

ALTERACIONES DE LA DENTINA CON EL ENVEJECIMIENTO

Recibido: 08/05/2018

Aceptado: 03/08/2018

Alano Díaz S,
Villegas Padilla KM,
Mandalunis PM.

Cátedra de Histología y Embriología

Facultad de Odontología,
Universidad de Buenos Aires.

RESUMEN

Diferentes estudios han demostrado que después de la tercera década de vida hay una transición en la micro estructura de la dentina. Dada la importancia de ésta como sustrato para la adhesión de materiales de restauración utilizados en operatoria y rehabilitación oral, ha sido objetivo de este trabajo realizar una búsqueda bibliográfica de las publicaciones existentes en inglés y español de los últimos 15 años, haciendo uso de buscadores científicos como Pubmed, Google Scholar y LILACS que permitieran actualizar la información existente ayudando a entender los efectos biológicos del envejecimiento de la dentina, identificando los cambios de mayor relevancia a nivel histológico. De la búsqueda realizada se concluye que el envejecimiento de la dentina está asociado con aumento de dentina secundaria, formación de dentina esclerótica opaca, variaciones en la composición química de la matriz y disminución del número y actividad de los odontoblastos. Los conocimientos sobre el envejecimiento de la dentina deben tenerse en cuenta frente a estudios relacionados con materiales de restauración dental ya que los cambios en la micro estructura y capacidad funcional de la dentina con el envejecimiento requieren que estos se adapten a dichas variaciones.

Palabras claves: dentina, envejecimiento dentinario, dentina esclerótica, túmulos dentinarios, proceso odontoblástico.

ABSTRACT

Different studies have shown that after the third term of life there is a transition in the microstructure of dentin. Given the importance of dentin as a substrate for the adhesion of restorative materials used in operative and oral rehabilitation, the aim of the present work was to conduct a search of the scientific literature in English and Spanish published in the last 15 years, using search engines such as Pubmed, Google Scholar and LILACS, for an update on the biological effects of dentin aging, to identify the most

relevant age-related histological changes in dentin. The data obtained from the literature review allow concluding that dentin aging is associated with an increase in secondary dentin, opaque sclerotic dentin formation, variations in the chemical composition of the matrix, and a decrease in odontoblast number and activity. Updated information on dentin aging should be taken into account in studies on dental restoration materials, since the latter must adapt to aging-related changes in the microstructure and functional capacity of dentin.

Key Words: *dentine, dentin aging, sclerotic dentine, dentinal tubules, odontoblastic process.*

INTRODUCCIÓN

La dentina es un tejido conectivo especializado de origen ectomesenquimático. Es el tejido mineralizado que constituye el eje estructural del diente y ocupa la mayor parte de éste (Gómez *et al.*, 2009) (Montoya, *et al.*, 2015). Se encuentra cubierta por esmalte en la porción coronal y por cemento en la porción radicular. Constituye además las paredes de la cámara pulpar que aloja la pulpa dental (Fig. 1).

La zona limítrofe entre el esmalte y la dentina se denomina límite amelodentinario, representa una zona en la que se conectan dos tejidos de diferente origen embrionario y estructura, y constituye una zona de menor mineralización. La zona limítrofe entre la dentina y el cemento radicular se denomina límite cementsodentinario (Friedman, 2003).

La composición química de la dentina varía de acuerdo a los diferentes autores y estudios realizados siendo aproximadamente de un 70% de material inorgánico conformado por cristales de hidroxiapatita y fosfato de calcio amorfo, 20% de matriz orgánica (principalmente fibras de colágeno) y 10% de agua (Gómez *et al.*, 2009) (Montoya, *et al.*, 2015).

