

Anatomía radicular y configuración de conductos del primer molar inferior permanente

Óliver Valencia de Pablo, DDS^a, Roberto Estevez, DDS^a, Carlos Heilborn^b, y Nestor Cohenca, DDS^c

La anatomía de los conductos radiculares puede representar para los profesionales un complejo reto clínico que requiere habilidades diagnósticas, modificación de accesos, y pericia clínica para localizar, permeabilizar, desinfectar, y sellar con éxito el sistema de conductos radiculares. Este artículo discute las implicaciones clínicas del tratamiento endodóncico en primeros molares inferiores permanentes. El número de raíces del primer molar inferior guarda relación directa con la etnia. La morfología de los conductos tiene efectos importantes sobre el protocolo de tratamiento. Las raíces mesiales presentan generalmente dos conductos, adoptando como configuraciones más frecuentes la 2-2 y la 2-1. En un 2,6% de la población existe un tercer conducto. La configuración más frecuente en la raíz distal es la tipo I (62,7%), seguida de la tipo II (14,5%) y de la tipo IV (12,45%). El diagnóstico y tratamiento del complejo sistema de conductos radiculares a menudo requiere entrenamiento especializado lo que puede trascender las competencias de un profesional general medio. Para poder encontrar raíces y conductos adicionales es necesario realizar modificaciones en el acceso. La instrumentación de la tercera raíz requiere un acceso diferente y el empleo de instrumentos pequeños y flexibles, dada la curvatura que generalmente se presenta en la cara ves-

tibular del tercio distal. La incidencia de istmos es del 55% en la raíz mesial y del 20% en la raíz distal. Esta configuración anatómica debe tenerse en cuenta tanto durante el tratamiento de endodoncia como durante la cirugía apical.

(*Quintessence Int.* 2012;43(1):15-27)

La pasada década ha incorporado varios cambios al mundo de la endodoncia. Las nuevas tecnologías, instrumentos, y materiales, han permitido tratamientos de endodoncia más predecibles. Entre ellos se encuentran los microscopios clínicos, la radiografía digital, la tomografía computarizada de haz de cono (TCHC), las limas rotatorias de níquel titanio, los instrumentos sónicos y ultrasónicos, y los nuevos sistemas de irrigación. La microcirugía endodóntica ha evolucionado mucho y se ha convertido en un procedimiento predecible y exitoso¹⁻³. El desarrollo de materiales biocompatibles para el sellado y reparación de los conductos, tales como el agregado trióxido mineral (MTA), ha permitido también tratamientos más conservadores³. Sin embargo, a pesar de todas estas mejoras, el resultado global, especialmente el de las endodoncias no quirúrgicas, no ha aumentado de forma significativa⁴⁻¹¹. Esto se debe probablemente al hecho de que existen dos factores importantes directamente relacionados con el pronóstico: erradicación predecible de los microorganismos y acceso a la anatomía completa del sistema de conductos en el que podrían encontrarse escondidos.

Hess¹² fue el primero en estudiar la compleja anatomía del sistema de conductos radiculares. Sus datos demostraron un menor número de conductos radiculares que el mostrado por las publicaciones actuales. Esto no significa diferencias en la complejidad anatómica de los molares sino más bien mejoras en la metodología de investigación. Una afirmación común mencionada en casi

^aProfesor asociado. Máster en Endodoncia Avanzada. Universidad Europea de Madrid. Madrid, España.

^bProfesor asociado. Departamento de Endodoncia. Universidad del Pacífico. Asunción, Paraguay.

^cProfesor asociado. Departamento de Endodoncia. Universidad de Washington. Seattle, Washington, EE. UU.

Correspondencia: N. Cohenca.

Department of Endodontics. University of Washington. PO Box 357448, Seattle, Wa 98195-7448, EE. UU.

Correo electrónico: cohenca@uw.edu

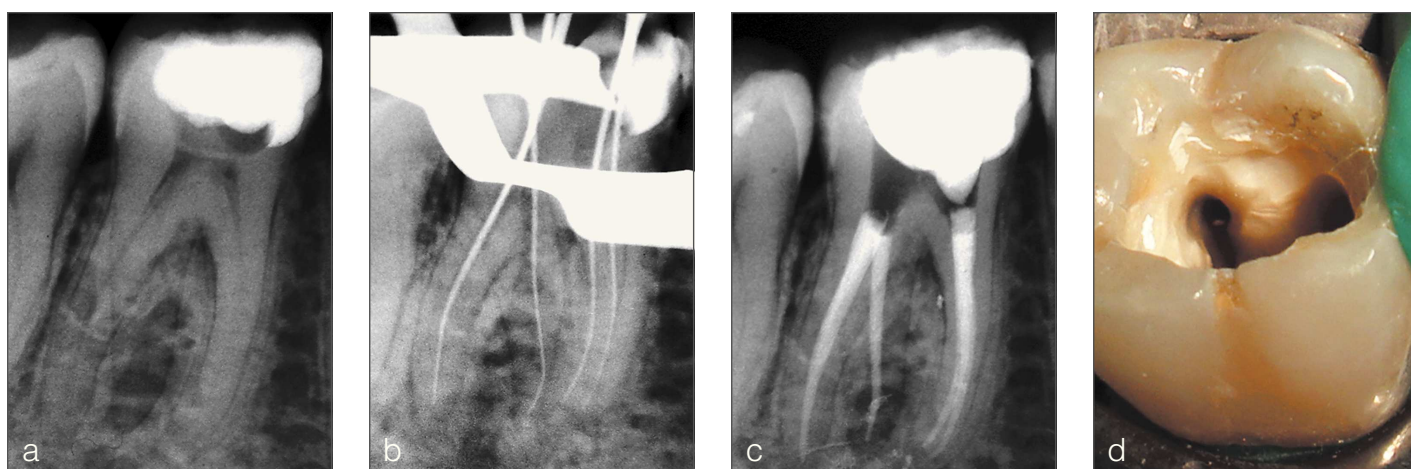


Figura 2. Tratamiento de conductos radicales de un primer molar inferior con tres raíces. (a) Radiografía preoperatoria. (b) Radiografía de conductometría que muestra la curvatura apical de la lima en la raíz distolingual. (c) Radiografía postoperatoria. (d) Acceso modificado para permitir un abordaje en línea recta al conducto distolingual por debajo de la cúspide distolingual.



Figura 3. Radiografía de aleta de mordida que demuestra la presencia de una tercera raíz distolingual (flechas).

foraminas. En las raíces distales, el 77,2% presentaban un foramen, mientras que el 22,2% presentaban dos foraminas. En términos de istmos tipo V, el 54,8% de las raíces mesiales los presentaban en el tercio medio y tercio apical, mientras que el 20,2% de las raíces distales los presentaban en el tercio medio. Esta completa revisión nos aporta información directamente relacionada con nuestros procedimientos clínicos.

