

Nivel de estrés radicular en premolares superiores y presión ejercida en tejidos adyacentes: un modelo mecánico en 3D

Level of radicular stress in upper premolars and pressure exerted in adjacent tissues: a 3D mechanical model

 Edison Guamaní Cayo Od¹,  Ángel Morales Carrasco Od¹,  Alex Morales Carrasco MD, MgSc¹,  Juan Viteri Moya, Od, MgSc^{2,3},  Ruth Vaca, Od, MgSc²,  Jonnathan Ochoa Guazhco, Od¹,  Paola Peralta Idrovo Od¹. pa.olita141414@hotmail.com  Cristóbal Espinoza Díaz MD, MgSc¹,  Alicia de los Ángeles Morocho Zambrano, MD, MgSc¹,  Zoila del Cisne Espinoza Díaz, Inv¹.

¹Centro Latinoamericano de Estudios Epidemiológicos y Salud Social. Departamento de Investigaciones “Dr. Carlos J. Finlay y de Barré”. Proyecto: Vigilancia epidemiológica de patologías bucodentales y alteraciones asociadas en América Latina y el Caribe.

²Facultad de Odontología, Universidad Central del Ecuador - Quito.

³VITMED-Centro de Especialidades médicas, odontológicas y laboratorio clínico.

*Autor de correspondencia: Edison Guamaní Cayo Od. Centro Latinoamericano de Estudios Epidemiológicos y Salud Social. Departamento de Investigaciones “Dr. Carlos J. Finlay y de Barré”. Ecuador. Correo electrónico: edison_31101989@hotmail.com.

Fuente de financiación: Ninguna

Conflicto de intereses: Ninguno

Expresiones de gratitud - Agradecimientos: Ninguno

Received/Recibido: 09/25/2021 Accepted/Aceptado: 10/15/2021 Published/Publicado: 12/12/2021 DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.5838992>

Resumen

Objetivo: Comparar el nivel de estrés radicular y presión ejercida en tejidos adyacentes en premolares superiores 1.4 con efecto y sin efecto, férula a la compresión vertical y axial en pernos prefabricados; fibra de vidrio y titanio vs pernos colados de metal noble (Au) y metal colado níquel cromo (NiCr), cementados con cemento resinoso autoacondicionante autoadhesivo mediante la técnica de elemento finito. Metodología: Se realizó un estudio de tipo experimental y comparativo, con 8 modelos simulados en 3D de premolares superiores 1.4. Se utilizó el software FEMAP 11.1.2 para modelar el diseño mecánico en 3D. Resultados: El nivel estrés radicular es mayor en los pernos prefabricados colados Au y NiCr tanto a 360 y 180° en comparación con los de fibra de vidrio y titanio; el promedio más representativo está en el NiCr a 360° con 104.23 Mpa, y el más bajo en el Titanio 180° con 83,79 Mpa. La presión ejercida en tejidos adyacentes en los premolares tiene mayor nivel en los pernos prefabricados a base de fibra de vidrio y titanio a 180° en comparación con los de metal noble y níquel cromo, siendo el más representativo el de fibra de vidrio liso a 180° con 1,43 y el más bajo el NiCr de 360° con 1,30. Conclusión: El nivel estrés radicular es mayor en los pernos prefabricados colados de Au y NiCr tanto a 360 y 180° en comparación con los de fibra de vidrio y titanio, y el nivel de presión ejercida en tejidos adyacentes en los premolares tiene mayor nivel en los pernos prefabricados a base de fibra de vidrio y titanio, ambos a 180°, en comparación con los de Au y NiCr.

Palabras clave: estrés radicular, pernos, efecto férula, simulación 3D.

