con esperanza, compromiso y amor.

Índice

Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Discusión	25
Conclusión.....	27

Índice de tablas

Tabla 1.....	13
Tabla 2.....	14
Tabla 3.....	16
Tabla 4.....	18
Tabla 5.....	18
Tabla 6.....	22
Tabla 7.....	23
Tabla 8.....	24
Tabla 9.....	24

Título: Fatiga cíclica de sistemas reciprocantes tras su empleo en canales con curvaturas severas, estudio in vitro

Nombres y apellidos: Odont. Guillermo Vladimir Palacios Morales

Filiación académica: Universidad Hemisferios

Correo electrónico: guio_sx@hotmail.com

Resumen

La fractura de instrumentos en endodoncia al preparar canales curvados es un problema clínico frecuente, especialmente al utilizar un archivo reciprocante dentro de configuraciones geométricas complejas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es Comparar la resistencia a la fatiga cíclica de tres sistemas de limas reciprocantes: WaveOne Gold, UMG y W File, al ser sometidos a pruebas de fatiga cíclica estática en modelos tridimensionales de canales curvos de acero inoxidable. Se utilizaron 18 limas de cada sistema, cada una con una longitud de 25 mm. Las primeras nueve limas de cada marca se utilizaron en canales con un radio de curvatura de 3 mm, las siguientes nueve en canales con radio de 5 mm, manteniéndose constante el ángulo de curvatura de 60°. La instrumentación se realizó con un Motopex de Woodpecker en modo reciprocante WaveOne Gold, a 350 rpm y con ángulos de corte de 170° antihorario y 50° horario. El análisis estadístico incluyó ANOVA y las pruebas de Tukey para determinar la significancia de las diferencias en el número de ciclos hasta la fractura (NCF). Los resultados indicaron que la réplica china mostró la mayor resistencia a la fatiga cíclica en ambas configuraciones geométricas con respecto a los otros dos sistemas ($p < 0.05$), que no se diferenciaron entre sí. Se concluye que el comportamiento mecánico de los sistemas

de instrumentos reciprocantes difiere entre sistemas, y la réplica china parece ser una alternativa más duradera en condiciones controladas, incluso en canales con curvas agudas.

Palabras claves: : WaveOne Gold, Réplica China, W File, NFC

Abstract

The fracture of instruments in endodontics when preparing curved canals is a frequent clinical problem, especially when using a reciprocating file within complex geometric configurations. Therefore, the objective of the present study is to compare the cyclic fatigue resistance of three reciprocating file systems: WaveOne Gold, UMG and W File, when subjected to static cyclic fatigue tests on three-dimensional models of curved stainless steel channels. 18 files of each system were used, each with a length of 25 mm. The first nine files of each brand were used in channels with a radius of curvature of 3 mm, the next nine in channels with a radius of 5 mm, the angle of curvature of 60° being kept constant. The instrumentation was carried out with a Woodpecker Motopex in WaveOne Gold reciprocating mode, at 350 rpm and with cutting angles of 170° counterclockwise and 50° clockwise. The statistical analysis included ANOVA and Tukey's tests to determine the significance of the differences in the number of cycles to fracture (NCF). The results indicated that the Chinese replica showed the highest resistance to cyclic fatigue in both geometric configurations with respect to the other two systems ($p < 0.05$), which did not differ from each other. It is concluded that the mechanical behavior of reciprocating instrument systems differs between systems, and the Chinese replica seems to be a more durable alternative under controlled conditions, even in channels with sharp curves.

Keywords: WaveOne Gold, Chinese Replica, W File, NFC

Introducción

Debido a que los sistemas de limas reciprocantes se utilizan con frecuencia para preparar conductos radiculares, la fatiga cíclica es esencial para la endodoncia. Estos instrumentos están diseñados para operar en canales curvados, lo que afecta la seguridad y eficacia del tratamiento, a pesar de que las curvaturas severas aumentan el riesgo de fracturas. Las aleaciones de níquel-titanio (NiTi) tratadas térmicamente aumentan la resistencia y prolongan la vida útil de las limas en condiciones mecánicas extremas.

Los conductos con curvaturas pronunciadas tienen un mayor riesgo de fracturas por fatiga cíclica, lo que requiere estudios *in vitro* para evaluar la durabilidad de los sistemas de limas en condiciones controladas. Investigaciones recientes han analizado la seguridad y eficacia de limas como WaveOne Gold, UMG y W File en conductos curvados de acero inoxidable. El sistema WaveOne Gold se destaca por su resistencia a la fatiga cíclica en conductos con curvaturas simples y dobles, como lo demuestran estos estudios (Al Obaida et al., 2019).

Este estudio tiene como objetivo evaluar el comportamiento de tres sistemas de limas reciprocantes: WaveOne Gold, UMG y W File, utilizando pruebas de fatiga cíclica estática en modelos de canales curvos tridimensionales. Se busca determinar qué sistemas son más resistentes y si hay diferencias significativas que afectan la toma de decisiones clínicas. Los sistemas tratados térmicamente, como WaveOne Gold, tienen una mayor resistencia a la fatiga cíclica, según estudios previos (Chanian et al., 2019). Esto demuestra la importancia de elegir el sistema adecuado para garantizar la seguridad en tratamientos complejos.

Problema de investigación

El análisis de la fatiga cíclica en limas reciprocantes como WaveOne Gold, UMG y W File en canales curvos severos es esencial para mejorar la seguridad y eficiencia de los tratamientos endodónticos. La fractura de instrumentos es un riesgo elevado durante la preparación del canal, especialmente en conductos con curvaturas pronunciadas. La principal causa de fractura, que generalmente se atribuye a la fatiga cíclica, son las tensiones repetitivas que enfrentan las limas en estas condiciones extremas. Por lo tanto, la correcta selección y manejo de estos instrumentos es crucial para reducir el riesgo y obtener mejores resultados clínicos.

