




Comparison of compressive strength between Trioxide Mineral Aggregate and Biodentine™ in permanent lower molar furcation perforations

Comparación de la resistencia compresiva entre el Agregado Trióxido Mineral y Biodentine™ en perforaciones de furca de molares inferiores permanentes

JHEMY GERARDO HUATUCO-GRANDA¹, JOHN PAUL TORRES-NAVARRO², ROSA JOSEFINA RONCAL-ESPINOZA³

- ¹ Cirujano dentista, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.  0009-0008-2660-4327
² Magíster en Estomatología, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.  0000-0002-9664-4454
³ Magíster en Estomatología, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.  0000-0002-1102-9613

ABSTRACT

Introduction: one of the most frequent accidents during root canal access in endodontic treatment is perforation at the level of the pulp floor and bioceramics are currently suggested to repair perforations. The aim of this study was to compare the compressive strength of Mineral Trioxide Aggregate (MTA) and Biodentine™ in furcation perforations of lower permanent molars. **Methods:** 30 human lower molars were selected, and an endodontic cavity access, were decoronated, and were duly stopped, and then randomly divided into 3 groups (n=10). Group 1: specimens in which a furcation perforation was created and sealed with MTA. Group 2: specimens in which a furcation perforation was created, sealed with Biodentine™. Group 3: specimens without perforation. After 30 days, they were subjected to compressive forces using a universal testing machine recording the force required to produce the fracture. The data were processed with ANOVA and Tukey statistical tests, with a significance level of $p < 0.05$. **Results:** the compressive strength of Biodentine™ (190.84 MPa) did not show statistically significant differences with respect to MTA (165.29 MPa) at 30 days of evaluation. However, MTA did show a difference when compared to the control group (213.46 MPa). **Conclusion:** when evaluating the compressive strength in MPa, Biodentine™ presented similar values in the sealing of lower molar furcation perforations when compared to the control group and MTA; whereas, MTA presented significantly lower results than the control; likewise, the relative difference of the latter group was greater with respect to the others.

Keywords: endodontics, mineral trioxide aggregate, Biodentine™, compressive strength

Resumen

Introducción: uno de los accidentes más frecuentes durante el acceso cameral en un tratamiento de endodoncia es la perforación a nivel del piso pulpar, siendo los biocerámicos los materiales sugeridos en la actualidad para reparar este tipo de perforaciones. El objetivo de este estudio fue comparar la resistencia compresiva del Agregado Trióxido Mineral (MTA) y Biodentine™ en perforaciones de furca de molares inferiores permanentes. **Métodos:** se seleccionaron 30 molares inferiores humanas, a los que se les realizó un acceso cavitario endodóntico; fueron debidamente preparados para luego ser divididos aleatoriamente en 3 grupos (n=10). Grupo 1: especímenes en los que se creó una perforación de furca, sellada con MTA. Grupo 2: especímenes en los que se creó una perforación de furca, sellada con Biodentine™. Grupo 3: especímenes sin perforación. Después de 30 días fueron sometidos a fuerzas compresivas mediante una máquina de ensayos universales registrando la fuerza necesaria para producir la fractura. Los datos fueron procesados usando pruebas estadísticas ANOVA y Tukey, con un nivel de significancia $p < 0,05$. **Resultados:** la resistencia compresiva del Biodentine™ (190,84 MPa) no presentó diferencias estadísticamente significativas respecto a MTA (165,29 MPa) a los 30 días de evaluación. Sin embargo, MTA sí mostró diferencia al ser comparada con el grupo control (213,46 Mpa). **Conclusión:** al evaluar la resistencia compresiva en MPa, el Biodentine™ presentó valores similares en el sellado de perforaciones de furca de molares inferiores al ser comparado con el grupo control y MTA; mientras que, MTA presentó resultados significativamente más bajos que el control; asimismo, la diferencia relativa de este último grupo fue mayor respecto a los demás.