La matriz orgánica, sintetizada por los odontoblastos, está constituida aproximadamente en un 90% por fibras de colágeno tipo I, que miden entre 50-100 nm de diámetro y están aleatoriamente orientados en un plano perpendicular a la dirección de la formación de la dentina (Kinney *et al.*, 2005). Los colágenos tipo III, IV, V y VI se han descrito en pequeñas proporciones y en diferentes circunstancias. El resto de las proteínas presentes en la matriz orgánica son no colagenosas: fosforinadentinaria (DPP) que es la más abundante después del colágeno, proteína de la matriz dentinaria (DMP1) y sialoproteína dentinaria que son exclusivas de la dentina (DSP), además de osteocalcina, osteopontina y osteonectina, encontradas también en la matriz ósea. Presenta también proteoglucanos y glucosaminoglucanos. La matriz orgánica le otorga a la dentina elasticidad y flexibilidad que evitan la fractura del esmalte (Ravindran y George, 2015) (Gómez *et al.*, 2009) (Trowbridge y Kim, 1999) (Friedman, 2003).

Contiene además una pequeña cantidad de citratos (menor del 1%). La albúmina y los componentes lipídicos representan una reducida fracción de la dentina y han sido demostrados por medio de reacciones histoquímicas (Seltzer y Bender, 1990).

El odontoblasto es la célula que se encarga de la dentinogénesis durante el desarrollo del diente y en etapas maduras del mismo, tiene una importante actividad secretora. Una vez que está completamente diferenciado es una célula columnar alta con dos polos: nuclear y secretor; tiene un diámetro aproximado entre 5 a 7 μm con una longitud de 25 a 40 μm . Los cuerpos de los odontoblastos, forman una sola capa en disposición de empalizada, que recubre la periferia de la pulpa. Sintetizan la matriz extracelular, la cual se secreta de manera unidireccional formando un tejido no mineralizado que corresponde a la predentina. Esta predentina se transforma en dentina cuando se mineraliza. Mientras se va formando la predentina, los odontoblastos se retiran en dirección pulpar, dejando sus prolongaciones odontoblásticas en el interior de la misma. La morfología columnar puede variar de acuerdo con la actividad funcional de la célula, que puede estar en estado de síntesis activa o estado de reposo. La célula en reposo pierde altura, tiene menos citoplasma, mientras que el odontoblasto activo es una célula grande turgente con más citoplasma y basófilo (Schwartz, *et al.*, 1999).

Durante los períodos de activa producción de dentina los odontoblastos exhiben gran cantidad de RER y complejo de Golgi a partir de los cuales son originados gránulos de secreción específica que son transportados al polo secretor de la célula. El citoesqueleto está compuesto de una rica red de microtúbulos y filamentos citoplasmáticos que se extienden hasta el final del proceso odontoblástico y que es requerida para el transporte de gránulos de secreción y para la deposición de matriz dentinaria (Montenegro *et al.*, 1997).

Además de su actividad de secreción dentinaria, los odontoblastos desempeñan un papel en los mecanismos defensivos y la estimulación de respuestas inflamatorias contra la invasión de patógenos a través de los túbulos dentinarios.

Los complejos de unión intercelular entre los odontoblastos crean una barrera de pre-dentina-odontoblasto que constituye la primera línea de defensa contra patógenos (Couve *et al.*, 2013).

Desde el punto de vista de su formación y clasificación histogenética se reconocen tres tipos de dentina. La mayor parte del diente está constituido por dentina primaria, la cual se forma primero y se deposita desde que comienzan las primeras etapas de la dentinogénesis hasta que el diente entra en oclusión. Comprende la dentina del manto que es la capa más externa y la dentina circumpulpar.

La dentina del manto, que es la primera capa de den-

tina sintetizada por el odontoblasto y tiene un espesor aproximado de 20 μm difiere del resto de la dentina primaria, por su patrón de mineralización y la interrelación estructural entre los componentes colágenos y no colágenos de la matriz.

La dentina secundaria se desarrolla después de que se ha completado la formación de la raíz dentaria y representa la deposición continua, pero mucho más lenta, de la dentina por el odontoblasto.

Su producción continúa durante toda la vida del diente y determina una progresiva disminución de la cámara pulpar. Estos cambios en el espacio pulpar, clínicamente denominados recesión pulpar, se pueden detectar fácilmente en las radiografías y son importantes para determinar la forma de preparación de la cavidad para ciertos procedimientos de restauración dental.