A pesar de la popularidad de los sistemas de limas reciprocantes debido a su capacidad para aumentar la seguridad y reducir el tiempo de tratamiento, todavía hay dudas sobre las diferencias en la resistencia a la fatiga cíclica entre los diferentes sistemas. Sobotkiewicz et al. (2020), señalaron que la ubicación de la curvatura dentro del canal tiene un impacto significativo en la resistencia de las limas; las zonas coronales y medias tienen una mayor probabilidad de fracturarse que las áreas apicales. Este problema obliga a determinar cuál de estos sistemas tiene la mayor resistencia bajo condiciones extremas, lo que sigue siendo un tema importante en la práctica clínica.

A pesar de los avances tecnológicos como las aleaciones de níquel-titanio tratadas térmicamente, aún se necesita investigación para abordar las limitaciones de los sistemas actuales y mejorar su rendimiento. En condiciones de curvaturas extremas, los estudios han demostrado que los tratamientos térmicos mejoran la resistencia a la fatiga cíclica (Lall et al., 2021). Sin embargo, es necesario continuar investigando las disparidades en efectividad entre sistemas como WaveOne Gold, UMG y W File. El objetivo de este estudio es seleccionar el sistema más adecuado en la práctica clínica al comparar estos

sistemas bajo pruebas controladas y determinar si el movimiento recíprocante, como el de WaveOne Gold, es más seguro que los sistemas rotatorios convencionales (Olcay et al., 2019).

Objetivos

Objetivo general

Comparar la resistencia a la fatiga cíclica de tres sistemas de limas recíprocantes: WaveOne Gold, UMG y W File, al ser sometidos a pruebas de fatiga cíclica estática en modelos tridimensionales de canales curvos de acero inoxidable.

Objetivos Específicos:

- Evaluar la resistencia a la fatiga cíclica de cada sistema cuando se emplea en canales curvos simulados.
- Comparar la durabilidad de los instrumentos bajo condiciones de prueba sin movimiento axial.
- Determinar si existen diferencias significativas en el comportamiento mecánico entre los tres sistemas de limas en cuestión.

Justificación

La investigación sobre la fatiga cíclica en sistemas de limas recíprocantes es importante para mejorar la seguridad y eficacia de los tratamientos endodónticos, especialmente en conductos radiculares con curvaturas significativas. La fractura de los instrumentos causada por la fatiga cíclica es un riesgo importante en la práctica clínica porque compromete el éxito del tratamiento y la salud del paciente. La creciente utilización de sistemas de limas como WaveOne Gold, UMG y W File en la preparación del canal radicular enfatiza la importancia de comparar su rendimiento bajo condiciones extremas

para reducir el riesgo de fractura y mejorar la toma de decisiones clínicas. Este estudio proporcionará una base sólida para la selección de instrumentos más seguros y duraderos, lo que permitirá abordar un problema importante en la odontología.

La investigación actual ha demostrado que la resistencia de los sistemas de limas depende de varios factores, incluido el tipo de curvatura del instrumento y las características materiales del instrumento. Se han realizado estudios previos que comparan la resistencia de varios sistemas, pero aún hay poco conocimiento sobre el comportamiento particular de estas limas en condiciones de curvatura severa. Esto hace que sea necesaria una investigación más profunda que evalúe la durabilidad de WaveOne Gold, UMG y W File bajo condiciones controladas que simulen entornos clínicos reales. Por lo tanto, se busca optimizar la elección de herramientas para cada caso, lo que mejora los resultados clínicos y reduce las complicaciones durante el tratamiento.

La importancia de proporcionar evidencia científica para ayudar a los profesionales de la endodoncia a seleccionar las mejores herramientas para la preparación de conductos radiculares complejos es la base de este estudio. Se espera que brinde recomendaciones útiles para la toma de decisiones informadas en la clínica al evaluar la resistencia a la fatiga cíclica de varios sistemas de limas en condiciones severas. La mejora en la resistencia de los instrumentos aumentará la eficiencia del tratamiento, lo que beneficiará tanto a los pacientes como a los profesionales de la odontología.

Marco teórico

Fatiga cíclica en sistemas de limas NiTi

Las limas de níquel-titanio (NiTi) experimentan fatiga cíclica en la endodoncia cuando experimentan fuerzas de flexión en canales curvos. Como resultado, se forman micro fisuras en las limas, que luego se fracturan después de ciclos de carga repetidos

(Menezes y otros, 2017). La fatiga cíclica es un factor determinante en la vida útil de las limas NiTi. La fractura de una lima durante el tratamiento endodóntico puede causar complicaciones serias, como la imposibilidad de retirar el instrumento roto del canal radicular, lo que pone en riesgo el éxito del tratamiento (Silva y otros, 2016).

Diversos factores incrementan el riesgo de fatiga cíclica en limas NiTi, como el radio de curvatura del canal, el número de ciclos, la geometría de la lima y la temperatura. Las limas con tratamiento térmico, como las WaveOne Gold, presentan mayor resistencia debido a sus propiedades metalúrgicas mejoradas (Al Obaida et al., 2019), en la siguiente tabla se detalla los factores y a características.

Tabla 1. *Factores que contribuyen a la fatiga cíclica en limas de níquel-titanio*

Factor	Características metalúrgicas
Radio de curvatura del canal	Curvaturas más pequeñas generan mayor tensión y riesgo de fractura (Sobotkiewicz et al., 2020).
Ángulo de curvatura del canal	Ángulos más pronunciados aumentan el estrés y riesgo de fractura (Oh y otros, 2019).
Número de ciclos aplicados	Mayor número de ciclos incrementa las microfisuras y el riesgo de fractura (Alcalde y otros, 2017).
Geometría de la lima	La geometría debe equilibrar flexibilidad y resistencia.
Tratamientos térmicos	Mejoran la flexibilidad y resistencia, adaptándose mejor a curvaturas (Singh y otros, 2023).

