

Conductos radiculares curvos en el sector anterior: consecuencias para el tratamiento de dientes desvitalizados

Brita Willershausen, Prof. Dr. med. dent.^a, Adrian Kasaj, Dr. med. dent.^a, Bernd Röhrig, Dr. rer. nat.^b, Haki Tekyatán, Dr. med. dent.^c, y Benjamin Briseño, Prof. Dr. med. dent.^c

El conocimiento profundo de la anatomía de los conductos radiculares y especialmente la información relativa a la frecuencia y la localización de las curvaturas en los conductos radiculares son extraordinariamente importantes para el tratamiento definitivo de dientes endodonciados sobre todo en lo que concierne a posibles reconstrucciones con perno-muñón. La evaluación errónea de la anatomía de los conductos radiculares puede provocar perforaciones y fracturas radiculares durante la inserción del perno con una posible pérdida posterior del diente. En un estudio in vitro se determinó la frecuencia y la localización de conductos radiculares curvos en los sectores anterosuperior y anteroinferior. Se estudiaron un total de 683 dientes anteriores humanos exodonciados y se determinaron sus dimensiones en imágenes radiográficas. En este estudio se evaluaron únicamente dientes que no presentaban lesiones de caries acusadas y que no estuvieran endodonciados ni restaurados. Para estudiar la frecuencia y la localización de conductos radiculares curvos se utilizó un aparato de rayos X especial con un dispositivo giratorio. El estudio mostró que la mayoría de los dientes del sector anterosuperior

presentaba conductos radiculares curvos, obteniéndose cifras comparables en el sector anteroinferior. Las distancias medias entre el límite amelocementario y la primera curvatura radicular se situaron entre 10 y 12 mm, si bien se observaron también valores mínimos de 5 mm. El estudio confirmó la importancia de una actitud conservadora en lo que se refiere a la aplicación de pernos radiculares, de disponer de conocimientos sólidos de la anatomía de los conductos radiculares y de la recomendación de utilizar sistemas de pernos adhesivos con longitudes de perno entre 5 y 7 mm para evitar complicaciones, como perforaciones de los conductos radiculares o fracturas radiculares longitudinales.

(Quintessenz Team-Journal. 2008;59:585-92)

Introducción

El éxito de un tratamiento endodóntico sólo lo puede asegurar el conocimiento anatómico profundo de los conductos radiculares además del uso de instrumentos modernos, de selladores y de un equipamiento técnico adecuado que incluye la verificación microscópica. Para iniciar la preparación de los conductos radiculares es imprescindible determinar el número y el trayecto de los conductos del diente correspondiente para minimizar o evitar los fracasos. El número de conductos de una raíz puede variar mucho^{4,6,14}, independientemente de la cantidad de raíces de un determinado diente. En su momento, Weine et al²⁹ ya proporcionaron una clasificación

^aPoliclínica de Odontología Conservadora y Periodoncia (Directora: Prof. Dr. B. Willershausen). Clínica y Policlínicas de Odontología, Medicina Oral y Maxilofacial de la Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Alemania.

^bInstituto de Biometría Médica, Epidemiología e Informática (Director: Prof. Dr. M. Blettner) de la Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Alemania.

^cPoliclínica de Odontología Conservadora y Periodoncia (Directora: Prof. Dr. B. Willershausen). Clínica y Policlínicas de Odontología, Medicina Oral y Maxilofacial de la Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Alemania.

Correspondencia: B. Willershausen y A. Kasaj.
Augustusplatz 2, 55131 Mainz, Alemania.
Correo electrónico: willersh@uni-mainz.de

sencilla y orientada a la clínica de la configuración de los conductos radiculares en la que se distinguen cuatro tipos básicos. La versión modificada por Vertucci²⁸ en 1984 de esta clasificación describe los tipos de conductos siguientes:

- Tipo I: un conducto único
- Tipo II: dos conductos independientes que se unen en uno solo antes del ápice
- Tipo III: un conducto se divide y se vuelve a unir antes del ápice
- Tipo IV: dos conductos independientes
- Tipo V: un conducto se divide en dos conductos independientes
- Tipo VI: dos conductos se unen en uno en la raíz y se vuelven a dividir en dos conductos independientes antes del ápice
- Tipo VII: un conducto se divide, se vuelve a unir y se divide nuevamente antes del ápice
- Tipo VIII: tres conductos independientes

El foramen apical constituye la conexión natural entre la cavidad pulpar y el tejido periapical. El conducto radicular puede mostrar múltiples ramificaciones en la zona apical, las cuales dan lugar a una estructura denominada delta apical. La finalidad de la preparación del conducto radicular en esta zona es crear un tope apical para asegurar la delimitación y la estanqueidad de esta región. Aproximadamente a 0,5 a 1 mm hacia caudal del agujero fisiológico se encuentra la abertura hacia el periodonto apical, es decir, el foramen apical^{1,7,24,26}. No se debe perder de vista que las raíces, concretamente los conductos radiculares, muestran frecuentemente un trayecto curvo tanto desde el punto de vista macroanatómico como intraconducto. Esto llevó a acuñar el término «ápice radiográfico» en la bibliografía^{8,22}. Actualmente, el ápice radiográfico se define como la región que en la imagen radiológica refleja el ápice radicular.

