

## Monografía

## Autores:

# Estudio Estructural y Ultraestructural de la Inervación y Vascularización del Órgano Pulpar Humano. Aspectos Endodónticos.

Carlos Oberti S., D.D.S, M.D.(1)

Eduardo D'Acuña U., D.D.S.(2)

(1) Titular en Histología-Neuroanatomía, Universidad de Chile. Investigador independiente.

(2) Docente asignatura Endodoncia, Universidad Mayor.

## Structural and Substructural Study of Innervation and Vascularization of Human Dental Pulp. Endodontic Aspects.

Manuel Montt 037/301, Providencia, Santiago.

E-mail: obertcarlos@hotmail.com

### Resumen

*El propósito de esta investigación es dar un aporte al conocimiento del capítulo de Endodoncia mediante el estudio estructural y subestructural de la histología, vascularización y neurología del órgano pulpar humano. Se utilizaron dientes jóvenes que fueron procesados con técnicas de microscopía de luz y electrónica. Para estudio neuroanatómico de vías nerviosas se empleó impregnación de ion plata. La continuidad singular de los capilares hacia el sector venoso podría establecer el rol que juegan en los cambios de presión hemodinámica además del control que para estos efectos tiene la profusa inervación neurovegetativa. Esto permitiría modular cambios en la microcirculación local determinada por lesión e inflamación. Nuestra experiencia en la inervación exteroceptiva del límite odonto-predentina actualizada con nuevas técnicas nos ha permitido mejor entender el modelo teórico hidrodinámico de sensibilidad de la dentina mineralizada y actualizar la opinión que antes teníamos en este particular tema. La revisión bibliográfica y los logros alcanzados por nosotros, permiten concluir que el pequeño órgano pulpar dentario posee una bioestructura superior a lo que se supone y con ello la apertura a nueva investigación.*

### Summary

*An approach is attempted at studying the structure and substructure of human dental pulp, including its histology, vascularization, and neurological aspects.*

*Monoradicular and biradicular young teeth were processed by means of light and electron microscopy. For the study of nerve paths, silver ion impregnation methods were used.*

*The spreading of capillaries into the venous sector allowed us to ascertain the role they play in the changes of haemodynamic pressure, and the control that is exerted by the abundant neurovegetative innervation. This probably allows the modulation of changes in local microcirculation caused by either lesion or inflammation.*

*Our former experience on the exteroceptive innervation of the odonto-predentine border, updated by experimental investigations, has led us to a better understanding of the hydrodynamic model of sensitivity in the dentine.*

*Literature available, plus our own limited advances, leads us to conclude that the dental pulp is an organ provided with a dynamic biostructure that is more complex than heterofore expected.*

**Key Words:** *Innervation, vascularization, pain, inflammation.*

### Introducción

El pequeño órgano pulpar, inmerso en el rígido estuche de la dentina, ofrece dificultades metodológicas para el estudio histológico como también para el estudio radiográfico, donde es una fina sombra que tiene todas las cualidades elusivas de la sombra. Todo ello condicionado por sus complejas funciones: formativa (dentinogénesis), nutrición (soporte vascular), sensorial (vías exteroceptivas), y defensiva (dentina secundaria).

Pulpa dental en su cámara pulpar, abierta en toda su longitud, de dientes jóvenes fue estudiada histológicamente, mediante técnicas micrográficas electromicroscópicas de alta resolución y de métodos panópticos de microscopía de luz. Se diseñaron técni-

cas de impregnación metálicas para investigación microanatómica en tejido mineralizado.

Nuestro interés se enfocó en la vascularización e inervación del órgano. Se diagramó la distribución por número y diámetro de los axones provenientes de nervios radiculares. Se discute la apreciable variedad que se estima de valor fisiológico; considerando que el limitado número no permite conclusiones.

Experiencia nuestra anterior<sup>(8)</sup> de investigación de la inervación de pulpa radicular, coronaria, zona odonto-predentina fue ampliada con hallazgos de ultraestructura con especial interés en vías neurovegetativas que regula el flujo sanguíneo. Tanto en

capilares como en plexo nervioso este tipo de fibras es numeroso. Se discute el rol que pueden tener una reacción local a una noxa que actúa sobre la microcirculación en que tanto estructura y función pulpares son alteradas provocando graves efectos que dan lugar al desarrollo del «síndrome de compartimento», que deprime el funcionamiento de los tejidos del espacio<sup>(19-21)</sup>.

Se reconsidera la investigación nuestra de la inervación del conjunto odonto-predentina que recepciona la sensibilidad extero-nociceptiva de dentina sin resultados al no conseguir continuidad axónica con dentina mineralizada. Se la mencionó como hipotética «vía neuroide» (sin axón). Se discute el significativo avance del

modelo teórico hidrodinámico del desplazamiento líquido en los túbulos dentinarios que por transducción mecano-eléctrica despierta el dolor en los receptores odonto-predentarios. Este estudio estructural y

ultraestructural que representa la histología del órgano pulpar humano, su vascularización e inervación, tiene además el propósito de correlación confiable para las observaciones clínicas que el profesional enfrenta con

incertidumbre sobre el estado patológico de la pulpa en relación con el hallazgo de un cuadro microscópico específico de la pulpa.

