

## Influencia de las grietas sobre la filtración y eficacia de obturación de los materiales de obturación retroapical tras preparación ultrasónica: evaluación in vitro

Mieke A. A. de Bruyne, DDS, PhD<sup>a</sup>, y Roeland J. G. de Moor, DDS, MSc, PhD<sup>b</sup>

**Objetivos:** Evaluar (1) el sellado apical de cavidades retrógradas empleando agregado tritóxido mineral (MTA) e ionómero de vidrio en dientes con y sin grietas después de la preparación apical ultrasónica y (2) la eficacia de obturación de los materiales en las cavidades retrógradas.

**Método y materiales:** Se dividieron sesenta dientes con cavidades retrógradas en 3 grupos: dientes sin grietas (–) (grupo A) y dientes con grietas (+) (grupo B). El tercer grupo (4 dientes) se reservó como control. Los grupos A y B se dividieron cada uno en dos subgrupos: los grupos 1A y 1B se obturaron con cápsulas de Fuji IX (GC) después del tratamiento con acondicionador de cavidad; los grupos 2A y 2B se obturaron con MTA blanco (Dentsply). Los dientes se sumergieron en tinta china y después se limpiaron. La filtración apical se midió desde la superficie de resección del ápice hasta el punto máximo de infiltración de la tinta. Se puntuó la eficacia de obturación como buena (aceptable), irregular (aceptable), o mala (inaceptable). El análisis estadístico se realizó mediante pruebas exactas no paramétricas y de Fisher.

**Resultados:** Los resultados de filtración apical se ordenaron de la siguiente manera: Fuji IX+ > MTA+ > Fuji IX– > MTA–. Se demostraron diferencias significativas entre Fuji IX– y Fuji IX+ ( $P < 0,001$ ) y entre MTA– y MTA+ ( $P < 0,001$ ). Fuji IX mostró un mayor número que MTA de obturaciones inaceptables de forma significativa ( $P < 0,005$ ). No se demostró ninguna correlación entre la eficacia de obturación y la filtración apical ( $P > 0,05$ ).

**Conclusión:** La presencia de grietas originadas en el conducto radicular influye negativamente en la capacidad de sellado de los materiales de obturación a retro y con bastante probabilidad tiene una importancia clínica relevante. MTA y Fuji IX mostraron una capacidad de sellado igual, pero MTA mostró una mejor eficacia de obturación de la cavidad retrógrada que Fuji IX.

(*Quintessence Int.* 2008;39(8):685-92)

<sup>a</sup>Director Clínico Asociado. Departamento de Odontología Operativa y Endodoncia. Facultad de Odontología. Universidad Ghent. Hospital Universitario de Ghent. Ghent, Bélgica.

<sup>b</sup>Profesor. Departamento de Odontología Operativa y Endodoncia. Facultad de Odontología. Universidad Ghent. Hospital Universitario de Ghent. Ghent, Bélgica.

Correspondencia: Dr. Mieke A. A. de Bruyne.  
Department of Operative Dentistry and Endodontology. Dental School.  
Ghent University. Ghent University Hospital.  
De Pintelaan 185 P8, 9000 Ghent, Bélgica.  
Correo electrónico: mieke.debruyne@UGent.be

La cirugía periapical comprende el desbridamiento del tejido patológico periapical, la apicectomía, la preparación del extremo radicular y la colocación de una obturación retrógrada para sellar el conducto radicular<sup>1</sup>. El objetivo de colocar una obturación en el extremo radicular es lograr un sellado bien ajustado que impida la salida de irritantes residuales y contaminantes orales de los conductos radiculares y su entrada en los tejidos periapicales<sup>2</sup>. El material idóneo para este tipo de obturación sería un material que se adhiriera y adaptara bien a las paredes de la preparación del extremo radicular, previniera la filtración de microorganismos y sus toxinas a los tejidos periapicales, fuera biocompatible, insoluble

en los líquidos titulares, fuera dimensionalmente estable y permaneciera inalterable ante la humedad<sup>2</sup>. Para conseguir una buena curación periapical es necesario conseguir un sellado bien ajustado<sup>3</sup>. Cuando esto no se logra puede producirse microfiltración.

