

CARACTERIZACIÓN DE LA DENTINA TRATADA ENDODÓNTICAMENTE¹

CHARACTERIZATION OF ENDODONTICALLY TREATED DENTIN¹

LIDIS MARINA TORRES REYES², CAROLINA TORRES RODRÍGUEZ³

RESUMEN. Introducción: restaurar dientes tratados endodónticamente implica tratar la dentina con sustancias desinfectantes y ácidas que mejoran la adhesión, pero generan cambios estructurales e irreversibles en la misma. El objetivo de este artículo fue detallar y analizar los cambios en la estructura y las propiedades mecánicas, descritas en la literatura, que producen el hipoclorito de sodio al 5,25%, ácido etilendiaminetetraacético, (EDTA), al 17% y la clorhexidina al 2% sobre la dentina tratada endodónticamente. **Métodos:** se buscó en las bases de datos: Scient Direct, Pubmed, Scielo y EbscoHost las palabras clave "Human Dentin" and "Root Canal" and "Human Dentin and Change, "Dentin Treated" y "Treated dentin and Chlorhexidine", seleccionando 67 artículos que cumplieron con describir y detallar los cambios en la dentina cuando es irrigada con hipoclorito de sodio al 5,25% y ácido etilendiaminetetraacético, (edta), al 17% y clorhexidina al 2% en diferentes momentos del tratamiento. **Resultados y conclusiones:** se encontró que la dentina tratada presenta cambios, como pérdida de la arquitectura dentinal, el contenido iónico y la matriz orgánica, reducción en la microdureza, la nanodureza, y la resistencia tensil, y compresiva. La dentina tratada endodónticamente, es un sustrato alterado químicamente que repercute en sus propiedades y en la durabilidad de la adhesión.

Palabras clave: dentina, hipoclorito de sodio, EDTA, diente, tratamiento de conducto radicular, clorhexidina.

Torres LM, Torres C. Caracterización de la dentina tratada endodónticamente: una revisión. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2014; 25(2): 372-388.

ABSTRACT. Introduction: restoring endodontically treated teeth involves treating dentin with disinfectants and acidic substances that improve adhesion but generate structural irreversible changes. The objective of this article was to describe and analyze the changes in structure and mechanical properties produced by 5.25% sodium hypochlorite, 17% ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), and 2% chlorhexidine on endodontically treated dentin, as described in the literature. **Methods:** the following databases were consulted: Scient Direct, Pubmed, Scielo, and EbscoHost, using these keywords: "Human Dentin" and "Root Canal" and "Human Dentin and Change", "Dentin Treated" and "Treated dentin and Chlorhexidine". We selected 67 articles that met these criteria: thoroughly describe dentin changes when it is irrigated with 5.25% sodium hypochlorite and 17% ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), and 2% chlorhexidine at different treatment stages. **Results and conclusions:** we found out that treated dentin suffers changes in terms of dentinal architecture loss, ionic content and organic matrix, and reduction in microhardness, nanohardness, and compressive and tensile strength. Endodontically treated dentin is a chemically altered substrate with affected properties and poor adhesion durability.

Key words: dentin, sodium hypochlorite, EDTA, tooth, root canal treatment, chlorhexidine.

Torres LM, Torres C. Characterization of endodontically treated dentin: a review. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2014; 25(2): 372-388.

1 Este trabajo es uno de los requisitos para optar al título de Magister en Odontología de la Universidad Nacional de Colombia.
2 Candidata a Magister en Odontología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
3 Ph.D. Profesora Asociada Departamento de Salud Oral, Facultad de Odontología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

1 This article is one of the requirements to qualify for the Master's Degree in Dentistry from Universidad Nacional de Colombia.
2 Candidate to the Master's Degree in Dentistry, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
3 Ph.D. Associate Professor, Department of Oral Health, School of Dentistry, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del tratamiento endodóntico es retirar la masa gelatinosa de restos pulparez vitales o necróticos, que se acumulan en la cámara pulpar y los conductos radiculares, con el fin de descontaminarlo. Para ello, se hace el debridamiento con instrumentos manuales y mecánicos dentro del conducto, seguido de la irrigación.^{1,2} El debridamiento del tejido con instrumentos manuales y rotatorios produce barrillo dentinal, una capa con un espesor entre 2-2,5 μm , que se deposita en la superficie y dentro de los túbulos dentinales, formada por bacterias, toxinas, cristales de hidroxiapatita, saliva y sangre, por lo que es necesario hacer la irrigación del conducto.^{2,3}

La irrigación del conducto es el lavado físico del mismo, con el fin de promover el debridamiento, lubricación, desinfección, disolución tisular, remoción de colágeno y deshidratación dentinal, utilizando agentes químicos activos. Según Teixeira, De Vasconcelos, Cecchin y Jaju, las sustancias químicas más usadas para tal fin son hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones, usado de manera aislada o alternado con ácido etilendiaminetetraacético, EDTA al 17%.⁴⁻⁷

El hipoclorito de sodio es una sal formada por la unión de compuestos químicos, el ácido hipocloroso (HOCl) y el hidróxido de sodio (NaOH). Es hipertónico y alcalino, tiene pH mayor a 11, es antibacteriano, actúa como solvente de matriz orgánica, oxida e hidroliza proteínas, remueve tanto líquido intracelular como iones de magnesio y carbonato.⁸ Además, destruye hongos, esporas y virus. Tiene baja toxicidad cuando se emplea a bajas concentraciones. Su concentración varía entre el 1 y el 5,25%.^{2,8}

Aunque el hipoclorito de sodio al 5,25% se usa como único irrigante en la mayoría de conductos, se sabe que no remueve completamente la parte inorgánica del barrillo dentinal y, en conductos estrechos, no humedece bien las paredes del canal.² Por lo tanto, se propone alternar el hipoclorito con agentes quelantes que amplían la luz del conducto y facilitan la penetración del mismo. El más usado es el ácido etilendiaminetetraacético, EDTA aunque este protocolo es controvertido.^{9,10}

INTRODUCTION

The objective of endodontic treatment is to remove vital or necrotic gelatinous mass pulp remains that accumulate in the pulpal chamber and root canals, in order to decontaminate it. For this purpose, debridement is performed with manual and mechanical instruments inside the canal, followed by irrigation.^{1,2} Tissue debridement with manual and rotary instruments produces dentinal smear, a layer about 2-2.5 μm thick that accumulates on the surface of dentinal tubules and inside them and is composed of bacteria, toxins, hydroxyapatite crystals, saliva, and blood, making root canal irrigation necessary.^{2,3}

Root canal irrigation seeks to stimulate debridement, lubrication, disinfection, tissue dissolution, collagen removal, and dentinal dehydration, by using active chemicals. According to Teixeira, De Vasconcelos, Cecchin and Jaju, the chemical agent most widely used for this purpose is sodium hypochlorite at different concentrations, used either isolated or alternated with 17% ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA.⁴⁻⁷

Sodium hypochlorite is a salt formed by the bonding of chemical compounds, hypochlorous acid (HOCl), and sodium hydroxide (NaOH). It is hypertonic and alkaline, its pH is higher than 11, and is antibacterial, acts as a solvent of organic matrix, oxidizes and hydrolyzes protein, and removes intracellular fluids as well as magnesium and carbonate ions.⁸ In addition, it destroys fungi, spores, and viruses. It has low toxicity when used at low concentrations. Its concentration varies between 1 and 5.25%.^{2,8}

Although 5.25% sodium hypochlorite is used as a single irrigant in most root canals, it does not completely remove the inorganic portion of dentinal smear, and in narrow canals it does not appropriately moisten canal walls.² Therefore, some studies have proposed to alternate hypochlorite with chelating agents that expand the root canal lumen facilitating access. The most widely used is ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA, though this protocol is controversial.^{9,10}

El ácido etilendiaminetetraacético, edta, tiene en su estructura química seis sitios potenciales para unirse a iones metálicos. Forma complejos estables con los iones calcio, desmineraliza las paredes superficiales del canal radicular simplificando la preparación en conductos estrechos.¹¹