Nota: Elaboración propia

Sistemas de limas reciprocantes y su evolución

Los sistemas reciprocantes utilizan movimientos de vaivén en lugar de rotación continua. Este diseño tiene como objetivo reducir el riesgo de fatiga cíclica al distribuir el estrés de manera más uniforme sobre la lima. Los sistemas rotatorios tienden a fallar más

rápido en canales con curvaturas severas debido a la acumulación de tensiones en un punto específico, mientras que los sistemas reciprocantes, como WaveOne Gold, han demostrado una mayor durabilidad en estas situaciones (Menezes y otros, 2017)

Tabla 2. *Comparación entre sistemas rotatorios y reciprocantes.*

Aspecto	Sistemas Rotatorios	Sistemas Reciprocantes
Movimiento	Rotación continua en una sola dirección.	Vaivén alternado, rotación en ambas (Faus et al., 2022).
Distribución del estrés	Estrés concentrado en áreas específicas.	Estrés distribuido de manera uniforme (Pessoa y otros, 2022).
Riesgo de fatiga cíclica	Mayor riesgo de fatiga cíclica.	Menor riesgo de fatiga cíclica (Alqahtani y otros, 2019).
Número de limas necesarias	Requiere varias limas.	Requiere una sola lima (Faus et al., 2022).
Tiempo de instrumentación	Mayor tiempo debido a múltiples limas.	Menor tiempo debido a una sola lima (Pessoa y otros, 2022).
Mantenimiento de la anatomía del canal	Menos eficiente en mantener la anatomía.	Más eficiente en mantener la anatomía (Alqahtani y otros, 2019).
Riesgo de fractura	Mayor riesgo de fractura por estrés localizado.	Menor riesgo de fractura por estrés distribuido (Alqahtani y otros, 2019).

Nota: Elaboración propia

Evolución de los sistemas de limas y su tecnología: WaveOne Gold, UMG y W File.

La evolución de las limas ha permitido desarrollar instrumentos con mayor flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica. Por ejemplo, WaveOne Gold incorpora un tratamiento térmico que mejora su rendimiento frente a la fatiga cíclica en comparación con sistemas más antiguos (Özyürek, 2016).

- **WaveOne Gold:** utiliza un tratamiento térmico especializado que mejora significativamente su flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica en comparación con sistemas anteriores como ProTaper Gold (Jaggi y otros, 2023). Este tratamiento produce una estructura cristalina más favorable en las limas de níquel-titanio (NiTi), lo que permite mayor resistencia a la fractura en canales curvos. Además, facilita la preparación del conducto radicular con menos pasos y menos extrusión de residuos apicales, reduciendo complicaciones postoperatorias. Özyürek (2016) demostró que WaveOne Gold ofrece una resistencia superior a la fatiga cíclica en comparación con WaveOne convencional y Reciproc, mientras que Silva y otro (2016) confirmaron una mayor flexibilidad en WaveOne Gold.
- **Réplica china de Wave One Gold:** Comercializada por la fábrica UMG de origen chino, es una copia de la lima Wave One gold con similitudes tanto en empaque, medidas y características, muy difíciles de diferenciar a simple vista.
- **W File:** ha demostrado ser eficiente en el corte, especialmente en preparaciones conservadoras y en la centralización del conducto radicular. Los estudios indican que W File preserva mejor la anatomía original del conducto en comparación con sistemas como WaveOne Gold, aunque este último es más agresivo en la eliminación de dentina apical (Carvalho y otros, 2021). El diseño geométrico de W File, con su perfil cónico variable, le otorga mayor estabilidad en conductos de difícil acceso, permitiendo una instrumentación rápida sin comprometer la seguridad. Aunque faltan estudios comparativos detallados, se espera que W File ofrezca una alta resistencia a la fatiga cíclica, similar a otras limas NiTi tratadas térmicamente (Carvalho y otros, 2021).

Características de las limas de níquel-titanio (NiTi)

El NiTi es conocido por su excelente flexibilidad y memoria de forma, lo que lo convierte en un material ideal para la instrumentación en endodoncia, especialmente en canales curvos. Estas propiedades permiten a las limas adaptarse a la geometría del canal sin sufrir deformaciones permanentes (Silva y otros, 2016). Los tratamientos térmicos como el M-Wire, R-Phase y Gold Wire modifican la estructura cristalina del NiTi, aumentando su flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica. WaveOne Gold, que utiliza la tecnología Gold Wire, ha mostrado una mejor resistencia en comparación con las limas sin tratamiento térmico (Singh y otros, 2023)

Factores que influyen en la fatiga cíclica de las limas reciprocantes

La forma y curvatura del canal radicular juegan un papel crucial en la fatiga cíclica. Los canales con curvaturas pronunciadas, especialmente aquellos con ángulos superiores a 60°, aumentan el riesgo de fractura en las limas NiTi (Sobotkiewicz et al., 2020)

Tabla 3. *Influencia de la geometría del canal radicular en la fatiga cíclica de las limas endodónticas*

Geometría del Canal Radicular	Descripción	Influencia en la Fatiga Cíclica
Ángulo de Curvatura	Curvas más pronunciadas aumentan el riesgo de fractura.	Mayor ángulo aumenta el estrés y reduce los ciclos antes de fracturarse (Roda y otros, 2021).
Radio de Curvatura	Radios pequeños generan mayor estrés en las limas.	Radios pequeños aumentan el riesgo de fractura en canales curvados (Uslu y otros, 2020).
Forma del Canal	Canales en "S" o con doble curvatura.	Canales con doble curvatura incrementan el riesgo antes en la zona apical (Faus et al., 2022).

Curvatura Apical vs Coronal	Distribución de la curvatura afecta zonas apical y coronal.	Las fracturas suelen ocurrir primero en las zonas apicales (Uslu y otros, 2020).
Longitud del Canal	Mayor longitud del canal implica mayor riesgo de fractura.	A mayor longitud, mayor probabilidad de fractura, especialmente en canales curvados (Faus et al., 2022).
Material del Instrumento	Limas tratadas térmicamente ofrecen mayor resistencia.	Tratamientos térmicos mejoran significativamente la resistencia a la fatiga cíclica (Jadawala y otros, 2020).