Abstract

Objective: To compare the level of radicular stress and pressure exerted on adjacent tissues in 1.4 upper premolars with effect and without effect, vertical and axial compression splint in prefabricated posts, fiberglass and titanium vs cast noble metal (Au) and nickel chromium (NiCr) cast metal studs, cemented with self-adhesive self-conditioning resinous cement using the finite element technique. Materials and Methods: An experimental and comparative study was carried out with 8 simulated 3D models of 1.4 upper premolars. The FEMAP 11.1.2 software was used to model the mechanical design in 3D. Results: The radicular stress level is higher in the prefabricated cast Au and NiCr posts both at 360 and 180° compared to the fiberglass and titanium ones, the most representative average being in the NiCr at 360° with 104.23 Mpa and the lowest in Titanium 180° with 83.79 Mpa. The pressure exerted on adjacent tissues, in the premolars, has a higher level in prefabricated posts based on fiberglass and titanium at 180° compared to those made of noble metal and nickel-chromium, the most representative being that of smooth fiberglass at 180° with 1.43 and the lowest is the 360° NiCr with 1.30. Conclusion: The radicular stress level is higher in pre-cast Au and NiCr posts both at 360 and 180° compared to fiberglass and titanium posts, and the level of pressure exerted on adjacent tissues in the premolars has a higher level in prefabricated fiberglass and titanium bolts, both at 180°, compared to Au and NiCr.

Keywords: radicular stress, posts, splint effect, 3D simulation.

Los dientes restaurados con endodoncia representan un reto para la odontología moderna dado el impacto que causa en el pronóstico exitoso a largo plazo. Por lo general, las piezas dentales carentes del paquete vasculo-nervioso son asociadas con la pérdida sustancial de la estructura coronal y radicular de los dientes debido a restauraciones preexistentes, caries dentales, traumatismos y preparación para el acceso endodóntico, en consecuencia, esta pérdida de tejido duro disminuye la capacidad de carga de los dientes con procedimientos endodónticos¹.

Para enfrentar esta debilidad se diseñaron los postes intraradiculares, indicados para las piezas dentales con endodoncia que son susceptibles en alto grado a la fractura por efecto de una estructura dental coronal insuficiente. Los postes intraradiculares empleados en los tratamientos endodónticos son diseñados con la finalidad de fortalecer la estructura radicular y coronal de los dientes durante la restauración dental².

Inicialmente estos postes intraradiculares eran metálicos, generalmente de aleación de níquel y cromo (NiCr), sin embargo, estos presentan una elevada rigidez lo cual ocasiona la posibilidad de fracturas longitudinales de la raíz o corrosión del metal, resultando en la pérdida de la pieza dental³, circunstancia que originó la búsqueda de un material con un módulo de elasticidad más cercano al de la dentina, tal como la fibra de vidrio y otras aleaciones de metal noble (Au) de tipo III o IV, mezclando oro 24 quilates con paladio, que ha presentado un mejor desempeño clínico, con un módulo de elasticidad más elevado, además de presentar propiedades como alta durabilidad, alta resistencia mecánica y térmica, excelente ajuste, fácil soldadura y acabado y biocompatibilidad⁴, considerando que la diferencia entre el módulo de elasticidad de los materiales dentales y el de la dentina dental es un factor importante en la transferencia de fuerzas funcionales⁵.

Actualmente el uso de técnicas computacionales, inteligencia artificial y análisis de grandes bases de datos ha mostrado un gran auge en el campo de la biomedicina^{6,7} ya que simular condiciones clínicas que difícilmente podrían ser evaluadas por otras metodologías, y en el campo de la odontología, permitiría evaluar el comportamiento mecánico y la distribución del estrés en los elementos dentales, el ligamento periodontal y el hueso alveolar aplicando fuerzas, condiciones vitales para el éxito de los tratamientos aplicados⁸.