De acuerdo con los conocimientos actuales, en la bibliografía ya no se habla de conducto radicular sino de sistema de conductos radiculares, dado que esta terminología tiene en cuenta los conductos laterales y los conductos secundarios además del conducto principal^{9,15}. Conviene tener presente siempre que el sistema de conductos radiculares tiene una estructura singular en la que influyen considerablemente factores como la edad del paciente, los defectos de caries existentes o los acontecimientos traumáticos¹⁵. Además de los aspectos antes mencionados, la preparación de los conductos radiculares se complica por el hecho de que un porcentaje alto de sistemas de conductos radiculares presenta cur-

vaturas cuya magnitud depende del radio y del arco de las mismas. En la bibliografía abundan los ensayos y los estudios experimentales que investigan la problemática de los conductos radiculares curvos^{3,10,12,17,19,21}. Algunos autores han intentado determinar las curvaturas de los conductos mediante la aplicación de arcos de circunferencia, lo que ha permitido observar que las curvaturas en estos sistemas pueden mostrar variaciones tridimensionales^{8,16}. Con objeto de analizar un poco mejor las clasificaciones propuestas en la bibliografía, es importante mencionar que las primeras descripciones de las curvaturas de los conductos se basan únicamente en una clasificación verbal del trayecto^{13,18,33}. Con sus clasificaciones, numerosos autores han dejado constancia de la complejidad de las curvaturas. No obstante, la primera clasificación establecida, la de Schneider²³, es la descripción más utilizada para clasificar las curvaturas de los conductos radiculares^{2,13,25}. Este autor clasificó los conductos en función del grado de curvatura de la raíz, determinado a partir del ángulo formado por una línea paralela al eje del conducto y una segunda línea que atraviesa el foramen apical:

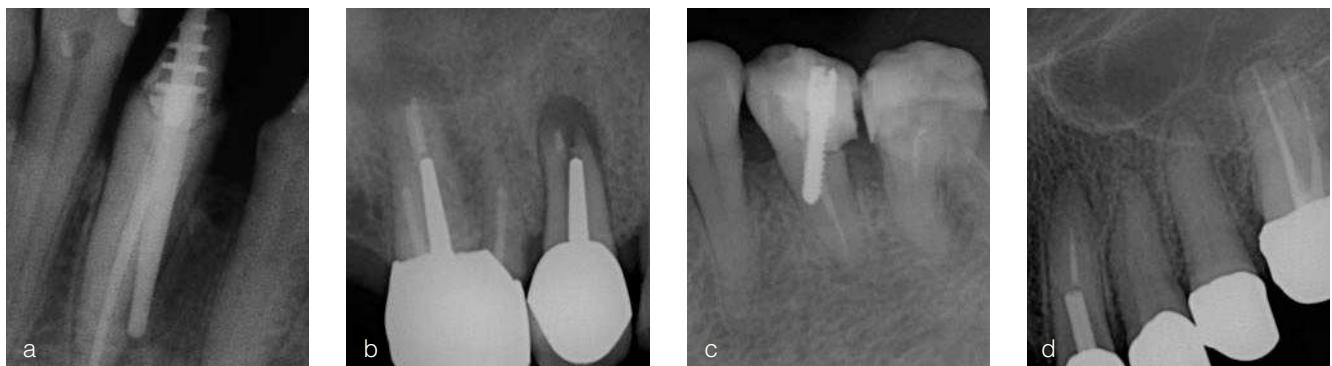
- Grado I: recto (5° y menos)
- Grado II: curvatura moderada (10-20°)
- Grado III: curvatura intensa (25-70°)

Backman et al² y Nagy et al¹⁶ describieron los conductos radiculares según cálculos matemáticos. Nagy et al¹⁶ establecieron la clasificación y las frecuencias siguientes:

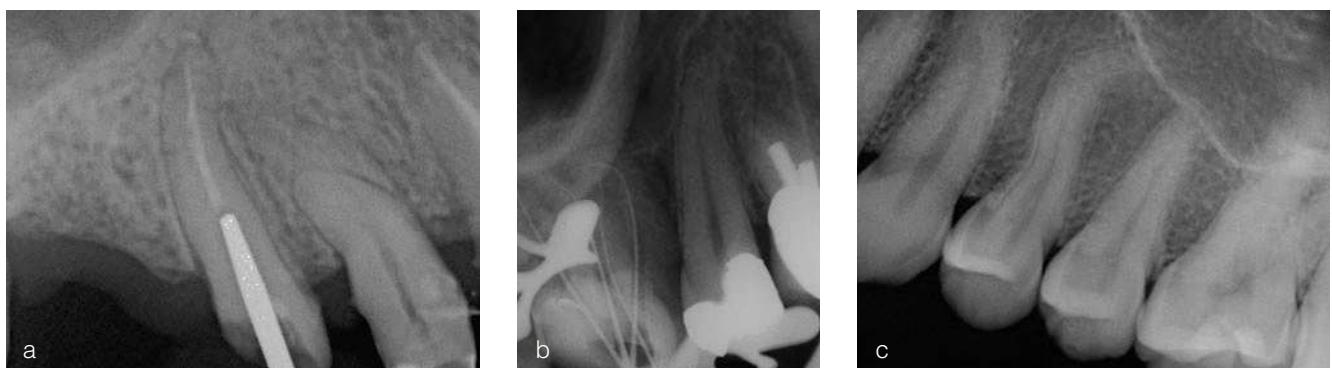
- En I (28%): trayecto rectilíneo
- En J (23%): curvatura en la zona apical
- En C (33%): curvatura que abarca todo el trayecto del conducto
- En S (16%): varias curvaturas