El empleo de puntas de ultrasonidos en cirugía periapical se ha aceptado de forma generalizada debido a sus pequeñas dimensiones y a su buen acceso al extremo radicular reseccionado. En el extremo radicular no es necesario realizar biseles o en todo caso muy leves<sup>4</sup>, lo que minimiza el número de túbulos dentinarios expuestos<sup>5</sup>. Por otro lado se pueden conseguir preparaciones cavitarias más pequeñas y más limpias, más profundas y retentivas, y mejor alineamiento de la cavidad retrógrada con el eje longitudinal del conducto radicular<sup>4,6-9</sup>. La instrumentación ultrasónica permite además importantes ventajas en el tratamiento de raíces muy finas cuando presentan un estrechamiento, reduciendo el riesgo de perforación radicular<sup>10-12</sup>.

Saunders et al<sup>13</sup>, en un estudio in vitro, fueron los primeros en mencionar que se ven grietas de la superficie de los extremos radiculares más a menudo después de la preparación ultrasónica de los extremos radiculares que tras la preparación con una fresa redonda y contraángulo a baja velocidad. Sus resultados fueron confirmados por primera vez por Abedi et al<sup>14</sup>, pero en posteriores estudios sobre métodos ultrasónicos o sónicos de preparación de los extremos radiculares no se observaron diferencias ni grietas<sup>15-18</sup>. Los resultados de otros estudios mostraron que los instrumentos ultrasónicos producían más grietas cuando se empleaban a alta frecuencia que cuando se empleaban medias o bajas frecuencias<sup>19,20</sup>. La reducción de media a baja frecuencia daba lugar a puntuaciones más altas de grietas in situ (cadáveres); por lo tanto, se recomienda la frecuencia media<sup>21</sup>. La influencia de las grietas en los procesos de curación periapical y en la filtración apical no se ha clarificado todavía. De cualquier manera, las microfracturas pueden pasar desapercibidas durante la cirugía, y dado que éstas aumentan el riesgo de filtración apical, su presencia tiene gran importancia clínica<sup>13</sup>.

Tanto el ionómero de vidrio como el agregado tritóxido mineral (MTA) muestran excelente biocompatibilidad<sup>22-26</sup>, lo que les hace muy apropiados como materiales de obturación de los extremos radiculares. Sin embargo, las características de manejo de los ionómeros de vidrio son más críticas, y no está claro si los ionómeros de vidrio colocados en cavidades retrógradas de tamaño limitado se adaptan realmente a la cavidad en las tres dimensiones. Los ionómeros de vidrio pueden emplearse como materiales de obturación retroapical con y sin acondicio-

nador de dentina, pero parece que está indicada la eliminación del barrillo dentinario para mejorar el sellado del material<sup>27,28</sup>.

El propósito de este estudio fue comparar el sellado apical de cavidades retroapicales empleando MTA y un cemento de ionómero de vidrio con un acondicionador de dentina, en dientes con y sin grietas mediante el método de tinción y aclarado<sup>29</sup>. Un segundo propósito fue evaluar la eficacia de obturación de los materiales en las cavidades retrógradas.

## Método y materiales

### *Preparación de la muestra*

En un estudio previo<sup>21</sup>, se investigó el efecto de la punta ultrasónica de diamante S12/90°D (Satelec) y de la unidad ultrasónica Suni-Max (Satelec) sobre la integridad de los ápices radiculares respecto a posibles grietas o astillamientos tras la preparación de los extremos radiculares. En este estudio, se llevaron a cabo tratamientos de conducto, apicectomías perpendiculares, y preparación de extremos radiculares sobre dientes anteriores y premolares unirradiculares, tras lo cual se prepararon cavidades retrógradas en dos series. Se procesaron impresiones de Exaflex (GC) de los extremos radiculares para registro en microscopio electrónico de barrido (MEB) y se evaluó la presencia de grietas y astillamientos marginales en las fotografías. Sesenta dientes fueron seleccionados aleatoriamente y almacenados en agua a temperatura ambiente durante una media de 12 meses, después de lo cual se emplearon en el presente estudio.