El uso del poste de fibra de vidrio en comparación con el poste metálico convencional en la restauración de dientes sometidos a procedimientos endodónticos con estructura comprometida en un país en desarrollo como el Ecuador aún no se ha documentado. Por ello, el propósito de este estudio fue diseñar un modelo simulado computarizado de premolares superiores 1.4 con distintos pernos para el tratamiento de restauración endodóntica que permita comparar el nivel de estrés radicular y presión ejercida en tejidos adyacentes con pernos prefabricados: fibra de vidrio y titanio vs pernos colados de metal noble (Au) y metal colado níquel cromo (NiCr), cementados con cemento resinoso autocondicionante autoadhesivo mediante la técnica de elemento finito.

Diseño de estudio

Se realizó un estudio observacional de modelos simulados computarizados en 3D de premolares superiores 1.4 con distintos pernos para el tratamiento de restauración endodóntica.

Para ello se desarrolló el procedimiento en un ambiente simulado mediante el empleo del software FEMAP 11.1.2, donde se crearon 8 modelos de premolares superiores 1.4 y se observó el comportamiento de las variables a estudiar: pernos prefabricados, pernos colados, férula y nivel de fuerza compresiva con la finalidad de determinar el grado de estrés radicular y la presión ejercida sobre los tejidos adyacentes.

Estandarización

La información obtenida fue procesada por medio del programa FEMAP 11.1.2, el cual permitió diseñar modelos dentales digitalizados con gran aproximación a la estructura física real, señalando con exactitud propiedades tales como la línea, planos y volumen de los mismos en materiales isotrópicos, ortotrópicos y anisotrópicos, tanto 2D como 3D, y elastómeros tales como los hiperelásticos y la espuma. El motor de geometría del programa de FEMAP 11.1.2 usado fue el Parasolid, el cual permite importar, crear y/o editar la geometría de la estructura alámbrica o mallado, permitiendo la edición de sólidos. El programa almacena la geometría en unidad métrica, siendo los límites de modelado $\pm 500 \times 500 \times 500$.

Este programa fue manejado por un especialista en el área, el cual desarrolló 8 modelos simulados en 3D de premolares superiores 1.4 con efecto férula a la comprensión vertical y axial en pernos prefabricados y colados, cementados con resina autocondicionante adhesiva usando la técnica de elementos finitos.

Los 8 modelos analizados fueron:

1. MA: Pernos prefabricados en fibra de vidrio con una férula de 360° y 2 mm de altura.
2. MB: Pernos prefabricados en fibra de vidrio con una férula de 180° y 1 mm de altura.
3. MC: Pernos prefabricados en titanio con férula de 360° y 2 mm de altura.
4. MD: Pernos prefabricados en titanio con férula de 180° y 1 mm de altura.
5. ME: Pernos colados en metal noble (Au) con una férula de 360° y 2 mm de altura.
6. MF: Pernos colados en metal noble (Au) con una férula de 180° y 1 mm de altura.
7. MG: Pernos de metal colado (NiCr) con una férula de 360° y 2 mm de altura.
8. MH: Pernos de metal colado (NiCr) con una férula de 180° y 1 mm de altura.

Procedimiento

Se simularon ocho modelos 3D en el software 11.1.2 con las medidas anatómicas obtenidas de la información recolectada en la biblioteca de la Facultad de Odontología de la Universidad Central del Ecuador de Anatomía Dentaria y Protopodencia Fija, representando cada modelo un premolar superior 1.4 con corona libre de metal, presencia de férula y postes endodónticos, simulando una condición ósea tipo III y cementado con cemento resinoso autocondicionante adhesivo.

Las aleaciones y materiales utilizados en cada modelo fueron los siguientes:

1. MA y MB: Pernos prefabricados en fibra de vidrio.
2. MC y MD: Pernos prefabricados en titanio.
3. ME y MF: Pernos colados en metal noble (Au).
4. MG y MH: Pernos de metal colado (NiCr).