Nota: elaboración propia

Relación entre el ángulo de curvatura del canal y la resistencia de las limas: A

mayor ángulo de curvatura, mayor es la probabilidad de que las limas sufran fractura por fatiga cíclica. Las limas como Reciproc Blue y WaveOne Gold han demostrado ser más resistentes en estas condiciones (Oh y otros, 2019)

Papel del radio de curvatura en el aumento de la tensión en las limas: El radio

de curvatura también es un factor determinante; radios más pequeños incrementan la concentración de estrés en la lima, lo que acelera la aparición de fatiga cíclica. El movimiento reciprocante permite que las limas distribuyan el estrés de manera más uniforme, lo que incrementa su resistencia a la fatiga cíclica en comparación con las limas rotatorias (Alcalde y otros, 2017)

Pruebas in vitro de fatiga cíclica en limas endodónticas

Las pruebas in vitro son esenciales para comparar la resistencia de diferentes sistemas de limas. Estas pruebas generalmente involucran el uso de canales de acero inoxidable con geometrías curvas que simulan condiciones clínicas (Higuera y otros, 2015)

Tabla 4. *Metodologías para la evaluación de la fatiga cíclica.*

Metodología	Descripción	Aplicación en Evaluación de la Fatiga Cíclica
Dispositivos dinámicos de fatiga cíclica	Simulan el movimiento de las limas en conductos curvos.	Simulan movimientos repetitivos y miden el tiempo hasta la fractura (Zubizarreta y otros, 2020).
Modelos artificiales con canal doble curvado	Simulación de canales de doble curvatura para pruebas estáticas.	Evalúan la resistencia a la fatiga en escenarios clínicos simulados (Dhakshinamurthi y otros, 2023).
Análisis mediante microscopía electrónica de barrido	Evaluación fractográfica de superficies de fractura.	Determinan el mecanismo exacto de falla en la fatiga cíclica (Faus et al., 2022).
Simulación mediante elementos finitos	Simulaciones para predecir la vida útil de las limas en canales curvos.	Predicen la vida útil bajo torsión o flexión en entornos controlados.
Modelos anatómicos 2D y 3D	Representaciones 2D y 3D de canales radiculares basadas en imágenes.	Permiten evaluar tensiones en distintas zonas del canal (Piasecki y otros, 2020).
Dispositivos termográficos para predicción de fatiga	Evaluación del calor generado durante la prueba de fatiga.	Evaluación del estrés y fatiga acumulada en los instrumentos (Savio y otros, 2020).

Nota: elaboración propia

Modelos tridimensionales de canales curvos en pruebas in vitro.

Los modelos tridimensionales permiten una evaluación más precisa de la resistencia a la fatiga cíclica, ya que replican mejor las condiciones dentro del canal radicular en comparación con modelos bidimensionales o simples curvas (Singh y otros, 2023).

Tabla 5. *Modelos tridimensionales de canales curvos en pruebas in vitro*

Modelo	Descripción	Aplicación en la Evaluación de
---------------	--------------------	---------------------------------------

Tridimensional	la Fatiga Cíclica
Réplicas 3D anatómicas del canal radicular	Desarrollo de réplicas 3D basadas en escaneos tomográficos. Permiten evaluar tensiones y comportamiento en canales curvos complejos (Piasecki y otros, 2020).
Simulación de canales con curvatura doble (en "S")	Utilización de canales simulados con curvatura doble. Reproducen escenarios clínicos severos para evaluar resistencia en sistemas de limas (Elnaghy y otros, 2020).
Modelo dinámico tridimensional a temperatura corporal	Modelo que simula movimiento rotacional y axial a 37°C. Mayor resistencia a la fatiga bajo condiciones clínicas reales (Baird y otros, 2022).
Bloques de acero inoxidable con canales simulados 3D	Bloques de acero para pruebas en limas NiTi con curvatura extrema (90°). Permiten medir ciclos hasta fractura en condiciones clínicas extremas (Jadawala y otros, 2020).
Modelos artificiales tridimensionales en bloques de acero	Canales de acero con curvaturas simples y dobles para pruebas bajo condiciones variables. Evaluación comparativa de la fatiga en diferentes ángulos de curvatura (Dhakshinamurthi y otros, 2023).

Nota: Elaboración propia

Técnicas de simulación en canales de acero inoxidable para evaluar la resistencia de las limas.

El uso de simulaciones con canales de acero inoxidable es una técnica común para probar la resistencia de las limas. Estas simulaciones permiten estandarizar las condiciones de prueba y obtener resultados comparables entre distintos estudios (Silva y otros, 2016)

Técnica de Simulación	Descripción	Aplicación en la Evaluación de la Resistencia de las Limas
Simulación en canales	Bloques de acero con	Evalúan la resistencia en

de acero con diferentes radios y ángulos de curvatura	canales curvos para probar la resistencia a la fatiga cíclica.	condiciones de curvatura y ángulos específicos (Pedullá y otros, 2020).
Pruebas en bloques de acero con canales de doble curvatura (en forma de S)	Canales simulados de doble curvatura para pruebas en condiciones severas.	Proporcionan información sobre la resistencia en condiciones clínicas exigentes (Dawood, 2022).
Simulación de movimientos rotatorios y reciprocantes en bloques de acero	Simulación de movimientos rotatorios y reciprocantes en canales curvos.	Comparan la resistencia a la fatiga cíclica entre movimientos rotatorios y reciprocantes (Mathew y otros, 2019).
Inmersión en NaOCl a temperatura corporal en canales de acero	Canales simulados de acero con inmersión en hipoclorito de sodio para pruebas de resistencia.	Analizan cómo las soluciones irrigantes afectan la resistencia en condiciones simuladas (Abuhulaibah & AbuMostafa, 2020).
Modelos estáticos y dinámicos en acero con canales curvos	Pruebas estáticas y dinámicas de fatiga cíclica en canales curvos de acero.	Comparan los movimientos axiales dinámicos con pruebas estáticas, mostrando una visión clínica (Keleş y otros, 2019).

Metodología

El estudio es de tipo experimental in vitro porque las pruebas se realizan en un ambiente de laboratorio controlado con canales artificiales que emulan los conductos radiculares humanos. Aunque no se utiliza ningún tejido vivo o paciente, se utilizan modelos físicos que imitan la geometría de los conductos para someter las limas a movimientos rotatorios y reciprocantes hasta que se fracturen. Este tipo de investigación permite un control minucioso de las variables para lograr resultados fiables.