Sin embargo, no posee capacidad desinfectante, no remueve el componente orgánico del barrillo dentinal y se cree que al combinarlo con el hipoclorito de sodio inactiva el cloro, haciendo que este pierda capacidad proteolítica.¹²

Otra sustancia utilizada para irrigar conductos es el gluconato de clorhexidina, una molécula de estructura simétrica con dos fracciones de guanidina ionizables.¹³ Es considerado un agente antimicrobiano de amplio espectro, eficaz contra bacterias GRAM positivas, GRAM negativas y hongos. Tiene una propiedad especial: la sustantividad, que le permite asociarse de forma prolongada con un sustrato, con la cual prolonga el efecto antimicrobiano de la misma.^{13, 14}

La actividad antimicrobiana de la clorhexidina es dependiente del pH, y su efecto bactericida se debe a que la molécula cargada positivamente penetra la pared bacteriana e interactúa con los grupos fosfatos (cargados negativamente) que allí se encuentran, alterando el equilibrio osmótico de la misma.^{15, 16} En la dentina, la clorhexidina se une a los túbulos dentinales y los desinfecta, evitando la adherencia bacteriana.^{17, 18} Cuando el tejido dentinal está mineralizado y la clorhexidina tiene un pH neutro, la molécula cargada positivamente es atraída por las cargas negativas de los grupos fosfatos de la hidroxiapatita. Por el contrario, cuando la dentina está desmineralizada, la molécula reduce su capacidad de unión a los grupos fosfatos.¹⁹ Según Basrani y Haapasalo, el digluconato de clorhexidina tiene la misma eficacia que los medicamentos e irrigantes convencionales.^{20, 21} Su desventaja es la incapacidad para disolver tejidos y barrillo dentinal, por lo cual Haapasalo sugirió alternar dicha solución con el hipoclorito de sodio, para garantizar el sellado de la gutapercha a las paredes del canal radicular.²¹

In its chemical structure, ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA, has six potential sites for binding metal ions. It forms stable complexes with calcium ions and demineralizes superficial root canal walls by simplifying preparation in narrow canals.¹¹

However, it is not provided with disinfectant capacities, does not remove the organic component of dentinal smear and it is believed that when combined with sodium hypochlorite it inactivates chlorine, removing its proteolytic capacity.¹²

Another substance commonly used to irrigate canals is chlorhexidine gluconate, a molecule of symmetrical structure with two fractions of ionizable guanidine.¹³ It is considered to be an effective broad-spectrum antimicrobial agent against gram-positive and gram-negative bacteria, and fungi. It has a special property: substantivity, which enables long-lasting association with a substrate, prolonging its antimicrobial effect.^{13, 14}

The antimicrobial activity of chlorhexidine is pH dependent and its bactericidal effect occurs because the positively charged molecule penetrates bacterial walls, interacting with their phosphate groups (negatively charged) and altering their osmotic balance.^{15, 16} In the dentin, chlorhexidine adheres to the dentinal tubules and disinfects them, preventing bacterial adhesion.^{17, 18} When dentinal tissue is mineralized and chlorhexidine has a neutral pH, the positively charged molecule is attracted to the negative charges of the hydroxyapatite phosphate groups. Conversely, when the dentine is demineralized, the molecule reduces its bonding to phosphate groups.¹⁹ According to Basrani and Haapasalo, chlorhexidine digluconate has the same effectiveness as conventional medicines and irrigants.^{20, 21} As a disadvantage, it is unable to dissolve tissue and dentinal smear, and that is why Haapasalo suggested to alternate this solution with sodium hypochlorite to ensure sealing gutta percha on root canal walls.²¹

A pesar de las bondades de los irrigantes descritos, Öztürk, Santos, Campos y Parodi, reportaron que estos pueden alterar la composición de la dentina y la interacción con los materiales adhesivos.²²⁻²⁵

Ahora bien, una vez terminado el tratamiento endodóntico, comienza la fase de restauración dental que busca devolver al diente la función y la estética. En esta fase, hay que evitar la infiltración bacteriana en el conducto, por lo que se propone irrigar nuevamente con hipoclorito de sodio y/o con EDTA, para remover el barrillo dentinal y mejorar la adhesión,²⁰ según el protocolo de restauración escogido.^{3, 11}

Los protocolos establecidos durante el tratamiento endodóntico y la fase de restauración dental, son variados y complejos. Estos generan cambios en la microestructura y composición de la misma,¹⁰ de modo que es necesario conocer el sustrato de unión de la restauración definitiva y concientizar a los clínicos acerca de cuál es el verdadero efecto de los protocolos usados, pensando en replantearlos sin que ello interfiera negativamente con los valores de adhesión. El objetivo de esta revisión fue describir la dentina radicular sana y sus cambios cuando se trata endodónticamente y se somete a la acción de hipoclorito de sodio, edta, y clorhexidina.

MÉTODOS

Se hizo una revisión narrativa del tema, empleando una búsqueda en las bases de datos Scient Direct, Pubmed, EbscoHost y Scielo, ingresando las palabras clave *Human Dentin and Fiber post, Root Canal and Dentin and Change, Root canal irrigants review, Mechanical Properties and Dentin, Treated dentin and Chlorhexidine*, limitando la búsqueda a artículos que hicieron tratamiento a la dentina con hipoclorito de sodio, EDTA y clorhexidina. Para el análisis de la información recopilada, los artículos se clasificaron según el tipo de irrigante utilizado y el momento de aplicación del mismo.

Despite the benefits of the aforementioned irrigants, Öztürk, Santos, Campos and Parodi reported that such irrigants can alter dentin composition as well as interaction with adhesive materials.²²⁻²⁵

The dental restoration phase comes after endodontic treatment and is aimed at restoring tooth function and aesthetics. At this stage, it is important to avoid bacterial infiltration in the canal, so it is recommended to irrigate again with sodium hypochlorite and EDTA to remove dentinal smear and to improve adherence,²⁰ according to the restoration protocol of choice.^{3, 11}

The protocols established during endodontic treatment and dental restoration are varied and complex. They produce microstructural and compositional changes in the restoration,¹⁰ so it becomes necessary to know the bonding substrate of the final restoration and to educate clinicians about the real effects of the protocols they used, re-considering them without it negatively interfering with adhesion values. The objective of this review was to describe healthy root dentin and the changes it undergoes when is endodontically treated and subjected to the action of sodium hypochlorite, EDTA, and chlorhexidine.

METHODS

This was a topic review by searching the following databases: Scient Direct, Pubmed, EbscoHost, and Scielo, using these keywords: *Human Dentin and Fiber post, Root Canal and Dentin and Change, Root canal irrigants review, Mechanical Properties and Dentin Treated dentin and Chlorhexidine*. The search was limited to studies that treated dentin with sodium hypochlorite, EDTA, and chlorhexidine. For data analysis, the articles were classified according to type of irrigant and time of application.

RESULTADOS

La búsqueda arrojó 264 artículos, de los cuales 67 fueron seleccionados y analizados. Con la información recopilada se describió la dentina sana y sus cambios, cuando es tratada endodónticamente y se somete a la acción de hipoclorito de sodio, EDTA y clorhexidina.