El ingeniero especialista con los datos de las propiedades de los materiales (Tabla 1), modeló el diseño mecánico en 3D utilizando un entorno gráfico basado en elementos finitos. Para ello es fundamental ingresar en el software ciertos datos, por lo que fue necesario realizar algunos procedimientos previos a la simulación tales como preprocesamiento, modelación, condiciones de frontera, validación y manejo de resultados⁹. Posterior a la validación del modelo, después de obtener la geometría del mismo, se construyó una malla inicial formada por pocos elementos. La malla fue refinada aumentando el número de elementos tantas veces como fuese necesario con el fin de observar los cambios en los esfuerzos y desplazamientos que se generaron sobre un nodo específico, bajo una condición de carga definida. La región de la gráfica donde la curva comienza a estabilizarse indica el número mínimo de elementos que el modelo necesita para dar resultados confiables.

Los procedimientos anteriores permitieron obtener un modelo inicial que fue sometido a variaciones de acuerdo a las variables del estudio para obtener las ocho simulaciones necesarias para desarrollar la investigación.

Tabla 1. Propiedades de los materiales

Material	Módulo joven (GPa)	Relación de Poisson (V)
Dentina	18.6	0.31
Ligamento periodontal	68.9 x 10 ⁻³	0.45
Hueso cortical	13.7	0.30
Hueso trabecular	1.37	0.30
Gutapercha	0.69 x 10 ⁻³	0.45
Cemento	7.0	0.30
Resina compuesta	12	0.30
Postes de fibra de vidrio	40	0.26
Postes de titanio	110	0.33
Aleación de oro (Au)	80	0.33
Aleación de NiCr	200	0.33

Resultados

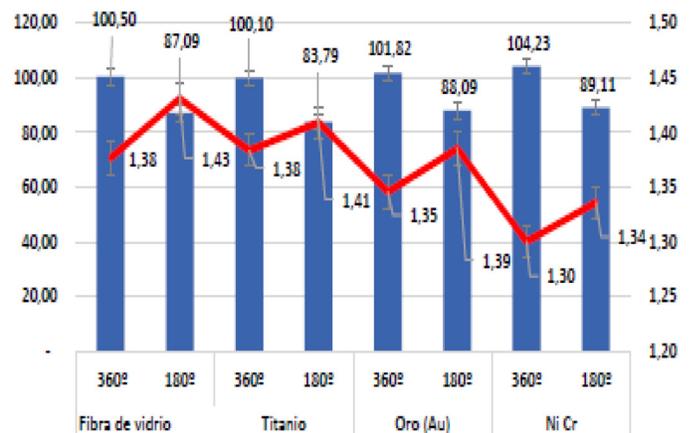
De acuerdo a los resultados, se observa que el nivel estrés radicular es mayor en los pernos prefabricados colados de metal noble (Au) y níquel cromo (NiCr), tanto a 360 y 180°, en comparación con los de fibra de vidrio y titanio. El promedio más alto se observó en el (NiCr) a 360° con 104,23 Mpa; y el más bajo en el Titanio 180° con 83,79 Mpa.

Mientras, la presión ejercida en tejidos adyacentes en los premolares fue mayor en los pernos prefabricados a base de fibra de vidrio y titanio a 180° en comparación con los de Au y NiCr, siendo el más representativo el de fibra de vidrio a 180° con 1,43 y el más bajo es el NiCr de 360° con 1,30. (Tabla 2; Figura 1).