Palabras clave: endodoncia, agregado de trióxido mineral, Biodentine™, resistencia a la compresión

Enviado: febrero 28/2024 - Aceptado: abril 10/2024



Cómo citar este artículo: Huatuco-Granda JG, Torres-Navarro JP, Roncal-Espinoza RJ. Comparison of compressive strength between Trioxide Mineral aggregate and Biodentine in permanent lower molar furcation perforations. Rev Fac Odontol Univ Antioq. 2024; 36(1). 54-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v36n1a5>

INTRODUCCIÓN

La endodoncia tiene como principal objetivo la limpieza, desinfección y conformación del sistema de conductos radiculares, culminando el tratamiento con el sellado hermético y tridimensional del mismo.¹ Sin embargo, durante el procedimiento clínico existen una variedad de accidentes y/o complicaciones que podrían comprometer la tasa de éxito del tratamiento.² Uno de los accidentes más frecuentes que ocurren durante la realización del acceso cameral es la perforación a nivel del piso de la cámara pulpar, definida como una comunicación entre el periodonto y la cavidad pulpar, dando como resultado una inflamación crónica del tejido periodontal con una consecuente formación de tejido de granulación que puede desencadenar en una pérdida del tejido de inserción, filtración bacteriana, movilidad dental, y en una fractura de la pieza dentaria, siendo todos ellos indicativos del fracaso del tratamiento endodóntico,³⁻⁵ más aún si se ha reportado que las perforaciones radiculares con motivo iatrogénico ocurren en un 10 %, ⁶ por lo cual, el pronóstico del tratamiento dependerá de varios factores como el tamaño, la localización, el tiempo de la perforación, grado de contaminación y de la viabilidad para sellar la perforación. Estas pueden repararse mediante un procedimiento quirúrgico externo o a través de un manejo intracoronal, empleando para ambos casos un material que presente las siguientes características: biocompatible, sellado hermético, no reabsorbible, radiopaco, bacteriostático y alta resistencia a las fuerzas compresivas.⁵

Durante años, varios materiales han sido sugeridos para reparar las perforaciones: amalgama, cementos de óxido de zinc – eugenol, ionómero de vidrio reforzado, ionómero de vidrio, hidróxido de calcio, Agregado Trióxido Mineral (MTA) y Biodentine™, siendo los dos últimos los más utilizados en la actualidad por su biocompatibilidad y capacidad osteoinductura.⁷

Aunque el MTA ha sido ampliamente estudiado, y sus propiedades se han valorado tanto *in vitro* como *in vivo* a través de diversas investigaciones, destacando siempre su biocompatibilidad, capacidad de sellado y adaptación marginal, elevada alcalinidad, con un pH de 12,5 que posibilita su efecto antibacteriano; sin embargo, también presenta ciertos inconvenientes: tiempo de fraguado prolongado, difícil manipulación, precio elevado, cambio de color en la pieza dental, porosidad y baja resistencia a las fuerzas compresivas, por lo cual no puede ser utilizado en zonas funcionales.^{8,9}

Por otro lado, Biodentine™ es un material introducido al mercado en el 2009 como un sustituto bioactivo de la dentina, compuesto por silicato tricálcico y cloruro de calcio que destaca en comparación con el MTA por poseer propiedades mecánicas similares a la dentina, baja porosidad, fácil manipulación, no genera un cambio de color en la pieza dental en la que se aplica y presenta además un tiempo de fraguado rápido (10 – 12 minutos), lo cual permitiría reparar una perforación y culminar el tratamiento endodóntico en una misma sesión, reduciendo por ende los tiempos clínicos, simplificando el procedimiento y disminuyendo además el riesgo de fractura de la pieza dentaria.^{10,11}

Sin embargo, pocas investigaciones¹²⁻¹⁴ se han realizado hasta la fecha comparando la resistencia compresiva de ambos materiales, considerando que esta propiedad mecánica es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta para mejorar la resistencia a la fractura de las piezas dentales, el pronóstico y la tasa de supervivencia a largo plazo. De allí que, este tipo de estudios contribuyen a

proporcionar un aporte clínico al endodoncista, estableciendo criterios más sólidos para la selección del cemento reparador ideal a utilizar en casos de perforaciones de furca.

El objetivo principal del presente estudio fue comparar la resistencia compresiva del MTA y Biodentine™ en perforaciones de furca de molares inferiores permanentes a los 30 días de evaluación.

MÉTODOS

El presente estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Medicina de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, mediante resolución decanal N° 181-2023-USAT-FMED.