Dentina

La dentina es el eje estructural del diente y es el tejido mineralizado con mayor volumen. En 1996, Pashley²⁶ la describió como un compuesto biológico poroso, formado por una matriz de colágeno rellena de cristales de hidroxiapatita. La dentina presenta varias fases, una orgánica, que corresponde al 20%, de la cual el 90% es colágeno tipo I, y el 10% restante lo constituyen proteínas no colágenas.^{27, 28}

La fase orgánica está compuesta por colágeno tipo I, que es una proteína fibrosa e insoluble formada a partir de moléculas de tropocolágeno, que a su vez están compuestas por tres cadenas polipeptídicas enrolladas, unidas por puentes de hidrógeno que las compactan y le dan resistencia al tejido.^{29, 30} Cada cadena polipeptídica tiene una secuencia específica de aminoácidos repetitivos así: glicina, prolina e hidroxiprolina. La glicina, por tener en su cadena lateral un hidrógeno, se comporta como un aminoácido básico y ácido, es decir, anfótero, esto le confiere a la molécula de colágeno características especiales.²⁹

La otra fase de la dentina es la inorgánica, que constituye el 70% del tejido, formada por hidroxiapatita, o mejor llamada apatita biológica, que pertenece a la familia de los ortofosfatos de calcio sustituidos iónicamente, organizados en cristales de menor tamaño que el esmalte.³¹ La apatita es una red iónica compleja de cristales de fosfato de calcio, hidroxilos y fluoruros de composición variable. Esto hace que los cristales de apatita de la dentina sean menos estables y más reactivos.³¹ El resto del tejido dentinal, que constituye el 10-12%, es agua.

RESULTS

The search yielded 264 articles, of which 67 were selected and analyzed. The collected information allowed the researchers to describe healthy dentin and its changes when it is endodontically treated and subjected to the action of sodium hypochlorite, EDTA, and chlorhexidine.

Dentin

Dentin is the structural axis of the tooth and is its mineralized tissue with the most volume. In 1996, Pashley²⁶ described dentin as a porous biological compound formed by a matrix of collagen filled with hydroxyapatite crystals. Dentin has several phases: an organic phase corresponding to 20%, of which 90% is collagen type I, and the remaining 10% are non-collagen proteins.^{27, 28}

Its organic phase is composed of type I collagen, which is a fibrous insoluble protein formed from tropocollagen molecules, which in turn are composed of three coiled polypeptide chains linked by hydrogen bonds that make them compact providing the tissue with strength.^{29, 30} Each polypeptide chain has a specific sequence of repetitive amino acids, like this: glycine, proline and hydroxyproline. Since glycine has hydrogen in its side chain, it behaves as a basic/acid amino acid, i.e., it is amphoteric, providing the collagen molecule with special features.²⁹

The other phase of dentin is inorganic, representing 70% of its tissue and made up of hydroxylapatite—also called biological apatite—, which belongs to the family of ion-substituted calcium orthophosphates, arranged on crystals smaller than enamel.³¹ Apatite is a complex ion network of calcium phosphate crystals, hydroxyls and fluorides of variable composition. This makes dentin apatite crystals less stable and more reactive.³¹ The rest of dentinal tissue, about 10-12%, is water.

Histológicamente, la dentina está constituida por dos estructuras: los túbulos dentinales y la matriz intertubular. Los túbulos dentinales son estructuras cilíndricas que se localizan a lo largo de la dentina, tapizados por dentina peritubular altamente mineralizada que les proporciona rigidez. Dentro de los túbulos dentinales, se encuentran las prolongaciones citoplasmáticas del odontoblasto o fibrillas de Thomes.³²

El número de túbulos dentinales varía según la zona del diente analizada. En la dentina profunda, o sea cerca de la pulpa, se aproximan a 25.300- 32.300 por mm², y en la dentina superficial se observan cerca de 13.700- 16.500 mm². Mientras que en la dentina radicular, el número de túbulos es de 24.000 mm² cerca de la pulpa y de 12.000 mm² lejos de la pulpa.³³

A su vez, los túbulos dentinales están rodeados por matriz intertubular, que separa un túbulo dentinal de sus vecinos. Está conformada por fibras colágenas en forma de malla, entre la cual y sobre la cual se depositan los cristales de hidroxiapatita con menor grado de mineralización. Presenta diferencias en la dureza dependiendo de dónde se ubica; cerca de la pulpa presenta valores de dureza Knoop bajos, de 64, 75 - 65, 05, y lejos de la pulpa tiene valores más altos de 72, 53 - 73, 75.³⁴

Es preciso anotar que existen diferencias entre la dentina coronal y radicular, ya que en esta última hay menor cantidad de túbulos dentinales de área reducida, y mayor cantidad de dentina intertubular con respecto a la dentina coronal. Otra diferencia es que el colágeno de la dentina radicular presenta mayor diámetro y se orienta de manera diferente. Estas variaciones estructurales podrían marcar diferencias significativas en las propiedades mecánicas.^{33, 35, 36}

Gracias a que la dentina está compuesta por sustancia orgánica, mineral y agua, se considera un material compuesto, heterogéneo, con propiedades especiales como la viscoelasticidad y la anisotropía, las cuales implican un comportamiento dependiente del tiempo y permite distribuir las cargas de manera diferente en los tres ejes.^{37, 38}

Histologically, dentin consists of two structures: the dentinal tubules and the intertubular matrix. Dentinal tubules are cylindrical structures located along the dentin and covered by highly mineralized peritubular dentin that provides them with rigidity. Inside the dentinal tubules are the odontoblast cytoplasmic extensions or Thomes fibrils.³²

The number of dentinal tubules varies depending on the tooth's area. The deep dentin, closer to the pulp, has about 25.300 - 32.300 tubules per mm² and surface dentin has about 13.700 - 16.500 per mm². While in the radicular dentin the number of tubules reaches 24.000 per mm² near the pulp and 12.000 per mm² far from the pulp.³³

Dentinal tubules are surrounded by intertubular matrix, which separates dentinal tubules from their neighbors. It is comprised of collagen fibers that form a mesh, where crystals of hydroxyapatite with lower degree of mineralization accumulate. Intertubular matrix differs in hardness depending on where it is located; near the pulp it presents low Knoop hardness values: 64, 75 - 65, 05, and away from the pulp it has higher values: 72, 53 - 73, 75.³⁴

It should be noted that there are differences between coronal and root dentin: the latter has fewer dentinal tubules of reduced area and more intertubular dentin than the former. Another difference is that root dentin collagen has a larger diameter and is differently oriented. These structural variations can cause significant differences in mechanical properties.^{33, 35, 36}

Since dentin is composed of organic substance, mineral substance and water, it is considered a heterogeneous composite with special features such as viscoelasticity and anisotropy, which have a time-dependent behavior and allow different load distribution along the three axes.^{37, 38}

Históricamente se ha estudiado la estructura de la dentina por diferentes métodos, que van desde el microscopio de luz polarizada o de contraste de fases, inmunohistoquímica, fluorescencia, hasta microscopios de transmisión y electrónico de barrido, con los que se hicieron investigaciones en la dentina coronal. Por eso se conocían pocos detalles de las diferencias entre la dentina coronal y radicular.³⁰

Actualmente, es posible analizar la estructura y composición de los tejidos biológicos y sus propiedades a escalas nanométricas. Por ejemplo, a través del microscopio de fuerza atómica, se puede obtener la nanodureza y el módulo de elasticidad de sitios específicos, como la dentina inter y peritubular, sea coronal o radicular.^{12, 30}

En este sentido, Inoue y colaboradores, reportaron que la nanodureza y el módulo de elasticidad de la dentina mineralizada varían dependiendo de su ubicación. De acuerdo con sus estudios, la dureza de la dentina coronal intertubular fue de $0,81 \pm 0,05$ Gpa y la dentina radicular fue $0,55 \pm 0,02$ Gpa. También determinaron que el módulo de elasticidad de la dentina coronal equivale a $26,60 \pm 2,19$ Gpa, mientras que la dentina radicular fue de $20,89 \pm 1,10$ Gpa.³⁹

Asimismo, según Kishen, Palamara y Kinney, reportaron diferencias entre los valores de módulo de elasticidad. Estas podrían atribuirse a errores de medición, debido al tamaño pequeño de las muestras que hace difícil su manipulación, diferencias en la zona de medición de cada experimento, y al tipo de tratamiento que recibe la muestra según el instrumento empleado (muestras secas o húmedas).⁴⁰⁻⁴²