Tabla 2. Modelos de pernos prefabricados

Estudio	Código	Efecto férula °/mm	Estrés radicular [MPa]	Presión en tejidos adyacentes
1A	Fibra de vidrio	360 2	71.8	1.175
1B	Fibra de vidrio	360 2	104.8	1.346
1C	Fibra de vidrio	360 2	124.9	1.609
2A	Titanio	360 2	92.9	1.163
2B	Titanio	360 2	99.2	1.378
2C	Titanio	360 2	108.2	1.61
3A	Fibra de vidrio	180 1	89.4	1.193
3B	Fibra de vidrio	180 1	82.94	1.416
3C	Fibra de vidrio	180 1	88.92	1.685
4A	Titanio	180 1	83.27	1.168
4B	Titanio	180 1	80.9	1.403
4C	Titanio	180 1	87.19	1.657
5A	Oro	360 2	74.65	1.164
5B	Oro	360 2	103.7	1.331
5C	Oro	360 2	127.1	1.542
6A	Ni-Cr	360 2	78.89	1.152
6B	Ni-Cr	360 2	106	1.288
6C	Ni-Cr	360 2	127.8	1.461
7A	Oro	180 1	90.6	1.184
7B	Oro	180 1	84.37	1.373
7C	Oro	180 1	89.31	1.599
8A	Ni-Cr	180 1	91.83	1.174
8B	Ni-Cr	180 1	86.19	1.324
8C	Ni-Cr	180 1	89.3	1.51

Figura 1. Promedio de estrés radicular y presión en tejido adyacentes



El método de elementos finitos es útil para los estudios científicos enfocados en analizar el comportamiento y las consecuencias de las diversas fuerzas aplicadas a los materiales y tejidos orgánicos, permitiendo determinar dónde se presentan las principales concentraciones de esfuerzos y las áreas de mayor falla. Nuestros resultados muestran que el nivel de estrés radicular es mayor en los pernos prefabricados colados de metal noble (Au) y níquel cromo (NiCr), presentando el Au un valor de 101,82 Mpa y 88,09 Mpa a 360° y 180°, respectivamente; y el NiCr 104,23 Mpa y 89,11 Mpa a 360° y 180°, respectivamente. Por otra parte, los valores más bajos, tanto a 360° como a 180°, fueron de la fibra de vidrio con 100,5 Mpa y 87,09 Mpa y el titanio con valores de 100,1 Mpa y 83,79 Mpa.

Estos hallazgos coinciden con los de Pegoretti et al.¹⁰, que señala que los pernos de metal, tales como níquel cromo (NiCr) y la aleación de oro colado (Au), evidencian un esfuerzo mayor en comparación con el poste de fibra de vidrio, mostrando que este comportamiento es consecuencia de la semejanza que existe entre el módulo de elasticidad del poste de fibra de vidrio y la dentina. Por el contrario, Gholami et al.¹¹, exhibieron que los valores medios de resistencia en los grupos de postes de fundición de Ni-Cr son inferiores con respecto a otros postes metálicos, presentando una diferencia significativa debido a que el módulo elástico de Ni-Cr es más elevado, provocando una mayor rigidez y al aplicar la fuerza no siguió la deformación elástica, originando tensiones localizadas dentro del canal radicular y propiciando la fractura de la raíz. Asimismo, también existe diferencia con el estudio de Gómez et al.¹², quienes evidenciaron mediante el método de elementos finitos que existen diferencias significativas entre los postes de fibra de vidrio que originan menor estrés radicular (64,72 MPa) con respecto a los postes de titanio (114,22 MPa). Esta discrepancia con los resultados de nuestra investigación puede estar asociada al tipo de software utilizado para simular en 3D el nivel de estrés radicular o el tipo de diente analizado (incisivo superior izquierdo), los autores emplearon el programa software CAD Solid Edge, lo cual podría incidir en los resultados simulados.

Por otra parte, la presión ejercida en tejidos adyacentes en los premolares tiene mayor nivel de estrés en los pernos prefabricados a base de fibra de vidrio y titanio a 180° en comparación con los de metal noble y níquel cromo, demostrando estos resultados que a mayor estrés radicular menor será la presión ejercida en los tejidos adyacentes. Concordando con lo publicado por Durmus y Oyar¹³, que evidenciaron que los materiales del poste con un alto módulo de elasticidad resultaron en bajos valores de estrés radicular, los postes de fibra con un núcleo de resina compuesta exhibieron altos niveles de estrés, mientras que los postes de fundición (NiCr, AuPd) con un módulo elástico más bajo condujeron a bajos niveles de estrés en la raíz debilitada.