## Material y Método

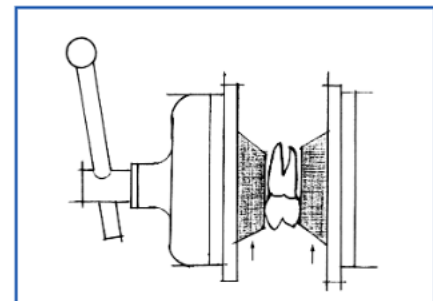
Un grupo de 20 piezas dentarias jóvenes provenientes de exodoncia, por indicación ortodóntica, fueron fijadas durante 1 hora en paraformaldehído al 4% tamponado por cacodilato pH 7,5. Con sierra circular se labró un surco longitudinal en cara geniana y lingual, manteniendo enfriamiento, para colocarlas posteriormente en un dispositivo diseñado para fracturar por presión gradual (Cuadro 1) y exponer la cámara pulpar con tejido indemne. Se continuó la fijación a cielo abierto por tiempos variables. Eucleada la pulpa dentaria de la cámara, tanto coronaria como radicular, fueron finamente seccionadas bajo lupa microscópica en fragmentos de 1 mm de espesor y refijadas en ácido ósmico tamponado como en la primera fijación. Las técnicas de inclusión, corte en ultramicrotomo y tinción se hicieron con los medios técnicos habituales para microscopía electrónica. Algunas pulpas radiculares del tercio

apical fueron fijadas en bicromato de potasio al 4% y refijadas en ácido ósmico al 1% incluidas en epon y seccionadas en espesor de 2  $\mu$  para recuento y estudio del calibre axónico de vías nerviosas.

Tejido pulpar fijado con paraformaldehído fueron empleadas como tinción panóptica. Otras tratadas con impregnación metálica para estudio neuroanatómico.

La observación electromicroscópica fue hecha con microscopio Siemens-Elmiskop I en el Departamento de Histología y Embriología de la Facultad de Medicina, Universidad de Cuyo, Mendoza, Argentina. El estudio de microscopía de luz se hizo con instrumento Zeiss que posee 3 cámaras fotográficas empleando película polaroid para análisis comparativo de fibras nerviosas.

**Cuadro 1: Dispositivo para exponer la cámara pulpar por fractura longitudinal del diente. Dentro de las muelas del tornillo mecánico hay dos prismas metálicos (flechas) que aprisionan con su ángulo al diente, fracturándolo por los surcos tallados previamente.**



## Resultados

El aporte vasculonervioso de la pulpa dentaria humana, proveniente de los plexos alveolares, penetra en el ambiente conectivo laxo por el foramen apical y por los conductos laterales o accesorios (delta apical) (Fig. 1). Las arteriolas tienen término medio 100  $\mu$ . La vía venosa drena por vasos considerablemente mayores (230  $\mu$  aproximadamente).

Paralelos a los vasos (Figs. 2, 3) discurren conductores nerviosos provenientes del trigémino (vías aferentes que conducen impulsos sensitivos) y haces más finos del sistema autónomo compuesto por: ramas procedentes del ganglio simpático superior adscritas a la arteria carótida en su distribución, y parasimpáticas procedentes del petroso superficial derivadas del facial<sup>(1)</sup>.

Los cortes transversales semifinos de las vías nerviosas al nivel apical, de premolares jóvenes, permiten estudiar la distribución por el diámetro de axones mielínicos y amielínicos (Cuadro 2) en una cantidad que alcanza término medio: 1.140 mielínicos y 400 amielínicos; lo que concuerda con la literatura<sup>(2,3)</sup>. Por las señales que conducen las de mayor tamaño son exteroceptivas (0,5-4  $\mu$ ), las menores amielínicas autónomas (0,3-1  $\mu$ ) (Cuadro 3). Consignamos que en cortes de 1  $\mu$  en la pulpa apical no se observaron vasos linfáticos como ha sido cuestionado por otros autores<sup>(4-6)</sup>.

Las arteriolas que penetran a la cámara pulpar inician su ramificación en la región radicular para constituir plexos precapilares dando su mayor aporte en la pulpa coronaria, sistematizándose

mayoritariamente en la región subodontoblástica (Fig. 4); más abundante todavía es esta ramificación en los cuernos pulpares.

Los vasos precapilares dan lugar, a través de un sector transicional, a capilares de calibre de 8-10  $\mu$  (Figs. 5, 6). Este diámetro permite el pasaje de elementos sanguíneos, los que suelen migrar a través de dispositivos de unión del endotelio (zona ocludens) mediante acción enzimática. En el lumen la célula tiene un borde suavemente contorneado, que al tomar contacto a menudo se sollevanta para formar pliegues creando zonas de turbulencia al flujo sanguíneo (Fig. 7). Estos sollevamientos suelen cerrarse formando vacuolas que incorporan material al endotelio. No hemos observado poros en la pared vascular, pero sí

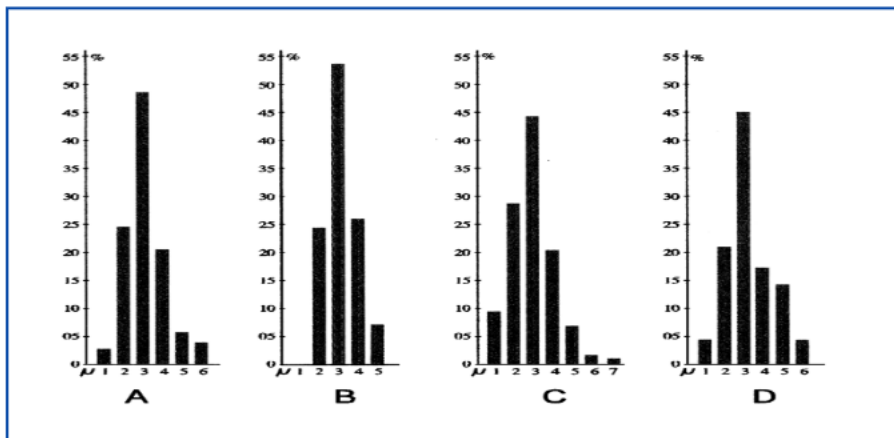


gran actividad de trasiego de solutos plasmáticos, en la base de fluido, que se movilizan en ambos sentidos de las membranas limitantes mediante vesículas de pinocitosis (tamaño 70 nanómetros) (Fig. 8).