La preparación de conductos radiculares rectos no suele ser problemática.

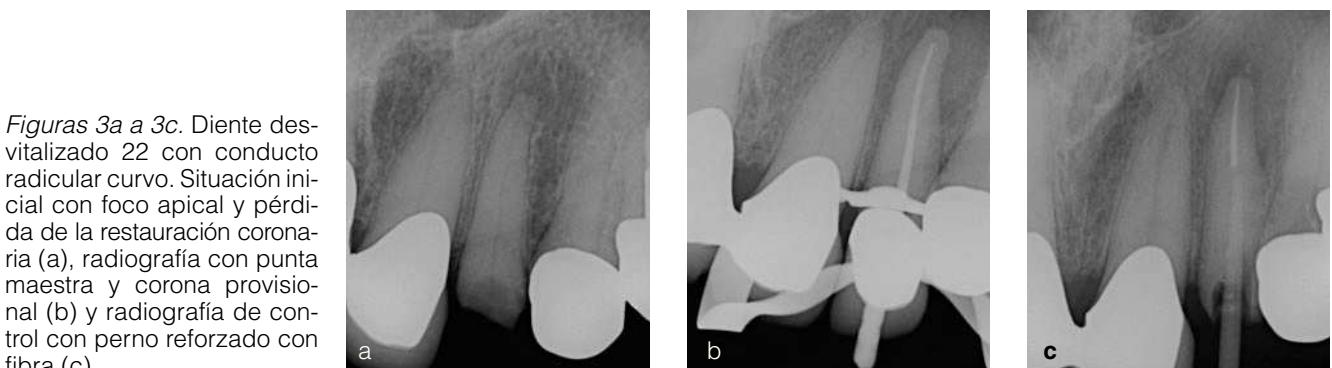
La presencia de curvaturas no detectadas en los conductos radiculares puede comportar problemas considerables para el tratamiento protésico posterior si después del tratamiento endodóntico hace falta insertar pernos radiculares para la reconstrucción de la forma o del múnón de la corona (figs. 1 a 3). En este estudio *in vitro* se examinan la frecuencia y la localización de curvaturas de los conductos radiculares en los sectores anterosuperior y anteroinferior para evitar complicaciones como perforaciones del conducto radicular o fracturas radiculares.



Figuras 1a a 1d. Ejemplos de tratamientos con pernos radiculares metálicos problemáticos. El posicionamiento erróneo o desfavorable de los pernos metálicos (a, b, c, d) o de los pernos-muñones colados provocó fracturas longitudinales en algunos premolares que hicieron necesaria la extracción de la pieza.



Figuras 2a a 2c. Las curvaturas existentes en los conductos radiculares de los premolares ponen de manifiesto la necesidad de utilizar procedimientos especiales en caso de variantes anatómicas. Una longitud de perno equivalente a 2/3 partes del conducto radicular llevaría a la perforación radicular con la consiguiente pérdida de la pieza.



Figuras 3a a 3c. Diente desvitalizado 22 con conducto radicular curvo. Situación inicial con foco apical y pérdida de la restauración coronaria (a), radiografía con punta maestra y corona provisional (b) y radiografía de control con perno reforzado con fibra (c).

Material y métodos

Se utilizaron dientes anterosuperiores y anteroinferiores recién exodonciados (material dentario recogido: clínica dental y consultas dentales de la zona) para determinar las frecuencias y las localizaciones de curvaturas de los conductos radiculares en el sector anterior. En este estudio se