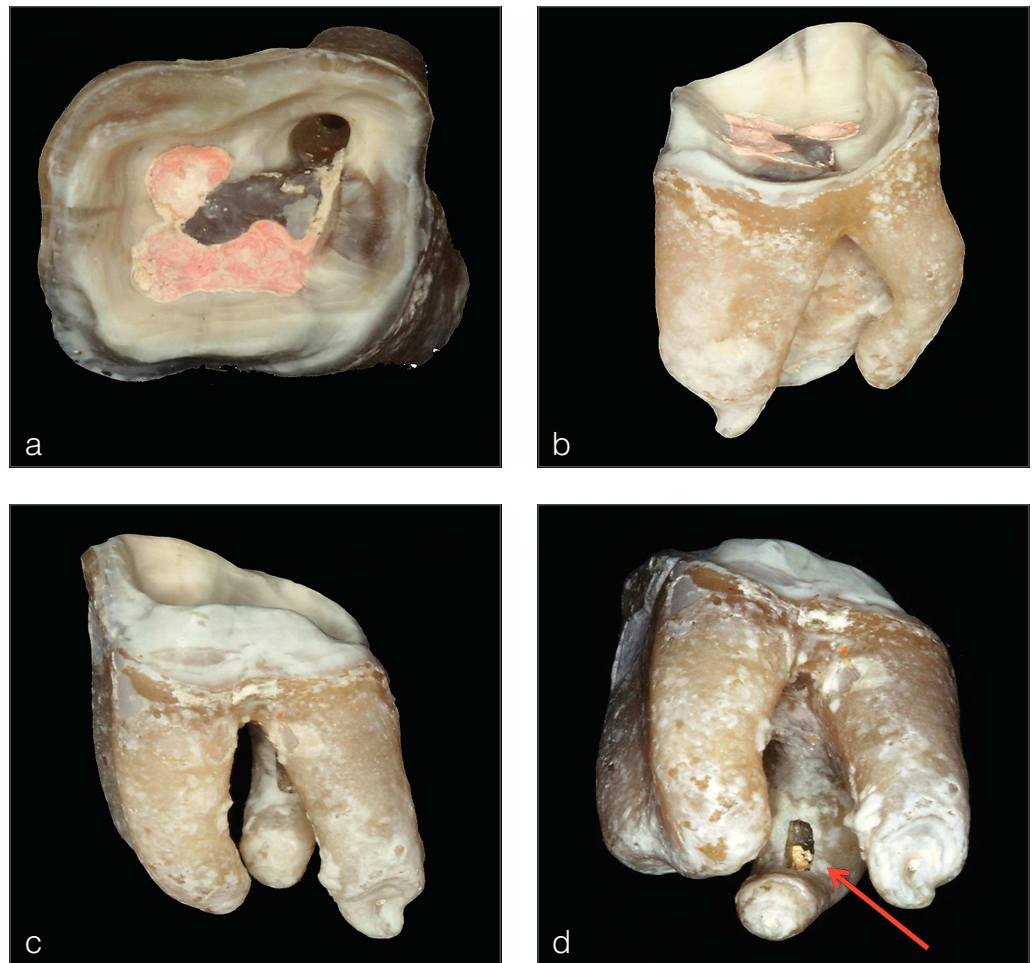
Número de raíces

El número de raíces sigue siendo la variación más frecuente, sobretodo en relación con ciertas etnias. A diferencia del número de conductos, una revisión de la literatura demostró con claridad una fuerte correlación entre la presencia de una tercera raíz en un 13% de los dientes y la etnia de los pacientes, en concreto con los pacientes asiáticos, mongoles, y esquimales. De hecho,

cuando se trata a pacientes de estas etnias, la presencia de una tercera raíz debe considerarse como norma, y no como excepción²⁶. Una revisión global del mapa (fig. 1) demuestra claramente una correlación positiva entre la incidencia de una tercera raíz y la etnia directamente relacionada con la localización geográfica de poblaciones específicas. En Brasil, la gran variabilidad se explica por la coexistencia de múltiples etnias. Los estudios actuales que emplean técnicas tridimensionales de imagen concluyen que la presencia bilateral de una tercera raíz ocurre en un 50% de los casos²⁷⁻²⁹. Cuando se trata de casos unilaterales, la incidencia es más elevada en el lado derecho sin diferencias significativas entre sexos.

Para poder observar con claridad la tercera raíz son necesarias varias radiografías^{30,31}. La obtención de una sola radiografía puede conducir con facilidad a errores de diagnóstico (fig. 2a). La colocación de una lima en la raíz adicional puede ofrecer el aspecto de una perfo-

Figura 4. Primer molar inferior con tres raíces extraído como consecuencia de un fracaso endodóncico debido a perforación por desgaste (stripping de la raíz distolingual). (a) Imagen oclusal con la extensión de la apertura de acceso hacia la raíz distolingual. (b) Imagen desde la cara distal; se observa la curvatura vestibular de la raíz distolingual. (c) Imagen vestibular que demuestra la localización y ángulo apical de la raíz distolingual. (d) Imagen clara de una perforación por desgaste (flecha) en el interior de la raíz distolingual.



ración¹³ (fig. 2b). Cuando los hallazgos radiográficos no son definitivos, la información que aportan los localizadores de ápice electrónicos nos permite hacer un diagnóstico diferencial y confirmar la presencia de conductos adicionales. Walker y Quackenbush²⁶ llevaron a cabo un estudio y concluyeron que el simple análisis de radiografías de aleta de mordida permitía la detección de las raíces distolinguales en el 90% de los casos (fig. 3).

Carlsen y Alexandersen³² reseñaron el estudio de 398 molares inferiores permanentes con un complejo radicular y una raíz supernumeraria localizada lingualmente. Esta macroestructura, denominada *radix entomolaris*, presenta una elevada variación respecto al plano mesiodistal coronal. Cuando la posición de esta tercera raíz es vestibular, se denomina *radix paramolaris*. Solo dos publicaciones han descrito la presencia de una raíz adicional vestibular al principal conducto distal^{33,34}. Su forma y curvatura son muy variables^{27,35,36} y puede variar

desde la presentación de una corta extensión cónica hasta la presencia de una raíz completamente normal (figs. 2a-2c). Lo más típico es que el eje de la raíz se enfrente a la cara vestibular del molar. Por ello, a la hora de medir la longitud del conducto radicular resulta más fácil seleccionar como punto de referencia la cúspide distovestibular que la cúspide distolingual que habitualmente se emplea (fig. 2d). La inclinación del orificio junto con la curvatura vestibular del tercio apical (fig. 4c) resultan en un conducto muy complejo de instrumentar e irrigar. Para evitar percances, cuando se trata la porción apical, es aconsejable escoger instrumentos pequeños y muy flexibles. La figura 4 muestra un primer molar inferior con tres raíces extraído como consecuencia de un fracaso endodóncico producido por perforación por desgaste (*stripping*) de la raíz distolingual (fig. 4d).