Externamente el endotelio posee membrana basal. Ocasionalmente células mesenquimáticas indiferenciadas fusiformes se asocian a la pared capilar (Fig. 5), corresponden a pericitos de probable acción contráctil para la regulación del flujo sanguíneo que drena hacia vasos poscapilares, dando lugar a vénulas mayores de paredes delgadas con refuerzo sólo de membrana basal, lo que permite continuar el intercambio plasmático (trancitosis). Progresivamente las vénulas se convierten en vasos colectores de diámetro amplio (200-220  $\mu$ ) como cisternas que sirven de repleción compensatoria en el pro-

ceso inflamatorio (Fig. 9). La pared de estos vasos muestra refuerzo muscular como preludio de una túnica adventicia envolvente. Hemos observado co-

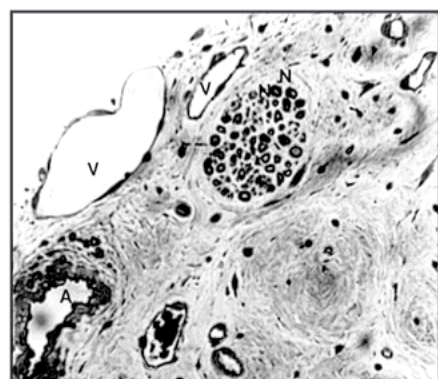
municaciones arterio-venosas en la pulpa radicular destinada a los procesos de regulación del flujo sanguíneo (by-pass).



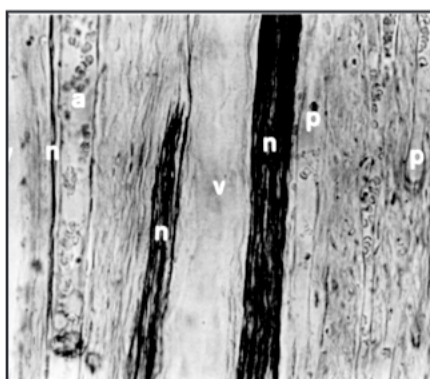
Cuadro 2: Diagrama de la distribución de fibras nerviosas por tamaño y porcentaje en pulpa a nivel de tercio apical. AB primeros premolares superiores, CD segundos premolares.

Tipo de fibra	Diámetro de la fibra ( $\mu$ )	Velocidad de conducción (m/segundo)	Duración de la espiga (miliseg)	Duración del potencial ulterior negativo (miliseg)	Duración del potencial ulterior positivo (miliseg)	Función
A ( $\alpha$ )	13-22	70-120	0.4-0.5	12-20	40-60	Motora, propioceptores musculares
A ( $\beta$ )	8-13	40-70	0.4-0.6	(?)	(?)	Tacto, cinestesia
A ( $\gamma$ )	4-8	15-40	0.5-0.7	(?)	(?)	Tacto, excitación de husos musculares, presión
A ( $\delta$ )	1-4	5-15	0.6-1.0	(?)	(?)	Dolor, calor, frío, presión
B	1-3	3-14	1.2	Ninguno	100-300	Neurovegetativas preganglionares
C	0.5-1.0	0.5-2	2.0	50-80	300-1.000	Dolor, calor (?), frío (?), presión (?), neurovegetativas posganglionares

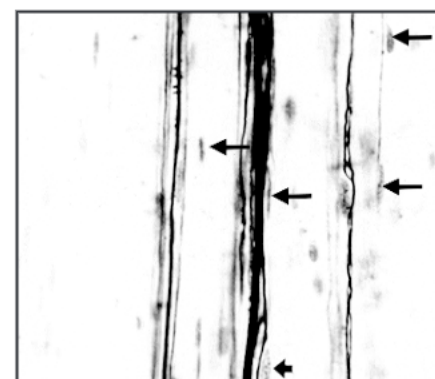
Cuadro 3: Propiedades y función de diferentes fibras nerviosas.



1. Corte histológico transversal de pulpa apical de premolar superior. Nervio (N), arteria (A), vena (V). Tinción: azul de toluidina.



2. Corte longitudinal de pulpa radicular. Haces nerviosos (n), precapilares (p), arteria (a), vena (v). Impregnación argéntica, tinción de fondo orceina.



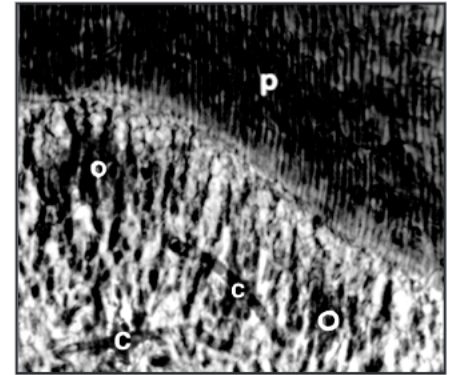
3. Pulpa radicular con cortes longitudinales de haces nerviosos. Fibras neurovegetativas con el núcleo de las células de Schwann (flechas). Impregnación argéntica.

Las vías nerviosas descritas en la región apical comunican señales bioeléctricas aferentes (sensibilidad) o eferentes (actividad intrínseca autónoma). Con métodos de impregnación metálica se observa el trayecto de conductores nerviosos de diverso diámetro que cursan a lo largo de pulpa radicular acompañados de vasos arteriolares y venosos (Figs. 2, 3) en ambiente conectivo. Mediante estudio ultraestructural se precisa el tipo de fibras nerviosas sensoriales (mielínicas A  $\delta$ ) de las autónomas (amielínicas C) (Fig. 11). En las fibras mielínicas se observan respectivamente las vainas de mielina, el axón y el citoplasma de las células de Schwann con sus estructuras citoplasmáticas (Fig. 12). Dominan el campo fotográfico secciones de fibras amielínicas en que la célula de Schwann envuelve incompletamente axones autónomos. En esta forma los axones son envueltos sin ser contenidos, como se observa, por el mesoaxón con una flecha. Hay fibras autónomas aisladas que invariablemente van acompañadas de células de Schwann en que el mesoaxón está abierto. Cuando se sigue con microscopía de luz el recorrido de una fibra amielínica se observa en algunos puntos engrosamientos, que el microscopio electrónico comprueba ser el núcleo (Fig. 3).