En este estudio, los dientes se dividieron en tres grupos de acuerdo con el análisis de las fotografías finales MEB<sup>21</sup>: dientes sin grietas (grupo A; n = 32), dientes con grietas originadas en el interior del conducto radicular (grupo B; n = 24), y dientes con otro tipo de grietas (n = 4) (originadas en la superficie radicular o intradentinarias). Los dientes sin grietas y los dientes con grietas originadas en el interior del conducto radicular se dividieron en 2 subgrupos (grupos 1 y 2) aleatoriamente. Los 4 dientes restantes se mantuvieron como dientes controles positivos (n = 2) y negativos (n = 2).

En los grupos 1A (n = 16) y 1B (n = 12), se emplearon cápsulas Fuji IX con acondicionador de cavidades (ionómero de vidrio reforzado; GC). Las preparaciones retrógradas se lavaron con suero salino fisiológico y se secaron, después de lo cual se aplicó acondicionador durante 10 s. A continuación se lavaron los extremos radiculares con agua destilada y se secaron con puntas de papel.

En los grupos 2A (n = 16) y 2B (n = 12), se empleó ProRoot MTA (agregado tritóxido mineral) en presentación estética (Dentsply). Las preparaciones retrógradas se lavaron con suero salino fisiológico y se secaron con puntas de papel.

Ambos materiales se mezclaron siguiendo las instrucciones del fabricante y se aplicaron a la cavidad del extremo radicular mediante una espátula de cemento. La obturación del extremo radicular se condensó en la cavidad apical mediante un instrumento de retro-obturación (PLGRF 1, Hu-Friedy), y a continuación se eliminó el exceso de material. Después de terminar la obturación retrógrada, se dejó fraguar el material durante 5 min. A continuación se guardaron los dientes durante 24 h en agua destilada a temperatura ambiente.

## Controles

Los dientes control positivos no recibieron ninguna obturación retrógrada, y los dientes control negativos se obturaron con Fuji IX. Los dientes se trataron de la misma manera que los dientes de los grupos 1 y 2 a excepción de que las raíces de los dientes control negativos fueron cubiertas completamente con esmalte de uñas, incluyendo la obturación del extremo radicular.

## Tinción y aclarado

Después de 24 h, los dientes se retiraron del agua y se secaron. Se aplicaron dos capas de esmalte de uñas a la superficie externa de todas las raíces a excepción de la superficie reseccionada, y cada capa se dejó secar durante 30 min. Se sumergieron los dientes en tinta china (Pelikan) durante 7 días, después de lo cual se lavaron bajo el agua del grifo. Se eliminó el esmalte de uñas mediante un bisturí; los dientes se empaparon en acetona durante 1 h para eliminar los residuos del esmalte de uñas y después se secaron con aire.

Primero se desmineralizaron los dientes en 3 ml de ácido nítrico al 5% durante 5 días, durante los cuales se cambió diariamente el ácido nítrico. Tras la desmineralización, se obtuvo su deshidratación sumergiendo los dientes en metanol al 99,8% (cambio diario) durante 3 días. Finalmente, los dientes se aclararon y se almacenaron en metil salicilato durante 3 semanas. El aclarado permitió la visualización y evaluación de las grietas, la infiltración de la tinta china y la eficacia de la obturación.

## Evaluación

Un operador que desconocía el material empleado en la obturación de los extremos radiculares estudió la presen-

cia de grietas en los dientes, la filtración apical a lo largo de la obturación apical, y la eficacia de la obturación de los materiales.