La dentina terciaria también conocida como dentina reparativa, reaccional o patológica se produce en reacción a diversos estímulos como respuesta ante una agresión o noxa. A diferencia de la dentina primaria y secundaria que se forma a lo largo de todo el perímetro dentino-pulpar, la dentina terciaria es producida sólo por las células afectadas por el estímulo. La calidad (o arquitectura) y la cantidad de dentina terciaria producida están relacionadas con la respuesta celular iniciada, que depende de la intensidad y duración del estímulo. La dentina terciaria puede tener túbulos continuos como los de la dentina secundaria, o tener escasos túbulos y dispuestos en forma irregular, inclusive hay casos de dentina terciaria que no contienen túbulos. Se forma más internamente, deformando la cámara pulpar, pero sólo en los sitios donde existe una noxa o estímulo localizado. El trauma severo puede activar a las células formadoras de dentina a tal grado que el lumen del conducto prácticamente desaparece. La dentina producida bajo estas circunstancias ha sido denominada traumática, aunque en realidad es una forma extensiva de la dentina terciaria.

Egea *et al.*, en el año 1999 describen que fibroblastos, células endoteliales y células mesenquimáticas indiferenciadas de la zona central de la pulpa pueden replicar su ADN durante su emigración hacia la región pulpar en la que se ha iniciado la dentinogénesis reparativa y diferenciarse en células formadoras de dentina. Los autores mencionan en su artículo, que durante la respuesta reparativa pulpar, se sintetiza una matriz atubular por células pulpares cuboides, denominadas pulpoblastos o fibrodentinoblastos, denominando a esta síntesis fibrodentinogénesis. A veces el patrón de la fibrodentina formada es osteotípico, denominándosele osteodentina o dentina trabecular y a las células que lo originan osteodentinoblastos.

La estructura histológica de la dentina primaria está constituida los túbulos dentinarios y la matriz intertubular. Los túbulos dentinarios son estructuras cilín-

dricas delgadas que se extienden por todo el espesor de la dentina desde la pulpa hasta la unión amelodentinaria o cementodentinaria. En su interior, el túbulo contiene líquido tisular y la prolongación odontoblástica principal, también llamada fibrilla de Tomes.

Los túbulos dentinarios ocupan del 20% al 30% del volumen total de la dentina intacta (Tidmarsh, 1980) y su densidad varía de 40.000 a 70.000 túbulos por mm^2 . El área ocupada por los túbulos es de 1% en la unión de la dentina con el esmalte y aumenta hasta 45% a nivel de la cámara pulpar (Pashley y Walton, 1997).

En la dentina coronaria, los túbulos siguen un trayecto doblemente curvo en forma de "S" itálica, sin embargo, en las zonas cuspídeas o incisales el trayecto es prácticamente rectilíneo. En la zona radicular, los túbulos exhiben una curvatura poco pronunciada. Todas estas trayectorias se originan como consecuencia del apiñamiento progresivo de los odontoblastos durante la formación de la dentina. Como resultado de ese apiñamiento, hay muchos más túbulos dentinarios por unidad de superficie en las capas de dentina próximas a la pulpa (aproximadamente 45.000 por mm^2), que en las regiones más externas de la dentina (aproximadamente de 15.000 a 20.000 por mm^2) (Trowbridge y Kim 1986). El diámetro de los túbulos también varía siendo mayor en la proximidad de la pulpa (4 μm de diámetro) y más estrechos en la zona periférica (1,7 μm de diámetro).

Cada túbulo dentinario está rodeado por una pared denominado dentina peritubular que constituye un anillo hipermineralizado que posee una matriz orgánica con muy pocas fibras de colágeno.

La formación de este tipo de dentina se produce solamente en presencia de los procesos odontoblásticos quienes secretan la matriz dentro del lumen de los túbulos. La alta mineralización le proporciona dureza lo que refuerza al diente.