De esta manera, Kinney y colaboradores reportaron un valor máximo de módulo de elasticidad de 28,3 Gpa, que obtuvieron simulando un modelo isotrópico de dentina seca, midiendo en dirección perpendicular al túbulo dentinal, mientras que en dentina húmeda reportaron un valor de 24,4 Gpa, respectivamente. Esto quiere decir que el módulo elástico se incrementó 4 Gpa cuando la muestra de dentina se deshidrató.⁴²

The structure of dentin has been traditionally studied by different methods, ranging from microscope polarized light or contrast of phases, immunohistochemistry, fluorescence, and scanning electron microscopy, which were used to study coronal dentin. This is why there were few known details about the differences between root and coronal dentin.³⁰

Currently, it is possible to analyze the structure and composition of biological tissues and their properties at nanoscales. For example, through atomic force microscopy one can calculate the nanohardness and the modulus of elasticity of specific sites, such as coronal or root inter- and peritubular dentin.^{12, 30}

In fact, Inoue et al reported that the nanohardness and the modulus of elasticity of mineralized dentin vary depending on its location. According to their studies, intertubular coronal dentin hardness was 0.81 ± 0.05 Gpa and root dentine 0.55 ± 0.02 Gpa. They also found out that the coronal dentin's modulus of elasticity equals 26.60 ± 2.19 Gpa, while the root dentin was 20.89 ± 1.10 Gpa.³⁹

Similarly, according to Kishen, Palamara and Kinney, the modulus of elasticity values present differences. These could be attributed to measurement errors (due to the small size of samples which makes them difficult to handle), differences in each experiment's measurement area, and the type of treatment the sample received according to the instrument used (dry or wet samples).⁴⁰⁻⁴²

Thus, Kinney et al reported a maximum modulus of elasticity value of 28.3 Gpa, obtained by simulating an isotropic model on dry dentin, by measuring in a direction perpendicular to the dentinal tubule, while in wet dentin they reported a value of 24.4 Gpa. This means that the elastic modulus increased 4 Gpa when the dentin sample was dehydrated.⁴²

En contraste, Ziskind y colaboradores observaron una reducción gradual del módulo de elasticidad en la dentina intertubular, con valores de 17 Gpa, y para la dentina peritubular los valores alcanzan los 40-42 Gpa.⁴³

En síntesis, la variación de las propiedades mecánicas en la dentina con base en las características de los túbulos dentinales, es producto del mayor o menor contenido mineral en los mismos y de la orientación de las fibras colágenas.⁴²

Efecto del hipoclorito de sodio al 5,25%, EDTA al 17% y gluconato de clorhexidina en los dientes tratados endodóticamente

El éxito de la terapia endodóptica se basa en el debridamiento adecuado del tejido pulpar y la eliminación completa de las bacterias y sus toxinas del sistema de conductos radiculares. Para ello, se hace la instrumentación mecánica del mismo, con instrumentos manuales y rotatorios, seguido de la irrigación con agentes químicos que lavan el conducto y evitan su reinfección.⁴⁴

La literatura consultada arrojó que los dientes tratados endodóticamente sufren principalmente cuatro cambios: pérdida de agua, pérdida de tejido dentinal, cambios en la microestructura-composición y cambios en las propiedades mecánicas (microdureza, nanodureza, resistencia tensil y módulo de elasticidad).

Históricamente se ha reportado que, después del tratamiento de conducto, el diente pierde el 10% de agua.¹ El otro cambio reportado es la pérdida de tejido dental asociado con: 1) la presencia de caries, restauraciones extensas o trauma. 2) la apertura cameral hecha con el fin de obtener acceso al canal radicular, que rompe el sellado del diente, provocando deflexión del mismo y 3) la preparación químico-mecánica del sistema de conductos, por medio de limas e instrumentos rotatorios manuales o mecánicos.⁴⁵

En cuanto a los cambios ocasionados a la microestructura y composición de la dentina, se tuvieron en cuenta el tiempo de aplicación y la concentración del irrigante requeridos para causar efectos adversos.

In contrast, Ziskind et al observed a gradual reduction in modulus of elasticity in intertubular dentin, with values of 17 Gpa, while in peritubular dentin the values reach 40-42 Gpa.⁴³

In synthesis, the variation of mechanical properties in dentin, based on dentinal tubules characteristics, is a product of the higher or lower mineral content in them and the orientation of collagen fibers.⁴²

Effect of 5.25% sodium hypochlorite, 17% EDTA, and chlorhexidine gluconate on endodontically treated teeth

The success of endodontic therapy depends on appropriate debridement of the pulp tissue and the complete elimination of bacteria and their toxins from the root canal system. This is why it requires mechanical instrumentation with manual and rotary instruments followed by irrigation with chemicals that cleanse the canal and prevent its reinfection.⁴⁴

The consulted literature showed that endodontically treated teeth suffer four main changes: water loss, dentinal tissue loss, microstructural-composition changes, and changes in mechanical properties (microhardness, nanohardness, modulus of elasticity and tensile strength).

It has been reported that after canal treatment, teeth lose 10% of water.¹ The other reported change is dental tissue loss associated with: 1) the presence of caries, extensive restorations, or trauma. 2) the root canal access made in order to access the root canal, breaking the tooth sealing and causing deflection, and 3) chemical-mechanical preparation of the canal system by means of files and manual or mechanical rotary instruments.⁴⁵

In terms of changes to the microstructure and composition of dentin, the time of application and the irrigant concentration required to cause adverse effects were taken into account.

Sim, Grigoratos y Toledano, reportaron que tratar dentina con hipoclorito de sodio al 5%, por dos minutos, genera disolución del colágeno y de la unión colágeno-mineral y cambios en la cristalinidad de la apatita, resultando una superficie rica en cristales de apatita similares a los del esmalte dental. Por lo tanto, el sustrato se hace más quebradizo, disminuye sus propiedades físicas y da lugar a una adhesión muy débil.⁴⁶⁻⁴⁸

Asimismo, Toledano reportó que el hipoclorito de sodio al 5% no solo causa la remoción de la matriz colágena de la dentina, sino también la pérdida de parte de la fase mineral de la misma, haciéndola más débil que una dentina no tratada.⁴⁸

En cuanto al cambio en las propiedades mecánicas, específicamente microdureza y nanodureza, Fuentes y colaboradores, en un estudio en el que compararon la microdureza Knoop de la dentina tratada con hipoclorito de sodio con respecto a la dentina mineralizada, obtuvieron una reducción de la microdureza de 60,3 a 30 respectivamente.³⁴ En ese mismo sentido, Toledano reportó que la dureza Knoop de la dentina tratada con hipoclorito es 50% más baja que la dentina mineralizada.⁴⁸

De igual forma, Sayin y colaboradores demostraron que el simple hecho de tratar la dentina con hipoclorito de sodio y EDTA, reduce la microdureza de la superficie. Estos autores además encontraron que existe una relación entre el porcentaje de cambio en la microdureza de la dentina radicular y la zona de medición. Es decir, que la dentina coronal y media, tratadas con hipoclorito y EDTA, presentan los mayores porcentajes de cambios que oscilan entre 7,72% a 29,4%, mientras que la dentina apical reveló cambios menores con respecto al control (dentina irrigada con agua destilada).⁴⁹

Todo lo anterior fue confirmado por Pascon y Patil, quienes reportaron que el tratamiento con hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones 2,5 %, 3,5% y 5,25%, altera las propiedades mecánicas de la dentina radicular, tales como la microdureza, la rugosidad, módulo elástico, resistencia flexural y fatiga. Además, la dentina radicular experimenta una contracción volumétrica y

Sim, Grigoratos and Toledano reported that treating dentin with 5% sodium hypochlorite for two minutes produces dissolution of collagen and collagen-mineral bond as well as changes in apatite crystallinity, resulting in a surface rich in apatite crystals similar to that of dental enamel. Therefore, the substrate becomes more brittle, decreases its physical properties and produces a very weak bond.⁴⁶⁻⁴⁸

Also, Toledano reported that 5% sodium hypochlorite not only causes removal of dentin collagen matrix, but also the loss of part of the mineral phase of it, making it weaker than a non-treated dentin.⁴⁸