Las evaluaciones se realizaron a 10X con un ocular de escala calibrada (OPMI Pico Dental Microscope, Zeiss). La presencia de grietas se puntuaba como ausente o presente.

Se medía la filtración apical lineal hasta la cuadrícula de división más cercana (0,146 mm) desde la superficie de resección hasta punto coronal máximo de infiltración de la tinta.

La eficacia de obturación de los materiales en las cavidades retrógradas se puntuó como buena (ausencia de espacio entre la obturación del extremo radicular y la obturación del conducto) (fig. 1a), irregular (espacio limitado entre la obturación del extremo radicular y la obturación del conducto, pero manteniendo contacto entre los dos) (fig. 1b), y mala (defecto claro entre la obturación del extremo radicular y la obturación del conducto; es decir, falta de contacto entre estos dos últimos) (fig. 1c). Las obturaciones buenas e irregulares se consideraron aceptables; las obturaciones malas, inaceptables.

## Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados estadísticamente empleando pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis y Mann-Whitney U con corrección de Bonferroni) y la prueba exacta de Fisher. Se calcularon los valores Cohen Kappa intraoperador. El nivel de significación se situó a 0,05.

## Resultados

El valor kappa de Cohen intraoperador se calculó a partir de las observaciones que se repitieron con un intervalo de al menos una semana con las primeras observaciones; los valores fueron 1,00 para presencia de grietas, 0,69 para filtración apical, y 0,76 para eficacia de obturación de los materiales de obturación de los extremos radiculares. En ese momento los resultados diferentes se puntuaron una vez más hasta obtener dos resultados iguales: este último resultado era el que se dejaba para el análisis estadístico. La diferencia en los registros de filtración apical era de al menos dos divisiones de la cuadrícula (< 0,3 mm), siendo la mayoría de las veces de sólo una división.

## Grietas

Todos los dientes que se habían puntuado con grietas en las fotografías de microscopio electrónico de barrido en

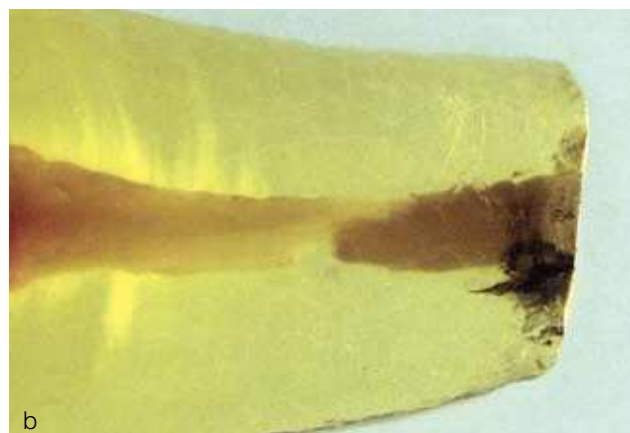


Figura 1. Ejemplos de obturaciones de la cavidad apical buenas (a), irregulares (b) y malas (c).

el estudio anterior se volvieron a puntuar como positivos de nuevo, pero también se puntuaron nuevas grietas. En el grupo 1 (Fuji IX), 21 de los 28 dientes mostraron grietas (1B), mientras que sólo 7 dientes mostraron ausencia de grietas (1A). En el grupo 2 (MTA), 20 de los 28 dientes mostraron grietas (2B) y 8 dientes mostraron ausencia de grietas (2A), lo que significa que los dientes con y sin grietas se distribuían de forma regular entre los dos grupos. Como consecuencia de ello varió el número de dientes en los grupos A ( $n = 15$ ) y B ( $n = 41$ ) (ver Método y materiales).

#### *Filtración apical*

Los resultados de filtración apical se resumen en la tabla 1. Ambos controles negativos mostraron falta de penetración de la tinción, y ambos controles positivos mostraron penetración de la tinción hasta la gutapercha remanente de la obturación del conducto radicular. En los grupos experimentales, ninguno de los dientes mostró filtración hasta la gutapercha remanente.