La localización del orificio requiere realizar modificaciones en las aperturas de acceso convencionales del

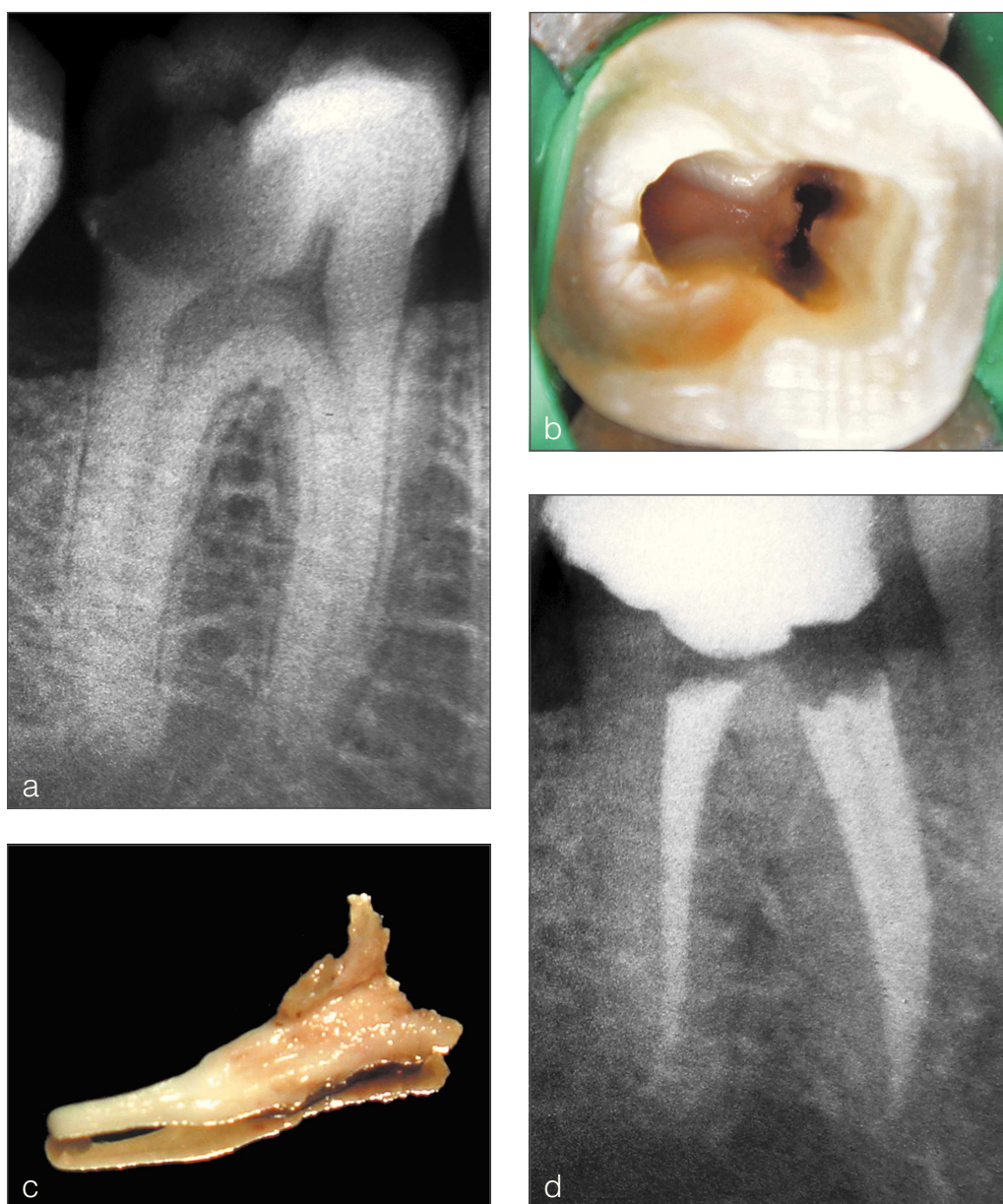


Figura 5. Primer molar inferior con un conducto mesial. (a) Radiografía preoperatoria. (b) Acceso al conducto único de la raíz mesial. (c) Tejido pulpar extraído del conducto mesial. (d) Radiografía postoperatoria.

primer molar inferior. Lo que está indicado es la extensión de la cavidad de acceso hacia el conducto distolingual para conseguir así un acceso en línea recta (figs. 2d a 4a). El tercio coronal del conducto presenta una aguda curvatura que debe tenerse en consideración para evitar perforaciones o desgastes (*stripping*) y evitar la eliminación de excesivas cantidades de dentina en la cara lingual del acceso radicular del conducto accesorio.

Para conseguir resultados satisfactorios en los tratamientos de endodoncia son esenciales un buen diagnóstico y acceso, y un adecuado tratamiento del tercer

conducto radicular dentro de complejo sistema. En el caso de procedimientos quirúrgicos endodóncicos, la tercera raíz representa un reto importante³⁰. Tu et al.²⁹ reseñaron un elevado porcentaje de prevalencia de raíces distolinguales en la población de Taiwán. Lo más interesante del estudio, es que los autores correlacionaban directamente los fracasos de tratamiento, que conducían a la extracción dentaria, con la incapacidad de los operadores de reconocer y tratar la raíz adicional. En un estudio epidemiológico³⁷ sobre retención dentaria tras tratamientos de conductos no quirúrgicos en una gran

población de Taiwán, la frecuencia de problemas imprevistos en molares se asociaba a extracciones en un 70,1% de los casos en comparación con un 27,2% de retratamientos y un 2,7% de cirugías apicales. La elevada prevalencia de raíces distolinguales y la posible falta de conocimientos para tratamiento de conductos de los dentistas generales pudo contribuir al aumento de la tasa de extracciones de molares en Taiwán.

Número de conductos radiculares

A pesar de los numerosos estudios disponibles sobre anatomía interna de los primeros molares inferiores, muy pocos se refieren al número total de conductos radiculares y a sus configuraciones. Los hallazgos de una revisión sistemática sobre los datos recogidos en 4.745 primeros molares inferiores se resumen más arriba²⁵. Se encontraban tres conductos en un 61,3% de los molares, seguido de cuatro conductos en un 35,7% y de cinco conductos en casi un 1% de los casos. Sin embargo, en los estudios in vivo realizados por endodoncistas³⁸⁻⁴¹ se demostraba la presencia de cuatro conductos en un 45% de los casos tratados. Estos resultados sugieren que la experiencia del operador puede constituir un factor determinante que debe considerarse a la hora de explicar las diferencias de resultados entre los estudios in vivo realizados por profesionales generales y los realizados por endodoncistas.

En un 0,8% de las muestras se encontraron cinco conductos, e incluso algunas reseñas de casos han llegado a referir seis⁴² e incluso siete conductos radiculares⁴³. En la figura 4 se ilustra la compleja anatomía de un primer molar inferior que presentaba seis conductos radiculares con tres conductos mesiales separados. Se observa que en el conducto distovestibular se retiró material de obturación para crear espacio para un poste.

Morfología de la raíz mesial

Los primeros molares erupcionan aproximadamente a los 6 años de edad y terminan su maduración aproximadamente 3 años más tarde. Hess estableció que la configuración morfológica de los conductos radiculares se producía solo tras el desarrollo completo de la raíz y el cierre del foramen apical¹². Diferentes investigadores han confirmado que la raíz mesial del primer molar inferior presenta un solo conducto (fig. 5) hasta los 11 años de edad. Entre los 12 y los 20 años, pueden observarse patrones mixtos en la configuración de los conductos radiculares (fig. 6), lo que resulta en cambios morfológicos en el interior de los conductos radiculares⁴⁴. Durante



Figura 6. Raíz mesial de un paciente joven con una configuración compleja del sistema de conductos. Se pueden identificar tres conductos desde la cámara pulpar hasta los tercios medio y apical, y existe intercomunicación entre los conductos mesiales y distales.

este periodo, el depósito de dentina secundaria mesial y distalmente en el interior de los conductos, causa la separación de los conductos en los tres tercios radiculares.