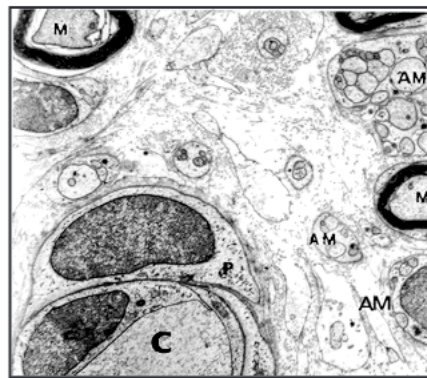
Una vez que el contingente nervioso alcanza la pulpa coronaria hay ramificación dicotómica reiterada que continúa en haces gradualmente más finos hasta la proximidad de la zona

subodontoblástica, donde se genera el plexo de Raschkow con una tupida superposición de campos de recepción de potenciales (efapsis) (Fig. 10). De este plexo emergen fibras que penetran entre los odontoblastos donde nuestros estudios (no publicados) nos permitieron observar contactos «en passant» de estas estructuras sin articulación sináptica (Fig. 14). Algunas fibras alcanzan la predentina, donde a veces penetran en canículos dentarios a distancia de 80 micrómetros (Fig. 15). Frecuente es que se doblen en ángulo recto en plena predentina, donde discurren 200-250 micrómetros (Fig. 16), fraguándose una vía en plena zona para retornar en ocasiones a la zona odontoblástica. Modificando los métodos de impregnación argéntica hemos logrado observar filetes nerviosos similares intratubulares dentro de la dentina mineralizada. No nos fue posible

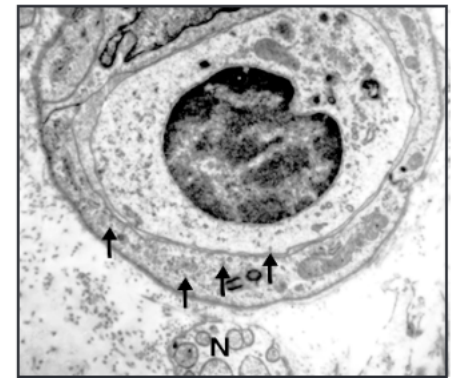
hacer el estudio morfológico diferencial entre axones nerviosos (isodiamétricos) y fibras de reticulina intracanalicular de contorno irregular que acompañan a la prolongación del odontoblasto (Fig. 17).



4. Irrigación zona odontoblástica. Predentina (p), odontoblasto en disposición pseudoestratificada (o), capilares con repleción de hemáties (c).



5. Imagen electromicroscópica de pulpa coronaria. Vaso capilar (C) con estrecho lumen constituido por células endoteliales y pericito (P), fibras nerviosas mielínicas (M), amielínicas (AM). Fibras colágenas como trama de fondo.



6. Capilar de pulpa coronaria con leucocito en su lumen. Finas vacuolas de trasiego (pinocitosis) en la pared capilar (flechas). Fibra neurovegetativa (N).

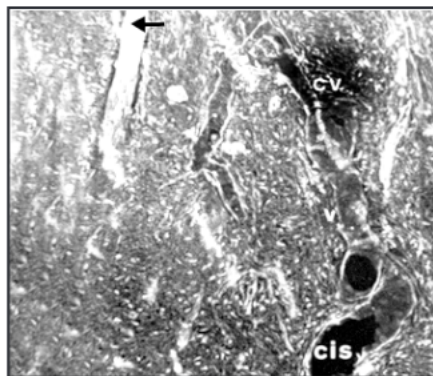


7. Electromicroscopía de un sector de pared capilar de pulpa coronaria con ampliación de su superficie interna (flecha) (P) pericito X 14.000.

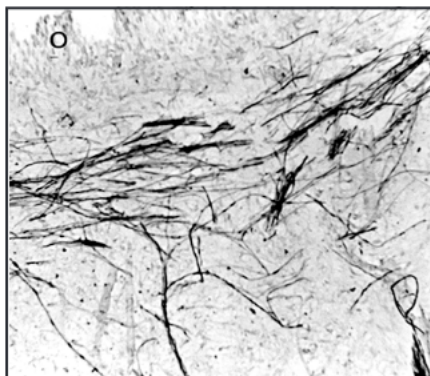


8. Pared capilar con unión de sus extremos celulares y formación de un apéndice (sector de turbulencia plasmática) (flecha). Invaginaciones de vesículas de micropinocitosis que captan material extracelular (endocitosis) como también segregación de material intracelular (exocitosis). Lumen (L). Diámetro término medio es de 500 angstrom X 70.000.

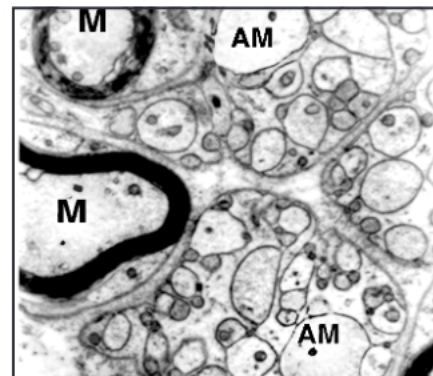




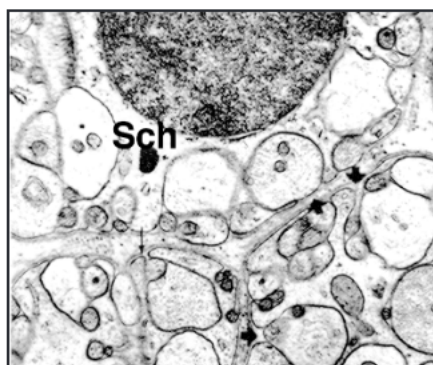
9. Copia negativa de corte histológico de pulpa coronaria. Perfiles negativos de lecho vascular y de tronco nervioso (flecha). Capilar sanguíneo (CS), capilar venoso (CV), vénula (V), cisterna venosa (CIS). Método fotográfico de Cajal.



