



Facultad de Ciencias de la Salud

Tema:

Fractura de instrumentos endodónticos, un reto para odontólogos. Revisión de la literatura

Trabajo de titulación para la obtención del Título de Odontólogo

Presentado por:

Melany Samanta Cataña Fernandez

Tutor:

Dra. María José Burbano Balseca

Co-Tutor:

Dr. Luis Alberto Vallejo Izquierdo

Quito, febrero de 2026

Resumen

El propósito de esta revisión es analizar la evidencia científica publicada entre 2020 y 2025 sobre la fractura de instrumentos endodónticos, con el fin de establecer recomendaciones clínicas que prevengan su ocurrencia y mejoren el éxito de los tratamientos. Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo los lineamientos PRISMA 2020, empleando bases de datos como PubMed y Google Scholar. De 686 artículos identificados, 36 cumplieron los criterios de inclusión y fueron seleccionados para el análisis. Los hallazgos muestran que los instrumentos fabricados con aleaciones de níquel-titanio termotratadas, como ProTaper Gold, EdgeTaper Platinum y ProTaper Ultimate, presentan mayor resistencia a la fatiga cíclica y torsional que los sistemas tradicionales. Además, el uso de movimientos recíprocos y la creación de un pre-ensanchado manual o mecanizado (glide path) reducen significativamente el riesgo de fractura, mientras que la reutilización excesiva y los ciclos reiterados de esterilización comprometen las propiedades mecánicas del metal. La experiencia del operador y la morfología del conducto radicular también influyen de manera directa en la incidencia de fracturas. Se concluye que la prevención de este fenómeno multifactorial requiere la integración de instrumentos termotratados, técnicas híbridas, capacitación clínica continua y la adopción de protocolos estandarizados de uso y mantenimiento, lo que permite optimizar la seguridad del tratamiento y mejorar el pronóstico endodóntico a largo plazo.

Palabras clave: *Endodoncia, fractura, instrumentos, tratamiento.*

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.

Melany Samanta Cataña Fernandez
C.I. 1723728257



Dedicatoria

A Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para no rendirme y seguir adelante en cada etapa de este camino.

A mi mamá, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo y perseverancia. A mis hermanos Jonathan y Ray, por acompañarme siempre, creer en mí y ser parte fundamental de mi motivación diaria.

A mi hermana Mireya, por su cariño, comprensión y apoyo

A mi amiga Sofía, por acompañarme durante toda la carrera, por su amistad sincera, su apoyo constante y por cada consejo, desvelo y momento compartido que hicieron este camino más llevadero y significativo. Su compañía fue fundamental para no rendirme y seguir avanzando.

A mis gatos, por su compañía silenciosa, su amor sincero y por brindarme paz en los momentos de cansancio y estrés.

A mi novio, por su apoyo, paciencia y palabras de aliento que me impulsaron a seguir incluso cuando las fuerzas parecían agotarse.

A mi abuelito Jorge, que hoy descansa en el cielo, pero que siempre me ha cuidado y guiado desde lo alto, siendo una luz constante en mi camino.

Finalmente, a mis profesores, por compartir sus conocimientos, enseñanzas y experiencias, las cuales han sido fundamentales para mi formación académica y profesional.

Con cariño y gratitud,

Samanta Cataña.

Índice

Resumen	2
Declaración de aceptación de norma ética y derechos	3
Dedicatoria	4
Índice	5
Resumen	6
Abstract	7
Introducción.....	8
Materiales y Métodos	10
Resultados	11
Discusión	14
Conclusión	17
Referencias	18

Fractura de instrumentos endodónticos, un reto para odontólogos. Revisión de la literatura.

Melany Samanta Cataña Fernandez

melanycatana11@gmail.com

Resumen

El propósito de esta revisión es analizar la evidencia científica publicada entre 2020 y 2025 sobre la fractura de instrumentos endodónticos, con el fin de establecer recomendaciones clínicas que prevengan su ocurrencia y mejoren el éxito de los tratamientos. Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo los lineamientos PRISMA 2020, empleando bases de datos como PubMed y Google Scholar. De 686 artículos identificados, 36 cumplieron los criterios de inclusión y fueron seleccionados para el análisis. Los hallazgos muestran que los instrumentos fabricados con aleaciones de níquel-titanio termotrataados, como ProTaper Gold, EdgeTaper Platinum y ProTaper Ultimate, presentan mayor resistencia a la fatiga cíclica y torsional que los sistemas tradicionales. Además, el uso de movimientos reciprocantes y la creación de un pre-ensanchado manual o mecanizado (glide path) reducen significativamente el riesgo de fractura, mientras que la reutilización excesiva y los ciclos reiterados de esterilización comprometen las propiedades mecánicas del metal. La experiencia del operador y la morfología del conducto radicular también influyen de manera directa en la incidencia de fracturas. Se concluye que la prevención de este fenómeno multifactorial requiere la integración de instrumentos termotrataados, técnicas híbridas, capacitación clínica continua y la adopción de protocolos estandarizados de uso y mantenimiento, lo que permite optimizar la seguridad del tratamiento y mejorar el pronóstico endodóntico a largo plazo.