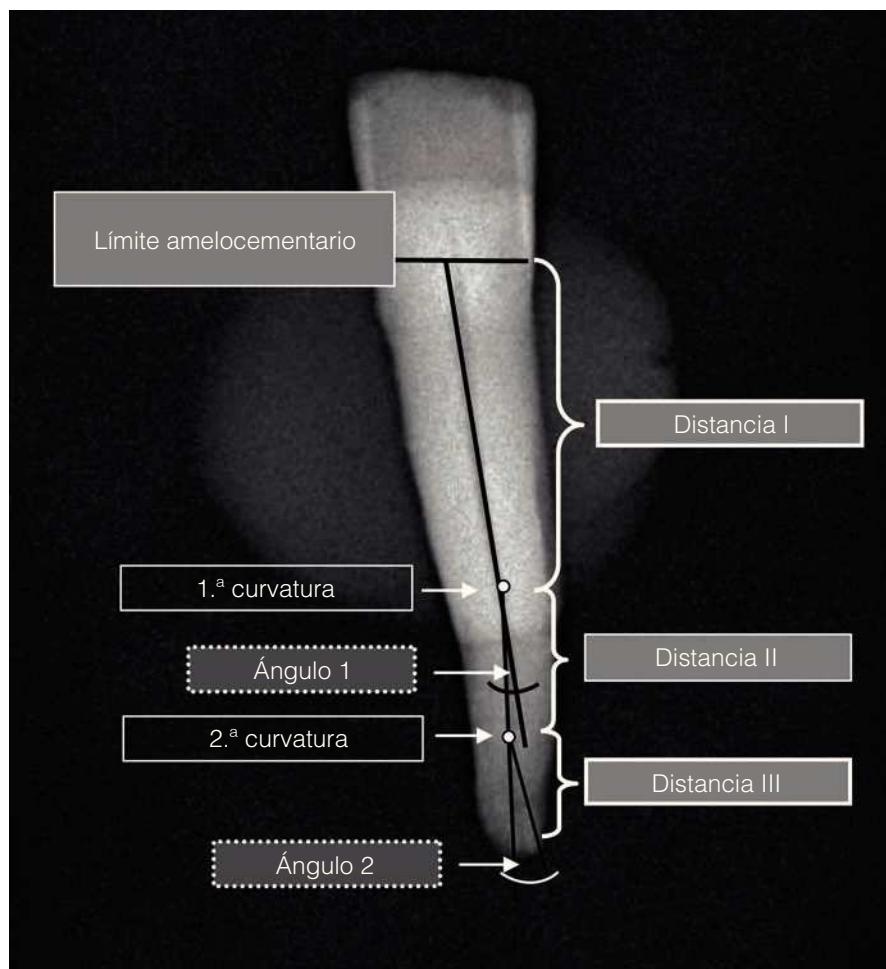
midieron y se evaluaron un total de 683 dientes anteriores humanos recién exodonciados. No se logró obtener datos específicos de todos los pacientes, como el sexo, la edad o la presencia de enfermedades generales, por lo que no se pudieron utilizar para la evaluación posterior. Se excluyeron del estudio las piezas con lesiones de caries extensas, dientes con restauraciones (coronas unitarias, puentes

y coronas telescópicas) y piezas sometidas a tratamiento endodóntico. Se excluyeron también los dientes que no permitieron una asignación clara del límite amelocementario y con configuraciones de los conductos radiculares²⁸ de clase II o IV. La medición radiológica de los tramos rectos y de las curvaturas de los conductos radiculares se efectuó mediante métodos previamente descritos^{31,32}. Los datos se evaluaron mediante el programa estadístico SPSS (versión 14.0). Se utilizó la prueba exacta de Fisher y la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney para determinar las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos dentarios (posición central y posición lateral, lado derecho y lado izquierdo) así como para calcular la incidencia de curvaturas en los conductos radiculares. El nivel de significación se estableció en valores de p inferiores a 0,05.

Resultados

En este estudio se eligieron y midieron radiológicamente un total de 683 dientes anteriores humanos exo-

donciados (396 dientes anteroinferiores: $n = 122$ dientes 31, $n = 126$ dientes 41, $n = 70$ dientes 32, $n = 78$ dientes 42; 287 dientes anterosuperiores: $n = 69$ dientes 21, $n = 77$ dientes 11, $n = 68$ dientes 22, $n = 73$ dientes 12). La figura 4 muestra una representación esquemática de las líneas y de los ángulos medidos. Un porcentaje alto de dientes anterosuperiores y anteroinferiores mostró conductos radiculares curvos (tablas 1 y 2). Para el tratamiento clínico posterior con perno de dientes endodonciados adquiere una importancia especial el tramo comprendido entre el límite amelocementario y la primera curvatura del conducto radicular. Las tablas 3 y 4 reflejan los valores medios de estas distancias, incluidas las distancias mínimas. En los dientes anteroinferiores se hallaron valores mínimos de 5,5 mm y en los dientes anterosuperiores de sólo 4,2 mm. Los dientes anterosuperiores y los dientes anteroinferiores mostraron diferencias significativas entre los datos medidos en la posición central y los medidos en la posición lateral, pero las diferencias no fueron significativas entre el lado derecho y el lado izquierdo. Estos re-



Figuras 4a y 4b. Representación esquemática de las distancias medidas digitalmente y de las curvaturas del conducto radicular en dientes anteroinferiores (a) y situación clínica típica (b). Se utilizó una línea horizontal entre el límite amelocementario mesial y distal como línea de referencia coronaaria.