Cuando se compararon los 4 grupos, se ordenaron las medianas de los resultados de filtración apical en orden descendente como sigue: Fuji IX con grietas (1B) > MTA con grietas (2B) > Fuji IX sin grietas (1A) > MTA sin grietas (2A). La prueba de Kruskal-Wallis mostró una diferencia significativa ( $P < 0,001$ ) entre los grupos y se realizaron comparaciones 2 a 2 (prueba U de Mann-Whitney con corrección de Bonferroni). Se demostraron diferencias significativas entre los grupos 1A y 1B ( $P < 0,001$ ) y entre los grupos 2A y 2B ( $P < 0,001$ ). No se encontraron diferencias significativas entre los grupos 1A y 2A ni entre los grupos 1B y 2B.

#### *Eficacia de la obturación*

Los resultados de eficacia de la obturación se resumen en la tabla 2. La eficacia de la obturación de los materiales en las cavidades de los extremos radiculares no mostró diferencias significativas entre los materiales de obturación, aunque se observó una cierta tendencia hacia una mejor eficacia de obturación con MTA ( $P < 0,1$ ). Cuando se distinguía entre obturación aceptable o inaceptable

**Tabla 1.** Resultados de la filtración apical (L, en mm)

Grupo	N.º de muestras			Total
	L ≤ 0,5	0,5 < L ≤ 1,5	L > 1,5	
Fuji IX sin grietas (grupo 1A)	6	1	0	7
Fuji IX con grietas (grupo 1B)	3	13	5	21
MTA sin grietas (grupo 2A)	8	0	0	8
MTA con grietas (grupo 2B)	7	13	0	20

**Tabla 2.** Eficacia de obturación de los materiales en las cavidades de los extremos radiculares

Materiales	N.º de muestras			Total
	Buena obturación	Obturación irregular	Mala obturación	
Fuji IX (grupos 1A y 1B)	8	7	13	28
MTA (grupos 2A y 2B)	9	16	3	28

MTA: agregado tritóxido mineral.

se demostró una diferencia significativa a favor de MTA ( $P > 0,05$ ).

## *Correlación entre filtración apical y eficacia de la obturación*

No pudo demostrarse ninguna correlación entre la eficacia de la obturación y la filtración apical ( $P > 0,05$ ).

## **Discusión**

Las técnicas actuales de preparación de los extremos radiculares pueden conducir al desarrollo de grietas en los ápices. La determinación de la presencia de estas grietas es difícil<sup>30,31</sup>, y su influencia sobre el proceso de curación periapical y sobre la filtración apical necesita ser clarificada.

Los dientes empleados en este estudio habían sido empleados previamente en otro estudio<sup>21</sup>, en el que se evaluaron las grietas mediante fotografías al MEB a partir de impresiones de los extremos radiculares. Después de la colocación de la obturación en los extremos radiculares y de la tinción y aclarado de los dientes, se evaluó de nuevo la presencia de grietas en los extremos radiculares. En ese momento todos los dientes en los que se había determinado la presencia de grietas sobre las fotografías al MEB mostraron también grietas bajo los criterios de evaluación de este estudio. Además, va-

rios dientes que no presentaban grietas en el estudio anterior mostraron grietas en el presente estudio. La razón de esta observación de nuevas grietas es desconocida. El estudio previo<sup>21</sup> probó que los procedimientos de extracción afectan a la estructura dentaria. En combinación con un tiempo de almacenamiento de 12 meses, este factor podría haber continuado actuando durante un tiempo más prolongado. Aparte de esto, durante la obturación de los extremos radiculares, los materiales de obturación se condensaron en las cavidades, lo que pudo también ejercer alguna influencia. Como consecuencia de ello, el número de dientes en los grupos con grietas fue mayor que el de dientes en los grupos sin grietas.