Palabras clave: *Endodoncia, fractura, instrumentos, tratamiento.*

Abstract

The aim of this review is to analyze scientific evidence published between 2020 and 2025 on endodontic instrument fracture, with the objective of providing updated clinical recommendations to prevent its occurrence and enhance treatment success. A systematic literature review was conducted following PRISMA 2020 guidelines, using databases such as PubMed and Google Scholar. Out of 686 articles identified, 36 met the inclusion criteria and were analyzed. Findings indicate that instruments made from heat-treated nickel-titanium alloys, such as ProTaper Gold, EdgeTaper Platinum, and ProTaper Ultimate, exhibit higher resistance to cyclic fatigue and torsional stress compared to conventional systems. Additionally, the use of reciprocating motion and the establishment of a manual or mechanical glide path significantly reduce the risk of fracture, while excessive reuse and repeated sterilization compromise the mechanical properties of the instruments. Operator experience and root canal morphology also play a crucial role in fracture incidence. It is concluded that preventing endodontic instrument fracture requires the integration of heat-treated instruments, hybrid techniques, continuous clinical training, and standardized protocols for use and maintenance, which together optimize treatment safety and improve long-term endodontic outcomes.

Key words: *Endodontics, fracture, instrument, treatment.*

Introducción

La fractura de instrumentos endodónticos constituye una de las complicaciones más relevantes durante el tratamiento de conductos, ya que compromete tanto la limpieza como el conformado del sistema de conductos radiculares, lo cual afecta negativamente el pronóstico del tratamiento endodóntico (Acharya et al., 2020). Los instrumentos de níquel titanio rotativos, aunque ofrecen mayor eficiencia, han sido asociados a incidencias de fractura comparables o incluso superiores respecto a los manuales de acero inoxidable (Eskibağlar et al., 2023). La presencia de un fragmento fracturado dentro del conducto puede obstruir la instrumentación, dificultar su extracción y, en consecuencia, aumentar las probabilidades de fracaso terapéutico (Feghali et al., 2021). Por lo tanto, comprender las diferencias en los mecanismos y frecuencia de fractura entre instrumentos rotativos y manuales es esencial para optimizar las estrategias clínicas y reducir los riesgos de fractura (Gomes et al., 2021)

Los instrumentos rotativos de níquel titanio han sido ampliamente adoptados por su mayor eficiencia en la conformación del conducto, su capacidad para mantener la curvatura original y disminuir el tiempo operatorio (Shi et al., 2022). Sin embargo, al trabajar a mayor velocidad y de manera continua, son más propensos a fracturas por fatiga cíclica o por torsión, especialmente en conductos curvos, lo que compromete su resistencia (Almohareb et al., 2023). Revisiones sistemáticas reportan que la incidencia de fractura en instrumentos rotatorios alcanza aproximadamente un 2,43 %, cifra algo mayor que la registrada en sistemas reciprocantes (1,0 %), aunque la diferencia no es estadísticamente significativa (Salem Milani et al., 2022).

Por otro lado, los instrumentos manuales, generalmente de acero inoxidable, permiten un control táctil más directo y tienden a generar fracturas por torsión, sobre todo

cuando se aplican presiones excesivas o repetitivas maniobras de giro (Mesgarani et al., 2022). A pesar de esto, su incidencia de fractura puede ser menor en ciertos contextos clínicos, un estudio mostró una tasa de fractura notablemente inferior para limas manuales (acero inoxidable) comparado con rotatorias de NiTi (Iandolo et al., 2020). La formación del profesional y las características anatómicas del conducto como curvaturas pronunciadas o la localización en molares posteriores son factores determinantes que influyen en la fractura de ambos tipos de instrumentos (Khosravi et al., 2025).

Considerando las ventajas y limitaciones de los instrumentos rotatorios versus manuales, se hace necesario profundizar en las diferencias en cuanto a fractura de instrumentos durante el tratamiento endodóntico (Ruivo et al., 2021). El propósito central de esta revisión es analizar la evidencia científica publicada entre 2020 y 2025 sobre la fractura de instrumentos endodónticos.