Tabla 1. Frecuencia de curvaturas en los conductos radiculares en el sector anterosuperior

Dientes/grupos de dientes	[n]	Sin curvaturas	Una curvatura	Dos curvaturas
	287			
Incisivo central izquierdo (21)	69	4 (5,8%)	59 (85,5%)	6 (8,7%)
Incisivo central derecho (11)	77	1 (1%)	68 (88,3%)	8 (10,4%)
Incisivo lateral izquierdo (22)	68	0 (0%)	54 (79,4%)	14 (20,6%)
Incisivo lateral derecho (12)	73	0 (0%)	58 (79,5%)	15 (20,5%)

Tabla 2. Frecuencia de curvaturas en los conductos radiculares en el sector anteroinferior

Dientes/grupos de dientes	[n]	Sin curvaturas	Una curvatura	Dos curvaturas
	396			
Incisivo central izquierdo (31)	122	85 (70%)	34 (28%)	3 (2%)
Incisivo central derecho (41)	126	81 (64%)	45 (36%)	0 (0%)
Incisivo lateral izquierdo (32)	70	16 (23%)	53 (76%)	1 (1%)
Incisivo lateral derecho (42)	78	14 (18%)	56 (72%)	8 (10%)

sultados muestran la enorme importancia de disponer de conocimientos exactos de la morfología de los conductos radiculares, especialmente útiles durante la inserción de los pernos para evitar complicaciones, como perforaciones de los conductos radiculares o fracturas radiculares.

Discusión y resumen

El conocimiento profundo de la morfología de los conductos radiculares es esencial no sólo para el tratamiento endodóntico, sino también para las reconstrucciones posteriores con corona que requieren la inserción de un perno. En la mayoría de las consultas dentales se obtienen imágenes radiológicas bidimensionales (radiografía panorámica, radiografías intraorales) antes de iniciar un tratamiento endodóntico que no logran mostrar las curvaturas ocultas de los conductos radiculares por la ausencia de representación tridimensional (que requiere una tomografía volumétrica digital). En los estudios realizados hasta ahora se ha podido confirmar claramente que el trayecto de la mayoría de los conductos radiculares no es rectilíneo, sino que presenta una o a menudo varias curvaturas^{3,4,6}.

La preparación de conductos curvos es complicada debido a las diferencias entre el eje del conducto y el eje del vector de fuerza del instrumento de preparación. Como consecuencia de la curvatura, el instrumento desarrolla una fuerza de flexión que puede provocar cambios de forma no deseados del conducto original^{5,20}. Por ello y a pesar de los avances logrados en la endodoncia siguen produciéndose fallos que Weine et al³⁰ ya describieron en 1975, como efecto codo, efecto garra o efecto lágrima.

Se debe tener en cuenta además que, en conductos radiculares con preparaciones muy amplias (superiores a ISO 40) en dientes anteriores o en premolares, hay que utilizar sistemas de pernos que actúan como dispositivos de retención de los muñones necesarios en diversos tratamientos restauradores. En este tipo de conductos radiculares se deben utilizar preferentemente sistemas de pernos con fijación adhesiva para conseguir una cierta estabilidad del conducto radicular. Las recomendaciones de la Sociedad Americana de Endodoncia y el posicionamiento de la Sociedad Alemana de Odontología, Medicina Oral y Maxilofacial son claramente conservadores en lo que se refiere a los tratamientos de los conductos radiculares con perno-muñón. Debido a las propiedades del material, los pernos metálicos tienen a menudo un efecto de cuña y se han descrito numerosos casos de fracturas radiculares longitudinales en relación con estructuras con pernos, por lo que se debería prescindir de estos sistemas de pernos en la medida de lo posible y limitar su uso a casos de indicación estricta. El sector dental ofrece actualmente diversos tipos de perno con una gama amplia que abarca desde materiales metálicos (pernos de titanio pasivos o activos) a pernos de composite reforzados con fibra de vidrio o pernos de fibra de carbono pasando por pernos cerámicos (pernos cerámicos de óxido de zirconio).

Se debería dar prioridad al uso de estos materiales, dado que los pernos de composite reforzados con fibra tienen módulos de elasticidad parecidos a los de la dentina, de modo que no favorecen ni provocan fracturas radiculares y se pueden retirar fácilmente de hacerse necesaria una revisión de la obturación radicular (figs. 5 y