Una revisión sistemática de la literatura, con más de 4.000 raíces mesiales estudiadas, confirmó la presencia de dos conductos radiculares en el 94,2% de los dientes²⁵. Estos conductos emergían en un foramen apical común en un 35% (tipo II) o discurrían de forma independiente terminando en dos foraminas apicales separadas en un 52,3% de los casos (tipo IV de la clasificación de Vertucci)²⁵. Además de los porcentajes, una buena guía clínica para ayudarnos a comprender la configuración interna del conducto es evaluar la distancia entre los principales orificios. Se ha demostrado que cuando los orificios de entrada a los conductos se encuentran muy próximos entre sí, la configuración de estos a menudo conduce a la confluencia y finalización en un foramen

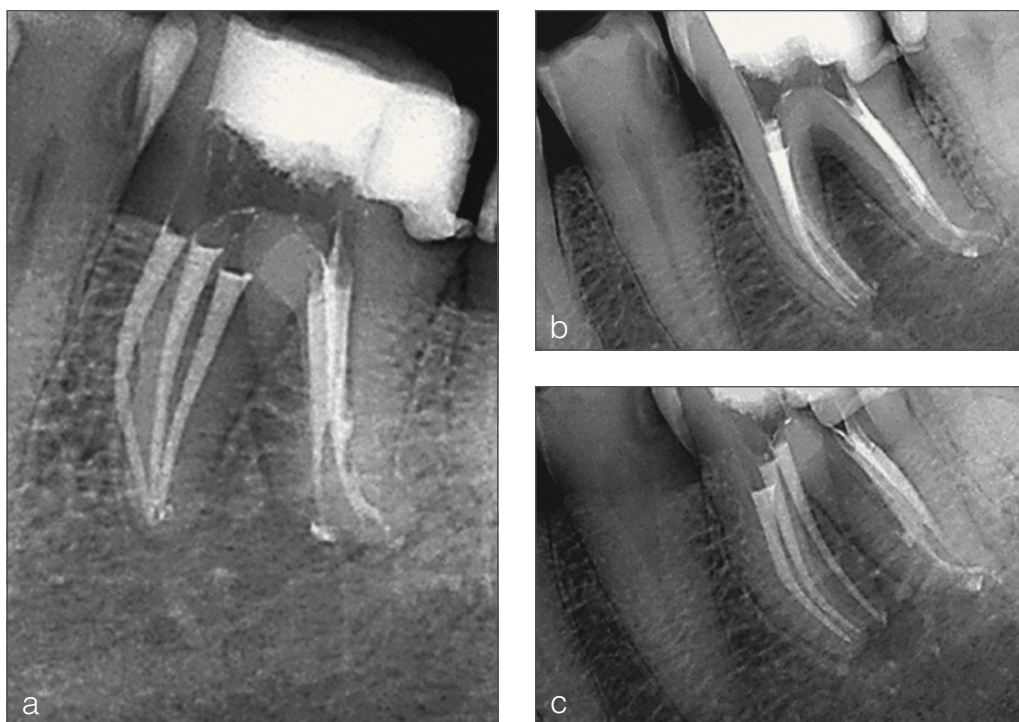


Figura 7. Primer molar inferior con seis conductos. Cortesía del Dr. Freddy Belliard, Guadalajara, España.

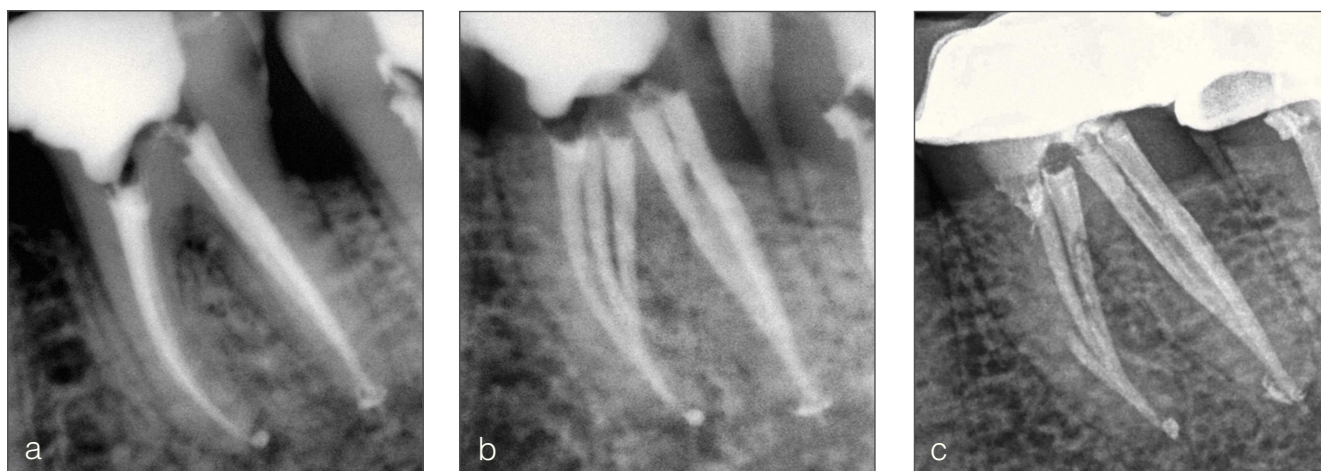


Figura 8. Primer molar inferior con cinco conductos, tres mesiales y dos distales. (a) Radiografía postoperatoria (ortoangulada). (b) Radiografía postoperatoria (mesioangulada). (c) Radiografía de seguimiento 2 años después del tratamiento. Se observa que se ha colocado un poste en uno de los conductos radiculares mesiales.

común, o configuración tipo II. Sin embargo, una distancia entre ellos y separación mayores correlaciona directamente con la configuración de tipo IV con dos foraminas separadas⁴⁵. Cuando como profesionales nos enfrentamos a una configuración tipo IV (2-2), debemos tratar los conductos de forma independiente. No se ha escrito mucho sobre el tema de la salida de los conductos, ya que esta parece simple de manejar clínicamente. Sin embargo, Castelucci⁴⁶ ha abordado la cuestión en pro-

fundidad y recomienda que, en principio, no se deben instrumentar todos los conductos hasta la longitud de trabajo, para prevenir así la eliminación innecesaria de dentina. Por otra parte, la instrumentación completa de ambos conductos hasta la longitud de trabajo crea una preparación en forma de reloj de arena, con un área más estrecha en la unión y un ensanchamiento apical del espacio del conducto apical a la confluencia. La obturación tridimensional en estos casos resulta mucho más complicada