In terms of change in mechanical properties, specifically microhardness and nanohardness, Fuentes et al, in a study that compared the Knoop microhardness of dentin treated with sodium hypochlorite and mineralized dentin, obtained a microhardness reduction of 60.3 to 30, respectively.³⁴ In the same way, Toledano reported that the Knoop hardness of dentin treated with hypochlorite is 50% lower than the mineralized dentin.⁴⁸

Similarly, Sayin et al showed that the only fact of treating dentine with sodium hypochlorite and EDTA reduces surface microhardness. These authors also found out a relationship between the percentage of change in radicular dentin microhardness and the measuring area. That is to say, coronal and medium dentin treated with hypochlorite and EDTA have the highest changes percentages ranging from 7.72% to 29.4%, whereas apical dentin suffered minor changes compared to the control group (dentin irrigated with distilled water).⁴⁹

The abovementioned results were confirmed by Pascon and Patil, who reported that treatment with sodium hypochlorite at different concentrations (2.5%, 3.5% and 5.25%) alters the mechanical properties of root dentin, such as microhardness, roughness, elastic modulus, flexural resistance, and fatigue. In addition, root dentin experiences volumetric shrinkage and

cambios en la cristalinidad de la apatita, lo que a su vez determina cambios en la dureza de la misma.^{50, 51}

También Cheron y colaboradores compararon la nano-dureza de la dentina vital y de la tratada endodónticamente, y obtuvieron la disminución de la dentina tratada endodónticamente de $0,84 \pm 0,25$ a $0,84 \pm 0,18$ respectivamente.⁵²

En cuanto a los cambios en el módulo elástico de la dentina tratada, Sim y Grigoratos, utilizando una máquina de ensayos, y aplicando cargas de flexión, reportaron que tratar la dentina con hipoclorito de sodio al 5% reduce en dentina mineralizada el modulo elástico, de $5,2 \times N$ a $3,2 \times N$.^{46, 47} Otros autores, como Marshall y Cheron, evaluaron el módulo elástico de la dentina intertubular de dientes tratados endodónticamente, utilizando el microscopio de fuerza atómica y encontraron que el módulo elástico aumenta con respecto a la dentina mineralizada, de $17,8 \pm 2,9$ Gpa a $18,9 \pm 2,9$ Gpa.^{33, 52}

Por otra parte, los cambios dentinales ocasionados por la irrigación con clorhexidina, son poco estudiados y controvertidos, se relacionan básicamente con cambios en la microdureza de la dentina radicular y efectos sobre la adhesión del canal radicular.^{23, 53}

El análisis de la microdureza está relacionado con la composición de la superficie dentinal. Según Oliveira, irrigar la dentina radicular con una solución de clorhexidina al 2%, durante 15 minutos, reduce significativamente la microdureza Vickers de la dentina radicular. Ésta cambia de 30,73 a 20,89, de acuerdo con la profundidad a la que se hace la medición.⁵³ De igual forma, Saghiri reportó que 5 minutos de tratamiento con clorhexidina reduce la microdureza de la dentina y causa erosión en la misma.⁵⁴ Por el contrario, Ari reportó que el tratamiento con clorhexidina no afecta la microdureza de la dentina, aunque la concentración de la usada para su estudio fue 0,2%.⁵⁵

Con respecto al efecto de la clorhexidina sobre la adhesión, los experimentos utilizan tanto clorhexidina en solución como en gel, a una concentración que varía entre 0,2, 1 y 2%, con tiempos de tratamiento cortos,

changes in apatite crystallinity, which in turn produces changes in hardness.^{50, 51}

Cheron et al also compared the nanohardness of vital dentin and endodontically treated dentin, obtaining a decrease in the endodontically treated dentin from 0.84 ± 0.25 to 0.84 ± 0.18 respectively.⁵²

In terms of changes in the elastic modulus of the treated dentin, Sim and Grigoratos, by using a machine of trials and applying flexural loads, reported that treating dentine with 5% sodium hypochlorite reduces the elastic module in mineralized dentin from $5.2 \times N$ to $3.2 \times N$.^{46, 47} Other authors, such as Marshall and Cheron, evaluated the elastic modulus of the intertubular dentin of endodontically treated teeth using atomic force microscopy and found that the elastic modulus increases with respect to the mineralized dentin from 17.8 ± 2.9 Gpa to 18.9 ± 2.9 Gpa.^{33, 52}

The dentinal changes caused by irrigation with chlorhexidine have not been thoroughly studied and are controversial; these changes are basically related to root dentin microhardness and to the effects on root canal adhesion.^{23, 53}

Microhardness analysis is related to the composition of dentinal surface. According to Oliveira, irrigating root dentin with 2% chlorhexidine for 15 minutes significantly reduces the Vickers microhardness of root dentin. This changes from 30.73 to 20.89, depending on the depth to which the measurement is taken.⁵³ In the same way, Saghiri reported that 5 minutes of treatment with chlorhexidine reduces dentin microhardness and causes erosion.⁵⁴ On the contrary, Ari reported that treatment with chlorhexidine does not affect dentin microhardness, although the concentration used for his study was 0.2%.⁵⁵

Regarding the effect of chlorhexidine on adherence, the experiments use chlorhexidine in two forms, solution and gel, at a concentration that ranges from 0.2 to 1 and 2% with short treatment times,

y establecen diferencias de acuerdo con los sistemas adhesivos utilizados.⁵⁶⁻⁵⁸

En consecuencia, los cambios que ocurren en la microestructura, composición y propiedades de la dentina tratada endodóticamente a diferentes escalas, podrían explicar por qué la fractura dental es muy común en los dientes tratados endodóticamente.¹

DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión arrojaron que las sustancias usadas para tratar la dentina, producen cambios irreversibles en ella, que dependen del tipo de solución irrigadora empleada y el tiempo de exposición de la misma.

Las soluciones analizadas fueron el hipoclorito de sodio al 5,25%, el edta al 17% y el gluconato de clorhexidina al 2%. Según Beltz y colaboradores, el hipoclorito disuelve el 90% de los componentes orgánicos de la dentina, y EDTA al 17% disuelve el 70% o más de la inorgánica,⁵⁹ mientras que la clorhexidina se une a la hidroxiapatita dentinal pero es incapaz de disolver tejido orgánico.^{19, 60} Es decir, son efectivas como desinfectantes, quelantes e irrigantes, pero modifican la composición dentinal. En cuanto al tiempo necesario para actuar, Beltz reportó que basta con utilizar 10 ml de edta al 17%, durante un 1 min, ó 20 ml durante 3 minutos, para que sea efectivo.⁵⁹ Siqueira reportó que es efectivo irrigar el conducto radicular con hipoclorito de sodio al 5% durante 40 min, sin olvidar que el efecto deletéreo del mismo en la dentina depende de la concentración y del tiempo de exposición.^{61, 62}

En este mismo sentido, Vianne⁶³ y colaboradores reportaron en su estudio in vitro, que 1 ml de clorhexidina al 2% en solución, durante un minuto o menos, es efectivo para eliminar bacterias facultativas (*Enterococcus Faecalis*) y bacterias anaerobias (*Stafilococcus Aureus* y *Candida albicans*) de acuerdo con Gomes B 2003. Aunque en términos prácticos, cuando se irriga con clorhexidina en solución, Vianne y colaboradores sugieren instrumentar el canal rigurosamente para asegurar la remoción de tejido pulpar.^{15, 64}

establishing differences depending on the adhesive systems used.⁵⁶⁻⁵⁸

Consequently, the changes in microstructure, composition, and properties of endodontically treated dentin at different scales could explain why dental fracture is so common in endodontically treated teeth.¹

DISCUSSION

The results of this review show that the substances used to treat dentin produce irreversible changes in it, depending on irrigant solution type and exposure time.