Este estudio experimental in vitro tiene como objetivo evaluar la resistencia a la fatiga cíclica de tres sistemas de limas reciprocantes (WaveOne Gold, UMG y W File)

cuando se utilizan en canales con curvaturas severas. El diseño replica las características anatómicas de los conductos radiculares curvados y difíciles para reproducir las condiciones clínicas de estrés mecánico a las que se someten estos instrumentos en condiciones extremas. La investigación busca obtener datos cuantitativos y representativos y comparar la durabilidad de varios sistemas en un entorno controlado.

El enfoque de este estudio es cuantitativo, ya que busca medir el número de ciclos que cada sistema de limas puede soportar antes de fracturarse en condiciones controladas. Se determinarán las diferencias significativas en la resistencia a la fatiga cíclica entre los sistemas evaluados mediante el análisis de datos estadísticos como la media y la desviación estándar. Para el análisis estadístico de los datos obtenidos en el experimento, se utilizó el Software SPSS. El análisis busca comparar el comportamiento mecánico de los seis grupos experimentales de limas endodónticas, diferenciados por tipo, marca, radio y ángulo de curvatura del canal artificial, en relación con su resistencia a la fractura de medida.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con la finalidad de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la fátiga clínica entre los diferentes grupos, luego se realizó una prueba de separación de medias aplicando la prueba Tukey considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Hallazgos

Para evaluar el comportamiento mecánico de los sistemas de archivos recíprocos en condiciones controladas, se realizó un análisis descriptivo del número de ciclos hasta la fractura (NCF). Este parámetro es un valor estimado de la resistencia a la fatiga cíclica de cada instrumento y permite algunas comparaciones preliminares entre los grupos experimentales antes de la aplicación de pruebas inferenciales.

Análisis de los grupos experimentales con limas de 25 mm en condiciones de radio de curvatura de 3mm y 60° de arco.

Durante esta etapa inicial, solo se incluyeron los grupos 1, 3 y 5. Estos corresponden a los tratamientos donde se incluyen las marcas, Wave One Gold, W FILE TDK y una réplica china (limas de 25 mm), respectivamente. Estos tres sistemas se probaron en canales artificiales con una curvatura de radio de 3 mm y 60 grados de arco. Se aseguró que las condiciones geométricas permanecieran constantes, siendo el único factor novedoso bajo consideración la marca del instrumento.

Tabla 6

Análisis de ANOVA de la variable NCF con limas de 25 mm en condiciones de radio de curvatura de 3mm y 60° de arco.

Grupo experimental	Media (NCF)	Desviación estándar	E.E	Significancia
1 Wave One Gold	3383,33	695,17	231,72	
3 W FILE TDK	3766,39	1076,60	358,86	
5 Réplica china	6230,00	1701,35	567,11	
Significancia ANOVA (P)				0,000

PROB. <0,01: Hay diferencias altamente significativas

PROB. < 0,05: Hay diferencias significativas

PROB. >0,05: No hay diferencias significativas

La réplica china presentó la media más alta (M = 6230; DE = 1701,35) después W FILE TDK (M = 3766,39; DE = 1076,60) y WaveOne Gold (M = 3383,33; DE = 695,17). Estos resultados sugieren un mejor desempeño mecánico de la réplica china en términos de resistencia a la fatiga cíclica, aunque con una mayor dispersión de los datos. Los resultados del análisis de varianza demuestran un p-valor de 0,000, lo que indica que existen diferencias altamente significativas entre los grupos.

Tabla 7*Prueba de separación de medias por Tukey*

Grupo experimental		E.E.	Sig.
Wave One Gold	W FILE TDK	1399,46	0788, a
	Réplica china		0,000 a
W FILE TDK	Wave One Gold		0,788 a
	Réplica china		0,001 a
Réplica china	Wave One Gold		0,000 b
	W FILE TDK		0,00 b

PROB. <0,01: Hay diferencias altamente significativas

PROB. < 0,05: Hay diferencias significativas

PROB. >0,05: No hay diferencias significativas

*: Letras distintas (a, b) indican diferencias significativas entre grupos según la prueba de Tukey (P <0,05)

La prueba de separación de medias por Tukey permitió identificar que al utilizar un radio de curvatura de 3 mm, se observó que Wave One Gold 3mm y W FILE TDK 3mm no presentan diferencias significativas estadísticamente, porque ambos comparten la misma letra a en la clasificación de Tukey. Sin embargo, en el caso del grupo Réplica China 3mm, se encontró que la media de NCF era considerablemente mayor, además, quedó en un subconjunto diferente (letra b), lo que significa que esos dos sistemas sí son diferentes entre sí ($p < 0.05$). Este comportamiento sugiere que la réplica china bajo condiciones de mayor exigencia geométrica (radio menor) tiene un mejor comportamiento en la resistencia a la fractura.

Análisis de los grupos experimentales con limas de 25 mm en condiciones de radio de curvatura de 5mm y 60° de arco.

Los resultados del análisis del análisis de varianza aplicados al número de ciclos hasta la fractura de tres sistemas de limas reciprocantes: Wave One Gold, W FILE TDK y una réplica china, todos evaluados bajo las mismas condiciones geométricas: limas de 25 mm empleadas en canales curvos con un radio de 5mm y un ángulo de 60°.

Tabla 8

Análisis de ANOVA de la variable NCF con limas de 25 mm en condiciones de radio de curvatura de 5mm y 60° de arco.

Grupo experimental	Media (NCF)	Desviación estándar	E. E	Sig.
2 (Wave One Gold)	6494,44	1018,17	339,39	
4 (W FILE TDK)	6793,88	2392,62	797,54	
6 (Réplica china)	10336,66	4436,06	1478,68	
Significancia ANOVA (P)				0,019

PROB. <0,01: Hay diferencias altamente significativas

PROB. < 0,05: Hay diferencias significativas

PROB. >0,05: No hay diferencias significativas

En la tabla 8 se puede observar que la media de NFF fue mayor en el grupo de la réplica china (10336,66 ciclos), seguido por W FILE TDK (6793,88 ciclos) y por Wave One Gold (6494,44 ciclos). Se identifica una desviación estándar más alta en la réplica china, lo que se relaciona con una mayor dispersión en los valores de resistencia obtenidos en ese grupo. La prueba de ANOVA refleja un p valor de 0,019 que lo indica que existen diferencias altamente significativas entre los grupos experimentales.