Materiales y Métodos

La estrategia de búsqueda se diseñó siguiendo los lineamientos PRISMA 2020. Se utilizaron bases de datos validadas como PubMed y Google Scholar, priorizando artículos publicados entre el año 2020 y 2025. Para la construcción de los descriptores se aplicó el DeCS/MeSH, seleccionando términos como “endodontic instruments”, “instrument fracture”, “cyclic fatigue”, “nickel-titanium”, “ProTaper”, “manual stainless steel files” y “endodontic treatment”. Se incluyeron artículos de ensayos clínicos, revisiones sistemáticas, estudios in vitro e in vivo, que evaluaron la incidencia, causas o comparación de fractura de instrumentos manuales y rotatorios durante procedimientos de endodoncia. Los criterios de inclusión consideraron estudios en inglés y español, con acceso a texto completo y con DOI disponible. Por otro lado, se excluyeron artículos duplicados, publicaciones anteriores a 2020, revisiones narrativas sin metodología clara y reportes de caso aislados. El proceso de búsqueda arrojó con la primera estrategia en PudMed (endodontic instruments AND fracture AND nickel titanium) 193 resultados, segunda estrategia en PudMed (endodontic instruments) AND (fracture) AND (manual) AND (rotary) 5 resultados, en el buscador Google Scholar con la primera estrategia endodontic instruments fracture manual OR y OR rotary OR protaper OR y OR niquel OR titanium "manual rotary" se encontraron 106 resultados, con la segunda estrategia en Google Scholar endodontic instruments fracture protaper manual OR and OR rotary los resultados fueron 382 tomando un total de 686 artículos, de los cuales se realizó un cribado en base a título y resumen, eliminando 340 por duplicidad y excluidos por título/resumen dado que no evalúan fractura o no comparan la instrumentación manual vs rotatorio 205 por no cumplir los criterios de inclusión, registro de artículos evaluados para la elegibilidad del texto completo 141, excluidos de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión 105. Finalmente, 36 artículos fueron seleccionados para la síntesis la ejecución del artículo.

Resultados

Diversas investigaciones coinciden en que la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos de níquel-titanio (NiTi) no depende solo de su composición, sino también de la técnica con la que se emplean. (Thu et al., 2020) señalaron que las pruebas dinámicas reproducen de forma más fiel las condiciones clínicas, destacando la influencia tanto de la metalurgia como del tipo de movimiento en la durabilidad. Por otro lado, Hanbazaza & Abuhaimed (2020) reportaron que el movimiento recíprocante incrementa la resistencia a la fatiga frente al rotatorio continuo, un hallazgo particularmente relevante en conductos con curvatura pronunciada. Esta idea se ve reforzada por los hallazgos de diversos estudios, entre ellos el de De Pedro et al. (2024), quien advierte que la heterogeneidad metodológica limita la solidez de las conclusiones. No obstante, Ribeiro et al. (2020) señalaron que, a pesar de los beneficios que aportan los tratamientos térmicos, sistemas tradicionales como ProTaper Universal continúan mostrando vulnerabilidad en comparación con aleaciones más recientes.

El papel de los tratamientos térmicos aparece de manera constante como un factor determinante en la durabilidad de los sistemas. (Uygun et al., 2020) encontraron que HyFlex EDM supera en resistencia a la fatiga a ProTaper Gold, mientras que (Alcalde et al., 2020) confirmaron mejoras tanto torsionales como mecánicas en instrumentos sometidos a este tipo de procesos. (Greco et al., 2024) añadieron que la termomecánica favorece en particular a versiones como Gold y Ultimate, resultados que coinciden con los de Anantula & Vankayala (2021), quienes atribuyeron a ProTaper Gold un rendimiento superior en conductos con curvaturas marcadas. A ello se suman los hallazgos de (Ruiz et al., 2020) y Rubio et al. (2022) que resaltaron la estabilidad del ProTaper Ultimate en condiciones clínicas simuladas a temperatura corporal. Más recientemente, Diaconu et al. (2024) confirmaron que ProTaper Ultimate supera en resistencia tanto a ProTaper Gold como a

M3, consolidando la idea de que la innovación en aleaciones continúa marcando la diferencia.