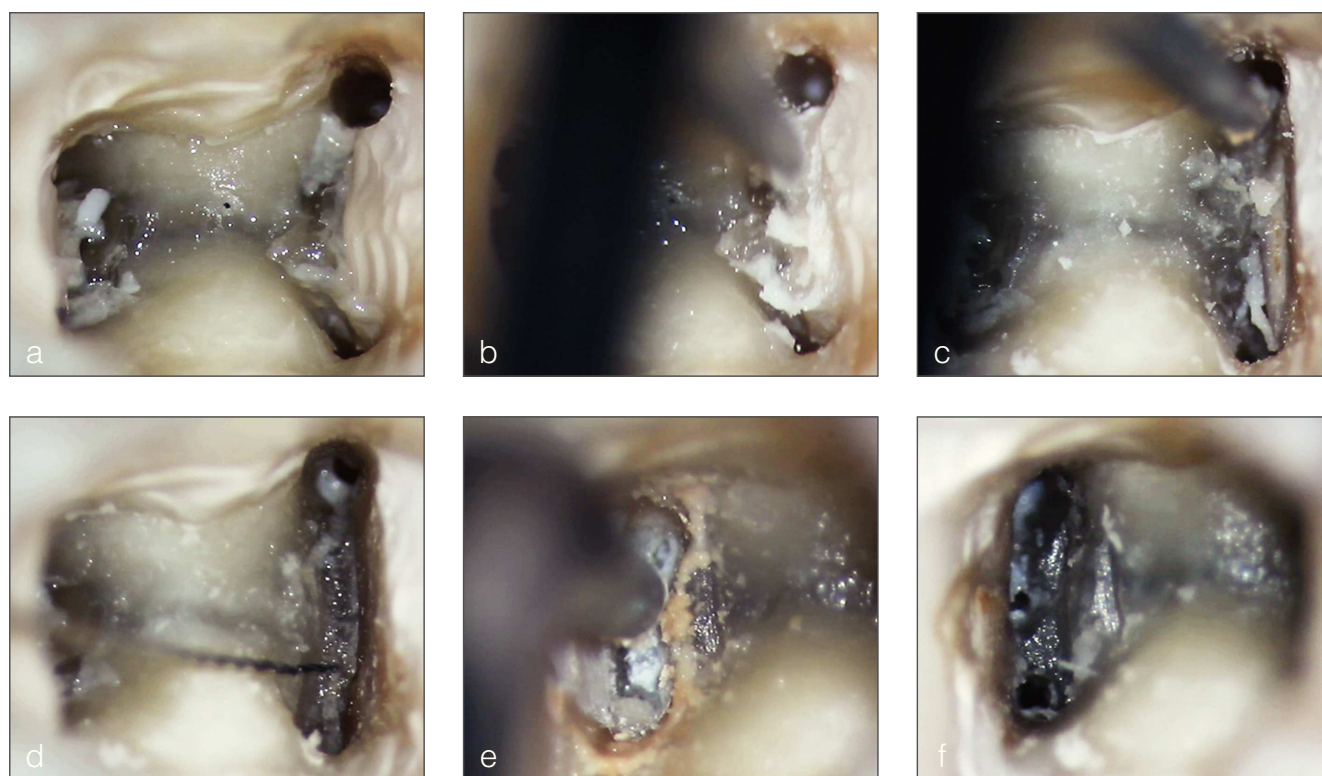


Figura 9. Secuencia in vitro de la modificación de la apertura de acceso para la localización de los conductos distocentral y mesiocentral. (a) La cámara pulpar después de la localización y preaplanado de los cuatro conductos principales. (b) Se emplea una pequeña punta ultrasónica para eliminar las paredes laterales de dentina entre los dos conductos principales de la raíz mesial. (c) Observación del istmo normalmente presente entre los dos conductos. (d) Después de los procedimientos anteriores, se intenta permeabilizar a través del acceso mesiocentral con limas pequeñas, que pueden centrarse o acercarse a uno de los conductos principales. (e) Cuando la raíz distal presenta dos conductos principales, se realiza el mismo procedimiento descrito para la raíz mesial. (f) Se han encontrado tres conductos en la raíz distal. Los dos más grandes ya se han preparado completamente; la raíz distocentral se ha instrumentado con una lima del número de 10.

e implica el riesgo de extrusión así como de dejar algún espacio vacío en la zona divergente más apical⁴⁰.

Todas las raíces mesiales presentan una concavidad distal y son más estrechas mesiodistalmente. El conducto mesiovestibular es el más cercano a la superficie externa de la raíz y presenta además curvaturas más pronunciadas que el conducto mesiolingual^{47,48}. Por ello, en los casos de confluencia y salida común es mucho más seguro y fácil clínicamente instrumentar el conducto mesiolingual hasta la longitud de trabajo y el conducto mesiovestibular hasta el nivel de la confluencia. Identificar y comprender la configuración interna de los conductos mesiales guarda relación también con la preparación apical. Marroquin et al.⁴⁹ reseñaron que cuando el foramen apical es común, el tamaño medio del diámetro máximo es 0,31 mm. Por el contrario, cuando encontramos dos foraminas separadas, el diámetro máximo medio no excede los 0,25 mm. Estos datos sugieren

que con una configuración tipo II, el operador debe escoger una lima maestra apical mayor que cuando trata una configuración tipo IV, que permite una preparación más conservadora. De cualquier forma, la preparación de los conductos debe correlacionar siempre con la anatomía y el estado microbiológico del conducto. Así mientras que los casos vitales deben tratarse de forma más conservadora, los casos que presentan infección pueden requerir preparaciones apicales más grandes para permitir una irrigación y desinfección eficientes⁵⁰. Desde que se describió por primera vez la presencia de tres conductos en la raíz mesial son varias las publicaciones que han tratado sobre ello^{51,52}. Nuestra revisión sistemática de la literatura incluyó 4.535 raíces mesiales y reseñó una incidencia del 2,6% (figs. 7 y 8) del tercer conducto²⁵. Para poder localizarlo es necesario realizar modificaciones en el acceso. La figura 9 ilustra el procedimiento requerido para encontrar un tercer conduc-

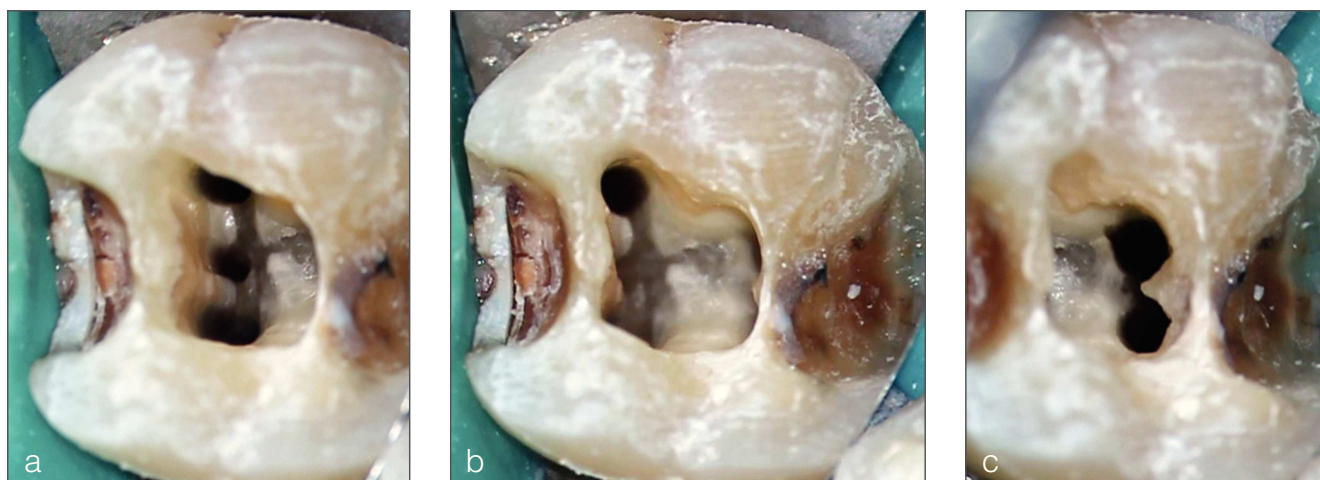


Figura 10. Acceso endodóncico modificado para localizar los conductos mesial y distal.