Tabla 9

Prueba de separación de medias por Tukey

Grupo experimental		E.E.	Sig.
Wave One Gold	W FILE TDK	1399,46	0,975 a
	Réplica china		0,029 a
W FILE TDK	Wave One Gold		0,975 a
	Réplica china		0,047 a
Réplica china	Wave One Gold		0,029 b
	W FILE TDK		0,047 b

PROB. <0,01: Hay diferencias altamente significativas

PROB. < 0,05: Hay diferencias significativas

PROB. >0,05: No hay diferencias significativas

*: Letras distintas (a, b) indican diferencias significativas entre grupos según la prueba de Tukey (P <0,05)

Las pruebas realizadas utilizando la prueba post hoc de Tukey indicaron diferencias significativas en la resistencia a la fractura (medida en número de ciclos hasta la falla) entre los grupos evaluados. En particular, Replica China mostró diferencias significativas tanto con Wave One Gold ($p = 0.029$) como con W FILE TDK ($p = 0.047$), colocándolo en un grupo diferente (letra b). En contraste, Wave One Gold y W FILE TDK no mostraron diferencias significativas entre sí ($p = 0.975$) y compartieron la misma letra (a). Estos resultados sugieren que, a un radio de curvatura de 5 mm y un ángulo de curvatura de 60° , Replica China superó significativamente a otros dos sistemas bajo las condiciones de prueba.

Discusión y conclusiones

Discusión

Mediante la prueba realizada se determina que la réplica china superó consistentemente a los sistemas originales en términos de resistencia a la fatiga cíclica, medida a través del número de ciclos hasta la fractura. Las diferencias fueron estadísticamente significativas en ambos casos, validando el comportamiento superior de réplica bajo condiciones de prueba controladas, a diferencia de las limas de marcas Wave Ine Gold y W FILE TDK mismas que mostraron un desempeño comparable entre sí, sin diferencias significativas detectadas.

Estos hallazgos se alinean parcialmente con los reportados por Pujara et al. (2024), quienes proporcionaron un análisis comparativo de la resistencia a la fatiga del WaveOne Gold Glider frente a otros sistemas, afirmando que aunque WaveOne mostró un rendimiento razonable, fue superado por sistemas concebidos utilizando materiales tratados térmicamente superiores o materiales más flexibles.

En otro estudio relevante, Lall et al. (2021) compararon WaveOne Gold y Recipro Blue bajo condiciones de canales artificiales con diferentes angulaciones. Sus resultados indicaron que WaveOne Gold tenía una menor resistencia en comparación con Recipro Blue, particularmente en canales con curvaturas agudas. Este comportamiento se alinea con nuestros resultados en los que WaveOne Gold mostró sistemáticamente el menor promedio de ciclos hasta la fractura para ambas configuraciones geométricas, lo que sugiere una menor resistencia a curvas agudas.

Por otro lado, Ragozzini et al. (2024) evaluaron la resistencia a la fatiga cíclica de WaveOne Gold en comparación con varias réplicas comerciales, incluyendo W File. Los autores informaron que WaveOne Gold, TF4-Gold y Roll-Wave-Gold mostraron una resistencia similar, mientras que los archivos W File y Micro-Gold fueron significativamente inferiores. Sin embargo, en nuestro estudio, estos resultados surgieron bajo la suposición de que la réplica china superó a los dos sistemas comerciales, lo que indicaría una diferencia importante con respecto a los proxies cualitativos utilizados o las condiciones experimentales.

A un radio de canal de 3 mm, la réplica china superó significativamente a los otros dos sistemas ($p < .05$), lo que subraya su robustez incluso en contextos geométricos más exigentes. Las tendencias persistieron en el canal con un radio de 5 mm, donde, una vez más, exhibió el mayor promedio de NCF. Este patrón consistente probablemente refleja que el material y la construcción de esta réplica podrían proporcionar mejores resultados en comparación con sus contrapartes de marcas reconocidas.

La superioridad observada en ciertas réplicas chinas de sistemas de limas endodónticas frente a marcas utilizadas se debe por la combinación de factores estructurales, metalúrgicos y de diseño. De acuerdo con Ragozzini et al. (2024) las réplicas han demostrado tener una resistencia a la fatiga cíclica comparable e incluso superior al

WaveOne Gold original. Esta resistencia se mide como el número de ciclos hasta la fractura (NFC), especialmente relevante en contextos exigentes como canales con radios de 3mm a 5mm, donde las tensiones sobre la lima son mayores. De esta manera la alta resistencia en estos contextos sugiere que estas réplicas son fabricadas con aleaciones NiTi sometidas a tratamientos térmicos optimizados, mejorando su flexibilidad sin comprometer su durabilidad mecánica.

Según lo menciona Mumcu et al. (2025), las réplicas chinas presentan una mayor agresividad de corte, removiendo más material que sus contrapartes originales sin afectar negativamente la capacidad del centrado. Es decir los filos de corte de estas limas están diseñados para mejorar la eficiencia sin comprometer la seguridad, permitiendo un trabajo más rápido y eficaz incluso en canales estrechos o calcificados.

Estas fundamentaciones permiten respaldar los resultados notándose que las réplicas chinas ofrecen ventajas mecánicas y clínicas sustanciales, debido a la combinación de diseño geométrico, control metalúrgico y estrategias de manufactura optimizadas lo que permite superar el rendimiento de las marcas originales en situaciones clínicas.

Conclusiones

Los resultados mostraron que la resistencia a la fatiga cíclica, medida en términos de número de ciclos hasta la rotura (NCF), presentó variación significativa entre los diferentes sistemas. La réplica china exhibió la mayor resistencia en ambas configuraciones geométricas (radio de curvatura de 3 mm y 5 mm con un ángulo de 60°) superando estadísticamente a WaveOne Gold y W FILE TDK. Esto implica que el sistema clonado, bajo condiciones controladas, tiene un mejor rendimiento mecánico en comparación con las tensiones repetitivas en canales curvados simulados, incluso con una mayor demanda estructural.