La reutilización y la esterilización representan otro punto de interés dentro de la literatura. El Abed et al. (2023) demostraron que la esterilización en autoclave reduce de forma progresiva la resistencia a la fatiga de las limas NiTi, un hallazgo corroborado por (Almohareb et al., 2023), quienes además recomendaron establecer límites estrictos en el número de usos. En esa misma línea, El-Khoury et al. (2022) observaron que ProTaper Gold disminuye su desempeño tras múltiples reutilizaciones, lo que se corresponde con los resultados de (Gürler et al., 2024)), quienes evidenciaron un deterioro clínico significativo tras el uso repetido. Almohareb et al. (2023) insistieron en que este desgaste no es uniforme y varía según el sistema, lo cual sugiere la necesidad de protocolos adaptados a cada tipo de instrumento.

El pre-ensanchado manual previo a la instrumentación rotatoria se ha descrito como una estrategia preventiva eficaz. De-Deus et al. (2024) mostraron que esta práctica reduce de forma significativa la incidencia de fracturas al disminuir el estrés sobre las limas. Del mismo modo, (Lup et al., 2024) hallaron mejores resultados clínicos cuando se realizó un glide path manual antes del empleo de sistemas rotatorios. (Pujara et al., 2024) reforzaron esta evidencia al señalar que incluso las técnicas mecanizadas de glide path ofrecen cierta protección a los instrumentos principales, aunque los beneficios varían según el sistema utilizado. En conjunto, estos resultados apoyan la recomendación de emplear técnicas híbridas en la preparación de los conductos.

Cuando se comparan los instrumentos manuales con los rotatorios, la literatura ofrece un panorama con ventajas y desventajas en ambos casos. Mesgarani et al. (2022) observaron que las limas manuales presentan una menor tasa de fractura, aunque sacrifican eficiencia operatoria. Hilt et al., 2000 señalaron que la variabilidad en la resistencia

torsional de las manuales compromete su seguridad clínica. Almnea et al. (2024) añadieron que en conductos curvos las manuales tienden a fracturarse menos, pero con un mayor riesgo de transporte del canal. De forma complementaria, (Tonelli et al., 2021) indicaron que las limas rotatorias pueden inducir más microgrietas en la dentina, lo que podría comprometer la integridad estructural de la raíz. Sin embargo, Shi et al. (2022) mostraron que sistemas modernos como ProTaper Gold mantienen una adecuada conformación del conducto, reduciendo los riesgos de desviación.

Cuando se comparan los instrumentos manuales con los rotatorios, la literatura ofrece un panorama con ventajas y desventajas en ambos casos. Mesgarani et al. (2022) observaron que las limas manuales presentan una menor tasa de fractura, aunque sacrifican eficiencia operatoria. Hilt et al., 2000 señalaron que la variabilidad en la resistencia torsional de las manuales compromete su seguridad clínica. Almnea et al. (2024) añadieron que en conductos curvos las manuales tienden a fracturarse menos, pero con un mayor riesgo de transporte del canal. De forma complementaria, (Tonelli et al., 2021) indicaron que las limas rotatorias pueden inducir más microgrietas en la dentina, lo que podría comprometer la integridad estructural de la raíz. Sin embargo, Shi et al. (2022) mostraron que sistemas modernos como ProTaper Gold mantienen una adecuada conformación del conducto, reduciendo los riesgos de desviación.

Otro aspecto a destacar es la dificultad de trasladar directamente los hallazgos in vitro a la práctica clínica. (La Rosa et al., 2023) advirtieron que los resultados de laboratorio no siempre reflejan el riesgo real en condiciones clínicas. En la misma línea, Diaconu et al. (2024) comprobaron que la durabilidad del ProTaper varía según el contexto operatorio. Khosravi et al. (2025) añadieron que las percepciones profesionales influyen en la elección del sistema, condicionando la confianza en su durabilidad. Finalmente, Schäfer et al. (2022) recordaron que la falta de estandarización metodológica dificulta la

comparación entre estudios, lo que subraya la necesidad de integrar la evidencia experimental con los resultados clínicos y la experiencia profesional.

Discusión

Los hallazgos revisados confirman que la fractura de instrumentos endodónticos es un fenómeno multifactorial donde convergen elementos mecánicos, técnicos y clínicos. La cinemática, se ha consolidado como un factor clave, mientras que Hanbazaza & Abuhaimed (2020) y De Pedro et al. (2024) respaldan la superioridad de la reciprocación frente al movimiento rotatorio, Ribeiro et al. (2020) recordaron que los beneficios dependen también del tipo de aleación y del diseño del sistema por lo cual se sugiera la elección de sistema por las características del caso a tratar.