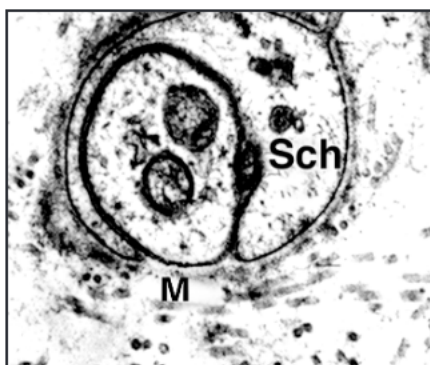
10. Plexo de Raschkow en zona subodontoblástica. Pulpa coronaria enucleada de la dentina. Zona odontoblástica (O). Impregnación argéntica virada al cloruro de oro.



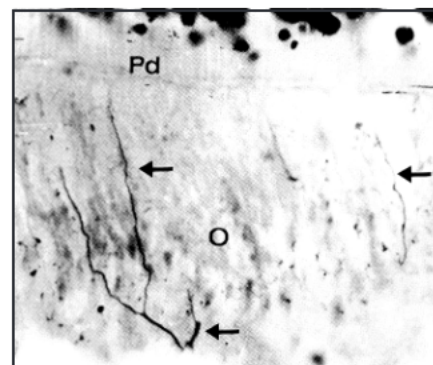
11. Imagen electromicroscópica de zona del plexo de Raschkow con fibras mielínicas (M) y amielínicas (AM). X 12.000.



12. Zona vecina a la Figura 11 con fibras neurovegetativas (amielínicas) inmersas en el citoplasma de célula de Schwann (Sch). Mesaxón (flechas) X 12.000.



13. Imagen al microscopio electrónico de fibra neurovegetativa inmersa en citoplasma de célula de Schwann (Sch). Mesaxón (M) X 22.000.

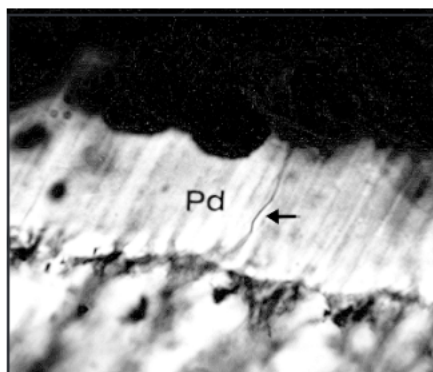


14. Inervación de zona odontoblástica (O) por vías exteroceptivas (flechas). Predentina (Pd). Método argéntico de Bielschowsky-Gros.

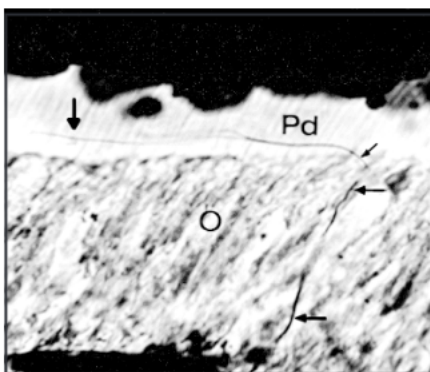
La estructura histológica de la pulpa dentaria corresponde a un tejido conectivo que semeja una estructura

ciente erupción. Por estos caracteres histológicos conserva la totipotencialidad (concepto de Driesch) de las células embrionarias mesenquimáticas que persiste en el organismo adulto como fibroblasto o fibrocito (indistintamente denomina-

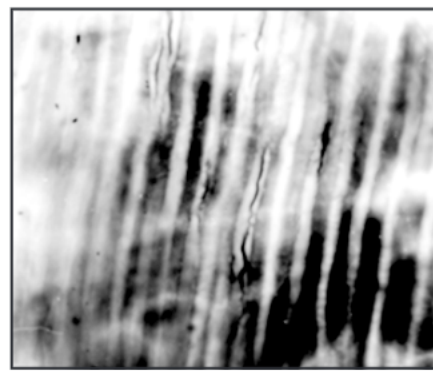
do), logrando por su carácter indiferenciado dar lugar a otros elementos de estirpe mesodérmica. Caracteriza a estas células tener leve hiper cromasis nuclear, escasas mitocondrias y escaso retículo endoplásmico (Fig. 19). Las fibras y



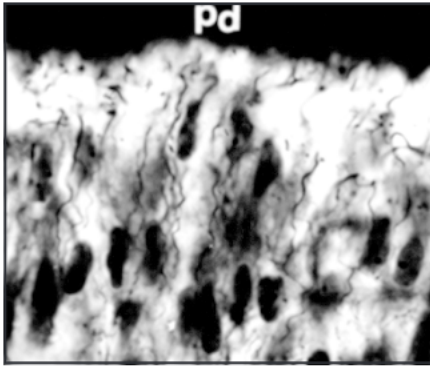
15. Fibra exteroceptiva penetrando por canalículo predentinario (flecha). Predentina (pd). Método como en Figura 14.



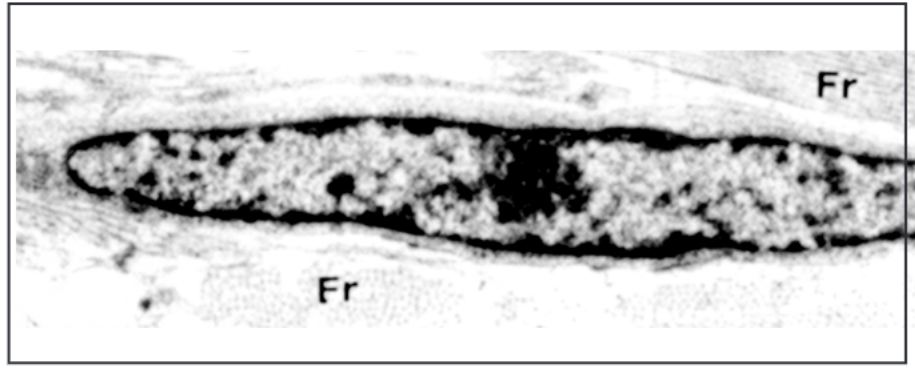
16. Fibra exteroceptiva proveniente de zona odontoblástica con penetración oblicua en predentina donde discurre por largo trecho (flechas). Predentina (pd), odontoblasto (O). Método como en Figura 14.