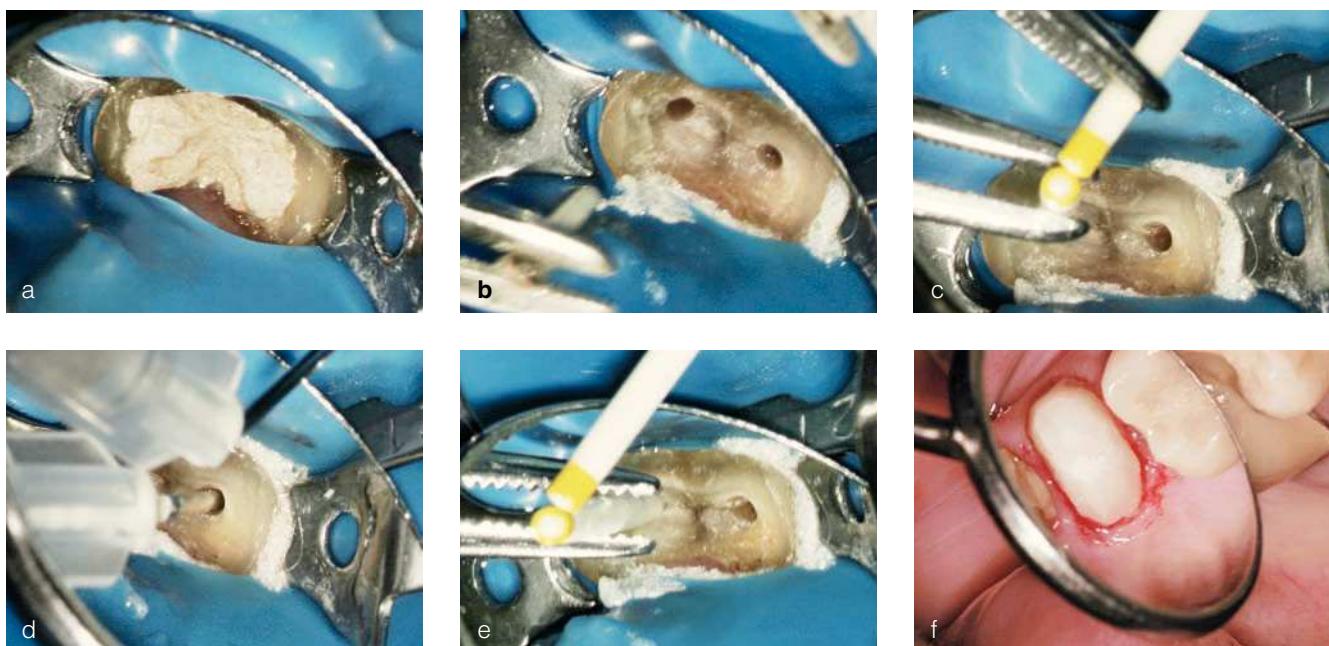
Odontología conservadora

Tabla 3. Parámetros estadísticos para los dientes anterosuperiores (DE: desviación estándar)

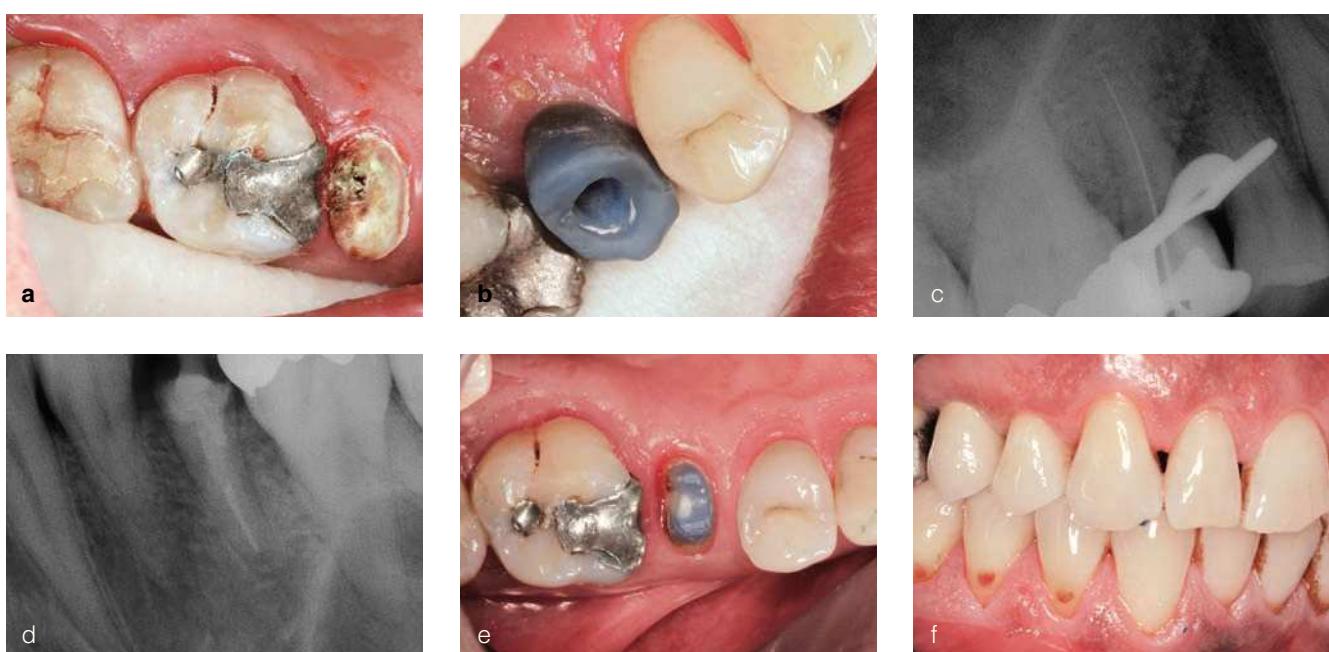
Dientes/grupos de dientes	[n]		Longitud total raíz [mm]	Distancia entre límite amelocementario y 1. ^a curvatura [mm]	Ángulo [grados]
	287				
Incisivo central izquierdo (21)	69	Media ± DE	14,5 ± 2,5	10,5 ± 2,7	7,7 ± 4,4
		Mediana	14,8	10,6	6,7
		Mín.	9,5	4,9	1,0
		Máx.	20,3	17,2	19,0
Incisivo central derecho (11)	77	Media ± DE	14,9 ± 2,2	10,1 ± 2,7	7,8 ± 5,1
		Mediana	14,7	9,7	6,1
		Mín.	10,5	4,2	1,8
		Máx.	22,1	16,2	28,0
Incisivo lateral izquierdo (22)	68	Media ± DE	16,1 ± 2,0	11,3 ± 2,4	10,9 ± 7,3
		Mediana	16,2	11,4	7,4
		Mín.	10,0	6,0	1,1
		Máx.	20,4	16,4	35,1
Incisivo lateral derecho (12)	73	Media ± DE	16,3 ± 2,2	10,7 ± 3,4	10,6 ± 6,9
		Mediana	16,38	11,2	6,9
		Mín.	12,0	4,7	0,4
		Máx.	22,9	18,7	39,7