El impacto de los tratamientos térmicos constituye otra área de consenso. (Yum et al., 2025), (Greco et al., 2024) y Anantula et al. (2021) coincidieron en que los sistemas termotratados presentan un mejor desempeño mecánico, especialmente en conductos curvos. A ello se suman los hallazgos de Ruiz et al. (2020) y Diaconu et al. (2024), que refuerzan la superioridad de ProTaper Ultimate frente a generaciones anteriores. Sin embargo, la revisión de Schäfer et al. (2022) alerta sobre la falta de estandarización metodológica, lo que puede explicar discrepancias en los resultados y la necesidad de ensayos comparativos homogéneos.

Respecto a la reutilización y preparación previa del conducto, la evidencia científica coincide en que ambas variables influyen directamente en la durabilidad y seguridad de los instrumentos endodónticos. Diversos estudios como El Abed et al. (2023), Almohareb et al. (2023) y El-Khoury et al. (2022) señalan un deterioro progresivo de la resistencia tras múltiples ciclos de uso y esterilización, mientras que Gürler et al. (2024) demostraron que este desgaste tiene un impacto clínico significativo. Por ello, establecer protocolos de

reutilización y límites de uso constituye una medida preventiva esencial, sobre todo en contextos docentes donde la fractura es más frecuente (Eskibağlar et al., 2023). Por otro lado, la preparación previa del conducto se ha consolidado como una estrategia protectora eficaz validada por De-Deus et al. (2024) y Lup et al. (2024) evidenciaron que el glide path manual o mecanizado reduce la incidencia de fracturas y Pujara et al. (2024) confirmaron que incluso las técnicas mecanizadas previas mejoran la durabilidad de los instrumentos. En conjunto, estos hallazgos respaldan la instrumentación secuencial que integra métodos manuales y rotatorios como una práctica óptima para potenciar tanto la seguridad como la eficacia del tratamiento endodóntico.

En cuanto a la comparación entre limas manuales y rotatorias, la literatura presenta un equilibrio entre ventajas y limitaciones. Mesgarani et al. (2022) y Almnea et al. (2024) resaltan la menor tasa de fractura de las manuales, aunque con menor eficiencia y mayor riesgo de transporte de canal. Hilt et al. (2000) agregan que la variabilidad torsional de las manuales compromete su predictibilidad, mientras que Mariyam et al. (2024) advierten sobre la mayor formación de microgrietas con sistemas rotatorios. No obstante, (Shi et al., 2022) evidenciaron que los sistemas modernos como ProTaper Gold y WaveOne Gold mantienen un adecuado control de la anatomía, compensando en parte los riesgos mecánicos. En este contexto, la experiencia del operador se destaca como un determinante central Eskibağlar et al. (2023) documentaron la vulnerabilidad de los estudiantes frente al riesgo de fractura, en contraste con la baja incidencia reportada por Ruivo et al. (2021), mientras que Iandolo et al. (2020) reforzaron la importancia de protocolos clínicos estandarizados para mitigar riesgos en conductos complejos. En conjunto, estos hallazgos evidencian que la formación clínica debe incluir no solo entrenamiento técnico, sino también criterios claros sobre reutilización y selección de sistemas para optimizar los resultados endodónticos

No obstante, la revisión presenta limitaciones relacionadas con la heterogeneidad de los diseños experimentales, la predominancia de estudios *in vitro* y la escasa representación de condiciones clínicas reales. Tal como señalan Langaliya et al. (2024) y Diaconu et al. (2024), los resultados de laboratorio no siempre reflejan la magnitud del riesgo clínico, y las diferencias metodológicas dificultan la comparación directa entre investigaciones. En consecuencia, futuras líneas de investigación deberían orientarse hacia el desarrollo de estudios clínicos longitudinales que evalúen la resistencia a la fatiga en contextos reales. Asimismo, sería pertinente comparar distintos sistemas de instrumentación bajo diversas condiciones operatorias y niveles de experiencia profesional, con el fin de establecer parámetros más precisos sobre su desempeño y seguridad. De este modo, se podrían generar modelos mixtos que integren la evidencia experimental con la práctica clínica, fortaleciendo la validez y aplicabilidad de los resultados en el ámbito odontológico.