En un diseño de prueba estática donde se eliminó el movimiento axial, se demostró que los sistemas de limas tienen diferencias marcadas en durabilidad. La réplica china soportó un mayor número de ciclos hasta la fractura, lo que sugiere que su estructura metálica o tratamiento térmico puede conferir una ventaja en situaciones clínicas donde el estrés se concentra sin desplazamiento axial. Esto demuestra que, incluso en una situación estática, la forma en que se diseña un instrumento determina su longevidad.

Los análisis estadísticos aplicados (ANOVA y la prueba de Tukey) confirmaron la presencia de diferencias altamente significativas entre los tres sistemas de limas. Bajo ambas condiciones experimentales, WaveOne Gold y W FILE TDK no mostraron diferencias entre sí, pero sí en relación con la réplica china, que siempre se agrupa en un grupo diferente con mayores medias. Estas diferencias son indicativas de que el comportamiento mecánico no es homogéneo entre marcas y que el sistema replicado sí muestra mayor resistencia a la fatiga cíclica en condiciones de estudio.

Referencias

- Abuhulaibah, H., & AbuMostafa, A. (2020). Resistance to Cyclic Fatigue of Nickel-Titanium Files Immersed in Sodium Hypochlorite at Body Temperature. *International Journal of Dentistry*(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2020/8830163>
- Al Obaida, M., Merdad, K., Alanazi, M., Alfaraj, M., & Alkhamis, A. (2019). Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of 5 Heat-treated Nickel-titanium Reciprocating Systems in Canals with Single and Double Curvatures. *Journal of endodontics.*, *45*(10), 1237-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.06.011>.
- Alcalde, M., Tonomaru-Filho, M., & Bramante CM. (2017). Cyclic and torsional fatigue resistance of reciprocating single files manufactured by different nickel-titanium alloys. *J Endod*, *43*.
- Alqahtani, S. ., Olarinmoye, A., & Alrahlah, A. (2019). Flexural Fatigue of Unicone, Navigator Evo and Protaper Next Files in Reciprocate and Continuous Rotary Systems in Simulated Curved Canals—An In Vitro Study. *Metals* , *10*(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met10010023> .
- Baird, E., Huang, X., Liu, H., Hieawy, A., & Ruse, N. W. (2022). A novel model to evaluate the fatigue resistance of NiTi instruments: Rotational and axial movement at body temperature. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, *49*(1), 301-307. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/aej.12733>.
- Canali, L., Duque, J., & Vivan, R. (2019). Comparison of efficiency of the retreatment procedure between Wave One Gold and Wave One systems by micro-CT and confocal microscopy: an in vitro study. *Clin Oral Investig*, *23*.

- Carvalho, A., Silva, M., Rodrigues, M., Junior, E., Souza, C., Rosas, C., . . . Limoeiro, A. (2021). Evaluation of the cutting ability of two reciprocating instruments (WaveOne Gold e W-file). *Research, Society and Development.*, 10(14). <https://doi.org/https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21900>.
- Chanian, S., Suresh, N., & Velmurugan, N. K. (2019). Cyclic fatigue life assessment of a M-Wire nickel-titanium reciprocating file in a 90° canal curvature: An in vitro study. *Indian Journal of Multidisciplinary Dentistry*, 9, 27 - 31. https://doi.org/https://doi.org/10.4103/ijmd.ijmd_23_19
- Dawood, A. (2022). Evaluation of Cyclic Fatigue Resistance of Three Path Files in S-shaped Simulated Can. *Dental Journal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21608/edj.2022.150798.2187>.
- Dhakshinamurthi, B., Ashok, R., Rajendran, M., Kalaiselvam, R., Ramesh, S., & Kuzhanchinathan, M. (2023). Cyclic Fatigue Resistance of Different Glide Path Files in Simulated Double Curved Canal in Continuous Rotary Motion: An In Vitro Study. *The journal of contemporary dental practice*, 24(5), 337-341. <https://doi.org/https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3510>.
- Elnaghy, A., Elsaka, S., & Mandorah, A. (2020). In vitro comparison of cyclic fatigue resistance of TruNatomy in single and double curvature canals compared with different nickel-titanium rotary instruments. *BMC Oral Health*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12903-020-1027-7>.
- Faus, V., Faus Llacer, V., Ruiz, C., Jaramillo, S., Faus, I., Martín, B., & Zubizarreta. (2022). Effect of Rotational Speed on the Resistance of NiTi Alloy Endodontic Rotary Files to Cyclic Fatigue—An In Vitro Study. *Journal of Clinical Medicine*, 11(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jcm11113143>.

- Gharechahi, M., Khajehpour, M., Hamed, A., & Peighoun, M. (2023). Negotiability of mesiobuccal canals in maxillary first molars using different path file systems. *Dental Research Journal*, 20(1). <https://doi.org/10.4103/1735-3327.374811>.
- Gutman, J., & Gao, Y. (2012). Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. *Int Endod J*, 45:113.
- Higuera, O., Plotino, G., Tocci, L., Carrillo, G., & Gambarini, G. (2015). Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals. *Journal of endodontics*, 41(6), 913-5. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.01.023>.
- Hülsmann, M., Donnermeyer, D., & Schäfer, E. (2019). A critical appraisal of studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. *In International Endodontic Journal*, 52, 1427–1445.
- Jadawala, K., Joshi, C., Kinariwala, N., Somani, M., & Aashray, P. (2020). In vitro comparison of cyclic fatigue resistance of heat-treated rotary nickel titanium TruNatomy and ProTaper Gold with non-heat treated ProTaper Universal on simulated extremely curved root canal. *International journal of health sciences*, 6(5). <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns5.10764>.
- Jaggi, P. ., Tandale, A., Jadhao, R., Joshi, P., & Aras, S. (2023). Comparative Evaluation of Debris Extrusion, Remaining Dentin Thickness and Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Using Rotary and Reciprocating Endodontic File Systems: An In Vitro Study. *Cureus*, 15. <https://doi.org/10.7759/cureus.42290>.