Tabla 4. Parámetros estadísticos para los dientes anteroinferiores (DE: desviación estándar)

Dientes/grupos de dientes	[n]		Longitud total raíz [mm]	Distancia entre límite amelocementario y 1. ^a curvatura [mm]	Ángulo [grados]
	396				
Incisivo central izquierdo (31)	122	Media ± DE	14,9 ± 1,6	13,7 ± 2,6	10,5 ± 6,0
		Mediana	14,9	14,0	9,2
		Mín.	9,3	5,6	3,1
		Máx.	19,0	19,0	29,1
Incisivo central derecho (41)	126	Media ± DE	15,2 ± 1,8	13,8 ± 2,6	10,2 ± 5,4
		Mediana	14,9	14,1	9,4
		Mín.	10,9	5,5	2,2
		Máx.	22,3	19,2	34,4
Incisivo lateral izquierdo (32)	70	Media ± DE	15,4 ± 1,8	12,4 ± 2,4	11,7 ± 4,4
		Mediana	15,7	12,3	10,8
		Mín.	10,7	6,9	5,3
		Máx.	19,5	17,9	23,6
Incisivo lateral derecho (42)	78	Media ± DE	15,9 ± 1,6	12,3 ± 2,6	11,1 ± 4,5
		Mediana	15,8	12,1	10,6
		Mín.	12,0	7,0	3,8
		Máx.	19,3	17,4	25,7



Figuras 5a a 5f. Fases de trabajo de la fijación adhesiva de un perno de composite reforzado con fibra en el diente 12 una vez concluido el tratamiento endodóntico: obturación radicular (a), ensanchamiento del conducto (b y c), posicionamiento del perno (d), confección del perno-muñón con técnica adhesiva (e) y reconstrucción de muñón (f).



Figuras 6a a 6f. Diente desvitalizado 25: situación inicial (a), reconstrucción de muñón y tratamiento endodóntico con aislamiento mediante dique de goma (b), radiografías de control después de la inserción del perno (c y d), reconstrucción con composite (e) y recubrimiento con corona (f).

6). Si la inserción de un perno se hace imprescindible, conviene tener en cuenta especialmente la anatomía del conducto radicular así como las frecuencias y las localizaciones de las posibles curvaturas.

Las prescripciones clásicas en relación con la longitud necesaria del perno ($2/3$ de la longitud del conducto radicular) han quedado obsoletas según la bibliografía actual publicada sobre morfología de los conductos radiculares.

Numerosos estudios documentan con persistencia la frecuencia y también la localización de las curvaturas de los conductos radiculares y advierten que, muy probablemente, la inserción de pernos con una longitud de 2/3 de la del conducto radicular debilita y daña el conducto radicular residual^{3,4,6,31}. Esto es importante, porque se ha demostrado que el 85% de todos los sistemas de conductos radiculares presenta curvaturas. Prácticamente todos los conductos radiculares mesiales de los molares inferiores muestran un trayecto curvo⁸. Schäfer et al²¹ consiguieron medir ángulos de incluso 20° a 29° en el 60% de los casos. Según los datos que se publican en la bibliografía que indican distancias entre el límite amelocementario y la primera curvatura de al menos 5 a 6 mm, se recomienda utilizar preferentemente pernos de longitudes no superiores a 5-7 mm. Además, se debería dar preferencia también a los sistemas de pernos adhesivos frente a los pernos metálicos.