El presente estudio empleó un método de filtración de tinción que está siendo criticado por su limitada relevancia clínica respecto a la filtración. Por otro lado, aparte de las pruebas de penetración de marcadores destructivos, no se dispone de ninguna otra prueba capaz de evaluar los defectos de vacío que no afecten a toda la obturación. Por otra parte también había que evaluar la eficacia de la obturación, y el método de filtración de la tinción permitía evaluar al mismo tiempo la filtración apical y la eficacia de la obturación en los mismos dientes. Además, la presencia de grietas tenía que ser confirmada y el empleo de tinciones en su diagnóstico se ha demostrado eficiente<sup>30</sup>.

A excepción del presente estudio, no conocemos ningún otro estudio que haya evaluado la filtración y haya

tenido en cuenta la presencia de grietas. Bajo las condiciones de este estudio, la presencia de grietas pareció influir más en el desarrollo de filtración apical que el material de obturación empleado. Se encontraron diferencias significativas en la filtración entre los grupos con y sin grietas, pero no entre Fuji IX y MTA. Dado que el sellado apical de las obturaciones de extremo radicular en dientes con grietas es inferior al de dientes sin grietas, es probable que esto tenga consecuencias clínicas. Ninguno de los dientes de este estudio mostró filtración hasta la gutapercha remanente, pero no puede excluirse la posibilidad de progresión de las grietas con la consiguiente filtración durante la función. En el momento en el que se produce la filtración a lo largo de toda la obturación del extremo radicular, puede producirse la salida de irritantes residuales y contaminantes orales procedentes del sistema de conductos, y su consiguiente entrada en los tejidos periapicales, todo lo cual presenta una gran importancia clínica como lo determinaron Saunders et al<sup>13</sup>. Existen muy pocos estudios más que hayan comparado la eficacia de sellado de los cementos de ionómero de vidrio habituales y del MTA y éstos han arrojado resultados contradictorios<sup>32-34</sup>.

Cuando la eficacia de la obturación de las obturaciones retrógradas se clasificó en grupos de obturación aceptable (obturación buena o irregular) y grupos de obturación inaceptable (obturación mala), el MTA puntuó significativamente mejor que Fuji IX. Parece que las críticas características de manejo de los ionómeros de vidrio convencionales influyen en la eficacia de obturación del material. Hubo una cantidad casi igual de dientes en ambos grupos con buena obturación, lo que significa que la obturación del extremo radicular y la obturación remanente de los conductos se ajustaron la una a la otra sin dejar abierto ningún espacio en el conducto. Respecto a las obturaciones de extremos radiculares con peor ajuste, MTA pareció comportarse mejor que Fuji IX, con sólo tres puntuaciones de mala obturación frente a 13. Las obturaciones de los extremos radiculares puntuadas como irregulares rellenaban la mayor parte de la cavidad de los extremos radiculares, mientras que las de mala obturación mostraban grandes defectos de vacío en las raíces. Las obturaciones mal ajustadas dan lugar a grandes nichos de bacterias, y la obturación resultante más corta del extremo radicular podría no prevenir la salida de irritantes residuales y contaminantes orales del sistema de conductos radiculares y su consiguiente entrada en los tejidos periapicales. No se conoce si las propiedades antibacterianas del ionómero de vidrio<sup>22</sup> son capaces de prevenir lo anterior.

Los autores son conscientes de que también pueden presentarse defectos de vacío dentro del material, pero aclarando los dientes pueden obtenerse al menos imágenes mejores de la eficacia de obturación que empleando radiografías. Una imagen bidimensional de una situación tridimensional da lugar a proyecciones de los materiales de obturación sobre los defectos de vacío externos al material y a una mejor percepción de la situación real. Además, los resultados de un estudio previo confirmaron el patrón de filtración a lo largo de la obturación del extremo radicular en la interfase material de obturación/pared del conducto y no a través del material de la obturación retrógrada<sup>3</sup>.