Para el desarrollo de esta investigación con diseño experimental *in vitro*, que tuvo como método de investigación la observación estructurada, se seleccionaron 30 primeros y/o segundos molares inferiores. El tamaño muestral se determinó mediante el software OpenEpi utilizando la fórmula para diferencia de medias, donde se reemplazaron los valores de dos grupos experimentales del estudio de Kabtoleh et al.¹³ Además, el intervalo de confianza asignado fue de 95 % con una potencia de 80 %, dando como resultado dos muestras por grupo; sin embargo, se decidió ampliar la muestra a 10 por posibles pérdidas.

Para la selección de las piezas, se consideró la inclusión de primeros y segundos molares inferiores permanentes con raíces bifurcadas, ápice cerrado y con el piso de la cámara pulpar intacta. Además, se excluyeron a los molares con raíces fusionadas o que presentaran fisuras, líneas de fractura, caries radicular o a nivel de furca.

Los 30 molares permanentes inferiores obtenidos a manera de donación del servicio de odontología del Hospital José Cayetano Heredia de la ciudad de Piura fueron limpiados de debris dentinario y almacenados en solución salina fisiológica (cloruro de sodio 0,9 %), secados para luego ser inspeccionados de manera individual bajo magnificación de 3,0X utilizando lupas brilliance (Eighteeth, China). Posteriormente, se almacenaron en solución salina fisiológica (cloruro de sodio 0,9 %) con recambios cada 3 días a temperatura de 37 ° centígrados hasta su uso.

Preparación de la muestra

Se preparó un acceso cavitario endodóntico estándar (apertura cameral) en cada uno de los dientes,^{13,15} para luego decoronarlos 5 mm por encima del piso de la cámara pulpar y las raíces fueron seccionadas 5 mm por debajo de la furcación usando un disco diamantado (Jota, Alemania) de 0,2 mm de espesor, activado con un micromotor (KaVo, Alemania) y refrigerado por agua (Figura 1A). Luego, se aplicó una pequeña cantidad de silicona pesada de condensación (Zhermack, Italia) por debajo de la zona de furca (Figura 1B). Posteriormente, se agregó acrílico transparente de autocurado (Vitacryl, Colombia) alrededor de los especímenes, empleando un molde cilíndrico (Figura 1C).

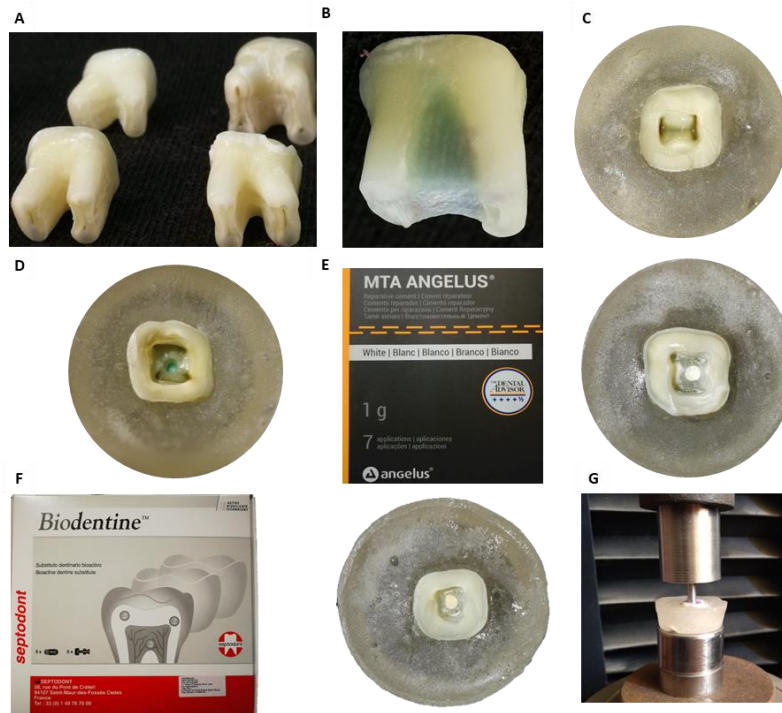


Figura 1. A. Molares con acceso cavitario, seccionadas coronal y apicalmente. B. Aplicación de silicona en la zona de furca. C. Montaje en acrílico transparente. D. Perforación de 2 mm a nivel de furca. E. Sellado con MTA. F. Sellado con Biodentine. G. Evaluación de la resistencia compresiva.