Los resultados revisados ofrecen implicaciones directas para la práctica endodóntica. En la práctica clínica, los resultados obtenidos sugieren varias aplicaciones concretas orientadas a mejorar la seguridad y eficacia de los tratamientos endodónticos. En primer lugar, la elección de sistemas termotratados debe considerarse prioritaria en conductos curvos, ya que estos materiales ofrecen una mayor flexibilidad y reducen el riesgo de fracturas instrumentales. En segundo lugar, es fundamental incorporar de manera sistemática protocolos de glide path previo y establecer límites precisos sobre el número de usos de cada lima, con el propósito de optimizar su rendimiento y prolongar su vida útil. Finalmente, la formación clínica debería integrar módulos específicos dedicados al manejo preventivo de fracturas, la evaluación de la fatiga del material y la selección adecuada de sistemas según la complejidad del caso. Estas acciones permitirían disminuir complicaciones operatorias, fortalecer la toma de decisiones clínicas y mejorar de manera significativa los resultados

terapéuticos en endodoncia.

Conclusión

A partir del análisis de la evidencia científica publicada entre 2020 y 2025, se concluye que la prevención de la fractura de instrumentos endodónticos depende de una adecuada selección del sistema de instrumentación, del cumplimiento de protocolos clínicos estandarizados y del fortalecimiento de las competencias profesionales. Los estudios coinciden en que los instrumentos fabricados con aleaciones de níquel-titanio termotrataadas, como ProTaper Gold, EdgeTaper Platinum y ProTaper Ultimate, ofrecen una mayor resistencia a la fatiga cíclica y torsional, disminuyendo la probabilidad de fractura en conductos curvos. La aplicación de cinemáticas recíprocantes, la creación de un glide path previo a la instrumentación y la limitación estricta del número de usos y ciclos de esterilización son medidas esenciales para preservar la integridad del metal. Finalmente, se reafirma que la capacitación continua del profesional, el dominio técnico y el conocimiento anatómico constituyen pilares fundamentales para optimizar la seguridad del procedimiento y mejorar el pronóstico endodóntico a largo plazo.

Referencias

- Acharya, N., Hasan, M. R., Kafle, D., Chakradhar, A., & Saito, T. (2020). Effect of hand and rotary instruments on the fracture resistance of teeth: An in vitro study. *Dentistry Journal*, 8(2), 38. <https://doi.org/10.3390/dj8020038>
- Alcalde, M., Duarte, M. A. H., Amoroso Silva, P. A., Souza Calefi, P. H., Silva, E., Duque, J., & Vivan, R. (2020). Mechanical properties of ProTaper Gold, EdgeTaper Platinum, Flex Gold and Pro-T rotary systems. *European Endodontic Journal*, 5(3), 205–211. <https://doi.org/10.14744/ej.2020.48658>
- Almnea, R. A., Al-Qahtani, Y. M., Albinali, A. A., Aldhbaan, A. A., Omar, W. A., Dahman, R. H., Almalki, M. M., AlMohy, A. A., Mohammed, Y. H. Y., Mousa, A. Y. A., & Al Moaleem, M. M. (2024). Quality of root canal fillings and procedural errors for in vivo studies prepared in different clinical settings and with rotary systems: A systematic review. *Medical Science Monitor*, 30, e945225-1. <https://doi.org/10.12659/msm.945225>
- Almohareb, R. A., Barakat, R. M., Algahtani, F. N., & Alkadi, M. F. (2023). Cyclic fatigue resistance of EdgeTaper Platinum, ProTaper Gold, and TruNatomy Prime rotary files before and after autoclave sterilization. *PeerJ*, 11, e14656. <https://doi.org/10.7717/peerj.14656>
- Anantula, K., & Vankayala, B. (2021). A comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of ProTaper Gold, Dia-X, and ZenFlex nickel-titanium rotary files in the canals with different angles of curvature. *Endodontology*, 33(4), 212–215. https://doi.org/10.4103/endo.endo_165_21
- De Pedro, A., Rico, C., Sánchez, P., Montiel, J. M., & Mena, J. (2024). Cyclic fatigue resistance of rotary versus reciprocating endodontic files: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 13(3), 882.

<https://doi.org/10.3390/jcm13030882>

De-Deus, G., Palhares, G. A., Silva, E. J. N. L. da, Belladonna, F. G., Oliveira, D. da S., Carvalho, K. D., Souza, E. M., & Versiani, M. A. (2024). Effects of pre-enlargement on fracture incidence of reused reciprocating instruments: A clinical study. *Brazilian Dental Journal*, 35, e24-6147. <https://doi.org/10.1590/0103-644020246147>

Diaconu, C. T., Diaconu, A. E., Tuculina, M. J., Mihai, L. L., Gheorghită, M., Gheorghită, L. M., Mărășescu, P., Gliga, A., & Diaconu, O. A. (2024). Assessment of the cyclic fatigue performance of the novel ProTaper Ultimate file system used in different kinematics: An in vitro study. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(4), 85. <https://doi.org/10.3390/jfb15040085>