En un estudio previo que evaluaba el sellado de los materiales de obturación de extremos radiculares<sup>34</sup>, se emplearon también ionómeros de vidrio. Debido a las mayores dimensiones, el ionómero de vidrio se podía inyectar fácilmente dentro de las cavidades, después de lo cual se procedía a su condensación; esto no fue posible en el presente estudio. El problema de una mala obturación no importaba en ese momento. Por lo tanto, parece que las cavidades de extremos radiculares con tamaño limitado no serían una buena indicación para el uso de ionómero de vidrio, o que debería considerarse una técnica de aplicación modificada.

Sin embargo, no se encontró ninguna correlación entre la eficacia de obturación y la filtración apical. Esto significa que no había diferencias en la filtración apical independientemente de que el ionómero de vidrio se colocara sólo en un área limitada de la cavidad retrógrada o se colocara en toda la cavidad. La capacidad adhesiva (adhesión química) del ionómero de vidrio a la dentina podría ejercer su influencia aquí.

## Conclusión

La ausencia de grietas en el extremo radicular no parece un hecho estático: las grietas pueden producirse después de la preparación del extremo radicular. La presencia de grietas originadas en el conducto radicular influye de forma negativa en el sellado de los materiales de obturación retroapicales y por lo tanto probablemente tiene una importancia clínica no despreciable.

MTA y Fuji IX mostraron igual capacidad de sellado en cavidades de extremos radiculares de tamaño limitado, pero MTA mostró mejor eficacia de obturación que Fuji IX en las cavidades retrógradas. No se demostró ninguna correlación entre la eficacia de obturación y la capacidad de sellado apical. No se ha investigado todavía el impacto clínico de este hallazgo.