Fuente: por los autores

Distribución de las muestras

Las muestras seleccionadas fueron divididas de forma aleatoria en 3 grupos: 2 experimentales y 1 grupo control negativo; cada grupo estuvo constituido por 10 especímenes.

Los grupos fueron distribuidos de la siguiente manera:

- **Grupo experimental 1:** formado por 10 especímenes en los que se creó una perforación a nivel de furca, la cual fue sellada con MTA (Angelus, Brazil)
- **Grupo experimental 2:** formado por 10 especímenes en los que se creó una perforación a nivel de furca, la cual fue sellada con Biodentine™ (Septodont, Francia)
- **Grupo 3:** formado por 10 especímenes en los que no se realizaron perforaciones y no se aplicó ningún cemento reparador.

Respecto a la perforación creada en los grupos experimentales, esta se realizó en el área de furca desde la superficie externa del diente usando una fresa redonda diamantada de vástago largo de alta velocidad de codificación ISO 801-016 (Angelus, Brazil). Todas las perforaciones fueron realizadas lo más centradas posible por un mismo operador experto y tuvieron un diámetro de 2 mm (Figura 1D).

Aplicación de los cementos reparadores

MTA

Se mezcló el MTA con agua estéril, según las indicaciones del fabricante, y se colocó en la zona de la perforación para cada uno de los especímenes del grupo empleando un porta-amalgamas pequeño. Se condensó el material empleando un condensador Machtou #3-4 (VDW, Alemania), se eliminaron los excesos y se colocó una bolita de algodón húmeda junto al MTA por 4 horas para permitir el fraguado del material (Figura 1E).

Biodentine™

Se mezcló el Biodentine™ en un amalgamador por 30 segundos a 4000 RPM de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Posteriormente, se llevó el material hacia la zona de la perforación para cada uno de los especímenes del grupo empleando un porta-amalgamas pequeño. Se condensó el material en Machtou #3-4 (VDW, Alemania), se eliminaron los excesos y se esperaron 12 minutos para permitir el fraguado del material (Figura 1F).

Evaluación de la resistencia compresiva

Todas las muestras se almacenaron en una incubadora a 37° C y 100 % de humedad relativa durante 30 días, después de este periodo los especímenes fueron sometidos a fuerzas compresivas con una presión variable y una velocidad constante de 0,75 mm/min empleando una máquina digital de ensayos universales modelo CMT- 5L LG, registrando la fuerza necesaria con la cual el material se desprendió del espécimen o hasta que se produjo la fractura de este (Figura 1G).

Los datos fueron almacenados en una ficha de recolección de datos, para su procesamiento se utilizó el programa estadístico SPSS versión 22 Chicago ILL. Para evaluar su normalidad se utilizó la prueba estadística Shapiro Wilk, obteniendo un valor $> 0,05$; por tanto, fueron procesados con la prueba estadística paramétrica ANOVA, además, para determinar donde se encontraban las diferencias estadísticamente significativas se utilizó la prueba post hoc de Tukey con un nivel de significancia $p < 0,05$.

RESULTADOS

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo comparar la resistencia compresiva del MTA y Biodentine™ en perforaciones de furca de molares inferiores permanentes. Los resultados obtenidos fueron que los grupos experimentales MTA, Biodentine™ y el grupo control presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), donde los valores más altos se observaron en el grupo control, seguido de Biodentine™ y MTA.

Biodentine™ no presentó diferencias estadísticamente significativas al ser comparado con MTA y el grupo control; sin embargo, el MTA mostró significancia estadística al ser comparado con el grupo control, siendo este último quien obtuvo valores más altos. Estos resultados se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de la resistencia compresiva del agregado trióxido mineral y Biodentine™ en perforaciones de furca de molares inferiores permanentes

Grupos	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Desviación estándar	*p
MTA	120,34	250,08	165,29 a	39,07	0,012
Biodentine	134,38	224,62	190,84 ac	27,32	
Control	167,33	269	213,46 bc	32,83	

*Prueba estadística Anova de una vía $p < 0,05$. Las letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas

Fuente: por los autores

DISCUSIÓN

Las perforaciones radiculares son de las complicaciones más comunes observadas durante el tratamiento de endodoncia de las cuales del 2 al 12 % tienen un origen iatrogénico que, de no ser tratado adecuadamente, puede conllevar al fracaso del tratamiento al generar dolor e inflamación del tejido periodontal adyacente resultando, a mediano o largo plazo, en la pérdida del diente debido a la filtración bacteriana y la disminución de la resistencia a la fuerza compresiva a la que es sometida durante la masticación habitual.^{3-5,16}

En los últimos años, los cementos biocerámicos han surgido como una posible solución ante esta problemática; sin embargo, estos productos deben ser evaluados desde varias aristas, teniendo en cuenta las diferentes propiedades que presentan cada uno de ellos, siendo una de las principales características para tener en cuenta la resistencia a la fuerza compresiva sobre todo cuando la perforación ha sido provocada en dientes que están sometidos a grandes cargas masticatorias.^{4,17}

Con base en el objetivo de esta investigación, al comparar la resistencia compresiva del MTA y Biodentine™ en perforaciones de furca de molares inferiores permanentes, muestra como resultado que el Biodentine™ presentó valores más altos al ser comparado con el MTA, pero sin mostrar diferencias estadísticamente significativas al igual que al ser comparado con el grupo control, que estuvo conformado por dientes intactos sin perforación.

Estos resultados se corroboran con los obtenidos por otras investigaciones^{12,17-20} en las que se puso a prueba la resistencia a las fuerzas de compresión de diversos cementos biocerámicos, dando como resultado que el Biodentine™ fue el cemento que alcanzó los mayores valores al ser comparado con MTA, Biosealer, MTA repair HP, Bio-C Repair y WMTA. Esto podría deberse a que Biodentine™, a diferencia de otros cementos reparadores hechos a base de silicato de calcio, mejora sus propiedades mecánicas gracias a la integración de su tecnología biosilicato activo, la cual controla la pureza del silicato de calcio gracias a la integración de polímeros solubles en agua que contienen policarboxilato, y actúan como reductores de agua, disminuyendo la porosidad del material, mejorando su capacidad de sellado y consecuentemente aumentando su resistencia a la compresión.^{19,21}

Por otro lado, los resultados obtenidos en esta investigación demostraron también que el grupo experimental constituido por el MTA sí presentó diferencias estadísticamente significativas al ser comparado con el grupo control (dientes sin perforación), al obtener valores más bajos de resistencia

a la compresión, 165,29 MPa y 213,46 MPa respectivamente, lo cual se corrobora con diversos estudios^{12,13,20,22} en los que el MTA alcanza valores inferiores de resistencia a la compresión al ser comparado con Biodentine™ y con dientes estructuralmente intactos. Esto podría atribuirse a que este cemento presenta una mayor porosidad, siendo este un factor crítico debido a que un mayor diámetro de poro da como resultado una mayor filtración y, por lo tanto, compromete el sellado hermético aumentando, además, significativamente la solubilidad del material y disminuyendo por ende la resistencia del mismo a las fuerzas de compresión; adicional, se debe tener en cuenta que MTA viene en presentación polvo – líquido, por lo cual una ligera variación en las proporciones dosificadas por el operador pueden alterar la consistencia del material y sus propiedades mecánicas.²³

Respecto al tiempo de evaluación, a diferencia del presente estudio en el que se evaluó la resistencia compresiva de los cementos biocerámicos pasados los 30 días, otras investigaciones^{12,18-20,24} en las que abordaron periodos de tiempo distintos, evaluando la resistencia a la compresión a las 24 horas, 4, 7, 21 y 28 días, obteniendo resultados similares. Esto podría deberse a que Biodentine™ presenta un fraguado inicial a los 12 minutos y el MTA requiere entre 3 a 4 horas aproximadamente, por lo cual ambos materiales podrían empezar a testearse pasado este periodo de tiempo.²⁵

Cabe destacar que la presencia del acelerador de fraguado en Biodentine™ da como resultado un fraguado más rápido mejorando así sus propiedades de manejo y resistencia, siendo además una ventaja sobre el MTA, ya que un tiempo de fraguado retardado conduce a un mayor riesgo de pérdida parcial de material y alteración de la interfaz durante la fase final del procedimiento.²³