The solutions under analysis were 5.25% sodium hypochlorite, 17% EDTA, and 2% chlorhexidine gluconate. According to Beltz et al, hypochlorite dissolves 90% of the organic components of dentin, and 17% EDTA dissolves 70% or more of its inorganic components,⁵⁹ while chlorhexidine adheres to dentinal hydroxyapatite but is unable to dissolve organic tissue.^{19, 60} This means that they are effective as disinfectants, chelating agents and irrigants, but they modify dentin composition. As for the time needed, Beltz reported that using 10 ml of 17% EDTA for 1 min or 20 ml for 3 minutes is enough for it to be effective.⁵⁹ Siqueira reported that irrigating the root canal with 5% sodium hypochlorite for 40 min is effective, bearing in mind that its deleterious effect on dentin depends on concentration and exposure time.^{61, 62}

In this sense, in their in vitro study Vianne⁶³ et al reported that 1 ml of 2% chlorhexidine solution for one minute or less is effective to eliminate facultative (*Enterococcus Faecalis*) and anaerobic (*Stafilococcus Aureus* and *Candida albicans*) bacteria, agreeing with Gomes B 2003. But in practical terms, when irrigating with chlorhexidine solution, Vianne et al suggest to rigorously instrument the canal to ensure pulp tissue removal.^{15, 64}

Dentro de los cambios dentinales encontrados están: pérdida de agua y pérdida de integridad estructural, señalados por Faria y colaboradores como las principales causas de fractura dental.¹ Es decir, el hecho de eliminar el sellado de la cámara pulpar durante el tratamiento endodóntico genera la primera desventaja del diente tratado con respecto al diente sin tratar. Por lo que conviene asegurarse de que el diente realmente necesita dicho tratamiento.

En consecuencia, se presentan cambios sustanciales de las propiedades mecánicas analizadas: microdureza, módulo de elasticidad, resistencia compresiva y tensil, debido a la degradación que sufre el colágeno (ruptura de péptidos y cloración de su grupo terminal) y a la pérdida de la fase mineral.³⁶

Saleh y colaboradores reportaron que irrigar el canal radicular con hipoclorito de sodio al 5%, y EDTA al 17%, durante 60 segundos, reduce significativamente la microdureza Knoop de la dentina, encontrando una reducción de la misma en la dentina superficial.⁶⁴

En cuanto al cambio del módulo de elasticidad de la dentina tratada se consiguen resultados controvertidos, de acuerdo con Mountouris y colaboradores, quienes reportaron que el módulo de elasticidad en la dentina coronal no sufrió cambios, a diferencia del módulo en la dentina radicular, que disminuyó con base al del tipo de irrigante y el origen de las muestras.⁶⁵ Estas diferencias se pueden explicar porque la dentina coronal posee mayor contenido de calcio, mayor relación Ca/P y que las propiedades de la misma dependen de la densidad de los túbulos y no de la dentina intertubular, como lo afirmó Kinney.⁴² Otras fuentes de variación pueden ser el instrumento de medición, la escala utilizada y la preparación de la muestra, es decir, si está húmeda o seca,⁶⁶ lo que hace que los diferentes estudios no puedan ser comparables.

Las diferencias encontradas entre la dentina peritubular e intertubular, referidas a la presencia o no de mineral y a la orientación tridimensional de las fibras de colágeno de tipo I, en las que se destacan espacios y superposiciones de las mismas, le confieren al tejido la capacidad de absorber cargas y responder ante ellas de manera

Two of the identified dentinal changes are water loss and structural integrity loss, highlighted by Faria et al as the main causes of tooth fracture.¹ This means that eliminating pulp chamber sealing during endodontic treatment produces the first disadvantage of treated versus untreated tooth. One must make sure then that the tooth really needs this treatment.

Consequently, the tooth suffers substantial changes in terms of the analyzed mechanical properties: microhardness, modulus of elasticity, compressive and tensile strength, due to collagen degradation (peptides breakdown and chlorination of its terminal group) and to the loss of the mineral phase.³⁶

Saleh et al reported that irrigating the root canal with 5% sodium hypochlorite and 17% EDTA for 60 seconds significantly reduces the dentin's Knoop microhardness. The authors also found a reduction of Knoop microhardness in superficial dentin.⁶⁴

Regarding the change in modulus of elasticity of the treated dentin, according to Mountouris et al the results are controversial, since they reported that the modulus of elasticity in the coronal dentin did not suffer changes, unlike the modulus of elasticity in root dentin, which decreased depending on the type of irrigant and the origin of samples.⁶⁵ These differences can be explained because the coronal dentin has higher content of calcium and a higher Ca/P ratio, and its properties are dependent of the tubules density rather than the intertubular dentin, as Kinney stated.⁴² Other sources of change include the measurement instrument, the scale used and sample preparation (whether it is wet or dry),⁶⁶ so that the various studies cannot be comparable.

The differences between peritubular and intertubular dentin concerning the presence or absence of mineral and the three-dimensional orientation of collagen type I fibers, with evident spaces and overlaps, provide the tissue with the ability of absorbing loads and respond to them in

heterogénea. Esto explica la estrecha relación que existe entre la estructura de un tejido y sus propiedades mecánicas.⁶⁷ De modo que se puede explicar la variabilidad presentada a diferentes escalas de los estudios *in vitro* consultados.

Con respecto a la clorhexidina, es preciso señalar que representa una alternativa loable como irrigante de conductos y medicamento intracanal, gracias a su acción antimicrobiana, la sustantividad y la baja toxicidad, aunque tiene incapacidad para disolver materia orgánica,¹⁶ es decir, cuando hay restos de tejido pulpar no estaría indicada.

No obstante, con el fin de aprovechar las bondades de las soluciones irrigantes, se ha sugerido combinarlas. Aunque en algunos casos ello provoca efectos negativos en las mismas, como los descritos por Haapasalo y colaboradores. Estos autores encontraron que, combinar clorhexidina con hipoclorito de sodio, produce un precipitado de color naranja- marrón que contiene iones metálicos y paracloroanilina, una sustancia con potencial mutagénico.²¹

Acerca de los cambios en las propiedades mecánicas de la dentina radicular cuando esta es irrigada con clorhexidina, se encontraron pocos estudios. Según Oliveira y colaboradores, señalaron que la clorhexidina afecta de manera directa los componentes de la estructura dentinal, ocasionando reducción de su microdureza.⁵³

Esta revisión permite a las autoras advertir a los clínicos de los riesgos que implica tratar la dentina con hipoclorito de sodio al 5%, EDTA al 17%, y clorhexidina al 2%, con el propósito de descontaminar el conducto, remover barrillo dentinal y mejorar la adhesión, dejando al diente con pronóstico reservado al ingresar en la lista de los que posiblemente se fracturarán.

Entonces, frente a los cambios descritos en la literatura, se sugiere utilizar irrigantes a baja concentración (hipoclorito de sodio al 1%), establecer un volumen mínimo requerido y el tiempo de aplicación durante los tratamientos, con el fin de garantizar el éxito de la endodoncia y disminuir los efectos adversos sobre la dentina.

a heterogeneous manner. This explains the close relationship between the structure of a tissue and its mechanical properties.⁶⁷ We can then explain the variability at different scales of the *in vitro* studies consulted.

Concerning chlorhexidine, it should be noted that it is a worthy alternative as root canal irrigant and intracanal medication, thanks to its antimicrobial activity, substantivity and low toxicity, but it is unable to dissolve organic matter,¹⁶ i.e., it wouldn't be indicated in presence of pulp tissue remains.

However, in order to take advantage of the benefits of irrigant solutions, it has been suggested to combine them—although in some cases this causes negative effects on them, as described by Haapasalo et al—. These authors found out that combining chlorhexidine with sodium hypochlorite produces a precipitate of orange-brown color containing metal ions and para-chloroaniline, a substance with mutagenic potential.²¹

Few studies were found concerning the changes in mechanical properties of root dentin when it is irrigated with chlorhexidine. Oliveira et al noted that chlorhexidine directly affects the dentinal structure components, resulting in reduction of their microhardness.⁵³

The present review allows the authors to inform clinicians of the risks of treating dentin with 5% sodium hypochlorite, 17% EDTA, and 2% chlorhexidine to disinfect the root canal, remove dentinal smear, and improve adhesion, as it leaves the tooth with uncertain prognosis and listed among those that will possibly suffer fractures.