## Bibliografía

- Gutmann JL, Harrison JW. Surgical Endodontics. St Louis: Ishiaku EuroAmerica, 1994: 203-277.
- Arens DE, Torabinejad M, Chivian N, Rubinstein R. Practical lessons in endodontic surgery. Hanover Park, Illinois, USA: Quintessence Publishing Co, 1998: 121-123.
- Hirsch JM, Ahlstrom U, Henrikson PA, Heyden G, Peterson LE. Periapical surgery. *Int J Oral Surg* 1979;8:173-185.
- Carr GB. Ultrasonic root end preparation. *Dent Clin North Am* 1997;41:541-554.
- Mehlhoff DS, Marshall JG, Baumgartner JC. Comparison of ultrasonic and high-speed-bur root-end preparations using bilaterally matched teeth. *J Endod* 1997;23:448-452.
- Gutmann JL, Saunders WP, Nguyen L, Guo IY, Saunders EM. Ultrasonic root-end preparation. Part 1. SEM analysis. *Int Endod J* 1994;27:318-324.
- Wuchenich G, Meadows D, Torabinejad M. A comparison between two root end preparation techniques in human cadavers. *J Endod* 1994;20: 279-282.
- Gorman MC, Steiman HR, Gartner AH. Scanning electron microscopic evaluation of root-end preparations. *J Endod* 1995;21:113-117.
- Chou HG, Lin CP, Kuo JC, Lan WH. Scanning electron microscopic evaluation of the cleanliness of a new ultrasonic root end preparation. *J Formos Med Assoc* 1997;96:727-733.
- Engel TK, Steiman HR. Preliminary investigation of ultrasonic root end preparation. *J Endod* 1995;21: 443-445.
- Lin CP, Chou HG, Kuo JC, Lan WH. The quality of ultrasonic root-end preparation: a quantitative study. *J Endod* 1998;24:666-670.
- Zuolo ML, Perin FR, Ferreira MO, de Faria FP. Ultrasonic root-end preparation with smooth and diamond-coated tips. *Endod Dent Traumatol* 1999; 15:265-268.
- Saunders WP, Saunders EM, Gutmann JL. Ultrasonic root-end preparation, Part 2. Microleakage of EBA root-end fillings. *Int Endod J* 1994;27:325-329.
- Abedi HR, Van Mierlo BL, Wilder-Smith P, Torabinejad M. Effects of ultrasonic root-end cavity preparation on the root apex. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;80:207-213.
- Lloyd A, Jaunberzins A, Dummer PM, Bryant S. Root-end cavity preparation using the MicroMega Sonic Retro-prep Tip. SEM analysis. *Int Endod J* 1996;29: 295-301.
- Waplington M, Lumley PJ, Walmsley AD. Incidence of root face alteration after ultrasonic retrograde cavity preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997;83:387-392.
- Lin CP, Chou HG, Chen RS, Lan WH, Hsieh CC. Root deformation during root-end preparation. *J Endod* 1999;25:668-671.
- Navarre SW, Steiman HR. Root-end fracture during retropreparation: a comparison between zirconium nitride-coated and stainless steel microsurgical ultrasonic instruments. *J Endod* 2002;28:330-332.
- Frank RJ, Antrim DD, Bakland LK. Effect of retrograde cavity preparations on root apices. *Endod Dent Traumatol* 1996;12:100-103.
- Layton CA, Marshall JG, Morgan LA, Baumgartner JC. Evaluation of cracks associated with ultrasonic root-end preparation. *J Endod* 1996;22:157-160.
- De Bruyne MAA, De Moor RJG. SEM analysis of the integrity of resected root apices of cadaver and extracted teeth after ultrasonic root-end preparation at different intensities. *Int Endod J* 2005;38:310-319.
- De Bruyne MAA, De Moor RJG. The use of glass ionomer cements in both conventional and surgical endodontics. *Int Endod J* 2004;37:91-104.
- Nicholson JW, Braybrook JH, Wasson EA. The biocompatibility of glass-poly(alkenoate) (Glass-Ionomer) cements: a review. *J Biomater Sci Polym Ed* 1991;2:277-285.
- Sousa CJ, Loyola AM, Versiani MA, Biffi JC, Oliveira RP, Pascon EA. A comparative histological evaluation of the biocompatibility of materials used in apical surgery. *Int Endod J* 2004;37:738-748.
- Pistorius A, Willershausen B, Briseno MB. Effect of apical root-end filling materials on gingival fibroblasts. *Int Endod J* 2003;36:610-615.
- Asrari M, Lobner D. In vitro neurotoxic evaluation of root-end-filling materials. *J Endod* 2003;29:743-746.
- Saunders WP, Saunders EM. Influence of smear layer on the coronal leakage of Therafil and laterally condensed gutta-percha root fillings with a glass ionomer sealer. *J Endod* 1994;20:155-158.
- Saunders WP, Saunders EM. The effect of smear layer upon the coronal leakage of gutta-percha fillings and a glass ionomer sealer. *Int Endod J* 1992;25: 245-249.
- De Moor RJG, Martens LCM. Apical microleakage after lateral condensation, hybrid gutta-percha condensation and Soft-Core obturation: An in vitro evaluation. *Endod Dent Traumatol* 1999;15:239-243.
- Wright HM, Jr., Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Waller J, Pashley DH. Identification of resected root-end dentinal cracks: a comparative study of transillumination and dyes. *J Endod* 2004;30: 712-715.
- Slaton CC, Loushine RJ, Weller RN, Parker MH, Kimbrough WF, Pashley DH. Identification of resected root-end dentinal cracks: A comparative study of visual magnification. *J Endod* 2003;29:519-522.
- Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod* 1998;24:557-560.
- De Bruyne MAA, De Bruyne RJE, Rosiers L, De Moor RJG. Longitudinal study on microleakage of three root-end filling materials by the fluid transport method and by capillary flow porometry. *Int Endod J* 2005;38:129-136.
- De Bruyne MAA, De Bruyne RJE, De Moor RJG. Capillary flow porometry to assess the seal provided by root-end filling materials in a standardized and reproducible way. *J Endod* 2006;32:206-209.