El Abed, R., Al Raeesi, D., Alshehhi, A., Alkhatib, Z., Khamis, A. H., Jamal, M., & Kim, H. C. (2023). Effect of autoclave sterilization and usage on the fracture resistance of heat-treated nickel–titanium rotary files. *Materials*, 16(6), 2261. <https://doi.org/10.3390/ma16062261>

Eskibağlar, M., Özata, M. Y., Ocak, M. S., & Öztekin, F. (2023). Investigation of fracture prevalence of instruments used in root canal treatments at a faculty of dentistry: A prospective study. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 48(4), e38. <https://doi.org/10.5395/rde.2023.48.e38>

Feghali, M., Xhajanka, E., Di Nardo, D., Bhandi, S., Kassabian, P., Seracchiani, M., Gambarini, G., & Testarelli, L. (2021). Incidence of different types of intracanal fracture of nickel-titanium rotary instruments: A systematic review. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 22(5), 427–434. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34267014/>

Gomes, M. S., Vieira, R. M., Böttcher, D. E., Plotino, G., Celeste, R. K., & Rossi-

- Fedele, G. (2021). Clinical fracture incidence of rotary and reciprocating NiTi files: A systematic review and meta-regression. *Australian Endodontic Journal*, 47(2), 372–385. <https://doi.org/10.1111/aej.12484>
- Greco, K., Paolone, G., Cicero, G., Tetè, G., Cantile, N., Sberna, M. T., Saladino, T., Gherlone, E. F., & Cantatore, G. (2024). Cyclic fatigue resistance of four heat-treated nickel-titanium files in severely curved simulated canals: An in vitro study. *Journal of Clinical Medicine*, 13(19), 5739. <https://doi.org/10.3390/jcm13195739>
- Gürler, K., Yilmaz, S., Dumani, A., & Yoldas, O. (2024). Comparison of cyclic fatigue resistance of three different single-file systems after clinical use. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05287-2>
- Hanbazaza, N. S., & Abuhaimed, T. S. (2020). Influence of kinematics on the cyclic fatigue of ProTaper Gold and WaveOne Gold. *Saudi Endodontic Journal*, 10(2), 145–151. https://doi.org/10.4103/sej.sej_132_19
- Hilt, B. R., Cunningham, C. J., Shen, C., & Richards, N. (2020). Torsional properties of stainless-steel and nickel-titanium files after multiple autoclave sterilizations. *Journal of Endodontics*, 26(2), 76–80. <https://doi.org/10.1097/00004770-200002000-00004>
- Iandolo, A., Amato, A., Martina, S., Abdel Latif, D., & Pantaleo, G. (2020). Management of severe curvatures in root canal treatment with the new generation of rotating files using a safe and predictable protocol. *The Open Dentistry Journal*, 14(1), 421–425. <https://doi.org/10.2174/1874210602014010421>
- Khosravi, M. R., Banafshi, Z., Ebrahimi, R., & Jalali, R. (2025). Exploring dentists' experiences of endodontic file fracture during root canal treatment: A phenomenological study. *BMC Oral Health*, 25(1), 1–12.

<https://doi.org/10.1186/s12903-025-06340-4>

Langaliya, A., Patel, N., Pallipurath, A., Parmar, G., Kothari, A., & Jhala, K. (2024).

Analysis of cyclic fatigue resistance of different endodontic nickel–titanium rotary instruments: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(1), 95. https://doi.org/10.4103/jcde.jcde_204_23

La Rosa, G. R. M., Leotta, M. L., Canova, F. S., Romeo, V. R., Cervino, G., Generali, L., & Pedullà, E. (2023). Cyclic fatigue resistance of different nickel-titanium instruments in single and double curvature at room and body temperatures: A laboratory study. *Australian Endodontic Journal*, 49(3), 592–598.

<https://doi.org/10.1111/aej.12789>

Lup, V. M., Malvicini, G., Gaeta, C., Grandini, S., & Ciavoi, G. (2024). Glide path in endodontics: A literature review of current knowledge. *Dentistry Journal*, 12(8), 257. <https://doi.org/10.3390/dj12080257>

Mariyam, R., Khurana, N. S., Mann, J. S., Sidhu, H. S., A, S., & Mohan, M. (2024).

Comparative evaluation of the incidence of dentin microcracks following biomechanical preparation using four different nickel-titanium rotary file systems: An in vitro study. *Cureus*, 16(2), e53506.