17. Dentina mineralizada con canalículos dentinarios aparentemente inervados. Corresponden a artificios técnicos (morfológicamente son fibras de reticulina). Método fotográfico de Cajal precipitado.



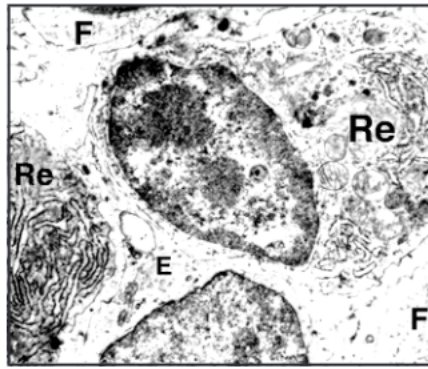
18. Zona odontoblástica. Fibras de Von Korf con apariencia de fibras nerviosas por pseudoimpregnación metálica. Predentina (pd). Método fotográfico de Cajal.



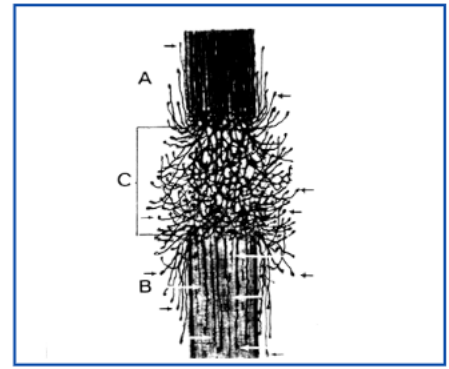
19. Imagen electromicroscópica de fibroblasto de la pulpa coronaria dispuesta entre mallas de fibras colágenas originadas por los odontoblastos. X 9.500.

la sustancia fundamental originadas por el fibroblasto constituyen en esta forma el almacén de sostén de la pulpa. Haces de fibras colágenas se infiltran entre los odontoblastos (fibras de Von Korf) para integrarse a la matriz fundamental de la predentina; rol al cual se agrega el odontoblasto como elemento derivado del fibroblasto (Fig. 18). En esta forma el fibroblasto es como un acorde musical que informa y da unidad a todo el complejo estructural.

Células del sistema de defensa de la vigilancia humoral, como el plasmocito derivado del linfocito B, están presentes en la pulpa (Fig. 20).



20. Fibroblasto (F) y células plasmáticas con núcleo excéntrico y abundante retículo endoplásmico granuloso (Re). X 6.500.



21. Resección de un segmento nervioso y ulterior reinervación (15 días) en experimento seriado en lapsos de tiempo. Cabo nervioso central A, cabo distal B, muñón cicatricial C. Crecimiento de retoños (filopodios) de axones centrales que forman una urdimbre de fibras erráticas, retrógradas, extraviadas (flechas) con algunas de avance lineal que alcanzan el cabo periférico iniciando la reinervación (flechas blancas). Diseño con cámara clara de preparados del método fotográfico de Cajal.

## Discusión

Nuestro propósito ha sido el estudio estructural del componente vasculonervioso y su probable rol en la patología pulpar, dado que clásicamente se admite que las alteraciones vasculares son la primera manifestación de la respuesta inflamatoria aguda como reacción local a una noxa actuando sobre la microcirculación y su contenido. Hay que considerar que el flujo sanguíneo de la pulpa, dado su pequeño tamaño, es el de mayor volumen entre los tejidos orales (encía, glándulas salivales). Sólo es sustancialmente menor en órganos viscerales (corazón, riñón)<sup>(7)</sup>.

Al revisar la fina estructura vasculonerviosa pulpar podemos aproximarnos más a conocer cómo opera inicialmente la inflamación aguda, siguiendo los siguientes parámetros: 1) contracción transitoria de la microcirculación; 2) compen-

sación hemodinámica de los grandes colectores venosos; 3) diapédesis a través de la pared endotelial de mono y polinucleares que originan la fagocitosis y la vigilancia humoral. Este sería el cuadro de una inflamación por microorganismos. Hay otros cuadros clínicos provocados por agresión mecánica debido a fresado de alta velocidad en profundidad, sin refrigeración, que produce marcada reducción del área agredida<sup>(8,9)</sup> por apertura de la comunicación arterio-venosa.

Las evidencias sugieren que la inflamación pulpar es «sui generis» al incrementar la presión tisular, aunque ese aumento tiende a permanecer localizado en el área lesionada y no se extiende al resto de la pulpa<sup>(9)</sup>.

Las variaciones fisiológicas del calibre de los capilares queda demostrada por la pre-

sencia de células musculares aisladas envoltentes del capilar (pericitos) como así también por la profusa inervación del sistema autónomo que provee la modulación nerviosa de la microcirculación en su función hemodinámica. Esta modulación circulatoria podemos definirla como respuesta neurovegetativa dado que el componente parasimpático tiene vías aferentes (sensitivas) que pueden determinar respuestas vasculares reflejas.

El estudio morfológico de las diferentes fibras nerviosas muestra en el Cuadro 1 la distribución por diámetro de las fibras nerviosas al ingreso por la pulpa radicular, y en el Cuadro 2 de Grundfest<sup>(22)</sup> las propiedades de las diferentes fibras nerviosas de mamíferos, en las que destacan A d y C, que tienen el comando de la actividad sensorial y funcional del órgano pulpar. Las



más finas tipo C como aferentes son nociceptivas (dolor) y como eferentes son neurovegetativas posganglionares (función vascular y trófica). Señalamos que cualquiera que sea el estímulo la pulpa sólo detecta dolor (no diferencia frío, calor, contacto, presión).