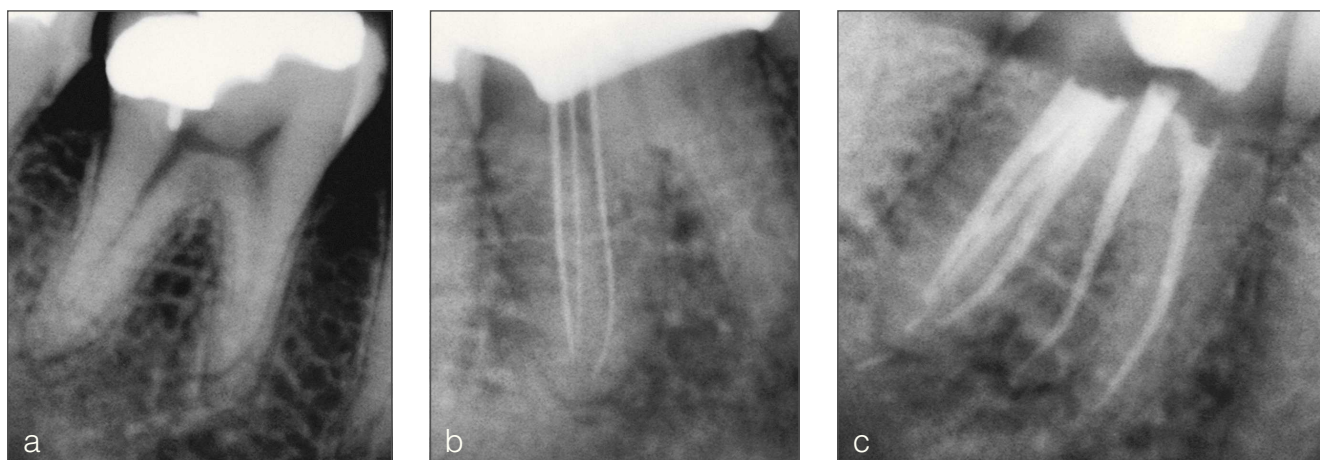


Figura 11. Primer molar inferior con cinco conductos, dos mesiales y tres distales. (a) Radiografía preoperatoria que muestra la bifurcación del tercio apical de la raíz mesial. (b) Radiografía de conductometría de la raíz distal. (c) Radiografía postoperatoria (mesioangulada).

to tanto en la raíz mesial como en la distal (fig. 9). De forma breve; una vez localizados los conductos principales e instrumentados sus accesos, se emplean fresas pequeñas o puntas ultrasónicas para eliminar el puente dentinario que comunica ambas entradas. Este paso tan simple permite obtener una visión directa del ángulo formado por la pared mesial y el suelo de la cámara pulpar y exponer el surco del desarrollo que se encuentra entre los dos conductos principales (fig. 10). Se emplea a continuación un explorador de endodoncia intentando luego permeabilizar el posible tercer conducto con limas pequeñas. El empleo de microscopios clínicos mejora la posibilidad de hallar y tratar estos conductos accesorios⁵³. Teniendo en cuenta la concavidad distal de la raíz mesial, la instrumentación del tercer conducto medial debe realizarse cuidadosamente con instrumentos pequeños para evitar perforaciones por desgaste³⁸ (*stri-*

pping). La morfología interna de este tipo de raíz mesial es muy variable, y nunca se debe descartar la posibilidad de que exista un conducto totalmente independiente en hasta un 25% de los casos²⁵.

Morfología de la raíz distal

Gulavibala et al.¹³ evaluaron 139 primeros molares inferiores y encontraron que un 74,8% de las raíces distales presentaban una morfología mesiodistal aplanada. También observaron que únicamente las raíces distales cónicas presentaban un solo conducto, mientras que la gran mayoría presentaban configuraciones más complejas. Por ello, las aperturas de acceso habituales deberían modificarse para poder buscar un segundo conducto o un conducto acintado. El diseño de la apertura de acceso ha ido evolucionado desde la clásica forma triangular hasta la

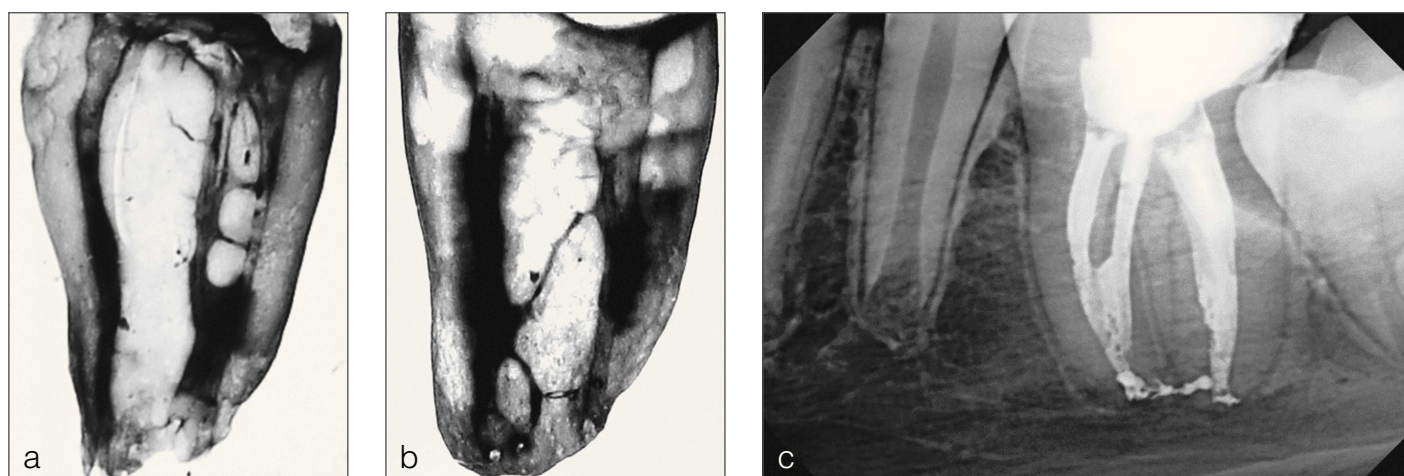


Figura 12. Raíces del primer molar inferior limpias en las que se puede observar una anastomosis cruzada. (a) Raíz mesial con tres conductos. Varias intercomunicaciones en el tercio medio entre los conductos mesiolingual y mesiocentral terminan combinándose. (b) Raíz distal con una anatomía compleja. Dos istmos tipo V, uno en el tercio medio y otro en el tercio apical. (c) Radiografía postoperatoria de un paciente de 14 años que demuestra la presencia de varios istmos y de comunicaciones interconductos.