Además, durante el fraguado de Biodentine™ la resistencia a la compresión aumenta 100 MPa en la primera hora y 200 MPa a las 24 horas, y continúa mejorando con el tiempo durante varios días hasta alcanzar valores de hasta 300 MPa después de un mes, siendo comparable a la resistencia a la compresión de la dentina natural (297 MPa). Por lo tanto, Biodentine™ tiene una gran mejora respecto al MTA no sólo en cuanto al tiempo de fraguado sino también a los niveles de resistencia a la compresión que puede alcanzar.²³

Finalmente, otra variable que se especifica en las diferentes investigaciones es el tipo de diente o muestra sobre la que se realizan las pruebas de laboratorio: dientes anteriores,¹² premolares,¹⁷ molares o especímenes cilíndricos,^{19,20} teniendo en cuenta que los dientes con mayor predisposición a las fracturas radiculares verticales son las premolares superiores y las molares inferiores.²⁶ Pese a esto, todas las investigaciones han reportado similares resultados, lo cual podría indicar que el comportamiento de los biocerámicos es el mismo indistitamente de la pieza a tratar. Este estudio no contempló la incorporación de un grupo de dientes con perforación, pero sin el sellado (control negativo) debido a que, en condiciones reales, la necesidad primordial del especialista en este tipo de situaciones es buscar el sellado de la perforación para evitar efectos irreparables, por lo que la evaluación de un grupo de este tipo no sería necesaria, sobre todo al tratarse de pruebas de resistencia.

La principal limitación encontrada en el presente estudio fue que, al tratarse de un estudio con diseño experimental *in vitro*, no es posible hacer una completa extrapolación a las condiciones reales de la cavidad oral, debido a que no se podría inferir si los cementos testeados se comportarían del mismo

modo al estar en contacto con los fluidos tisulares y al ser sometidos a fuerzas masticatorias excéntricas. Sin embargo, dada la naturaleza del estudio no es viable aplicar estas pruebas en investigaciones *in vivo*; por tanto, estos resultados pueden mostrar un panorama cercano a las condiciones reales.

CONCLUSIONES

A los 30 días de evaluación, la resistencia comprensiva del Biodentine™ presenta valores similares en el sellado de perforaciones de furca de molares inferiores permanentes inferiores al ser comparado con el grupo control y MTA; mientras que, MTA presentó resultados significativamente más bajos que el control; asimismo, la diferencia relativa de este último grupo mayor respecto a los demás.

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones donde se realizó la investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

AUTOR DE CORRESPONDENCIA

Rosa Josefina Roncal-Espinoza
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 94 989 4027
 rosijo312@hotmail.com
 Av San Josemaría Escriva de Balaguer 855, Chiclayo 14012
 Chiclayo, Perú

REFERENCIAS

1. Katge FA, Shivasharan PR, Patil D. Sealing ability of mineral trioxide aggregate Plus™ and Biodentine™ for repair of furcal perforation in primary molars: an in vitro study. *Contemp Clin Dent.* 2016; 7(4): 487-92. DOI: <https://doi.org/10.4103/0976-237X.194100>
2. Siew K, Lee AHC, Cheung GSP. Treatment outcome of repaired root perforation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2015; 41(11): 1795-804. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.07.007>
3. Marques NCT, Lourenço N, Oliveira TM. Immediate and mediate furcal perforation treatment in primary molars: 24-month follow-up. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2016; 17(6): 489-94. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40368-016-0249-5>
4. Haghgoo R, Arfa S, Asgary S. Microleakage of CEM Cement and ProRoot MTA as furcal perforation repair materials in primary teeth. *Iran Endod J.* 2013; 8(4): 187-90.
5. Silveira CMM, Sánchez-Ayala A, Pilatti GL, Gomes OMM. Reparación de perforación de furca utilizando agregado de trióxido mineral (MTA). *Acta Odontol Venez.* 2009; 47(3).
6. Attar SM. Root canal perforation: a quick review. *J Oral Dent Health.* 2018; 2(1): 1-2.