Hay evidencias de la participación del sistema autónomo en la percepción del dolor con neuronas tanto simpáticas como parasimpáticas, localizadas en los ganglios raquídeos dorsales para relevo, para fibras medulares ascendentes de la sensibilidad por una parte y para arco reflejo vascular en la zona intermedia lateral medular, por otra, con conexión posterior con la cadena ganglionar simpática. Estas evidencias se originan en pruebas de estimulación de segmentos del sistema autónomo que pueden originar odontalgias. Ejemplo es la excitación farádica del ganglio cervical superior que produce dolor en dientes anteriores inferiores y en la región mastoidea<sup>(1)</sup>.

En nuestra experiencia nos sorprende la profusa inervación del órgano pulpar, dado su exiguo tamaño, comparado con otras estructuras<sup>(18)</sup>. Al análisis ultraestructural posee una arquitectura poco frecuente. Una urdimbre de axones están conducidos por una sola célula de Schwann que las envuelve sin contenerlos, quedando así separado de la superficie por la hendidura mesaxón, donde se establece la estimulación por efacsis (Figs. 5, 6).

Importa destacar que la célula de Schwann es un elemento neuróglia que actúa como mediador en el metabolismo axónico y que genera la corriente saltatoria axónica mediante la envoltura mielínica. Tiene un rol importante en injurias y procesos patológicos (regeneración de la vía alterada o interrumpido por sección recuperándose así la función). El rol trófico sobre el axón hace posible que las fibras nerviosas pulpares sean resistentes a la necrosis del órgano; esto es de considerable interés clínico<sup>(23,24)</sup>. Es una experiencia conocida por los endodoncistas que exploraciones con instrumentos en los conductos radiculares en dientes desvitalizados pueden despertar dolor. Algunas evidencias señalan que las fibras C como las excitables en estos casos<sup>(16)</sup>.

Sorprende al clínico esta destrucción de una vía nerviosa con persistencia de la sensibilidad. Puede haber en estos casos la presencia ocasional de filetes nerviosos que ingresan a la cámara radicular

por conductos accesorios. De otra parte, existe un vigoroso potencial de regeneración del cabo central hacia el cabo periférico dando origen a axones «de novo» que gradualmente restablecen el transporte de señales a un nervio destruido, sea por una noxa o un trauma. Esto es suficientemente conocido por la clínica quirúrgica e investigado desde época lejana<sup>(28)</sup>. Experimentalmente uno de nosotros ha reproducido, hace ya tiempo, esta experiencia destruyendo un tramo de nervio mixto y que fue seguido por etapas en el curso de la reinervación que ocurre a los 20-30 días<sup>(29)</sup> (Fig. 21).

En una antigua publicación nuestra<sup>(18)</sup> demostramos con métodos de impregnación argéntica diversos aspectos de la inervación de la pulpa y la predentina humanas. Diversos autores han confirmado esos hallazgos<sup>(9-16)</sup>.

Nuestro interés era determinar la recepción del dolor dentinario puesto que en múltiples intentos sólo observamos fibras nerviosas en la predentina, sea en el interior de los canalículos del sector, o fraguándose una vía perpendicular en la zona intercanalicular. En nuestra pesquisa exhaustiva no logramos hallazgo de inervación en la dentina mineralizada hasta el límite amelo-dentinario, como tampoco sinapsis con odontoblastos; sólo contactos «en passant» tal como existe en la inervación de la fibra muscular lisa. Este contacto de fibra nerviosa y odontoblasto fue descrito posteriormente por Franck<sup>(14)</sup>. El autor Roane<sup>(17)</sup> intentó describir en estudio con microscopía electrónica fibras nerviosas mielínicas, amielínicas y hasta células de Schwann dispuestas paralelamente con el proceso odontoblástico dentro de predentina y dentina. Sus hallazgos los describe como tales; pero resultan ser sólo una falsa interpretación con microfotografías de calidad dudosa con descripción errónea de estructuras inexistentes. Este, como otros trabajos destinados a describir inervación de la dentina calcificada resultan siempre como interpretación de artificios técnicos (precipitado de ion plata) o imágenes no concluyentes en la difícil labor de investigación morfológica subestructural. Resolvimos no anotar la bibliografía de otros autores revisados que incurren en el mismo error.

Si adjudicamos al plexo nervioso de la zona odonto-predentina el rol de recep-

ción de señales eléctricas determinadas por desplazamientos de la lámina líquida plasmática de los canalículos dentinarios podemos formular el acontecimiento básico en el despertar del dolor.

Un grupo importante de investigadores han logrado avances significativos en estudios experimentales asumiendo como hipótesis de trabajo que los receptores localizados en el plexo odonto-predentina funcionan como termo o mecanorreceptores, si son estimulados por energía física creada por el calor o frío en la superficie de la dentina mineralizada, que son transmitidos por la lámina líquida que envuelve la prolongación odontoblástica dentro del canalículo originando transducciones electro-mecánicas en aquellos receptores<sup>(5, 14)</sup>.

Así se explica cómo el simple contacto de la punta de una sonda dental aplicada en el cuello clínico de un diente evoque una sensación dolorosa por cambio termomecánico propagado.

Previo a la teoría hidrodinámica, uno de nosotros, como otros muchos investigadores, pensamos en el rol del odontoblasto como célula receptora; idea que aparece, desaparece y vuelve a considerarse. Hay que despejar mentalmente la idea que sólo la neurona posee la excitabilidad y conductibilidad. Sólo a manera de ejemplo experimental la célula marcapaso del seno venoso de rana<sup>(30)</sup>, que es una célula miocárdica primitiva, posee carácter de función automática y formas típicas de potencial de acción que transmiten al miocardio. El potencial de membrana del odontoblasto experimentalmente es bajo; pero permite, al menos como hipótesis de trabajo, la idea de generación de potenciales de membrana con canales iónicos que determinan diferencias de potencial que pueden tener transducción en el plexo de Rashkow. Intercambio y discusión de ideas con neurofisiólogos especialistas en membrana celular formulan siempre ideas de este tipo.