forma rectangular, algo desviada hacia el cuadrante mesiovestibular, buscando la proyección en la superficie oclusal de la entrada del conducto radicular (fig. 10). Este diseño modificado ayuda al operador a localizar y permeabilizar con mayor facilidad los conductos distales^{14,38}. De las 2.992 raíces incluidas en la revisión sistemática, un 62,7% de las raíces distales presentaban un solo conducto radicular, mientras que el 26,9% se dividían por igual entre dos conductos con configuración de tipo II (2-1) y dos conductos con configuración de tipo IV (2-2). Martínez-Baerna y Badanelli⁵⁴ fueron los primeros en reseñar un tercer conducto en la raíz distal, al que designaron como distocentral (fig. 11). Este estudio incluyó 2.362 molares inferiores, y solo tres dientes presentaron tres conductos distales. La configuración de los conductos era diferente en todos los casos. El análisis de varios estudios sobre la morfología del conducto distal del primer molar inferior sitúa la incidencia de los conductos distocentrales en un 1%^{13,34,42,55-60}.

Comunicaciones interconductos: istmos

La configuración anatómica de los conductos radiculares nos presenta sistemas morfológicos complejos, incluyendo istmos entre ellos (fig. 12). La morfología y anchura vestibulolingual de la raíz mesial permite comunicaciones interconductos e istmos. En el momento actual, un istmo (anastomosis) se define como un pasaje que conecta dos o más conductos de la misma raíz⁶¹. En pacientes jóvenes, debemos esperar encontrar conduc-

tos grandes con istmos anchos (fig. 12c). Conforme se deposita dentina secundaria al ir madurando el diente, estas comunicaciones grandes se van dividiendo. Finalmente, su frecuencia disminuye después de los 40 años de edad⁶². Hsu y Kim⁶³ clasificaron la configuración de los istmos, siendo la más frecuente la de tipo V entre las raíces mesiales de los molares inferiores. El tipo V se reconoce como una verdadera conexión o ancho corredor de tejido entre los dos conductos principales⁶³. Después de revisar 1.615 primeros molares inferiores, la mitad de las raíces mesiales y un 20% de las raíces distales presentaban istmos de tipo V. Por lo tanto, cuando se tratan primeros molares inferiores, la presencia de istmos debe contemplarse más como norma que como excepción. Dada la extrema dificultad de desinfectar estos espacios inaccesibles⁶⁴, nuestros esfuerzos se deben centrar en mejorar nuestros protocolos de irrigación con los diferentes sistemas disponibles hoy en día. La importancia clínica de reconocer, tratar, y desinfectar los istmos ha sido recientemente señalada por von Arx, quien identificó anastomosis cruzadas completas en un 29% de los casos fallidos que requieren cirugía apical⁶⁵.

Conclusión

De este estudio pueden obtenerse seis conclusiones:

1. El número de raíces del primer molar inferior guarda relación directa con la etnia de la población estudiada. En los indios americanos, esquimales, y chinos, la presencia

de una tercera raíz se considera una característica anatómica normal.

2. La instrumentación de la tercera raíz requiere un acceso diferente y el empleo de instrumentos pequeños y flexibles, considerando la curvatura que normalmente se encuentra en la cara vestibular del tercio apical.

3. Las raíces mesiales presentan dos conductos de manera habitual adoptando como configuraciones mas frecuentes la 2-2 y 2-1. En un 2,6% de la población puede encontrarse un tercer conducto.

4. La configuración más frecuente en la raíz distal es la tipo I (62,7%), seguida de la tipo II (14,5%) y de la tipo IV (12,4%).

5. Para encontrar raíces y/o conductos adicionales es necesario realizar modificaciones en los accesos.

6. La presencia de istmos alcanza una frecuencia del 55% en la raíz mesial y del 20% en la raíz distal. Esta configuración anatómica debe tenerse en cuenta tanto durante el tratamiento endodóncico así como durante la cirugía apical.

Bibliografía

1. Zuolo ML, Ferreira MO, Gutmann JL. Prognosis in periradicular surgery: A clinical prospective study. *Int Endod J* 2000;33:91-98.
2. Wang N, Knight K, Dao T, Friedman S. Treatment outcome in endodontics—The Toronto Study. Phases I and II: Apical surgery. *J Endod* 2004;30:751-761.
3. Rubinstein RA, Kim S. Long-term follow-up of cases considered healed one year after apical microsurgery. *J Endod* 2002;28:378-383.
4. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: The Toronto Study. Phase I: Initial treatment. *J Endod* 2003;29:787-793.
5. Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: The Toronto study. Phases I and II: Orthograde retreatment. *J Endod* 2004;30:627-633.
6. Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S. Treatment outcome in endodontics—The Toronto Study. Phase II: Initial treatment. *J Endod* 2004;30:302-309.
7. Wang N, Knight K, Dao T, Friedman S. Treatment outcome in endodontics—The Toronto Study. Phases I and II: Apical surgery. *J Endod* 2004;30:751-761.
8. Marquis VL, Dao T, Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: The Toronto Study. Phase III: Initial treatment. *J Endod* 2006;32:299-306.
9. de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR, et al. Treatment outcome in endodontics: The Toronto study—Phase 4: Initial treatment. *J Endod* 2008;34:258-263.
10. de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR, et al. Treatment outcome in endodontics: The Toronto study—Phases 3 and 4: Orthograde retreatment. *J Endod* 2008;34:131-137.
11. Barone C, Dao TT, Basrani BB, Wang N, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: The Toronto study—Phases 3, 4, and 5: Apical surgery. *J Endod* 2010;36:28-35.
12. Hess W. Formation of root canals in human teeth. *J Natl Dent Assoc* 1921;3:704-725.
13. Gulabivala K, Aung TH, Alavi A, Ng YL. Root and canal morphology of Burmese mandibular molars. *Int Endod J* 2001;34:359-370.
14. Skidmore AE, Bjorndal AM. Root canal morphology of the human mandibular first molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:778-784.
15. Iqbal M, Chan S, Ku J. Relative frequency of teeth needing conventional and surgical endodontic treatment in patients treated at a graduate endodontic clinic—A Penn Endo database study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106:e62-e67.
16. Zaatar EI, al-Kandari AM, Alhomaedah S, al-Yasin IM. Frequency of endodontic treatment in Kuwait: Radiographic evaluation of 846 endodontically treated teeth. *J Endod* 1997;23:453-456.
17. Wayman BE, Patten JA, Dazey SE. Relative frequency of teeth needing endodontic treatment in 3350 consecutive endodontic patients. *J Endod* 1994;20:399-401.
18. Cunningham CJ, Senia ES. A three-dimensional study of canal curvatures in the mesial roots of mandibular molars. *J Endod* 1992;18:294-300.
19. Swartz DB, Skidmore AE, Griffin JA Jr. Twenty years of endodontic success and failure. *J Endod* 1983;9:198-202.
20. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965;20:340-349.
21. Möller AJ, Fabricius L, Dahlén G, Ohman AE, Heyden G. Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. *Scand J Dent Res* 1981;89:475-484.
22. Chen G, Yao H, Tong C. Investigation of the root canal configuration of mandibular first molars in a Taiwan Chinese population. *Int Endod J* 2009;42: 1044-1049.
23. Chen YC, Lee YY, Pai SF, Yang SF. The morphologic characteristics of the distolingual roots of mandibular first molars in a Taiwanese population. *J Endod* 2009;35:643-645.
24. Maggiori C, Gallotini L, Resi JP. Mandibular first and second molar. The variability of roots and root canal system. *Minerva Stomatol* 1998;47:409-416.
25. de Pablo OV, Estevez R, Péix Sánchez M, Heilborn C, Cohenca N. Root anatomy and canal configuration of the permanent mandibular first molar: A systematic review. *J Endod* 2010;36:1919-1931.
26. Walker RT, Quackenbush LE. Three-rooted lower first permanent molars in Hong Kong Chinese. *Br Dent J* 1985;159:298-299.
27. Song JS, Choi HJ, Jung IY, Jung HS, Kim SO. The prevalence and morphologic classification of distolingual roots in the mandibular molars in a Korean population. *J Endod* 2010;36:653-657.
28. Tu MG, Huang HL, Hsue SS, et al. Detection of permanent three-rooted mandibular first molars by cone-beam computed tomography imaging in Taiwanese individuals. *J Endod* 2009;35:503-507.
29. Tu MG, Tsai CC, Jou MJ, et al. Prevalence of three-rooted mandibular first molars among Taiwanese individuals. *J Endod* 2007;33:1163-1166.
30. Jerome CE, Hanlon RJ Jr. Dental anatomical anomalies in Asians and Pacific Islanders. *J Calif Dent Assoc* 2007;35:631-636.
31. Segura-Egea JJ, Jiménez-Pinzón A, Rios-Santos JV. Endodontic therapy in a 3-rooted mandibular first molar: Importance of a thorough radiographic examination. *J Can Dent Assoc* 2002;68:541-544.
32. Carlsen O, Alexandersen V. Radix entomolaris: Identification and morphology. *Scand J Dent Res* 1990;98:363-373.
33. Calberson FL, De Moor RJ, Deroose CA. The radix entomolaris and paramolaris: Clinical approach in endodontics. *J Endod* 2007;33:58-63.
34. Sperber GH, Moreau JL. Study of the number of roots and canals in Senegalese first permanent mandibular molars. *Int Endod J* 1998;31:117-122.
35. De Moor RJ, Deroose CA, Calberson FL. The radix entomolaris in mandibular first molars: An endodontic challenge. *Int Endod J* 2004;37:789-799.
36. Gu Y, Lu Q, Wang H, Ding Y, Wang P, Ni L. Root canal morphology of permanent three-rooted mandibular first molars—Part I: Pulp floor and root canal system. *J Endod* 2010;36:990-994.