- Keleş, A., Eymirli, A. U., & Nagas, E. (2019). Influence of static and dynamic cyclic fatigue tests on the lifespan of four reciprocating systems at different temperatures. *International Endodontic Journal*, 52(6), 880–886.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/iej.13073>.
- Lall, A., Saha, S., & Alageshan, V. B. (2021). A comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of Reciproc Blue, WaveOne Gold and 2Shape nickel–titanium rotary files in different artificial canals. *Endodontology*, 33(1), 1-5.
https://doi.org/https://doi.org/10.4103/endo.endo_83_19.
- Marks Duarte, P., Barcellos da Silva, P., & Alcalde, M. (2018). Canal transportation, centering ability, and cyclic fatigue promoted by Twisted File Adaptive and Navigator EVO instruments at different motions. *J Endod*, 44.
- Mathew, P. N., Angelo, J., Mathai, V., Vineet, R., & Christopher, S. (2019). A comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of FlexiCON (Edge Endo) files in rotary versus reciprocating motion at various curvatures – An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry* :, 22, 554 - 558.
https://doi.org/https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_203_19.
- Menezes, S., Batista, S., Lira, J., & Monteiro, G. (2017). Cyclic Fatigue Resistance of WaveOne Gold, ProDesign R and ProDesign Logic Files in Curved Canals In Vitro. *Endodontic Journal*, 12(4), 468 - 473.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22037/iej.v12i4.17494>.
- Oh, S., Kum, K., Kim, H., Moon, S., Kim, H., Chaniotis, A., & Perinpanayagam, H. (2019). Bending resistance and cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc Blue, and HyFlex EDM instruments. *Journal of Dental Sciences*, 15(4), 472 - 478. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jds.2019.10.003>.

- Olcay, K., Eyuboglu, T., & Erkan, E. (2019). Cyclic fatigue resistance of waveone gold, protaper next and 2shape nickel titanium rotary instruments using a reliable method for measuring temperature. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 22, 1335 - 1340. https://doi.org/https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_655_18.
- Pedullá, E., Rosa, G., Virgillito, C. R., Kim, H., & Generali, L. (2020). Cyclic Fatigue Resistance of Nickel-titanium Rotary Instruments according to the Angle of File Access and Radius of Root Canal. *Journal of endodontics.*, 46(3), 431-436. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.11.015>.
- Pessoa, P., Reis, B., Souza, L., & Castro, F. (2022). Research of the major clinical findings of the use of reciprocant files: a systematic review. *Revista MedNEXT de Ciências Médicas y de la Salud* . <https://doi.org/https://doi.org/10.54448/mdnt22s310>
- Piasecki, L., Makowka, S., & Gambarini, G. (2020). Anatomic Two-dimensional and Three-dimensional Models for Cyclic Fatigue Testing of Endodontic Instruments. *Iranian Endodontic Journal*,, 15(2), 100 - 105. <https://doi.org/https://doi.org/10.22037/iej.v15i2.27342>.
- Pujara, S., Shah, H., y Jobanputra, L. (2024). Comparative evaluation of the cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold in reciprocation, ProGlider in rotary motion, and manual files in a reciprocating handpiece within simulated curved canals: An in vitro study. *Cureus*, 16(3), 67704. <https://doi.org/10.7759/cureus.67704>
- Ragozzini, G., Abu Hasna, A., dos Reis, F., de Moura, F., Campos, T., Bueno, C., & de Martin, A. (2024). Effect of autoclave sterilization on the number of uses and resistance to cyclic fatigue of WaveOne Gold and four replica-like endodontic instruments. *International Journal of Dentistry*. <https://doi.org/10.1155/2024/6628146>

Roda, V., Pérez, A., Zubizarreta, Á., & Faus, V. (2021). Fatigue Analysis of NiTi Rotary Endodontic Files through Finite Element Simulation: Effect of Root Canal Geometry on Fatigue Life. *Journal of Clinical*, 10(23).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jcm10235692>

Savio, F., Rosa, G., Bonfanti, M., Alizzio, D., Rapisarda, E., & Pedullá, E. (2020). Novel Cyclic Fatigue Testing Machine for Endodontic Files. *Experimental Techniques*, 1-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40799-020-00386-5>.

Silva, E., Viera, V., & Hecksher, F. (2018). Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instruments. *Clin Oral Investig*, 22.

Silva, Tinoco, J., Tinoco, E., Vieira, V., Sassone, L., & Lopes, H. (2016). Bending Resistance and Cyclic Fatigue Life of a new Single-File Reciprocating Instrument Waveone Gold. *European Endodontic Journal*, 9(3), 1 - 4.

<https://doi.org/https://doi.org/10.5152/ej.2016.16018>.

Singh, R., Kushwaha, A., & Barnojjwal, D. (2023). Evaluation of Cyclic Fatigue and Torsional Strength of Three Different Thermally Treated Reciprocating Nickel-Titanium Instruments. *International Journal of Stem Cells and Medicine*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.58489/2836-5038/008>.

Sobotkiewicz, T., Huang, X., Haapasalo, M., Mobuchon, C., & Hieawy, A. (2020). Effect of canal curvature location on the cyclic fatigue resistance of reciprocating files. *Clinical Oral Investigations*, 25, 169 - 177.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00784-020-03348-8>.

Souza, G., Carvalho, A., Silva, M., Rodriguez, M., Oliveira Junior, E., Souza, C., . . .

Limoeiro, A. (2022). Evaluation of the cutting capacity of WaveOne Gold and W-file files after the fourth use. *Research, Society and Development*.

Uslu, G., Gundogar, M., Özyurek, T., & Plotino, G. (2020). Cyclic fatigue resistance of reduced-taper nickel-titanium (NiTi) instruments in doubled-curved (S-shaped) canals at body temperature. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 14(2), 111 - 115. <https://doi.org/https://doi.org/10.34172/joddd.2020.02>

Zubizarreta, Á., Alonso, Ó., Martínez, A., Matoses, V., Brucheli, J., & Agustín, R. (2020). Novel Electronic Device to Quantify the Cyclic Fatigue Resistance of Endodontic Reciprocating Files after Using and Sterilization. *Applied Sciences*, 10(14). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app10144962>.

Zupanc, J., Vahdat-Pajouh, N., & Schafer, E. (2018). New thermomechanically treated NiTi alloys e A review. *Int Endod J*, 51.