La formación de esta dentina se produce cuando se termina de completar la mineralización de la dentina intertubular, se deposita en forma centrípeta, lenta y gradual (Gómez *et al.*, 2009).

La matriz intertubular constituye el mayor componente de la dentina formada por una red de fibras de colágeno que miden entre 50 y 200 nm de diámetro, alineadas en ángulos rectos con respecto a los túbulos dentinarios (Ten Cate, 1986) (Smith *et al.*, 1995) (Gómez de Ferraris *et al.*, 2009) y en las cuales se depositan cristales de apatita.

La estructura histológica de la dentina la transforma en un tejido con mucha permeabilidad respecto del esmalte, por lo que sustancias como colorantes y medicamentos, o microorganismos la atraviesan con relativa facilidad. Esta es una propiedad de gran importancia en la práctica clínica porque el movimiento del fluido a través de los túbulos es el responsable del estímulo hidrodinámico que produce el dolor dental (Teoría de Brännström), pero a la vez proporciona las

condiciones que facilitan el mecanismo de adhesión de los biomateriales (Garrofé *et al.*, 2014).

Teniendo en cuenta que la dentina es un tejido que no se remodela y dada la importancia de ésta como sustrato que permite la adhesión micromecánica de los materiales a base de resina, es importante conocer los cambios que se presentan a nivel estructural y químico con el envejecimiento de la misma.

Por lo tanto nuestro objetivo fue realizar una búsqueda bibliográfica para actualizar y conocer los efectos biológicos del envejecimiento de la dentina, identificando los cambios histológicos, composición química y capacidad funcional de ésta.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión de la literatura en los últimos 15 años, consultando la base de datos Medline, a través del motor de búsqueda PubMed para citaciones y resúmenes de artículos de investigación biomédicas. En Google Scholar para citas, enlace a libros, artículos de revistas científicas y comunicaciones. A través del índice de la literatura científica y técnica en Salud de América Latina y del Caribe LILACS se abordaron las revistas y artículos publicados en español.

Para esto empleamos las siguientes palabras claves: envejecimiento dentinario, túbulos dentinarios, proceso odontoblástico.

Se aplicó como criterio de inclusión que los estudios revisados refinieran hallazgos histológicos sobre los cambios en la composición orgánica, inorgánica y celular de la dentina envejecida. Finalmente se seleccionaron y se trabajó con 11 artículos científicos que cumplían con los criterios de inclusión.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Con el paso del tiempo la dentina secundaria va reduciendo gradualmente el volumen de la cavidad pulpar. El depósito de ésta se realiza en el techo y piso de la cámara pulpar por lo que resultan cámaras pulpares envejecidas más bajas pero no necesariamente más angostas. La cantidad de dentina depositada durante la vida se relaciona con la edad del individuo. Estudios que relacionan la edad dental con la edad sistémica, concluyen que la obliteración del conducto radicular aumenta al aumentar la edad y que alcanza un máximo en los pacientes de edad avanzada entre los 60 y los 80 años. Se destaca que en los individuos más viejos, este depósito es mayor en la zona apical con respecto a la parte coronaria, mientras que en los individuos jóvenes, la reducción del espacio pulpar radicular es casi idéntica a nivel apical y a nivel coronario, lo que indica que esta reducción en los ancianos es principalmente fisiológica. Frecuentemente en personas de 60 años de edad, el conducto radicular puede encontrarse obliterado por completo y la dentina secundaria formada es altamente irregular con pocos túbulos dentinario. Con el avance de la edad,

los túbulos dentinarios se hacen menos regulares, más ondulados y cambian de dirección. Esta formación de dentina secundaria ocurre en ausencia de inflamación (Otero, 2007).

El patrón de aposición de la dentina secundaria varía entre los diferentes grupos de dientes. En los dientes anteriores del maxilar superior, la mayor deposición dentinaria ocurre en las paredes palatinas de la cámara pulpar, como resultado de las fuerzas masticatorias, seguida del borde incisal y las demás paredes de la cámara. En los molares, la mayor deposición dentinaria ocurre en el piso de la cámara pulpar (Mjör *et al.*, 2001) (Moss *et al.*, 2005).