Al no lograr describir axones en el canalículo de la dentina mineralizada, luego de innumerables intentos, en un Congreso Internacional de Odontología (Roma, 1957), formulamos como modelo hipotético provisorio al odontoblasto como vía «neuroide» (sin axón) como receptor de sensibilidad.

## Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento por la participación en la selección y primeras fases metodológicas de las piezas dentarias inmediatas a la extracción, aportada por la Dra. Cecilia Gelfenstein y el Dr. Waldo Eguía M.,

Odontopediatras del Consultorio Dr. Alfonso Leng.

Como siempre, mi gratitud al Departamento de Histología y Embriología de la Universidad de Cuyo, Mendoza, Argentina, en el cual por años he co-

laborado, en particular con su ex Director, el Profesor Dr. Mario H. Burgos, como también con el Profesor Dr. Ramón Piezzi, en los cuales reconozco su desempeño científico como auténticos histólogos. Destaco, además, la participación solícita y esmerada de la secretaria Sra. Gabriela Mejías en la copia del texto de este trabajo.

## Bibliografía

1. Carpenter, M.B., Sutin, J.: *Human Neuroanatomy*, Williams and Wilkins 1983, Baltimore, Maryland.
2. Johnsen, D. and Johns S.: *Quantitation of nerve fibers in the primary and permanent canine and incisor teeth in man*. *Arch J Oral Biol* 23: 825, 1978.
3. Holland, G.R., and Robinson, P.D.: *The number and size of axons at the apex of the cat's canine tooth*. *Anatomical Record* 205: 215, 1983.
4. Bernick S.: *Lymphatic vessels of the human dental pulp*. *J Dent Res* 56: 70, 1977.
5. Mori, K.: *Identification of lymphatic vessels after intra-arterial injection of dyes and other substances*. *Microvasc Res* 1: 268, 1969.
6. Noyes, F.B., and Ladd, R.L.: *The lymphatics of the dental region*. *Dental Cosmos*, 71: 1.041, 1929.
7. Kim, S.: *Regulation of blood flow of the dental pulp: macrocirculation and microcirculation studies*, doctoral thesis. New York, 1981, Columbia University.
8. Edwall, L., and Scott, D. Jr.: *Influence of changes in microcirculation on the excitability of the sensory unit in the tooth of the cat*. *Acta Physiol Scand* 82: 555, 1971.
9. Heyeraas, K.J.: *Pulpal, microvascular, and tissue pressure*. *J Dent Res* 64: (special issue): 585, 1985.
10. Gunji, T.: *Morphological research on the sensitivity of dentin*. *Arch Histol Jap* 45: 45, 1982.
11. Fearnhead, R.W.: *Histological evidence for the innervation of human dentin*. *Journal of Anatomy* 91: 267, 1957.
12. Harris, R., and Griffin, C.J.: *Fine structure of nerve endings in the human dental pulp*. *Arch Oral Biol* 13: 773, 1968.
13. Fernhead, R.W.: *Innervation of dental tissues*. In Miles, A.E.W., Editor: *Structure and chemical organization of teeth*, vol 1. New York, 1967, Academy Press, Inc.
14. Frank, R.M.: *Attachment sites between the odontoblast process and the intradentinal nerve fiber*. *Archives of Oral Biology* 13: 833, 1968.
15. Reades, A., and Foreman, D.W.: *An ultrastructural qualitative investigation of human intradentinal innervation*. *J Endod* 7: 161, 1981.
16. Lilja, J.: *Innervation of different parts of the predentin and dentin in young human premolar*. *Acta Odontol Scand* 37, 339-346, 1979.
17. Roane, J.B., et al.: *An ultrastructural study of dentinal innervation in the adult human tooth*. *Oral Surg* 35: 94, 1973.
18. Oberti, C., Zeh, M. *Ensayo de interpretación morfofisiológica de la innervación de la pulpa y dentina humanas*. *Biológica* 31, 64-77, 1961.
19. Van Hassel, H.J.: *Inflammativa*. Atlanta, 1978, American Association of Endodontist.
20. Narhi Metal: *Activation of heat-sensitive nerve fibers in the dental pulp of the cat*. *Pain* 14: 317, 1982.
21. Tonder, K.J.H., and Naess, G.: *Nervous control of blood flow in the dental pulp in dogs*. *Acta Physiol Scand* 104: 13, 1978.
22. Grundfest, H.: *Bioelectric potentials*. *Annv Rev Physiol*, 2: 213-242, 1940.
23. Mullaney, T.P., Howell, R.M., and Petrich J.D.: *Resistance of nerve fibers to pulpar necrosis*. *Oral Surg* 30: 690, 1970.
24. Mullaney, T.P., Howell, R.M., and Petrich, J.D.: *Resistance of nerve fibers to pulpar necrosis*. *Oral Surg* 30: 690, 1970.
25. Seltzer, S., Bender, J.B.: *Inervación pulpar y percepción del dolor*. *Dental Pulp* 1984, by Lippincott.
26. Brännström, M., and Aström, A.: *The hydrodynamics of the dentine: its possible relationship to dentinal pain*. *Int Dent J*, 22: 219, 1972.
27. Trowbridge, H.O., et al.: *Sensory response to the thermal stimulation in human teeth*. *J Endod* 6: 405, 1980.
28. Bethe, J.: *Neue Versuche über die Regeneration der Nervenfasen*. *Arch F Die Ges Physiol B* 126, 1935.
29. Oberti, C.: *Estudio histológico experimental de regeneración nerviosa*. *Arch Soc Anat Normal y Patol de Chile*. 20: 126, 1957.
30. Puebla, R.S., Morales, M.A., Oberti, C.: *Correlación morfofuncional de células marcapaso del seno venoso de rana*. IV Congreso de Estudiantes de Morfología. Esc. Medicina U. de Chile, 1988.
31. Bruns, R., and Palade, G.E.: *Cell Biol*, 37: 244-68.