Se recomienda también dejar intactos los tejidos duros coronarios existentes en la medida de lo posible y prepararlos sólo para darles la forma deseada. La complejidad de los respectivos sistemas de conductos radiculares, las variantes de todo tipo y las configuraciones más diversas de los conductos dejan claro que, a pesar de disponer de las técnicas y del material auxiliar más modernos en el campo de la endodoncia (microscopio quirúrgico, técnicas de preparación mecanizadas, sistemas de limas de níquel-titanio, técnicas de obturación termoplástica), es esencial conocer bien la morfología de los conductos para evitar fracasos^{11,20,26,27,29}.

Bibliografía

1. Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. The anticurvature filling method to prepare the curved root canal. *J Am Dent Assoc* 1980; 101:792-794.
2. Backman CA, Oswald RJ, Pitts DL. A radiographic comparison of two root canal instrumentation techniques. *J Endod* 1992;18: 19-24.
3. Baumann MA, Doll GM. Spatial reproduction of the root canal system by magnetic resonance microscopy. *J Endod* 1997;23:49-51.
4. Björndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J* 1999;32:3-9.
5. Briseno BM, Sonnabend E. The influence of different root canal instruments on root canal instrumentation: an in vitro study. *Int Endod J* 1997;24:15-23.
6. Burger CL, Mork TO, Hutter JW, Nicoll B. Direct digital radiography versus conventional radiography for estimation of canal length in curved canals. *J Endod* 1999;25:260-263.
7. Chong BS, Pitt Ford TR. Elektronische Geräte zur Wurzelkanallängenbestimmung – welche, wann und wie? *Endodontie* 1996;5:137-142.
8. Cunningham CJ, Senia ES. A three-dimensional study of canal curvatures in the mesial roots of mandibular molars. *J Endod* 1992; 18:294-300.
9. Davis S, Brayton S, Goldman M. The morphology of the prepared root canal: A study utilizing injectable silicone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972;34:642-648.
10. Dobo-Nagy C, Keszthelyi G, Szabo J, Sulyok P, Ledeczy G, Szabo J. A computerized method for mathematical description of three-dimensional root canal axis. *J Endod* 2000; 26:639-643.
11. Fava LR, Dummer PM. Periapical radiographic techniques during endodontic diagnosis and treatment. *Int Endod J* 2007;30:250-261.
12. Günday M, Sazak H, Garip Y. A comparative study of three different root canal curvature measurement techniques and measuring the canal access angle in curved canals. *J Endod* 2005;31:796-798.
13. Ingle JI, Taintor JF. *Endodontics*. 3. ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1985.
14. Klimm W. *Endodontologie. Grundlagen und Praxis*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag, 2003.
15. Lukš S, Bolantin L. The myth of standardized root canal instruments. *NY J Dent* 1973;43: 109-111.
16. Nagy CD, Szabo J, Szabo J. A mathematically based classification of root canal curvatures on natural human teeth. *J Endod* 1995;21: 557-560.
17. Nattress BR, Martin DM. Predictability of radiographic diagnosis of variations in root canal anatomy in mandibular incisors and premolar teeth. *Int Endod J* 1991;24:58-62.
18. Pucci FM, Reig R. *Conductos radiculares*. Vol II. Buenos Aires: Medico-Quirurgica, 1944:319.
19. Robinson S, Czerny C, Gahleitner A, Bernhart T, Kainberger FM. Dental CT evaluation of mandibular first premolar root configurations and canal variations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;93:328-332.
20. Saletta D, Baldi C, Nieri M et al. Root curvature: differences among dental morphotypes and modifications after mechanical instrumentation. *J Periodontol* 2005;76:723-730.
21. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J. Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod* 2002; 28:211-216.
22. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. Experimentelle Untersuchungen zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit neuartigen Wurzelkanalinstrumenten. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49: 311-315.
23. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:271-275.
24. Schulz-Bongert U. Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle. Die „Double-flared“ Aufbereitung mit individualisierten Handinstrumenten nach Franklin S. Weine. *Endodontie* 1997;6:113-126.
25. Southard DW, Oswald RJ, Natkin E. Instrumentation of curved molar root canals with the Roane technique. *J Endod* 1987;13:479-489.
26. Steffen H, Low A. Klinische Bewertung der Meßgenauigkeit des Root ZX im Vergleich zur Röntgenmeßaufnahme. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:559-562.
27. Tepel J, Schäfer E. Endodontic hand instruments: cutting efficiency, instrumentation of curved canals, bending and torsional properties. *Endod Dent Traumatol* 1997;13:201-210.
28. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:589-599.
29. Weine FS. *Endodontic therapy*. 3. ed. St. Louis: Mosby, 1982:211.
30. Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *Endod* 1975;1:255-262.
31. Willershausen B, Kasaj A, Röhrlig B, Marroquin BB. Radiographic investigation of frequency and location of root canal curvatures in human mandibular anterior incisors in vitro. *J Endod* 2008;34:152-156.
32. Willershausen B, Tekyatian H, Kasaj A, Marroquin BB. Roentgenographic in vitro investigation of frequency and location of curvatures in human maxillary premolars. *J Endod* 2006;32:307-311.
33. Zidell J. Classification of root canal system. In: Ingle JI, Taintor JF. *Endodontics*. 3. ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1985:246.