La microestructura de la dentina también se ve afectada por la edad, con el aumento del depósito de apatita en ella se produce la disminución del diámetro y densidad de los túbulos y eventualmente la oclusión de los mismos (Montoya *et al.*, 2016). Esta condición se denomina dentina esclerótica o dentina translúcida (Fig. 2 a y b) y su formación inicia en el tercio apical extendiéndose hacia la dentina coronaria con el avance de la edad (Kinney *et al.*, 2005). Hasta un 50% de los túbulos dentinarios puede llegar a obliterarse por completo bajo condiciones fisiológicas. La oclusión de los túbulos con material mineralizado hace que la dentina se vea translúcida debido a que el material depositado tiene el mismo índice de refracción que la dentina peritubular (Otero, 2007). Este relleno es muy probablemente producto de una precipitación pasiva. La dentina esclerótica/translúcida presenta mayor grado de mineralización que la dentina primaria, principalmente en las zonas de proximidad a la pulpa dental, no siendo así en las zonas próximas al ápice radicular. Sin embargo, no está claro si el aumento de la mineralización asociado con la translucidez es enteramente el resultado del llenado de la luz de los túbulos, o si hay alguna alteración adicional en la mineralización de la matriz dentinaria intertubular (Kinney *et al.*, 2005). Con la formación de dentina esclerótica/translúcida disminuye la cantidad de fluido peritubular, lo que genera la reducción o la eliminación de la difusión en dirección hacia la pulpa (Otero, 2007). La cantidad de tractos desvitalizados también aumenta con la edad y consisten en túbulos dentinarios en los cuales las prolongaciones odontoblásticas se retraen y se encuentran ausentes, esta dentina es llamada dentina opaca (Fig.2 a y b). Estos tractos son fácilmente reconocidos en cortes histológicos, debido a que ellos refractan la luz transmitida y se muestran oscuros con respecto al color claro de la dentina normal (Otero, 2007). Esta dentina se localiza especialmente en los vértices de los bordes incisales o de los cuernos pulpares, debajo de zonas de abrasión. También puede formarse dentina opaca en regiones cervicales, ya sea porque hay una abrasión o porque la dentina está expuesta, sin protección de esmalte o cemento (Otero, 2007).

Los cambios por envejecimiento en la microestructura de la dentina se ven reflejados en variaciones de las propiedades mecánicas y composición química de la matriz dentinaria.

La dureza de la dentina, por ejemplo, varía de acuerdo a la región de ubicación, presentando mayor dureza en dientes de pacientes adultos y siendo más evidente a medida que se aleja de la cámara pulpar. Los cambios en la dureza se acompañan del incremento de la proporción de mineral-colágeno observándose que a medida que aumenta la dureza, incrementa la proporción del componente mineral sobre la matriz orgánica (colágeno), principalmente en la región central y externa de la dentina, donde el incremento es del 40% y 70% respectivamente en comparación con la dentina de dientes jóvenes en las mismas regiones (Montoya *et al.*, 2015).

La actividad secretora de los odontoblastos se mantiene a lo largo de la vida, con el envejecimiento al igual que la dentina, presenta sus propios cambios

morfológicos y funcionales, reduciendo su tamaño celular, pero conservando una estructura de empalizada pseudoestratificada (Fig. 3) (Couve *et al.*, 2011). Esto se acompaña de la retracción del proceso odontoblástico desde la superficie dentinaria hacia el interior de la misma, siendo más evidente en la región cervical de los dientes (Tsuchiya *et al.*, 2002).