Sin embargo, estos hallazgos no concuerdan con los mostrados por Nokar et al.¹⁴, en donde los pernos de acero inoxidable, titanio indujeron un patrón de distribución de tensión más favorable en comparación con los postes de fibra de vidrio, estos mostraron mayores niveles de estrés en el área entre los tercios medio y cervical de la raíz. Un factor que difiere es el programa

de simulación software ANSYS 5.4 y la carga de compresión con una intensidad constante de 100 N a un área de carga de 1 mm² en la superficie lingual del diente en un ángulo de 45°.

A partir de nuestros hallazgos se puede concluir que el nivel estrés radicular es mayor con los pernos colados de metal noble (Au) y NiCr, tanto a 360 y 180°, en comparación con los de fibra de vidrio y titanio; mientras que el nivel de presión ejercida en tejidos adyacentes en los premolares mostraron un mayor nivel de estrés con los pernos prefabricados a base de fibra de vidrio y titanio, ambos a 180°, en comparación con los de metal noble (Au) y NiCr. No obstante, es necesario desarrollar análisis con otras piezas del maxilar inferior con los pernos prefabricados y colados con metodologías alternativas para contrastar con los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos, así como combinar las presiones ejercidas en las áreas de contacto oclusal en las diferentes piezas dentales.

Referencias

1. Ree M, Schwartz RS. The endo-restorative interface: current concepts. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):345-74.
2. Gbadebo O, Ajayi D, Oyekunle O, Shaba P. Randomized clinical study comparing metallic and glass fiber post in restoration of endodontically treated teeth. *Indian J Dent Res.* 2014; 25(1): 58-63.
3. Abo O, Atta O, El-Mowafy O. Fracture resistance of anterior teeth restored with a novel nonmetallic post. *J Can Dent Assoc.* 2008; 74(5): 441-441.
4. American Association of Endodontics. Evidence-based review of clinical studies on restorative dentistry. *J Endod.* 2009; 35(8): 1111-1115.
5. Ozkurt Z, Ieri U, Kazazo lu E. Zirconia ceramic post systems: a literature review and a case report. *Dent Mater J.* 2010; 29(3): 233-245.
6. Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. *Quintessence Int.* 2020;51(3):248-257.
7. Alauddin MS, Baharuddin AS, Mohd Ghazali MI. The Modern and Digital Transformation of Oral Health Care: A Mini Review. *Healthcare (Basel).* 2021;9(2):118.
8. Spagnuolo G, Sorrentino R. The Role of Digital Devices in Dentistry: Clinical Trends and Scientific Evidences. *J Clin Med.* 2020; 9(6): 1692.
9. Tucker S, et al. Comparison of actual surgical outcomes and 3-dimensional surgical simulations. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(10):2412-21.
10. Pegoretti A, Fambri J, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials.* 2002;23(13): 2667-2682.
11. Gholami F, Kohani P, Aalaei S. Effect of Nickel-Chromium and Non-Precious Gold Color Alloy Cast Posts on Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth. *Iranian Endodontic Journal.* 2017;12(3): 303-306.
12. Gómez A, Chica E, Latorre F. Análisis de la distribución de esfuerzos en diferentes elementos de retención intrarradicular prefabricados. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia.* 2008; 20(1): 31-42.
13. Durmu G, Oyar P. Effects of post core materials on stress distribution in the restoration of mandibular second premolars: a finite element analysis. *J Prosthet Dent.* 2014; 112(3): 547-554.
14. Nokar S, Bahrami M, Mostafavi A. Comparative Evaluation of the Effect of Different Post and Core Materials on Stress Distribution in Radicular Dentin by Three-Dimensional Finite Element Analysis. *J Dent (Tehran).* 2018; 15(2): 69-78.