Given the changes described in the literature, it is recommended to use irrigants at a low concentration (1% sodium hypochlorite) and to establish minimum requirements as well as application times during treatments, in order to ensure endodontic treatment success and to reduce the adverse effects on dentin.

También, se propone usar edta al 17% de manera exclusiva para el tratamiento de conductos esclerosados, y replantear el uso del mismo en el protocolo restaurador, ya que ello implica tratar la dentina tratada dos veces, modificar las propiedades mecánicas de la misma y reducir la respuesta biomecánica del diente. En el caso de la clorhexidina al 2%, se plantea como irrigante de segunda elección, después del hipoclorito de sodio, pues este es incapaz de disolver tejido necrótico. Como existe poca literatura acerca de los efectos que dicha sustancia tiene sobre las propiedades mecánicas de la dentina radicular, se propone hacer nuevos estudios.

Finalmente, aunque el tema central de la revisión fue la clorhexidina al 2% como irrigante, es importante señalar que esta sustancia ha sido incluida en los protocolos restauradores, con el fin de mejorar la adhesión dentinal, por lo que se hace necesario nuevas investigaciones con base en los sistemas adhesivos empleados, la concentración de la sustancia, la forma de presentación y el tiempo de aplicación.

CONCLUSIONES

Luego de hacer la revisión del tema, se puede concluir que los tratamientos dentinales analizados promueven el deterioro irreversible del sustrato, con base en la pérdida de la arquitectura dentinal, pérdida de iones calcio, fosfato, magnesio, carbonatos, agua y desnaturalización del colágeno, lo que a su vez afecta los procesos de adhesión y favorecen el fracaso de la restauración definitiva.

CORRESPONDENCIA

Carolina Torres Rodríguez
Facultad de Odontología
Universidad Nacional de Colombia
Teléfono: (57-4) 316 50 00 extensión 16015
Bogotá, Colombia
Correo electrónico: ctorresr@unal.edu.co

Also, it is suggested to use 17% EDTA exclusively for sclerotic canals treatment, and to re-consider its use in restorative protocols, since it implies treating the dentin two times, modifying its mechanical properties and reducing the tooth's biomechanical response. In the case of 2% chlorhexidine, it is proposed as a second choice after sodium hypochlorite, as it is unable to dissolve necrotic tissue. Given the scarce literature about the effects of this substance on the mechanical properties of root dentin, further studies are recommended.

Finally, although the focus of this review was 2% chlorhexidine as irrigant, it is important to note that this substance has been included in restorative protocols in order to improve dentinal adhesion, so it is necessary to perform further studies on adhesive systems, substance concentration, substance formulation, and time of application.

CONCLUSIONS

This topic review suggests that the analyzed dentinal treatments promote the substrate's irreversible deterioration due to a loss in dentinal architecture as well as loss of ions, calcium, phosphate, magnesium, carbonates, water, and collagen denaturation, which in turn affects the adhesion processes favoring failures in the final restoration.

CORRESPONDING AUTHOR

Carolina Torres Rodríguez
School of Dentistry
Universidad Nacional de Colombia
Phone: (57-4) 316 50 00 extension 16015
Bogotá, Colombia
Email: ctorresr@unal.edu.co

REFERENCIAS / REFERENCES

1. Faria A, Rodrigues R, de Almeida Antunes R, de Mattos MDA, Ribeiro R. Endodontically treated teeth: characteristics and considerations to restore them. *J Prosthodont Res* 2011; 55(2): 69-74.
2. Zhang K, Tay F, Kim Y, Mitchell J, Kim J, Carrilho M et al. The effect of initial irrigation with two different sodium hypochlorite concentrations on the erosion of instrumented radicular dentin. *Dent Mater* 2010; 26(6): 514-523.
3. Eldarrat A, High A, Kale G. In vitro analysis of 'smear layer' on human dentine using ac-impedance spectroscopy. *J Dent* 2004; 32(7): 547-554.
4. Teixeira C, Felipe M, Felipe W. The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis. *Int Endod J* 2005; 38(5): 285-290.
5. De Vasconcelos B, Luna-Cruz S, De-Deus G, de Moraes I, Maniglia-Ferreira C, Gurgel-Filho E. Cleaning ability of chlorhexidine gel and sodium hypochlorite associated or not with EDTA as root canal irrigants: a scanning electron microscopy study. *J Appl Oral Sci* 2007; 15(5): 387-391.
6. Cecchin D, Farina A, Galafassi D, Barbizam J, Corona S, Carlini-Júnior B. Influence of sodium hypochlorite and edta on the microtensile bond strength of a self-etching adhesive system. *J Appl Oral Sci* 2010; 18(4): 385-389.
7. Jaju S, Jaju P. Newer root canal irrigants in horizon: a review. *Int J Dent* 2011; 2011 ID 51359: 1-9.
8. Estrela C, Estrela CRA, Barbin E, Spanó J, Marchesan M, Pécora J. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J* 2002; 13(2): 113-117.
9. Dotto S, Travassos R, de Oliveira E, Machado M, Martins J. Evaluation of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) solution and gel for smear layer removal. *Aust Endod J* 2007; 33(2): 62-65.
10. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J* 2003; 36(6): 411-417.
11. Varlan C, Dimitriu B, Vârlan V, Bodnar D, Suciuc I. Current opinions concerning the restoration of endodontically treated teeth: basic principles. *J Med Life* 2009; 2(2): 165-172.
12. Gao S, Cai S, Huang S, Qian L, Yu H. Nano-scratch behavior of human root canal Wall dentin lubricated with EDTA pastes. *Tribol Int* 2013; 63: 169-176.
13. Carrilho M, Carvalho R, Sousa E, Nicolau J, Breschi L, Mazzoni A et al. Substantivity of chlorhexidine to human dentin. *Dent Mater* 2010; 26(8): 779-785.
14. Rosenthal S, Spångberg L, Safavi K. Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 98(4): 488-492.
15. Gomes B, Souza S, Ferraz C, Teixeira F, Zaia A, Valdrighi L et al. Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *Int Endod J* 2003; 36(4): 267-275.
16. Gomes B, Vianna M, Zaia A, Almeida J, Souza-Filho F, Ferraz C. Chlorhexidine in endodontics. *Braz Dent J* 2013; 24(2): 89-102.
17. Komorowski R, Grad H, Wu X, Friedman S. Antimicrobial substantivity of chlorhexidine-treated bovine root dentin. *J Endod* 2000; 26(6): 315-317.
18. De Castro F, de Andrade M, Duarte Júnior S, Vaz L, Ahid F. Effect of 2% chlorhexidine on microtensile bond strength of composite to dentin. *J Adhes Dent* 2003; 5(2): 129-138.
19. Kim J, Uchiyama T, Carrilho M, Agee K, Mazzoni A, Breschi L et al. Chlorhexidine binding to mineralized versus demineralized dentin powder. *Dent Mater* 2010; 26(8): 771-778.
20. Basrani B, Santos J, Tjäderhane L, Grad H, Gorduysus O, Huang J et al. Substantive antimicrobial activity in chlorhexidine-treated human root dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002; 94(2): 240-245.
21. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am* 2010; 54(2): 291-312.
22. Ozturk B, Ozer F. Effect of NaOCl on bond strengths of bonding agents to pulp chamber lateral walls. *J Endod* 2004; 30(5): 362-365.
23. Santos J, Carrilho M, De Goes M, Zaia A, Gomes B, Souza-Filho F et al. Effect of chemical irrigants on the bond strength of a self-etching adhesive to pulp chamber dentin. *J Endod* 2006; 32(11): 1088-1090.
24. Campos EA, Correr GM, Leonardi DP, Barato-Filho F, Gonzaga CC, Zielak JC. Chlorhexidine diminishes the loss of bond strength over time under simulated pulpal pressure and thermo-mechanical stressing. *J Dent* 2009; 37(2): 108-114.