Mediante microscopía electrónica de transmisión y pruebas histoquímicas e inmunohistoquímicas, se han analizado los mecanismos que mantienen la viabilidad funcional de las células dentinogénicas después de su diferenciación terminal pudiendo determinar que desarrollan un sistema autofágico-lisosomal organizado principalmente por grandes vacuolas autofágicas, delimitadas por una doble membrana, ricas en la enzima fosfatasa ácida, cuya síntesis varía con la edad. Las vacuolas autofágicas se acumulan en la zona perinuclear del odontoblasto de forma progresiva con el envejecimiento de los dientes y su contenido consiste en un material heterogéneo constituido por lípidos



FIGURA 1

FIGURA 1. Esquema de pieza dentaria uniradicular. **E:** Esmalte. **D:** Dentina. **C:** Cemento.

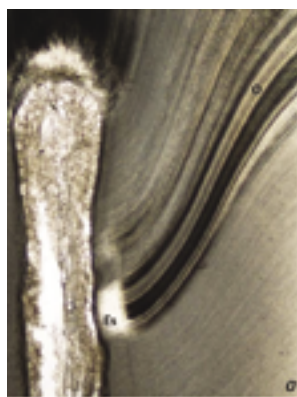


FIGURA 2A

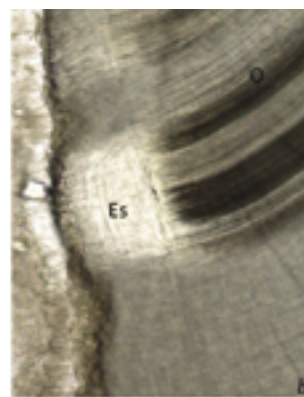


FIGURA 2B

FIGURA 2 A y B. Microfotografía de pieza dentaria humana. Obsérvese la dentina esclerótica/translúcida (**Es**) y dentina opaca (**O**). Técnica por desgaste. Mag. Orig. x40 y x100.

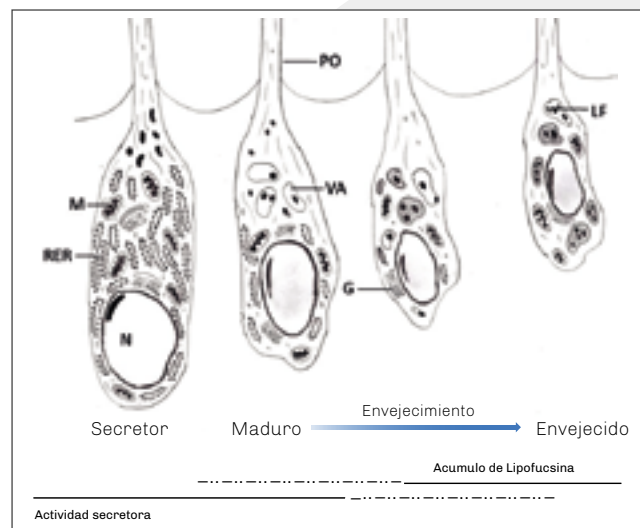


FIGURA 3

FIGURA 3. Esquema tomado y modificado de Couve E. Schmachtenberg O. Autophagic Activity and Aging in Human Odontoblasts J Dent Res 2011. **N:** núcleo. **M:** mitochondria. **G:** aparato de Golgi. **RER:** retículo endoplásmico rugoso. **PO:** proceso odontoblástico. **VA:** vesícula autofágica. **LF:** lipofucsina

y restos de lipofuscina. La progresiva acumulación de lipofuscina dentro de las vacuolas autofágicas indica una actividad lisosomal reducida en función del envejecimiento de los odontoblastos, así como disminución en la viabilidad celular y en la capacidad dentinogénica secretora (Couve *et al.*, 2013).

La dinámica autofagosomal y su relación con el envejecimiento ha sido estudiada a través de la determinación histoquímica de la fosfatasa ácida y del estudio inmunohistoquímico de LC3 (proteína asociada a microtúbulos marcadora de autofagosomas), y LAMP2 (proteína asociada a la membrana de los lisosomas), lo que ha permitido el seguimiento del proceso de autofagia en diferentes condiciones fisiológicas y fisiopatológicas (Couve *et al.*, 2013).