<https://doi.org/10.7759/cureus.53506>

Medina, L., Cochran, C., Bauer, P. A., Valcanaia, A. J., Sindu, D., Cavalcanti, B., & McDonald, N. (2024). Effect of different instrumentation techniques on students' performance and outcomes of nonsurgical root canal treatment. *Journal of Dental Education*, 88(7), 940–948. <https://doi.org/10.1002/jdd.13523>

Mesgarani, A., Hoshyari, N., Mousazadeh, M., & Khabbazzade, A. (2022). Ex vivo comparison of file fracture and file deformation in canals with moderate curvature: Neolix rotary system versus manual K-files. *Journal of Research in*

Dental and Maxillofacial Sciences, 7(4), 219–225.

<https://doi.org/10.52547/jrdms.7.4.219>

Pujara, S. M., Shah, H. B., & Jobanputra, L. H. (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(8), e67704.

<https://doi.org/10.7759/cureus.67704>

Ribeiro Camargo, C., Bittencourt, T., Hasna, A., Palo, R., Talge Carvalho, C., & Valera, M. (2020). Cyclic fatigue, torsional failure, and flexural resistance of rotary and reciprocating instruments. *Journal of Conservative Dentistry*, 23(4), 364–369.

https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_409_20

Rubio, J., Zarzosa, J. I., Aranda, S., Casino, A., & Pallarés, A. (2022). A comparative study of cyclic fatigue of 6 endodontic systems: An in vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 14(7), 560–565.

<https://doi.org/10.4317/jced.59747>

Ruivo, L. M., Rios, M. de A., Villela, A. M., Martin, A. S. de, Kato, A. S., Pelegrine, R. A., Barbosa, A. F. A., Silva, E. J. N. L., & Bueno, C. E. da S. (2021). Fracture incidence of Reciproc instruments during root canal retreatment performed by postgraduate students: A cross-sectional retrospective clinical study. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(4), e49. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e49>

Ruiz-Sánchez, C., Faus-Llácer, V., Faus-Matoses, I., Zubizarreta-Macho, Á., Sauro, S., & Faus-Matoses, V. (2020). The influence of NiTi alloy on the cyclic fatigue resistance of endodontic files. *Journal of Clinical Medicine*, 9(11).

<https://doi.org/10.3390/jcm9113755>

Salem Milani, A., Ganjpour, S., Dehghani, F., Rahimi, S., & Sabanik, P. (2022).

- Comparison of the fracture resistance of the teeth prepared with ProTaper Universal, ProTaper Next, and ProTaper Gold rotary files. *Clinical and Experimental Dental Research*, 8(6), 1421. <https://doi.org/10.1002/cre2.660>
- Schäfer, E., Bürklein, S., & Donnermeyer, D. (2022). A critical analysis of research methods and experimental models to study the physical properties of NiTi instruments and their fracture characteristics. *International Endodontic Journal*, 55(S1), 72–94. <https://doi.org/10.1111/iej.13673>
- Shi, L., Zhou, J., Wan, J., & Yang, Y. (2022). Shaping ability of ProTaper Gold and WaveOne Gold nickel-titanium rotary instruments in simulated S-shaped root canals. *Journal of Dental Sciences*, 17(1), 430–437. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.08.008>
- Thu, M., Ebihara, A., Maki, K., Miki, N., & Okiji, T. (2020). Cyclic fatigue resistance of rotary and reciprocating nickel-titanium instruments subjected to static and dynamic tests. *Journal of Endodontics*, 46(11), 1752–1757. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.08.006>
- Tonelli, S. Q., Antunes, M. A., Soares de Toubes, K. M., Miranda, A. C. de O., Pereira, A. M. B., Nunes, E., & Silveira, F. F. (2021). Dentinal microcracks induced by endodontic procedures: Suggested design for experimental studies using micro-computed tomography and strain gauges. *Journal of Endodontics*, 47(7), 1157–1165. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.04.016>
- Uygun, A., Unal, M., Falakaloglu, S., & Guven, Y. (2020). Comparison of the cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, Vortex Blue, ProTaper Gold, and OneCurve nickel-titanium instruments. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 23(1), 41–45. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_343_19
- Yum, H. W., Oh, S., Perinpanayagam, H., Gu, Y., Chang, S. W., Yoo, Y. J., & Kum, K.

Y. (2025). Phase transformation and mechanical behaviour of different heat-treated nickel-titanium rotary instruments. *International Dental Journal*, 75(2), 1183–1193. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2024.07.1211>