25. Parodi G. Factores restauradores que afectan la prognosis del tratamiento endodóntico: sugerencia de un protocolo de trabajo. *Actas Odontol* 2009; 6(1):12-26.
26. Pashley DH. Dynamics of the pulpo-dentin complex. *Crit Rev Oral Biol Med* 1996; 7(2): 104-133.
27. Tjäderhane L, Carrilho M, Breshi L, Tay F, Pashley D. Dentin basic structure and composition - an overview. *Endod Top* 2012; 20(1): 3-29.
28. Perdigão J. Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent Mater* 2010; 26(2): e24-e37.
29. López MDC, Amaral RS. Proteólisis enzimática del colágeno dentinario. *ConScientiae Saúde* 2008; 7(4): 477-486.
30. Habelitz S, Balooch M, Marshall SJ, Balooch G, Marshall GW Jr. In situ atomic force microscopy of partially demineralized human dentin collagen fibrils. *J Struct Biol*. 2002; 138(3): 227-236.
31. Dorozhkin S. Calcium Orthophosphates. *J Mater Sci* 2007; 42: 1061-1095.
32. Fonseca RB, Haiter-Neto F, Carlo HL, Soares CJ, Sinhoreti MA, Puppini-Rontani RM et al. Radiodensity and hardness of enamel and dentin of human and bovine teeth, varying bovine teeth age. *Arch Oral Biol* 2008; 53(11): 1023-1029.
33. Marshall GW Jr., Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent* 1997; 25(6): 441-458.
34. Fuentes V, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Microhardness of superficial and deep sound human dentin. *J Biomed Mater Res A* 2003; 66(4): 850-853.
35. Chu CY, Kuo TC, Chang SF, Shyu YC, Lin CP. Comparison of the microstructure of crown and root dentin by a scanning electron microscopic study. *J Dent Sci* 2010; 5(1): 14-20.
36. Arola D, Ivancik J, Majd H, Fouad A, Bajaj D, Zhang X. Microstructure and mechanical behavior of radicular and coronal dentin. *Endod Top* 2012; 20(1): 30-51.
37. Jantarat J, Palamara JE, Lindner C, Messer HH. Time-dependent properties of human root dentin. *Dent Mater* 2002; 18(6): 486-493.
38. Giannini M, Soares CJ, de Carvalho RM. Ultimate tensile strength of tooth structures. *Dent Mater* 2004; 20(4): 322-329.
39. Inoue T, Saito M, Yamamoto M, Debari K, Kou K, Nishimura F et al. Comparison of nanohardness between coronal and radicular intertubular dentin. *Dent Mater J* 2009; 28(3): 295-300.
40. Kishen A, Ramamurthy U, Asundi A. Experimental studies on the nature of property gradients in the human dentine. *J Biomed Mater Res* 2000; 51(4): 650-659.
41. Palamara JE, Wilson PR, Thomas CD, Messer HH. A new imaging technique for measuring the surface strains applied to dentine. *J Dent*. 2000; 28(2):141-146.
42. Kinney JH, Gladden JR, Marshall GW, Marshall SJ, So JH, Maynard JD. Resonant ultrasound spectroscopy measurements of the elastic constants of human dentin. *J Biomech* 2004; 37(4): 437-441.
43. Ziskind D, Hasday M, Cohen SR, Wagner HD. Young's modulus of peritubular and intertubular human dentin by nano-indentation tests. *J Struct Biol* 2011; 174(1): 23-30.
44. Luddin N, Ahmed HM. The antibacterial activity of sodium hypochlorite and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis*: a review on agar diffusion and direct contact methods. *J Conserv Dent* 2013; 16(1): 9-16.
45. Schwartz RS, Robbins JW. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J Endod* 2004; 30(5): 289-301.
46. Sim TP, Knowles JC, Ng YL, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *Int Endod J* 2001; 34(2): 120-132.
47. Grigoratos D, Knowles J, Ng YL, Gulabivala K. Effect of exposing dentine to sodium hypochlorite and calcium hydroxide on its flexural strength and elastic modulus. *Int Endod J* 2001; 34(2): 113-119.
48. Toledano M, Osorio R, Osorio E, Prati C, Carvalho RM. Microhardness of acid-treated and resin infiltrated human dentine. *J Dent* 2005; 33(4): 349-354.
49. Sayin TC, Serper A, Cehreli ZC, Otlu HG. The effect of EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl with and without subsequent NaOCl treatment on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 104(3): 418-424.
50. Pascon FM, Kantovitz KR, Sacramento PA, Nobredos-Santos M, Puppini-Rontani RM. Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. *J Dent* 2009; 37(12): 903-908.

51. Patil CR, Uppin V. Effect of endodontic irrigating solutions on the microhardness and roughness of root canal dentin: an in vitro study. *Indian J Dent Res* 2011; 22(1): 22-27.
52. Cheron RA, Marshall SJ, Goodis HE, Peters OA. Nanomechanical properties of endodontically treated teeth. *J Endod* 2011; 37(11): 1562-1565.
53. Oliveira LD, Carvalho CA, Nunes W, Valera MC, Camargo CH, Jorge AO. Effects of chlorhexidine and sodium hypochlorite on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 104(4): e125-128.
54. Saghiri MA, Delvarani A, Mehrvarzfar P, Malganji G, Lotfi M, Dadresanfar B et al. A study of the relation between erosion and microhardness of root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009; 108(6): e29-e34.
55. Ari H, Erdemir A, Belli S. Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root canal dentin. *J Endod* 2004; 30(11): 792-795.
56. Di Hipólito V, Rodrigues FP, Piveta FB, Azevedo LdaC, Alonso RCB, Silikas N et al. Effectiveness of self-adhesive luting cements in bonding to chlorhexidine-treated dentin. *Dent Mater* 2012; 28(5): 495-501.
57. Dalli M, Ercan E, Zorba YO, İnce B, Şahbaz C, Bahşi E et al. Effect of 1% chlorhexidine gel on the bonding strength to dentin. *J Dental Sci.* 2010; 5(1): 8-13.
58. Lindblad RM, Lassila LV, Salo V, Vallittu PK, Tjäderhane L. Effect of chlorhexidine on initial adhesion of fiber-reinforced post to root canal. *J Dent* 2010; 38(10): 796-801.
59. Beltz RE, Torabinejad M, Pouresmail M. Quantitative analysis of the solubilizing action of MTAD, sodium hypochlorite, and EDTA on bovine pulp and dentin. *J Endod* 2003; 29(5): 334-337.
60. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. *J Conserv Dent* 2010; 13(4): 256-264.
61. Zhang K, Kim YK, Cadenaro M, Bryan TE, Sidow SJ, Loushine RJ et al. Effects of different exposure times and concentrations of sodium hypochlorite/ethylenediaminetetraacetic acid on the structural integrity of mineralized dentin. *J Endod* 2010; 36(1): 105-109.
62. Siqueira JF Jr, Rôças IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod* 2000; 26(6): 331-334.
63. Vianna ME, Gomes BP, Berber VB, Zaia AA, Ferraz CC, de Souza-Filho FJ. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 97(1): 79-84.
64. Saleh AA, Ettman WM. Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentine. *J Dent* 1999; 27(1): 43-46.
65. Mountouris G, Silikas N, Eliades G. Effect of sodium hypochlorite treatment on the molecular composition and morphology of human coronal dentin. *J Adhes Dent* 2004; 6(3): 175-182.
66. Hayashi M, Takahashi Y, Hirai M, Iwami Y, Imazato S, Ebisu S. Effect of endodontic irrigation on bonding of resin cement to radicular dentin. *Eur J Oral Sci* 2005; 113(1): 70-76.
67. Bertassoni LE, Marshall GW, Swain MV. Mechanical heterogeneity of dentin at different length scales as determined by AFM phase contrast. *Micron* 2012; 43(12): 1364-1371.