La fosfatasa ácida está presente a lo largo de la vida del diente, observándose la reducción de la misma a medida que la edad aumenta. Al igual que la fosfatasa ácida, las LAMP2 y LC3 se expresan en menor medida e intensidad a medida que aumenta la edad del paciente.

En los odontoblastos jóvenes las marcaciones de LAMP2 siguen un patrón granular y heterogéneo, que se acompaña de un mayor número de vacuolas autofágicas que contienen fosfatasa ácida. En los odontoblastos adultos, la inmunoreactividad frente a LAMP2 se caracteriza por gránulos densos de tamaño irregular situados alrededor del núcleo, que corresponden a grandes depósitos de lipofuscina acumulados dentro de los lisosomas.

La proteína LC3 es necesaria para los autofagosomas, se ha descrito como la única proteína útil para identificar la localización de las membranas autofagosomáticas, permitiendo la caracterización de la actividad autofágica constitutiva. Se localiza principalmente en la región supranuclear de los odontoblastos, siendo mayor su expresión en los odontoblastos jóvenes, mientras que en los odontoblastos adultos hay una marcada reducción (Couve y Schmachtenberg, 2011). La disminución de la densidad de las fibras nociceptivas dentro de la capa de células odontoblástica y la interfase pre-dentina / dentina con la edad puede reducir no sólo la sensibilidad dental, sino también la respuesta inmune contra patógenos (Couve *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

De los artículos analizados se concluye que los principales cambios de la dentina asociados al envejecimiento incluyen la formación de la dentina esclerótica, el aumento de dentina opaca o tractos desvitalizados, variación en la propiedades mecánicas y composición química de la matriz dentinaria y disminución del número y actividad de los odontoblastos.

Los conocimientos actuales relacionados con el envejecimiento del tejido dentinario, matriz mineralizada y células (odontoblastos), deben tenerse en cuenta

frente a estudios de investigación relacionados con la composición de materiales de restauración dental ya que los cambios en la microestructura y capacidad funcional de la dentina con el envejecimiento requieren que estos se adapten a dichas variaciones.

Es importante destacar que la dentina esclerótica/translúcida es distinta de la dentina secundaria, presenta un ordenamiento tridimensional del colágeno diferente y su mayor grado de mineralización la hace más resistente al grabado ácido, variable que debe tenerse en cuenta al seleccionar los sistemas de adhesión de los materiales de restauración.

Los cambios en el espesor del tejido dentinario pueden controlarse mediante radiografías.

El odontólogo debe tenerlo en cuenta no sólo para el tallado de cavidades en operatoria dental, sino también en el tallado de una prótesis coronaria.

BIBLIOGRAFÍA

Couve E, Osorio R, Schmachtenberg O. The amazing odontoblast: activity, autophagy, and aging. *J Dent Res* 2013;92:765-72.

Couve E, Schmachtenberg O. Autophagic Activity and Aging in Human Odontoblasts *J Dent Res* 2011;90:523-8.

Friedman SM. Bioquímica de los tejidos dentarios mineralizados en relación con la operatoria dental. En: Lanata EJ. Operatoria dental. Estética y adhesión. Grupo Guía SA, editorial. Buenos Aires, 2a ed. Buenos Aires, 2003.p.12-8.

Friedman SM. Bioquímica de los tejidos dentarios mineralizados en relación con la operatoria dental. En: Lanata EJ. Operatoria dental. Estética y adhesión. 2a edición. Grupo Guía SA, editorial. Buenos Aires, 2003.p.6-12.

Garrofé A, Martucci D, Picca M. Adhesión a tejidos dentarios. *Rev. Fac. de Odon. UBA* 2014;67:5-13

Gómez ME, Muñoz A. Histología, Embriología e Ingeniería Tisular Bucodental. Complejo dentinopulpar II: dentina. 3a ed. Médica Panamericana, editorial. México, 2009.p.233-90

Kinney J, Marshall S, Marshall G. The mechanical properties of human dentin: a critical review and re-evaluation of the dental literature. *Crit Rev Oral Biol Med* 2003;14:13-29.