37. Chen SC, Chueh LH, Hsiao CK, Tsai MY, Ho SC, Chiang CP. An epidemiologic study of tooth retention after nonsurgical endodontic treatment in a large population in Taiwan. *J Endod* 2007;33:226–229.
38. Fabra-Campos H. The problem of lower first molars in endodontic treatment [in Spanish]. *Rev Esp Endodoncia* 1983;1:135–153.
39. Fabra-Campos H. Unusual root anatomy of mandibular first molars. *J Endod* 1985;11:568–572.
40. Furri M, Tocchio C, Bonaccorso A, Tripi T, Cantatore G. Apical canal confluency in mandibular molars. *Endo* 2007;1:53–59.
41. Pattanshetti N, Gaidhane M, Al Kandari AM. Root and canal morphology of the mesiobuccal and distal roots of permanent first molars in a Kuwait population—A clinical study. *Int Endod J* 2008;41:755–762.
42. Martínez-Berna A, Badanelli P. Mandibular first molars with six root canals. *J Endod* 1985;11:348–352.
43. Reeh ES. Seven canals in a lower first molar. *J Endod* 1998;24:497–499.
44. Peiris HR, Pitakotuwage TN, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E. Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages. *Int Endod J* 2008;41:828–835.
45. Cimilli H, Mumcu G, Cimilli T, Kartal N, Wesselink P. The correlation between root canal patterns and interorificial distance in mandibular first molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102:e16–e21.
46. Castelucci A. Access cavity and endodontic anatomy. In: Castelucci A (ed). *Endodontics*, ed 2. Florencia: Ediciones Odontológicas El Tridente, 2004:297–298.
47. Berutti E, Fedon G. Thickness of cementum/dentin in mesial roots of mandibular first molars. *J Endod* 1992;18:545–548.
48. Kartal N, Cimilli HK. The degrees and configurations of mesial canal curvatures of mandibular first molars. *J Endod* 1997;23:358–362.
49. Marroquin BB, El-Sayed MA, Willershausen-Zonnchen B. Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and mandibular molars. *J Endod* 2004;30:321–328.
50. Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *J Endod* 2010;36:721–724.
51. Barker BC, Parsons KC, Mills PR, Williams GL. Anatomy of root canals. III. Permanent mandibular molars. *Aust Dent J* 1974;19:408–413.
52. Vertucci FJ, Williams RG. Furcation canals in the human mandibular first molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1974;38:308–314.
53. Karapinar-Kazandag M, Basrani BR, Friedman S. The operating microscope enhances detection and negotiation of accessory mesial canals in mandibular molars. *J Endod* 2010;36:1289–1294.
54. Martínez-Berna A, Badanelli P. Investigación clínica de molares inferiores con cinco conductos. *Bol Inf Dent (Madr)* 1983;43:27–41.
55. Ahmed HA, Abu-bakr NH, Yahia NA, Ibrahim YE. Root and canal morphology of permanent mandibular molars in a Sudanese population. *Int Endod J* 2007;40:766–771.
56. Al-Qudah AA, Awawdeh LA. Root and canal morphology of mandibular first and second molar teeth in a Jordanian population. *Int Endod J* 2009;42:775–784.
57. Caliskan MK, Pehlivan Y, Sepetcioglu F, Turkun M, Tuncer SS. Root canal morphology of human permanent teeth in a Turkish population. *J Endod* 1995;21:200–204.
58. Gulabivala K, Opananon A, Ng YL, Alavi A. Root and canal morphology of Thai mandibular molars. *Int Endod J* 2002;35:56–62.
59. Sert S, Aslanalp V, Tanalp J. Investigation of the root canal configurations of mandibular permanent teeth in the Turkish population. *Int Endod J* 2004;37:494–499.
60. Goel NK, Gill KS, Taneja JR. Study of root canals configuration in mandibular first permanent molar. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 1991;8:12–14.
61. Glossary of Endodontic Terms. Chicago: American Association of Endodontists, 2003.
62. Gu L, Wei X, Ling J, Huang X. A microcomputed tomographic study of canal isthmuses in the mesial root of mandibular first molars in a Chinese population. *J Endod* 2009;35:353–356.
63. Hsu YY, Kim S. The resected root surface. The issue of canal isthmuses. *Dent Clin North Am* 1997;41:529–540.
64. Susin L, Liu Y, Yoon JC, et al. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *Int Endod J* 2010;43:1077–1090.
65. von Arx T. Frequency and type of canal isthmuses in first molars detected by endoscopic inspection during periradicular surgery. *Int Endod J* 2005;38:160–168.