7. Samuel A, Asokan S, Geetha Priya PR, Thomas S. Evaluation of sealing ability of Biodentine™ and mineral trioxide aggregate in primary molars using scanning electron microscope: a randomized controlled in vitro trial. *Contemp Clin Dent*. 2016; 7(3): 322-5. DOI: <https://doi.org/10.4103/0976-237x.188547>
8. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod*. 1993; 19: 541-4. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)81282-3](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)81282-3)
9. Miñana-Gómez M. El Agregado de Trióxido Mineral (MTA) en Endodoncia. *RCOE*. 2002; 7(3): 283-9.
10. Malkondu Ö, Kazandağ MK, Kazazoğlu E. A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *BioMed Res Int*. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/160951>
11. Kaup M, Schäfer E, Dammaschke T. An in vitro study of different material properties of Biodentine compared to ProRoot MTA. *Head Face Med*. 2015; 11: 16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13005-015-0074-9>
12. Mohite P, Ramteke AD, Gupta R, Patil S, Gupta D. Comparative evaluation of mineral trioxide aggregate and biodentine apical plug thickness on fracture resistance of immature teeth: an In vitro study. *Ann Afr Med*. 2022; 21(3): 198-203. DOI: https://doi.org/10.4103/aam.aam_97_20
13. Kabtoleh A, Aljabban O, Alsayed Tolibah Y. Fracture resistance of molars with simulated strip perforation repaired with different calcium silicate-based cements. *Cureus*. 2023; 15(1): e34462. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.34462>
14. Koç C, Aslan B, Ulusoy Z, Oruçoğlu H. Sealing ability of three different materials to repair furcation perforations using computerized fluid filtration method. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2021; 15(3): 183-7. DOI: <https://doi.org/10.34172/joddd.2021.031>
15. Ruddle CJ. Access preparation endodontic: an opening for success. *Dent Today*. 2007; 26(2): 116-9.
16. Gorni FG, Ionescu AC, Ambrogi F, Brambilla E, Gagliani MM. Prognostic factors and primary healing on root perforation repaired with MTA: a 14-year longitudinal study. *J Endod*. 2022; 48(9): 1092-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2022.06.005>
17. Rodrigues MNM, Bruno KF, De Alencar AHG, Silva JDS, De Siqueira PC, Decurcio DA et al. Comparative analysis of bond strength to root dentin and compression of bioceramic cements used in regenerative endodontic procedures. *Restor Dent Endod*. 2021; 46(4): e59. DOI: <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e59>
18. Elnaghy AM. Influence of acidic environment on properties of biodentine and white mineral trioxide aggregate: a comparative study. *J Endod*. 2014; 40(7): 953-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.11.007>
19. Lucas CPTP, Viapiana R, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM, Camilleri J, Tanomaru-Filho M. Physicochemical properties and dentin bond strength of a tricalcium silicate-based retrograde material. *Braz Dent J*. 2017; 28(1): 51-6. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6440201701135>
20. Al-Sherbiny IM, Farid MH, Abu-Seida AM, Motawea IT, Bastawy HA. Chemico-physical and mechanical evaluation of three calcium silicate-based pulp capping materials. *Saudi Dent J*. 2021; 33(4): 207-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.02.001>
21. Laurent P, Camps J, About I. Biodentine™ induces TGF-beta1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *Int Endod J*. 2012; 45: 439-48. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01995.x>
22. Nagas E, Cehreli ZC, Uyanik O, Vallittu PK, Lassila LVJ. Reinforcing effect of glass fiber-incorporated proroot MTA and Biodentine as intraorifice barriers. *J Endod*. 2016; 42(11): 1673-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.002>
23. Eskandarinezhad M, Ghodrati M, Azar FP, Jafari F, Pakchin PS, Abdollahi AA, et al. Effect of incorporating hydroxyapatite and zinc oxide nanoparticles on the compressive strength of white mineral trioxide aggregate. *J Dent (Shiraz)*. 2020; 21(4): 300-6. DOI: <https://doi.org/10.30476/dentjods.2020.82963.1034>
24. About I. Biodentine: from biochemical and bioactive properties to clinical applications. *G Ital Endod*. 2016; 30: 81-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gien.2016.09.002>
25. Kaur M, Singh H, Dhillon JS, Batra M, Saini M. MTA versus biodentine: review of literature with a comparative analysis. *J Clin Diagn Res*. 2017; 11(8): ZG01-ZG05. DOI: <https://doi.org/10.7860/jcdr/2017/25840.10374>
26. Liao W, Chen C, Pan Y, Chang M, Jeng J. Vertical root fracture in non-endodontically and endodontically treated teeth: current understanding and future challenge. *J Pers Med*. 2021; 11(12): 1375. DOI: <https://doi.org/10.3390/jpm11121375>