Kinney JH, Nalla RK, Pople JA, Breunig TM, Ritchie RO. Age-related transparent root dentin: mineral concentration, crystallite size, and mechanical properties. *Biomaterials* 2005; 26:3363-76.

Marten A, Fratzl P, Paris O, Zaslansky P. On the mine-

- ral in collagen of human crown dentine. *Biomaterials* 2010;31:5479-90.
- Mjör A, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod Journal* 2001;34:346-53.
- Montoya C, Arango-Santander S, Peláez-Vargasb A, Arolac D, Ossa EA. Effect of aging on the microstructure, hardness and chemical composition of dentin. *Arch Oral Biol* 2015;60:1811-20.
- Montoya C, Arola D, Ossa EA. Importance of tubule density to the fracture toughness of dentin. *Arch Oral Biol* 2016;67:9-14
- Moss ML, Moss-Salentijn L, Hasselgren G, Ling H. A quantum biological hypothesis of human secondary dentinogenesis. *Med. Hypotheses* 2005;64:479-86.
- Nanci, A. Ten Cate's Oral Histology Development, Structure, and Function Dentin-Pulp Complex. 8a ed. Mosby, editorial. Montreal, 2013:165-204
- Otero J. Envejecimiento y cambios en los tejidos dentarios. 2007. Disponible de: URL: <http://www.portalesmédicos.com/publicaciones/articulos/500/4>.
- Pashley DF, Walton RE. Histología y fisiología de la pulpa dental. En: Ingle, J.I. & Taintor. Endodoncia. 4ª ed. Mc Graw Hill Interamericana, editorial. México D.F, 1996.p.337
- Porter A, Nalla R, Minor A, Jinschek J, Kisielowski C, Radmilovic V, Kinney J, Tomsia A, Ritchie R. A transmission electron microscopy study of mineralization in age-induced transparent dentin. *Biomaterials* 2005;26:7650-60.
- Ravindran S, George A. Dentin Matrix Proteins in Bone Tissue Engineering. *AdvExp Med Biol* 2015;881:129-42
- Schwartz R, James B, Summit J. Fundamentals of Operative Dentistry: A Contemporary Approach. Biologic considerations. 3a ed. Quintessence Pub, editorial. Chicago, 2006.p.8-23
- Segura, J, Jiménez, A. Bases moleculares y celulares de la dentinogénesis terciaria reactiva y reparativa. *Arch Odonto Estomato* 1999;15:381-90.
- Seltzer S, Bender I. The dental pulp: Biologic considerations in dental procedures. 3a ed. Ishiyaju Euroamericana Inc, editorial. Missouri, 1990.p.221-30
- Smith A, Cassidy N, Perry H, Bégue-Kirn C, Ruch J, Lesot H. Reactionary dentinogénesis. *Int J DevBiol* 1995;39:273-80.
- Tidmarsh GG. Micromorphology of pulp chambers in human molar teeth. *Int Endod J* 1980;13:69-75.
- Trowbridge H., Kim S. Desarrollo de la pulpa, estructura y función. En: Cohen S, Burns R. Vías de la pulpa. 7a ed. Harcourt, editorial. Madrid, 1999:362-400.
- Tsuchiya M, Sasano Y, Kagayama M, Watanabe M. The extent of odontoblast processes in the dentin is distinct between cusp and cervical regions during development and aging. *Arch Histol Cytol* 2002;65:179-88.
- Tsurumachi T, Huang T, Zhan W, Hayashi M, Ogiso B. Scanning electron microscopic study of dentinal pulpar walls in relation to age and tooth area. *J Oral Sci* 2008;50:199-203.

Dirección para correspondencia

Cátedra de Histología, Facultad de Odontología
Universidad de Buenos Aires.

Marcelo T de Alvear 2142 1° A, C1122AAH

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

Email: patricia.mandalunis@odontologia.uba.ar